

ÇELİK LİFLERİN BETON BASINÇ VE EĞİLME ÖZELİKLERİNE ETKİSİ

Osman ÜNAL*, **Tayfun UYGUNOĞLU***, **Osman GENÇEL****
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Bölümü, Afyonkarahisar
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

Geliş Tarihi : 19.06.2006

ÖZET

Bu çalışmada, çelik lif katkılı betonlarda farklı lif tipi ve miktarının, basınç ve eğilme altındaki betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Beton serilerinin üretiminde, en büyük tane çapı 22 mm olan dört farklı agrega kullanılmıştır. Çimento dozajı 325 kg/m^3 , su/çimento oranı 0.60 olarak sabit tutulmuştur. Karışımlarda narinlik oranları 60 ve 80 olan iki farklı lif tipinde ve 0 (kontrol), 15, 30, 45 ve 60 kg/m^3 olarak 5 farklı lif içeriğinde olmak üzere toplam 10 farklı seri üretilmiştir. Lif katkılı betonların basınç ve eğilme altındaki mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla $\text{Ø}150 \times 300 \text{ mm}$. boyutlarında silindir numuneler ile $100 \times 100 \times 350 \text{ mm}$. boyutlarında prizmatik numuneler kullanılmıştır. Silindir numuneler üzerinde basınç altında gerilme-şekil değiştirme davranışı, prizmatik numuneler üzerinde de eğilme dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak betona ilave edilen lifler, betonun basınç altındaki gerilme-şekil değiştirme yeteneğini ve eğilme dayanımını arttırdığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Beton, Lif, Basınç, Eğilme, Mekanik özellikler.

EFFECT OF STEEL FIBER ON PROPERTIES OF CONCRETE IN COMPRESSION AND BENDING

ABSTRACT

In this study, effect of steel fiber type and content on the mechanical properties of fiber concrete in bending and compression was investigated. In the production of concrete series, four different aggregates which have in 22 mm max. diameter were used. Cement content and water/cement ratio were kept at 325 kg/m^3 and 0.60, respectively. In mixes, totally ten different series were produced as in two different fiber types at 60 and 80 aspect ratio, and five different fiber contents at 0 (control), 15, 30, 45 and 60 kg/m^3 . For define to mechanical properties of fiber concretes in bending and compression, $\text{Ø}150 \times 300 \text{ mm}$. cylindrical specimens and $100 \times 100 \times 350 \text{ mm}$. prismatic specimens were used. Stress-strain behavior in compression and flexure strength in bending were defined on the cylindrical and prismatic specimens, respectively. As a result, it was observed that the stress-strain in compression and flexure strength of concrete were increased by adding of fibers in the concrete.

Key Words : Concrete, Fiber, Compressive, Bending, Mechanical properties.

1. GİRİŞ

Günümüzde betonun değişik alanlarda kullanma ihtiyacının ortaya çıkması, beton teknolojisinde bazı

gelişmelerin yaşanmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerden birisi de lif katkılı betonların üretilmesidir. Beton özelliklerini olumlu yönde değiştirerek iyileştirmek amacıyla taze beton

içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda katılan, belirli boy/çap (narinlik oranı) oranına sahip olan metalik, polimerik, mineral veya tabii yapıdaki malzemelere lif (fiber) denilir. Lifler çelik, plastik, cam gibi değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilmektedirler (Ünal, 1994; Ersoy, 2003). ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) komitesi 544, (Anon., 1997) bir lifi tanımlayan en iyi nümerik parametrenin lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen “boy/çap” (aspect ratio) oranı olduğunu kabul eder. Bu orana kısaca “narinlik oranı” da denilmektedir. Eşdeğer lif çapı ise; alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Lifi tanımlayan diğer etkenler ise lifin geometrik yapısı ve çekme gerilmesidir (Anon., 1992; 1997). Lifle güçlendirilmiş beton bileşenleri, endüstriyel yapılar, yaya kaldırımları, köprüler, tünel ve kanal kaplamaları, hidrolik yapılar, borular, patlamaya karşı dirençli yapılarda, güvenlik odaları, ince kaplamalarda ve beton silindiri gibi çok değişik yapıları kapsayan uygulamalarda kullanılmaktadır (Topçu ve Boğa, 2004; 2005; İçağa ve ark., 2005). Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Homojen bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir (Altun ve ark., 2004; Song and Hwang, 2004; Ünal ve ark., 2006). Liflerin en büyük etkisi, çatlakların ilk oluşum anında, çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine ve sağlam alanlara transfer ederek işlevlerini yerine getirirler. Ayrıca içersine çelik liflerin katılması ile performansında büyük artışlar görülen betonun, tokluk, kaviteasyon-erozyon, yorulma, çarpma ve ilk çatlak dayanımı gibi özellikleri işlev açısından daha

farklı davranış göstermektedir. Ancak liflerin betonun basınç dayanımı üzerinde önemli bir etki etmediği de literatürde belirtilmiştir (Ezeldin and Balaguru, 1992; Ünal ve ark., 2005). Basınç gerilmeleri çelik tellerin rolünden ziyade beton kalitesine, tokluk ve eğilme dayanımı ise çelik tellerin performansına bağlıdır. Betonun tokluğu arttıkça betonun deprem yükleri altındaki davranışı da daha sünek hale gelmektedir (Yerlikaya, 2003). Çelik lif katkılı betonların basınç altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışları üzerine yapılan çalışmalarda lif tipi ve miktarının betonların tokluk değeri üzerinde önemli bir derecede etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Fanella and Naaman, 1985; Ding and Kusterle, 2000).

Bu çalışma kapsamında iki farklı narinlik oranına sahip çelik liflerin betona ilave edilmesiyle elde edilen lifli betonların basınç ve eğilme altındaki mekanik özellikleri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2. 1. Agrega Özellikleri

Çalışmada, 0-3 doğal kum (DK), 0-6 kırma kum (KK), 6-12 mm kırma taş-I (KT-I), 12-22 mm kırmataş-II (KT-II) olmak üzere dört farklı boyutta kireçtaşı kökenli agregaya kullanılmıştır. Lif katkılı betonun üretimi, karışımı ve yerleştirme zorluklarını azaltmak ve liflerin karışım içerisinde topaklaşmaması için karışımın en büyük agregaya tane boyutu 22 mm. olarak seçilmiştir. Agregaların tane dağılımları ve karışım oranları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Agregaların Fiziksel Özellikleri.

Numune Cinsi	Elek Çapı								Karışım Oranı (%)	Özgül Ağırlık	Birim Ağırlık (kg/m ³)
	31.5 (mm)	16 (mm)	8 (mm)	4 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	0.5 (mm)	0.25 (mm)			
DK	100	100	100	99.4	70	27.2	11.8	6.6	21	2.62	1625
KK	100	100	100	88.6	73.6	49	35.6	28.2	38	2.65	1410
KT-I	100	100	41.8	3.2	1.28	1	0	0	29	2.71	1365
KT-II	100	53.48	1.48	0.6	0.52	0	0	0	12	2.7	1362

2. 2. Çimento

Beton karışımlarında CEM II/B 42.5R tipi Portland kompozite çimentosu kullanılmıştır. TS EN 196-1’e (Anon., 2002a) ve TS EN 197-2’ye (Anon., 2002b) göre çimentonun fiziki ve mekanik özellikleri yapılmış ve sonuçların belirtilen standart değerlere

uygun olduğu görülmüştür. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. CEM II/B 42.5R Portland Kompoze Çimentosu Fiziki ve Mekanik Özellikleri.

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)			Priz Başlama (s.)	Priz Sonu (s.)	Hacim Genleş.	Özgül Yüzeý (cm ² /g)	Özgül Ağırlık
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük					
42.5	26.5	38.7	46	2.52	4.36	3	3685	3.07

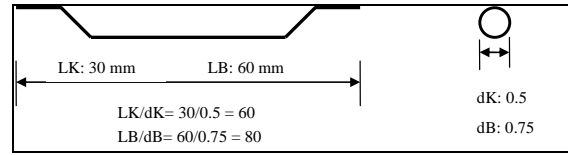
2. 3. Beton Katkı Maddesi

Lifli betonların taze haldeki işlenirliğini artırmak için karışımlarda çimento ağırlığının % 1'i oranında MR50 SR süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. Katkı, karışıma suyla karıştırılarak ilave edilmiştir. Katkının pH'ı 6.5 ve katı oranı da % 20'dir.

2. 4. Çelik Lif

Beton bileşimine giren lif tipi pilye şeklinde iki ucu bükülü liflerdir ve bu deneysel çalışma kapsamında narinlik oranı 60 ve 80 olan iki farklı tipte çelik lif

kullanılmıştır. Bu liflerin en belirgin özelliği çekme sırasında kopmadan direnç göstermeleridir (Gençel, 2006). Liflerin özellikleri ve şekilleri sırasıyla Tablo 3'de ve Şekil 1'de verilmiştir. Narinlik oranı 60 olan lifler için K, narinlik oranı 80 olan lifler için de B simgesi kullanılmıştır.



Şekil 1. Çelik lif tipleri

Tablo 3. Çelik Liflerin Özellikleri.

Lif Tipi	Lif Adı	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik Oranı	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Özgül Ağırlık	Kg.daki Lif Sayısı (Adet)
K	ZP 30/0.5	30	0.5	60	1250	200000	7.48	21770
B	ZP 60/0.75	60	0.75	80	1200	200000	7.48	4774

2. 5. Beton Üretimi ve Deneyler

Üretilen betonların 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımlarının 30 MPa'dan az olmaması hedeflenmiştir. Bütün beton bileşimlerinde çimento dozajı 325 kg/m³, işlenebilmeyi kolaylaştırmak amacıyla çimento miktarının ağırlıkça % 1'i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak etkin su/çimento oranı 0.60 olarak belirlenmiştir. Karışıma katılacak her iki lif tipi için de lif miktarları 0 (kontrol), 15, 30, 45 ve 60 kg/m³ olarak seçilmiştir ve sırasıyla LB0, LB15, LB30, LB45 ve LB60 olarak kodlanmıştır. Ayrıca kullanılan lif tipinin de ifade edilmesi amacıyla, kodlamaların sonuna B ve K simgeleri konularak sırasıyla büyük ve küçük lif kullanıldığı gösterilmiştir. Birim hacimdeki beton bileşen miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Bileşenler 50 dm³ hacmindeki betonyerde karıştırıldıktan sonra lif miktarının ve narinlik oranının taze beton üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla çökme ve Ve-Be deneyleri yapılmıştır. Özellikle lifli betonların işlenebilmesinin belirlenmesinde Ve-Be deneyi kullanılmaktadır (Bayasi and Soroushian, 1992). Daha sonra taze

beton kalıplara yerleştirilmiş ve sarsmalı tabla üzerinde harici vibrasyona tabi tutulmuşlardır. 24 saat sonra kalıplardan alınan numuneler, sıcaklığı 20 ± 2°C olan su içerisinde 28. güne kadar kür edilmişlerdir. Lifli betonların basınç ve eğilme altında mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla TS EN 12390-1'de (Anon., 2002c) anma boyutları verilen Ø150 x 300 mm. boyutlarındaki silindir numuneler ile 100 x 100 x 350 mm. prizmatik numuneler kullanılmıştır. Silindir numuneler üzerinde yaklaşık her 25 kN'da yük-kısalma verileri alınmıştır. Verilerin alınmasında silindir numuneye takılan ve üzerinde 0.002 hassasiyetinde komparatör bulunan çerçeveden faydalanılmıştır. Çerçevenin numune üzerindeki görünümü Şekil 2'de verilmiştir.

Alınan veriler yardımıyla düşey ekseninde gerilme, yatay ekseninde şekil değiştirme olacak şekilde her iki lif tipi için üretilen serilere ait gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Tekrarsız yüklemde numunenin kırılmasına kadar birim hacim başına yapılan işe "Kırılma şekil değiştirme işi" yani "tokluk" adı verilir. Tokluğun değeri, olağan gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alana eşittir (Nataraja et al., 1999). Her iki lif tipini içeren ve lifsiz beton serileri için gerilme şekil değiştirme

eğrilerinin altındaki tüm alan Matlab 7.0 programı yardımı ile hesaplanmıştır ve böylece tokluk kapasiteleri elde edilmiştir (Gençel, 2006).

Prizmatik numunelerde TS EN 12390-5'e (Anon., 2002d) göre orta noktadan yükleme yapılmak suretiyle eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir. Eğilme halindeki numunelerin, ilk çatlak oluştuğu anda en büyük yükü kaydedilip, deney düzeneğinden alınarak X400 büyütme optik mikroskop yardımıyla numune tabanındaki çatlak genişlikleri ölçülmüştür.



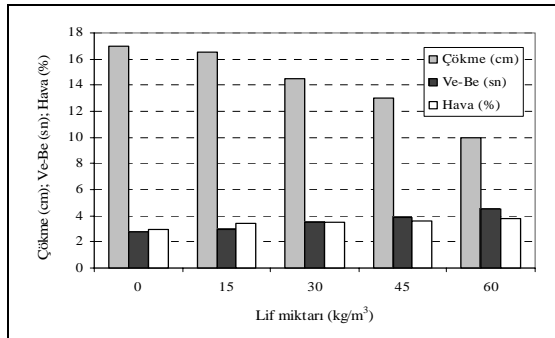
Şekil 2. Gerilme-şekil değiştirme verilerinin alınmasında kullanılan çerçevenin görünümü

Tablo 4. 1 m³ Betonda Bulunan Gerçek Malzeme Miktarları.

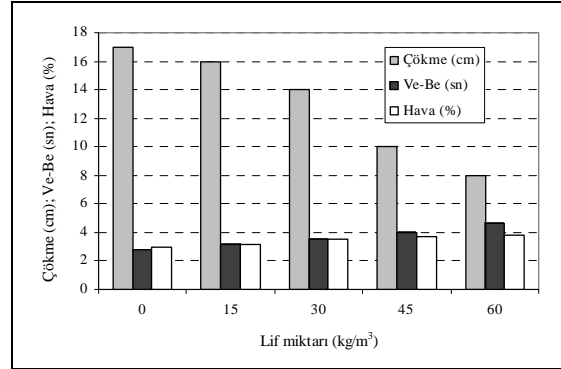
Beton Türü	Çimento (kg)	Su (kg)	Katkı (kg)	Lif Miktarı (kg)	DK (kg)	KK (kg)	KT-I (kg)	KT-II (kg)
LB0	324.74	191.9	3.24	0	378	691	540	223
LB15B	324.35	191.6	3.24	15	376	688	537	221
LB30B	323.71	191.2	3.23	30	375	685	535	220
LB45B	324.03	191.4	3.24	45	374	684	533	220
LB60B	323.7	191.2	3.23	60	372	681	531	219
LB15K	321.78	190.1	3.21	15	373	683	533	220
LB30K	323.71	191.2	3.23	30	375	685	535	220
LB45K	322.1	190.3	3.22	45	372	680	530	219
LB60K	324.35	191.6	3.24	60	372	687	532	220

3. DENEY SONUÇLARI

Farklı narinlik oranlarına sahip iki lif tipinin basınç ve eğilme altındaki betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışma kapsamında, üretilen taze betonlar üzerinde lif içeriğinin taze betona etkisinin belirlenmesi amacıyla çökme, Ve-Be süresi ölçümü ve hava miktarı gibi bir takım testler yapılmış olup, bu test sonuçları Şekil 3 ve Şekil 4'te grafik ortamında verilmiştir.



Şekil 3. K tipi liflerin taze beton üzerindeki etkisi

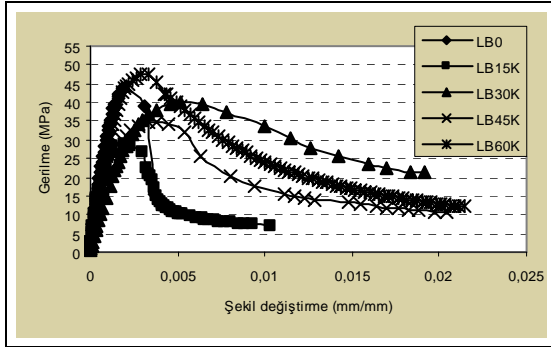


Şekil 4. B tipi liflerin taze beton üzerindeki etkisi

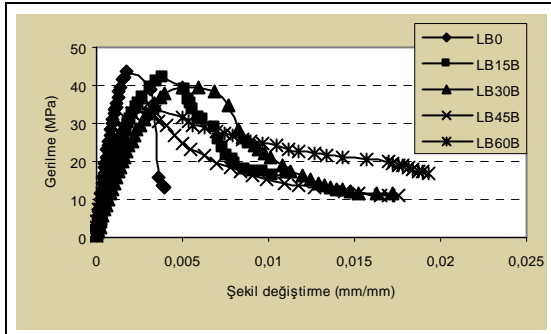
Şekillerden de görüldüğü gibi betona katılan lifler, betonun çökmesini azaltmakta Ve-Be süresi ve birim hacimdeki hava miktarını az da arttırmaktadır. Liflerin betona ilave edilmesiyle betonun karıştırılması ve yerleştirilmesi güçleşmektedir. Diğer bir değişle betonun işlenebilirliği güçleşmektedir. K tipi liflerin kullanıldığı serilerde yapılan çökme deneylerinde lif miktarının artmasıyla 17 cm. olan çökme değerinin 10 cm'ye düştüğü görülürken B tipi liflerin kullanıldığı serilerde bu değer 17 cm'den 8 cm'ye kadar azaldığı

görülmüştür. Yine lifli betonların işlenebilirliğinin bir ölçüsü olan Ve-Be sürelerine bakıldığında, K tipi serilerde lif miktarının artmasıyla Ve-Be süresinin 2.8 sn'den 4.5 sn'ye arttığı görülürken, bu değer B tipi serilerde 2.8 sn'den 4.6 sn'ye ulaştığı görülmüştür. Bunun yanında her iki lif tipinin kullanıldığı serilerde de hava miktarının % 3 - % 3.8 arasında değiştiği görülmüştür. Artan lif miktarıyla işlenebilirliğin önemli ölçüde azaldığı görülen lif katkıli taze betonlar üzerinde, lif tipinin önemli bir etkisi olmamakla birlikte lif miktarının artmasıyla işlenebilirliğin daha fazla azaldığı belirlenmiştir.

Narinlik oranı 60 ve 80 olan liflerin betona ilave edilmesi halinde lif miktarının artmasıyla betonların gerilme-şekil değiştirme yeteneğinde de artış görülmüştür (Şekil 5 ve Şekil 6). Lifsiz betonların şekil değiştirmesi yaklaşık olarak 0,0035 değerinde iken beton içerisine K ve B tipi liflerin ilave edilmesiyle LB15K ve LB15B tipi serilerde şekil değiştirme değeri yaklaşık 0.012 olarak ölçülmüştür. Bu oran LB60K ve LB60B serilerinde sırasıyla yaklaşık 0.02 ve 0.023 mertebesinde dir. Yani LB60 serilerinin lifsiz betonlara göre yaklaşık 5 kat daha fazla şekil değiştirme yeteneğine sahip oldukları söylenebilir.



Şekil 5. K tipi liflerin betonun gerilme-şekil değiştirme yeteneğine etkisi

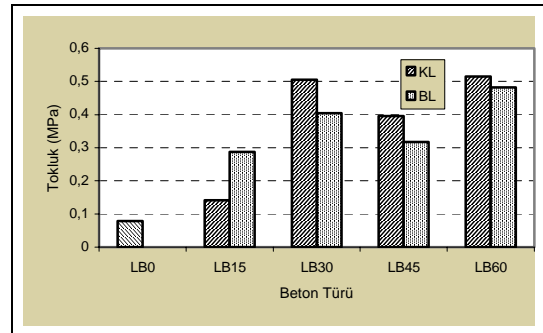


Şekil 6. B tipi liflerin betonun gerilme-şekil değiştirme yeteneğine etkisi

Şekil 5'te ve Şekil 6'da, betona ilave edilen liflerin betonların gerilme değerleri üzerindeki etkisi

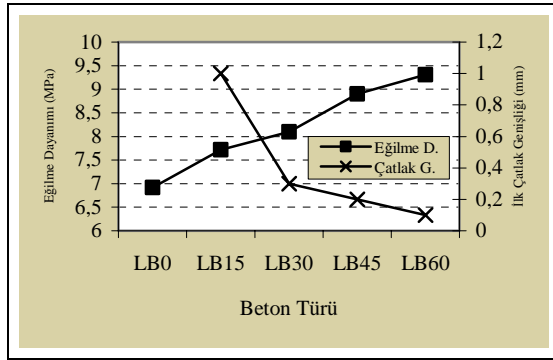
incelendiğinde, lif miktarının basınç dayanımı üzerindeki etkileri hem olumlu hem de olumsuz yönde olmuştur. Bunun sebebi, betona ilave edilen liflerin betonun işlenebilmesini azalttığından veya beton içerisindeki dağılımının ve yöneliminin etkisi sonucu oluşmuş olabileceği belirtilebilir. Yapılan çalışmalarda da lif içeriğinin betonun basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ve hatta \pm %25 oranında olumlu veya olumsuz yönde etkileyebileceği belirtilmiştir (Fanella and Naaman, 1985; Ersoy, 2003).

Şekil 7'de iki farklı lif katkıli betonların basınç altındaki tokluk yetenekleri görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi betona lif ilave edilmesiyle lifsiz betona göre betonun tokluk yeteneği artmıştır. Bu artış, en belirgin bir şekilde her iki lif tipine ait seriler içerisinde LB30 ve LB60 betonlarında görülmüştür. LB45 serilerinde LB30 serilerine göre düşüş görülmüştür. Bu azalmanın sebebi, her iki lif tipinde de lif dağılımının betonun basınç dayanımını LB30 serilerine göre olumsuz etkilemesinden dolayı olabileceği belirtilebilir. Dolayısıyla basınç dayanımının azalmasıyla, her iki serinin de kopma noktaları olan son şekil değiştirme değerleri birbirine çok yakın olması sebebiyle eğri altında kalan alan da azalma gösterdiği söylenebilir. Seriler arasında en yüksek tokluk yeteneği LB60K serilerinde elde edilmiştir. Serilerin tokluk yetenekleri, beton içerisine ilave edilen lif tiplerine göre incelendiğinde, genel olarak K tipi liflerin kullanıldığı serilerde B tipi liflerin kullanıldığı serilere göre daha yüksek tokluk yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. Lif boyunun küçülmesiyle yük altındaki betonun içerisindeki mikro çatlakların ilerlemesi, boyutu büyük olan liflere göre daha azdır (Shah and Rangan, 1971; Sorooshian and Bayasi, 1991; Song and Hwang, 2004). Dolayısıyla boyutu B tipi liflere göre daha küçük olan K tipi liflerin kullanıldığı serilerde basınç altındaki betonun tokluğunu B tipi liflerin kullanıldığı serilere göre arttırdığı belirtilebilir. Bu artış lifsiz betonların tokluk değerinin 5 katından daha fazla olduğu yine şekilden görülmektedir.

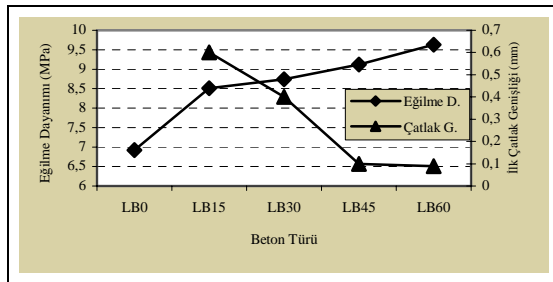


Şekil 7. Lifli betonların basınç altındaki tokluk yetenekleri

Betonun içerisine ilave edilen liflerin betonun eğilme dayanımları üzerindeki etkileri incelendiğinde (Şekil 8-9), lif miktarının artmasıyla eğilme dayanımının da belirgin bir biçimde arttığı her iki şekilden görülmektedir. Lifsiz betonun eğilme dayanımı 7 MPa civarında iken, LB15K serilerinin eğilme dayanımı 7.7 MPa değerine ulaşmış ve LB60K serilerinde bu değer yaklaşık olarak 9.3 MPa değerine ulaşmıştır (Şekil 8). LB15B serilerine de eğilme dayanımının 8.5 MPa değerine ulaştığı görülürken LB60B serilerinde ise 9.6 MPa değerine ulaşmıştır (Şekil 9). Betona ilave edilen lif miktarıyla doğrudan ilişkili olan eğilme dayanımının, lif tipiyle de (narinlik oranı) doğrudan ilişkili olduğu her iki şeklin karşılaştırılmasıyla belirtilebilir. Diğer bir ifadeyle narinlik oranının artmasıyla eğilme dayanımının da arttığı görülmüştür (Khaloo and Afshari, 2005).



Şekil 8. K tipi liflerin betonun eğilme dayanımına ve eğilmede ilk çatlak genişliğine etkisi



Şekil 9. B tipi liflerin betonun eğilme dayanımına ve eğilmede ilk çatlak genişliğine etkisi

Şekil 8 ve 9'da gösterilmiş olan diğer bir özellik de eğilme deneyi esnasında oluşan ilk çatlak genişliklerinin lif miktarına bağlı olarak değişimidir. Eğilme halindeki normal betonda ani kırılma görülürken, betona ilave edilen lifler sayesinde lif katkılı betonlar eğilme halinde ilk çatlaktan sonra bir miktar daha yük taşıyabilmekte hatta en büyük gerilmeye bu noktadan sonra ulaşmaktadırlar (Ersoy, 2003). 1 m³ normal betona 15 kg K tipi lifin ilave edilmesiyle, ani kırılma değeri, 1 mm'lik ilk çatlak genişliğine sahip olmaktadır. Bu değer

LB30K serilerinde 0.3 mm iken LB60K serilerinde 0.18 mm.'ye kadar azalma görülmüştür. B tipi liflerin kullanıldığı serilerde de; ilk çatlak genişliği LB15B serilerinde 0.6 mm. iken LB60B serilerinde 0.1 mm.'ye kadar azaldığı görülmüştür. Eğilme dayanımında olduğu gibi oluşan ilk çatlak genişliğinde de lif miktarı ve tipinin belirgin bir biçimde etkisinin olduğu belirtilebilir. Yani birim hacme ilave edilen lif miktarının artmasıyla ve narinlik oranının artmasıyla eğilme halindeki lifli betonun ilk çatlak genişliği önemli derecede azalmıştır.

4. SONUÇLAR

Lif tipinin ve miktarının basınç ve eğilme altındaki betonun mekanik özelliklerine etkisi üzerine gerçekleştirilmiş olan bu deneysel çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Beton içerisine lif ilave edilmesiyle lif miktarının artmasıyla birlikte betonun çökmesi azalmış ve Ve-Be süresi artmıştır. Dolayısıyla betonun işlenebilirliği azalmıştır. İşlenebilirliğin azalması boyutu daha büyük olan ve narinlik oranı 80 olan liflerde daha fazladır.
- Betonda kullanılan çelik lifler, liffsiz betonun gerilme şekil değiştirme yeteneğini ve tokluğunu önemli derecede arttırmıştır. Bu artış 1 m³ betona 60 kg lif ilave edilmesiyle elde edilen serilerde liffsiz betonun 5 katı mertebesindedir.
- Lifler, betonların basınç dayanımlarını yönelim ve dağılımlarından dolayı hem olumlu hem de olumsuz yönde etki etmişlerdir.
- Betona katılan lif miktarının artmasıyla betonun tokluğu da artış göstermiştir. Bu artış narinlik oranı 60 olan lifin 60 kg/m³ ilave edildiği serilerde diğer seri ve lif miktarlarına göre en yüksek değerdedir.
- Betona ilave edilen lifler eğilme dayanımını önemli derecede arttırmışlardır. Bu artış her iki lif tipinde görülmüştür. Eğilme dayanımındaki artış miktarının narinlik oranıyla birlikte arttığı görülmüştür.
- Eğilme halinde ani kırılma görülen liffsiz betona katılan lifler sayesinde betonda ilk çatlak oluşumu gözlenmiştir.
- Betonun ilk çatlak genişliğinde, beton içerisindeki lif miktarının artışıyla birlikte azalma görülmüştür. Bu azalma narinlik oranının artışıyla da azalmıştır.

Yapılan çalışmadan da görüldüğü gibi normal beton içerisine ilave edilen çelik lifler sayesinde lif miktarına bağlı olarak betonun basınç altındaki şekil değiştirme yeteneği ve tokluğu; eğilme dayanımı ve eğilme altındaki davranışı lifsiz betonunkinden daha fazladır. Betona kazandırılan bu özellik sayesinde deprem kuşağı üzerinde bulunan yapılarıdaki betonların sünekliliği de önemli derecede artırılmış olacaktır. Bu sayede gerek can kaybı gerekse binaların yıkılmasından dolayı oluşacak olan ekonomik kayıplar da daha aza indirilecektir.

5. KAYNAKLAR

- Altun, F., Özcan, D. M., Vekli, M. ve Karahan, O. 2004. "Çelik Lif Katkılı C20 Betonun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması", Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Cilt-4, Sayı 1-2, Ekim, Afyon.
- Anonim, 1992. TS 10513, "Çelik Teller - Beton Takviyesinde Kullanılan", TSE, Ankara, 1992.
- Anonymous, 1997. ACI 544.1R-96, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute (ACI) Committee 544.
- Anonim, 2002a. TS EN 196-1, "Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım", TSE, Ankara.
- Anonim, 2002b. TS EN 197-2, "Çimento- Bölüm 2: Uygunluk Değerlendirmesi", TSE, Ankara.
- Anonim, 2002c. TS EN 12390-1, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1 : Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, TSE, Ankara.
- Anonim, 2002d. TS EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5 : Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- Bayasi, Z. and Soroushian, P. 1992. "Effect of Steel Fiber Reinforcement on Fresh Mix Properties of Concrete", Technical Paper, ACI Materials Journal, Vol. 89, No. 4, July-August.
- Ding, Y. and Kusterle, W. 2000. "Compressive Stress-Strain Relationship of Steel Fiber-Reinforced Concrete at Early Age", Cement and Concrete Research 30, 1573-1579.
- Ersoy, H. Y. 2003. Kompozit Malzeme, Literatür Yayınları, Mimarlık Dizisi, ISBN : 975-8431-47-1.
- Ezeldin A. S. and Balaguru P. N. 1992. "Normal-and High-Strength Fiber-Reinforced Concrete Under Compression", Mat. Civil Eng., (4) 415-427.
- Fanella, D. A. and Naaman A. E. 1985. "Stress-Strain Properties of Fiber Reinforced Concrete in Compression" ACI, 82 (4), 475 - 483.
- Gençel, O. 2006. "Farklı Çelik Lif Tipi ve Miktarının Beton Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- İçağa, Y., Ünal, O. ve Uygunoğlu, T. 2005. "Farklı Koşullarda Kür Edilmiş Lif Katkılı Betonların Donma Çözülme Etkisi Altında Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Proje No: 042.TEF.02.
- Khaloo, A.R. and Afshari, M. 2005. "Flexural Behavior of Small Steel Fiber Reinforced Concrete Slabs", Cement and Concrete Composites 27, 141-149.
- Nataraja, M.C., Dhang, N. and Gupta, A.P. 1999. "Stress-Strain Curves for Steel-Fiber Reinforced Concrete Under Compression", Cement and Concrete Composites 21, 383-390.
- Shah, S. P. and Rangan, B.V. 1971. "Fiber Reinforced Concrete Properties", ACI Journal, pp. 126-135, February.
- Song, P.S. and Hwang, S. 2004. "Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete", Construction and Building Materials 18, 669-673.
- Sorooshian, P. and Bayasi, Z. 1991. "Fiber Type Effects on The Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI materials Journal, Technical Paper, March-April, Vol. 88, No. 2, pp. 53-60.
- Topçu, İ. B. ve Boğa, A. R. 2004. "Prefabrik Beton Borularda Çelik Liflerin Kullanımı", Beton Prefabrikasyon Dergisi, Sayı : 73, ss. 13-20.
- Topçu, İ. B. ve Boğa, A.R. 2005. "Uçucu kül ve Çelik Liflerin Beton ve Beton Borularda Kullanımı", Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 2, ss. 1-14.
- Ünal, O. 1994. "Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi", Dr. Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

Ünal, O., Uygunoğlu, T. ve Elmacı Ö. 2005. "Lif Katkılı Betonun Elastisite Modülü Üzerine Kür Ortamının Etkisi", 6. Ulusal Beton Kongresi (Yüksek Performanslı Betonlar), 16-18 Kasım, İstanbul, s. 157.

Ünal, O., Uygunoğlu, T. ve Gençel, O. 2006. "Lif Tipinin Betonun Tokluğu Üzerindeki Etkisinin

Araştırılması", V. GAP Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 2, 26-28 Nisan, Şanlıurfa, s. 941-942.

Yerlikaya, M. 2003. "Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları", Deprem Sempozyumu, Kocaeli.