

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



BETONARME I ENKESİTLİ KİRİŞLERİN KESME
DAVRANIŞINDA UYPLB KULLANIMININ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CUMALİ OGÜN GÖKER

BALIKESİR, EYLÜL - 2019

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BETONARME İ ENKESİTLİ KİRİŞLERİN KESME
DAVRANIŞINDA UYPLB KULLANIMININ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CUMALİ OGÜN GÖKER

**Jüri Üyeleri: Dr. Öğr. Üyesi Altuğ YAVAŞ (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK
Dr. Öğr. Üyesi Tamer BİROL**

BALIKESİR, EYLÜL – 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Cumali Ogün GÖKER tarafından hazırlanan “**BETONARME I ENKESİTLİ KİRİŞLERİN KESME DAVRANIŞINDA UYPLB KULLANIMININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 13.09.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

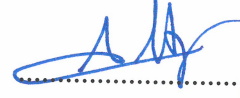
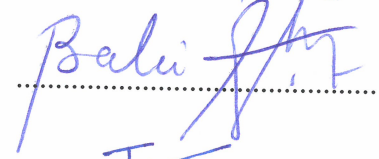

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Altuğ YAVAŞ

Üye
Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Tamer BİROL


.....

.....

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2013/46 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**BETONARME I ENKESİTLİ KİRİŞLERİN KESME DAVRANIŞINDA
UYPLB KULLANIMININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
CUMALİ OGÜN GÖKER
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ ALTUĞ YAVAŞ)
BALIKESİR, EYLÜL - 2019**

Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPBL) geleneksel betonlara göre üstün mekanik özelliklere sahip yeni nesil bir beton türüdür. Sahip olduğu çok yüksek basınç dayanımı yanında içeriğindeki çelik lifler sayesinde yüksek çekme dayanımı ve üstün çatlak kontrolü gibi gelişmiş özellikler barındırmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle betonarme kirişlerin kesme davranışı açısından önemli avantajlar yaratma potansiyeline sahiptir.

Bu çalışmada, Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB) kullanımının I enkesitli betonarme kiriş elemanların kesme davranışına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla; kesme donatısı bulunmayan ve çekme donatısı oranları farklı dört adet UYPLB kiriş hazırlanmıştır. Ayrıca çelik lifin davranışa etkilerinin incelenmesi amacıyla aynı donatı oranları için beton karışımı lifsiz olarak kullanılarak dört adet kontrol kirişi hazırlanmıştır. Tüm kirişler dört noktalı eğilme yüklemesi altında test edilmiştir. Test sonuçları; yük-sehim ilişkisi, kırılma şekli, çatlak davranışı, ilk çatlak ve tepe yükü parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Testler sonucunda UYPLB kullanımının kesme dayanımı belirgin şekilde arttırdığı belirlenmiştir. Buna ek olarak düşük donatı oranları için kesme kırılmasının kesme donatısı kullanılmadan UYPBL ile önlenildiği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Ultra yüksek performanslı lifli beton, çelik lif, kesme davranışı, betonarme kiriş.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF UHPRC USE ON SHEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE I BEAMS

MSC THESIS

CUMALİ OĞÜN GÖKER

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. ALTUĞ YAVAŞ)

BALIKESİR, SEPTEMBER 2019

Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPRC) is a new generation of concrete with superior mechanical properties compared to conventional concrete. In addition to its very high compressive strength, it contains advanced features such as high tensile strength and superior crack control provided by steel fibers. Due to these properties, it has a potential to create significant advantages in terms of the shear behavior of reinforced concrete beams.

In this study, the effects of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPRC) use on shear behavior of I beams were experimentally investigated. For this purpose, four UHPRC beams without shear reinforcement and different tensile reinforcement ratios were prepared. In addition, four control beams were prepared by using concrete mixture without fiber for the same reinforcement ratios in order to investigate the effects of steel fiber on shear behavior. All beams were tested under four-point bending loading. Test results were evaluated in terms of the load-deflection relationship, failure mode, cracking behavior, first crack and peak load parameters. Tests have shown that the use of UHPRC significantly increases the shear strength. In addition, for low reinforcement rates, it has been found that shear failure can be prevented with UHPRC without the use of shear reinforcement.

KEYWORDS: Ultra high performance fiber reinforced concrete, steel fiber, shear behavior, reinforced concrete beam.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB)	1
1.2 Literatür Özeti	2
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	7
2. UYPLB’NUN ÜRETİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	8
2.1 Beton Karışımını Oluşturan Bileşenler ve Özellikleri.....	8
2.2 Betonun Üretimi	10
2.3 Betonun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi	11
3. İ ENKESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ	13
3.1 Test Kirişlerinin Özellikleri.....	13
3.2 Eğilme Test Düzenegi ve Test Prosedürü	14
3.3 Test Sonuçları.....	15
3.3.1 Lifsiz Kirişler (Referans Kirişler).....	16
3.3.2 UYPLB Kirişler	21
3.4 Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	28
3.4.1 Yük-Sehim İlişkisi	28
3.4.2 Çatlak Davranışı ve Kırılma Şekilleri.....	30
3.4.3 İlk Çatlak Yüğü ve Kesme Dayanımı	31
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	33
5. KAYNAKLAR	34

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: İki farklı yerdeğiştirme seviyesi için kirişlere ait hasar durumu a) Etriyeli kiriş için b) Etriyesiz kiriş için [7].....	3
Şekil 1.2: Kirişlere ait yük-sehim grafikleri a) %0.50 b) %1.00 c) %1.50 [13]	6
Şekil 2.1: UYPLB’u oluşturan bileşenler a) Çimento b) Silis dumanı c) Yüksek fırın cürufu d) Kuvars e) Akışkanlaştırıcı f) Çelik lif	9
Şekil 2.2: Çalışmada kullanılan çelik lif	10
Şekil 2.3: UYPLB’un panmikserde hazırlanması aşamaları a) Panmikser b) Plastik kıvam durumu c) Akışkan kıvam durumu ...	11
Şekil 2.4: Eksenel basınç ve yarmada çekme testleri a) Basınç testi b) Yarmada çekme testi	12
Şekil 2.5: Prizma numunerin dört noktalı eğilme testleri	12
Şekil 3.1: Kiriş kesiti ve tipik donatı yerleşimi	13
Şekil 3.2: Dört noktalı eğilme test düzeneği	15
Şekil 3.3: Şematik yükleme ve ölçüm düzeneği	15
Şekil 3.4: K1 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği	16
Şekil 3.5: K1 kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli	16
Şekil 3.6: K2 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği	17
Şekil 3.7: K2 kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli	18
Şekil 3.8: K3 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği	19
Şekil 3.9: K3 kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli	19
Şekil 3.10: K4 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği	20
Şekil 3.11: K4 kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli	21
Şekil 3.12: K1-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği	21
Şekil 3.13: K1-F kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli	22
Şekil 3.14: K2-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği	23
Şekil 3.15: K2-F kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli	24
Şekil 3.16: K3-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği	25
Şekil 3.17: K3-F kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli	26
Şekil 3.18: K4-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği	27
Şekil 3.19: K4-F kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli	27
Şekil 3.20: Donatı oranlarına göre yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması.	29
Şekil 3.21: Kırılma şekillerinin donatı oranlarına göre karşılaştırılması	31
Şekil 3.22: Kirişlerin çatlama dayanımlarının karşılaştırılması	32
Şekil 3.23: Kirişlerin kesme dayanımlarının karşılaştırılması	32

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Beton bileşenini oluşturan malzemeler (kg/m^3)	8
Tablo 2.2: Lifli ve lifsiz karışımlar için; ortalama basınç, çekme ve eğilme dayanımları ile enerji yutma kapasitesi değerleri.....	12
Tablo 3.1: Test kirişlerinin özellikleri.....	14
Tablo 3.2: Testlerin sonucunda elde edilen karakteristik değerler.....	29



SEMBOL LİSTESİ

- a : Kirişin kesme açıklığı (mm)
 d : Kesit faydalı yüksekliği (mm)
 V_f : Hacimsel lif oranı (%)
 ϕ : Donatı çapı (mm)
 ρ : Donatı oranı
 Δ_{cr} : İlk çatlak yerdeğiştirmesi (mm)
 P_{cr} : İlk çatlak yükü (kN)
 Δ_p : Tepe yerdeğiştirmesi (mm)
 P_p : Tepe yükü (kN)
 V_u : Maksimum Kesme kuvveti (kN)



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışmada, tez çalışması süresince konu ve kapsamının oluşturulmasında değerli yardımlarıyla beni yönlendiren ve ufkumu genişleten değerli tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Altuğ YAVAŞ'a ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme ve tez süresince desteğinden dolayı eşim ve meslektaşım Kansu AKÇA GÖKER'e tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2019

Cumali Ogün GÖKER

1. GİRİŞ

1.1 Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB)

Yapı malzemeleri arasında beton hem ülkemizde hem de dünyada en çok tercih edilen yapı malzemesidir. En basit tarif ile beton; agrega, çimento ve suyun belirli oranda karıştırılması ile elde edilen bir malzemedir. Kullanım amacına göre istenen özellikleri kazandırmak amacıyla çeşitli kimyasal katkıları da karışıma eklenerek hedeflenen performansa ulaşması sağlanabilmektedir.

Son yıllarda beton teknolojisinde; geliştirilen yeni nesil kimyasal katkıları ve özel kürleme teknikleri ile büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler sonucunda çok yüksek basınç dayanımlarına (200-800 MPa) ve yüksek çekme dayanımına (20-150 MPa) sahip yüksek performanslı betonlar üretilebilmektedir. Bu özel beton sınıfına Reaktif Pudra Betonu (RPB) olarak isimlendirilmektedir [1].

Yüksek dayanımlı betonların en büyük dezavantajı gevrekliktir. RPB'da, çelik lif eklenmesi ile basınç mukavemetinin yanı sıra süneklik de elde edilebilir. Bu betonlarda, lif içeriğine ve lif narinliğine bağlı olarak çok yüksek kırılma enerjisine ve yüksek sünekliğe (şekil değiştirme yeteneği) erişilmektedir [2]. Bu tür özel betonlara çelik liflerin eklenmesi, elemanların gevrek davranıştan uzaklaşarak, dayanımda ve enerji yutma kapasitesinde önemli katkıları sağlamaktadır. Beton karışımına eklenen çelik lifler sonucunda elde edilen yeni malzeme için, Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB) ismi yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

UYPLB, normal betonlara göre çeşitli üstünlüklere sahiptir. UYPLB kiriş elemanlarda kullanıldığında basınç kapasitesinin çok yüksek olması nedeniyle yüksek donatı oranlarının kullanılmasına olanak sağlar. Bu da kesit taşıma kapasitesini artırarak ekonomi sağlamaktadır. Buna karşın, yürürlükteki yönetmelikler sünek davranışı sağlamak için maksimum çekme donatısı oranlarını sınırlamakta buda UYPLB'ların basınç kapasitesinin etkin olarak kullanılmasını

engellemektedir. UYPLB'nun avantajlarından etkin olarak faydalanabilmek için yüksek dayanımlı çeliklerin kullanılması veya yumuşak çeliklerin yüksek oranda kullanılması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda, normal dayanımlı donatı ve UYPLB içeren betonarme kirişlerin eğilme davranışlarında oldukça iyi performanslar elde edildiği ve yürürlükteki şartnamelerde bulunan donatı sınırlarının aşılmasına rağmen belirli süneklik değerlerinin sağlandığı görülmüştür [4, 5].

Bu çalışmada ultra yüksek performanslı lifli betonun farklı donatı oranları için kesme davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için, standart karıştırıcı ve standart kür koşulları altında 120 MPa ve üzeri basınç dayanımına sahip UYPLB ile dört farklı donatı oranı içeren I enkesitli ve karşılaştırmalar yapmak amacıyla aynı beton karışımı lifsiz olarak kullanılarak hazırlanmış kontrol kirişler hazırlanmış ve dört noktalı eğilme altında test edilmiştir.

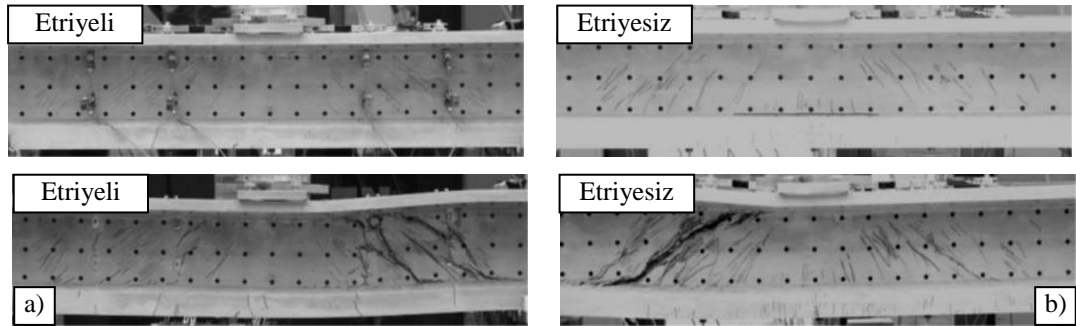
1.2 Literatür Özeti

Yüksek/Ultra yüksek dayanımlı lifli beton ile üretilmiş betonarme kirişlerin kesme davranışı ile ilgili çok sayıda araştırma mevcuttur. Bu araştırmaların çoğunda, çelik liflerin kesme ve eğilme davranışlarına etkisi, kiriş elemanlarda enine donatı yerine çelik liflerin kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlgili çalışmalarda, kirişin enkesit boyutu, kesme açıklığının kesit faydalı yüksekliğine oranı (a/d), boyuna donatı oranı ve lif içeriği gibi farklı parametreler değiştirilerek kesme davranışını iyileştirecek çözümler deneysel olarak araştırılmıştır. Buna karşın, UYPLB ile üretilmiş I enkesitli betonarme kirişlerin kesme davranışı ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Çoğunluğu I enkesitli prefabrike kirişler için yapılan mevcut çalışmalarda, çelik liflerin kiriş kesme kapasitesine olan katkısı, farklı çelik lif içeriğinin (lif tipi ve hacimsel oranı) etkisi, UYPLB ile etriyenin birlikte kullanımı, kesme açıklığının kesit faydalı yüksekliğine oranı (a/d) ve kirişlerde etriye yerine çelik liflerin kullanılabilirliği gibi konular araştırılmıştır.

Voo, Foster, Gilbert (2003) tarafından yapılan çalışmada; UYPLB ile üretilmiş kesme donatısız, ince gövdeli ve öngerilmeli prefabrike kirişlerin kesme davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada, I enkesitli kiriş için, farklı çelik

lif içeriğinin ve öngerme kuvvetinin kesme davranışına etkileri incelenmiştir. 150-170 MPa arasında beton basınç dayanımlarına sahip UYPLB 'larda, farklı hacimsel çelik lif oranları (%1.25-2.5) için 13 mm'lik ve 30 mm'lik çelik lifler kullanılmıştır. Tümü kesme kırılması yaşayan kirişlerin üç noktalı eğilme testleri sonucunda, UYPLB karışımında kullanılan çelik lif tipinin ve oranının çatlama yüküne önemli bir etkisinin olmadığı, buna karşın kırılma yüküne ve çatlak dağılımını değiştirdiği belirlenmiştir [6].

Telleen, Noshiravani, Galrito, Brühwiler (2010) tarafından yapılan çalışmada; UYPLB ile üretilmiş I enkesitli prefabrike kirişlerin kesme davranışı ve UYPLB ile etriyenin birlikte kullanımları araştırılmıştır. Çalışmada, kirişlerden birinin gövde kısmı kesme donatılı; diğeri ise kesme donatısız üretilmiştir. UYPLB karışımında, hacimsel olarak %3.0 oranında 13 mm'lik mikro çelik lifler kullanılmış ve 150 MPa'lık ortalama beton basınç dayanımı elde edilmiştir. Üç noktalı eğilme testleri gerçekleştirilen kirişler için, maksimum yükün yarısına kadar her iki test kirişinin gövde kısmında benzer diyagonal kesme çatlakları oluşmuş, daha sonrasında ise uygulanan yükler arttıkça kesme davranışı farklılaşmıştır (Şekil 1.1). Maksimum yük sonrasında, kesme donatısız kirişte ani kırılma meydana gelirken, gövdede kesme donatısı bulunan kirişte yük kaybı sonrası sınırlı da olsa bir miktar sünekliğin sağlandığı belirlenmiştir [7].



Şekil 1.1: İki farklı yerdeğiştirme seviyesi için kirişlere ait hasar durumu
a)Etriyeleli kiriş için b)Etriyesiz kiriş için [7].

Baby, Billo, Renaud, Massotte, Marchand, Toutlemonde (2010) tarafından yapılan çalışmada, UYPLB'ların kesme tasarımını güvenlik sınırları içinde tutmak amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada sadece etriyeli, sadece lif içeren ve etriye ile birlikte lif içeren durumlar için I enkesite sahip kirişler hazırlanıp test edilmiştir. Lif içeriği olarak; %2,00 hacimsel oranda 13 mm ve %2.50 hacimsel oranda 20 mm çelik lifler kullanılmıştır. UYPLB'ların basınç testleri sonucu 200 MPa dayanımı elde edilmiştir. Parametre olarak etriyeli olması veya olmaması durumu ve öngerilme yapılıp yapılmaması değişkenleri incelenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde öngerme uygulanması veya uygulanmaması durumlarının her ikisi içinde etriyelerin kesme kapasitesini arttırdığı görülmüştür. Fakat etriye ile çelik lifin aynı anda kullanılması durumunda kapasiteyi azaltıcı yönde etkili olduğu görülmüştür [8].

Ciprian, Dan, Victor, Cornelia (2012) tarafından yapılan çalışmada, UYPLB ile üretilen kirişlerin kesme davranışı incelenmiştir. Çalışmada çelik lif boyunun etkilerinin incelenmesi amacıyla UYPLB karışımlarında sadece üç farklı uzun liflin veya uzun ve kısa liflerin eşit miktarda karma olarak kullanılmıştır. Hacimsel lif oranı (%1.5, 2.0 ve 2.5) kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde karma liflerin kırılma yükleri ve yerdeğiştirme kapasitesi açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca kırılma şeklinin kullanılan lif boyundan bağımsız olduğu; lif oranının davranışta daha etkin olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte lif oranı arttıkça kesme kapasitesi arttığı belirlenmiştir [9].

Zagon, Popa, Bindea, Kiss (2013) tarafından yapılan çalışmada, gövdesi boşluklu ve boşluksuz prefabrike kirişlerde kesme donatısı olarak etriye yerine çelik liflerin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Lif çeşidi olarak düz ve kısa lifler ile uzun ve kancalı lifler incelenmiştir. Kirişlerde, a/d oranı 2.50 olarak sabit tutulmuştur. Testler sonucunda çelik liflerin kesme kırılmasını önlemek için kesme donatısı yerine kullanılabileceği görülmüştür [10].

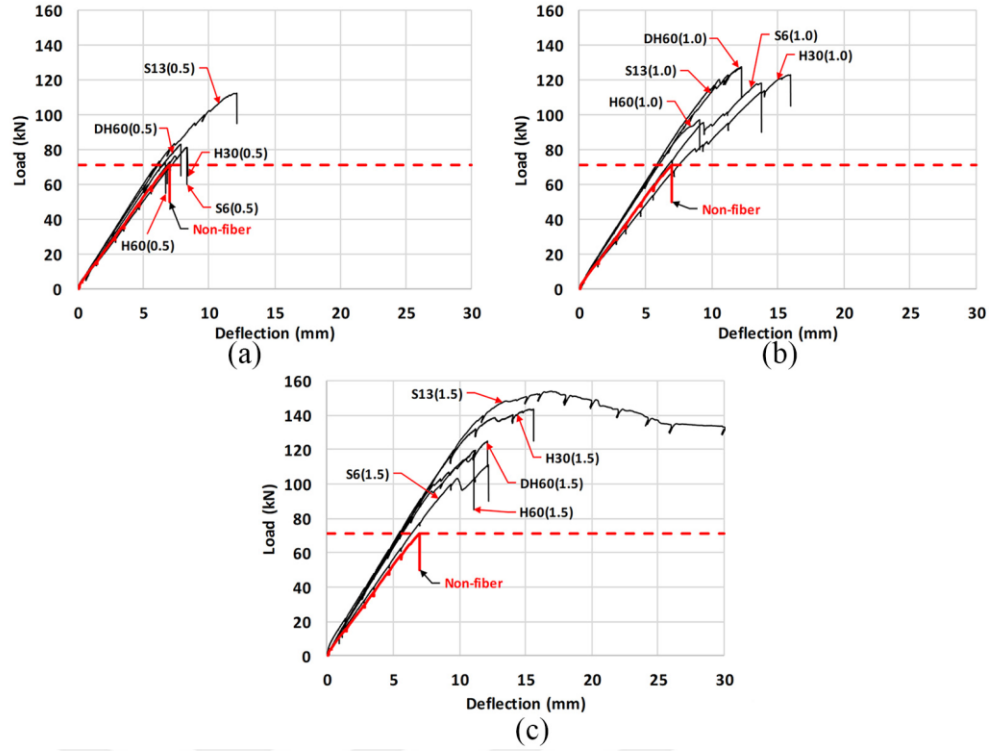
Kamal, Safan, Etman, Salama (2013) tarafından yapılan çalışmada, lif çeşidinin UYPLB'dan üretilen betonarme kiriş elemanların kesme davranışına etkileri incelenmiştir. Kirişlerde, a/d oranı 2 olarak sabit tutulmuştur. Parametreler olarak donatı oranı, etriye olup olmaması, lif çeşidi (çelik, sentetik, liffsiz durum)

incelenmiştir. Kırılma yüküne kadar yüklenen kirişlerde; ilk çatlak yükleri, çatlak dağılımı ve kesme dayanımlarında artış gözlenmiştir [11].

Ali, Alamir, Hamad (2014) tarafından yapılan çalışmada, Reaktif Pudra Betonu (RPB) ile üretilmiş çelik lifli betonarme kirişlerin ilk diyagonal çatlak yükü ve kırılma yükü incelenmiştir. Bunun için, T en kesitli 6 kiriş üretilmiş ve dört noktalı eğilme testleri yapılmıştır. RPB karışımında, %1.0 ve %2.0 hacimsel oranında 13 mm'lik düz çelik lif kullanılmıştır. Beton basınç dayanımları 127-148.5 MPa arasında elde edilmiştir. İncelenen kirişler için, çelik lif oranı ve silis dumanı miktarının artmasıyla beton basınç dayanımının arttığı, lif oranının %1'den %2'ye artmasıyla elastisite modülünün yaklaşık 3 kat arttığı belirlenmiştir. Kullanılan lif oranının ilk çatlak yükünü değiştirmedeği ancak, çatlak ilerleme hızında ve kırılma yükünde önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, a/d oranı arttıkça ilk diyagonal çatlak yükünün ve kırılma yükünün azaldığı belirlenmiştir [12].

Yavaş, Hasgöl, Türker, Birol (2019) tarafından yapılan çalışmada UYPLB'da farklı tipte çelik lif kullanımının kırılma şekli, kesme dayanımı deneysel olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında farklı lif tipleri (düz, kancalı, çift kancalı) farklı hacimsel oranlarda (%0.50, %1.00, %1.50) içeren 15 betonarme kiriş incelemiştir. Sonuçlar incelendiğinde 13mm düz lif tipinin değerlendirilen parametreler açısından en etkili lif tipi olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmaya ek olarak UYPLB ile üretilmiş kirişlerin kesme kapasitelerinin hesabı için literatürde önerilen üç farklı yaklaşım ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. UYPLB ile üretilmiş kirişlerde lif tipinin kayma davranışını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir [13].

Türker, Birol, Yavaş, Hasgöl (2016) tarafından yapılan çalışmada UYPLB ile üretilmiş kirişlerin eğilme davranışı bakımından etkin çelik lif tipi deneysel olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında farklı lif tipleri (düz, kancalı, çift kancalı) içeren ve lifsiz olarak üretilen 5 betonarme kiriş incelemiştir. Sonuçlar incelendiğinde kiriş elemanların eğilme davranışında en büyük etkinin 6 mm düz lif tipinde gözlemlenmiştir. Çatlak genişliğini kontrol etme bakımından ise 60 mm boyunda çift kancalı lif tipi etkili olmuştur [14].



Şekil 1.2: Kirişlere ait yük-sehim grafikleri a)%0.50b)%1.00c)%1.50 [13].

Türker, Birol, Yavaş, Hasgül, Yazıcı (2019) tarafından yapılan çalışmada UYPLB kullanımının kiriş yerdeğiştirme ve eğrilik sünekliği, taşıma kapasitesi, eğilme rijitliği, kırılma şekilleri ve çatlak davranışı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında UYPLB üretiminde iki farklı lif tipi (%1.0 oranında düz mikro lif ve %0.5 oranında kancalı makro) birlikte kullanılmıştır. İncelenmek üzere farklı donatı oranlarını temsil edecek şekilde belirlenmiş 9 adet kirişe dört noktalı eğilme testleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde UYPLB ile üretilen kirişlerin süneklik, taşıma kapasitesi, eğilme rijitliği, çatlak genişliklerinin sınırlanması yönünden önemli avantajlara sahip olduğu gözlemlenmiştir [15].

Hasgül Türker, Birol, Yavaş, (2018) tarafından yapılan çalışmada UYPLB kullanımının kiriş yerdeğiştirme ve eğrilik sünekliği, moment kapasitesi, eğilme rijitliği, kırılma şekilleri ve çatlak davranışı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma Kapsamında dört farklı donatı oranına sahip lifli ve liffsiz olarak üretilen 8 adet kiriş dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde UYPLB'un özellikle yüksek basınç dayanımı ve şekil değiştirme kapasitesi; yüksek donatı oranlarının kullanılabilmesini sağlamaktadır. Bu sayede daha ekonomik kesitlerin kullanılmasına izin verdiği saptanmıştır [16].

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB) kullanımının I enkesitli betonarme kirişlerin kesme davranışına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için farklı seviyelerde kesme talepleri oluşturacak şekilde dört farklı çekme donatısı oranı seçilmiştir. Her bir donatı oranı için UYPLB ve lif kullanılmadan hazırlanan kontrol kirişler olmak üzere toplam 8 adet test kirişi hazırlanmış ve dört noktalı eğilme altında test edilmiştir. Kirişlerde kesme davranışının incelenmesi amaçlandığı için kesme donatısı kullanılmamıştır.

UYPLB ve lifsiz kontrol kirişlerin test sonuçları; yük-sehim ilişkisi, çatlama dayanımı, kesme dayanımı, çatlak davranışı ve kırılma şekli parametreleri açısından karşılaştırılarak lif kullanımının kesme davranışındaki avantajlarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca kesme donatısı yerine UYPLB kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

2. UYPLB'NUN ÜRETİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

2.1 Beton Karışımını Oluşturan Bileşenler ve Özellikleri

Deneysel çalışmada ortalama basınç dayanımı 120 MPa üzeri basınç dayanımına sahip UYPLB ile üretilmiş kiriş elemanlar test edilmiştir. UYPLB'un kolay üretilbilir olması amaçlanmıştır. UYPLB üretiminde yaygın olarak tercih edilen bileşenler (çimento, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, ince agrega, akışkanlaştırıcı ve çelik lif) kullanılmıştır (Şekil 2.1). Kullanılan malzemelerin özellikleri ve görevleri şu şekildedir:

Tablo 2.1: Beton bileşenini oluşturan malzemeler (kg/m^3).

	Ç	SD	YFC	K1	K2	Su	SA	Çelik lif*
Karışım 1	690	138	276	542	542	199	17,25	-
Karışım 2	690	138	276	535	535	199	17,25	%2,0

Ç: çimento, SF: silika dumanı, YFC: yüksek fırın cürufu K: kuvars kumu, SA: süper akışkanlaştırıcı, *: hacimsel oran

Çimento: Ana bağlayıcı olarak CEM I 42,5R sınıf katkısız portland çimento kullanılmıştır.

Silis Dumanı: Çimentonun yaklaşık %1'i inceliğinde olan silis dumanı betonun yapısında çimento taneleri arasındaki boşluğu doldurarak daha sıkı bir içyapı oluşmasını sağlamaktadır. Yüksek SiO_2 içeriği ile aktif bir puzolan olan silis dumanı betonun basınç dayanımını, aderansını ve aşınma direncini arttırmaktadır.

Yüksek Fırın Cürufu: Çimento miktarını azaltmak için kullanılmaktadır. İşlenebilirliği arttırmakta ve boşluk miktarını azaltmaktadır.

Agrega: Agregada olarak yüksek dayanımlı kuvars kullanılmıştır.

Akışkanlaştırıcı: Su/bağlayıcı oranını düşürmek ve işlenebilirliği arttırmak için ASTM C 494 F tipi yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.



Şekil 2.1: UYPLB'ü oluşturan bileşenler.

- a) Çimento b) Silis dumanı c) Yüksek fırın cürufu
d) Kuvars e) Akışkanlaştırıcı f) Çelik lif

Çelik Lif: Lif katılması malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde arttırmaktadır. UYPB içine lif eklenmesinin hem çekme hem de basınç dayanımını arttırmaktadır. Karışım içindeki lif hacimsel oranının (%1.00-%2.50) bu özelliklere etkisi büyüktür. Lif tipi ve çeşidi ise bir başka etken parametredir. Çalışma kapsamında 30 mm boyunda, 0.55 mm çapında, narinliği 55 olan iki ucu kancalı lif kullanılmıştır. Kullanılan liflerin çekme dayanımı 1345 MPa'dır.



Şekil 2.2: Çalışmada kullanılan çelik lif.

2.2 Betonun Üretimi

UYPLB standart 56 dm³ kapasiteli yatay panmikserde üretilmiştir. Üretim sırasında herhangi bir özel kür uygulanmamıştır. Böylece malzemenin normal şartlar altında da üretilebilir olması sağlanmıştır. Hazırlanan karışımdan basınç testine tabi tutmak için 100x100x100 mm ölçülerinde küp numuneler alınmıştır. Çekme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla 100x200 mm silindir numuneler ile eğilme altından salt beton davranışını belirlemek için 100x100x400 mm prizma numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler laboratuvarında deney tarihine kadar bekletilmiştir.

UYPLB karışımı hazırlanırken tartılıp hazırlanan kuru malzemeler öncelikle panmikser yardımı ile üç dakika boyunca karıştırılmıştır. Tamamen karışan kuru malzemeler gerekli suyun tamamı ve akışkanlaştırıcının yarısı ilave edilerek üç dakika daha karıştırılmaya devam edilmiştir. Plastik kıvama gelen karışıma kalan akışkanlaştırıcı da ilave edilerek üç dakika daha karıştırılmış ve akışkan kıvamlı karışım elde edilir. Son olarak gerekli liflerde eklenerek karışım içinde homojen dağılması sağlanmıştır.



a)



b)

c)

Şekil 2.3: UYPLB'un panmikserde hazırlanması aşamaları.
a)Panmikser b)Plastik kıvam durumu c)Akışkan kıvam durumu

2.3 Betonun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Hazırlanan lifli ve lifsiz beton karışımlarının basınç dayanımları 100x100x100 mm küp numunelerin aksenal basınç testleri ile belirlenmiştir (Şekil 2.4a). Çekme dayanımları yarmada çekme testi ile 100x200 mm silindir numunelerden elde edilmiştir (Şekil 2.4b). Karışımların eğilme dayanımları ve enerji yutma kapasiteleri (tokluk) 100x100x400 mm boyutlarındaki prizma numunelerin dört noktalı eğilme testleri ile belirlenmiştir (Şekil 2.5). Testler sonucuna elde edilen ortalama basınç, çekme ve eğilme dayanımları ile enerji yutma kapasitesi değerleri lifli ve lifsiz karışımlar için Tablo 2.2'de sunulmuştur.

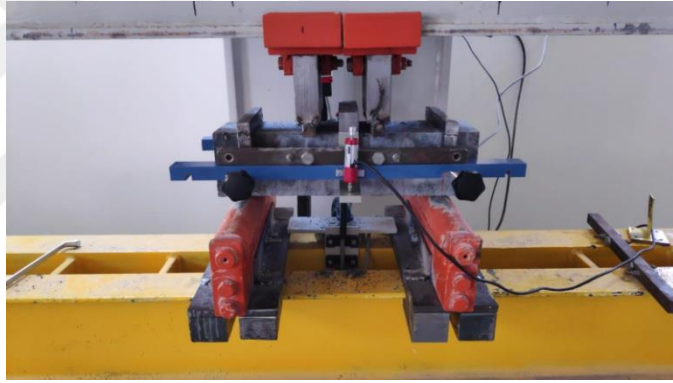


a)

b)

Şekil 2.4: Eksenel basınç ve yarmada çekme testleri.

a)Basınç testi b)Yarmada çekme testi



Şekil 2.5: Prizma numunelerin dört noktalı eğilme testleri.

Tablo 2.2: Lifli ve lifsiz karışımlar için; ortalama basınç, çekme ve eğilme dayanımları ile enerji yutma kapasitesi değerleri.

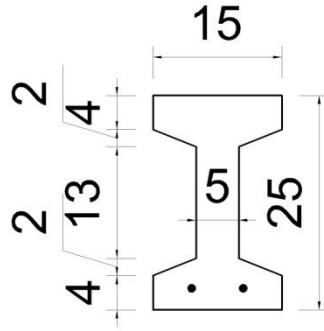
	Lif içeriği V_f (%)	Basınç dayanımı (MPa)	Yarmada çekme dayanımı (MPa)	Eğilme dayanımı (MPa)	Tokluk (kNmm)
Karışım 1	0	121	3.6	13.29	-
Karışım 2	2.0	143	17.7	18.69	108.84

Karışıma lif katılması sonucu basınç ve eğilme dayanımının sırasıyla 1.18 kat ve 1.40 kat arttığı görülmüştür. Bununla birlikte lifler en büyük katkıyı yarmada çekme dayanımında meydana getirmiştir. Lif kullanımı sonucu çekme dayanımı lifsiz duruma göre 4.92 kat artış göstermiştir (Tablo 2.2).

3. I ENKESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

3.1 Test Kirişlerinin Özellikleri

Çalışma kapsamında 8 adet I enkesitli betonarme kiriş Balıkesir Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında üretilmiştir. Kirişlere ait tipik enkesit boyutları ve donatı yerleşimi Şekil 3.1’de verilmiştir. Kesitin başlık genişliği 15 cm, gövde genişliği 5 cm başlık kalınlıkları 4 cm ve gövde net yüksekliği 13 cm’dir. Kirişlerin boyu 230 cm’dir.



Şekil 3.1: Kiriş kesiti ve tipik donatı yerleşimi.

Kiriş numunelerin donatıları düşük, normal ve yüksek donat oranlarını temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Bunun için çekme bölgesinde $2\phi 10$, $2\phi 12$, $2\phi 14$, $2\phi 16$ çekme donatıları kullanılarak 4 farklı oran belirlenmiştir. Kirişlerde kesme davranışının incelenmesi amaçlandığı için kesme donatısı kullanılmamıştır. Tüm kirişlerde ortalama akma dayanımları 466 MPa olan S420 sınıfı donatı kullanılmıştır.

Tablo 3.1: Test kirişlerinin özellikleri.

Kiriş kodu	Lif içeriği V_f (%)	Boyuna donatı	Donatı oranı ρ (%)
K1 K1-F	0 2	$2\phi 10$	0.8
K2 K2-F	0 2	$2\phi 12$	1.2
K3 K3-F	0 2	$2\phi 14$	1.7
K4 K4-F	0 2	$2\phi 16$	2.2

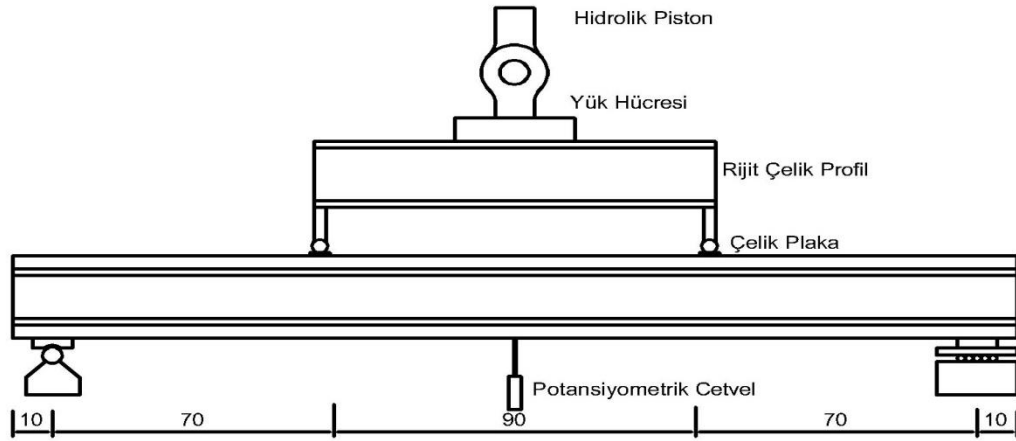
Kiriş kesitlerinde; farklı donatı oranları için UYPB çelik lif katılmasının kesme davranışına etkisini incelemek amacıyla kesme donatısı kullanılmamıştır. Her belirlenen donatı oranı için bir adet lif katılmayarak hazırlanmış kontrol numunesi de dökülmüştür. Tablo 3.1’de kirişlerin özellikleri sunulmuştur. Test numuneleri adlandırılırken isimlendirme kısmındaki numara kirişte bulunan çekme donatısını oranını kodlamakta; F harfi bulunması içinde hacimsel olarak %2 lif içeriğinin bulunduğunu göstermektedir.

3.2 Eğilme Test Düzeneği ve Test Prosedürü

UYPLB ile üretilen test kirişlerin eğilme testleri Balıkesir Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan dört noktalı eğilme test düzeneği ile yapılmıştır (Şekil 3.2). Sistem üzerinde bulunan yükleme düzeneği ile kirişlerin testleri yer değiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Numunenin açıklık orta noktasına yerleştirilen bir adet potansiyometrik cetvel ile düşey yerdeğiştirme ölçümü yapılmıştır. Yük veren altında bulunan bir yük hücresi ile yük değişimi takip edilmiştir. Uygulanan yük rijit bir kiriş vasıtası ile aralarında 900 mm mesafe olan iki adet tekil yük olacak şekilde kirişe aktarılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.2: Dört noktalı eğilme test düzeneği.



Şekil 3.3: Şematik yükleme ve ölçüm düzeneği.

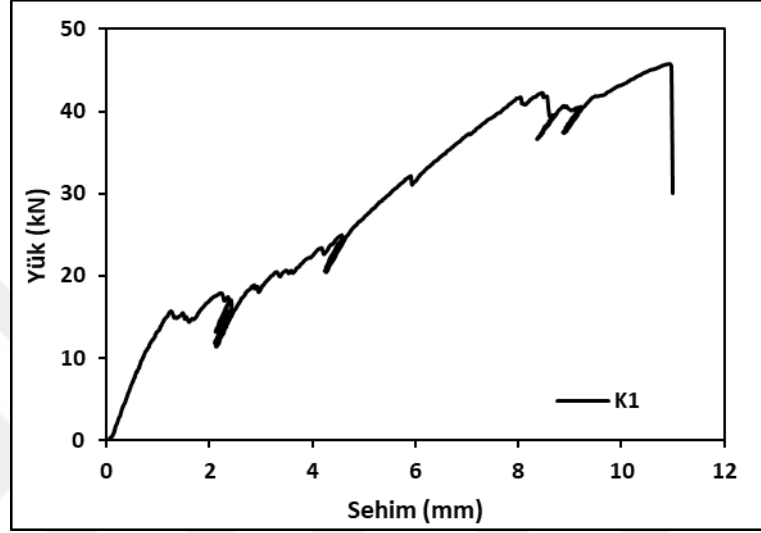
3.3 Test Sonuçları

Bu bölümde dört noktalı eğilme testlerinden elde edilen yük-sehim grafikleri ile çatlak davranışı ve kırılma şekilleri iki bölüm halinde sunulmuştur. Birinci bölümde lifsiz kontrol kirişlerin sonuçları sunulurken ikinci bölümde UYPLB kirişlerden elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

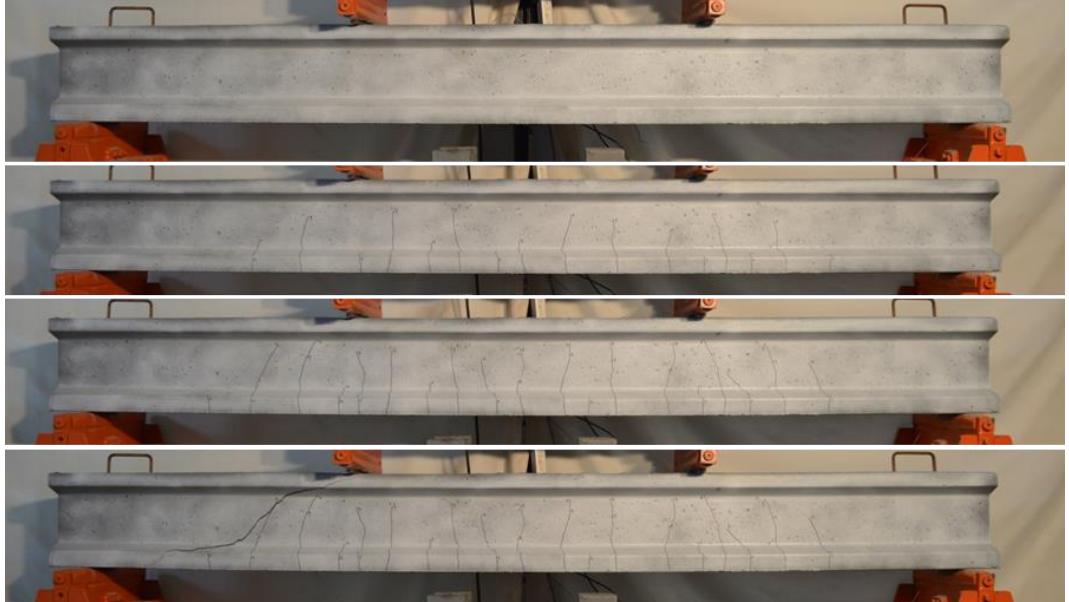
3.3.1 Lifsiz Kirişler (Referans Kirişler)

K1 Kirişi Deney Sonuçları:

K1 kirişi %0.8 çekme donatısı oranına sahiptir ve çelik lif içermemektedir. K1 için elde edilen yük-sehim grafiği Şekil 3.4'te sunulmuştur. İlk çatlak yükü 15.43 kN ve tepe yükü 45.69 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4: K1 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği.



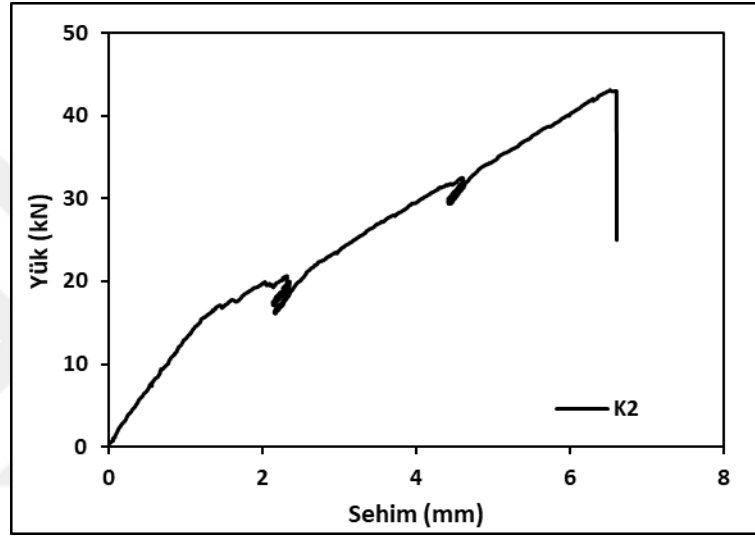
Şekil 3.5: K1 kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli.

Belirli sehim değerleri için çatlak davranışları ve kırılma şekli Şekil 3.5'te sunulmuştur. Önce kiriş orta bölgesinde eğilme çatlakları başlamış ve artan yüklerle

beraber bu çatlaklar ilerlemiştir. Kirişin sol açıklığında oluşan eğik çatlak sonucu kesme kırılması meydana gelmiş ve kiriş eğilme kapasitesine ulaşmadan test sonlanmıştır.

K2 Kirişi Deney Sonuçları:

K2 kirişi %1.2 çekme donatısı oranına sahiptir ve çelik lif içermemektedir. K2 için elde edilen yük-sehim grafiği Şekil 3.6'da sunulmuştur. İlk çatlak yükü 15.62 kN ve tepe yükü 43.12 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.6: K2 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği.

Belirli sehim değerleri için çatlak davranışları ve kırılma şekli Şekil 3.7'de sunulmuştur. Önce kiriş orta bölgesinde eğilme çatlakları başlamış ve artan yüklerle beraber bu çatlaklar ilerlemiştir. Kirişin sol açıklığında oluşan eğik çatlak sonucu kesme kırılması meydana gelmiş ve kiriş eğilme kapasitesine ulaşmadan test sonlanmıştır.

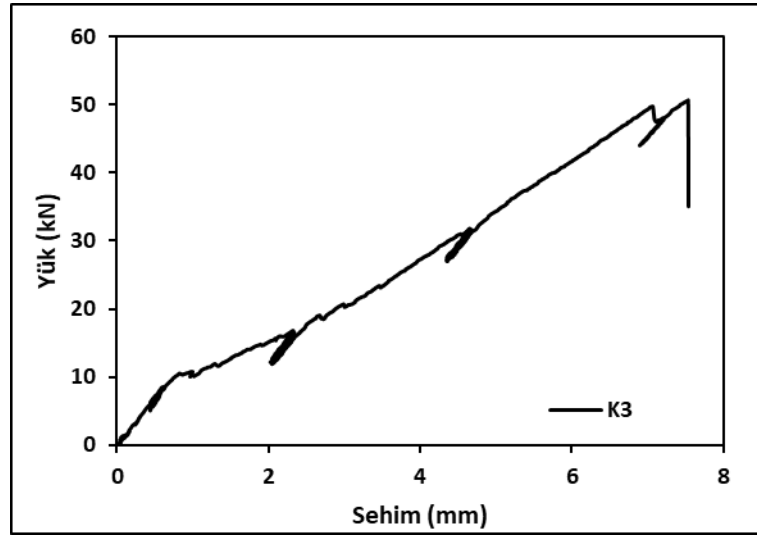


Şekil 3.7: K2 kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli.

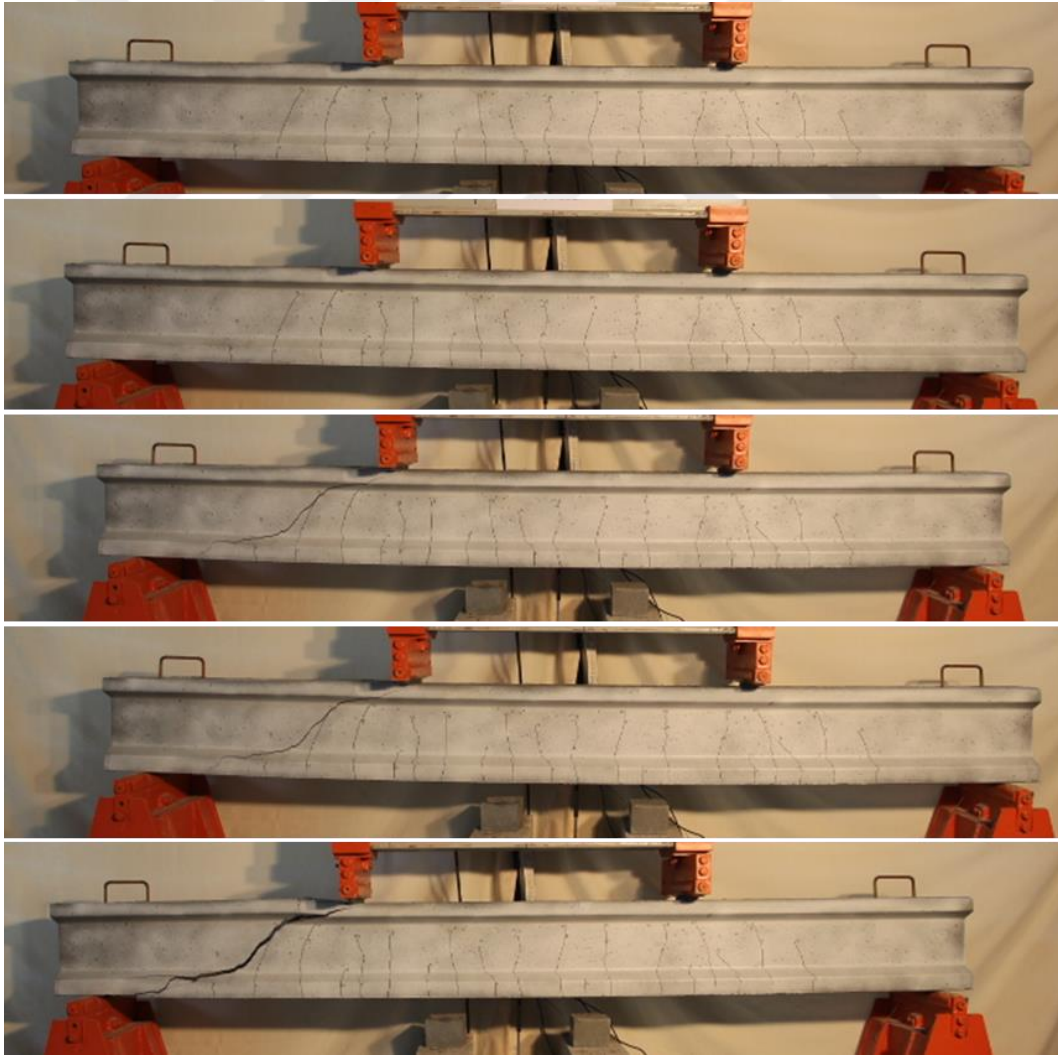
K3 Kirişi Deney Sonuçları

K3 kirişi %1.7 çekme donatısı oranına sahiptir ve çelik lif içermemektedir. K3 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği Şekil 3.8’de sunulmuştur. İlk çatlak yükü 9.96 kN ve tepe yükü 50.60 kN olarak belirlenmiştir.

Belirli sehim değerleri için çatlak davranışları ve kırılma şekli Şekil 3.9’da sunulmuştur. Önce kiriş orta bölgesinde eğilme çatlakları başlamış ve artan yükte beraber bu çatlaklar ilerlemiştir. Kirişin sol açıklığında oluşan eğik çatlak sonucu kesme kırılması meydana gelmiş ve kiriş eğilme kapasitesine ulaşmadan test sonlanmıştır.



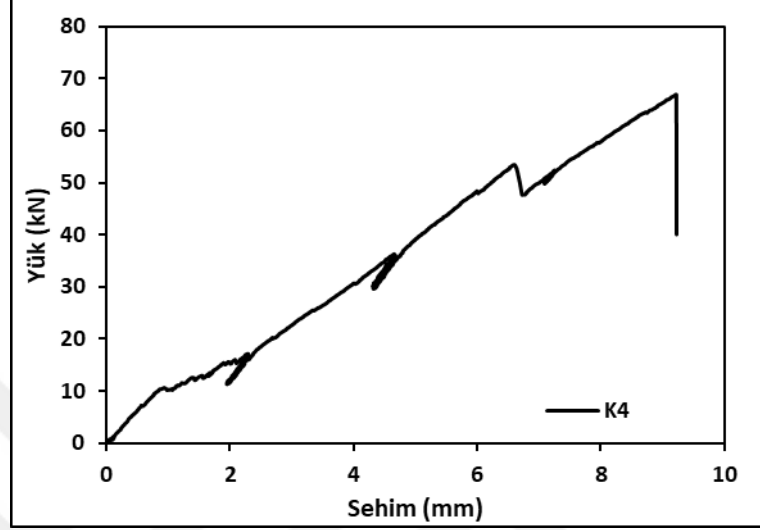
Şekil 3.8: K3 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği.



Şekil 3.9: K3 kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli.

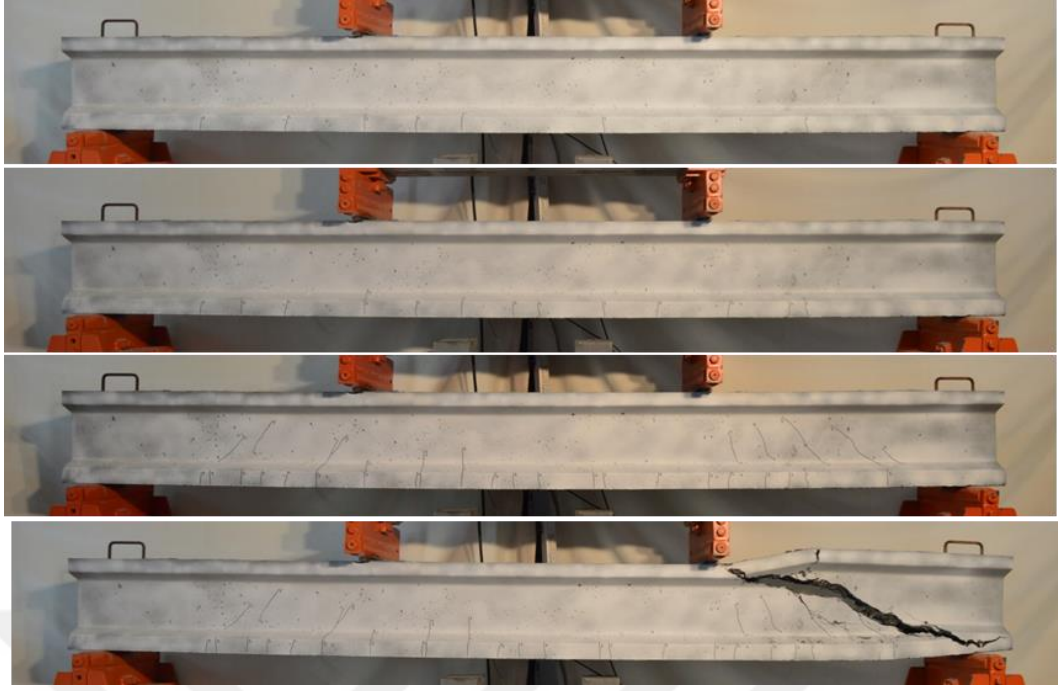
K4 Kirişi Deney Sonuçları:

K4 kirişi %2.2 çekme donatısı oranına sahiptir ve çelik lif içermemektedir. K4 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği Şekil 3.10'da sunulmuştur. İlk çatlak yükü 10.28 kN ve tepe yükü 66.81 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.10: K4 kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği.

Belirli sehim değerleri için çatlak davranışları ve kırılma şekli Şekil 3.11'de sunulmuştur. Önce kiriş orta bölgesinde eğilme çatlakları başlamış ve artan yüklerle beraber bu çatlaklar ilerlemiştir. Kirişin sağ açıklığında oluşan eğik çatlak sonucu kesme kırılması meydana gelmiş ve kiriş eğilme kapasitesine ulaşmadan test sonlanmıştır.

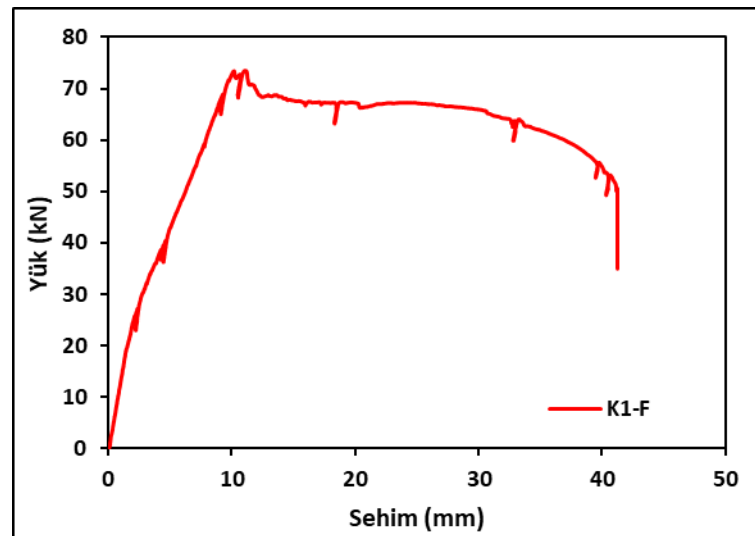


Şekil 3.11: K4 kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli.

3.3.2 UYPLB Kirişler

K1-F Kirişi Deney Sonuçları:

K1-F kirişi %0.8 çekme donatısı oranına sahiptir ve %2 oranında kancalı çelik lif içermektedir. K1-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği Şekil 3.12’de sunulmuştur. İlk çatlak yükü 24.77 kN ve tepe yükü 73.52 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.12: K1-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği.

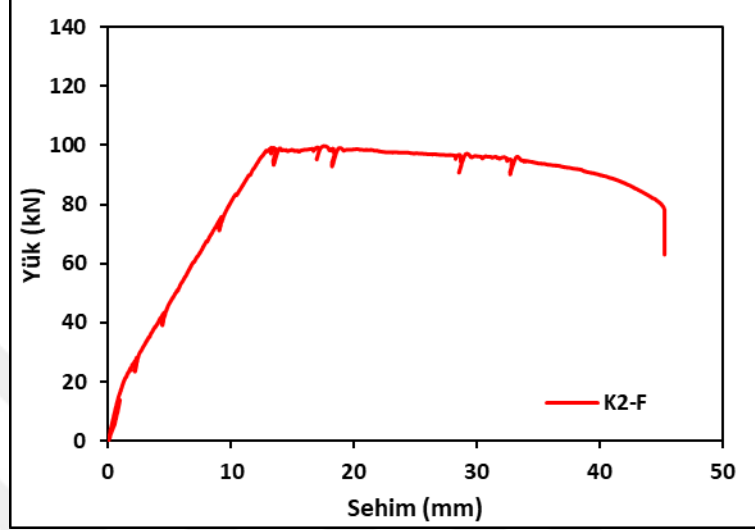
Belirli sehim değerleri için çatlak davranışları ve kırılma Şekli Şekil 3.13'te sunulmuştur. nce kiriş orta bölgesinde eğilme çatlakları başlamış ve artan yükle beraber bu çatlaklar ilerlemiştir. Kirişin sağ ve sol açıklığında eğik çatlaklar oluşmasına rağmen bu çatlaklar sınırlı kalmıştır. Artan yük seviyelerinde eğilme çatlaklarının sayıları artış göstermiş ve başlık kısmına doğru ilerlemişlerdir. Sol yüke yakın bir bölgedeki tek bir çatlak genişlemeye devam etmiş, diğer çatlakların genişlikleri sınırlı kalmıştır. Test bu çatlağın aşırı genişlemesi sonucu donatı kopması ile sonuçlanmıştır.



Şekil 3.13: K1-F kirişinin çatlak davranışı ve kırılma Şekli.

K2-F Kirişi Deney Sonuçları:

K2-F kirişi %1.2 çekme donatısı oranına sahiptir ve %2 oranında kancalı çelik lif içermektedir. K1-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği Şekil 3.14'te sunulmuştur. İlk çatlak yükü 19.78 kN ve tepe yükü 99.78 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.14: K2-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği.

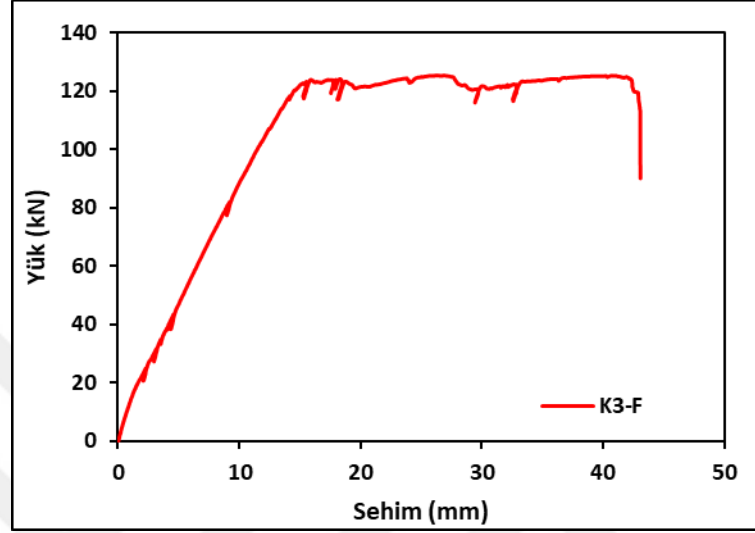
Belirli sehim değerleri için çatlak davranışları ve kırılma şekli Şekil 3.15'te sunulmuştur. Önce kiriş orta bölgesinde eğilme çatlakları başlamış ve artan yüklerle beraber bu çatlaklar ilerlemiştir. Kirişin sağ ve sol açıklığında eğik çatlaklar oluşmasına rağmen bu çatlaklar sınırlı kalmıştır. Artan yük seviyelerinde eğilme çatlaklarının sayıları artış göstermiş ve başlık kısmına doğru ilerlemişlerdir. Sol yüke yakın bir bölgedeki tek bir çatlak genişlemeye devam etmiş, diğer çatlakların genişlikleri sınırlı kalmıştır. Test bu çatlağın aşırı genişlemesi sonucu donatı kopması ile sonuçlanmıştır.



Şekil 3.15: K2-F kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli.

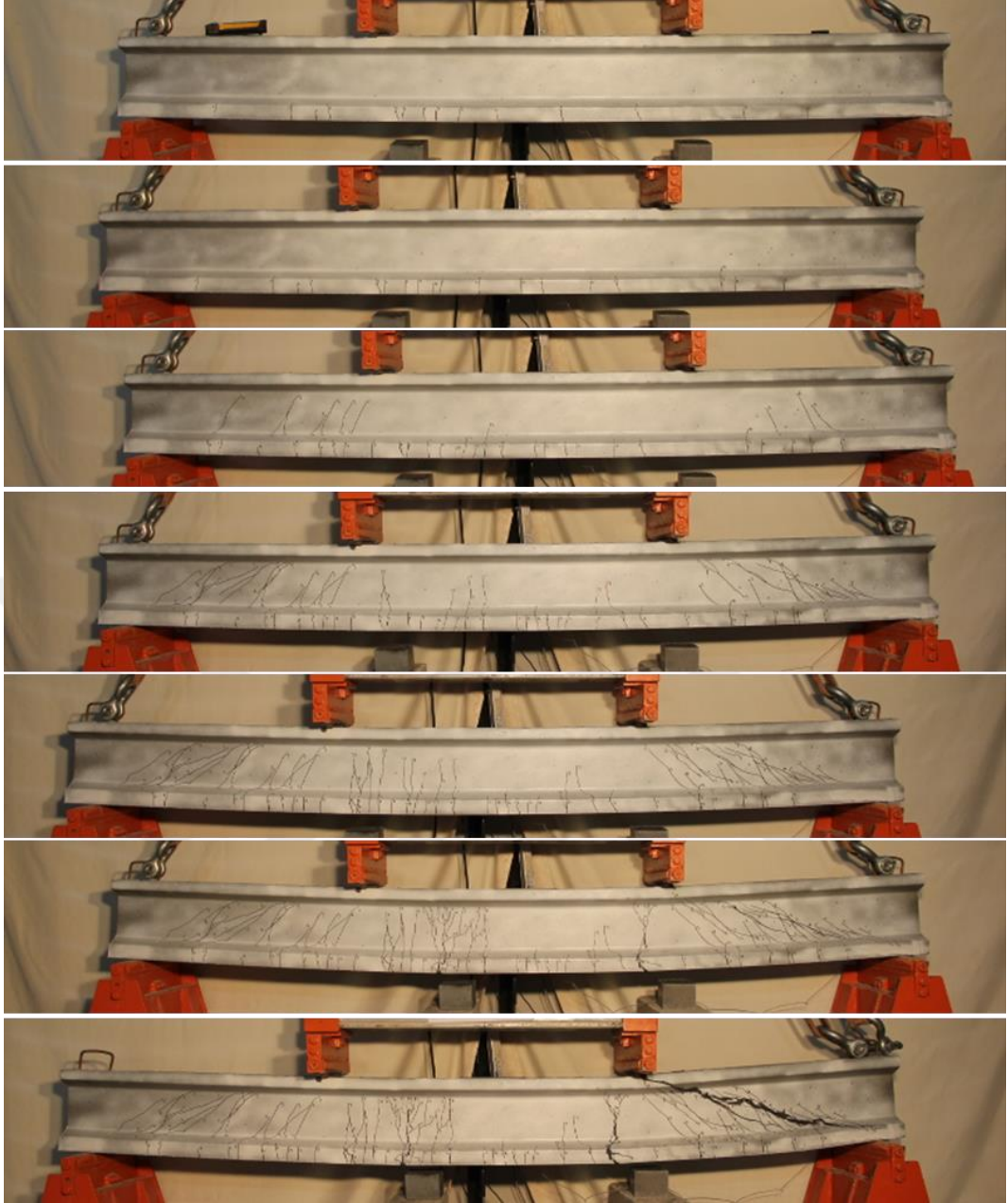
K3-F Kirişi Deney Sonuçları:

K3-F kirişi %1.7 çekme donatısı oranına sahiptir ve %2 oranında kancalı çelik lif içermektedir. K1-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği Şekil 3.16'da sunulmuştur. İlk çatlak yükü 16.03 kN ve tepe yükü 125.31 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.16: K3-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği.

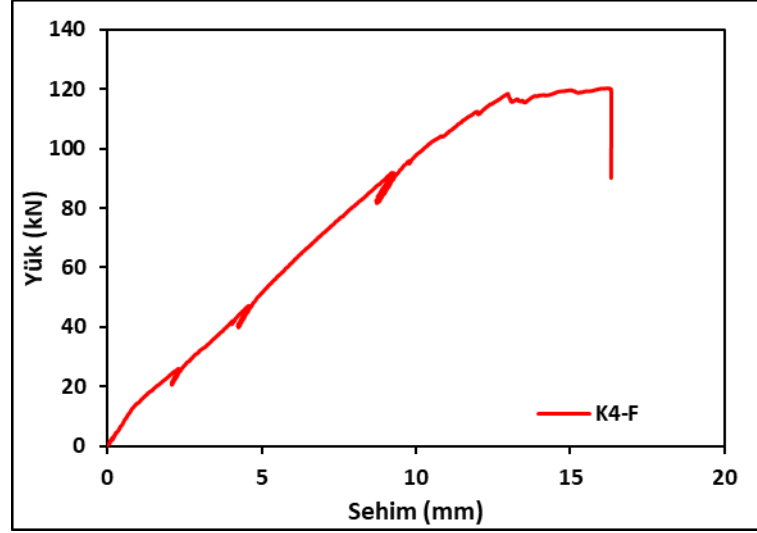
Belirli sehim değerleri için çatlak davranışları ve kırılma şekli Şekil 3.17'de sunulmuştur. Önce kiriş orta bölgesinde eğilme çatlakları başlamış ve artan yüklerle beraber bu çatlaklar ilerlemiştir. Kirişin sağ ve sol açıklığında eğik çatlaklar oluşmasına rağmen bu çatlaklar sınırlı kalmıştır. Artan yük seviyelerinde eğilme çatlaklarının sayıları artış göstermiş ve başlık kısmına doğru ilerlemiştir. Sağ yüke yakın bir bölgedeki tek bir eğilme çatlağı genişlerken aynı zamanda sağ açıklıkta eğik çatlakların sayısı ve genişliklerinde de artış devam etmiştir. Test sağ açıklıktaki eğik çatlakların ani genişlemesi sonucu kesme kırılması ile sonuçlanmıştır.



Şekil 3.17: K3-F kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli.

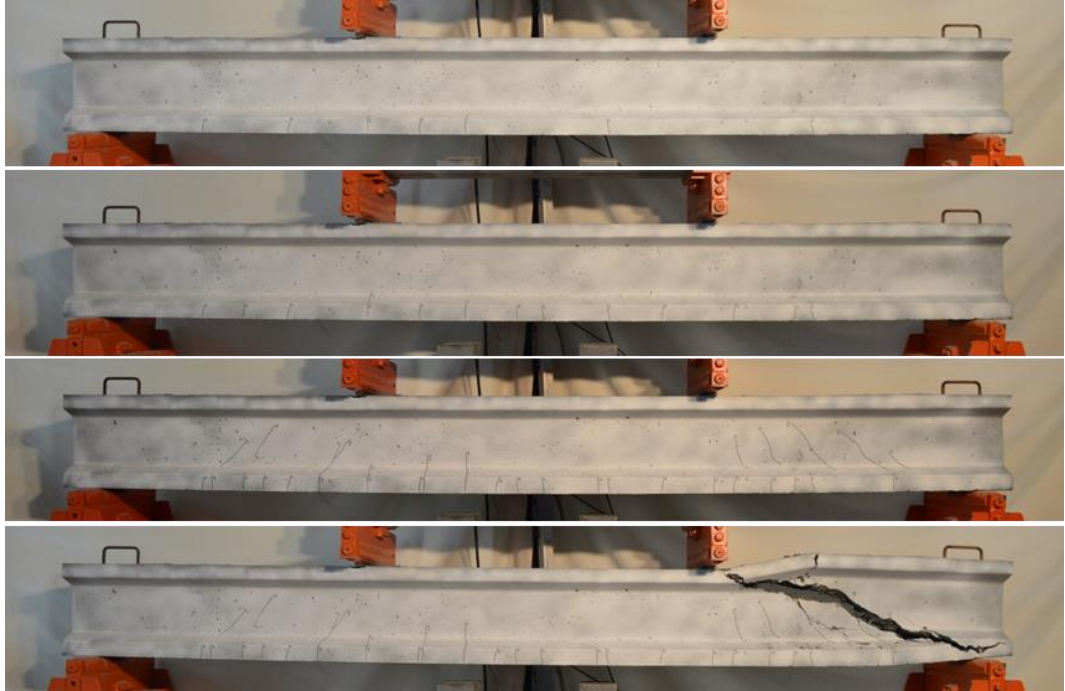
K4-F Kirişi Deney Sonuçları:

K4-F kirişi %2.2 çekme donatısı oranına sahiptir ve %2 oranında kancalı çelik lif içermektedir. K4-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği Şekil 3.18'de sunulmuştur. İlk çatlak yükü 13.38 kN ve tepe yükü 120.18 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.18: K4-F kirişi için elde edilen yük-sehim grafiği.

Belirli sehim değerleri için çatlak davranışları ve kırılma şekli Şekil 3.19'da sunulmuştur. Önce kiriş orta bölgesinde eğilme çatlakları başlamış ve artan yüklerle beraber bu çatlaklar ilerlemiştir. Kirişin sağ açıklığında oluşan eğik çatlak sonucu kesme kırılması meydana gelmiş ve kiriş eğilme kapasitesine ulaşmadan test sonlanmıştır.



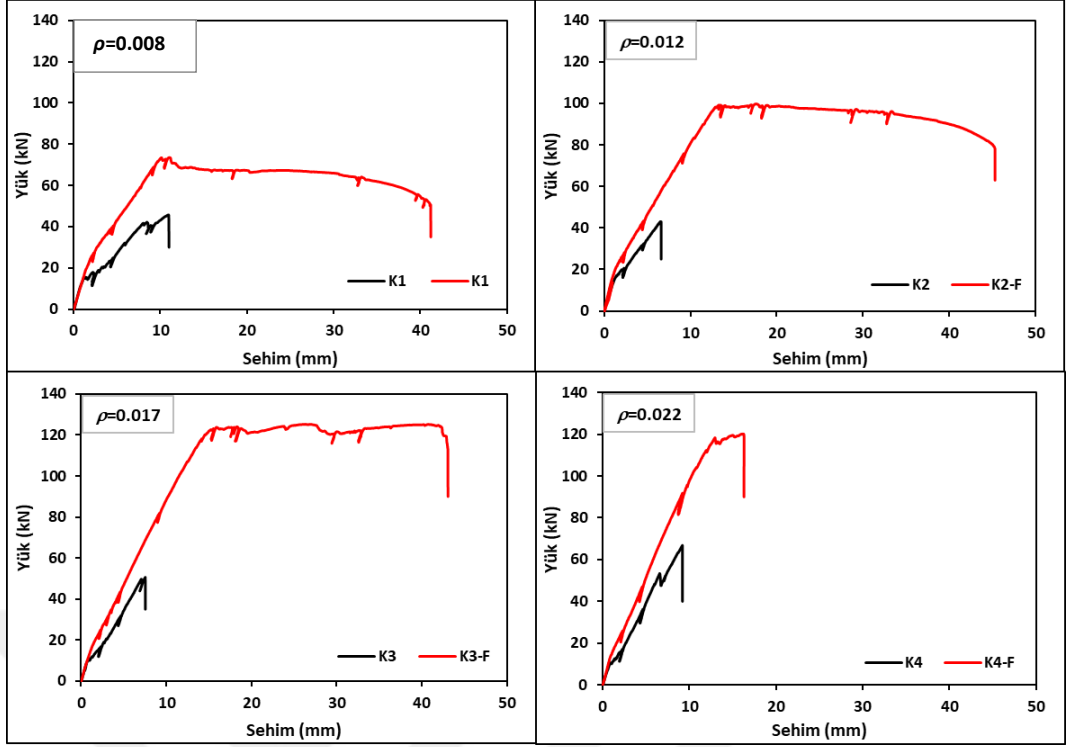
Şekil 3.19: K4-F kirişinin çatlak davranışı ve kırılma şekli.

3.4 Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Lifsiz kontrol kirişler ile UYPLB'lu kirişlerin eğilme testlerinden elde edilen sonuçlar; yük-sehim ilişkisi, çatlak davranışı ve kırılma şekli, ilk çatlak dayanımı ve kesme dayanımı parametreleri açısından her bir donatı oranı için karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

3.4.1 Yük-Sehim İlişkisi

Lifsiz kontrol kirişler ile UYPLB'lu kirişlerin eğilme testlerinden elde edilen yük-sehim grafikleri Şekil 3.20'de her bir donatı oranı için karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Yük-sehim grafiklerinden elde edilen karakteristik değerler ise Tablo 3.2'de verilmiştir. Lifsiz kirişlerde kesme donatı kullanılmadığı için çekme donatısı akmadan kesme kırılması meydana gelmiş ve kirişler eğilme kapasitelerine ulaşamamışlardır. UYPLB'lu kirişlerde ise 0.008 ve 0.012 donatı oranlarına karşılık gelen kesme talepleri liflerin çatlakları sınırlaması nedeniyle karşılanabilmiş ve sünek eğilme davranışı elde edilebilmiştir. 0.017 donatı oranına sahip kirişte ise lifler kesme çatlaklarını çekme donatısının ardından bir belirli sehim değerine kadar tutabilmiş fakat kesme kırılmasının oluşumunu önleyememiştir. En yüksek donatı oranında ise (0.022) donatı akması gerçekleşmeden kesme kırılması meydana gelmiştir (Şekil 3.20). Ayrıca kirişlerin yük-sehim ilişkileri incelendiğinde UYPLB kullanımının lifsiz duruma göre kapasiteyi ve rijitliği arttırdığı görülmektedir.



Şekil 3.20: Donatı oranlarına göre yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması.

Tablo 3.2: Testlerin sonucunda elde edilen karakteristik değerler.

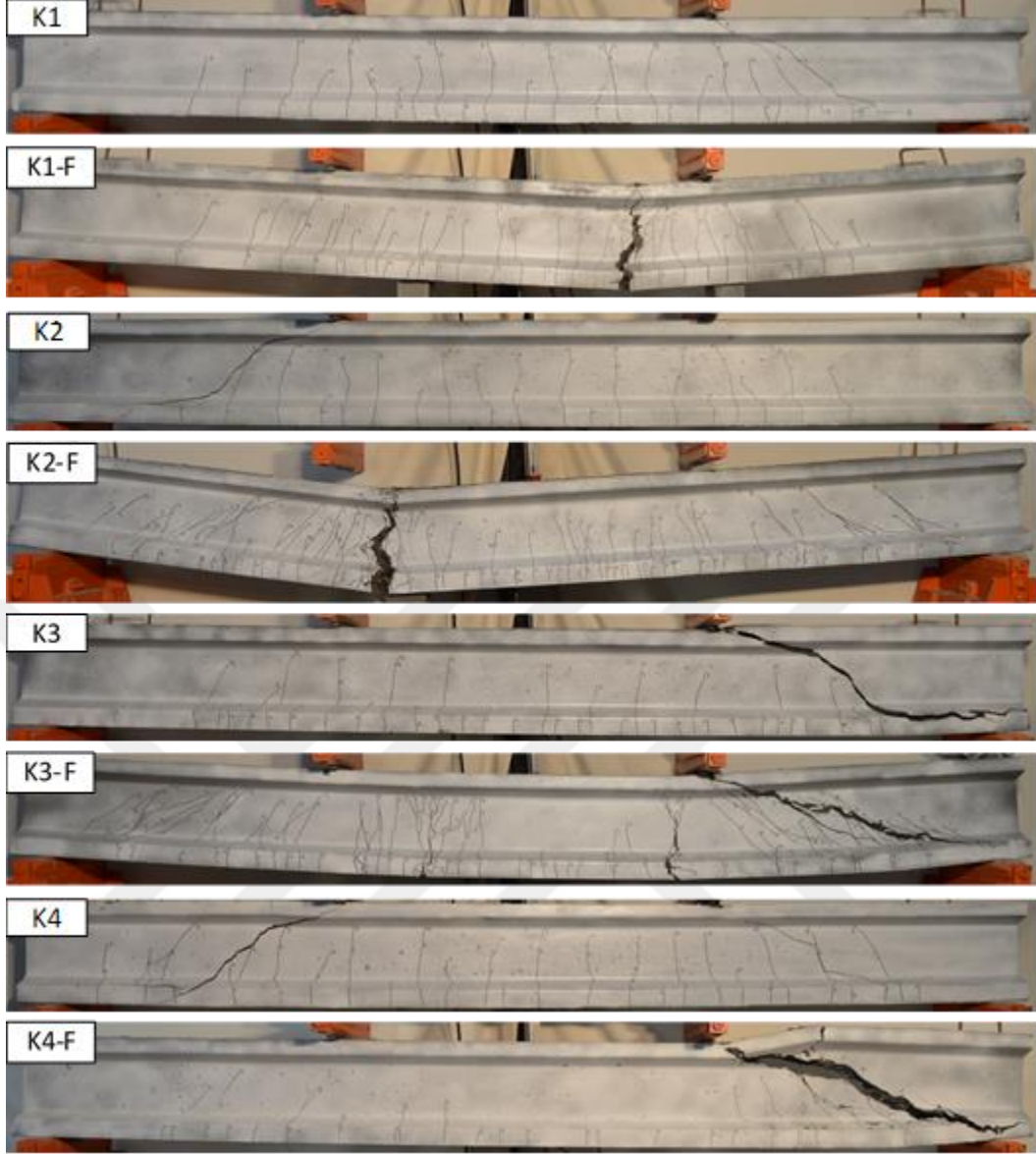
Kiriş kodu	ρ	V_f	Δ_{cr} (mm)	P_{cr} (kN)	Δ_p (mm)	P_p (kN)	V_u (kN)	Kırılma şekli
K1	0.008	-	1.21	15.43	10.92	45.69	22.85	Kesme
K2	0.012	-	1.23	15.62	6.52	43.12	21.56	Kesme
K3	0.017	-	0.76	9.96	7.54	50.60	25.30	Kesme
K4	0.022	-	0.85	10.28	9.22	66.81	33.40	Kesme
K1-F	0.008	0.02	1.98	24.77	11.01	73.52	-	Eğilme
K2-F	0.012	0.02	1.26	19.78	17.56	99.78	-	Eğilme
K3-F	0.017	0.02	1.22	16.03	26.33	125.31	62.65	Eğilme-Kesme
K4-F	0.022	0.02	0.89	13.38	16.19	120.18	60.09	Kesme

Δ_{cr} : İlk çatlak yerdeğiştirmesi; P_{cr} : İlk çatlak yükü; Δ_p : Tepe yerdeğiştirmesi; P_p : Tepe yükü; V_u : maksimum kesme kuvveti

3.4.2 Çatlak Davranışı ve Kırılma Şekilleri

Test kirişlerinin kırılma şekilleri karşılaştırılmalı olarak Şekil 3.21’de sunulmuştur. İncelenen tüm donatı oranları için lifsiz kirişlerde kesme kırılması meydana gelmiştir. Kirişlerin kesme açıklıklarında oluşan eğik çatlaklar yük ve mesnet arasında genişlemeye devam etmekte ve kırılma bu çatlak nedeniyle meydana gelmektedir (Şekil 3.21). UYPLB’lu kirişlerde ise düşük donatı oranlarında (0.008 ve 0.012) liflerin çatlakları sınırlama özelliği nedeniyle eğik çatlaklar oluşmasına karşın genişlikleri ve ilerlemeleri sınırlı kalmıştır. Bunun sonucunda yük artışı ile birlikte eğilme çatlakları sayısı giderek artmış ve kirişin başlık bölgesine doğru ilerlemişlerdir. Çekme donatılarında akmanın ardından kirişler eğilme kapasitelerine ulaşmış ve liflerin sıyrılması ile birlikte diğer çatlaklara göre çok daha geniş tek bir çatlak meydana gelmiştir. Bu noktadan sonra diğer çatlakların genişlemesi durmuş ve oluşan bu çatlak lokalleşmesi nedeniyle donatıda meydana gelen aşırı gerilmeleri nedeniyle donatılarda kopma meydana gelmiştir (Şekil 3.21).

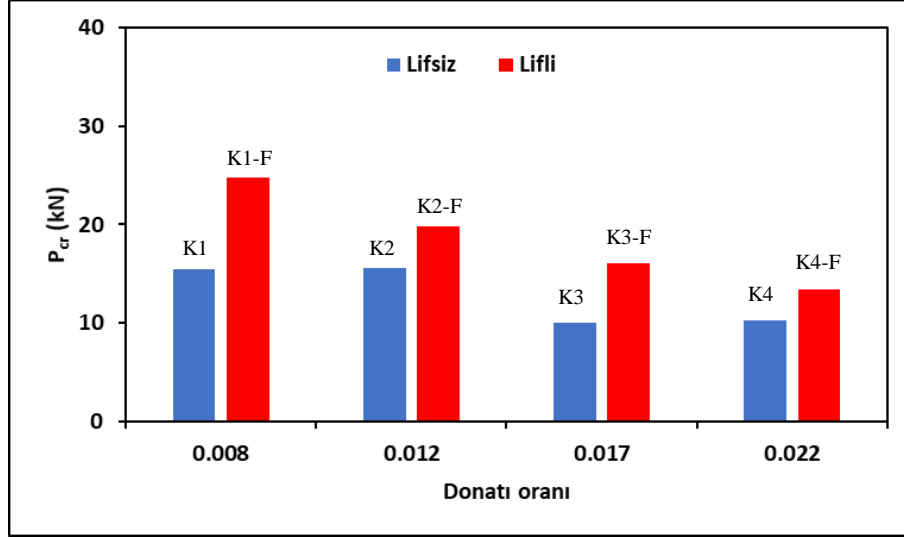
Donatı oranı 0.017 için UYPLB’lu kirişte lifler kiriş eğilme kapasitesine ulaşana kadar kesme çatlaklarını sınırlamasına karşın yükte oluşan artış nedeniyle kesme çatlağında aşırı genişleme meydana gelerek kesme kırılması meydana gelmiştir. En yüksek donatı oranında (0.022) ise liflerin çatlak sınırlama etkisi yetersiz kalmış ve kesme kırılması meydana gelmiştir.



Şekil 3.21: Kırılma şekillerinin donatı oranlarına göre karşılaştırılması.

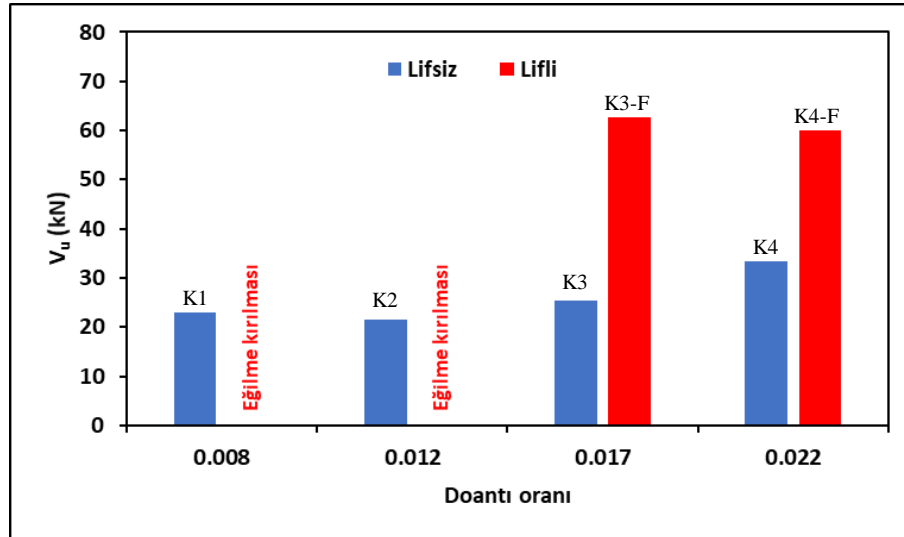
3.4.3 İlk Çatlak Yükü ve Kesme Dayanımı

Lifsiz ve UYPLB'lu kirişlerin ilk çatlak yükleri yük-sehim grafiklerinden elde edilmiş ve Şekil 3.22'de her bir donatı oranı için karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Lifsiz kirişlerde ilk çatlak yükleri donatı oranının artmasıyla azalma göstermektedir. UYPLB'lu kirişlerde ise benzer şekilde donatı oranının artmasıyla çatlama dayanımlarında azalma meydana gelirken lifsiz kontrol kirişlerine göre belirgin şekilde daha yüksek çatlama dayanımları elde edilmiştir.



Şekil 3.22: Kirişlerin çatlama dayanımlarının karşılaştırılması.

Kirişlerin kesme dayanımları Şekil 3.23'te karşılaştırılmalı olarak her bir donatı oranı için sunulmuştur. UYPLB'lu kirişler 0.008 ve 0.012 donatı oranları için kesme kırılması önleyerek kırılma şeklini eğilmeye çevirmiştir. Bu nedenle kesme dayanımı karşılaştırılmalarında değerlendirmeye alınmamıştır (Şekil 3.23). Çelik liflerin çatlakları sınırlama özelliği nedeniyle kesme dayanımı UYPLB kullanılan kirişlerde lifsiz kirişlere göre belirgin şekilde artış gösterdiği görülmüştür.



Şekil 3.23: Kirişlerin kesme dayanımlarının karşılaştırılması.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, UYPLB kullanımının I enkesitli betonarme kirişlerin kesme davranışına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için dört farklı donatı oranı içeren (0.008, 0.012, 0.017, 0.022) dört adet UYPLB kiriş üretilmiş ve dört noktalı eğilme altında test edilmiştir. Betonda %2 oranında kancalı çelik lif kullanılmıştır. Buna ek olarak karşılaştırmalarda kullanılmak üzere aynı donatı oranları için dört adet lifsiz kontrol kiriş hazırlanmış ve test edilmiştir. Tüm kirişlerde kesme davranışının incelenmesi amaçlandığından kesme donatısı kullanılmamıştır.

Deneysel çalışmanın sonucunda düşük donatı oranları için (0.008 ve 0.012) UYPLB kullanımı ile kesme donatısı kullanılmadan kesme kırılmasının önlenebildiği görülmüştür. Daha yüksek donatı oranlarında ise (0.017 ve 0.022) çalışmada kullanılan lif tipi ve oranı için kesme kırılmasının UYPLB ile önlenemediği görülmüştür. UYPLB kullanımı sonucu çatlama ve kesme dayanımında lifsiz duruma göre belirgin şekilde artış meydana geldiği belirlenmiştir.

UYPLB'un kirişlerde kesme donatısı kullanılmadan tasarıma imkân verme potansiyeli görülmüştür. Bununla birlikte farklı kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranları için çalışmaların yapılması davranışın daha detaylı olarak anlaşılmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Richard, P., Cheyrezy, M., “Reactive Powder Concretes with High Ductility and 200-800 MPa Compressive Strength”, *American Concrete Institute*, ACI SP-144, 507-518.
- [2] Bayramov, F., Aydoner, T., İlki, A., Taşdemir, C., Taşdemir, M.A., Yerlikaya, M., “An Optimum Design for Steel Fiber Reinforced Concretes under Cyclic Loading,” Proc. 5th Int. *Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures*, Vail, Colorado, USA, April 12 - 16, (2004).
- [3] Wille, K., Naaman, A.E., El-Tawil, S., Parra-Montesinos G.J., “Ultra-High Performance Concrete and Fiber Reinforced Concrete: Achieving Strength and Ductility without Heat Curing”, *Materials and Structures*, 45(3), 309-324, (2012).
- [4] Rashid, M.A., Mansur, M.A., “Reinforced High-Strength Concrete Beams in Flexure”, *ACI Structural Journal*, 102(3), 462-471, (2005).
- [5] Shin, S.W., Ghosh, S.K., Moreno, J., “Flexural Ductility of Ultra-High Strength Concrete Members”. *ACI Structural Journal*, 86(4), 394-400, (1989).
- [6] Voo, J.Y.L., Foster, S.J., Gilbert, R.I., “Shear Strength of Fibre Reinforced Reactive Powder Concrete Girders without Stirrups”, *UNICIV Report R-421*, University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering, Kensington, Sydney, Australia, (2003).
- [7] Telleen, K., Noshiravani, T., Galrito, R., Brühwiler, E., “Experimental Investigation into the Shear Resistance of a Reinforced UHPFRC Web Element”, *8th Fib PhD Symposium in Civil Engineering*, Kgs, Lyngby, Denmark, (2010).

- [8] Baby, F., Billo, J., Renaud, J.C., Massotte, C., Marchand, P., Toutlemonde, F., “Shear Resistance of Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concrete I-Beams. Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures-High Performance, Fiber Reinforced Concrete”, *Special Loadings and Structural Applications*- B. H. Oh, et al. (eds), Korea Concrete Institute, 1411-1417, (2010).
- [9]Ciprian, T., Dan, B., Victor, V., Cornelia, M., “Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete I Beams Subjected to Shear Action”, *ACTA Technica Napocensis: Civil Engineering and Architecture*, 55(2), 121-126, (2012).
- [10] Zagon, R., Popa, M., Bindea, M., Kiss, Z., “Replacement of Conventional Shear Reinforcement in a Steel Fibre Reinforced-Ultra High Performance Cement Beam”, *Buletinul Institutului Politehnic Din Iași, Universitatea tehnică*, LIX(LXIII), 27-32, (2013).
- [11] Kamal M.M., Safan, M.A., Etman, Z.A., Salama, R.A., “Production of Ultra High-Strength Concrete using Local Materials” *Engineering Research Journal*, 36(1), 91-100, (2013).
- [12] Ali, H.M., Alamir, J.S.A., Hamad, N.T., “First Diagonal Cracking and Ultimate Shear of Reactive Powder Concrete T-Beams without Stirrups”, *Journal of Engineering and Development*, 18(5), 149-164, (2014).
- [13] Yavaş, A., Hasgül, U., Türker, K., Birol, T., “Effective fiber type investigation on the shear behavior of ultrahigh-performance fiber-reinforced concrete beams”, *Advances in Structural Engineering*, 1-15, (2019).
- [14] Türker, K., Birol, T., Yavaş, A., Hasgül, U., “Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton İçeren Kirişlerde Etkin Çelik Lif Tipi İncelemesi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 776-785, (2016).

[15] Türker, K., Birol, T., Yavaş, A., Hasgöl, U., Yazıcı, H., “Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton ile Üretilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışı”, *Teknik Dergi*, 8777-8801, (2019).

[16] Hasgöl, U., Türker, K., Birol, T., Yavaş, A., “Flexural behavior of ultra-high performance fiber reinforced concrete beams with low and high reinforcement ratios”, *Structural Concrete*, 1577-1590, (2018).

