

YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK LİF KATKILI BETONARME DEĞİŞKEN KESİTLİ KİRİŞLERİN MEKANİK DAVRANIŞI

Mehmet Eren GÜLŞAN¹ (ORCID: 0000-0002-8991-0363)*

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye

Geliş / Received: 03.09.2018
Kabul / Accepted: 14.12.2018

ÖZ

Bu çalışmada, yüksek mukavemetli kendiliğinden yerleşen beton ve belirli miktarda çelik lif muhteva eden prizmatik ve değişken kesitli kirişlerin mekanik davranışı irdelenmiştir. Çalışma için 4'ü prizmatik ve 4'ü değişken kesitli olmak üzere 8 adet kiriş üzerinde yükleme testleri gerçekleştirilmiştir. Kirişlerdeki değişkenler kiriş geometrisi, çelik lif katkısı ve etriye donatısıdır. Değişken kesitli kirişlerin eğimi yaklaşık olarak 10°'dir. Kirişlerdeki çelik lif oranları % 0 ve % 0.5'dir. Yükleme testleri 4 noktadan yükleme ile gerçekleştirilmiştir. Yükleme testleri süresince yük, deplasman değerleri ölçülmüş, çatlak oluşum ve yayımları takip edilmiştir. Deneysel sonuçlar çelik lif katkısının yüksek mukavemetli değişken kesitli kirişler üzerinde hem yük taşıma kapasitesi; hem de deplasman yapabilme özellikleri açısından olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Deney sonuçları çelik lif katkısının yüksek mukavemetli etriyesiz prizmatik ve değişken kesitli kirişler üzerindeki etkisinin benzer özellikteki normal mukavemetli kirişlere nazaran daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, sonuçlar % 0.5 veya daha fazla miktardaki çelik lif katkısının yüksek mukavemetli değişken kesitli kirişlerde etriye donatısı yerine tercih edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Değişken kesitli kiriş, prizmatik kiriş, yüksek mukavemet, çelik lif, yük taşıma kapasitesi

MECHANICAL BEHAVIOR OF HIGH STRENGTH REINFORCED CONCRETE HAUNCHED BEAMS CONTAINING STEEL FIBER

ABSTRACT

In this study, mechanical behavior of prismatic and haunched beams which contain high strength self compacting concrete and specified amount of steel fibers is investigated. Totally 8 beams, 4 of them are prismatic and remaining 4 of them haunched, are loaded experimentally for the study. Parameters for the beams are geometry of beams, addition of steel fiber and stirrups. Inclination angle of the haunched beams is nearly 10°. Steel fiber amounts are % 0 and % 0.5 in the beams. Loading tests were implemented via four point loading test. During loading tests, load, deflection values were measured, formation and propagation of the cracks were followed. Experimental results indicate that addition of steel fiber affects both load capacity and deflection capacity of high strength reinforced concrete haunched beams positively. The experimental study resulted that addition of steel fiber has much more effect on the reinforced concrete high strength prismatic and haunched beams as compared to the normal strength beams having similar properties. Moreover, the results show that addition of steel fiber in the amount of % 0.5 or more can be preferred instead of stirrups for the high strength reinforced concrete haunched beams.

Keywords: Haunched beam, prismatic beam, high strength, steel fiber, load capacity

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: 0342 317 24 21; e-mail / e-posta: gulsan@gantep.edu.tr

YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK LİF KATKILI BETONARME DEĞİŞKEN KESİTLİ KİRİŞLERİN MEKANİK DAVRANIŞI

1. GİRİŞ

Değişken kesitli betonarme kirişler, genellikle endüstriyel yapılarında ve köprülerde tercih edilen; ancak ağırlığının ve hacminin prizmatik kirişlere nazaran daha az olmasından ötürü betonarme yüksek yapılarda da kullanılan önemli yapı elemanlarıdır. Değişken kesitli kirişler ağırlık/mukavemet oranı açısından prizmatik kirişlere göre daha avantajlı bir durumdur. Bu durumdan ötürü, değişken kesitli betonarme kirişlerin mekanik davranışı literatürdeki bazı çalışmalar vasıtası ile araştırılmıştır.

Değişken kesitli betonarme kirişler ile ilgili ilk deneysel çalışma Debaiky ve Elniema tarafından gerçekleştirilmiştir [1]. Araştırmacılar bu çalışmayla kirişin eğim açısının, betonun ve çekme bölgesindeki donatının yük taşıma kapasitesine katkısını etkilediğini ispatlamışlardır. Elniema başka bir çalışmada tablalı değişken kesitli betonarme kesitleri araştırmıştır [2]. Bu çalışma, mekanik davranış ve yük taşıma kapasitesi bakımından tablalı ve dikdörtgen kesitli değişken kesitli kirişlerde çok önemli bir fark olmadığını ortaya koymuştur. Stefanou [3], Tena vd. [4], Macleod ve Houmsi [5] bir ve iki türdeki değişken kesitli kiriş üzerinde yaptıkları çalışmalar neticesinde eğimin belli bir değere kadar artmasının kirişlerin yük taşıma kapasitelerini ve sünekliklerini arttırdığı sonucuna varmışlardır. Nghiep, etriyesiz değişken kesitli kirişlerin tasarımı üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir ve kirişteki eğimin kesme yükü taşıma kapasitesine büyük bir etkisi olduğunu belirtmiştir [6]. Orr vd. çeşitli kiriş tasarım yöntemlerine dayanarak ürettikleri değişken kesitli kirişlerin deneysel sonuçlarını dikkate alarak, bu kirişler için en uygun tasarım yöntemini araştırmışlardır [7]. Carlos vd. etriyesiz değişken kesitli kirişler üzerinde yorulma testleri gerçekleştirmişlerdir [8]. İlgili testler bu kirişlerin belirli bir yorulma dayanımlarının olduğunu; kırılmaların ise kesme yorulması ve donatı yorulması kaynaklı olmak üzere 2 türde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Hans vd. [9] değişken kesitli kirişlerin ve Tena vd. [10] etriyeli değişken kesitli sürekli kirişlerin döngüsel yükler altındaki mekanik davranışlarını araştırmışlardır. İlgili araştırmalar sonucunda değişken kesitli kirişlerin döngüsel yüklere olan tepkisinin prizmatik kirişlere nazaran farklı olduğu ve değişken kesitli kirişlerin deformasyon yapma ve enerji emme kapasitelerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Hou vd. değişken kesitli betonarme kirişlerdeki kesme kırılması mekanizmasını detaylı bir şekilde incelemiştir ve çekme donatısının kiriş eğiminden dolayı eğilmesinin yük taşıma kapasitesine olumsuz etkisi olduğunu tespit etmiştir [11]. Albegmprli, çalışmada 3 farklı türde değişken kesitli betonarme kiriş üretmiş ve çekme, basınç ve etriye donatılarının her bir kiriş türündeki etkisini ayrı ayrı incelemiştir [12]. Albegmprli, mekanik davranış açısından en dezavantajlı kiriş türünün kiriş eğimi çekme bölgesinde olan değişken kesitli kirişler olduğu sonucuna varmıştır.

Çelik lifler son yıllarda betonarme yapı elemanlarında sıklıkla kullanılan katkı malzemelerindendir. Çünkü, çelik lif katkısıyla üretilmiş betonlarda ve beton harçlarında, çekme kuvveti altındaki zayıf kalan mekanik özellikleri önemli derecede iyileşme göstermektedir [13-14]. Ayrıca çelik liflerin prizmatik kirişlerde etriye donatısının yerine kullanılma durumu araştırılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir [15-16]. Ancak, literatürde çelik lif katkısının yüksek mukavemetli değişken kesitli betonarme kirişlerin mekanik davranışı üzerindeki etkisi araştırılmamıştır. Sadece Al-sammarraie, Al-Darraji ve Gülşan vd. tarafından çelik lif katkısının, eğim açısının ve çekme donatısı oranının normal mukavemetli prizmatik olmayan kirişlerin mekanik davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır [17-19]. Bu çalışma, literatürdeki bu eksiği kapatmak adına yapılan deneysel bir çalışmayı içermektedir.

Bu çalışmada, değişik oranlarda çelik lif katkısıyla üretilmiş değişken kesitli yüksek mukavemetli betonarme kirişlerin yük taşıma kapasitesi, deplasman yapma özelliği ve göçme modu gibi mekanik davranışlarının incelenmesi ve çelik liflerin bu kirişlerde etriye donatısının yerine kullanılabilmesinin irdelenmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Malzemeler

Kirişler yüksek mukavemetli ve çelik lif katkılı kendiliğinden yerleşen betondan üretilmişlerdir. Üretilen betonun hedef basınç dayanımı 60 MPa'dır. Beton üretimi için kullanılan karışım tasarımı Tablo 1'de belirtilmiştir. Çelik lif katkısı Şekil 1'de gösterildiği gibi kanca uçlu çelik liflerle sağlanmıştır. Her bir çelik lifin uzunluğu 35 mm; çapı ise 0.75 mm'dir. Çalışmada % 0, % 0.5 olmak üzere 2 adet çelik lif oranı tercih edilmiştir. Çelik lif katkısı betonun akışkanlığını ve işlenebilirliğini önemli derecede azalttığı için beton karışımına toplam çimento ve uçucu kül miktarının % 1'i kadar hiper akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Kirişlerin çekme bölgesindeki donatısı 3 adet 12'lik inşaat demiri; basınç bölgesindeki donatısı 2 adet 8'lik inşaat demiri; etriye donatısı ise

M. E. GÜLŞAN

6'lık inşaat demirleriyle sağlanmıştır. Basınç donatılarının sünme ve çekme mukavemet değerleri 550 MPa ve 640 MPa iken; çekme donatılarının sünme ve çekme mukavemet değerleri sırasıyla 485 MPa ve 595 MPa'dır.

Tablo 1. Kirişlerde kullanılan betonun 1m³'ü için karışım tasarımı

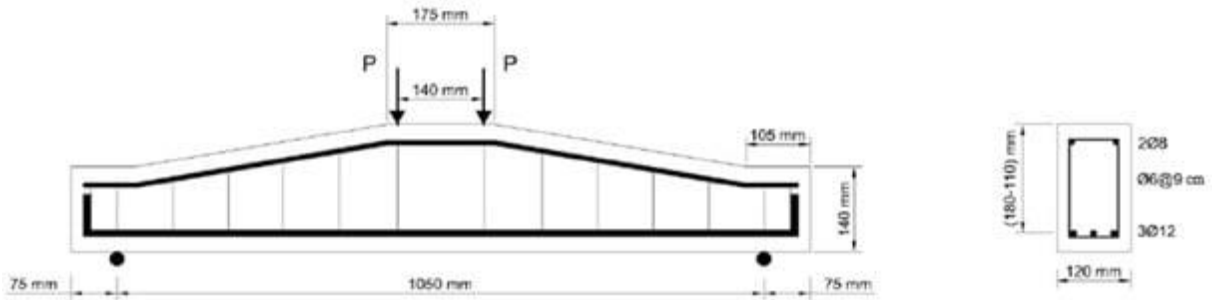
Kırmataş (5-11 mm) (kg)	Kırma kum (0-4 mm) (kg)	Çimento (kg)	Uçucu kül (kg)	Su (kg)	Çelik lif (kg)	Akışkanlaştırıcı (kg)
750	850	400	150	170	39.25	5.5



Şekil 1. Çalışmada kullanılan çelik tel [20]

2.2 Prizmatik ve Değişken Kesitli Kiriş Numuneleri

Çalışma kapsamında 4'ü prizmatik, diğer 4'ü değişken kesitli olmak üzere toplam 8 adet kiriş üretilmiştir. Prizmatik numuneler kirişteki eğimin mekanik davranıştaki tam etkisini öğrenmek için kontrol numuneleri olarak üretilmişlerdir. Değişken kesitli kirişlerin üst tarafı yaklaşık 10°'lik eğime sahiptir. Ayrıca çelik lif katkısının etriye donatısı yerine kullanılabilirliğini irdelemek amacıyla 8 adet kirişin 4 tanesi etriye donatısı olmadan üretilmiştir. Üretilen etriyeli değişken kesitli kirişlerin geometrik ve demir donatı detayları Şekil 2'de belirtilmiştir. Etriyesiz kirişlerde Şekil 2'den farklı olarak basınç donatısı ve etriyeler bulunmamaktadır. Geriye kalan yüklem, mesnetleme ve donatı konfigürasyonu Şekil 2 ile aynıdır.



Şekil 2. Etriyele değişken kesitli kirişlerin donatı detayı

Kiriş numuneleri isimlendirilirken geometrik şekilleri, eğim açıları ve içindeki çelik lif oranları dikkate alınmıştır. Örneğin; H10-0.5-S, 10° eğime sahip, içinde etriye donatısı olan ve % 0.5 oranında çelik lif içeren değişken kesitli kirişi temsil ederken; P-0, prizmatik, içinde etriye donatısı ve çelik lif bulunmayan kirişi temsil etmektedir. Çalışma için üretilen bütün kirişlerin ve betonlarının özellikleri Tablo 2'de detaylı olarak belirtilmiştir.

2.3 Yükleme Testleri

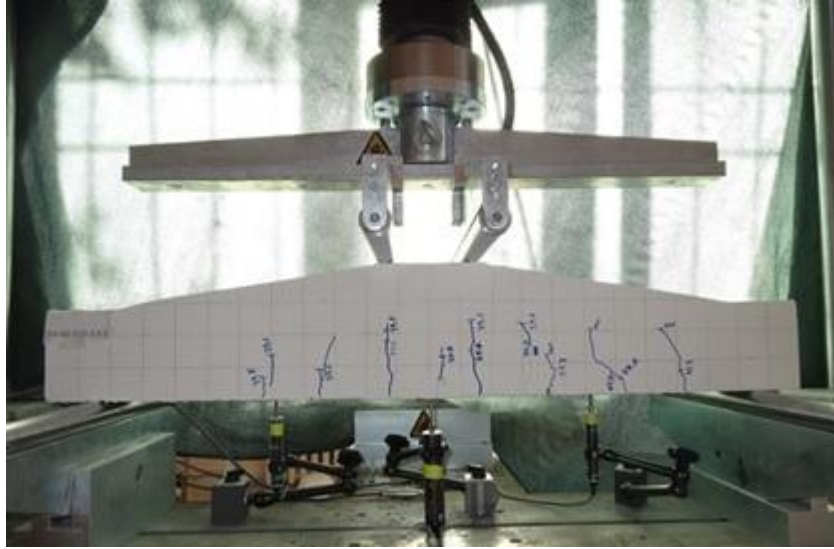
Yükleme testleri 600 kN kapasiteli yükleme makinası vasıtası ile gerçekleştirilmiştir. Her bir yükleme adımında yükleme başlığı 0.2 mm ilerletilmiştir. Her bir yükleme adımı sonunda yükleme başlığı sabit tutularak seri ve hızlı bir şekilde çatlak yayılımı kontrol edilmiş ve bir sonraki yükleme adımına geçilmiştir. Kirişler 4 noktadan yüklenmişlerdir (2 tane yükleme; 2 adet mesnet noktası). Kirişlerin net açıklığı ve yükleme noktaları

YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK LİF KATKILI BETONARME DEĞİŞKEN KESİTLİ KİRİŞLERİN MEKANİK DAVRANIŞI

arasındaki uzaklık, etriyesiz ve çelik lif katkısız kirişlerin kesmeden kırılması sağlanacak şekilde belirlenmiştir. Kirişlerin mesnet üzerine yerleştirildikten sonra kalan net açıklığı 105 cm'dir. Kirişlerin yükleme konfigürasyonu Şekil 3'te gösterilmektedir. Test sırasında yük değerleri yükleme makinasındaki özel yük hücrelerinden; kirişlerin deplasman değerleri ise analog çıkışlı lineer pozisyon sensöründen (LVDT) alınmıştır. Kirişler 0.2 mm/dakika yükleme hızıyla test edilmişlerdir.

Tablo 2. Kirişlerin betonunun mekanik özellikleri ve yükleme testi sonuçları

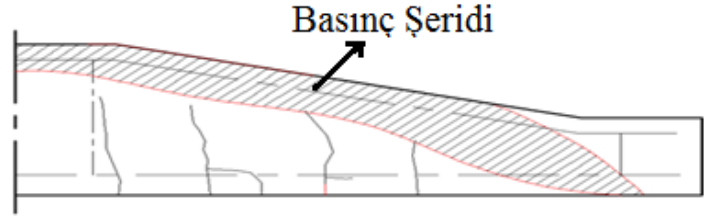
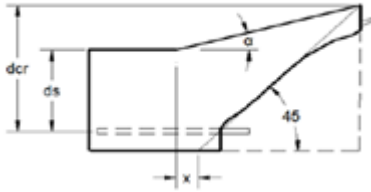
Numune Adı	Basınç Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yük Taşıma Kapasitesi (kN)	Maksimum Deplasman (mm)	Maksimum Çatlak Genişliği (mm)	Göçme Modu
P-0	52	3.86	51.15	2.5	2	Kesme
P-0.5	56.6	5.07	129.77	6.54	1.7	Kesme
P-0-S	56.6	3.95	133.71	20.53	1.75	Eğilme
P-0.5-S	56.6	5.07	137.9	28.95	1.5	Eğilme
H10-0	59.7	3.95	55.45	1.96	1.7	Kesme
H10-0.5	61	5.98	122	6.46	2	Kesme
H10-0-S	59.7	3.95	129.2	21.33	1.5	Eğilme
H10-0.5-S	61	5.98	130.2	27.8	1.5	Eğilme

**Şekil 3.** Kirişlerin yükleme konfigürasyonu**3. BULGULAR VE TARTIŞMA****3.1 Yük Taşıma Kapasitesi**

Kirişlerin yükleme testleri sonucunda elde edilen yük taşıma kapasiteleri Tablo 2'de belirtilmiştir. Yük taşıma kapasiteleri incelendiğinde, 10°'lik eğime sahip değişken kesitli kirişlerin kapasitelerinin prizmatik kirişlerin kapasitelerine göre biraz daha az olduğu görülmektedir. Oysaki birtakım başka çalışmalarda, daha düşük mukavemetli betondan üretilmiş değişken kesitli kirişlerin üst bölgedeki eğimin açısının 10°'ye kadar artmasının yük taşıma kapasitelerini az da olsa arttırdığı belirtilmiştir [17-19]. Bu farklı durum, etriyesiz kirişler için değişken kesitli kirişlerdeki kritik faydalı yükseklik kavramıyla açıklanabilmektedir. Değişken kesitli kirişlerde faydalı yükseklik kiriş eğiminden dolayı kiriş uzunluğu boyunca değişmektedir. Kritik faydalı yükseklik ise kırılmaya sebep olan majör çatlakın olduğu kesitteki kiriş faydalı yüksekliğidir (Şekil 4). Beton mukavemeti arttıkça değişken kesitli kirişlerde kritik faydalı yükseklik kesiti biraz daha mesnet bölgesine doğru yaklaşmakta ve azalan kritik faydalı yükseklik, ilgili kirişlerin yük taşıma kapasitelerini az da olsa düşürmektedir. Etriyeli

M. E. GÜLŞAN

kirişlerde eğimin artmasıyla yük taşıma kapasitesinde çok olmasa da azalma gözlemlenmesinin nedeni ise, düşük mukavemetli değişken kesitli kiriş boyunca uzanan basınç şeridi bölgesinin (Şekil 5) beton mukavemetinin artmasıyla azalma göstermesinden ve dolayısıyla çatlakların kiriş üst bölgesinde daha yükseğe kadar yayılabilmesinden ötürüdür. Etriyeli kirişler irdelendiği zaman, çelik lif katkısının yük taşıma kapasitene büyük bir katkı yaptığı gözlemlenmemektedir. Etriyeli prizmatik kirişlerde çelik lif katkısının yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi değişken kesitli kirişlere nazaran biraz daha fazladır. Ancak etriyesiz kirişlerde çelik lif katkısının yük taşıma kapasitesine önemli bir katkısı olduğu görülmektedir. Safaa'nın çalışmasında, normal mukavemetli prizmatik kirişlerde etriyesiz kirişin yük taşıma kapasitesi 54.34 kN iken; % 0.5 çelik lif katkısıyla bu değer 104.2 kN'a çıkmıştır [19]. Yine aynı çalışmada, 10° eğime sahip normal mukavemetli değişken kesitli etriyesiz kirişin yük taşıma kapasitesi, % 0.5 çelik lif katkısıyla 57.5 kN'dan 109.6 kN'a çıkmıştır. Bu çalışmadaki yüksek mukavemetli kirişlerde ise yük taşıma kapasiteleri aynı kiriş türleri için prizmatik kirişlerde 51.15 kN'dan 129.77 kN'a; değişken kesitli kirişlerde 55.45 kN'dan 122 kN'a ulaşmıştır. Bu durum, beton mukavemeti arttıkça çelik lif katkısının prizmatik ve değişken kesitli kirişler üzerindeki etkisini daha fazla ortaya koyduğunu göstermektedir.

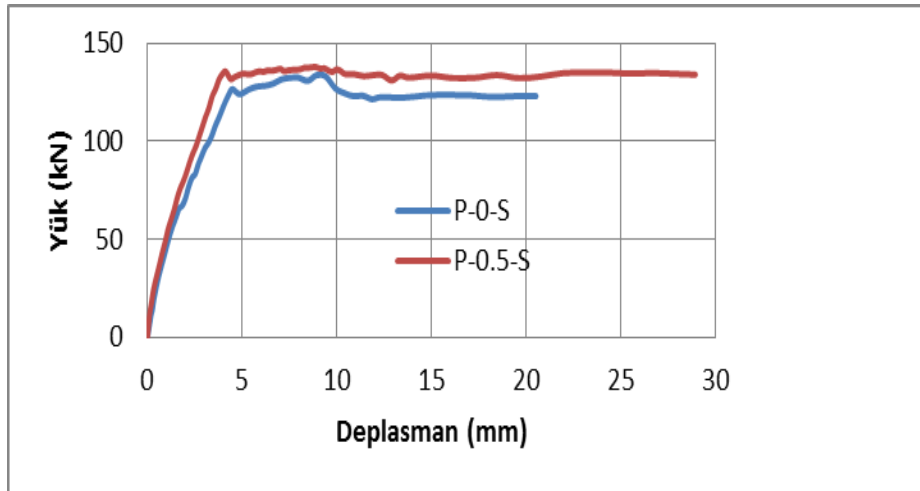


Şekil 4. Krtik faydalı yükseklik

Şekil 5. Düşük mukavemetli değişken kesitli kirişlerde oluşan basınç şeridi

3.2 Yük-Deplasman Grafikleri

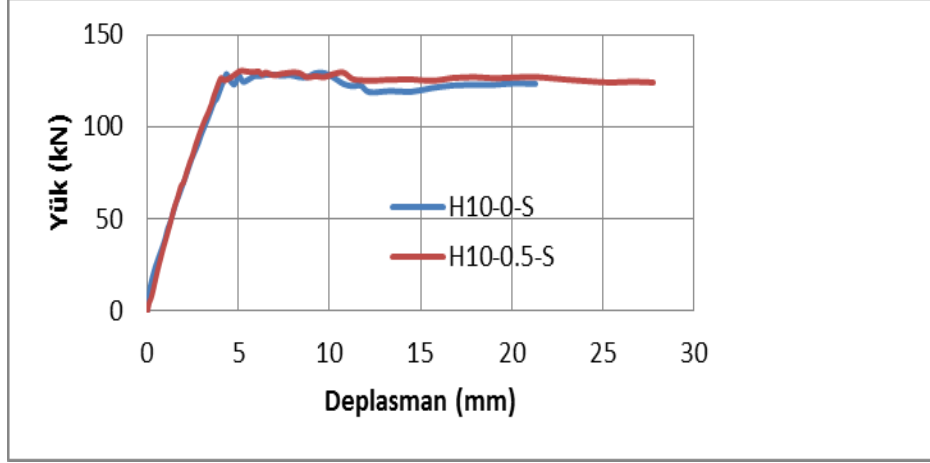
Bütün kirişlerin yük-deplasman grafikleri Şekil 6, 7 ve 8'de gösterilmiştir. Şekil 6 ve 7'ye dikkat edildiğinde çelik lif katkısının etriyeli kiriş numunelerinde yük taşıma kapasitesine çok büyük bir katkısı olmasa da; deplasman yapabilme özelliğini arttırdığı görülmektedir. Etriyesiz kiriş numunelerinin grafikleri incelendiğinde (Şekil 8), çelik lif katkısının yük taşıma kapasitesini büyük bir ölçüde arttırmasının yanı sıra, enerji emme kapasitesini de belirgin bir şekilde arttırdığı gözlemlenmektedir. Daha önceki çalışmalara göre, normal mukavemetli kirişlerde çelik lif katkısı değişken kesitli ve prizmatik kirişlerde pekliği net bir şekilde arttırmaktadır [17-19]. Ancak çelik lif katkısının bu etkisi yüksek mukavemetli prizmatik kirişlerde azalırken; değişken kesitli kirişlerde ise neredeyse yok olmaktadır.



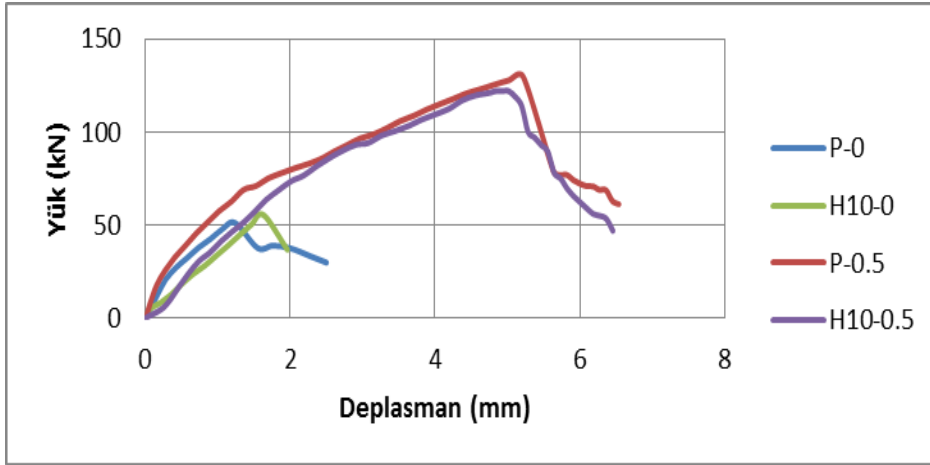
Şekil 6. Etriyeli prizmatik kirişlerin yük-deplasman grafikleri

YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK LİF KATKILI BETONARME DEĞİŞKEN KESİTLİ KİRİŞLERİN MEKANİK DAVRANIŞI

Ayrıca, Al-Sammarraie çalışmasında, normal mukavemetli % 0.5 oranında çelik lif muhteva eden prizmatik ve değişken kesitli kirişlerde maksimum deplasmanı sırasıyla yaklaşık 20 ve 18.5 mm olarak ölçmüştür [18]. Bu çalışmadaki yüksek mukavemetli benzer özellikteki prizmatik ve değişken kesitli kirişlerin maksimum deplasmanları ise sırasıyla 28.9 ve 27.8 mm olarak ölçülmüştür. Bu durum çelik lif katkılı yüksek mukavemetli kirişlerin daha fazla deplasman yapabildiğini ve dolayısıyla daha çok enerji emme potansiyelinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Etriyeli değişken kesitli kirişlerin yük-deplasman grafikleri

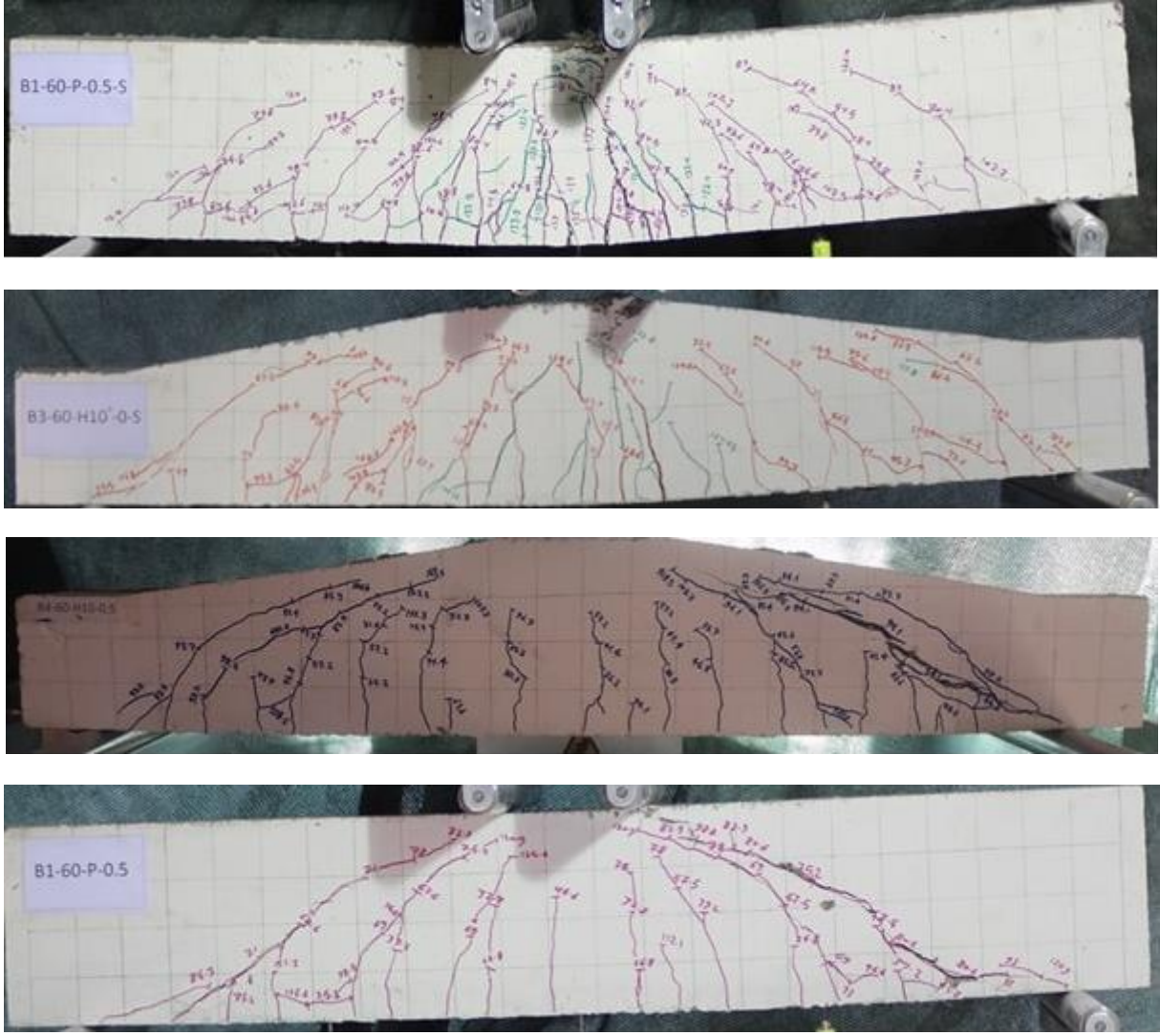


Şekil 8. Etriyersiz kirişlerin yük-deplasman grafikleri

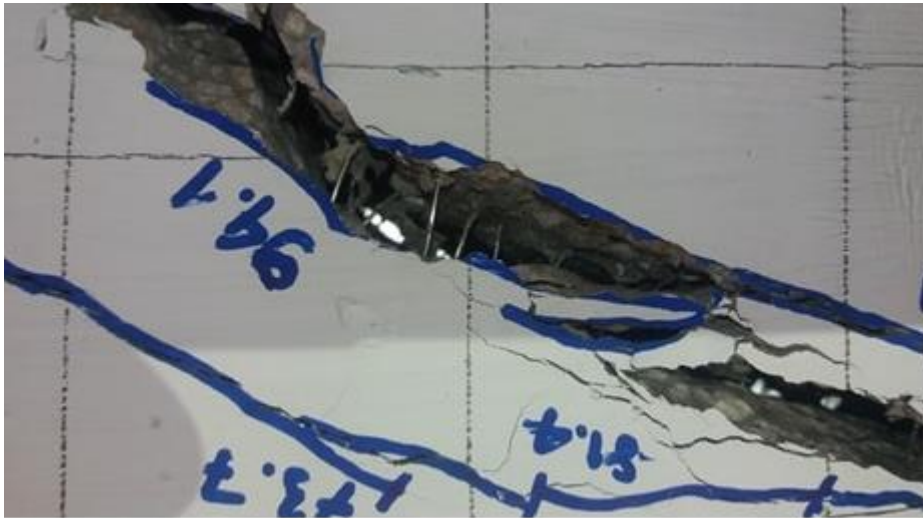
3.3 Kırılma Türleri

Bazı kirişlerin kırılma türleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Çelik lif katkısı bulunmayan kirişlerde beklendiği üzere etriyesiz kirişler kesmeden, etriyeli kirişler ise eğilmeden dolayı kırılma konumuna ulaşmıştır. % 0.5 oranında çelik lif katkısı olan etriyesiz prizmatik kirişlerde göçme modu kesme türünden olsa da; daha gevrek göçme engellenmiştir. Çelik lif katkısı olan değişken kesitli etriyesiz kirişte hem eğilme hem de kesme çatlakları baskın olarak oluşmuştur ve kiriş kesme modunda kırılma konumuna ulaşmıştır. Hem değişken kesitli, hem de prizmatik yüksek mukavemetli kirişlerde çelik lifler oluşan kesme çatlaklarının her iki yüzünde de köprü etkisi oluşturarak kirişlerin etriyeleri olmasa dahi gevrek olarak göçmelerini engellemiştir ve kirişlere daha sünek bir davranış kazandırmıştır (Şekil 10). Ayrıca, göçmeden sonraki maksimum çatlak genişliklerine bakıldığında (Tablo 2), benzer özellikteki düşük mukavemetli kirişler üzerinde daha önceki bir çalışmada ölçülen maksimum çatlak genişliklerinden [17] az da olsa daha geniş olduğu gözlemlenmektedir. Bu sonuç bölüm 3.2'de belirtildiği gibi yüksek mukavemetli kirişlerin maksimum yük kapasitesine ulaştıktan sonra daha fazla deplasman yapma özelliklerine sahip olmaları ile ilgili bir durumdur.

M. E. GÜLŞAN



Şekil 9. Test edilen bazı kirişlerin kırılma türleri



Şekil 10. Çelik liflerin oluşturduğu köprü etkisi

YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK LİF KATKILI BETONARME DEĞİŞKEN KESİTLİ KİRİŞLERİN MEKANİK DAVRANIŞI

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çelik lif katkısının yüksek mukavemetli betondan üretilmiş prizmatik ve değişken kesitli kirişlerin mekanik davranışı üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Çalışma kapsamında toplam 8 adet kiriş yükleme testine tabi tutulmuştur. Kirişlerdeki değişkenler, kiriş geometrisi, çelik lif katkısı ve etriye donatısıdır. Yükleme testleri sonucunda aşağıdaki belirtilen sonuçlara varılmıştır:

- Çelik lif katkısı etriyesiz prizmatik ve değişken kesitli kirişlerin yük taşıma kapasitelerini önemli derecede arttırmıştır. Bu artış yüksek mukavemetli kirişlerde düşük mukavemetli kirişlere nazaran daha fazladır. Bu durum, beton mukavemeti arttıkça çelik lif katkısının etriyesiz prizmatik ve değişken kesitli kirişlerde etkisinin daha belirgin bir şekilde ortaya çıktığını göstermektedir.
- Çelik lif katkısının kirişlerin peklğine katkısı, yüksek mukavemetli prizmatik ve değişken kesitli kirişlerde ihmal edilecek kadar azdır.
- % 0.5 oranında çelik lif katkısı etriyesiz yüksek mukavemetli kirişlerin göçme modunu değiştirmese de; kırılmanın tehlikeli ve daha gevrek olmasını engellemiştir ve sünekliği arttırmıştır. Bu durum daha fazla oranda yapılacak olan çelik lif katkısının bu kirişlerin göçme modunu da eğilmeye dönüştüreceğinin ve sünekliği daha da arttıracığının göstergesidir.
- Çelik lif katkısı etriyeli kirişlerin yük taşıma kapasitesinde çok ciddi bir artışı sağlamasa da, kirişlerin deplasman yapma özelliğini geliştirerek daha çok enerji emme kapasitesine sahip olmalarını sağlamıştır.
- Yüksek mukavemetlerde, kirişin üst bölgesindeki eğimin artması ilgili kirişin yük taşıma kapasitesini az da olsa azaltmaktadır. Bir başka deyişle, yüksek mukavemetlerde değişken kesitli kirişlerin yük taşıma kapasitesi aynı özellikteki prizmatik kirişlere nazaran biraz düşüktür.
- Etriye, etriyesiz ve sadece % 0.5 oranında çelik lif muhteva eden yüksek mukavemetli prizmatik ve değişken kesitli kirişlerin yük taşıma kapasiteleri karşılaştırıldığında; % 0.5 ve daha fazla miktardaki çelik lif katkısının bu kirişlerde etriye yerine tercih edilebileceğini göstermektedir.
- % 0.5 oranında çelik lif katkısının, yüksek mukavemetli prizmatik ve değişken kesitli kirişlerin yük taşıma kapasiteleri açısından, etriye yerine kullanımı yeterli ve uygun olduğu düşünülmektedir. Ancak çok daha sünek bir davranışın elde edilmesi ve göçmenin kesme türünden eğilme türüne dönüşmesi açısından biraz daha fazla miktarda çelik lif katkısı gerekmektedir.
- Yüksek mukavemetli etriyeli kirişlerde çelik lif katkısı, bu kirişlerin düşük mukavemetli çelik lif katkılı kirişlere nazaran biraz daha fazla deplasman yapmasını ve dolayısıyla biraz daha fazla enerji emme özelliğine sahip olmasını sağlamaktadır.
- Yüksek mukavemetli prizmatik ve değişken kesitli kirişlerin daha fazla deplasman yapması, çelik lif muhteva etseler dahi maksimum çatlak genişliklerinin düşük mukavemetli kirişlerin maksimum çatlak genişliklerine nazaran biraz daha fazla olmasına sebep olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] DEBAIKY, S.Y., EL-NIEMA, E.I, “Behavior and Strength of Reinforced Concrete Haunched Beams in Shear”, ACI Structural Journal, 79, 184-194, 1982.
- [2] EL-NIEMA., E.I., “Investigation of Concrete Haunched T-Beams under Shear”, Journal of Structural Engineering, ASCE, 114, 917-930, 1988.
- [3] STEFANOU, G.D., “Shear Resistance of Reinforced Concrete Beams with Non-Prismatic Sections”, Engineering Fracture Mechanics, 18, 643-666, 1983.
- [4] TENA-COLUNGA, A., HANS, I.A., OSCAR, M.G., “Behavior of Reinforced Concrete Haunched Beams Subjected to Static Shear Loading”, Engineering Structures, 30, 478-492, 2008.
- [5] MACLEOD, I.A., HOUMSI, A., “Shear Strength of Haunched Beams without Shear Reinforcement”, ACI Structural Journal, 91, 79-89, 1994.
- [6] NGHIEP, V.H., Shear Design of Straight and Haunched Concrete Beams without Stirrups, Ph.D Dissertation, Technischen Universität Hamburg, Germany, 2011.
- [7] ORR, J.J., IBELL, T.J., DARBY, A.P., EVERNDEN, M., “Shear Behaviour of Non-Prismatic Steel Reinforced Concrete Beams”, Engineering Structures, 71, 48-59, 2014.
- [8] ZANUY, C., GALLEGRO, J.M., ALBAJAR, L., “Fatigue Behavior of Reinforced Concrete Haunched Beams without Stirrups”, ACI Structural Journal, 112, 371-381, 2015.
- [9] HANS, A.A., TENA-COLUNGA, A., GRANDE-VEGA, A., “Behavior of Reinforced Concrete Haunched Beams Subjected to Cyclic Shear Loading, Engineering Structures, 49, 27-42, 2013.

M. E. GÜLŞAN

- [10] TENA-COLUNGA, A., URBINA-CALIFORNIA, L.A., HANS, A.A., “Cyclic Behavior of Continuous Reinforced Concrete Haunched Beams with Transverse Reinforcement Designed to Fail in Shear, *Construction and Building Materials*, 151, 546-562, 2017.
- [11] HOU, C., MATSUMOTO, K., NIWA, J., “Shear Failure Mechanism of Reinforced Concrete Haunched Beams”, *Journal of JSCE*, 3, 230-245, 2015.
- [12] ALBEGMPRLI, H.M., Experimental Investigation and Stochastic FE Modeling of Reinforced Concrete Haunched Beams, Ph.D. Dissertation, Gaziantep University, Turkey, 2017.
- [13] KORKUT, F., TÜRKMENOĞLU, Z.F., TAYMUŞ, R.B., GÜLER, S., “Çelik ve Sentetik Liflerin Kendiğinden Yerleşen Betonların Taze ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6, 560-570, 2017.
- [14] BİLİM, C., KARA, İ.F., “Çelik Lifin Ultra Yüksek Dayanımlı Harçların Mekanik Özelliklerine Etkisi”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7, 751-756, 2018.
- [15] ALTUN, F., YILMAZ, C., DURMUŞ, A., ARI, K., “Çelik Lif Katkılı ve Katkısız Betonarme Kirişlerin Basit Eğilme ve Patlama Yükleme ile Davranışlarının İncelenmesi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 112-120, 2006.
- [16] SAATÇI, S., BATARLAR, B., “Çelik Fiber Katkılı Etriyesiz Betonarme Kirişlerin Davranışı”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi*, 32, 1143-1154, 2017.
- [17] GÜLŞAN, M.E., ALSAMMARRAIE, K.T.F., AL-DARRAJI, S.Y.H., “Steel Fiber Concrete Haunched Beams”, *The International Journal of Energy & Engineering Sciences*, 3, 1-15, 2018.
- [18] ALSAMMARRAIE, K.T.F., Ultimate Load Carrying Capacity of Steel Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete Haunched Beams with Stirrups, M.Sc. Dissertation, Gaziantep University, Turkey, 2018.
- [19] AL-DARRAJI, S.Y., Investigation of Replacement of Stirrups with Steel Fibers in Self-Compacting Reinforced Concrete Haunched Beams, M.Sc. Dissertation, Gaziantep University, Turkey, 2018.
- [20] <http://www.bekaert.com>. Steel Wire Transformation and Coating Company, (erişim Tarihi : 10.08.2015).