

Betonarme Kirişlerde Makro Fiber Sentetik Katkı Kullanımının Etkileri

Effects of Using Macro Fiber Synthetic Additives in Reinforced Concrete Beams

Selçuk KAÇIN^{1*}, Fatma SOYALAN², Orhan KAHRAMAN³

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun-Hatay, selcuk.kacin@iste.edu.tr ORCID 0000-0001-5406-5756

² İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun-Hatay, fatmasoyalan.mfbel7@iste.edu.tr, ORCID 0000-0001-7065-1229

³ İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun-Hatay, orhankahraman.mfbel7@iste.edu.tr, ORCID 0000-0001-5208-980X

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 20 Mart 2020

Düzeltilme: 25 Nisan 2020

Kabul: 27 Nisan 2020

Anahtar kelimeler:

Süneklik, polipropilen lif, kiriş yüklemeye deneyi, enerji yutma kapasitesi, makro-fiber sentetik

ÖZET

Bu çalışmada, betonarme kirişlerde katkı malzemesi olarak makro-fiber sentetik donatı (MFSD) kullanımının betonarme kirişlerin davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla şahit betonarme kirişler ve hacimce % 0,6 MFSD katkılı betonarme kirişler hazırlanmıştır. Tüm kirişlerin boyutları 150x230x1400 mm olarak tasarlanmıştır. Kirişlerin; enine donatı aralığı, mesnetler arası uzaklığı, kesme açıklığı, kiriş etkili yüksekliği gibi tüm fiziksel özellikleri birbirleriyle aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm kirişlerde çekme donatısı 2Φ14, basınç donatısı 2Φ12 ve enine donatı olarak da Φ8 S420 çeliği kullanılmıştır. Şahit numunelerde su/çimento oranı 0,5 olacak şekilde karışım hesapları yapılmıştır. Makro-fiber sentetik katkılı betonlarda ise şahit beton karışım miktarının hacimce % 0,6'sı kadar MFSD ilave edilerek diğer tüm özellikler aynı tutulmuştur. Üretilen betonların 28 günlük basınç dayanım testi sonuçları karşılaştırılmıştır. Betonarme kirişler 3 noktalı yüklemeye tabi tutularak kirişlerin altında orta noktasına denk gelecek şekilde yerleştirilen deplasman ölçerden alınan verilerle yük (kg)-deplasman (mm) grafikleri çizilmiştir. Deney sonunda, kirişlerde oluşan çatlaklar ve yük (kg)-deplasman (mm) grafikleri incelenerek, şahit betonarme kirişlerin ve MFSD katkılı betonarme kirişlerin; çatlak oluşumu, çatlak genişlikleri, kırılma düzeni, enerji yutma kapasitesi, dayanım ve deplasman miktarları karşılaştırılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.706338

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 May 2020

Revised: 25 April 2020

Accepted: 27 April 2020

Keywords:

Ductility, polypropylene fiber, beam loading test, energy absorption capacity, macro-fiber synthetic.

ABSTRACT

In this study, the effects of the use of macro-fiber synthetic reinforcement (MFSD) as an additive material in reinforced concrete beams on the behavior of concrete beams were investigated. For this purpose, reinforced concrete beams and 0,6% by volume MFSD reinforced concrete beams were prepared. The dimensions of all beams are designed as 150x230x1400 mm. the beams; It is designed so that all physical properties such as transverse reinforcement spacing, aperture between supports, cutting span, beam effective height are the same. Tension reinforcement 2Φ14, pressure reinforcement 2Φ12 and Φ8 S420 steel were used as transverse reinforcement in all beams. In the concrete mixtures used in the study, CEMI 42,5 cement, coarse (4-11 mm) aggregate, fine (0-4 mm) aggregate and water were used. Mixing calculations were made with a water/cement ratio of 0.5. In macro-fiber synthetic reinforced concrete, 0.6% of the amount of concrete mixture is added with the volume of MFSD and all other properties are kept the same. 28-day compressive strength test results of the concretes produced were compared. Reinforced concrete beams are subjected to 3-point loading test and load (kg) -displacement (mm) plots were drawn with the data obtained from the displacement meter placed under the beams corresponding to its mid-point. At the end of the experiment, cracks formed in beams and load (kg)-displacement (mm) graphs are examined and witnessed reinforced concrete beams and reinforced concrete beams with MFSD; crack formation, crack widths, breaking order, energy absorption capacity, strength and deformation amounts were compared.

* Sorumlu yazar / Correspondence

Selçuk KAÇIN ✉ selcuk.kacin@iste.edu.tr

Giriş

Beton su, çimento ve agregadan oluşan kompozit bir malzemedir. Yol, konut, tünel, köprü, baraj ve su yapıları gibi birçok alanda özellikle taşıyıcı elemanların tasarımında çokça tercih edilen ve kullanım alanı giderek genişleyen önemli bir yapı malzemesidir fakat fazlaca tercih edilmesine rağmen her özelliğiyle mükemmel bir malzeme değildir. Yapıların maruz kaldığı deprem yükü, rüzgâr yükü, donma- çözülme gibi olumsuz etkilere karşı beton tek başına dayanım sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Bunun en belirgin örneği çekmeye karşı mukavemetinin ihmal edilebilecek kadar az olması ve bu mukavemeti elde edebilmek için taze betona demir donatılar ilave edilmesidir. Betonun enerji yutma kapasitesi, süneklik, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözölmeye karşı dayanımı, çatlak oluşumu gibi özelliklerini iyileştirmek için geçmişten günümüze deneysel çalışmaların ışığında çeşitli katkı malzemelerinin betonun davranışına etkisi araştırılmıştır ve hala da araştırılmaktadır. Betonun kullanımının yaygınlaşması 1900'lü yıllarda hazır beton üretimini başlatırken, ilerleyen teknoloji sayesinde yukarıda saydığımız özelliklerin iyileştirilmesi adına beton karışımlarında kimyasal ve mineral katkı malzemeleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu süreci beton karışımlarında lif ve daha birçok malzeme kullanımı takip ederek yüksek performanslı betonlar üretilmeye başlanmıştır. [1].

Yapılar, yapılmaya başlandığı andan kullanım ömrü nihayet bulana dek birçok yük ve olumsuz etkiye maruz kalmaktadır. Yukarıda bahsettiğimiz betonun enerji yutma kapasitesi, süneklik, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözölmeye karşı dayanımı, çatlak oluşumu gibi özellikleri iyileştirilmediği takdirde ne yazık ki yapılarda büyük çatlaklar, kalıcı deformasyonlar ve taşıyıcı sistemin tamamen çökmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bir mühendis olarak amacımız yapının maruz kaldığı olumsuz etkilere karşı durabilitesini arttırmak, deformasyonlara karşı direnç sağlamak ve olası bir yıkım halinde can kaybını minimuma

indirecek yapılar tasarlamaktır. Bu amaç doğrultusunda literatürde; polipropilen lif [2-4], karbon lif [5], cam lif [6], çelik lif [7-12] ve makrosentetik lif [13] gibi katkı malzemeleri ile yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu katkı malzemeleri ile gevrek kırılmaları engellemek, yapılara sünek davranış kazandırmak, yapıların yük altında sönümlendiği enerji miktarını arttırmak, deformasyonları minimuma indirmek, basınç ve çekme dayanımını arttırmak, betonun tüm özelliklerini daha da iyileştirmek hedeflenmektedir.

Cucchiara [14] yaptığı çalışmada; betonarme kirişlere yapılan çelik lif takviyesinin çatlak genişliğini azalttığını vurgulamıştır. Kirişlerde enine donatı ve çelik lif kullanılması durumunda; enine donatının kesitin şekil değiştirme özelliğini arttırdığını, enine donatı kullanılan kirişlerin harcına çelik lif katıldığında kiriş kesme dayanımının olumlu etkilendiğini ve çelik lif katkı malzemesinin enine donatı gibi kesme kuvvetine karşı mukavemet sağlayabileceğini belirtmiştir.

Karabulut [15]; sentetik lif ile üretilen ultra yüksek dayanıma sahip betonun eğilme davranışı 14 farklı numune üzerinden test etmiştir. 100X150X1500 mm boyutlarındaki kiriş numunelerinde 2 farklı donatı oranı (2φ10 ve 2φ14), 2 farklı lif tipi (bazalt ve poliamid), 3 farklı lif oranı (%0.5, %1.0 ve %1.5) kullanılmıştır. Düşük donatı oranında (2φ10) bazalt lifinin miktarının artışıyla sünek davranışın da arttığı gözlenmiştir. Yüksek donatı oranında (2φ14) bazalt lifi artışının sünek davranışa etkise gözlemlenmemiştir. Poliamid lif kullanılması durumunda düşük donatılı betonda lif miktarının artışıyla yük taşıma kapasitesinin arttığı gözlemlenirken, yüksek donatılı (2φ14) betonda ancak en yüksek lif oranı eklendiğinde yük taşıma kapasitesinde artış görülmüştür. İki katkı maddesi birbiriyle karşılaştırıldığında; her ikisinin de betonun rijitliğini arttırdığı, düşük donatı oranına (2φ10) sahip betonlarda sünekliği arttırdığı, poliamid lifin düşük donatı oranına (2φ10) sahip betonlarda bazalt lifine oranla taşıma gücü kapasitesinde daha fazla artış sağladığı gibi birçok sonuca ulaşılmıştır.

150X200X1900 mm boyutlarında kirişlerle yapılan çalışmada çelik lif katkısının çatlaklar ve taşıma gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tüm kiriş numunelerinin boyutları 150X200X1900 mm, boyuna donatı oranı $\rho_l=0.0067$ (4 Φ 8), enine donatı oranı $\rho_w=0.00586$ ve son olarak enine donatı aralığı test bölgesi dışında 50 mm, test bölgesinde 200 mm olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Boyutları ve özellikleri verilen bu kiriş numunelerine %0.3 ve %0.6 olmak üzere iki farklı oranda çelik lif katkısı ilave edilmiştir. Böylelikle çelik lif katkısı hacminin çatlak ve taşıma gücüne etkisi gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; %0.3 hacimde çelik lif katkısının taşıma kapasitesine kayda değer bir etkisi gözlemlenmezken %0.6 hacimde eklenen çelik lifin taşıma kapasitesine kayda değer ve olumlu bir etki ettiği görülmüştür, çelik lif katkısı arttıkça çatlaklar artmakta, ortalama çatlak genişlikleri ise azalmaktadır. Bu durum ise çelik lif katkılı betonarme kirişlerin burulma altında enerji yutma kapasitelerinin arttığını göstermektedir [16].

Bu çalışmada kopolimer bir yapıya sahip olan makro fiber sentetik (MFSD) donatı kullanılarak betonun davranışları üzerindeki etkisi incelenmiştir. 2 farklı beton karışımı hazırlanarak aynı donatı düzenine ve kesit ölçülerine sahip betonarme kirişler hazırlanmıştır. Beton karışımının ilki hiçbir katkı malzemesi kullanılmayarak yalnızca su, çimento ve agrega ile hazırlanmıştır. İkinci beton karışımında ilk beton karışımının özelliklerine sadık kalınarak ilkinden farklı olarak hacimce %0,6 oranında MFSD katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Yapılan 3 noktalı yükleme deneyi sonucunda elde edilen bulgular karşılaştırılarak MFSD kullanımının çatlak oluşumu, kırılma düzeni, enerji yutma kapasitesi ve dayanımı nasıl etkilediği yorumlanmıştır.

DeneySEL çalışMA

Numunelerin hazırlanmasında iki farklı seri beton harcıyla 4 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Kirişler Şahit1, Şahit2, 0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 olarak adlandırılmıştır. Her iki seri beton karışımında su/çimento oranı, iri ve

ince agrega oranları, çimento tipi ve dozajı sabit tutulmuştur. Beton karışımlarında CEM I-42,5/R tipi Portland Çimentosu ($d= 3,1 \text{ kg/dm}^3$) kullanılmıştır.



Şekil 1. Katkı malzemesi olarak kullanılan sentetik fiber malzeme

0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 kirişlerinin harcına hacimce %0,6 oranında makro fiber sentetik donatı (MFSD) ilave edilmiştir (Şekil 1). MFSD'ye ait teknik özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. MFSD teknik özellikleri

Karakteristik	Malzeme Özelliği
Ham Madde	%100 Saf Kopolimer PP/PE
Uzunluk	54 mm
Çekme Gerilmesi	550 - 750 MPa
Elastisite Modülü	5,75 GPa
Yüzey Dokusu	Deforme Edilmiş Yüzey
Fiber Sayısı	220.000 Parça/kg
Yoğunluk	0,91 g/cm ³
Erime Noktası	162-168 °C
Yanma Noktası	398 °C
Su Emilimi	Sıfır
Asit / Alkali	Mükemmel
Direnci	
Standart	ASTMC-1116

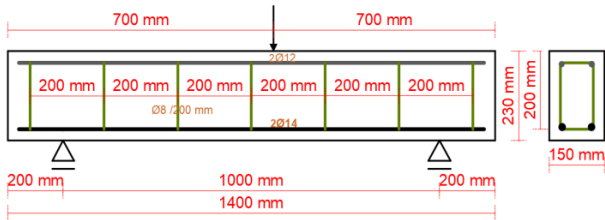
Şahit1 ve Şahit2 olarak adlandırılan kirişlerde herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamıştır.

Beton karışım oranları Tablo 2’de detaylı olarak verilmiştir. Bu miktarlar bir kiriş için yani 0.048 m^3 beton için kullanılan değerlerdir.

Tablo 2. Beton karışım oranları (bir kiriş için 0.048 m^3 betonda kullanılan değerler)

Bileşen	Şahit Numuneler	MFSD Katkılı Numuneler
Çimento	28.22 kg	28.22 kg
İnce Agregası (0-4 mm)	50.66 kg	50.66 kg
İri Agregası (4-11 mm)	33.86 kg	33.86 kg
Su/çimento	0.5	0.5
MFSD	-	0.312 kg

Tüm kirişlerin boyutları $150 \times 230 \times 1400 \text{ mm}$, enine donatı aralığı 200 mm , mesnetler arası uzaklık 1000 mm , kesme açıklığı 500 mm , kiriş etkili yüksekliği 200 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm kirişlerde çekme donatısı $2\Phi 14$, basınç donatısı $2\Phi 12$ ve enine donatı olarak da $\Phi 8$ S420 çeliği kullanılmıştır. Kirişlerin boyutları ve donatı düzeni Şekil 2’de gösterilmiştir. Kirişlerin rahat taşınabilmesi için üst yüzeyine iki adet kanca yapılmıştır (Şekil 7).



Şekil 2. Kirişlerin boyutları ve donatı düzeni

Beton karışımları beton mikseri ile laboratuvarımızda hazırlanmıştır. MFSD katkılı harçlar hazırlanırken homojen bir karışım elde edebilmek için çimento, agrega ve MFSD 1 dakika kuru halde mikserde karıştırılmış (Şekil 3) ardından su eklenerek tamamen homojen olana kadar 5 dakika karıştırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. Beton karışımına MFSD katılması



Şekil 4. MFSD katkılı beton karışımı

Beton harçlarından $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ küp numuneler alınarak 28 günlük basınç dayanımları test edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Küp numunelerin basınç dayanım testi

Basınç dayanımı test sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. 150X150X150 mm küp numunelerin basınç dayanımı

Karışım No	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
Şahit	36.584
MFSD	39.72

Hazırlanan harçlar yağlanan ve 3 cm pas payı bırakılarak donatısı yerleştirilen kalıplara dökülüp kalıba homojen yerleşmesi sağlanmıştır, kalıplar işkencelerle sıkıştırılarak kalıpların esneme yapması engellenmiştir (Şekil 6).



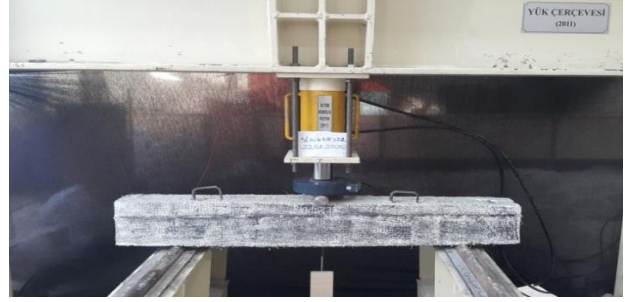
Şekil 6. Betonun kalıplara dökülmesi

7 günlük düzenli kür işlemi ardından kirişler kalıplardan çıkartılmıştır ve 28 gün boyunca kür işlemine devam edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. 7 günlük kür işlemi ardından kalıptan çıkarılan kirişler

Kirişler 28 günlük dayanım kazandıktan sonra 3 noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Yük hücresi; kirişin tam ortasından, mesnetlerin merkezine uzaklığı 500 mm olacak şekilde kirişin üzerine yerleştirilmiştir. Deplasman ölçer yine kirişin orta noktasına denk gelecek şekilde yük hücresinin düşeyine yerleştirilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Kirişlerin yük çerçevesine yerleştirilmesi

50 KN kapasiteli yük hücresi ile kiriş göçme noktasına gelene kadar yükleme yapılmıştır. Yükleme sırasında yük hücresinden ve deplasman ölçerden alınan veriler bilgisayara aktarılmış (Şekil 9) ve her bir kiriş için yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir.

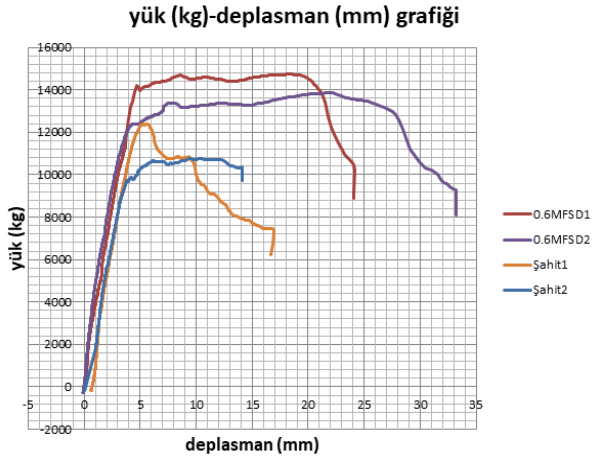


Şekil 9. 3 noktalı yükleme deneyi ve verilerin toplanması

DeneySEL bulgular

Katkısız ve hacimce %0,6 MFSD katkılı betonlarla hazırlanan betonarme kirişler üzerinde yapılan deneysel çalışma bulguları şöyledir:

- 3 noktalı yükleme deneyi sonunda yük (kg)-deplasman (mm) grafiği elde edilmiştir (Şekil 10).



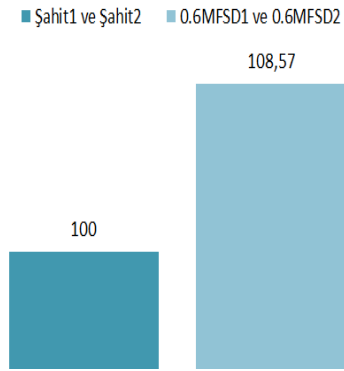
Şekil 10. Yük (kg)-deplasman (mm) grafiği

- Şahit1 kirişinin taşıyabildiği maksimum yük 12,381 ton ve bu yük altında oluşan kirişin orta noktasından ölçülen düşey deplasman 5,217 mm olarak okunmuştur.
- Şahit2 kirişinin taşıyabileceği maksimum yük 9,862 ton ve bu yük altında oluşan kirişin orta noktasından ölçülen düşey deplasman 4,185 mm olarak okunmuştur.
- 0.6MFSD1 kirişinin taşıyabileceği maksimum yük 14,735 ton ve bu yük altında oluşan kirişin orta noktasından ölçülen düşey deplasman 18,221 mm olarak okunmuştur.
- 0.6MFSD2 kirişinin taşıyabileceği maksimum yük 13,868 ton ve bu yük altında oluşan kirişin orta noktasından ölçülen düşey deplasman 21,975 mm olarak okunmuştur.

Sonuçlar

Beton harçlarından alınan 150X150X150 mm küp numunelerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında (Şekil 11) MFSD katkılı betonun basınç dayanımının %8,57 arttığı görülmüştür.

28 günlük basınç dayanımları (%)



Şekil 11. Küp numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

150X150X150 mm küp numunelerin basınç dayanımı testine tabi tutulduktan sonra deformasyonları karşılaştırılmıştır. Şahit1 ve Şahit2 betonlarından alınan küp numunelerinin köşelerinde kırılmalar, dağılmalar, dökülmeler ve gözle görülebilir deformasyonlar meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Şahit1 ve Şahit2 küp numunelerinin basınç dayanımı test edildikten sonraki durumları

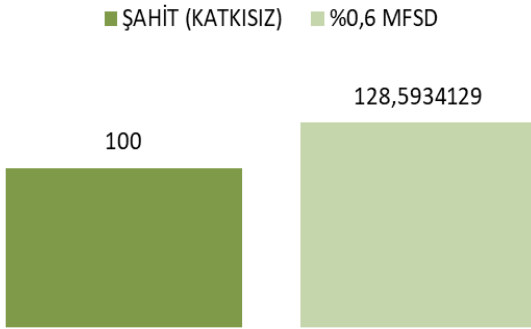
0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 betonlarından alınan küp numunelerde kılcal çatlaklar olduğu ve şahit beton numunelerine oranla çok daha az deformasyon olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. 0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 küp numunelerinin basınç dayanımı test edildikten sonraki durumları

3 noktalı yükleme deneyi sonrasında şahit kirişlerin betonu kolayca parçalanabilirken MFSD katkılı kirişlerin içerisindeki liflerin bu parçalanmaya ve kopmalara karşı direnç sağladığı görülmüştür. 3 noktalı yükleme deneyi sonrasında kirişlerin yük taşıma kapasiteleri karşılaştırıldığında MFSD katkısının yük taşıma kapasitesini yaklaşık %28,59 oranında arttırdığı görülmüştür (Şekil 14).

Kirişlerin yük taşıma kapasiteleri (%)



Şekil 14. MFSD katkısının kirişlerin yük taşıma kapasitesine etkisi

Şekil 15.'de sırasıyla Şahit1, Şahit2, 0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 kirişlerinin 3 noktalı yükleme deneyi sonrası durumları görülmektedir.



Şekil 15. Sırasıyla; Şahit1, Şahit2, 0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 kirişlerinin 3 noktalı yükleme deneyi sonrası durumları

Elde edilen yük (kg)–deplasman (mm) eğrilerinin (Şekil 9) altında kalan alan incelendiğinde MFSD katkılı kirişlerin, şahit yani katkisiz kirişlere oranla daha büyük bir enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Elde edilen yük (kg)–deplasman (mm) eğrilerine (Şekil 10) ve çatlak oluşumlarına (Şekil 12) bakıldığında Şahit1 ve Şahit2 kirişlerinin gevrek kırıldığı, 0.6MFSD1 ve 0.6MFSD2 kirişlerinin ise daha sünek davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Bu deneysel çalışmada elde edilen görseller ve yük (kg)–deplasman (mm) eğrileri ışığında hacimce %0.6 MFSD katkısının süneklik ve enerji yutma kapasitesini arttırdığı, deformasyonları minimuma indirebildiği, yük taşıma kapasitesinde ve küp numunelerin basınç dayanımında artış sağladığı sonuçlarına varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Karakule, F., Akakın, T., & Uçar, S. (2004). “Türkiye’de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü”
- [2] Aryan, A. (2014). “Polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin deneysel ve analitik olarak araştırılması”, Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [3] Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabaci, S., & Başyigit, C. (2010). “Polipropilen Lif Katkili Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri”, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2(1), 9-14.
- [4] Yaprak, H., & Karacı, A. (2009). “Polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarının yapay sinir ağları ile tahmini”, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 1(2), 23-28.
- [5] Topçu, İ. B., Demirel, O. E., & Uygunoğlu, T. (2017). “Polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri”, Politeknik Dergisi, 20(1), 91-96.
- [6] Çetinkaya, N., Kaplan, H., & Şenel, Ş. M. (2011). “Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (FRP) Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(3), 291-298.
- [7] Birincioğlu M. İ., (2016). “Çelik Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Mukavemeti”, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [8] Kozak, M. (2003). “Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik bilimler Dergisi, 3(5), 26-35.
- [9] Can Ö., Durmuş G., Subaşı S., Yıldız K., Arslan M., (2009). “Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye
- [10] Koç, V., & Birinci, F. (2012). “Lifli Betonda Boyut Etkisi Tokluk ve Kırılma Enerjisi”, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 4(3), 24-40
- [11] Çivici, F. (2006). “Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2), 183-188.
- [12] Altun, F., Yılmaz, C., Durmuş, A., & Kamuran, A. R. I. (2006). “Çelik Lif Katkılı ve Katkısız Betonarme Kirişlerin Basit Eğilme ve Patlama Yükleme ile Davranışlarının İncelenmesi” Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 22(1), 112-120.
- [13] Sarı M., (2013). “Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi”, Y. Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [14] Cucchiara, C., La Mendola, L., & Papia, M. (2004). “Effectiveness of stirrups and steel fibres as shear reinforcement”, Cement and concrete composites, 26(7), 777-786.
- [15] Karabulut, M. Y. (2017). “Sentetik lifin ultra yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin eğilme davranışına etkisinin incelenmesi”, Y. Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [16] Okay, F., & Engin, S. (2009). “Çelik Lif Katkılı Betonarme Kirişlerde Basit Burulma Etkisinde Oluşan Çatlakların ve Kesit Taşıma Gücünde Oluşan Değişimlerin İncelenmesi” Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumunu, 1-3 Ekim, Sakarya