

ÇELİK LİF KATKILI C 20 BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Fatih ALTUN¹, D. Mehmet ÖZCAN², Mustafa VEKLİ²
Okan KARAHAN¹

¹ Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü,
38039 Kayseri, e-posta : faltun@erciyes.edu.tr

² Erciyes Üniversitesi, Yozgat Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü,
66100 Yozgat.

ÖZET

Beton malzemesinin dayanımı ve diğer mekanik özellikleri çeşitli katkı malzemeleri yardımıyla iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Katkı malzemeleri olarak kimyasal maddelerin yanı sıra günümüzde çeşitli ebatlarda çelik lifler de kullanılmaktadır. Çelik lif katkılı betonlar son yıllarda karayollarında, tünel kaplamalarında, beton büz borularında ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerinin fazla olması nedeniyle yaygın olarak uygulama alanı bulmaktadır. Bu çalışmada, Dramix RC-80/60-BN tipi çelik lif katkılı silindir numuneler 30 kg/m³, 40 kg/m³, 50 kg/m³, 60 kg/m³ dozajlarında her bir gruptan 6 adet olmak üzere toplam 24 adet C 20 beton sınıfında imal edilmiştir. Ayrıca 6 adet çelik lif katkısız silindir numune kontrol amaçlı üretilmiştir. Numuneler uygun kür şartlarında bekletilerek 28 gün sonunda standart basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda, çelik lif katkısız beton ile değişik dozajlardaki çelik lif katkılı beton numunelerinin basınç dayanımları, toklukları ve elastisite modülleri tayin edilmiştir. Çalışma sonucunda; çelik lif katkısız beton silindir numuneleri ile değişik dozajlardaki çelik lif katkılı beton silindir numunelerinin C 20 beton sınıfı için genel mekanik özelliklerinin karşılaştırılması yapılarak sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Çelik Lif, Çelik Lif Donatılı Beton, Tokluk, Elastisite Modülü.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL-FIBER-REINFORCED CONCRETE OF C20 CLASS

ABSTRACT

Strength and other mechanical properties of portland cement concrete are modified by mixing chemical and mineral admixtures. Recently, steel fibers of various dimensions are also used as additives to improve some relevant concrete peculiarities. Steel-fiber-reinforced concrete (SFRC) applications have become widespread in such areas as slabs of industrial buildings, highway surface layers, tunnelling shells, concrete pipes, shotcretes, and directly in joints of reinforced-concrete frames, because of their positive effects on strength and toughness of the load-carrying elements. In this study, four concrete batches having 30, 40, 50, and 60 kg/m³ steel fiber amounts are produced, and six 15x30 cm cylindrical specimens are taken from each batch. A fifth concrete mixture of the same cement and aggregate ratios without any steel fibers are also produced from which six other samples are taken for comparison purposes. All the 60 cylindrical concrete specimens are moist-cured exactly for a 28-day period. After having mounted a standard compressometer to each cylindrical sample, the load-displacement behavior of each sample is carefully recorded during a standard loading experiment performed in a certified compression machine. Using the experimentally obtained load-displacement values, stress-strain relationships of all the 30 number of cylindrical samples taken out of five different concrete batches are determined. The ultimate compressive strengths, and tangent and secant moduli of elasticity of all the four-different steel-fiber dosage and no-steel-fiber concrete batches are calculated based on these stress-strain relationships. The experimentally determined strength and elasticity moduli values are given in a comparative way, which exhibit the effect of the dosage of steel fibers on these crucial concrete properties.

Keywords: Steel Fibre, Steel Fibre Concrete, Toughness, Elastic module.

1. GİRİŞ

Basınç etkisi altında mekanik davranışları elverişli olan yapı malzemelerinin, çekme ve eğilme etkisi altındaki davranışları çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Bu malzemelerin elverişli olmayan mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi yapı mühendisliğinin uğraş alanlarının başında gelmektedir. Günümüzde önemli yapı malzemesi olma özelliğini koruyan betonarme betonunun lif katkılarıyla iyileştirilmesi önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Betonarme betonunun özelliklerinin iyileştirilmesi çabaları ile yapı mühendisleri, teknolojik gelişmelere paralel olarak daha avantajlı yapı malzemeleri arama yoluna gitmişlerdir. Diğer bir deyişle hem basınç, hem çekme, hem de eğilme dayanımı yüksek olan, ancak metal yapı malzemelerinden daha ekonomik bir yapı malzemesi oluşturulmasına çalışılmaktadır. Genel olarak yorulma, aşınma, çekme, çatlama sonrası yük taşıma dayanımları ve enerji yutma kapasitesi bakımından zayıf olan betonun bu özelliklerini iyileştirmek amacıyla betona katkı malzemeleri ilave edilebilmektedir. Lifler de bu malzemelerden birisidir. Lifli betonun üretilmesindeki amaç; malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının ve diğer mekanik özelliklerinin artırılmasıdır.

Günümüzde betonda en yaygın olarak kullanılan lifler çelik, polipropilen ve alkali dirençli camlardır. 1960'lı yıllardan bu yana yapılan çalışmalarda beton içerisine konulan lifler betonda oluşan çatlakların ilerleme hızını azaltmıştır. Ayrıca; maksimum yükten sonra lifli betonlarda artan deformasyonlar sonucunda, yükün azalma hızı, normal betona göre çok daha yavaştır. Dolayısıyla lifli betonun tokluğu normal betona göre daha fazladır.

Çelik liflerle ilgili yapılan çalışmalarda, darbe tesiri altında çelik lifli, lifsiz ve polyester katkı silindir beton numunelerle dinamik çekme dayanımları kritik kırılma şekil değiştirme enerjisine bağlı olarak incelenmiştir [1].

Diğer bir çalışmada, düşü ağırlıklı bir darbe dayanım test cihazı kullanılarak çelik ve polipropilen lifli betonların karışık modda kırılma performanslarını modelleyebilecek bir numune geometrisi tanıtılmış ve lifli betonların çarpma etkisi altında statik yüklemeye göre çok daha yüksek bir performans gösterdiğini ortaya koymuştur [2].

Pomza agregası kullanılarak yapılan bir çalışmada; beton karışımlarında lif tipinin ve dozajının, beton mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır [3].

Bu konu ile ilgili çalışan araştırmacılar; değişik oranlarda polipropilen lifler ve silis dumanı kullanarak hazırlanan numuneler üzerinde permeabilite ve düşü ağırlıklı darbe deneyi yapmışlardır. Lif hacmi sabit kalacak şekilde lif boyunu kısalttıklarında, silis dumanı içeren ve içermeyen betonlarda permeabilitenin azaldığını, ayrıca lifli betonların darbe dayanımının silis dumanı eklenmesiyle arttığını, fakat lifsiz betonlarda silis dumanı eklenmesinin darbe dayanımını etkilemediğini görmüşlerdir [4].

Çelik lifli betonun özelliklerini etkileyen en önemli faktörler narinlik oranı ve kullanılan lif miktarıdır. Ayrıca beton içerisine katılan çelik tellerin

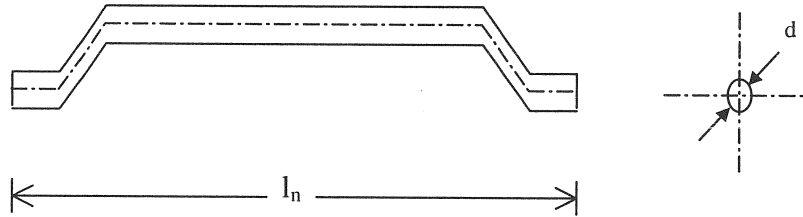
karışımında homojen olarak dağıtılması, beton özellikleri üzerinde iyileştirici bir etki yapmaktadır [5].

Çelik liflerin betonarme kiriş elemanlarda kullanılması ile ilgili bir çalışmada, çelik lif katkısının taşıma gücü ve betonarme kiriş çatlak özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Araştırmada kullanılan çelik liflerin dozajı değiştirilmemiş ve sabit tutulmuştur. Sonuçta uygun çelik lif dozajı $30-40 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir [6].

Bu çalışmada ise, çelik lif katkılı numunelerden $30-40-50-60 \text{ kg/m}^3$ dozajlarında, $150 \times 300 \text{ mm}$ ebatlarında, her gruptan 6 adet, ayrıca 6 adet de çelik lif katkısız silindirik beton numuneler C 20 beton sınıfı için üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, belirtilen çelik lif tipi için değişik dozajdaki çelik lif katkılı numunelerin mekanik özellikleri ile lif katkısız betonunun mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

2. ÇELİK LİF VE ÖZELLİKLERİ

Çelik liflerin fonksiyonu, beton içerisinde yeni adezyon kuvvetleri oluşturmaktır. Beton içerisinde bulunan sürtünme kuvvetleri malzeme içerisinde bulunan mikro çatlaklar nedeniyle düzensizdir. Çelik lifler betonun içerisinde zayıf bölgelerde küçük köprüler olarak çalışır. Bu nedenle çatlak oluşumu çelik lifli betonda daha düzenlidir. Çelik lif sınıflandırması TS 10513'de yapılmıştır [7]. Deneylerde kullanılan çelik lif formu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan çelik lif formu

DeneySEL çalışmalarda, C Sınıfı iki ucu kıvrılmış tel (çelik lif) kullanılmıştır. Beksa A.Ş. firmasının üretimi olan lifler, Dramix RC80/60BN tipinde olup, liflerin uzunluğu 60mm ve çapı 0.75 mm'dir (Şekil 2).



Şekil 2. Deneylerde kullanılan çelik lifler

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan bu çalışmada, su/çimento oranı 0.58 olan ve çökmesi süper akışkanlaştırıcı ile 150 mm \pm 20 mm. aralığında sabit tutulan çelik lif katkı silindir beton numuneler üretilmiştir. Deneylerde C 20 beton sınıfı kullanılmıştır. Deney betonu 300 doz çimento ile imal edilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemelerin kuru yüzey doygun özgül ağırlıkları (KYDHÖA) ince mıcır 2.72 kg/dm³, iri mıcır 2.65 kg/dm³ ve kum 2.60kg/dm³ olarak bulunmuştur. Granülometri deneyleri sonucunda 1 m³ beton için kullanılan malzemelerin karışım ağırlıkları ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. C 20 deney betonu birleşenleri

Malzeme	Miktar (kg)
Su	175
Çimento KPÇ-32.5	300
Taş Unu (K.Y.D)	386
Kum (K.Y.D)	472
İnce Mıcır (K.Y.D)	467
İri Mıcır (K.Y.D)	559

C 20 beton harcında slump 17 cm olarak ölçülmüştür. Çelik lifler transmikserle 20 kg/dak. hız ile homojen karışım sağlanacak şekilde betona katılmış ve karışım çelik liflerle birlikte maksimum hızda 5 dakika çevrilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Homojen karıştırılmış çelik lif katkıli beton (SFC) harcı

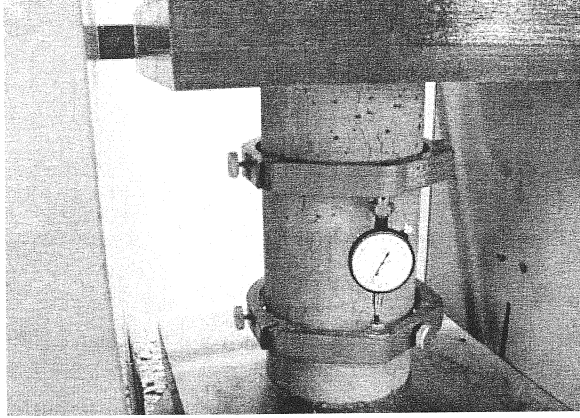
Üretilmiş olan standart silindir beton numuneler toplu halde Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Üretilen silindir numuneler

Silindir numuneler uygun kür şartlarında 28 gün bekletilerek basınç dayanımları TS 3114 ’e uygun olarak belirlenmiştir [8]. Değişik dozajlardaki çelik lif katkısının beton basınç dayanımına etkisi yanında, elastisite modülüne ve tokluk değerlerine olan etkileri de belirlenmiştir.

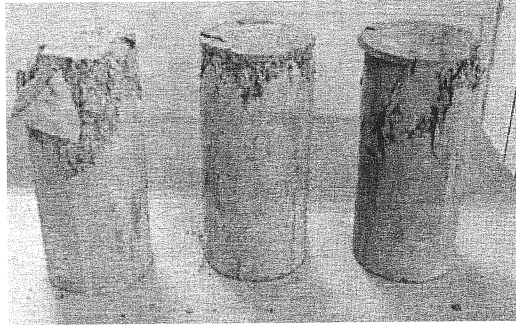
Deney numunelerinin elastisite modüllerinin hesaplanması için, oluşan boy kısaltmalarının belirlenmesi amacı ile deplasman ölçer takılmıştır (Şekil 5). Deneyler sırasında, silindir numunelerde oluşan deplasmanlar her 20 kN 'da bir okunmuş ve kayıt edilmiştir.



Şekil 5. Silindir numunelerinin kırılması

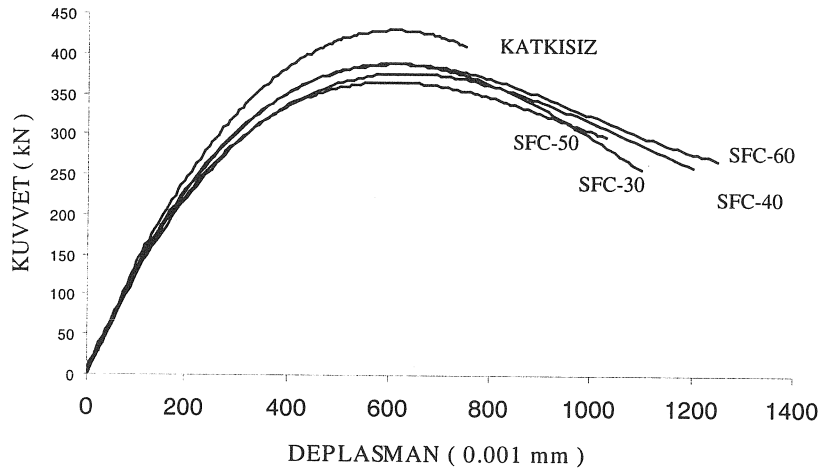
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çelik lif katkıli silindir numuneler tipik beton davranışı sergileyerek kırılmışlardır. Katkisız numuneler kırılma yükü sonrası az deplasman yaparak parçalanmasına karşılık, çelik lif katkıli numuneler ise kırılma yükü sonrası deplasman yapmaya devam etmiş ve parçalanmamıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Çelik lif katkıli silindir numunelerinin kırılmış hali

Silindir numune çatlakları kuvvet uygulanan noktada yoğunlaşarak kuvvete paralel ve ezilme davranışı sergileyerek meydana gelmiştir. Silindir numune deplasman değerlerine göre kuvvet-deplasman eğrileri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Silindir numuneler için kuvvet-deplasman eğrileri

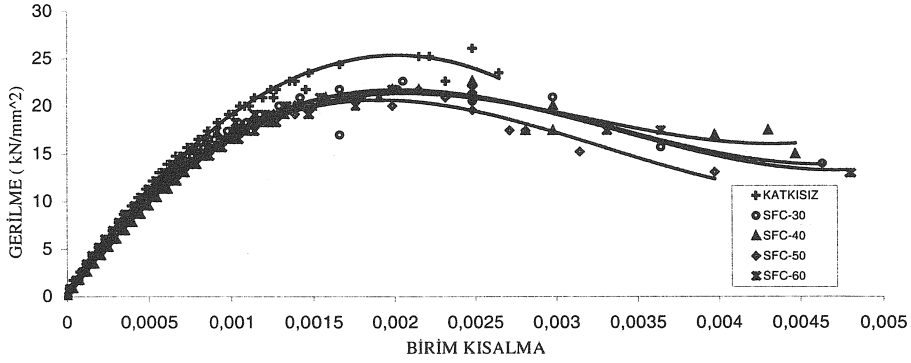
Bu eğriler yardımıyla silindir numuneler için tokluk değerleri ve 28 gün sonundaki basınç dayanımları Tablo 2’de verilmiştir. Bu değerlere göre basınç dayanımı incelendiğinde C 20 olan beton sınıfının çelik lif katkısı ile değişmediği görülmüştür. Ayrıca çelik lif katkısının kırılma yükünü çelik lif dozajına bağlı olarak ortalama yaklaşık % 10 azalttığı hesaplanmıştır.

Tablo 2. Silindir numune mekanik özellikleri

Deney Elemanları	Çelik Lif Dozajı (kg/m ³)	Ortalama Kırılma Yükü (N)	Karakteristik Basınç Dayanımı (N/ mm ²)	Elastisite Modülü (N/ mm ²)	Tokluk (kNmm)
Katkısız	0	432 000	24.46	29 500	202
SFC-30	30	397 000	22.48	27 500	446
SFC-40	40	385 000	21.80	26 500	522
SFC-50	50	377 000	21.34	26 500	415
SFC-60	60	399 000	22.59	26 000	474

Enerji yutma kapasitesi olan tokluk değerlerinin hesabı için şu sıra takip edilmiştir. Her bir grup için altı numune sonuçlarına göre kuvvet-deplasman eğrileri çizilmiştir. Bu eğrilere polinom türü tek bir eğri uydurulmuştur. Eğri fonksiyonu tayin edilerek altında kalan alan bu fonksiyona bağlı olarak matlab paket programı ile hesaplanmıştır. Hesap sonucu tokluk değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Çelik lif katkısının yaklaşık 40 kg/m³ olduğu değerlerde katkısız numuneye göre 2.50 katı kadar fazla sünek davranış göstermiştir. Bunun ideal bir değer olduğu tablo sonuçlarından rahatlıkla görülmektedir.

Silindir numunelere ait okunan deplasman değerlerine göre gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Silindir numuneler için gerilme-şekil değiştirme eğrileri

Şekil 8’de elde edilen eğriler yardımıyla silindir numunelere ait elastisite modülleri sekant yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bulunan sonuç değerleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada; belirtilen lif tipi ve dozajının C 20 betonu mekanik özelliklerine olan etkilerinin deneysel araştırılması yapılmıştır. Türkiye’deki konut inşaatlarında yaygın olarak kullanıldığı için beton sınıfı olarak C 20 özellikle seçilmiştir.

Silindir numune basınç dayanımlarının, tel narinliği 80 ve su/çimento oranı 0.58 olan betonda 30 kg/m^3 , 40 kg/m^3 ve 50 kg/m^3 lif içeriklerinde azaldığı 60 kg/m^3 lif içerikli beton basınç dayanımının ise artış göstermesine rağmen katkısız beton basınç dayanımına göre azalmış olduğu belirlenmiştir. Kullanılan çelik lif katkı dozajlarının ortalama kırılma yükünü belirgin bir şekilde değiştirmediği, sadece çelik lif katkısız betona göre ortalama kırılma yükünü %10 civarında azalttığı görülmüştür. Buna rağmen deney sonuçları incelendiğinde çelik lif katkısının C 20 beton sınıfını değiştirmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Enerji yutma kapasitesi, çelik lif katkısı ile katkısız numuneye göre en az 2.00-2.50 katı kadar artmış, süneklilik davranışı olumlu yönde etkilenmiştir. Çelik lif katkısının yaklaşık 40 kg/m^3 olduğu değer verilen beton sınıfı için enerji yutma kapasitesi açısından ideal bir değerdir.

Silindir numune gerilme-şekil değiştirme eğrilerine göre, çelik lif katkısı ile elastisite modüllerinin incelenen numuneler için azalmış olduğu sonucuna ulaşılmıştır. C 20 beton sınıfı elastisite modülü değerine çelik lif katkısı ile ulaşamamıştır.

Genel olarak bu araştırma kapsamında elde edilen deney sonuçları değerlendirildiğinde; çelik lif katkısının ortalama kırılma yükünü %10 civarında azalttığı ve C 20 beton sınıfını değiştirmedeği görülmüştür. Ortalama kırılma yükü, enerji yutma kapasitesi ve elastisite modülü değerleri göz önüne alındığında 30-40 kg/m³ çelik lif dozajının uygun olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. Birkimer D. L., Linderman R., Dynamic Tensile Strength of Concrete Materials ACI journal, 47-49, (1971).
2. Arslan A., Mixed Mode Fracture Performance of Fiber Reinforced Concrete Under Impact Loading, Materials and Structures, 473-478, (1995).
3. Sancak E., Hafif Agregalı Beton Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, (1999).
4. Toutanji H., McNeil S., Bayasi Z., Chloride Permeability and Impact Resistance of Polypropylene Fiber Reinforced Silika Fume Concrete, Cement and Concrete Research, 961-968, (1998).
5. Taşdemir M. A., Teknik Rapor 1-Beksa Çelik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş. Tarafından Getirilen Dramix Çelik Tel Donatılı Beton Plaklar Üzerinde Yapılan Deneyler İle İlgili. Proje No:2000/323, İTÜ, (2000).
6. Dupont D., Vandewalle L., Bending Capacity of Steel Fibre Reinforced Concrete (SFRC) Beams, International Congress on Challenges of Concrete Construction, Dundee, 81-90, (2002).
7. TS 10513., Çelik Teller- Beton Takviyesinde Kullanılan. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Aralık 1992, 7, (1992).
8. TSE 3114., Beton Basınç Mukavemeti Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1990).