



Prizmatik kiriş davranışının yüksek sıcaklık etkisi ile değişiminin incelenmesi

Fatih ALTUN*, Tamer DİRİKGİL

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KAYSERİ

ÖZET

Mühendislik yapılarındaki yangın, çözümlenelerde dikkate alınmayan bir yük etkisidir. Özellikle endüstriyel yapıların imalat koşulları ve üretilen ürünlerin özelliklerinden dolayı yangın olması ihtimali söz konusudur. Yangın anında betonarme veya prefabrikte elemanlar yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmaktadır. Çalışmada, sıcaklık etkisinin basit eğilme etkisi altındaki prizmatik kirişlerin davranışlarına olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, beton malzemesine ilave edilen polipropilen liflerin, yüksek sıcaklık etkisi altında davranışa sağladığı muhtemel olumlu etkiler deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, prizmatik kiriş numunelerin boyutları 150x150x750mm'lik olarak seçilmiştir. Prizmatik kiriş numuneye ait beton karışımlarına F19 ve M12 tipi polipropilen lifler ayrı ayrı olacak şekilde hacimce %0.0, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5 oranlarında ilave edilmiştir. Numuneler 7, 28 ve 90 günlük periyotlarda kürlenmiş ve sonrasında 24.5 °C, 100°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C sıcaklıklara maruz bırakılarak eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, özellikle oda sıcaklığında ve 100°C' sıcaklık değerlerinde, kullanılan MFP (multifibrile Polipropilen lif) lifin numunelerin tokluk değerlerine katkısı FP (fibrile Polipropilen lif) lifler kadar olmamış, multifibrile lif oranı arttıkça toklukta azalmalar görülmüştür. Ancak multifibrile lifli numunelerin 200°C' den sonraki yüksek sıcaklıklarda tokluk değerlerinin fibrile numunelerinkine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

Polipropilen lif,
prizmatik kiriş,
eğilme dayanımı,
enerji yutma
kapasitesi,
süneklik, yüksek
sıcaklık

Investigating variation of prismatic beams's behaviour with high temperature effect

ABSTRACT

Fire effect is not usually taken into account as a load style on engineering structures. Especially, because of the products manufactured properties and production conditions of industrial structures, there are likely to be fire. RC or prefabricated concrete elements exposed to high temperature effect when the event of fire. In this study, the influence of the temperature on behaviour of beam elements under the bending were investigated. For this purpose, the possible positive effects provided by adding polypropylene fiber on the beam behavior under the influence of high temperature was investigated experimentally. In the experimental study, the dimensions of the prismatic beams 150x150x750mm were chosen as samples. F19 and M12-type fibers were separately added to concrete mixture of prismatic beam specimens by the volume rates 0.0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% and 0.5%. Samples were cured by 7, 28 and 90-day periods and exposed to 24.5°C, 100°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C temperature effect. After these procedures, flexural strength tests were carried out. As the result of experimental studies, contributions of MFP fibers to toughness values haven't been as much as FP fibers at room temperature and 100°C in temperature especially. So, when increased the rate of multifibrile fibers, toughness was decreased. However, at the temperature effects higher than 200°C, toughness values of beam samples which reinforced with multifibrile fibers were found to be better from fibrile ones.

Keywords

Polypropylene fiber,
prismatic beam,
flexural strength,
toughness, ductilite,
high temperature
effect

* Sorumlu yazar (Corresponding author) e-posta: faltun@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Ülkemizde yapı sektörünün birçok alanında kullanılan en temel ve önemli malzeme betondur. Beton üretiminde, hem malzemenin performansını artırmak hem de maliyeti azaltmak amacıyla birçok araştırma yapılmaktadır. Ayrıca hızlı endüstrileşme ile birlikte malzeme ve enerji tasarrufuna verilen değer de artmaktadır. Bununla birlikte atık olarak doğaya terk edilen ve doğanın daha çok kirlenmesine neden olan birçok yan ürün oluşmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu mevcut malzemelerin ve atıl malzemelerin inşaat sektöründe değerlendirilebilmesi, bir yandan ekonomi sağlamakta diğer yandan da çevreye verilen zararı azaltmaktadır.

Betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini, mineral ve kimyasal katkıları ile iyileştirilmesinin yanı sıra birçok lif malzemesi de kullanılmaktadır. Lifler, betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla, taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik oranlarda katılmaktadır. Lifleri tanımlayan en önemli öge, lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özellikleridir. Lif tipi, uzunluğu, çapı, geometrik yapısı ve lifin çekme gerilme dayanımı önemli özelliklerindedir. Lifli betonlarda beton bileşimine giren parametreler içerisinde beton özelliklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler narinlik oranı (lif boyu/lif çapı) ve lif miktarıdır. Ayrıca liflerin karışımında homojen olarak dağılması ve karışımdan sonra bu dağılımın korunmasının sağlanması da, liflerin beton özellikleri üzerinde yapacağı iyileştirmeyi doğrudan etkilemektedir. Mühendislik yapılarından özellikle endüstriyel yapılarda, üretilen malzeme özelliklerine bağlı olarak yangın ihtimali ortaya çıkmaktadır. Yangın anında beton malzemesinin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalması kaçınılmazdır.

Beton yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldığında dayanımında önemli düşüşler gözlenir. 200°C sıcaklığın üzerine çıkılması durumunda betonun yapısında önemli hasarlar oluşmaya başlar. Sıcaklığın artmasıyla çimento pastası doğal bir genleşme gösterirken, aynı zamanda bünyedeki suyun açığa çıkmasıyla yapı elemanında büzülme de gerçekleşmektedir. Genleşme ve büzülmenin aynı anda gerçekleşmesine bağlı olarak içsel gerilmelerde ani artışlar ve bunların etkisiyle yapı elemanında çatlaklar meydana gelmektedir [1]. Buna ilave olarak lif katkısız betonun basınç dayanımında da azalma görülür. Bu durumu engellenebilmesi için lif kullanımını önemli bir katkı olarak karışımıza çıkmaktadır

2. Polipropilen lifler ve sınıflandırılması

Polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonucu veren malzeme polipropilen liflerdir. Polipropilen lifler, insanlık tarihi kadar eski olan doğal mikro donatı, saman ve hayvan kılları kullanımının günümüz teknolojisine uyarlanmış halidir. Polipropilen lifler; beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen elyafları %100 polipropilen esaslı olup, kullanımında ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun ve sıvanın kalitesini artıran ve çürümeyen bir üründür. Polipropilen lif, betonun içerisinde üç boyutlu bir mikro donatı ağı oluşturarak, betonun bazı mekanik özelliklerini iyileştirebilen bir malzemedir. Karışıma iyileştirme amaçlı katılan bu lifler, hasır demir, metal elyaf ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemleri ile karşılaştırıldığında, en hafif mikro donatı sistemidir. Metrekare başına ağırlığı 90 gr ila 200 gr arasındadır. Bu nedenle yapıya diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı getirmemektedir [2]. Polipropilen elyafları %100 homo-polipropilenden, F ve M tipinde olmak üzere iki tipte imal edilmektedir. F-fibrilize elyafları, M-multiflament elyafları temsil etmektedir. M tipi elyaflar çok ince olup, şap yüzeyinde görünmediklerinden iç mekan şapları için iyi sonuçlar sağlamaktadır. F tipi lifler ise endüstriyel zemin uygulamalarında ve ağır hizmet zeminlerinde durabilite ve tokluk aranan betonlar için daha uygundur. Polipropilen lif tipleri ve teknik özellikleri Tablo 1.'de gösterilmiştir. ASTM C1116/C1116M-10a standardına [3] göre %100 saf polipropilen ham maddesi kullanılarak üretilen lifler hacimce %0.1=1 litre varlığı 1 m³ beton için yeterlidir. Polipropilen lif ham maddesinin yoğunluğu 0.9 kg/lt olduğundan, tavsiye edilen lif miktarı en az 0.9 kg/lt olmalıdır. Bu oranlar %0.05 ila %2 arasında ve hatta %5'e kadar çıkabilmektedir [4]. Polipropilen lifler su emmezler, bu nedenle beton ve harçların su/çimento oranını etkilemediğinden yeni bir karışım dizaynı ya da karışım oranlarında bir değişiklik gerektirmez. Beş dakika yüksek devirde karıştırıldıktan sonra polipropilen demetleri çözülür ve binlerce elyaf lif, betonun her tarafına homojen bir şekilde dağılır. Bu nedenle polipropilen lifli betonu yerleştirmek kolay ve ekonomiktir.

3. Deneysel çalışma

Çalışma kapsamında, yüksek sıcaklık etkisindeki polipropilen lif katkılı prizmatik kırış numunelerinin, basit eğilme etkisi altındaki davranışları ve enerji yutma kapasiteleri incelenmiştir.

Tablo 1. Polipropilen Liflerin Teknik Özellikleri

Tip	Fibrilize	Multiflament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Tipi	Standart F	Standart M	Paint
Yoğunluk (kg/lt)	0.91	0.91	1.00
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık (µ)	36	18	-
Renk	Transparent	Transparent	Renkli
Görünüm	Visible	Invisible	Visible
Gerilme Dayanımı (N/mm ²)	500	700	500
Young Modülü (N/mm ²)	7161.20	7161.20	7161.20
Uzama (%)	Max 10	Min 100	-
Uzunluk (mm)	3-6-9-12-15-19-25-31-37-46-51		

Deneyel çalışmalar 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. Karışıma esas alınan beton, aşılma olasılığı %5 kabul edilerek 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 40MPa olacak şekilde tasarlanmıştır. Deneyel çalışma aşamaları;

- Numunelerin uygun beton sınıfına göre hazırlanan karışımlarına polipropilen lifler hacimce %0.0, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5 oranında ilave edilerek 150x150x300mm prizmatik kiriş numunelerin üretilmesi,
- Numunelerin 7, 28, 90 günlük periyotlarda, 20 ± 2 °C'de kirece doymun suda kürlenmesi,
- Kür işlemi sonrası numunelerin 24.5 °C, 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C olmak üzere 6 farklı sıcaklık etkisine maruz bırakılması,
- Sıcaklık etkisine maruz numunelerin, deney düzeneğinde eğilme deneyinin yapılması.

Deney numunesi üretiminde TS EN 197-1 [5] ile uyumlu CEM-I PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır. Tablo 2 de deney için üretilen prizmatik kiriş numunelerin, hacimsel lif yüzdesine, sıcaklık değişimine ve kür periyotlarına bağlı olarak sayıları verilmektedir. Prizmatik kiriş numuneleri belirli lif tipi için 6 farklı sıcaklık, 6 farklı hacimsel lif oranı ve 3 kür periyodu göz önüne alınarak toplam $6 \times 6 \times 3 = 108$ adet üretilmiştir. Bu üretim diğer lif tipi için de aynı olduğundan, deneyel çalışma için toplamda üretilen numune sayısı $108 \times 2 = 216$ adettir. Kiriş numuneleri TS EN 12390-2 (2002) [6] standardına göre kirece doymun suda kürlenmiştir. Kür odası içerisindeki numune yüzeylerinin sürekli şekilde ıslak kaldığı, düzgün aralıklarla kontrol edilmiştir. Numuneler periyot günü gelmeden bir gün önce külden çıkarılarak bünyesindeki suyun dışarı çıkarılması sağlanmıştır.

Polipropilen lif katkılı ve katkısız olarak üretilen silindirik numuneler ile prizmatik numuneler üretim tarihlerinden itibaren 7., 28. ve 90. günlerde sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Sıcaklık etkisi, 1200 °C sıcaklık kapasitesine sahip elektrikli yüksek sıcaklık fırını kullanılarak uygulanmıştır. Kuruma sonrasında numunelere sırasıyla NŞA, 100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıkları uygulanmıştır (Şekil 1.).



Şekil 1. Numunelere Yüksek Sıcaklık Uygulanması.

Yüksek sıcaklık fırınında fırınlama süresi, sıcaklığın kontrollü yükselme zamanı ve kararlı sıcaklık (100 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C) durumundaki ısıtılma zamanı toplamı 6 saat olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Isıtma periyodunun ardından deney numunelerinin ani sıcaklık değişimi etkilerine maruz kalmaması için fırın sıcaklığı oda sıcaklığına erişinceye kadar kapağı kapalı olarak kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır [7].

Sıcaklık uygulama sonrası numunelerde 250 kN kapasiteli geri beslemeli-sehim kontrollü yüklem çerçevesinde yüklem uygulanmıştır [8]. Prizmatik kiriş numuneler, numune uzunluğunun 2/3'ü açıklık mesafesi olacak şekilde mesnetlere oturtulmuştur. Numunenin orta noktasından strok kontrollü olarak dakikada 0.5mm sehim yapacak şekilde yüklem yapılmış ve elde edilen dotalar bilgisayara aktarılmıştır. Dotalar yardımıyla yük-deformasyon grafiği çizilmiş ve gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) eğrisi elde edilmiştir. Kırılma yükü noktasında numunelerin kesit alanlarına bağlı olarak eğilme dayanımları ve σ - ϵ eğrisinin altındaki alanın hesaplanmasıyla da enerji yutma kapasiteleri elde edilmiştir. Prizmatik kiriş numune deney düzeneği Şekil 3. te gösterilmiştir.

Tablo 2. Deneyel Çalışmalar İçin Üretilen Prizmatik Numune Dağılımları.

Prizmatik Numune Dağılımı		Polipropilen Lif Yüzdeleri (% Hacimsel)					
Gün	Sıcaklık (°C)	FP ; MFP					
		% 0.0	% 0.1	% 0.2	% 0.3	% 0.4	% 0.5
7, 28, 90	Oda Sıcaklığı	1	1	1	1	1	1
	100 °C	1	1	1	1	1	1
	200 °C	1	1	1	1	1	1
	400 °C	1	1	1	1	1	1
	600 °C	1	1	1	1	1	1
	800 °C	1	1	1	1	1	1



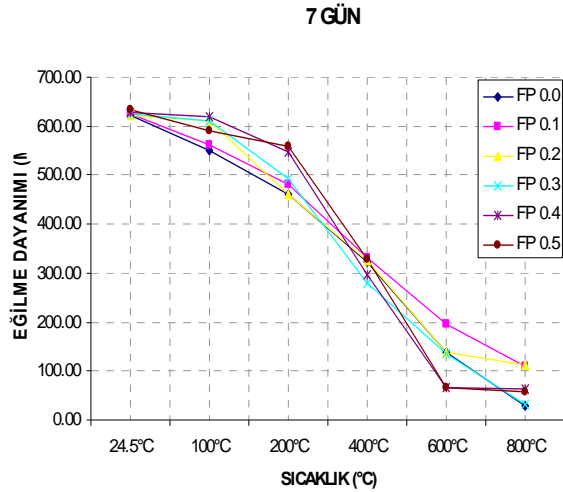
Şekil 3. Deney Düzenegi.

4. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Basit eğilme etkisi altındaki prizmatik kiriş numune deney sonuçları değerlendirilmesi 7, 28 ve 90 günlük numunelerde aşağıda verilmiştir.

4.1. Fibrile polipropilen (FP) lifli prizmatik kirişlerin eğilme dayanımı-sıcaklık değişimi

FP lifli 7 günlük beton prizmatik numunelerin eğilme çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 4. te verilmiştir.



Şekil 4. FP Lifli 7 Günlük Prizmatik Kiriş Numunelerin Eğilme Dayanımı-Sıcaklık Değişimi

FP lifli 7 günlük prizmatik numunelerin eğilme çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

24.5°C'de FP tipi lif katkılı prizmatik numuneler ile lifsiz numunelerin eğilme çekme dayanımı değerleri birbirine çok yakın değerlerdedir. Lif katkısının eğilme çekme dayanımına etkisi oldukça küçük oranlarda olmuştur.

100°C'de referans betonunun eğilme çekme dayanımındaki kayıp, lifli numunelere oranla daha büyüktür. Dolayısıyla lifli numunelerin eğilme çekme dayanımı değerleri, aynı sıcaklıktaki kontrol betonunun değerinden daha büyüktür. 100°C'deki en büyük dayanım değeri FP %0.4 lif katkılı numunenin eğilme çekme dayanımı değeridir. FP %0.4 lif

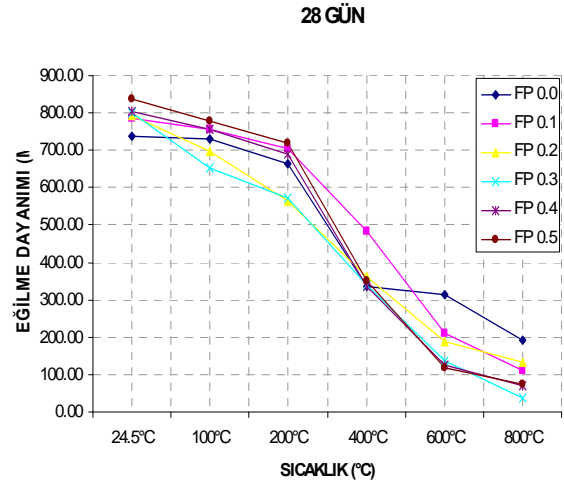
katkılı numunenin eğilme çekme dayanımı değeri, kontrol betonuna göre %12.6 oranında daha büyüktür.

200°C'de yüksek lif oranına sahip prizmatik numunelerin eğilme çekme dayanımı değerlerindeki azalma, düşük lif oranına sahip numuneler ile kontrol betonunun dayanım kaybından daha küçük mertebelerde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla yüksek lif oranına sahip numuneler ile kontrol betonu arasındaki eğilme çekme dayanımı farkı artmıştır. Bu sıcaklık değerinde FP %0.1, FP %0.2 ve FP %0.3 lifli numuneler kontrol betonunun eğilme çekme dayanımına yakın değerler verirken, FP %0.4 lifli numunede %18.7, FP %0.5 lifli numunede ise %20.8 oranında iyileşme görülmüştür.

400°C'de eğilme çekme dayanımı değerlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmüştür. FP %0.1, FP %0.2 ve FP %0.5 lifli numunelerin eğilme çekme dayanımı değerleri, kontrol betonundan büyük olsa da, aradaki fark oldukça küçük mertebelere düşmüştür.

600°C ve 800°C de ilk dayanıma göre ortalama 6.5 kat azalmış olan düşük dayanım göz önüne alınırsa, lif etkisinden bahsetmek mümkün olmamaktadır.

FP lifli 28 günlük beton prizmatik kiriş numunelerin eğilme çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 5. te verilmiştir.



Şekil 5. FP Lifli 28 Günlük Prizmatik Kiriş Numunelerin Eğilme Dayanımı-Sıcaklık Değişimi

FP lifli 28 günlük prizmatik kiriş numunelerin eğilme çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

Prizmatik kiriş beton numunelerin eğilme çekme dayanımı değerlerinde artan sıcaklık etkisiyle azalmalar görülmüştür. Başlangıçta 850 MPa'a ulaşan 28 günlük eğilme çekme dayanımı bulguları, 800°C sıcaklık etkisinden sonra 100MPa'nın altına kadar düşmüştür.

24.5°C'de lif oranının artmasıyla eğilme çekme dayanımı değerlerinde iyileşmeler olmuştur. Bu şartlarda en büyük eğilme çekme dayanımı değeri FP %0.5 lifli numunenin eğilme çekme dayanımı değeridir. FP %0.5 lifli numunenin eğilme çekme dayanımı, referans betonuna göre %13.6 oranında daha büyüktür.

100°C'de FP %0.2 ve FP %0.3 lifli numunelerin eğilme çekme dayanımı değerleri kontrol betonu dayanım değerinin

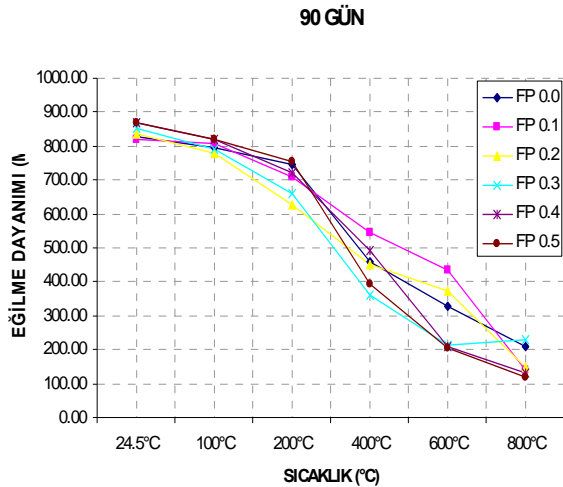
altına düşmüştür. FP %0.5 lifli numunenin eğilmede çekme dayanımı değeri bu sıcaklıktaki en büyük değer olup kontrol betonundan %6.6 oranında daha büyüktür.

200°C'de FP %0.1 ve FP %0.2 lif katkıli numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinde diğer numunelere oranla daha büyük mertebelerde azalma görülmüştür. Bunun yanında diğer eğilme dayanımı değerleri birbirine yakındır. Bu sıcaklık değerinde de FP %0.5 lifli numunenin eğilmede çekme dayanımı değeri en büyük dayanım değeri ve kontrol betonundan %8.2 oranında daha büyüktür. FP %0.1 ve FP %0.4 lifli numunelerin eğilme dayanımları, kontrol betonundan sırasıyla %6.3 ve %3.9 oranında daha büyüktür.

400°C'de en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri FP %0.1 lif katkıli numunede görülmektedir. Bu numunenin eğilmede çekme dayanımı aynı sıcaklıktaki kontrol betonundan %44.4 oranında daha büyüktür. Diğer lif oranları kontrol numunesine yakın değerlerdedir.

600°C ve 800°C'de lif katkıli numunelerin eğilmede çekme dayanımları kontrol betonunun dayanım değerlerinin altında kalmıştır. Lif katkısının olumlu yönde etkisi bu sıcaklık değerlerinde olmamıştır. Aksine yüksek lif oranına sahip numunelerin bu sıcaklık değerlerinde en düşük eğilme dayanımına sahip oldukları görülmüştür.

FP lifli 90 günlük beton prizmatik kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 6.'da grafik olarak verilmiştir.



Şekil 6. FP Lifli 90 Günlük Prizmatik Kiriş Numunelerin Eğilme Dayanımı-Sıcaklık Değişimi

FP lifli 90 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

Başlangıç sıcaklığında 900MPa değerlerine ulaşan eğilme dayanımları, 800°C sonrasında yaklaşık 100MPa değerine kadar düşmüştür.

24.5°C'de eğilme dayanımı bulguları birbirine yakın değerlerdedir. FP %0.3, FP %0.4 ve FP %0.5 lif katkıli numunelerin eğilme dayanımları referans betonundan daha büyüktür. Dolayısıyla bu lif oranlarında eğilme dayanımı için iyileşme kaydedilmiştir. En büyük eğilme dayanımı FP %0.5 lifli numunede görülmüştür. Bu numunenin eğilme dayanımında %4.8 oranında iyileşme olmuştur.

100°C'de eğilme dayanımı değerleri birbirine iyice yaklaşmıştır. FP %0.1 lif katkıli numunenin de kontrol betonundan az da olsa daha büyük eğilme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. FP %0.5 lifli numunenin eğilme dayanımı ise, aynı sıcaklıktaki kontrol betonuna göre %3.3 oranında daha büyüktür.

200°C'de FP %0.5 lif katkıli numune dışında, eğilme dayanımları kontrol betonunun eğilme dayanımından küçük değerlerdedir. FP %0.5 lifli numunenin eğilme dayanımı kontrol betonuna göre %1 civarında artış göstermiştir.

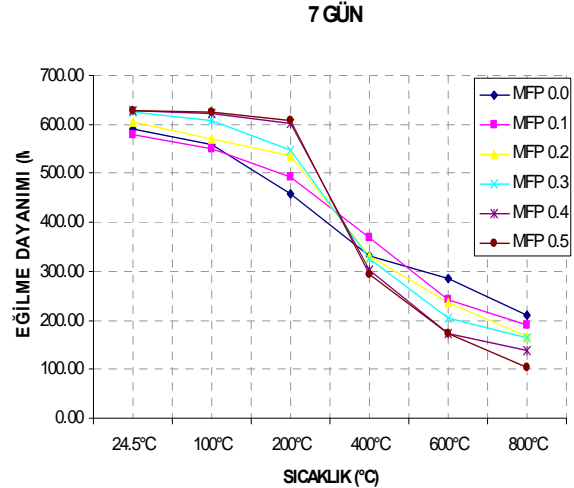
400°C'de FP %0.1 ve FP %0.4 lifli numunelerin eğilme dayanımları kontrol betonunun üstünde değer verirken, FP %0.5 lifli betonun eğilme dayanımı kontrol betonunun altına düşmüştür.

600°C'de yüksek lif oranına sahip numunelerin eğilme dayanımları en düşük eğilme dayanımı değerleri iken, FP %0.1 ve FP %0.2 lifli numunelerin eğilme dayanımları kontrol betonundan daha yüksektir.

800°C'de lif katkıli numunelerin eğilme dayanımı değerleri kontrol betonu eğilme dayanımından düşük değerlerdedir.

4.2. Multifibrile polipropilen (MFP) lifli prizmatik kirişlerin eğilme dayanımı-sıcaklık değişimi

MFP lifli 7 günlük kirişlerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin, lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 7.'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7. MFP Lifli 7 Günlük Prizmatik Kiriş Numunelerin Eğilme Dayanımı-Sıcaklık Değişimi

MFP lifli 7 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

Sıcaklık artışı ile eğilme dayanımında azalmalar görülmüştür. Başlangıçta 600MPa'a ulaşan eğilmede çekme dayanımı değerleri yüksek sıcaklık sonrası 100 MPa'a kadar düşmüştür. En büyük dayanım azalmaları lif katkıli numunelerde görülmüştür.

24.5°C'de lif katkısının eğilmede çekme dayanımını artırdığı görülmüştür. FP %0.1 düşük lif oranlı numune dışında diğer numunelerde dayanım artışı gözlenmiştir. En yüksek eğilme

dayanımı MFP %0.5 lifli beton numunede, referans betonuna göre %6.4 oranında gerçekleşmiştir.

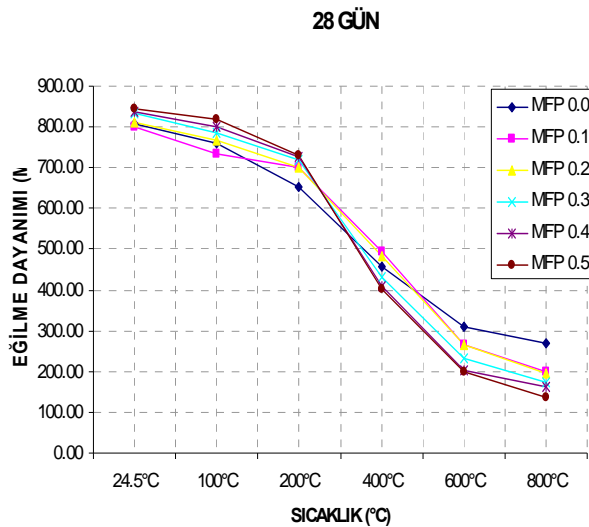
100°C'de referans betonunun eğilme dayanımındaki azalma yüksek lif katkılı numunelerin dayanım azalma miktarına göre büyük olduğundan aradaki fark belirginleşmiştir. MFP %0.3, MFP %0.4 ve MFP %0.5 lif katkılı numunelerdeki iyileşmeler %9.1-11.9 arasında görülmektedir.

200°C'de MFP %0.4 ve MFP %0.5 lifli numunelerin eğilme dayanımları az miktarda azalırken, kontrol betonundaki dayanım azalması lineere yakın bir şekilde devam etmiştir. Dolayısıyla bu numunelerin eğilme dayanımları ile kontrol betonun eğilme dayanımı arasındaki fark artmıştır. Aynı sıcaklıktaki kontrol betonu eğilme dayanımına göre, MFP %0.4 lifli numunenin eğilme dayanımında %31.2, MFP %0.5 lifli numunenin eğilme dayanımında %32.5 oranında artış olduğu görülmüştür.

400°C'de yüksek sıcaklık etkisi ile lif katkılı numunelerin eğilme dayanımlarında büyük kayıplar görülmüştür. MFP %0.1 lifli numune dışındaki numunelerin eğilme dayanımları aynı sıcaklıktaki kontrol betonunun eğilme dayanımının altında kalmıştır. MFP %0.1 lifli numunenin eğilme dayanımının, kontrol betonunun eğilme dayanımından %11.1 oranında daha büyük olduğu görülmüştür.

600°C ve 800°C'de lif katkılı numunelerin eğilme dayanımlarının aynı sıcaklıktaki kontrol betonunun eğilme dayanımının altında olduğu, özellikle yüksek lif oranlarına sahip olan MFP %0.4 ve MFP %0.5 lif katkılı numunelerin en düşük eğilme dayanımına sahip oldukları görülmüştür.

MFP lifli 28 günlük beton prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 8. de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 8. MFP Lifli 28 Günlük Prizmatik Kiriş Numunelerin Eğilme Dayanımı-Sıcaklık Değişimi

MFP lifli 28 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre; 24.5°C'de lif katkılı numunelerin eğilme dayanımları kontrol betonunun eğilme dayanımına yakın olmakla birlikte, küçük mertebelerde iyileşmeler görülmüştür.

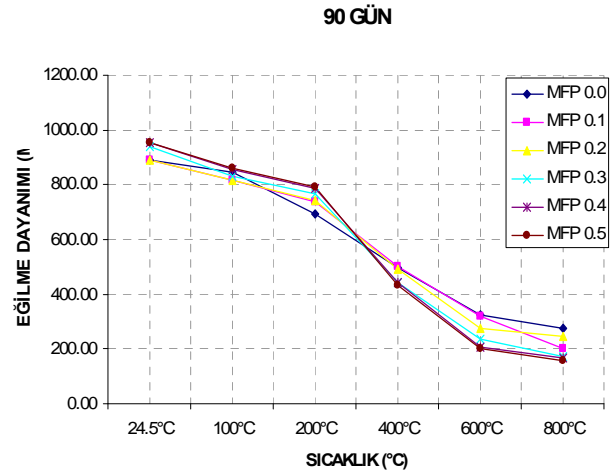
100°C'de MFP %0.1 lif katkılı numune dışındaki numunelerin eğilme dayanımlarının aynı sıcaklıktaki kontrol betonundan daha büyük olduğu görülmüştür. Önceki sıcaklık değerindeki fark biraz daha artmıştır. Bu noktada en büyük eğilme dayanımı MFP %0.5 lif katkılı beton numunede görülmüştür. Bu numunenin eğilme dayanımında kontrol betonuna göre %7.8 oranında bir iyileşme söz konusudur.

200°C'de MFP %0.1 lif katkılı numunenin eğilme dayanımı da kontrol betonunun dayanımından büyüktür. Lif oranı yükseldikçe ufak dayanım artışları görülmüş, ancak dayanım değerleri birbirine çok yakın elde edilmiştir. MFP %0.5 lifli numunenin eğilme dayanımı kontrol betonundan %11.8 daha büyüktür.

400°C'de artan yüksek sıcaklık etkisiyle yüksek lif oranlarına sahip numunelerin eğilme dayanımlarındaki azalma daha büyük mertebelerde gerçekleşmiştir. Bu durum sebebiyle MFP %0.3, MFP %0.4 ve MFP %0.5 lifli numunelerin eğilme dayanımlarının, bu sıcaklık değerinde kontrol betonunun dayanımından düşük olduğu görülmüştür. MFP %0.1 ve MFP %0.2 lifli numunelerde %8'e varan iyileşme olduğu görülmüştür.

600°C ve 800°C'de lif katkılı numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol betonunun eğilme dayanımının altına düştüğü görülmüştür. Lif oranı arttıkça bu yüksek sıcaklık değerlerinde eğilme dayanımlarının azaldığı görülmektedir.

MFP lifli 90 günlük beton prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif oranlarına ve sıcaklık değerlerine göre değişimi Şekil 9. da grafik olarak verilmiştir.



Şekil 9. MFP Lifli 90 Günlük Prizmatik Kiriş Numunelerin Eğilme Dayanımı-Sıcaklık Değişimi

MFP lifli 90 günlük prizmatik numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi bulgularına göre;

Sıcaklık artışı ile birlikte eğilme dayanımlarında azalmalar olduğu görülmüştür. Başlangıç sıcaklığında 1000MPa değerine ulaşan eğilme dayanımlarının, yüksek sıcaklık etkisi sonunda 200MPa'nın altına kadar düştüğü saptanmıştır. 24.5°C'de lif oranı yüksek numunelerin eğilme dayanımlarında küçük mertebelerde iyileşme görülmüştür. 100°C'de eğilme dayanımı değerleri birbirine oldukça yakın iken, 200°C'de aradaki fark biraz daha artmış ve lif oranı yüksek olan numunelerin bu sıcaklık değerinde daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. 400°C'de yüksek lif oranına sahip numunelerin eğilme dayanımları kontrol betonunun

dayanımından küçük değerlerdedir. 600°C ve 800°C’de lif katkılı numunelerin eğilme dayanımlarının, aynı sıcaklıktaki kontrol betonunun eğilme dayanımının altında olduğu görülmüştür. Özellikle yüksek lif oranlarına sahip numunelerinden yüksek sıcaklıklarda en düşük eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir.

4.3. Prizmatik kırımların enerji yutma kapasitesi bulguları

Her lif oranı ve sıcaklık değeri için prizmatik numunelerin enerji yutma kapasitesi değerleri Tablo 3. ve Tablo 4. te verilmiştir.

Tablo 3. FP Lifli Prizmatik Numunelerin Tokluk Değerleri.

Numune Kodu	Polipropilen Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Prizmatik Numune Tokluk Değerleri (kN.mm)					
			Sıcaklık (°C)					
			NŞA	100	200	400	600	800
FP-0-7	0	7	7.96	7.80	7.33	1.20	0.91	0.83
FP-0-28		28	14.11	10.99	8.01	2.84	1.17	1.02
FP-0-90		90	17.35	15.89	10.97	3.01	1.21	1.19
FP-0,1-7	0,1	7	7.31	6.64	6.31	1.01	0.83	0.81
FP-0,1-28		28	11.27	10.79	7.45	2.73	1.12	0.93
FP-0,1-90		90	18.73	15.05	10.16	2.86	1.23	0.99
FP-0,2-7	0,2	7	7.01	4.28	5.47	1.17	0.81	0.57
FP-0,2-28		28	11.59	10.97	7.59	2.49	0.97	0.75
FP-0,2-90		90	18.61	15.73	11.83	3.17	1.16	0.83
FP-0,3-7	0,3	7	8.63	6.81	5.44	0.91	0.72	0.58
FP-0,3-28		28	15.64	10.73	7.45	2.31	0.95	0.72
FP-0,3-90		90	19.57	16.19	12.07	2.83	1.09	0.77
FP-0,4-7	0,4	7	8.71	7.41	6.12	0.87	0.53	0.33
FP-0,4-28		28	17.02	13.73	7.43	2.09	0.81	0.51
FP-0,4-90		90	22.77	17.75	12.16	2.19	0.88	0.53
FP-0,5-7	0,5	7	10.35	9.01	5.97	0.89	0.52	0.37
FP-0,5-28		28	19.81	16.43	8.03	1.81	0.73	0.45
FP-0,5-90		90	23.83	18.10	12.11	1.99	0.80	0.49

Tablo 4. MFP Lifli Prizmatik Numunelerin Tokluk Değerleri.

Numune Kodu	Polipropilen Lif (% hacim)	Numune Periyodu (Gün)	Prizmatik Numune Tokluk Değerleri (kN.mm)					
			Sıcaklık (°C)					
			NŞA	100	200	400	600	800
MFP-0-7	0	7	9.16	7.47	4.96	1.83	1.47	1.06
MFP-0-28		28	14.31	10.35	8.20	4.11	3.03	2.57
MFP-0-90		90	17.47	16.86	11.13	6.47	4.21	3.97
MFP-0,1-7	0,1	7	8.27	7.14	6.43	4.11	2.26	1.94
MFP-0,1-28		28	13.13	10.11	7.97	4.13	2.25	2.16
MFP-0,1-90		90	17.03	16.07	10.53	5.27	5.19	3.49
MFP-0,2-7	0,2	7	8.44	8.13	8.04	2.93	1.17	1.10
MFP-0,2-28		28	12.56	11.47	10.03	3.97	2.21	1.47
MFP-0,2-90		90	15.24	13.24	10.99	5.01	3.56	3.28
MFP-0,3-7	0,3	7	7.56	6.57	5.23	2.47	1.49	1.36
MFP-0,3-28		28	12.47	12.21	9.73	3.18	2.53	2.55
MFP-0,3-90		90	16.06	13.04	9.96	4.01	3.10	3.05
MFP-0,4-7	0,4	7	7.17	6.46	5.21	2.13	1.17	0.60
MFP-0,4-28		28	12.23	10.60	8.37	5.74	3.85	2.38
MFP-0,4-90		90	16.44	11.86	10.05	5.87	4.16	3.26
MFP-0,5-7	0,5	7	7.01	6.47	5.03	1.43	1.01	1.07
MFP-0,5-28		28	12.77	9.75	6.47	2.16	1.18	1.26
MFP-0,5-90		90	17.13	12.89	10.75	6.41	2.71	1.54

FP ve MFP lifli numunelerin enerji yutma kapasitelerinin sıcaklıkla değişimi incelendiğinde, artan sıcaklık etkisinin eğilmeye çalışan elemanların sünekliğini oldukça olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. 400°C ve üstü sıcaklık değerlerindeki enerji yutma kapasitelerine liflerin kayda değer bir yardımı olmadığı ve elemanın süneklik özelliğini

kaybederek gevrek bir davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Bu noktada eleman bünyesindeki polipropilenlerin eriyerek numune boşluklarını doldurmasının az da olsa kırılma yükünü artırdığını söylemek gerekir. Ancak lif oranının fazla artması doldurulacak boşluk miktarını da artırmaktadır.

Oluşan daha büyük boşlukların eriyen lifler yardımıyla doldurulması durumunda, kesitteki gerilme dağılımı sürekliliğinin korunması için erimiş haldeki lifler yeterli olmamaktadır. Bu da lif oranının artması ile yüksek sıcaklıklarda dayanımın, dolayısıyla da enerji yutma kapasitesinin azalması anlamına gelmektedir.

Sonuç

Basit eğilme deneyinde polipropilen lifli prizmatik kırış numunelerin dayanımlarına ulaştıktan sonraki davranışlarının lif katkısız gevrek numunelerin davranışlarıyla benzerlik gösterdiği görülmüştür. Ancak dayanıma ulaşıldıktan sonra lif katkısız numunelerde olduğu gibi tamamen göçme gerçekleşmemesi ve lif oranına bağlı olarak deney numunelerinin deplasman yapabilmesi, enerji yutma kapasitesini artırıcı bir etki oluşturmuştur.

Prizmatik kırış numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinde 24.5°C, 100°C ve 200°C sıcaklık değerleri için iyileşmeler olduğu görülmüştür. Ancak sıcaklığın daha da artması ile lif katkılı numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin lif katkısız numunelerin dayanım değerlerinin altına düştüğü belirlenmiştir. Özellikle lif oranı arttıkça 400°C ve üstü sıcaklık değerlerinde daha büyük mertebelerde eğilme dayanımı kayıpları olduğu saptanmıştır.

Polipropilen lif katkısının 200°C sıcaklığa kadar numunenin enerji yutma kapasitesinde iyileşme sağlamış, ancak daha yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış numunelerde lif oranındaki değişimin numunenin tokluğuna katkısı olmamıştır. Bunun polipropilen lifin 160°C dolaylarında erimesiyle ilgisi vardır. 400°C ve üstü sıcaklıklarda erimiş olan polipropilen lifin eğilmede çekme durumunda numunenin sehim yapabilmesine katkıda bulunması söz konusu değildir.

Prizmatik kırış numunelerin enerji yutma kapasitesi değerleri karşılaştırıldığında yüksek sıcaklık değerlerinde lif oranının da artması ile tokluk değerlerinin azalma eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Bu sebeple, numune bünyesinde eriyen polipropilen liflerin oluşturduğu yerel boşlukların eğilme

durumunda malzemenin aleyhine bir faktör oluşturduğu söylenebilir. 200°C'de sıcaklık etkisine maruz bırakılmış numunelerde dayanıma ulaşıldıktan sonra göçme durumu hemen gerçekleşmemiş ve numune sehim yapabilmıştır. Buna sebep olarak da 200°C'de fırınlanan numunelerin iç kısımlarındaki sıcaklığın lifin tamamen yok olmasını sağlayacak değerlere ulaşamamış olması olarak gösterilebilir. 200°C'den 400°C'ye geçişlerde hem sıcaklık nedeniyle hem de polipropilen liflerin tamamen erimesi nedeniyle numunenin enerji yutma kapasitesinde ciddi azalmalar olduğu görülmüştür.

Oda sıcaklığında ve 100°C sıcaklık değerlerinde, çalışmalarda kullanılan MFP lifin numunelerin tokluk değerlerine katkısı FP lifler kadar olmamış, multifibrile lif oranı arttıkça toklukta azalmalar görülmüştür. Ancak multifibrile lifli numunelerin 200°C'den sonraki yüksek sıcaklıklarda tokluk değerlerinin fibrile numunelerinkine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBY-471 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

1. Arı, K., Erdinç, M., Haktanır, T., Kalsiyum Alüminatlı Çimentonun Refrakter Olarak Kullanılması, Kayseri, 2004.
2. Sancak, E., Şimşek O., Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(3), 443-450, 2006.
3. ASTM C1116 / C1116M-10a, Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete
4. Karahan, O., Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2006.
5. TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara, 2002.
6. TS EN 12390-2, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, TSE, Ankara, 2002.
7. Düğenci, O., Çelik Lifli Betonların Bazı Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2008.
8. TS EN 12390-5, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Nisan, 2002.