



THE IMPACT EFFECT ON STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH DIFFERENT STEEL FIBER RATIO

M. Fatih Şahan¹ , İsmail Ünsal^{*1} 

¹Adıyaman University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Adıyaman, Turkey

Abstract

Original scientific paper

In this study, the effect of steel fiber ratio on the flexural impact behavior of concrete beams was investigated. An instrumented drop weight system was used to determine the relationship between steel fiber ratio and impact behavior in flexure. In addition to the control mixture, steel fiber added concrete mixtures were produced in the ratios of 0.25% (19.5 kg / m³), 0.50% (39 kg / m³) and 0.75% (58.5 kg / m³) of the concrete volume for the study. Beams with the dimension of 100x100x500 mm were produced for the experiments. Pressure, flexural, and instrumented drop weight tests were performed on the beams. In addition, the width of the cracks formed in the middle of the beam because of the drop weight tests was measured. In the low-velocity impact tests performed using an instrumented drop weight system, it was observed that the steel fiber-reinforced concretes were more resistant to sudden fracture compared to the control sample. In addition, because of the low-velocity impact test, it was determined that as the amount of steel fiber increases, the crack widths decrease. As a result of the study, it has been observed that steel fiber has positive effects on the static and dynamic properties of concrete.

Keywords: Impact behaviour, instrumented drop weight test, steel fiber reinforced concrete.

FARKLI LİF ORANINA SAHİP ÇELİK LİF TAKVİYELİ BETON KİRİŞLERDE ÇARPMA ETKİSİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada çelik lif takviyeli beton kirişlerde lif oranının eğilmede çarpma davranışına etkisi araştırılmıştır. Çelik lif oranı ile eğilmede çarpma davranışı arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla aletli ağırlık düşürme sistemi kullanılmıştır. Çalışma için kontrol karışımının yanı sıra beton hacminin % 0.25 (19.5 kg/m³), % 0.50 (39 kg/m³) ve % 0.75 (58.5 kg/m³) oranlarında çelik lif takviyeli beton karışımları üretilmiştir. Deneyler için 100x100x500 mm boyutlarında kirişler üretilmiştir. Kirişler üzerinde basınç, eğilme ve aletli ağırlık düşürme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca ağırlık düşürme deneyleri sonucunda kiriş ortasında meydana gelen çatlak genişliği ölçümü yapılmıştır. Aletli düşen ağırlık sistemi kullanılarak yapılan düşük hızlı darbe deneylerde ise çelik lif takviyeli betonların kontrol numunesine kıyasla ani kırılmaya karşı daha dirençli olduğu görülmüştür. Ayrıca çelik lif miktarının artması ile düşük hızlı darbe deneyi sonucunda kirişlerde oluşan çatlak genişliklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda çelik lifin betonun statik ve dinamik özelliklerine olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Darbe davranışı, aletli ağırlık düşürme deneyi, çelik lifli beton.

1 Giriş

Beton, inşaat mühendisliği açısından ekonomiklik, güvenlik ve estetik olma felsefelerini aynı anda kolayca taşıyabildiği için yaygınca kullanılan bir yapı malzemesidir. Betonun uygulama alanları düşünüldüğünde beton yapı ömrü boyunca pek çok farklı yüklere maruz kalmaktadır. Bu yüklerden olan darbe etkileri pek çok yapının bazı elemanları için kritik öneme sahiptir. Bu kritik öneme sahip darbe etkilerine kıyı liman yapıları taşıyıcı elemanlarına gemi vb. deniz taşıtlarının düşük hızlarda çarpması, sanayi yapılarında gerek döşemeye ağırlık düşmesi gerekse krenler ile taşınan ağırlıkların kolonlara çarpması, otoparklarda veya sanayi yapılarında taşıtların

kolonlara çarpması gibi pek çok darbe etkisi örnek olarak verilebilir. Statik etkiler ve dinamik etkiler birlikte düşünüldüğüne betonun çekme mukavemetinin basınç dayanımına oranla çok düşük olması sebebiyle zaman içerisinde betonun zayıf özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Rastgele yönelimli süreksiz lifler içeren betona Lif Takviyeli Beton (LTB) denir. Rastgele yönlendirilmiş lifler, çimento matrisinde çatlak yayılmasına ve genişlemeye etkili bir şekilde direnebilir ve hem statik hem de darbe yükleri altında betonun çatlama sonrası sünekliğini iyileştirir [1]. Betonun zayıf yönü olan çekme mukavemetini geliştirmek aynı zamanda betonun dinamik

* Corresponding author.

E-mail address: ismailunsl@gmail.com (İ. Ünsal)

Received 24, August 2021; Received in revised form 06 December 2021; Accepted 14 December 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.986369>

yüklere karşı dayanımını arttırmak ve malzemenin parçalanmasını veya dağılmasını engellemek, oluşabilecek çatlakların büyümesini durdurmak amacıyla beton karışımı içerisine ilave edilen lifler çok farklı kimyasal yapılara ya da geometrik özelliklere sahip olabilmektedir. Beton karışımı içerisine ilave edilen lifler çelik, polipropilen, polietilen, polyester, karbon, cam vb. liflerdir. LTB üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde Çelik Lif Takviyeli Betonların (ÇLTB) günümüzde çok popüler olduğu görülecektir.

ÇLTB üzerinde günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Song vd. [2] yaptığı çalışmada betona beton hacminin %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 oranında çelik lif ilave etmiştir. Yaptıkları basınç ve eğilme deneyleri sonucuna göre beton hacminin %1.5'a kadar eklenen çelik lifin beton basınç dayanımına katkı sağladığını, %1.5'dan sonra ise basınç dayanımında hafif düşüşler olduğunu görmüşlerdir. Eğilme deneylerinde ise çelik lif miktarına bağlı olarak eğilmede çekme dayanımında artış olduğunu belirlemişlerdir. Tokluk indisinin ise çelik lif oranının artışı ile arttığını tespit etmişlerdir. Korkut vd. [3] çelik ve sentetik lifli betonun mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Hazırladıkları sentetik lifli ve çelik lifli karışımlarla basınç mukavemetini, çekme mukavemetini ve yarma deneylerini yapmışlardır. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre en yüksek dayanım artışı 60 mm makro lifli beton karışımında olmuştur. Çalışmalarında çelik lifin çekme ve yarma deneylerinde betona katkı sağladığı sonucuna varmışlardır. Nataraja vd. [4] yaptıkları çalışmada beton karışımı içerisine betonun hacminin 0.5%, 0.75% ve 1.0% (39, 59, 78 kg/m³) oranlarında çelik lif ilave etmişlerdir. Deney numunelerin birim gerilme eğrilerini çizmiş ve basınç altındaki durumlarını incelemişlerdir. Tokluk oranları çelik lif miktarının artışı ile doğru orantılı olmuştur. Geliştirdikleri formüller ile ÇLTB betonun tokluk oranı belirlenmesi ve birim gerilme eğrisini çizmesini kolaylaştırmaya çalışmışlardır. Yoo vd. [5] yaptıkları çalışmada ÇLTB ve tekstil elyaf takviyeli beton kırış numuneler üzerinde hem statik hem dinamik çalışmalar yapmışlardır. Farklı çimento dozajları (490, 680 kg/m³) ve farklı su çimento(0.40, 0.23) oranı kullanmışlardır. Statik olarak dört noktada eğilmede çekme mukavemeti testi ve dinamik olarak aletli ağırlık düşürme testi yapmışlardır. Eğilmede çekme mukavemeti testinde tekstil elyafı ilavesi çekme mukavemetinin artırdığı yük taşıma kapasitesinde önemli artışlar tespit etmişlerdir. Çelik lif ilavesinde de yük taşıma ve çekme mukavemetini artırdığını görmüşlerdir. Aletli ağırlık düşürme testinde darbe darbeye karşı gösterilen tepki en yüksek ÇLTB betonlarda olduğunu görmüşlerdir. Darbe kuvvetinin hem çelik lif ilavesinde hem tekstil elyaf ilavesinde artış yaptığını gözlemlemişlerdir. Abid vd. [6] yaptıkları çalışmada farklı mikro çelik lif oranlarında (0, 0.5, 0.75 ve 1.0%), farklı ağırlıktaki topları serbest bir şekilde numuneler üzerine tekrarlı olarak düşürerek deneyler yapmışlardır. Karışımlarda farklı çimento dozajları kullanmışlardır. En yüksek basınç dayanımını 0.75% çelik lif oranında bulmuşlardır. En yüksek çekme mukavemetini ise 1.0% oranında bulmuşlardır. 0, 0.5, 0.75 ve 1.0% oranlarında ÇLTB numunelere 5 kg ağırlığındaki topun 450 mm yükseklikten düşürülmesi sonucunda oluşan ilk çatlak sırasıyla 79, 350, 498 ve 672'nci düşürüşte meydana gelmiştir. Lifli numunelerin darbe sünekliğinin yalın

numunelere göre% 24'e kadar daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Kang vd. [7] çalışmalarında çelik lif takviyeli betonların basınç ve eğilme dayanımlarını tahmin etmek üzere bir makine öğrenimi algoritması geliştirmişlerdir. Temel değişkenler olarak su-çimento oranı, ince-kaba agrega oranı, kaba agrega boyutları, süper akışkanlaştırıcı, silis dumanı, lif oranı ve lif en-boy oranı esas alınmıştır. Su-çimento oranı ile silis dumanının basınç dayanımı tahminleri için en önemli değişken olduğunu saptamışlardır. Eğilme dayanımı tahminleri için ise lif oranı ile yine silis dumanı en etkili değişkenler olarak belirlenmiştir. Geliştirdikleri algorithmadan bağımsız olarak, çelik lif takviyeli betonların basınç dayanımını tahmin etme performansı eğilme dayanımı tahminlerine nazaran daha başarılı bulunmuştur.

Rai vd. [8] çelik ve polipropilen lifler içeren Hibrit takviyeli betonların darbe dayanımları ile ilgili olarak deneysel ve istatistiksel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel bulgular çelik ve polipropilen liflerin Hibrit olarak kullanımının betonun gerek mekanik özelliklerini gerekse darbe davranışını iyileştirdiğini göstermiştir. Önerdikleri regresyon modelleri ile gerek çelik lif takviyeli gerekse Hibrit lif takviyeli betonların tekrarlı ağırlık düşürme test verilerindeki değişimlerin değerlendirilmesine yönelik olarak literatüre katkıda bulunmuşlardır.

Yukarıda verilen çalışmalardan da anlaşılacağı üzere betona çelik lif ilavesi ile betonun özelliklerini geliştirmek üzere pek çok çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte ÇLTB kırışlar üzerinde aletli ağırlık düşürme testlerinin yapıldığı çalışmalar çok kısıtlıdır. Bu çalışmada bu zamana kadar yoğun olarak sadece statik deneylerle incelenen ÇLTB, hem statik hem dinamik deneyler yardımı ile incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada 350 kg çimento dozajlı ve su-çimento oranı 0.55 olacak şekilde beton karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan bu beton karışımı içerisine beton hacminin %0.25, %0.5 ve %0.75 'i kadar (19.5, 39, 58.5 kg/m³) oranlarında çelik lif eklenerek ÇLTB karışımları oluşturulmuştur. Hazırlanan bu karışımlar kullanılarak 100x100x500 mm boyutlarında beton kırış numuneleri üretilmiştir. Beton numuneleri 28 gün boyunca kür'e tabi tutulmuştur. Elde edilen bu beton numuneleri üzerinde basınç testi, üç nokta eğilme testi ve aletli ağırlık düşürme testi yapılmıştır.

2 Materyal ve Metot

Bu çalışmada beton karışımında 350 kg/m³ çimento dozajı seçilmiştir. Çimentonun %4'ü kadar (1 m³ için 1.4 kg) akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Beton karışımları çimento, su, agrega (%40 ince, %30 orta, %30 iri), akışkanlaştırıcı oranları standart olup tüm karışımlarda aynı oranlar kullanılmıştır. 1 m³ beton karışımında yer alan bileşenler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Beton karışım oranları

Malzeme	Miktar	
	(kg)	(%)
Çimento	350	11.25
Su	192.5	19.25
İnce agrega (0-4 mm)	747.27	27.4
Orta agrega (4-11.2)	538.12	20.5
İri agrega (11.2-22.4)	539.48	20.6

Bu çalışmada beton karışımına ilave edilen çelik lif Dramix firmasına ait 60 mm uzunluğunda 0.75 mm çapında çelik lif olup narinlik oranı 80'dir. Tablo 2'de karışıma ilave edilen çelik lifin mekanik özellikleri verilmiş olup Şekil 1'de ise çelik lifin resmi verilmiştir.

Tablo 2. Çelik lifin mekanik ve geometrik özellikleri

Özellik	Büyükük
Çekme Mukavemeti (MPa)	1225
fiber uzunluğu (mm)	60
Çap (mm)	0.75
Narinlik oranı	80
Elastisite modülü (N/mm ²)	210000



Şekil 1. Betona ilave edilen çelik lif

Hazırlanan beton karışımına üç farklı oranda (beton hacminin %0.25 (19.5 kg/m³), %0.5 (39 kg/m³) ve %0.75 (58.5 kg/m³)'i kadar çelik lif ilave edilmiş ve çelik lif eklenmeyen kontrol karışımı ile birlikte toplamda 4 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. TS EN 12390-1'e [9] göre hazırlanan 100 mm'lik küp numuneler ve 100x100x500 mm'lik kiriş numuneler 28 gün kür edilmiştir. Her bir karışımdan 3 noktalı eğilme deneyi için 3 numune ve aletli ağırlık düşürme deneyi için 3 numune üretilmiştir.

Darbe testleri kendi içerisinde düşük hızda yapılan testler ve yüksek hızlı testler olarak ikiye ayrılır. Düşük hızda yapılan testler 1-10 m/s arasında gerçekleştirilen deneylerdir. Yüksek hız olarak ifade edilen darbe testi 74.1 m/s'ye kadar gerçekleştirilen testlerdir [10]. Bu testlerden Pendulum, Izod ve Charpy, ankastre edilmiş kiriş ve ağırlık düşürme testleri düşük hızlı darbe testleri grubundadır. Split-Hopkinson basınçlı çubuk test ve basınçlı hava ile darbe testleri ise yüksek hızlı darbe testleridir. Yüksek hızlı darbe testleri hafif bir ağırlığın basınçlandırılarak numune üzerine darbe uygulanmasıyla yapılır. Ağırlık düşürme testi ise belirli bir ağırlığın belirli bir yükseklikten numune üzerine bırakılmasıyla yapılan bir deneydir. Ağırlık

düşürme deneyi aletli ve aletsiz olarak iki türü vardır. Aletli ağırlık düşürme darbe test yöntemi malzemenin dinamik özelliklerini belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Diğer yöntemlerden farklı olarak, yükseklikte farklı ağırlık ve farklı uçlar ile elde edilmek istenen enerji ve hız değiştirilebilmektedir. Ayrıca aletli ağırlık düşürme darbe testi ile numuneye saplanma, delinme ve tekrarlı darbe testleri de yapılabilmektedir. Bu çalışmada aletli ağırlık düşürme test sistemi kullanılmıştır. Aletli ağırlık düşürme testi ACI 544.2R'ye [11] göre yapılmıştır. Bu çalışmada Instron Ceast 9350 marka cihaz kullanılarak ağırlık düşürme deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

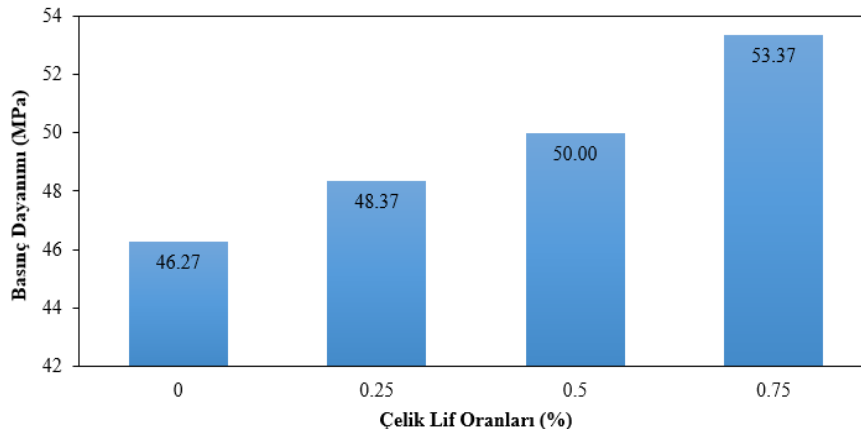
Bu çalışmada ağırlık düşürme deneylerinde kiriş numune üzerine kiriş ortasına enine çizgisel olacak şekilde 6.235 kg ağırlık 736 mm yükseklikten serbest düşürülerek 45 J enerji uygulanmıştır.



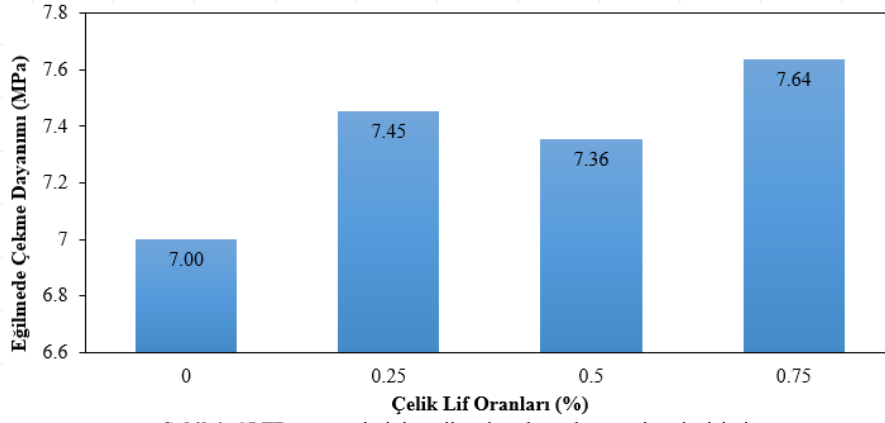
Şekil 2. Ağırlık düşürme deneyinde kullanılan aletli ağırlık düşürme test cihazı

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Hazırlanan numuneler üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Küp ve kiriş numuneleri üzerinde TS EN 12390-5'e [12] göre yapılan basınç ve 3 nokta eğilme deneyleri sonuçları sırasıyla Şekil 3'te ve Şekil 4'te grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 3. ÇLTB numunelerinin basınç dayanımları değişimi

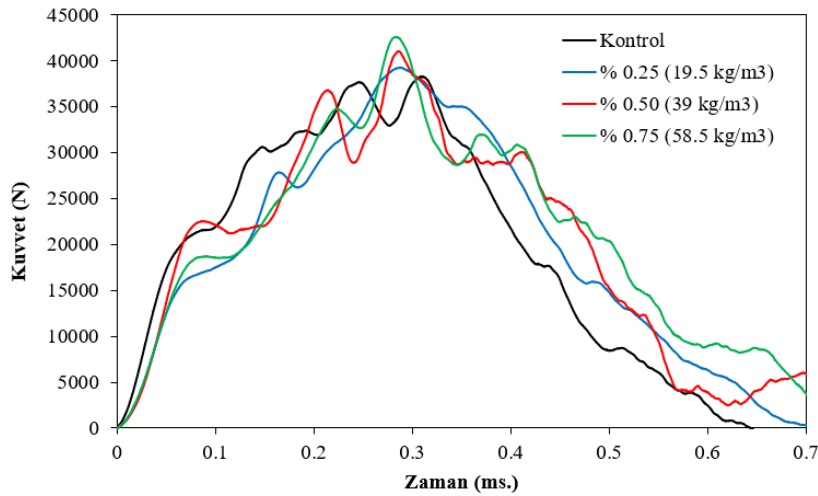


Şekil 4. ÇLTB numunelerinin eğilmede çekme dayanımları değişimi

Şekil 3'ün incelenmesi sonucunda beton karışımına çelik lif eklenmesi ile betonun basınç dayanımlarında artışın devam ettiği görülmektedir. Görüldüğü üzere çelik lif basınç dayanımına olumlu katkıda bulunmuştur. Bu sonuçlar çalışmada esas alınan 0.25, 0.50 ve 0.75% lif oranları için elde edilmiş olup literatür ile uyum içerisindedir. Abid vd. [6] 0, 0.50, 0.75 ve 1.0% oranlarını esas aldıkları çalışmada en yüksek basınç dayanımı değerini 0.75% oranı için elde etmişler ve 1.00% lif oranında basınç dayanımı değerinin düştüğünü belirtmişlerdir. Song vd. [2] %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 lif oranlarını esas aldıkları çalışmalarında beton hacminin %1.5'a kadar eklenen çelik lifin beton basınç dayanımına katkı sağladığını, %1.5'dan sonra ise basınç dayanımında hafif düşüşler olduğunu bildirmişlerdir. Şekil 4'ün incelenmesi sonucunda beton karışımına çelik lif eklenmesi ile eğilmede çekme dayanımının kontrol numunelerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Çelik katkılı betonlarda ilk çatlak sonrasında matriste bulunan gelişigüzel dağılmış olan çelik lifler köprülleme etkisi oluştururlar. Bu köprülleme sayesinde çelik liflerin matristen sıyrılması sırasında, çatlakların ilerlemesi geciktirilmiş olur [13]. Çelik lif katkılı betonların eğilmede çekme dayanımları kendi aralarında

karşılaştırıldığında en büyük dayanımların ise %0.75 çelik lif oranlı karışımlarda olduğu görülmektedir.

Şekil 5'te ÇLTB kirişlerin eğilmeli darbe testleri elde edilen kuvvet-zaman grafikleri verilmiştir. Kirişlere 3 nokta ağırlık düşürme testleri yapılması sonucunda elde edilen grafiklerdeki tepe değerlere bakıldığında en düşük değer 38.31 kN ile kontrol numunesine ait olduğu ve çelik lif oranı arttıkça tepe değer de arttığı (%0.25 çelik lif için 39.30 kN, (%0.5 çelik lif için 41.07 kN, (%0.75 çelik lif için 42.64 kN) görülmektedir. Eğrilerin göstermiş olduğu bu karakter Yoo vd. [5] tarafından yapılan çalışmaya benzer şekilde ortaya çıkmıştır. İlk çatlaklar oluştuğunda, eğilme davranışına matris yumuşatma ve elyaf köprülleme hakimdir. Tepe yükü FRC kirişlerindeki ilk çatlama yükünü gösterir. İlk çatlağın meydana gelmesinden hemen sonra, darbe yükü büyük ölçüde azalır. Matriste lif yoksa darbe yükü sıfır değerine ilerler. Bununla birlikte, matriste lifler varsa, darbe yükü, fiber köprülleme etkisine bağlı olarak yük kademeli olarak azalır [5]. Şekil 5'te verilen eğriler incelendiğinde çelik lif katkı oranı arttıkça tepe sonrasındaki eğri kolunun kısmen genişlediği ve kontrol eğrisine göre sıfıra yaklaşma eğiliminin azaldığı görülmektedir.



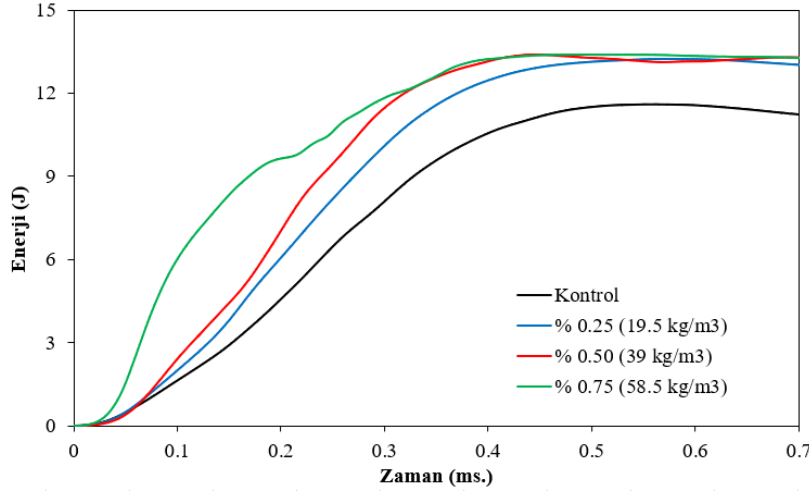
Şekil 5. ÇLTB kirişlerin eğilmeli darbe testleri elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

ÇLTB kirişlerin eğilmeli darbe testleri elde edilen enerji-zaman grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Enerji değerleri kontrol numunelerinde 11.61 J değerlerinde ortaya çıkarken %0.25 çelik lif için 13.14 J, %0.5 çelik lif için 13.38 J, %0.75 çelik lif için ise 13.39 J olarak ortaya

çıkılmaktadır. Çelik lif takviyeli betonlarda ulaşılan nihai enerji değerleri birbirlerine yakın iken kontrol numunesinde enerji değeri diğerlerine göre daha düşük olarak ortaya çıkmıştır. Burada çelik lif ilavesi ile birlikte %15.33 kadar bir enerji artışı ortaya çıkmaktadır. Çelik

liflerin eklenmesi, darbe altında enerji emilimini arttırmada oldukça etkili olmaktadır. Benzer şekilde Suaris ve Shah [14] da çalışmalarında eğilmeye darbe testleri sonucunda çelik lifler içeren kirişlerde emilen enerjinin, yalın beton kirişlerde emilen enerjiden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Şekil 6'da verilen

eğrilerin genel karakteri incelendiğinde ise çelik lif oranı arttıkça enerji değerinin zaman içerisindeki artış hızının da daha fazla olduğu görülmektedir. Bu artış hızının en fazla olduğu numuneler %0.75 çelik lif oranlı numuneler olup bu hızın en düşük olduğu numuneler ise kontrol numuneleridir.



Şekil 6. ÇLTB kirişlerin eğilmeli darbe testleri elde edilen enerji-zaman grafikleri

Ağırlık düşürme deneyi sonucunda numunelerde oluşan hasar durumlarına ait resimler Şekil 7'de verilmiştir. Darbeye maruz kalmış numunelerin hasar durumları karşılaştırıldığında kontrol numuneleri darbe aldıkları yerden iki parçaya bölünürken çelik lif katkılı kirişlerde darbe alınan yerin diğer yüzünde en büyük olmak üzere darbe alınan yüze doğru küçülerek ilerleyen çatlaklar oluşmuştur.

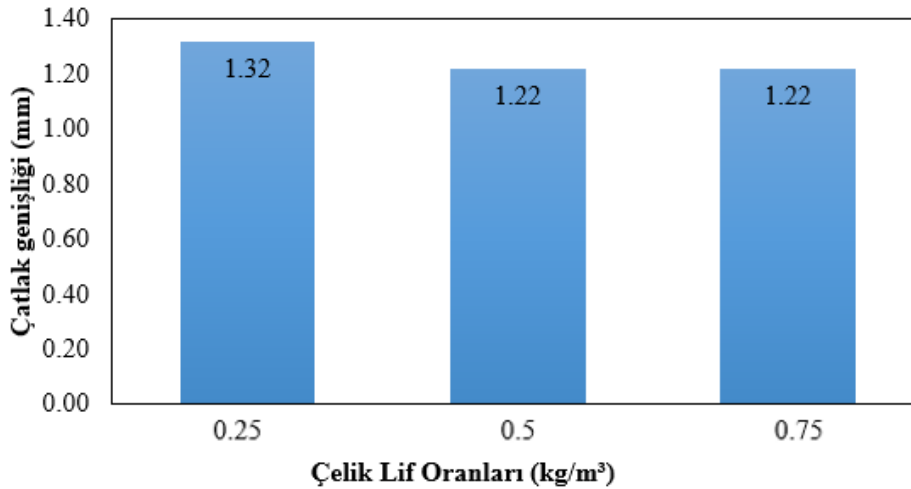
Ağırlık düşürme deneyi sonucunda ÇLTB kirişlerde darbe sonrası oluşan çatlak genişlikleri Şekil 8'de verilmiştir. Yalın beton darbe sonrası iki parçaya ayrılırken çelik lif oranının artırılması sonucunda darbe ile oluşan çatlakların küçüldüğü bununla birlikte % 0.5 ve % 0.75 oranında çelik lif takviyeli kirişlerde oluşan çatlakların ortalama genişliklerinin aynı olduğu ortaya çıkmaktadır. ÇLTB'ler, yalın betona kıyasla önemli ölçüde geliştirilmiş darbe direnci sergiler.

Çatlak yüzeylerinde lif köprüleme etkisi nedeniyle, lifler, betonun darbe altındaki enerji yutma kapasitesinin

iyileştirilmesinde etkilidir [1]. Pek çok araştırmacıda [15,16] benzer şekilde çelik lif takviyesinin çatlak büyüme direncini arttığını bildirmiştir.



Şekil 7. Ağırlık düşürme deneyi sonunda kirişlerde oluşan hasar



Şekil 8. Ağırlık düşürme deneyi sonunda çelik lif katkılı kirişlerde meydana gelen çatlak genişlikleri

4 Sonuçlar

CLTB kirişlerde lif oranının eğilmede darbe davranışına etkisini araştıran bu çalışma için kontrol karışımının yanı sıra beton hacminin % 0.25 (19.5 kg/m³), % 0.50 (39 kg/m³) ve % 0.75 (58.5 kg/m³) oranlarında çelik lif takviyeli beton küpler ve kirişler üretilmiştir. Küpler üzerinde basınç, kirişler üzerinde eğilme ve aletli ağırlık düşürme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca ağırlık düşürme deneyleri sonucunda kiriş ortasında meydana gelen çatlak genişliği ölçümü yapılmıştır.

Düşük hızlı darbe etkilerine maruz kalan yapı elemanlarında oluşabilecek davranışı ortaya koymak amacıyla yapılan bu çalışmada deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Çelik lif ilave edilmesi ile betonun eğilmede çekme mukavemetinin arttığı görülmüştür. Çelik lif takviyeli betonlar içerisinde en yüksek eğilmede çekme dayanımı % 0.75 (58.5 kg/m³) oranında çelik lif ilave edilen betonda olmuştur.

•Çelik lif olmaksızın hazırlanan kontrol numunelerinin darbe etkisinde aniden kırıldığı görülmüştür. Ağırlık düşürme deneyleri sonucunda çelik liflerin betonda ani kırılmayı önlediği anlaşılmıştır.

•Kirişlere 3 nokta ağırlık düşürme testleri yapılması sonucunda elde edilen grafiklerdeki tepe değerlere bakıldığında en düşük değer 38.31 kN ile kontrol numunesine ait olduğu ve çelik lif oranı arttıkça tepe değeri de 42.64 kN'ye kadar arttığı görülmektedir.

•Darbe testlerinde kuvvetlerin zamanla değişimi karşılaştırıldığında kontrol numunelerinde çelik lif katkılı numunelere oranla ilk çatlağın daha düşük kuvvetlerde meydana geldiği anlaşılmıştır. Çelik lif oranı arttıkça kuvvet-zaman eğrisindeki tepe değerler de artış göstermektedir.

•Darbe testlerinde kuvvet-zaman eğrilerinde tepe değerden sonraki bölgeler incelendiğinde kontrol numunesi eğrisinin hızla sifıra doğru ilerlediği fakat çelik lif katkılı numunelerde çelik lif katkı oranı arttıkça tepe sonrasındaki eğri kolunun kısmen genişlediği ve kontrol eğrisine göre sifıra yaklaşma eğiliminin azaldığı görülmektedir.

•Darbe testlerinde enerjini zamanla değişimi karşılaştırıldığında çelik lif katkılı numunelerde enerji 13.14, 13.38 ve 13.39 J olarak ortaya çıkarken kontrol numunelerinde ise 11.61 J olarak ortaya çıkmaktadır. Çelik liflerin eklenmesi, darbe altında enerji emilimini arttırmada oldukça etkili olmaktadır.

•Darbeye maruz kalmış numunelerin hasar durumları karşılaştırıldığında kontrol numunelerinin darbe aldıkları yerden aniden kırılarak iki parçaya bölündüğü görülürken çelik lif katkılı kirişlerde darbe ile sadece çatlak oluştuğu görülmüştür. Çelik lif oranı ile darbe sonrasında oluşan çatlak genişlikleri ilişkisine bakıldığında çelik lif oranının artırılmasının darbe etkisinde oluşacak çatlak genişliklerini azalttığı ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında; çelik lif katkılı betonların darbe etkisine maruz kalabilecek; askeri yapılarda, havalimanlarında, yollarda, kıyı liman yapılarında, sanayi yapılarında otopark olarak kullanılan yapıların taşıyıcı elemanlarında vb. yapılarda kullanılmasının avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilgilendirme

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. Etik kurul onayı gerekmemektedir.

References

- [1] Yoo, D.-Y., & N. Banthia. (2019). Impact resistance of fiber-reinforced concrete – A Review. *Cement and Concrete Composites*, 104, 103389.
- [2] Song, P.S., & Hwang, S. (2004). Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18(9), 669-673.
- [3] Korkut, F., Türkmenoğlu, Z. F., Taymuş, R. B., & Güler, S. (2017). Çelik ve sentetik liflerin kendiliğinden yerleşen betonların taze ve mekanik özellikleri üzerine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 560-570.
- [4] Nataraja, M.C. Dhang, N., & Gupta, A.P. (1999). Stress-strain curves for steel-fiber reinforced concrete under compression. *Cement & Concrete Composites*, 21 (5-6), 383-390.
- [5] Yoo, D.-Y., Gohil, U., Gries, T., & Yoon, Y.S. (2015). Comparative low-velocity impact response of textile-reinforced concrete and steel-fiber-reinforced concrete beams. *Journal of Composite Materials*, 50(17), 2421-2431
- [6] Abid, S.R., Abdul-Hussein, M.L., Ayoob, N.S., Ali, S.H., & Kadhum, A.L. (2020). Repeated drop-weight impact tests on self-compacting concrete reinforced with micro-steel fiber. *Heliyon*, 6(1) e03198.
- [7] Kang, M.C., Yoo, D.-Y., Gupta, R. (2021). Machine learning-based prediction for compressive and flexural strengths of steel fiber-reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, 266, Part B, 121117.
- [8] Rai, B., Singh, N.K., (2021). Statistical and experimental study to evaluate the variability and reliability of impact strength of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete, *Journal of Building Engineering*, 44, 102937.
- [9] Turkish Standards Institution. (2014). *Beton – sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri* (TS EN 12390-1).
- [10] Sayer, M. (2009). Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi. (Doctoral dissertation, Pamukkale University).
- [11] American Concrete Institute. (2009). *Measurement of properties of fiber reinforced concrete* (ACI 544.2R).
- [12] Turkish Standards Institution. (2010). *Beton – sertleşmiş beton deneyleri – bölüm 5: deney numunelerinde eğilmede çekme dayanımının tayini* (TS EN 12390-5).
- [13] Banthia, N., & Trottier, J. F. (1995). Concrete reinforced with deformed steel fibers, Part II: Toughness characterization. *ACI Materials Journal*, 92(2), 146-154.
- [14] Suaris, W., & Shah, S. P. (1982). Strain-rate effects in fibre-reinforced concrete subjected to impact and impulsive loading. *Composites*, 13(2), 153-159.
- [15] Bindiganavile, V., & Banthia, N. (2005). Generating dynamic crack growth resistance curves for fiber-reinforced concrete. *Experimental mechanics*, 45(2), 112-122.
- [16] Bindiganavile V. (2003). *Dynamic Fracture Toughness of Fiber Reinforced Concrete* (Doctoral dissertation, University of British Columbia).