

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİ-PROPİLEN FİBER KATKISININ BETONARME
KİRİŞLERDE BİNDİRME BOYUNA ETKİSİ**

Merve KORKMAZ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN
2020**

Her Hakkı Saklıdır.

Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

“POLİ-PROPİLEN FİBER KATKISININ BETONARME KİRİŞLERDE BİNDİRME BOYUNA ETKİSİ” isimli “Yüksek Lisans” tezini tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 01/06/2020



Merve KORKMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİ-PROPİLEN FİBER KATKISININ BETONARME KİRİŞLERDE BİNDİRME BOYUNA ETKİSİ

Merve KORKMAZ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU

Yapılar tasarlanırken bazı durumlarda betonarme yapı elemanı içerisindeki boyuna donatılar belirli uzunlukta üst üste eklenerek yapılır. Buradaki üst üste eklenen donatıların ek uzunluğuna bindirme boyu denir. Şartnamelerde uygulamada genellikle kolonlar için daha yaygın olmasına rağmen bindirme boyunun betonarme kirişlerde de yapılması gerekli olabilmektedir. Bunun için Amerika Beton Enstitüsü (ACI) şartnamesinde kolonlar için kullanılan bindirme boyunun kirişler üzerinde kullanılıp kullanılmayacağı belirli değildir. Bindirme boyu uzunluğunun ve tasarımının doğru bir şekilde yapılması özellikle yapının dayanım ve yük taşıma kapasitesi gibi mekanik özellikleri açısından oldukça önemlidir. Bindirme boyunun yetersiz olması durumunda gerilmeler donatı uçlarında yoğunlaşır ve bu durum şiddetli bir sarsıntı durumunda yapıda erken göçme gibi ciddi sorunlara neden olabilir. Betonarme taşıyıcı elemanlara poli-propilen fiber katkıları ilave edildiğinde yapının mekanik özellikleri iyileştirilerek bindirme boyu uzunluğu optimize edilebilir. Poli-propilen fiber katkıları günümüzde dayanımı yüksek, mekanik özellikleri iyi olan daha güçlü yapılar elde etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada poli-propilen fiber katkının betonarme kirişlerdeki bindirme boyu üzerine etkisi çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında 11 adet 16/ 25/ 150 cm ebatlarında betonarme kiriş tasarlanmıştır. Bu çalışmada mevcut literatürdeki denklem kullanılarak hesaplanan bindirme boyu 53 cm olup bu uzunluğun alt ve üst sınırları 11 adet betonarme kirişe farklı oranlarda (%0,0; %0,5; %1,0) poli-propilen fiber katkı ilave edilerek denenmiştir. Deneyel programda betonarme kirişler 3 ana gruba ayrılmıştır. Deneye tabi tutulan her bir betonarme kirişi için eş zamanlı olarak yük-deplasman ilişkileri ölçülmüş, her bir deney numunesi için birincil ve ikincil rijitlikler (süneklik oranı) ile enerji yutma kapasiteleri hesap edilmiş ve göçme modları elde edilmiştir. Poli-propilen fiber katkılı betonarme kirişlerde uygulanabilirlik, işlenebilirlik ve fabrikasyon açısından bindirme boyunun literatürde önerilen modele göre belirli oranlarda azaltılabileceğinin daha olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir.

2020, 41 Sayfa

Anahtar kelimeler: Betonarme kiriş, Bindirme boyu, Dayanım, Poli-propilen fiber.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECT OF POLYPROPYLENE FIBER ADDITIVE ON THE OVERLAP LENGTH IN REINFORCED CONCRETE BEAMS

Merve KORKMAZ

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Dr. Atila KUMBASAROĞLU

In some cases, longitudinal reinforcements within the reinforced concrete structural element are made by adding an overlap length over each other for designing structures. The additional length of the overlapping reinforcements here is called the overlap length. As it is generally used in columns in the specifications, it may be necessary to make the mentioned overlapping in reinforced concrete beams. For this, it is not clear whether the overlap length used for columns in the American Concrete Institute (ACI) specification will be used on the beams. Making the overlap length and design correctly is very important especially in terms of mechanical properties of the structure such as strength and load bearing capacity. If the overlap length is insufficient, stresses intensify at the ends of the reinforcement and in case of a severe jolt, there may be many problems such as early migration in the structure. When fiber additives are added to reinforced concrete carrier elements, the mechanical properties of the structure can be improved and the length of the overlap can be kept short. Fiber additives are used today to obtain a stronger structure with high strength and durability and good mechanical properties. Keeping the overlap length short is also better in terms of applicability, machinability and fabrication.

In this study, the effect of plastic fiber additive on the overlap length of reinforced concrete beams has been studied. Within the scope of this study, 11 reinforced concrete beams in size 16/25/150 cm have been designed. The lower and upper boundaries of the overlap length calculated using the equation specified in the ACI specification have been tested by adding plastic fiber admixture at different rates to 11 reinforced concrete beams. In terms of applicability, workability and fabrication, for the reinforced concrete beams with polypropylene fiber additives, it has been determined that the additional overlap length can be reduced in certain ratios compared to the model proposed in the current literature.

2020, 41 Pages

Keywords: Reinforce concrete beam, Overlap length, Strength, Poly-propylene fiber.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan kıymetli danışman hocam sayın Dr. Atila KUMBASAROĞLU' na ve Doç. Dr. Hakan YALÇINER hocama, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde gerek merakları ve gerek çalışma azimleri ile benden yardımlarını esirgemeyen Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde eğitim gören lisans öğrencileri Melih Şakir POLAT' a, Salih Emrullah ARSLAN' a, Akif Berke ÖZTÜRK' e, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde eğitim gören yüksek lisans öğrencisi Emre KORKMAZ' a ve Umytjan YANGİBAYEV' e İnşaat Yüksek Mühendisi Rameen KOHİSTANİ' e, bana bu mesleği sevdiren ve tez çalışmam boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen babam Davut POLAT' a, bu çalışma kapsamında kullanılan poli-propilen fiber katkının temin edilmesinde yardımlarını esirgemeyen tez çalışmam için gerekli poli-propilen fiber katkı malzeme teminini yapan Atlas1 firmasına sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Merve KORKMAZ

Haziran, 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
2.1. Fiber Katkı Kullanımı İle İlgili Yapılan Çalışmalar	7
2.2. Bindirme Boyu İle İlgili Yapılan Çalışmalar	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal.....	11
3.1.1. Deneyisel numunelerin şekil ve boyutları	11
3.1.2. Malzeme özellikleri ve karışım oranları	13
3.1.2.1. Kalıp işleri.....	13
3.1.2.2. Donatı işleri.....	14
3.1.2.3. Beton işleri	17
3.1.2.4. Poli-propilen fiber katkı maddesinin karıştırılması işleri	18
3.2. Yöntem	19
3.2.1. Beton karışımı, dökümü ve kürlenmesi	19
3.2.2. Deneyisel kurulum	22
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	25
4.1. Yük-Deplasman İlişkisi	25
4.2. Gözlemsel Analiz	31
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Üretilen deneysel numunelerin şekil ve boyutların şematik gösterimi.....	12
Şekil 3.2. Hazırlanan betonarme kiriş numunelerinin grupları.....	13
Şekil 3.3. Betonarme kiriş numunelerinin kalıp imalatı.....	14
Şekil 3.4. Hazırlanan betonarme kiriş numuneleri.....	15
Şekil 3.5. Betonarme kiriş numunelerinin bindirme boyları (a) $l_d = 5,0 \text{ cm}$	16
Şekil 3.5. Betonarme kiriş numunelerinin bindirme boyları (b) $l_d = 20,0 \text{ cm}$	16
Şekil 3.5. Betonarme kiriş numunelerinin bindirme boyları (c) $l_d = 30,0 \text{ cm}$	16
Şekil 3.5. Betonarme kiriş numunelerinin bindirme boyları (d) $l_d = 53,0 \text{ cm}$	17
Şekil 3.5. Betonarme kiriş numunelerinin bindirme boyları (e) $l_d = 60,0 \text{ cm}$	17
Şekil 3.6. Deneysel çalışma kapsamında dökülen küp numuneler.....	20
Şekil 3.7. (a) Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonarme kiriş numuneleri.....	20
Şekil 3.7. (b) Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonarme kiriş numuneleri.....	21
Şekil 3.7. (c) Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonarme kiriş numuneleri.....	21
Şekil 3.7. (d) Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonarme kiriş numuneleri.....	22
Şekil 3.8. Deneysel kurulum şematik gösterimi.....	23
Şekil 4.1. Referans numunelerin yük-deplasman ilişkileri.....	26
Şekil 4.2. % 0, % 0,5 ve % 1 plastik fiber katkılı numunelerin yük-deplasman ilişkileri (a) $l_d = 30,0 \text{ cm}$	27
Şekil 4.2. % 0, % 0,5 ve % 1 plastik fiber katkılı numunelerin yük-deplasman ilişkileri (b) $l_d = 20,0 \text{ cm}$	28
Şekil 4.2. % 0, % 0,5 ve % 1 plastik fiber katkılı numunelerin yük-deplasman ilişkileri (c) $l_d = 5,0 \text{ cm}$	28
Şekil 4.3. Referans numunelerinin göçme modu (a) $l_d = 60 \text{ cm}$	32
Şekil 4.3. Referans numunelerinin göçme modu (b) $l_d = 53 \text{ cm}$	32
Şekil 4.4. $l_d = 30 \text{ cm}$ bindirme boyuna sahip numunelerinin göçme modu.....	33
Şekil 4.5. $l_d = 20 \text{ cm}$ bindirme boyuna sahip numunelerinin göçme modu.....	34
Şekil 4.6. $l_d = 5 \text{ cm}$ bindirme boyuna sahip numunelerinin göçme modu.....	35

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Üretilen deneysel numunelerin şekil ve boyutları	13
Tablo 3.2. Donatı mekanik özellikleri.....	15
Tablo 3.3. Üretilen deneysel numunelerin malzeme özellikleri	18



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

A_b	Bir Adet Boyuna Çekme Donatısının En Kesit Alanı
C_x	Donatının Pas Payı Sınırları İçerisinde Kiriş En Kesitinin Yan Yüzeyine Olan Mesafe
C_y	Donatının Pas Payı Sınırları İçerisinde Kiriş En Kesitinin Alt Yüzeyine Olan Mesafe
C_s	İlave Bindirme Boyları Arasındaki Mesafe
c	C_x ve C_y ile $(C_s + d_b)/2$ Boyutlarından Küçük Olanının Kullanıldığı Uzunluk
d_b	Çekme Donatısının Çapı
f'_c	Betonun Karakteristik Basınç Dayanımı
f_s	Donatının Karakteristik Çekme Dayanımı
l_d	İlave Bindirme Boyunun Uzunluğu
$\emptyset$	Donatı Çapı
%	Yüzde

Kısaltmalar

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
FRP	Fiber Reinforced Polymer
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
PVA	Polivinil Alkol
TS	Türk Standartları

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere betonarme, beton ve çelik donatının bir araya gelerek oluşan ve çok sık kullanılan bir yapı elemanıdır. Ancak bazı durumlarda yapılar tasarlanırken betonarme yapı elemanı içerisindeki boyuna iki donatı belirli uzunlukta üst üste eklenerek yapılır. Buradaki üst üste eklenen donatıların ek uzunluğuna, ilave bindirme boyu denir. Uygulamada daha çok taşıyıcı betonarme kolonların davranışları açısından önem arz eden ilave bindirme boyu uzunluğu ile ilgili olarak taşıyıcı betonarme kirişleri için mevcut yönetmeliklerde herhangi bir hüküm bulunmamaktadır. Buna karşılık ilave bindirme boyu uzunluğu için literatürde sadece Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen bir model mevcuttur. İlave bindirme boyu uzunluğu Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen aşağıdaki eşitliklerden alınabilmektedir.

$$l_d = \frac{T}{a\sqrt{f'_c}} = \frac{A_b f_s}{a\sqrt{f'_c}} \quad (1.1)$$

$$a = 7.2d_b \frac{\frac{c}{d_b} + 0.5}{\frac{c}{d_b} + 3.6} \quad (1.2)$$

Burada A_b , bir adet boyuna çekme donatısının en kesit alanı (mm^2), f_s , donatının karakteristik çekme dayanımı (MPa), d_b , çekme donatısının çapı (mm), l_d , ilave bindirme boyu uzunluğu (mm), f'_c betonun karakteristik basınç dayanımı (MPa), c , C_x , C_y ile $(C_s + d_b)/2$ boyutlarından küçük olanının kullanıldığı uzunluktur (mm). C_x ve C_y sırasıyla donatının pas payı sınırları içerisinde kiriş en kesitinin yan ve alt yüzeyine olan mesafeleridir. C_s ise ilave bindirme boyları arasındaki mesafedir. Şartnamelerde uygulamada genellikle kolonlar için daha yaygın olmasına rağmen, bindirme boyunun betonarme kirişlerde de yapılması gerekli olabilmektedir. Uygulamada ilave bindirme boyu uzunluğunun ve tasarımının sağlıklı bir şekilde yapılması, özellikle yapının dayanım ve yük taşıma kapasitesi gibi mekanik özellikleri açısından oldukça önemlidir. Bindirme boyunun yetersiz olması durumunda gerilmeler donatı uçlarında yoğunlaşır ve bu durum şiddetli bir sarsıntı durumunda yapıda aderans yetersizliği, erken göçme gibi birçok sorunlara neden olabilir. Betonarme yapılarda iyi bir dayanım için bindirme boyu uzunluğu ile birlikte beton dayanım özellikleri de çok önemlidir. Betonarme taşıyıcı elemanlara çekme dayanımını artırıcı farklı katkılar ilave edildiğinde yapının mekanik

özellikleri iyileştirilerek bindirme boyu uzunluğu optimize edilebilir. Bu katkılardan biri de poli-propilen fiber katkısıdır. Poli-propilen fiber katkılar günümüzde sağlam, dayanım ve dayanıklılığı yüksek mekanik özellikleri iyi olan daha güçlü bir yapı elde etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Yapı Mühendisliğinde taşıyıcı elemanlar için kullanılan çimento yapı malzemesi, betonarme bina yapıları için inşaat sektöründe yoğun kullanımından dolayı çok önemli bir malzemedir. Ancak donatısız beton özellikle çekme kuvvetlerine karşı zayıf kalmakta ve yüksek hassasiyet göstermektedir. Bir başka deyişle, çimento esaslı yapı malzemeleri çekme yükü altında çatlar. Betonarme taşıyıcı elemanların eksenel monotonik ve/veya tersinen-tekrarlanan yükleme ile birlikte sahip olduğu yeterli rijitlik aşıldıktan sonra (kesitin akması meydana gelmektedir), betonda öncelikli olarak mikro çatlamlar meydana gelir ve taşıyıcı eleman yüklemeye bağlı olarak şekil değiştirme (süneklik) kapasitesini kullanır. Elastik ötesi davranış kapsamında göçme moduna kadar taşıyıcı elemandaki çatlak sayıları artarak ve/veya mevcut mikro çatlaklar genişleyerek taşıyıcı eleman yük taşımaya devam eder. Taşıyıcı elemanın özellikle çekme kapasitesinin artırılması betonarme yapı içerisine rastgele karıştırılmış poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesi kullanılarak iyileştirilebilir. Yeterli hacim oranlarında poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesi kullanılarak yüksek çekme mukavemetli beton yapı malzemesi üretilebilir (Banthia ve Sheng, 1996). Betonarme yapılarda kullanılan poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesi sadece betonda oluşan çatlakların yayılmasını kontrol etmekle kalmaz aynı zamanda köprüleme özellikleri ile çatlakların geciktirilmesini de sağlar (Weiss ve Shah, 1997: Safdar vd., 2016). Poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesi betonda oluşan çatlak genişliklerini ve yayılmalarını azaltmanın yanı sıra beton yapıların dayanıklılığını (durabilite) da artırabilir (Banthia vd., 2004). Ayrıca poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemeleri, beton yapı malzemesinin basınç, çekme, kesme ve burulma dayanımları gibi betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için de kullanılabilir (Banthia ve Gupta, 2004: Roesler vd., 2006: Soutsos vd., 2012: Yang vd., 2012: Patil ve Sangle, 2016). Betonun basınç dayanımı arttıkça betonun kırılması sırasında bağlı olarak daha az enerji yuttuğu bilinmektedir. Betona çelik fiber katkısı yapıldığında daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahip, kırılma anında daha sünek davranış sergileyebilen ve çatlama riski daha düşük olan malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu

özelliklerinden dolayı çelik fiberli betonlara talep giderek artmaktadır (ALTUN F. vd., 2006).

Kim vd. (2008) tarafından yüksek dayanımlı harç (56 MPa) ile kaplanmış farklı mekanik özelliklere sahip elyaf donatılı beton kirişlerin eğilme dayanımı üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır. Araştırma kapsamında hacim oranı açısından iki içerikli (% 0,4 ve % 1,2) yüksek mukavemetli 90° kancalı çelik lifler, yüksek mukavemetli 180° kancalı çelik lifler, yüksek molekül ağırlıklı polietilen lifler ile PVA fiberleri içeren dört tip lifin etkisini araştırılmıştır. ASTM standartlarına uygun bir şekilde yürütülen deneysel çalışmada yüksek mukavemetli 90° kancalı çelik lif katkılı kirişler, taşıma kapasitesi açısından en iyi dayanımı sergilerken, PVA fiber katkılı numuneler en kötü eğilme performansı göstermiştir. Yüksek molekül ağırlıklı polietilen lif katkılı numunelerin, yüksek mukavemetli 90° kancalı çelik lif katkılı olanlardan daha iyi performans gösteren tek kategori düşey doğrultudaki deformasyon kapasitesi olmuştur. Buradan poli-propilen katkı içeriğinin oluşan ilk akma noktasını ve enerji dağılımı ile belirlenen eşdeğer eğilme dayanımını büyük ölçüde etkilediği sonucuna varılır. Önceki araştırmaların birçoğunda poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin kirişin eğilme mukavemeti ve tokluğu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Altun ve Aktas, (2013) tarafından poli-propilen katkı malzemesi içeren hafif beton kirişin eğilme davranışı araştırılmıştır. Yapılan çalışmada her ne kadar poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin beton karışımına sadece enerji yutma kapasitesinin ve oluşan mikro çatlak sayısının artırılması amaçlanarak kullanılmış olsa da, hafif betondan üretilen betonarme taşıyıcı elemanlardaki çatlak yayılma oranının, yüksek ve normal mukavemetli betondakinden daha hızlı olduğu savunulmuştur. Altun ve Aktas, (2013) tarafından yapılan çalışmada sadece poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin hafif betonarme kirişlerin eğilme davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Böylece hafif betonarme ve normal betonarme numuneler çeşitli poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesi oranları dâhil edilerek üretilebilir. Yapılan dört noktadan eğilme testi sonuçlarından poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin taşıyıcı betonarme kirişlerin süneklik veya süneklik indeksi, taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi veya tokluk direncini arttırdığı gösterilmiştir. Yoo vd. (2015) tarafından yürütülen deneysel bir çalışmada yüksek ve normal dayanımlı poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkılı kirişlerin çatlama sonrası davranışı analiz edilmiştir. Çalışmada ayrıca poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkılı kirişlerin

eksenel eğilme testlerinden elde edilen deneysel sonuçlar önceki modellerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çatlama/akma sonrası süneklik, eğilme dayanımı ve düşey doğrultudaki deplasman dayanımının % 1,0 poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı içeriği kullanılarak önemli ölçüde artırıldığı savunulmuştur. Araştırmadan ayrıca poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin, kırılma enerjisini artırdığı ve beton basınç dayanımını azalttığı sonucuna varılmıştır.

Mertol vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada çeşitli poli-propilen (plastik veya çelik lif) hacim oranlarını içeren 20 deneysel numune dikkate alınarak poli-propilen (plastik veya çelik lif) içeriğinin betonarme kirişlerin eğilme dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üretilen deneysel numunelerde 10 adet boyuna donatı oranı (maksimum % 2,5 ve minimum % 0,2) dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında nihai yük taşıma kapasitesi, akma sonrası ikincil rijitlik, maksimum yer değiştirme miktarı ve eğilme rijitliğinin belirlenmesi için, deneysel numunelere ait ölçülen yük-deplasman grafikleri elde edilerek tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkısının donatısız betonun geleneksel betona göre nihai yük taşıma kapasitesini bir miktar iyileştirdiğini göstermiştir. Cenani vd. (2015) tarafından yapılan bir başka deneysel çalışmada hafif ve ağır donatılı poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkılı betonarme kirişlerin eğilme performansı araştırılmıştır. Cenani vd. (2015) tarafından yapılan araştırmalarında elde edilen sonuçlar poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin hafif ve ağır donatılı beton kirişlerin eğilme dayanımı ile nihai yer değiştirme kapasitesini donatısız/katkısız deneysel numunelere göre hafifçe arttırdığını göstermiştir. Rahdar ve Ghalehnovi (2016) tarafından yürütülen bir başka çalışmada ise ultra yüksek performanslı betonun, betonarme kirişlerin çatlama sonrası karakteristik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada ultra yüksek performanslı betonun, betonarme kirişlerin eğilme dayanımı üzerindeki çekme gerilmesinin etkisi araştırılmıştır. Patil ve Single (2016) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkılı betonarme kirişlerin hem eğilme hem de burulma davranışları araştırılmıştır. Sonuçlar poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin hem burulma dayanımını hem de kombine burulma + kesme + eğilme dayanımını geliştirdiğini göstermiştir. Gerçekleştirilen bir başka araştırmada ise Luccioni vd. (2017) tarafından poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkılı betonarme kirişlerin monotonik ve çevrimsel özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan çeşitli poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı içerikleri için

monotonik eksenel eğilme dayanımında çevrimsel yükleme altında test edilenlere göre artışlar bulunmuştur.

Lee vd. (2018) tarafından poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkılı betonarme kirişlerin yapısal davranışı darbe, monotonik yükleme ve patlama yüklemesi de dâhil olmak üzere çoklu yükleme etkisi altında incelenmiştir. Lee vd. (2018) tarafından yürütülen çalışmanın sonuçlarına dayanarak, poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesi kullanımının, tüm birim şekil değiştirme oranlarında, betonarme kirişlerin sünekliğini artırdığı anlaşılmıştır. Başka bir çalışmada ise Hawileh vd. (2018) tarafından poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesi ile dıştan güçlendirilmiş betonarme kirişlerin eğilme dayanımı incelenmiştir. Bu çalışmada kirişler dıştan bağlanmış çelik lif tabakaları ile güçlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkılı betonarme kirişlerin eğilme dayanım kapasitesinin referans numunesine göre % 60'a kadar arttığını göstermiştir.

Kapsamlı yapılan literatür araştırmasından bu konuda çok değerli çalışmaların yürütüldüğü ve farklı yükleme sistemleri altında taşıyıcı betonarme elemanların neredeyse tüm mekanik özellikleri hakkında önerilen modeller ile artık geçerliliğinin kanıtlandığı anlaşılmaktadır. Ancak taşıyıcı betonarme elemanların çekme bölgesindeki boyuna donatılarda ilave bindirme şartı söz konusu olduğunda poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin sistem davranışına etkisi üzerine çok az çalışma yapılmıştır. Literatür araştırmasından poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin betonarme elemanlarda eğilme dayanımının artırılması ve/veya darbe yükü altında çatlak genişliklerinin azaltılması amacıyla kullanıldığı anlaşıldığına göre, poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkılı ve ilave bindirmeli kirişlerde poli-propilen (plastik veya çelik lif) katkı malzemesinin eğilme performanslarını artırması beklenir (Ghalehnov vd., 2019). Ghalehnovi vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada farklı poli-propilen hacim oranlarında (% 0,0; % 1,0 ve % 2,0) üretilen farklı bindirme boylarına (150, 200 ve 2300 mm) sahip tam-ölçekli betonarme kirişlerde herhangi bir model önerilmeksizin eğilme davranışı araştırılmıştır. Bu çalışmada ise eğilme davranışının bindirme boyu üzerindeki etkilerinin daha sağlıklı bir şekilde anlaşılması için poli-propilen (plastik lif) katkılı kısa betonarme kiriş numuneleri farklı poli-propilen (plastik lif) hacim oranlarına (% 0,0; % 0,5; % 1,0) ve farklı boyuna donatı bindirme boylarına sahip olarak üretilmiştir. Yürütülen deneysel çalışmada nano sentetik (poli-propilen)

fiber katkısının ilave bindirme boyu kullanılarak tasarlanan kirişlerdeki yapısal etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada 2 adedi referans numune olmak kaydıyla toplam 11 adet betonarme kiriş numunesi üretilmiştir. Referans numunelerinden 1 adedinde çekme donatılarının ilave bindirme boyları Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modele uygun olarak tasarlanırken diğer referans numunesinde ise ilave bindirme boyu uzunluğu Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modelin doğruluğunun saptanabilmesi için daha büyük seçilmiştir. Poli-propilen fiber katkı oranının ilave bindirme boyu üzerindeki etkisinin tespit edilebilmesi amacıyla kalan 9 adet numunelerde ise 3 (% 0,0; % 0,5; % 1,0) farklı hacim oranına sahip plastik fiber katkı malzemeleri kullanılmıştır. Deneysel kurulumda (setup) yüklemenin; basit mesnet şartlarına sahip betonarme kiriş numunelerinin açıklık boyunca oluşacak eğilme momentinin sabit olması amacıyla eksenel eğilme doğrultusunda da iki noktadan olmak üzere dört noktadan yapılması tasarlanmıştır. Bu çalışmanın amacı bindirme boyu kullanılarak tasarlanan betonarme kirişlerde kullanılan poli-propilen fiber katkısının betonarme kirişlerdeki bindirme boyuna etkisini ortaya çıkarmaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Fiber Katkı Kullanımı İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Fiber katkı kullanımı ile ilgili daha önce birçok çalışma yapılmıştır. Özcan vd. (2002) tarafından yapılan bir deneysel çalışmada betonarme kirişlere ilave edilen çelik lif katkısının kirişlerin taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada betonarme kirişlerin yük taşıma kapasitesi, süneklik indeksi gibi mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda betonarme kirişlere ilave edilen çelik lif katkısının kirişlerin sünekliğini ve yük taşıma kapasitesini artırdığı görülmüştür.

Altun vd. (2006) tarafından yürütülen bir deneysel çalışmada basit eğilme ve patlama yüklemesi altında çelik lif katkılı ve katkısız betonarme kirişlerin davranışları incelenmiştir. Yapmış oldukları çalışmada çelik lif katkısının betonarme kirişlerin mekanik özelliklerine etkisi, basit eğilme oluşacak şekilde patlama yüklemesi de yapıp, deney yapılarak incelenmiştir. Yapmış oldukları çalışmadan elde edilen sonuçlara göre çelik lif katkısının betonarme kirişlerde çekme bölgesindeki çatlak oluşumunu geciktirmesinin sonucu olarak betonarme kirişlerin yük taşıma kapasitesini artırdığı görülmüştür.

Campione ve Mangiavillano (2008) yapmış oldukları çalışmada lifli betonarme kirişlerin eğriliği analitik modelleme ve tasarımı yapılarak deneysel olarak incelenmiştir. Yapmış oldukları deneysel çalışma kapsamında üretilen model, çelik lif katkılı betonarme kirişler üç noktalı eğilme testlerine tabii tutularak üretilmiştir. Yapılan çalışmada uluslararası literatürde bulunmakta olan çeşitli deneysel düzeneklerin analizi yapılarak modellemesi oluşturulmuş ve deney sonucunda elde edilen P eğrilerinin ön gerilmesinde önerilen modelleme yaklaşımlarının sayısal olarak doğruluğu ve nesnelliği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda ortaya çıkan modelleme yönteminin her iki sonuçta da eğilme sonuçlarına göre çelik lif katkılı kirişlere yakın sonuçlar elde etmekte olduğu görülmüştür.

Issa vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada fiberlerin eğilme davranışı ve Gfrp inşaat demiri ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin sünekliği üzerine etkisi incelenmiştir. Yapmış oldukları deneysel çalışma kapsamında betonarme kirişlere

hacimsel olarak 3 farklı oranda (% 10, % 20, % 30) uçucu kül ve 3 farklı oranda (% 0,5; % 1,0; % 2,0) yivli tip çelik fiberler ilave edilerek üretilen betonarme kirişler üç noktalı eğilme testine tabii tutulmuşlardır. Elde edilen sonuçlarda çelik fiberlerin kirişlere ilave edilmesi ile kirişlerin kopma yükünün ve sünekliğinin arttığı görülmüştür.

Fiber katkı kullanılması ile ilgili yapılan bir başka çalışmada Sofi ve Phanikumar (2015) betonarme kirişlere hacimsel olarak 3 farklı oranda (% 10, % 20, % 30) uçucu kül ve 3 farklı oranda (% 0,5; % 1,0; % 2,0) çelik fiber ilave ederek ürettikleri betonarme kirişler üç noktalı eğilme testine tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre çelik fiber katkısının betonarme kirişlerin sünekliğini ve kirişlerin kopma yükünü artırdığı görülmüştür.

Korkut vd. (2017) tarafından yürütülen bir deneysel çalışmada çelik ve sentetik lif katkılı yüksek mukavemetli kendiliğinden yerleşen betonlardaki betonun prizmatik ve değişken kesitli kirişlerin mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yapmış oldukları deneysel çalışma kapsamında farklı oranlarda (% 0,0; % 0,5) çelik lif ilave edilerek dört adet prizmatik ve dört adet değişken kesitli olmak üzere toplamda sekiz adet kiriş üretilerek yükleme testine tabii tutulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlarda çelik lif katkısının yüksek mukavemetli değişken kesitli kirişlerde yük taşıma kapasitesi ve deplasman yapabilme özellikleri üzerinde olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre % 0,5 oranında çelik lif içeren yüksek mukavemetli değişken kesitli kirişlerde çelik lifin etriye donatısı yerine kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bilim ve Kara (2018) tarafından yapılan bir çalışmada ultra yüksek dayanımlı harçlara çelik lif ilave edilerek katkı malzemesi olarak kullanılan çelik lifin harçların mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Yapılmış olan bu çalışmada harç karışımlarına hacimsel olarak farklı oranlarda (% 0,0; % 0,5; % 1,0; % 1,5; % 2,0) çelik lif katkısı ilave edilip 40*40*160 mm ölçülerine sahip numuneler üretilerek 7, 14, 28 günlük kür sonucunda basınç ve eğilme mukavemetleri test edilmiştir. Yapılmış olan bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak çelik lif katkı malzemesi kullanımının harçların mekanik özelliklerini iyileştirerek basınç ve eğilme mukavemetlerinde artış sağladığı anlaşılmıştır.

2.2. Bindirme Boyu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Akpınar (2010) tarafından yürütülen bir deneysel çalışmada yetersiz donatı ve bindirme boyu kullanılarak üretilen kolonlar *aktif* (istenilen mesnet bölgesinde) *FRP* sargısı ile güçlendirme yapılarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışma kapsamında yetersiz bindirme boyu kullanılarak üretilen on iki adet kolon farklı iki eksenel yük seviyesinde tersinir tekrarlanır yük altında teste tabii tutulmuştur. Çalışma kapsamında aderans etkisinin de incelenebilmesi amacıyla iki adet sargısız referans numune ve üç adet *pasif sargılama* (çelik lama veya lifli polimer kullanılarak kesitin sarılması, betonarme mantolama yapılması) ile üretilen numuneler de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda *aktif FRP sargısı* ile güçlendirilmiş kolonların yatay yük taşıma kapasitesinde artış olduğu görülmüştür. Ayrıca *aktif FRP sargısı* ile güçlendirilmiş kolonlarda *pasif FRP sargılama* ile güçlendirilmiş kolonlara göre daha az kalıcı deformasyonlar elde edildiği görülmüştür.

Arslan ve Arslan (2018) tarafından yürütülen bir deneysel çalışmada farklı donatı çapları (10 mm, 12 mm, 14 mm) ve kenetlenme boylarına (100 mm, 150 mm, 200 mm) sahip betonarme kirişlerde donatı çapı ve kenetlenme boylarının beton-donatı aderansına etkisi mafsallı kiriş deneyi yardımıyla eğilme etkisi altında test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada toplamda dokuz adet mafsallı kiriş kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre daha düşük çaplı donatılarda aynı kenetlenme boyu ile daha yüksek gerilme değerlerine ulaşılmış olup ayrıca kenetlenme boyu arttıkça donatı sıyrılmalarında azalma olduğu ve buna bağlı olarak aderans dayanımının arttığı anlaşılmaktadır.

Kapsamlı yürütülen literatür çalışmasına göre Amerika Beton Enstitüsü (ACI) şartnamesinde betonarme kolonlar için uygulanan ilave bindirme boyunun benzer şartlarla betonarme kirişler için de kullanılıp kullanılmayacağı konusunda yeterli çalışmalar bulunmamaktadır. Şartnamelerde bindirme boyu uygulaması ile ilgili genellikle kolonlardaki uygulamalar hakkında hükümler bulunurken bindirme boyu uygulaması betonarme kirişler içinde gerekli olabilmektedir. Çalışma kapsamında bindirme boyu kullanılarak geleneksel yöntemlerle tasarlanan betonarme kirişlere poli-propilen plastik fiber katkısı da ilave edilerek üretilen numuneler teste tabii tutulmuşlardır. Bu numunelerde poli-propilen plastik fiber katkısının betonarme kirişlerdeki bindirme boyuna etkisi araştırılarak bindirme boyunun kirişlerde

kullanılması ve betona karıştırılan poli-propilen plastik fiber katkısının betonarme kirişlerdeki bindirme boyuna etkisi konusunda literatüre yeni bir katkıda bulunulması hedeflenmektedir. Böylece bindirme boyu uygulaması ile ilgili yürütülen çalışma, bu alanda yapılacak olan yeni çalışmalara referans olabilecektir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma kapsamında nano sentetik (poli-propilen) elyaf katkılı betonarme kirişlerde ilave bindirme boyunun uygulanması gerektiği durumda taşıyıcı betonarme kirişlerin davranış ve dayanımlarının ne şekilde etkilendiğinin anlaşılması amaçlanmıştır. Çekme donatılarında ilave bindirme boyuna sahip betonarme kirişlerin eğilme dayanımını birçok parametre etkiler. Uygulamada daha çok taşıyıcı betonarme kolonların davranışları açısından önem arz eden ilave bindirme boyu uzunluğu ile ilgili olarak taşıyıcı betonarme kirişleri için mevcut yönetmeliklerde herhangi bir hüküm bulunmamaktadır. Buna karşılık ilave bindirme boyu uzunluğu için literatürde sadece Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen bir model mevcuttur. Deneysel çalışmada 2 adedi referans numune olmak kaydıyla, toplam 11 adet betonarme kiriş numunesi üretilmiştir. Referans numunelerinden 1 adedinde çekme donatılarının ilave bindirme boyları Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modele uygun olarak tasarlanırken diğer referans numunesinde ise ilave bindirme boyu uzunluğu Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modelin doğruluğunun saptanabilmesi için daha büyük seçilmiştir. Poli-propilen fiber katkı oranının ilave bindirme boyu üzerindeki etkisinin tespit edilebilmesi amacıyla, kalan 9 adet numunelerde ise 3 (% 0, % 0.5 ve % 1.0) farklı hacim oranına sahip plastik fiber katkı malzemeleri kullanılmıştır. Deneysel kurulumda (setup) yüklemenin; basit mesnet şartlarına sahip betonarme kiriş numunelerinin açıklık boyunca oluşacak eğilme momentinin sabit olması amacıyla eksenel eğilme doğrultusunda da iki noktadan olmak üzere dört noktadan yapılması tasarlanmıştır.

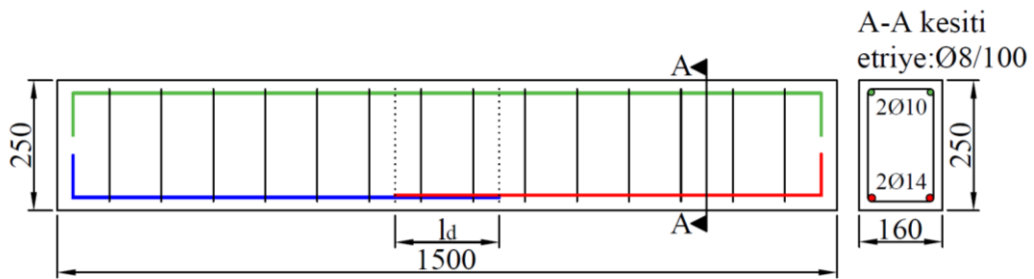
3.1. Materyal

3.1.1. Deneysel numunelerin şekil ve boyutları

Deneysel çalışma kapsamında 2 adedi referans numune olmak kaydıyla, toplam 11 adet betonarme kiriş numunesi üretilmiştir. Laboratuvar ortamında üretilen betonarme kiriş numunelerinin, şekil ve boyutları Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Deneysel çalışma kapsamında hazırlanan betonarme kiriş numunelerinin isimlendirilmesi Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Deneysel tasarım kapsamında, betonarme kiriş numunelerinde nano sentetik (poli-propilen) elyaf (plastik fiberler) katkı oranlarının ilave bindirme boyları üzerindeki etkisini kalitatif (nitelik) ve kantitatif (nicelik) olarak anlaşılması amacıyla

bir dizi deneyin yapılması planlanmıştır. Tüm betonarme deneysel kiriş numuneleri, beton dökülmeden önce çekme bölgesindeki donatı çubuklarının ilave bindirme boyları nano sentetik (poli-propilen) elyaf (plastik fiberler) katkı oranlarının etkisinin anlaşılabilmesi için Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen model esas alınarak her numunede simetrik/sistemik olarak değişen mesafeler bırakılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen deneysel numunelerin şekil ve boyutları, plastik fiber oranı (%) ile ilave bindirme boyları (l_d) Tablo 3.1’de gösterilmektedir. Deneysel çalışma kapsamında geleneksel bilinen davranıştan farklı olarak ilave bindirme boylarına sahip betonarme kirişlerde davranışın başlangıç rijitlik bölgesinde ilave bindirme sınırlarında donatı çubuklarının sıyrılmasına (slip) bağlı olarak yük taşıma kapasitesini ani düşürmesi ve ikincil rijitlik bölgesinde ise artan yüklemeye (monotonik yükleme) bağlı olarak numunedeki sünekliğin kullanılması şeklinde beklenmektedir.

Betonarme kirişin basınç bölgesinin maksimum yüklemeye kadar nihai birim şekil değiştirme miktarı betonun kalitesine bağlı olmakla birlikte, bu araştırmada da betonun maksimum birim şekil değiştirme miktarı kabul edilen betonun kalitesine göre 0,0035 olarak alınması haklı görülmüştür. Dolayısıyla bu araştırmada, betonarme kirişlerin ön görülen en kesit boyutları ve etkin derinliği de $\frac{1}{2}$ ölçekli olarak üretilmiştir. Whitney teorisine göre (McCormac ve Brown, 2014; Whitney 1942) bu araştırmada betonarme kiriş numuneleri uygun $\frac{1}{2}$ ölçekli olarak tasarlanmıştır ve donatı alanı da kabul gören yönetmeliklere uygun olarak seçilmiştir.



Şekil 3.1. Üretilen deneysel numunelerin şekil ve boyutların şematik gösterimi



Şekil 3.2. Hazırlanan betonarme kiriş numunelerinin isimleri

Tablo 3.1. Üretilen deneysel numunelerin şekil ve boyutları

Numune no	Plastik fiber oranı (%)	En-kesit boyutları (mmxmm)	Numune uzunluğu (mm)	İlave bindirme boyu l_d (mm)
A ₆₀	0.0	160x250	1500	60.0
A ₅₃	0.0	160x250	1500	53.0
A ₃₀	0.0	160x250	1500	30.0
B ₃₀	0.5	160x250	1500	30.0
C ₃₀	1.0	160x250	1500	30.0
A ₂₀	0.0	160x250	1500	20.0
B ₂₀	0.5	160x250	1500	20.0
C ₂₀	1.0	160x250	1500	20.0
A ₅	0.0	160x250	1500	5.0
B ₅	0.5	160x250	1500	5.0
C ₅	1.0	160x250	1500	5.0

3.1.2. Malzeme özellikleri ve karışım oranları

3.1.2.1. Kalıp işleri

Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonarme kiriş numunelerinin kalıp imalatında minimum 13 mm kalınlıkta eğilmez özelliğe sahip bir kontrplak kullanılarak yapılmış olup, kalıba hiçbir şekilde suyun girmemesi için birkaç kat su yalıtımı ile kaplanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonarme kiriş numunelerinin kalıp imalatı Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Betonarme kiriş numunelerinin kalıp imalatı

3.1.2.2. Donatı işleri

Deneysel çalışma kapsamında ilave bindirme boylarına nano sentetik (poli-propilen) elyaf (plastik fiberler) katkı malzemesinin yapısal etkisinin anlaşılabilmesi için betonarme kiriş numunelerde sadece çekme bölgesinde simetrik ve/veya sistematik değişen ilave bindirme boylarına sahip donatı çubukları TS708, (2010) şartnamesine uygun olarak S420 2Ø10/100 ebadında askı donatı çubuğu ile 2Ø14/100 ebadında çekme donatı çubukları kullanılmıştır. Betonarme kiriş numunelerde ayrıca kesme gerilmelerinin karşılanabilmesi için mesnet ve orta açıklıklarda Ø8/100 mm ebadında enine donatılar kullanılmıştır. Enine donatı çubukları TS708, (2010) şartnamesine uygun olarak 135° kancalı olarak imal edilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında hazırlanan betonarme kiriş numuneleri Şekil 3.4’de gösterilmektedir. İlave bindirme boyu uzunluğu referans numuneleri için Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modele göre 53 cm ve Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modelin doğruluğunun sağlanabilmesi amacıyla 60 cm olarak hesap edilmiştir. Çalışma kapsamında farklı hacim oranlarında poli-propilen fiber katkısının betonarme kirişlerdeki bindirme boyu üzerine etkisi çalışıldığı için, % 0.0, % 0.5 ve % 1.0 olarak 3

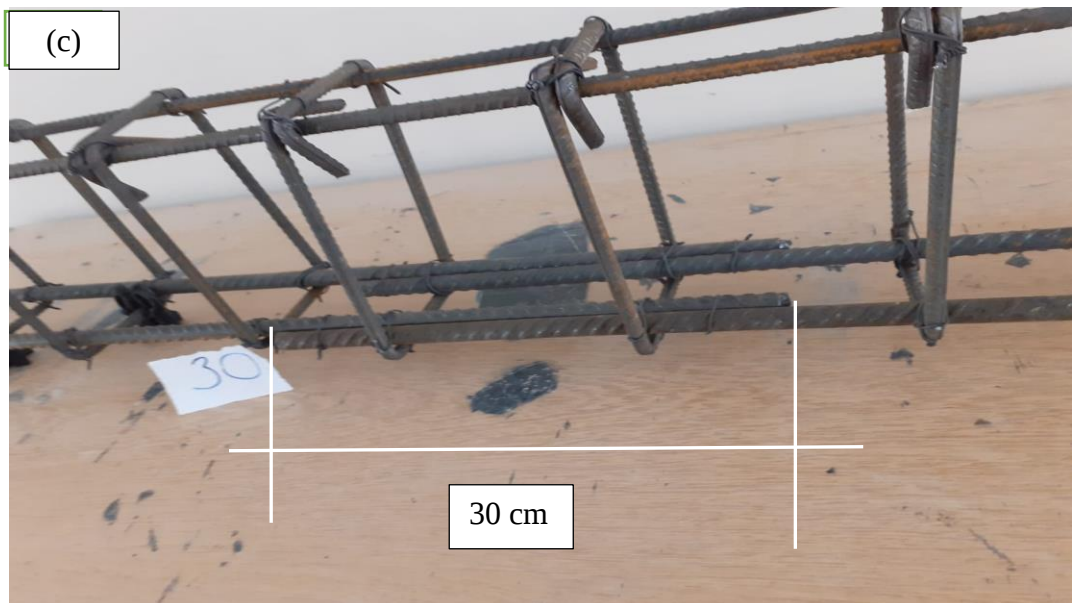
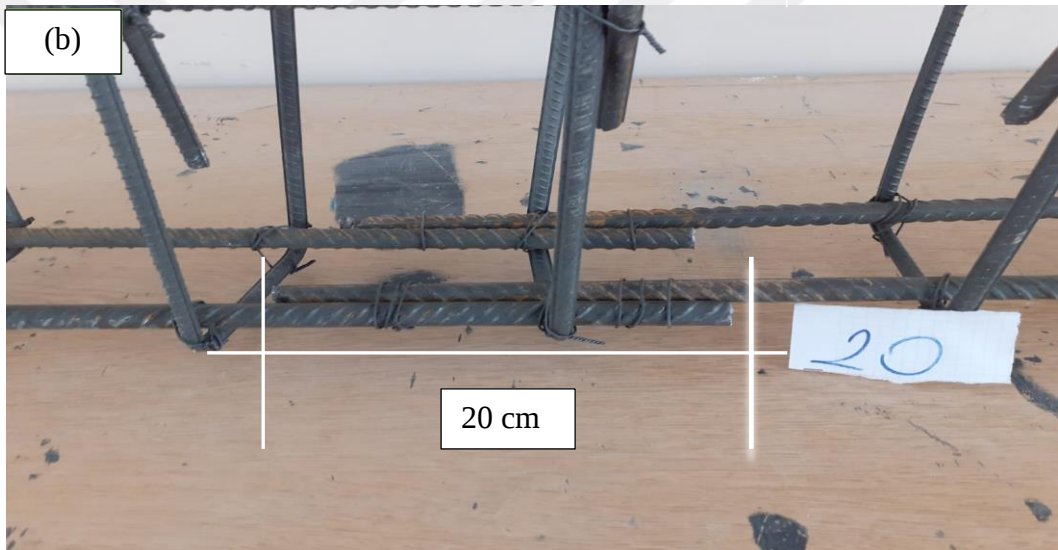
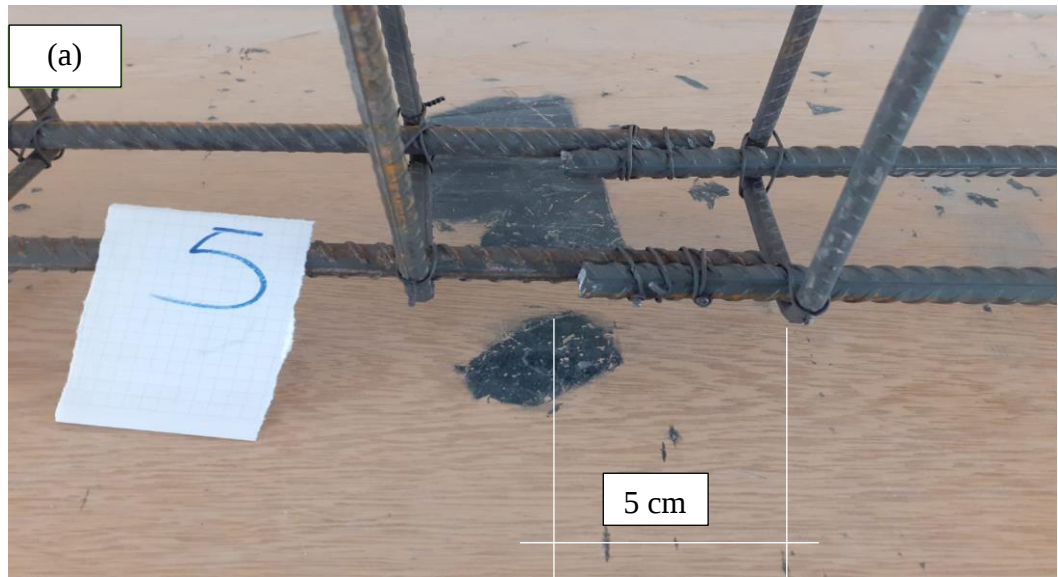
farklı poli-propilen fiber katkı oranının, 60,0; 53,0; 30,0; 20,0 ve 5,0 cm olarak 5 farklı bindirme boyuna etkisi limit şartlarında ele alınmıştır. Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonarme kiriş numunelerinin bindirme boyları Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Donatı çubukları için yapılan donatı çekme testleri ile malzeme mekanik özelliklerini sağlıklı bir şekilde yansıtan gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Tablo 3.2’de elde edilen mekanik özellikler sayesinde donatı çubuklarının akma ve kopma dayanımları ile akma ve kopma dayanımlarına karşılık gelen birim şekil değiştirmeler özetlenmiştir. Böylece Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen ilave bindirme boyu modelinin doğrulanması da sağlanmıştır.

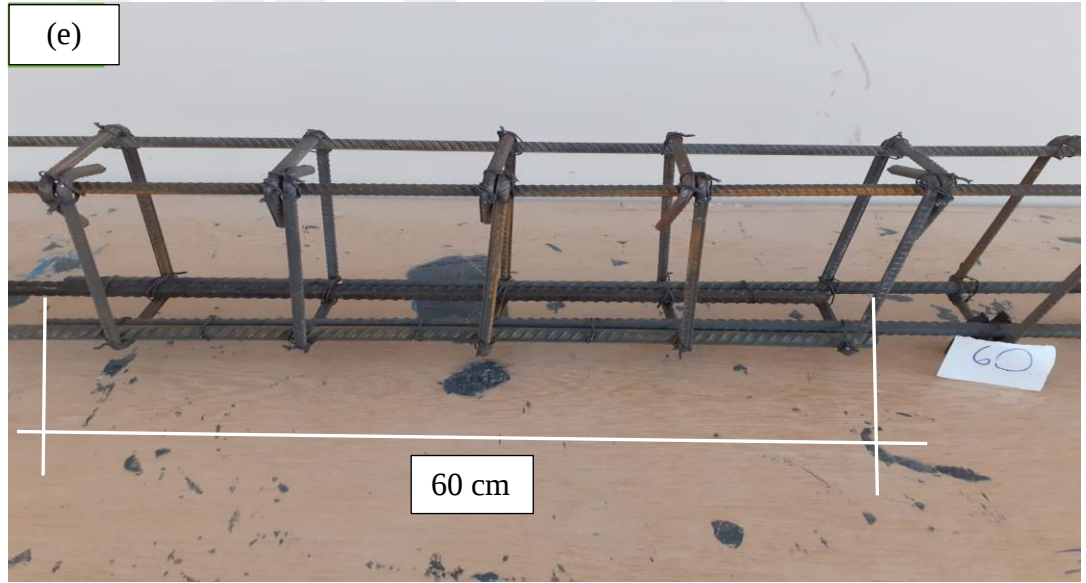
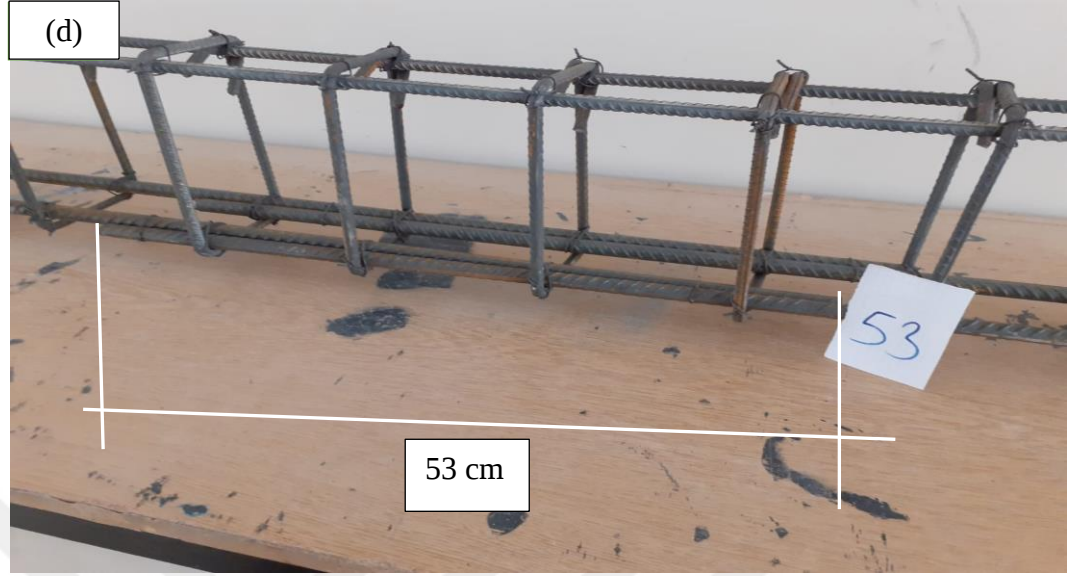


Şekil 3.4. Hazırlanan betonarme kiriş numuneleri

Tablo 3.2. Donatı mekanik özellikleri

Donatı no	Akma dayanımı (MPa)	Kopma dayanımı (MPa)	Akmadaki birim şekil değiştirme (mm/mm)	Kopmadaki birim şekil değiştirme (mm/mm)	Elastisite modülü (MPa)
Ø14	452	580	0.0022	0.0108	2×10^5
Ø10	480	600	0.0024	0.0205	2×10^5
Ø8	510	610	0.0026	0.0355	2×10^5





Şekil 3.5. Betonarme kiriş numunelerinin bindirme boyları (a) $l_d = 5,0$ cm; (b) $l_d = 20,0$ cm; (c) $l_d = 30,0$ cm; (d) $l_d = 53,0$ cm (e) $l_d = 60,0$ cm

3.1.2.3. Beton işleri

Betonarme kiriş numunelerinin üretimi TS 500 (2002) şartnamesine uygun olarak seçilen C20 betonu piyasa şartlarında katkısız üretilen hazır beton olarak temin edilmiştir. Nano sentetik (poli-propilen) elyafların (plastik fiberler) katkısız hazır betona karıştırılması ise laboratuvar şartlarında sağlanmıştır. Tüm deneysel numuneler için (referans numuneler de dâhil) en az 3 (üç) adet silindirik ve küp numuneler ayrıca alınmıştır ve tüm numuneler aynı şartlara sahip olarak kür edilmiştir. Kür işlemi

sürecinde silindirik ve küp numunelerin 7 (yedi) günlük ve 28 (yirmi sekiz) günlük beton karakteristik basınç dayanımları ASTM C 39-01 (2001) standardına uygun olarak beton basınç testleri yapılarak elde edilmiştir. Deneysel kiriş numunelerin malzeme özellikleri Tablo 3.3’de özetlenmiştir.

Tablo 3.3. Üretilen deneysel numunelerin malzeme özellikleri

Numune no	Plastik fiber oranı (%)	Su/çimento oranı	7 günlük basınç dayanımı (MPa)	28 günlük basınç dayanımı (MPa)
A ₆₀	0.0	0.45	16.9	21.2
A ₅₃	0.0	0.45	17.1	20.9
A ₃₀	0.0	0.45	17.0	19.9
B ₃₀	0.5	0.46	17.2	20.2
C ₃₀	1.0	0.47	17.1	21.6
A ₂₀	0.0	0.45	16.9	20.0
B ₂₀	0.5	0.46	16.8	21.1
C ₂₀	1.0	0.47	17.0	20.0
A ₅	0.0	0.45	17.2	19.8
B ₅	0.5	0.46	17.1	21.3
C ₅	1.0	0.47	17.0	20.5

3.1.2.4. Poli-propilen fiber katkı maddesinin karıştırılması işleri

Bu çalışmada *Fibermesh* poli-propilen fiber türü kullanılmıştır. Poli-propilen plastik fiber katkı malzemesi betonarme kirişlere hacimsel olarak 3 ayrı oranda (%0,0; %0,5; %1,0) ilave edilmiştir. Nano sentetik (poli-propilen) elyafların (plastik fiberler) katkısız hazır betona karıştırılması laboratuvar şartlarında sağlanmıştır. Kullanılan poli-propilen fiber miktarları Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Betonarme kiriş numunelerinde, geleneksel davranıştan farklı olarak özellikle ilave bindirme boyu sınırlarında aderans çatlaklarının oluşmasına bağlı olarak yük taşıma kapasitesindeki ani düşmeler beklendiği için elastik (birincil rijitlik bölgesi) ve elastik ötesi (ikincil rijitlik bölgesi) davranışın ayrı olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Deneysel çalışma kapsamında 4 noktadan yükleme yapıldığı için yükleme sınırlarında oluşan eğilme momentleri sabittir. Aderans çatlakları ilave bindirme boyu sınırlarında oluşurken, eğilme çatlakları ise yükleme sınırında meydana gelmiştir. Betonarme kirişlerin yük taşıma kapasiteleri açısından deneysel program kapsamında azaltılan ilave bindirme boylarının artırılan nano sentetik (poli-propilen) elyaf (plastik fiberler) katkı oranları ile sağlanabileceği araştırılmıştır.

Betonarme kirişlerin yük taşıma kapasiteleri için birincil ve ikincil rijitlikler (süneklik oranı) ile enerji yutma kapasiteleri her bir numune için hesaplanmıştır.

3.2. Yöntem

Bu çalışmaya ilk olarak çalışmada kullanılacak betonarme kirişlerin tasarımı yaparak başlanılmıştır. Deneysel çalışmada 2 adet referans numune olmak üzere 3 farklı poli-propilen fiber oranına (%0,0; %0,5; %1,0) sahip ve 5 farklı (5 cm, 20 cm, 30 cm, 53 cm, 60 cm) bindirme boyuna sahip toplamda 11 adet betonarme kiriş numunesi üretilmiştir. Üretilen kirişlerdeki bindirme boyları Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modele uygun olarak tasarlanmış olup bu uzunluğunun alt ve üst sınırları denenmiştir. Üretilen betonarme kiriş numuneleri betonarme kiriş numunesinin üst yüzeyinin ortasında iki noktadan olmak üzere eksenel eğilme yükü (monotonik) testine tabii tutulmuştur.

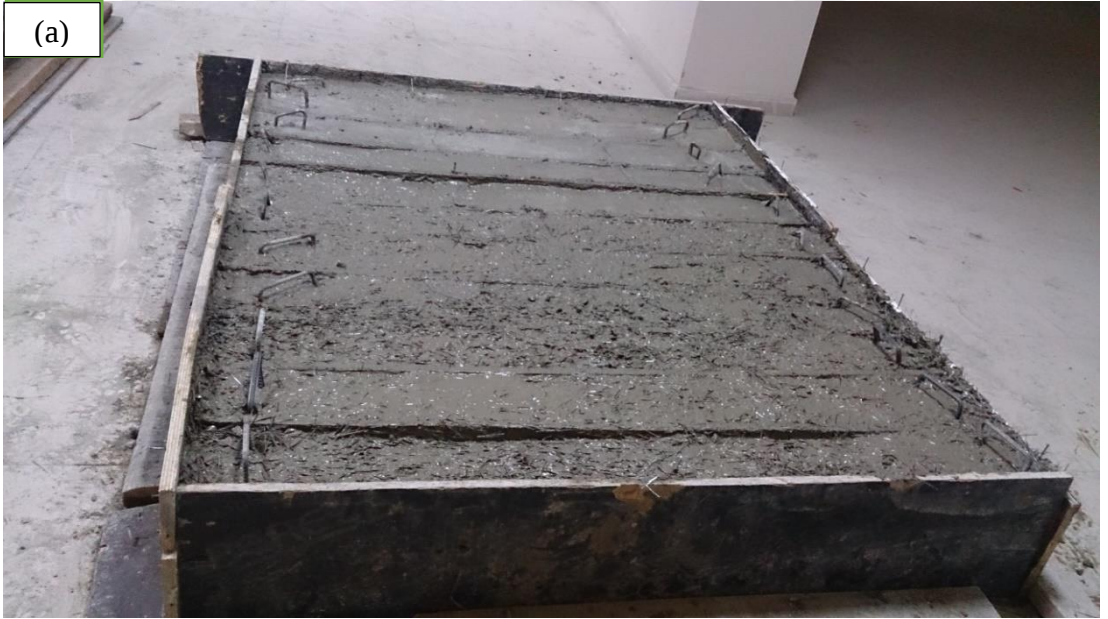
3.2.1. Beton karışımı, dökümü ve kürlenmesi

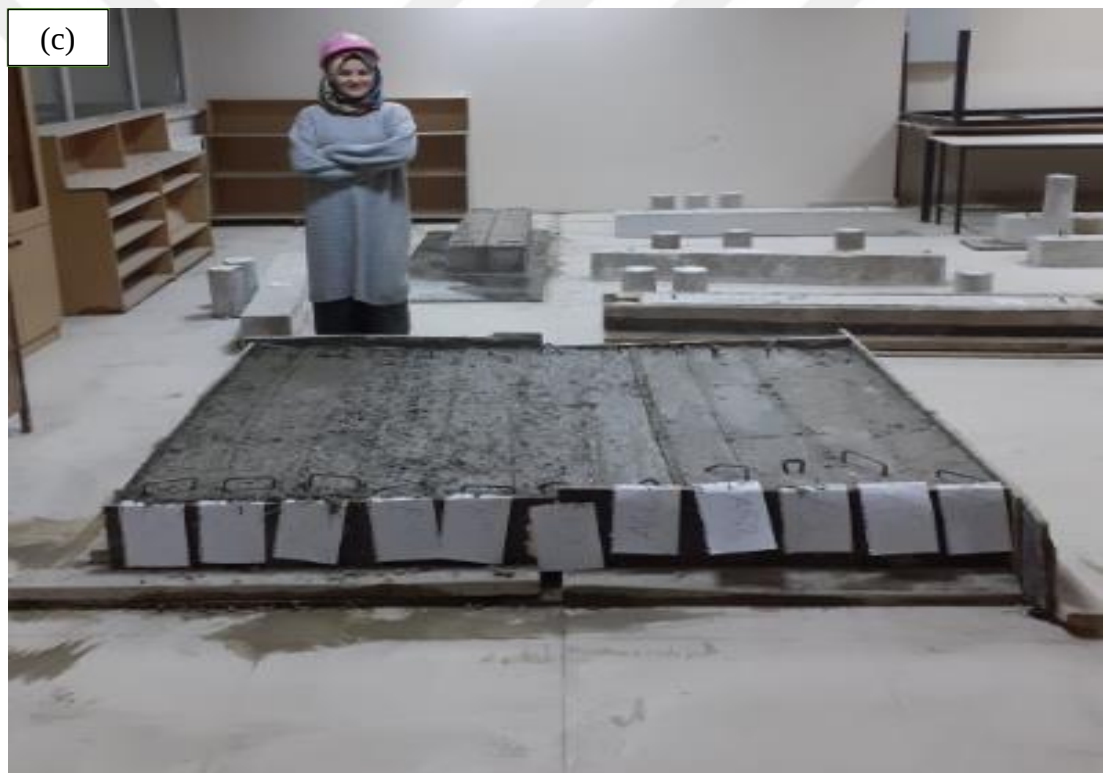
Deneysel betonarme kiriş numuneleri için piyasa şartlarından temin edilen C20 katkısız hazır beton kullanılmıştır. Nano sentetik (poli-propilen) elyafların (plastik fiberler) karışımı ise laboratuvar ortamında, geliştirilen deneysel tasarıma göre yapılmıştır. Temin edilen katkısız hazır beton mikserinden öncelikli olarak referans numunelerinin dökümü sağlanmıştır. Daha sonra beton mikserine her seferinde hacimsel oranı % 0,5 ve % 1,0 olacak şekilde nano sentetik (poli-propilen) elyaf (plastik fiber) karışımı yapılmıştır. Kalıplar, minimum 13 mm kalınlıkta eğilmez özelliğe sahip bir kontrplak kullanılarak yapılmış olup, kalıba hiçbir şekilde suyun girmemesi için birkaç kat su yalıtımı ile kaplanmıştır. Hem betonarme kiriş numuneleri hem de silindir ve küp numunelerin kalıpları, numunelerin kalıplarından bozulmadan çıkarılabilmesi için yağlanmıştır. Ayrıca hem betonarme kiriş numunelerinin hem de silindir/küp numunelerin iyice sıkıştırılması için yeterli vibratör işlemi uygulanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında dökülen numunelerden küp numuneler Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Beton dökümü sonrasında, hemen başlayan hidrasyon süreci açısından mevsimsel şartlar da dikkate alınarak betonarme kiriş numuneleri ve silindir/küp numuneler yeterince nemlendirilmiş polietilen çarşaflar ile kaplanmıştır. Sonraki 28 günlük kür süreci için de polietilen çarşafların nemlendirilmesi işlemi sulanmak suretiyle devam ettirilmiştir. Kürleme sırası ve sonrasında gerek betonarme

kiriş numuneler ve gerekse silindir/küp numuneler için, kalıpların açılması ve deneysel numunelerin çıkarılması işleminde literatürde kabul gören şartlar (ACAR, 2004) uygulanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonarme kiriş numuneleri Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Deneysel çalışma kapsamında dökülen küp numuneler



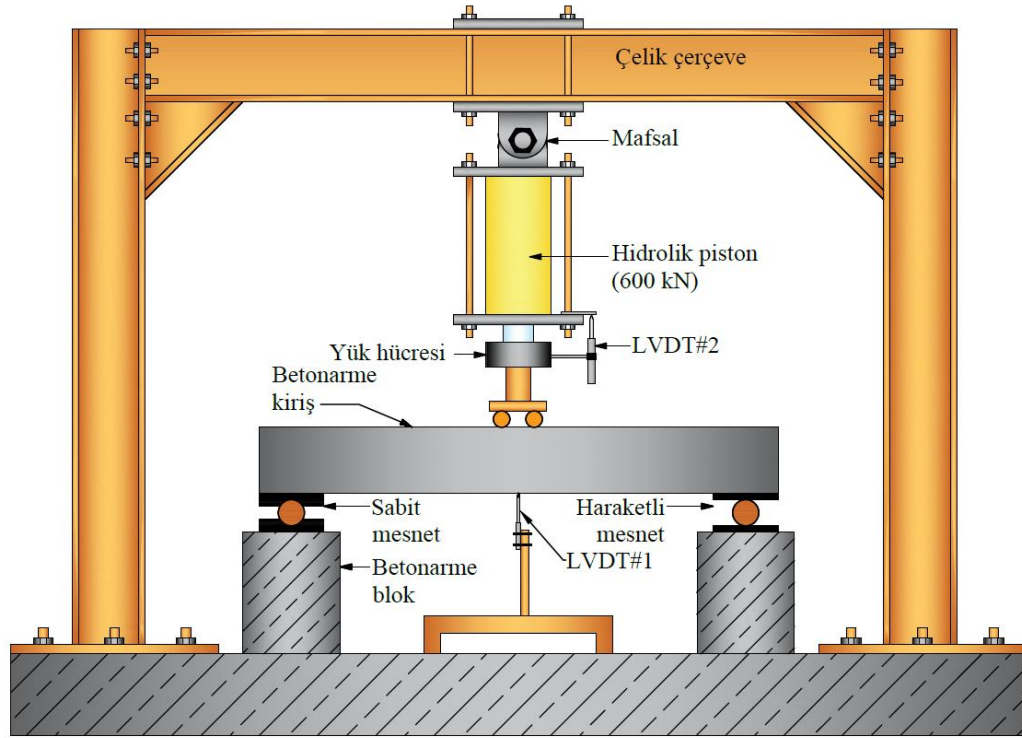




Şekil 3.7. (a), (b), (c), (d) Deneysel çalışma kapsamında üretilen betonarme kiriş numuneleri

3.2.2. Deneysel kurulum

Araştırmanın amacı doğrultusunda tasarlanan deneysel kurulum Şekil 3.8’de şematik olarak gösterilmektedir. Yükleme, betonarme kiriş numunesinin üst yüzeyinin ortasında 2 noktadan olmak üzere eksenel eğilme yükü (monotonik) olarak uygulanmıştır. Bir noktadan uygulanan yükleme çelik bir plaka aparatına kaynaklanmış 2 (iki) adet çelik silindir profil sayesinde 2 (iki) eşit noktaya dağıtılması sağlanmıştır. Böylece numunelerin mesnetleri de dâhil olmak üzere yükleme 4 (dört) noktadan yapılarak, tüm numunelerde aderans ve eğilme çatlaklarının oluşması amacıyla bağlı olarak bu iki noktaların arasında oluşacak eğilme momentlerinin sabit olması sağlanmıştır.



Şekil 3.8. Deneysel kurulum şematik gösterimi

Betonarme taşıyıcı elemanların birincil ve ikincil davranışlarının (aderans ve eğilme göçmesi modu) yansıtılabilmesi açısından, yük-deplasman ilişkilerinin ölçülebilmesi için betonarme kiriş numunelerinin merkezi (orta noktası) alt yüzeyine, yüklemeye doğrultusu ile aynı hizada olacak şekilde, 1 (bir) adet 100 mm'lik doğrusal değişken yer değiştirme ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir. Tek bir noktadan yapılacak eksenel basınç (monotonik yüklemeye) testlerinde 1 (bir) adet 60 ton (600 kN) kapasiteli hidrolik silindir ile hidrolik silindirin ön yüzüne vidalı 1 (bir) adet olan 60 ton (600 kN) kapasiteli yüklemeye hücresi kullanılmıştır.

Geliştirilen deneysel tasarım kapsamında betonarme kiriş numunelerindeki donatı çubukları; sadece çekme bölgesinde olmak üzere simetrik/sistemik olarak ve değişen ilave bindirme boylarına sahip olacak şekilde yerleştirilmiştir. Monotonik yüklemeye sistemine bağlı olarak eş-zamanlı ölçülen yük-deplasman ilişkisinden elastik ve elastik ötesi davranışlar, yük taşıma kapasitesi parametresine bağlı olarak analiz edilmiştir. Böylece geliştirilen deneysel tasarım kapsamında her bir deneysel numune için değişen ilave bindirme boylarının artırılan nano sentetik (poli-propilen) elyaf (plastik fiber) katkı malzemeleri ile birlikte değişen davranışın daha sağlıklı bir şekilde tahmin edilmesi sağlanmış olacaktır. Deneysel kurulum için betonarme kiriş numunelerine

yerleştirilen tüm ölçüm cihazları bir veri toplama sistemi (data-acquisition system) ile eř-zamanlı olarak ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

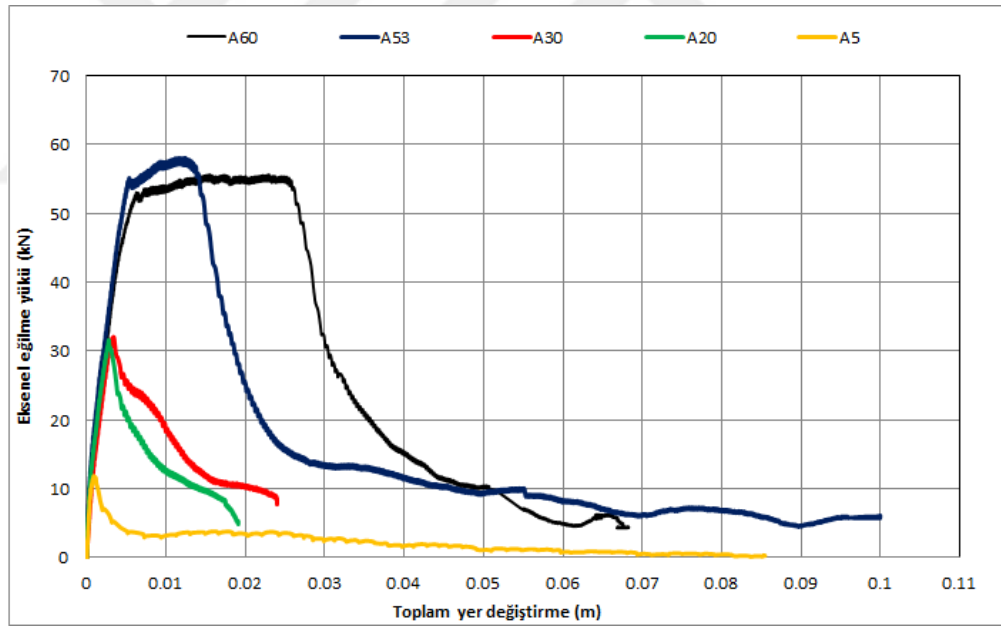
Çalışma kapsamında eğilme davranışının bindirme boyu üzerindeki etkilerinin daha sağlıklı bir şekilde anlaşılması için farklı poli-propilen (plastik lif) hacim oranlarına (% 0,0, % 0,5 ve % 1,0) ve farklı boyuna donatı bindirme boylarına sahip 11 adet kısa betonarme kiriş numuneleri dört noktadan eksenel eğilme testine tabi tutulmuştur. Üretilen betonarme kiriş numuneleri poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesinin % 0,0, % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında katkısına göre A, B ve C harfleri verilmiştir. Bu harflerin önüne gelen rakamsal alt indisler ise ilave bindirme boylarına göre isimlendirilmiştir. Deneysel çalışmada eksenel eğilme yükü her bir betonarme kiriş numunesine dört noktadan olacak şekilde orta noktasından etki ettirilmiştir ve yükleme monotonik olarak betonarme kiriş numunesi göçme moduna ulaşıncaya kadar devam ettirilmiştir. Betonarme kısa kirişlerde ilave bindirme boyuna poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesinin etkisi yapısal ve gözlemsel olarak analiz edilmiştir. Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından betonarme kirişler için önerilen model esas alınarak 53,0 cm olarak belirlenen ilave bindirme boyu ile 60,0 cm olarak sadece bir numunede olmak kaydıyla artırılan ilave bindirme boyuna sahip olan betonarme kiriş numuneleri referans numuneler kabul edilmiştir. 9 adet kalan diğer numunelerde 30,0; 20,0 ve 5,0 cm olmak üzere üç farklı değişken ilave bindirme boyları kullanılmıştır. % 0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesine sahip betonarme kiriş numuneleri de referans numuneler olarak kabul edilmiştir.

4.1. Yük-Deplasman İlişkisi

Farklı ilave bindirme boylarında üretilen, toplam beş adet % 0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesine sahip betonarme kısa kiriş numunelerinin monotonik eksenel eğilme etkisi altında elde edilen yük-deplasman ilişkisi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Şekil 4.1’den anlaşıldığı üzere referans numunelerde ilave bindirme boyunun azaltılması ile davranış (göçme modu) sünek karakterden gevrek bir davranışa geçmektedir. Şekil 4.1’den ayrıca ilave bindirme boyu 60,0 cm olarak seçilen A60 numunesi ele alındığında, Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modele göre 53,0 cm seçilen numunenin aslında yeterli rijitliğe sahip olmakla beraber yeterli süneklığe sahip olmadığı görülmektedir. Deneysel sonuçlara göre A60 ve A53

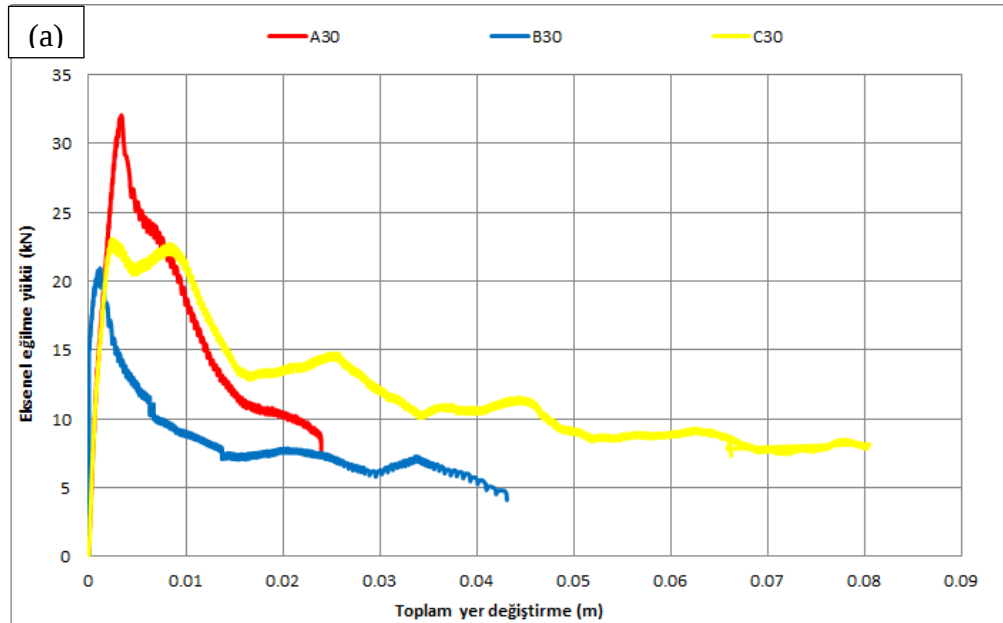
numunelerinin süneklik oranları % 44 oranında bir azalma farkıyla sırası ile 4.37 ve 2.46 m/m olarak hesaplanmıştır. Elastik kabul edilen birincil rijitlik bölgesinde referans numunelerinin rijitliği, ilave bindirme boyunun artmasına bağlı olarak, betonarme bir kiriş stabilitesi için gerekli olan talep yükünün azalması nedeni ile artmaktadır. A_{60} , A_{53} , A_{30} , A_{20} ve A_5 referans numunelerinin rijitlikleri sırası ile 8700,77; 9470,41; 10065,78; 11531,11; 11637,52 kN/m olarak hesap edilmiştir. Çalışma kapsamında en büyük ilave bindirme boyuna sahip olan A_{60} numunesine göre, en küçük ilave bindirme boyuna sahip A_5 numunesindeki rijitlik artışı % 34 oranında elde edilmiştir. Betonarme kiriş numunelerinin göçme moduna kadar olan enerji yutma kapasiteleri ise azaltılan ilave bindirme boyuna göre sırası ile 1906.91; 1076.18; 391.96; 279.96; 181.77 kN.m olarak hesap edilmiştir. Buna göre en büyük ilave bindirme boyuna sahip olan A_{60} numunesine göre, en küçük ilave bindirme boyuna sahip A_5 numunesinin enerji yutma kapasitesindeki azalma % 90 oranında elde edilmiştir.

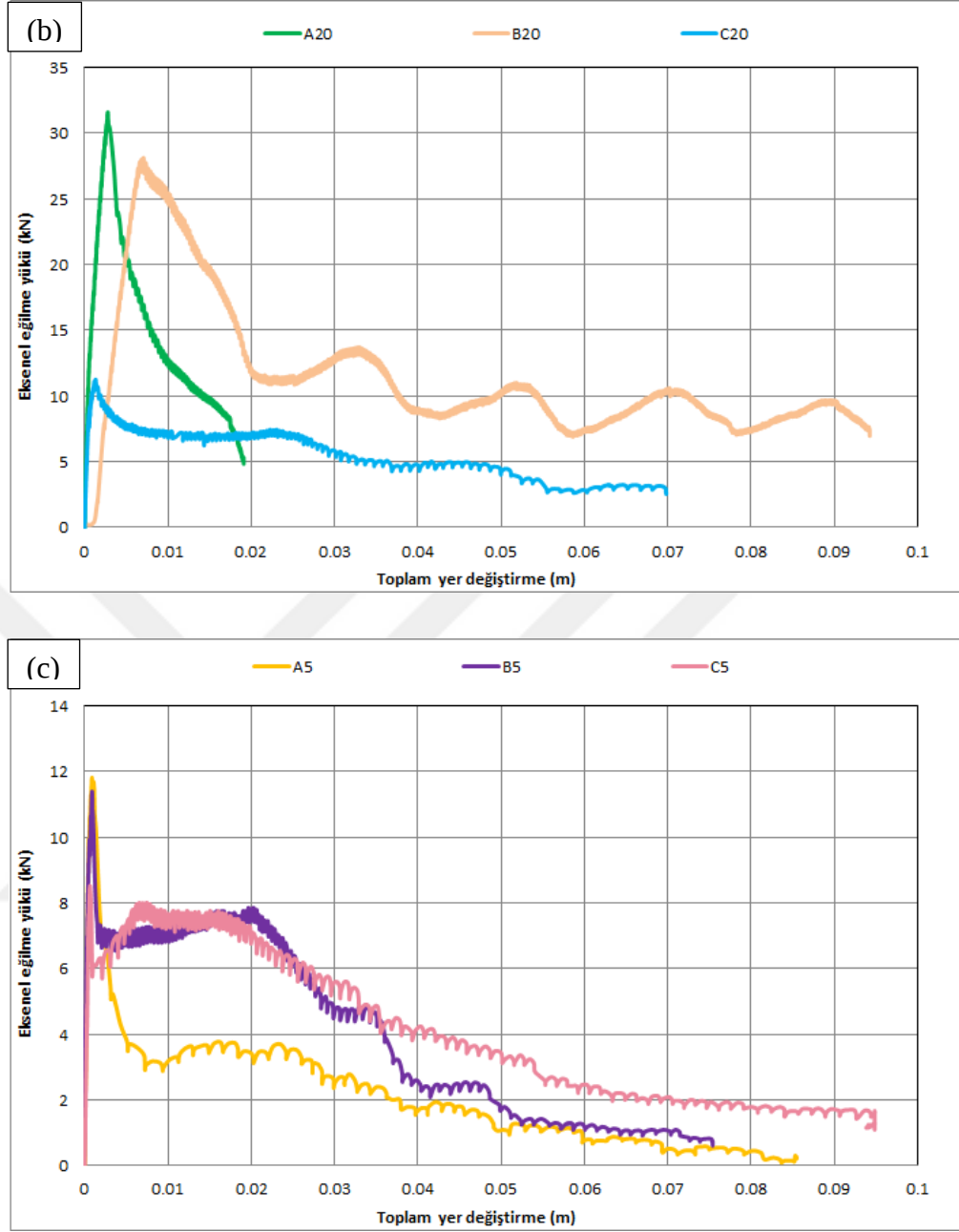


Şekil 4.1. Referans numunelerin yük-deplasman ilişkileri

% 0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesine sahip olan A_{30} , A_{20} ve A_5 referans numuneleri ile birlikte % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesine sahip B_{30} , B_{20} ve B_5 ve C_{30} , C_{20} ve C_5 isimli betonarme kiriş numunelerinin karşılaştırmalı olarak eksenel eğilme testi sonuçları ise Şekil 4.2’de verilmiştir.

Betonarme kiriş numuneleri için Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modele göre aynen alınan ve bir miktar artırılan ilave bindirme boyu açısından elde edilen sonuçlara göre ilave bindirme boyu azaltılmış olan diğer numunelerin A_{60} , A_{53} referans numuneleri ile karşılaştırılması söz konusu olmamıştır. Bu nedenle çalışma kapsamında yalnızca 30,0; 20,0 ve 5,0 cm bindirme boylarına ve % 0, % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesine sahip betonarme kirişlerin eksenel eğilme testi sonucunda elde edilen yük-deplasman ilişkilerinin kendi içerisinde tartışılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kirişlerde bindirme boyunun azaltılmasının yapısal olarak kesinlikle doğru olmadığı ve poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesinin 30,0 cm ilave bindirme boyuna sahip betonarme kiriş numunesi hariç olmak üzere, herhangi bir yapısal katkısının bulunmadığı anlaşılmıştır. Her ne kadar poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesi betonarme taşıyıcı elemanlarda özellikle köprüleme gibi karakteristik özelliği ile başlangıç çatlakları ile aderans çatlaklarının belirli bir bölgede kalmasını ve/veya kontrol altına alınmasını sağlayarak betonarme taşıyıcı elemanın yük taşıma kapasitesine devam ettirse de, özellikle 20,0 ve 5,0 cm ilave bindirme boyuna sahip betonarme taşıyıcı elemanlar için uygulamada yapısal açıdan herhangi bir katkı sağlamamıştır.





Şekil 4.2. % 0, % 0,5 ve % 1,0 plastik fiber katkılı numunelerin yük-deplasman ilişkileri
(a) $l_d = 30,0 \text{ cm}$; (b) $l_d = 20,0 \text{ cm}$; (c) $l_d = 5,0 \text{ cm}$

Şekil 4.2 (a)'da 30,0 cm ilave bindirme boyuna sahip olan % 0,0; % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numunelerinin eksenel eğilme testi sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen yük-deplasman ilişkisine göre yalnızca % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı numunenin davranışı sünek bir karaktere sahiptir. Genel olarak % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkısının yapısal açıdan herhangi bir iyileştirme sağlamadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca poli-propilen (plastik lif) katkısının betonarme kiriş numunesi için gerekli olan talep yükünde de bir azalmaya neden olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak, % 1,0 hacim

oranında poli-propilen (plastik lif) katkısının, azalan talep yüküne karşılık betonarme kiriş numunesinde sünek bir karakteri ortaya çıkardığını belirtmek gerekir. Şekil 4.2 (a)'daki yük-deplasman ilişkilerine göre her bir betonarme kiriş numunelerinin rijitlik miktarı ve enerji yutma kapasiteleri hesap edilmiştir. A₃₀, B₃₀ ve C₃₀ numunelerinin hesaplanan rijitlikleri sırasıyla 10065.78; 4049.22 ve 4480.65 kN/m'dir. 30,0 cm ilave bindirme boyuna sahip olan betonarme kiriş numunelerinde poli-propilen (plastik lif) katkısı, rijitlikte büyük bir azalmaya yol açmıştır. Rijitlikteki azalma % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı numunelerde sırası ile % 60 ve % 55 olarak hesap edilmiştir. 30,0 cm ilave bindirme boyuna sahip olarak üretilen % 0,0; % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numunelerinde enerji yutma kapasiteleri ise sırası ile 391.96; 360.24 ve 850.93 kN.m olarak hesap edilmiştir. Aynı şekilde betonarme kiriş numunesine özellikle % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesinin yapısal olarak herhangi bir iyileştirmesi olmamıştır. Ancak % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numunesinin enerji yutma kapasitesi, referans numuneye göre % 117 oranında artmıştır. Şekil 4.2 (b)'de 20,0 cm ilave bindirme boyuna sahip olan % 0,0; % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numunelerinin eksenel eğilme testi sonuçları karşılaştırılmıştır. Genel olarak elde edilen yük-deplasman ilişkisine göre tüm referans ve poli-propilen (plastik lif) katkılı numunelerin davranışı gevrek bir karaktere sahiptir. Bir önceki deneysel numune setinin aksine, % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkısının yapısal açıdan herhangi bir iyileştirme sağlamadığı buna karşılık % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkısının yapısal açıdan bir miktar iyileştirme sağladığı anlaşılmaktadır. Bu durum konunun poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesinin bilinen mekanik özellikleri açısından ele alındığında, bir tutarsızlık teşkil etmektedir. Aynı şekilde poli-propilen (plastik lif) katkısının betonarme kiriş numunesi için gerekli olan talep yükünde de bir azalmaya neden olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 4.2 (b)'deki yük-deplasman ilişkilerine göre her bir betonarme kiriş numunelerinin rijitlik miktarı ve enerji yutma kapasiteleri hesap edilmiştir. A₂₀, B₂₀ ve C₂₀ numunelerinin hesaplanan rijitlikleri sırasıyla 11531.11; 4635.05 ve 14047.63 kN/m'dir. 20,0 cm ilave bindirme boyuna sahip olan betonarme kiriş numunelerinde % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkısı, rijitlikte büyük bir azalmaya yol açarken, % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkısı rijitliği artırmıştır. Rijitlikteki azalma ve artış miktarı

% 0,5 ve %1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı numunelerde sırası ile % -60 ve % +22 olarak hesap edilmiştir. 20,0 cm ilave bindirme boyuna sahip olarak üretilen % 0,0; % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numunelerinde enerji yutma kapasiteleri ise sırası ile 279.96; 794.97 ve 377.88 kN.m olarak hesap edilmiştir. Betonarme kiriş numunesine özellikle % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesinin yapısal olarak herhangi bir iyileştirmesi olmamıştır. Ancak % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numunesinin enerji yutma kapasitesi, referans numuneye göre % 184 oranında artmıştır.

Şekil 4.2 (c)'de 5,0 cm ilave bindirme boyuna sahip olan % 0,0; % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numunelerinin eksenel eğilme testi sonuçları karşılaştırılmıştır. Genel olarak elde edilen yük-deplasman ilişkisine göre tüm referans ve poli-propilen (plastik lif) katkılı numunelerin davranışı gevrek bir karaktere sahiptir. Bir önceki deneysel numune setinde olduğu gibi ve ilk deneysel numune setinin aksine, % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkısının artan rijitlik miktarına karşılık daha az enerji yutma kapasitesi ile yapısal açıdan herhangi bir iyileştirme sağlamadığı buna karşılık % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkısının yalnızca enerji yutma kapasitesi açısından yapısal bir miktar iyileştirme sağladığı anlaşılmaktadır. Bu durum konunun poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesinin bilinen mekanik özellikleri açısından ele alındığında, bir tutarsızlık teşkil etmektedir. Aynı şekilde az miktarda da olsa, poli-propilen (plastik lif) katkısının betonarme kiriş numunesi için gerekli olan talep yükünde de bir azalmaya neden olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 4.2 (c)'deki yük-deplasman ilişkilerine göre her bir betonarme kiriş numunelerinin rijitlik miktarı ve enerji yutma kapasiteleri hesap edilmiştir. A₅, B₅ ve C₅ numunelerinin hesaplanan rijitlikleri sırasıyla 11410.39; 13019.14 ve 13378.33 kN/m'dir. 5,0 cm ilave bindirme boyuna sahip olan betonarme kiriş numunelerinde her iki % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkısı, rijitlikte artmaya neden olmuştur. Rijitlikteki artış miktarı % 0,5 ve %1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı numunelerde sırası ile % 14 ve % 17 olarak hesap edilmiştir. 5,0 cm ilave bindirme boyuna sahip olarak üretilen % 0,0; % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numunelerinde enerji yutma kapasiteleri ise sırası ile 181.77; 302.14 ve 266.04 kN.m olarak hesap edilmiştir. Betonarme kiriş numunesine % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif)

katkı malzemesinin yapısal olarak herhangi bir iyileştirmesi olmamıştır. Ancak % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numunesinin enerji yutma kapasitesi, referans numuneye göre % 66 oranında artmıştır.

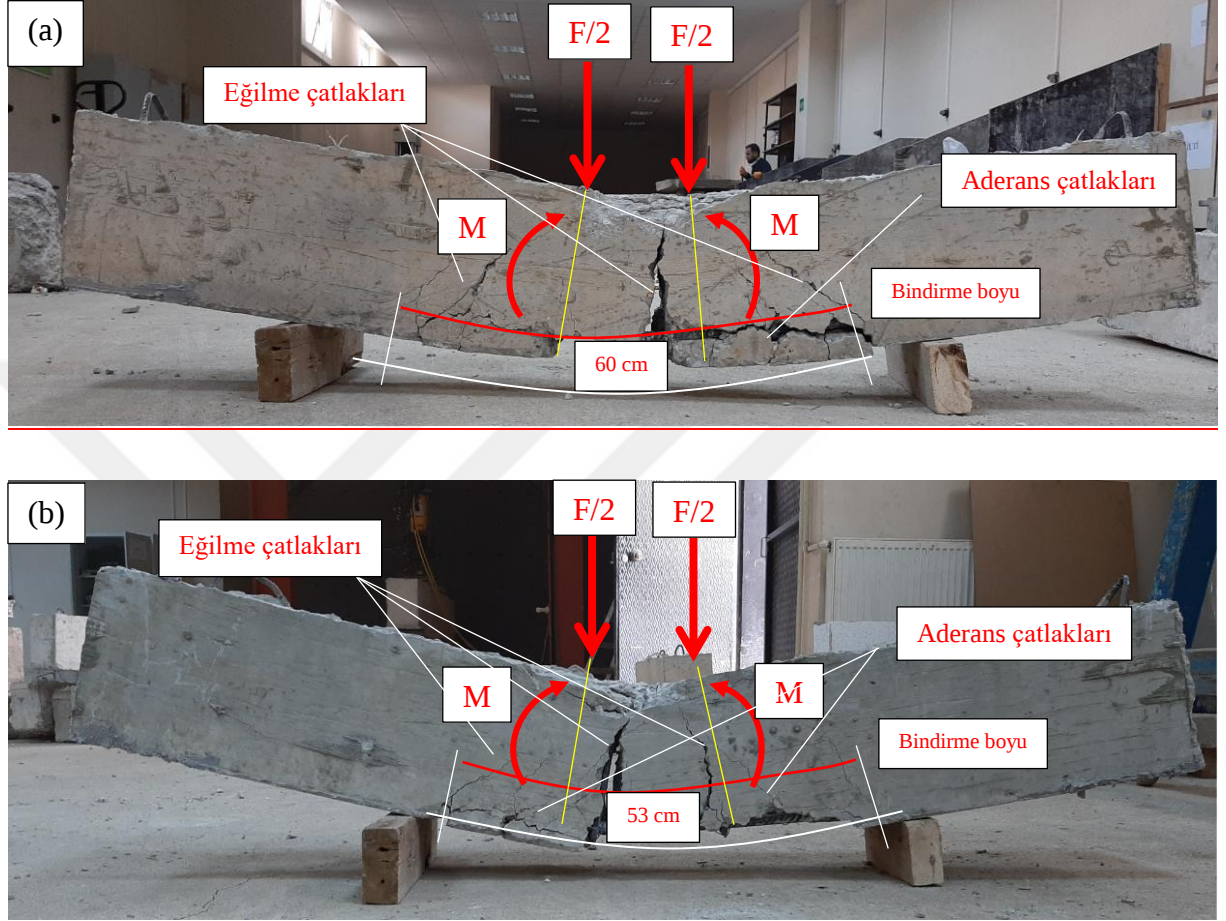
4.2. Gözlemsel Analiz

Araştırma kapsamında betonarme kısa kiriş numunelerde ilave bindirme boyuna poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesinin etkisi gözlemsel olarak analiz edilmiştir. Şekil 4.3’de eksenel eğilme testi sonucunda, ilave bindirme boyu $l_d = 60 \text{ cm}$ ile Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modele uygun $l_d = 53 \text{ cm}$ olarak tasarlanan referans numunelerinin göçme modları gösterilmiştir. Deneysel çalışmada yükleme programı dört noktadan yapılmış olup, Şekil 4.3’den görüleceği üzere yükün uygulandığı yüzeylerde, betonun maksimum birim şekil değiştirme miktarı aşıldığı için betonarme kiriş numunesinin basınç bölgesinde ezilmeler her iki deneysel numune için de gerçekleşmiştir. Betonarme kiriş numunesi üst yüzeyinden uygulanan eksenel eğilme yükünün en kısa yoldan mesnetlere iletilebilmesi kabulüne göre bilinen eğilme davranışı her iki numune için oluşmuştur.

Eksenel eğilme yükünün mesnetlere iletilmesi sırasında, artan monotonik yüklemeye bağlı olarak ve herhangi bir poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesi bulunmadığı için deneysel numunede sınırlı sayıda aderans ve eğilme çatlakları ortaya çıkmıştır ve gelişmiştir. Üretilen deneysel numunelerde sınır şartları basit kiriş kabulüne (sınır şartları olarak mesnetlerden birisi sabit iken diğer mesnet hareketli olarak kabul edilmektedir) göre yapılmıştır. Dolayısı ile deneysel betonarme kirişlerde sabit mesnet bölgesinde yalnızca dönme hareketi meydana gelirken hareketli mesnet bölgesinde ise hem dönme hareketi ve hem de yatay doğrultuda yer değiştirme hareketi meydana gelmektedir.

Şekil 4.3’den de görüldüğü gibi, ilave bindirme boyunun, Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modele göre artırılmasının başlangıç rijitliğini ortalama % 9,0 oranında azaltmasına bağlı olarak, ilave bindirme boyu $l_d = 60 \text{ cm}$ olarak tasarlanan referans numunesinde aderans çatlakları yalnızca sabit mesnet bölgesinde oluşurken, Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modele uygun $l_d = 53 \text{ cm}$ olarak tasarlanan referans numunesinde ise aderans çatlakları eksenel eğilme yük bölgesinin her iki tarafında da meydana gelmiştir. İlave bindirme boyunun, Esfahani ve Kianoush

(2005) tarafından önerilen modele göre artırılmasının başlangıç rijitliğini ortalama % 9,0 oranında azaltmasına karşılık, ikincil rijitlik bölgesindeki süneklik oranını ise % 44,0 oranında artırmıştır.



Şekil 4.3. Referans numunelerinin göçme modu (a) $l_d = 60 \text{ cm}$; (b) $l_d = 53 \text{ cm}$

Gözlemsel açıdan yapılan araştırmalardan ayrıca ilave bindirme boyunun her ne kadar yeterli rijitlik ve yeterli süneklik koşulu sağlansa da aderans gerilmelerinin aşılmasına bağlı olarak pas payını parçaladığı sonucu da elde edilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlara bağlı olarak, göçme modunda enerji yutma kapasitesinde ortalama % 44,0 oranında belirgin artıştan dolayı, ilave bindirme boyu için Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modelin üst sınır açısından revize edilmesi gerektiği savunulmaktadır.

Şekil 4.4'de $l_d = 30 \text{ cm}$ ilave bindirme boyuna sahip olan ve sırasıyla % 0,0; % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı deneysel betonarme kiriş numunelerinin göçme modları gösterilmiştir. Deneysel ölçülen yük-deplasman

ilişkisinde de belirtildiği gibi elde edilen göçme modu paternine göre, her ne kadar deneysel kiriş numunelerinde eğilme çatlakları oluşmuş ve gelişmiş olsa da, 30,0 cm ilave bindirme boyuna sahip deneysel kiriş numunelerinin davranışı, % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı deneysel numune hariç olmak üzere, gevreklerdir. Katkısız deneysel kiriş numunesine göre, % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı deneysel kiriş numunesinde başlangıç rijitliği % 55 oranında düşmesine rağmen enerji yutma kapasitesi ise % 117 oranında artmıştır. Şekil 4.4'den de anlaşılacağı üzere, 30,0 cm'lik ilave bindirme boyuna ve gevrek bir karakteristiğe sahip olan deneysel numune, ancak % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesi sayesinde ve herhangi bir şekilde aderans gerilmesi de aşılmaksızın, sünek bir özelliğe sahip olmuştur. Yürütülen araştırma kapsamında elde edilen bu sonuca göre, Esfahani ve Kianoush (2005) tarafından önerilen modelde betonarme kiriş elemanları için ilave bindirme boyunun, uygulama ve işlenebilirlik açısından uygun % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesi ile iyimser olarak % 50 oranında azaltılabileceği savunulmaktadır.



Şekil 4.4. $l_d = 30 \text{ cm}$ bindirme boyuna sahip numunelerinin göçme modu

Şekil 4.5’de $l_d = 20 \text{ cm}$ ilave bindirme boyuna sahip olan ve sırasıyla % 0,0; % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı deneysel betonarme kiriş numunelerinin göçme modları gösterilmiştir. Deneysel ölçülen yük-deplasman ilişkisinde de belirtildiği gibi elde edilen göçme modu paternine göre, her ne kadar deneysel kiriş numunelerinde eğilme çatlakları oluşmuş ve gelişmiş olsa da, 20,0 cm ilave bindirme boyuna sahip deneysel kiriş numunelerinin davranışı gevrekçidir. Katkisız deneysel kiriş numunesine göre, % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı deneysel kiriş numunesinde başlangıç rijitliği % 60 oranında düşmesine rağmen enerji yutma kapasitesi ise % 184 oranında artmıştır. Şekil 4.5’den de anlaşılacağı üzere, 20,0 cm’lik ilave bindirme boyuna ve gevrek bir karakteristiğe sahip olan deneysel numune, ilk gruptan farklı bir anlayışa sahip olarak, yalnızca % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesi sayesinde ve herhangi bir şekilde aderans gerilmesi de aşılmaksızın, sünek bir özelliğe sahip olmuştur.



Şekil 4.5. $l_d = 20 \text{ cm}$ bindirme boyuna sahip numunelerinin göçme modu



Şekil 4.6. $l_d = 5 \text{ cm}$ bindirme boyuna sahip numunelerinin göçme modu

Şekil 4.6’da $l_d = 5 \text{ cm}$ ilave bindirme boyuna sahip olan ve sırasıyla % 0,0; % 0,5 ve % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı deneysel betonarme kiriş numunelerinin göçme modları gösterilmiştir. Deneysel ölçülen yük-deplasman ilişkisinde de belirtildiği gibi elde edilen göçme modu paternine göre, her ne kadar deneysel kiriş numunelerinde eğilme çatlakları oluşmuş ve gelişmiş olsa da, 5,0 cm ilave bindirme boyuna sahip deneysel kiriş numunelerinin davranışı gevrektiler. Katkisız deneysel kiriş numunesine göre, başlangıç rijitliği % 1,0 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı deneysel kiriş numunesinde % 17 oranında ve enerji yutma kapasitesi ise % 0,5 hacim oranında poli-propilen (plastik lif) katkılı deneysel kiriş numunesinde % 66 oranında artmıştır. İlave bindirme boyu çok küçük olarak tasarlanan bu grup deneysel setinde yapısal açıdan sağlıklı bir sonucun elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Şekil 4.6’dan ayrıca anlaşılacağı üzere, 5,0 cm’lik ilave bindirme boyuna ve gevrek bir karakteristiğe sahip olan deneysel numune, ilk gruptaki anlayışa uygun olarak, yalnızca % 1,0 hacim oranındaki poli-propilen (plastik lif) katkı malzemesi sayesinde ve herhangi bir şekilde aderans gerilmesi de aşılmaksızın, sünek bir özelliğe sahip olmuştur.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, çeşitli gereksinimlerden dolayı uygulamada kullanılması söz konusu olan ilave bindirme boyunun eğilme davranışı üzerindeki etkilerinin daha sağlıklı bir şekilde anlaşılması için poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kısa kiriş numuneleri farklı poli-propilen (plastik lif) hacim oranlarına (% 0,0; % 0,5; % 1,0) ve farklı ilave boyuna donatı bindirme boylarına sahip olarak dört noktadan monotonik eksenel eğilme testine tabi tutulmuştur. Poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kısa kirişler üzerinde yürütülen deneysel çalışmadan ölçülen veya hesap edilen deneysel verilerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Betonarme taşıyıcı kiriş elemanlarında ilave bindirme boyu için literatürde minimum alt sınır olarak önerilen modellerin hem yeterli rijitlik hem de yeterli süneklik açısından iyimser yönde ortalama % 10,0 oranında artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Buna karşılık betonarme taşıyıcı kiriş elemanlarının poli-propilen (plastik lif) katkılı olarak üretilmesi durumunda ise bu oranın uygulamada işlenebilirlik ve fabrikasyonu için % 1,0 oranında kullanılması ön görülmektedir. Bu durumda uygulanacak ilave bindirme boyunun yapı elemanı talep yükü, yeterli rijitlik, yük taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi açısından ancak % 50,0 oranında azaltılabileceği savunulmaktadır. Farklı hacim oranlarında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş numuneleri için daha düşük ilave bindirme boyu uygulamasının, etkiyen dış yüklerin kesitten kesite aktarılması sırasında yetersiz aderans gerilmelerine bağlı olarak yapı talep yükündeki ani düşüşten dolayı göçme modunda gerçekleşen gevrek davranış nedeniyle doğru olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın ileride yapılacak olan araştırmalara ışık tutması için kısıtlı yönleri ile birlikte ön görülen öneriler ise aşağıda özetlenmiştir.

Yürütülen bu araştırma kapsamında deneysel betonarme kiriş numuneleri kısa kiriş olarak üretilmiştir. Mevcut kabul görmüş yönetmeliklere göre her ne kadar uygun kesme açıklığı ile etkili derinlik oranına göre tasarlanmış olsa da, betonarme kısa kirişlerin hâlihazırda gevrek davranış sergileyebileceği ihtimalinden dolayı, beklenti doğrultusunda betonarme kirişlerde özellikle eğilme davranışının sağlanabilmesi için deneysel çalışmaların tam-ölçekli deneysel numuneler ile yapılması, bu konudaki tartışmalar için daha sağlıklı sonuçlar verebilir. Ayrıca bu çalışmada katkısız betonarme

kısa kiriş elemanları için literatürde minimum alt sınır olarak önerilen ilave bindirme boyunun % 10,0 oranında artırılması savunulurken, bu oranın arada kalan oranları için ilave deneysel çalışmalar yürütülmemiştir. Bu konuda daha sağlıklı bir tartışmanın yapılabilmesi için tam-ölçekli betonarme kirişlerde boyuna donatılardaki ilave bindirme boyunun tercihen artırılması önerilmektedir. Aynı durum farklı hacim oranlarında poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş elemanları için de geçerlidir. Poli-propilen (plastik lif) katkılı betonarme kiriş elemanlarında ilave bindirme boyunun, yapılacak olan tartışmaların daha sağlıklı olabilmesi için tercihen azaltılması da önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Acar, A. (2004). “Proje okuma, kalıp hazırlama, demir bağlama ve beton kurs notları”, **TMMOB İzmir Şubesi Yayınları**, İzmir.
- Altun, F. ve Aktas, B. (2013). “Investigation of reinforced concrete beams behaviour of steel fibre added lightweight concrete”, **Construction and Building Materials**, 38, 575-581.
- Altun, F., Yılmaz, C., Durmuş, A. ve Arı, K. (2006) “Çelik Lif Katkılı Ve Katkısız Betonarme Kirişlerin Basit Eğilme Ve Patlama Yükleme İle Davranışlarının İncelenmesi”, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi**, 22(1-2), 112-120.
- ASTM C 39-01. (2001). “Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens”, Annual book of ASTM standards, **American Society for Testing and Materials**, Philadelphia.
- Balaguru, P., Narahari, R. and Patel, M. (1992). “Flexural toughness of steel fibre reinforced concrete”, **American Concrete Institute Materials Journal**, 89 (6), 41-546.
- Banthia, N. and Sheng, J. (1996). “Fracture toughness of micro-fibre reinforced cement composites”, **Cement and Concrete Composites**, 18, 251-269.
- Banthia, N., Gupta, R. and Mindess, S. (2004). “Developing crack resistant SFRC overlay materials for repair applications” **NSF Conference**.
- Banthia, N. and Gupta, R. (2004). “Hybrid fibre reinforced concrete: fibre synergy in high strength matrices”, **Materials and Structures**, 37 (274), 707-716.
- Bilim, C. ve Kara, İ.F. (2018) “Çelik Lifin Ultra Yüksek Dayanımlı Harçların Mekanik Özelliklerine Etkisi”, **Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 7, 751-756.
- Bindiganavile, V. and Banthia, N. (2001). “Polymer and steel fibre reinforced cementitious composites under impact loading, Part 1: Bond-slip response”, **American Concrete Institute Materials Journal**, 98 (1), 10-16.
- Campione, G. and Mangiavillano, ML. (2008) “Fibrous reinforced concrete beams in flexure: experimental investigation, analytical modelling and design considerations”, **Engineering Structures**, 30:2970, 80.
- Cenan, H., Eray, M., Hussain, B. and Belloa, J. (2015). “Flexural behaviour of lightly and heavily reinforced steel fibre concrete beams”, **Construction and Building Materials**, 98, 185-193.
- Chiaia, B., Fantilli, AP. and Vallini, P. (2007). “Evaluation of minimum reinforced ratio in FRC members and application to tunnel linings”, **Materials and Structures**, 40, 593-604.

- Chun LB, Sung KJ, Sang KT and Chae ST. (2008) “A study on the fundamental properties of concrete incorporating pond-ash in Korea”, ***Proceedings of the 3rd International conference on the sustainable concrete technology and structures sustainable concrete technology and structures in local climate and environmental conditions, Vietnam***, 401–08.
- Daniel, JI. and Shah SP. (1994). “Fibre reinforced concrete: Developments and innovations”, ***American Concrete Institute Materials Journal***, 42, 234-251.
- Esfahani, MR. and Kianoush, MR. (2005). “Development/ splice length of reinforcing bars”, ***American Concrete Institute Structural Journal***, 102(1), 187–214.
- Ghalehnovi, M., Karimipour, A. and Brito A. (2019). “Influence of steel fibres on the flexural performance of reinforced concrete beams with lap-spliced bars”, ***Construction and Building Materials***, 229:116853.
- Gonzalo, SDU. and Zanuy, C. (2017). “Enhancement of impact performance of reinforced concrete beams without stirrups by adding steel fibres”, ***Construction and Building Materials***, 145 (1), 166-182.
- Hawileh, RA., Nawaz, W. and Abdalla, JA. (2018). “Flexural behaviour of reinforced concrete beams externally strengthened with hardwire steel-fiber sheets”, ***Construction and Building Materials***, 172, 562-573.
- Kim, DJ., Naaman, AE. and El-Tawil, S. (2008). “Comparative flexural behaviour of four fibre reinforced cementitious composites”, ***Cement and Concrete Composites Journal***, 30, 917-928.
- Korkut, F., Türkmenoğlu, Z.F., Taymuş, R.B. ve Güler, S. (2017) “Çelik ve Sentetik Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi”, ***Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 6, 560-570.
- Lee, JY., Shin, HO., Yoo, DY. and Yoon, YS. (2018). “Structural response of steel-fibre-reinforced concrete beams under various loading rates”, ***Engineering Structures***, 156, 271-283.
- Li, S., Liu, Z., Lu, Y. and Zhu, T. (2017). “Shear performance of steel fibres reinforced self-confinement and self-compacting concrete-filled steel tube stub columns”, ***Construction and Building Materials***, 147, 758-775.
- Luccioni, B., Isla, F., Codina, R., Ambrosini, D., Zerbino, R., Giaccio, G. and Torrijos, MC. (2017). “Effect of steel fibres on static and blast response of high strength concrete”, ***International Journal of Impact Engineering***, S0734–743, 30056-30062.
- McCormac, JC. and Brown, RH. (2014). “Design of reinforced concrete”, ***Wiley& Sons***, New York.
- Meda, A., Minelli, F. and Plizzari, GA. (2012). “Flexural behaviour of RC beams in fibre reinforced concrete”, ***Composites Part B: Engineering***, 43, 2930-2937.

- Mertol, HC., Baran, E. and Jibril Bello H. (2015). "Flexural behaviour of lightly and heavily reinforced steel fibre concrete beams", *Construction and Building Materials*, 98, 185-193.
- Issa, M. S., Metwally, I. M. and Elzeiny, S. M. (2011). "Influence of fibres on flexural behaviour and ductility of concrete beams reinforced with Gfrp rebars", *Engineering Structures*, 33, 1754-1763.
- Naaman, AE. and Reinhardt, HW. (1996). "High-performance fibre reinforced concrete", *Second International RILEM Workshop, E & FN Spon*, London.
- Ocean Concrete Products and Ocean Heidelberg Cement Group. (1999) "Steel Fibre Reinforcement", *Working Together to Build Our Communities Report, USA*.
- Özcan, D., Vekli, M. ve Altun, F. (2002) "Betonarme Kiriş Elemanlarda Çelik Lif Katkısının Taşıma Gücüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi", *Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Ankara, 205-212.
- Parker, F. (1974). "Steel fibrous concrete for airport pavement applications", *Technical Report 5-74-12, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS*.
- Patil, SP. and Sangle KK. (2016). "Tests of steel fibre reinforced concrete beams under predominant torsion", *Journal of Building Engineering*, 6, 157-162.
- Patil, SP. and Single, KK. (2016). "Tests of steel fibre reinforced concrete beams under predominant torsion and bending", *Journal of Building Engineering*, 352–7102, 30013-30014.
- Rahdar, HA. and Ghalehnovi, M. (2016). "Post-cracking behaviour of UHPC on the concrete members reinforced by steel rebar", *Computers and Concrete is An International Journal*, 18, 139-154.
- Roesler, JR., Altoubat, SA., Lange, DA., Rieder, KA. and Ulreich GR. (2006). "Effect of synthetic fibres on the structural behaviour of concrete slabs-on-ground", *American Concrete Institute Materials Journal*, 103 (1), 3-10.
- Safdar, M., Matsumoto, T. and Kakuma, K. (2016). "Flexural behaviour of reinforced concrete beams repaired with ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC)", *Composite Structures*, 263–8223(16): 31784-6.
- Sofi, A. and Dr. Phanikumar, B.R. (2015) "An experimental investigation on flexural behaviour of fibre-reinforced pond ash-modified concrete. Department of Civil Engineering", *Ain Shams Engineering Journal*, 6, 1133-1142.
- Sorelli, LG., Meda, A. and Plizzari, GA. (2006). "Steel fibre concrete slabs on the ground: a structural matter", *American Concrete Institute Structural Journal*, 103, 551-558.

- Soutsos, MN., Le, TT. and Lampropoulos AP. (2012). “Flexural performance of fibre reinforced concrete made of steel and synthetic fibres”, ***Construction and Building Materials***, 36, 704-710.
- TS 500. (2002). “Requirements for design and construction of reinforced concrete structures”, ***Turkish Institute of Standards***, Ankara.
- TS 708. (2010). “Steel for the reinforcement of concrete—Reinforcing steel”, ***Turkish Standard Institution***, Ankara.
- Weiss, WJ. and Shah, SP. (1997). “Recent trends to reduce shrinkage cracking in concrete pavements”, ***Airfield Pavement Conference, Aircraft/Pavement Technology: In the Midst of Change***, 217-228.
- Whitney, CS. (1942). “Plastic theory of reinforced concrete design”, ***Transactions of the American Society of Civil Engineers***, 107, 251–326.
- Yang, JM., Min, KH., Shin, HO. and Yoon YS. (2012). “Effect of steel and synthetic fibres on flexural behaviour of high strength concrete beams reinforced with FRP bars”, ***Composites Part B: Engineering***, 43 (3), 1077-1086.
- Yoo, DY., Yoon, YS. and Banthia, N. (2015). “Predicting the post-cracking behaviour of normal- and high-strength steel-fibre-reinforced concrete beams”, ***Construction and Building Materials***, 93, 477-485.

ÖZGEÇMİŞ

Merve KORKMAZ, 26.07.1994 tarihinde Erzincan’ da doğdu. İlköğretimini Salih Erkan ilköğretim okulunda, ortaöğretimini Erzincan Lisesi’ nde okuyarak 2012 yılında liseden mezun oldu. 2012 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesinin Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. Bölümünü 2017 yılında bölüm üçüncüsü olarak tamamladığı yılında kendi üniversitesinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Mezun olduktan sonra Erzincan İl Milli Eğitim Müdürlüğü İnşaat Emlak Birimi’ nde Haziran 2017-Mayıs 2018 tarihleri arasında inşaat mühendisi olarak görev yaptı.

