

Çelik Lif Katkılı Betonarme Kirişlerin Taşıma Gücünün Deneysel İncelenmesi

F. Altun

*Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Kayseri 38039, Türkiye*

D. M. Özcan

*Erciyes Üniversitesi, Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Yozgat 66100, Türkiye*

M. Vekli

*Erciyes Üniversitesi, Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Yozgat 66100, Türkiye*

T. Haktanır

*Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Kayseri 38039, Türkiye*

ÖZET: Çelik lif uygulaması; karayollarında, tünel yüzeylerinde, beton büz borularda ve endüstriyel yapıların saha betonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme taşıyıcı elemanlarda kullanımı ise, gerek enerji yutma kapasitesi açısından gerekse beton dayanımına sağlayacağı katkı bakımından önemli bulunmaktadır.

Bu çalışmada; çelik lif katkılı üç adet 2000 mm boyunda, 250x350 mm kesitli betonarme kiriş ile çelik lif katkısız üç adet 2000 mm boyunda, 250x350 mm kesitli betonarme kiriş eleman imal edilmiştir. Betonarme kirişler, 28 gün uygun kür şartlarında bekletildikten sonra iki noktadan yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda çelik lif katkılı ve çelik lif katkısız betonarme kirişlerin taşıma gücü özellikleri elde edilerek sunulmuştur.

Deprem kuvvetlerine karşı tüm sistemin enerji yutma kapasitesi dayanım açısından mühendislik yapılarında istenilen bir özelliktir. Bu nedenle taşıyıcı betonarme elemanların enerji yutma kapasitelerinin çelik lif katkısı ile sağlanması durumunda, tüm sistemin depreme karşı davranışını etkileyen önemli bir sonuç olacaktır.

Anahtar Kelimeler : Betonarme Kiriş, Çelik Lifli Beton, Enerji Yutma Kapasitesi, Çelik Lifli Betonarme Kiriş.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ULTIMATE CAPACITY OF STEEL-FIBER-REINFORCED CONCRETE BEAMS

ABSTRACT: Steel fiber reinforced concrete (SFRC) applications have become widespread in such areas as highway upper layers, tunnel shells, concrete sewer pipes, and slabs of large industrial buildings. Usage of SFRC in load-carrying members of buildings having conventional reinforced-concrete (RC) frames is also gaining popularity recently because of its positive contribution to both energy absorption capacity and concrete strength. In this study, three rectangular RC beams of 250x350x2000 mm dimensions and three SFRC beams of the same dimensions are produced using a concrete class of C-20, all the six beams having the same amount of reinforcement bars and all being designed as under-reinforced. Each of these six beams are subjected to bending by a three-point loading setup in certified beam-loading frame, exactly after having been moist-cured for 28 days. Each beam is loaded until full failure and the loading is stopped when the tensile steel bars are broken into two pieces. Mid-section deflections and loads are carefully recorded at every 5 kN load increments from the

beginning till the ultimate failure. The flexural behaviors of the conventional RC beams and the SFRC beams are analyzed comparatively.

High energy absorption capacity of flexural elements is particularly important for resistance against earthquake loads. It is concluded herein that SFRC beams would exhibit a more effective performance than ordinary RC beams from this aspect.

Key Words: Reinforced-Concrete (RC) beam, Steel-Fiber-Reinforced Concrete (SFRC), Energy absorption capacity (Toughness), SFRC beam

Giriş

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.

Betonarme betonu özelliklerinin iyileştirilmesi için karışıma katkı malzemeleri ilave edilmektedir. Çelik lifler de bu malzemelerden kabul edilmektedir. Lifli betonun üretilmesi ile malzeme tokluğu, darbe yüklerine karşı direnci, eğilme dayanımı vb. mekanik özelliklerinin artırılması amaçlanmıştır.

Günümüzde betonda yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen ve alkali dirençli camdır. 1960'lı yıllardan bu yana yapılan çalışmalarda beton içine konulan liflerin betonda oluşan çatlakların ilerleme hızını azalttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca maksimum yükten sonra lifli betonlarda artan deformasyonlar sonucunda yükün azalma hızı normal betona göre çok daha yavaş olmaktadır.

Çelik liflerle ilgili 1974 yılında yapılan bir araştırma sonucunda, çelik liflerin eğilmede çekme dayanımı üzerine, çatlak gelişimine ve kompozit malzeme mekaniğine dayanan bir teori sunuldu. 100x100x500 mm ebadındaki deney numuneleri ile 25,4 mm boyundaki çelik liflerle yapılan deneylerde bu teoriye göre ilk çatlak lif sıyrılmasından sonra meydana gelmektedir. Nihai göçme ise, liflerin sıyrılması ve yüzeyel kayma gerilmesinin maksimum kenetlenme dayanımına ulaşması ile olmaktadır (Swamy, 1974).

Diğer bir çalışmada çelik, polipropilen ve cam lif kullanarak hazırlanan 38x76x457mm ebadındaki kiriş numuneler üzerinde düşü ağırlıklı darbe deneyi yapılarak, deney sonucunda lif katkısının darbe etkilerine karşı malzeme dayanımına olan olumlu katkıları incelenmiştir. (Suaris, 1983).

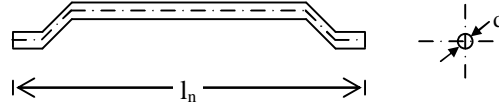
Düşü ağırlıklı bir darbe dayanım test cihazı kullanarak çelik ve polipropilen lifli betonların karışık modda kırılma performanslarını modelleyebilecek bir numune geometrisi tanıtılmıştır. Lifli betonların çarpma etkisi altında statik yüklemeye göre çok daha yüksek bir performans gösterdiği ortaya konulmuştur (Arslan, 1995).

Beton içerisinde dağılmış olan çelik lifler betonda çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığı, betonun şekil değiştirme kapasitesini, tokluğunu artırdığı ve süneklik düzeyi yüksek betonlar elde etmeye imkan verdiği söylenebilir. Çelik teller kendi çekme mukavemetlerine ulaşınca kadar betonda basınç ve çekme yüklerinden dolayı meydana gelecek olan çok sayıdaki kılcal çatlak oluşumunu önlemektedir (Groth, 1996)

Çelik lif katkıli kiriş ile ilgili yapılan çalışmalarda ise, 40x80x400mm ve 40x160x800mm boyutlarında çentikli kiriş imal edilerek bu kirişlerde boyut etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda çelik lif kullanımının göçme gevrekliğini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır (Şener, 1999).

Diğer bir çalışmada betonarme kolon kiriş birleşim bölgesinde çelik lif katkısının enerji yutma kapasitesine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda çelik lif katkısının betonarme düğüm noktasının süneklik değerini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır (Gençoğlu M. 1999).

Bu çalışmada ise, C20 betonu S420 donatısı ve Şekil 1’de verilen TS 10513’e uygun kancalı teller sınıfına giren ve üretici firma Beksa tarafından çekme dayanımı minimum 1050 N/mm^2 olarak belirtilen Dramix RC 80/60 BN çelik lif katkısının, betonarme kiriş elemanlarda taşıma gücüne katkıları deneysel olarak incelenmiştir.

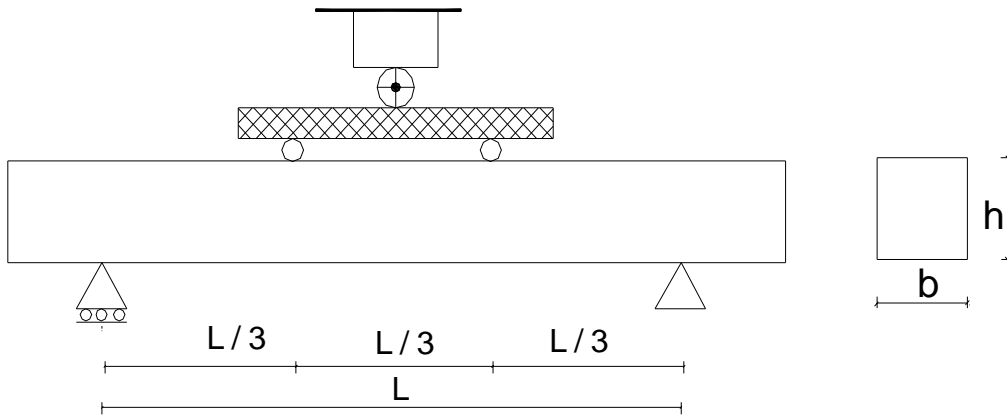


Şekil 1. Sonu Kancalı Çelik Teller

Betonarme kiriş elemanda çelik lif katkısının taşıma gücüne olan etkilerini incelemek için, 3 adet 2000 mm uzunluğunda 250x350 mm kesitinde 30 kg/m^3 çelik lif katkıli betonarme kiriş eleman üretilmiştir. Ayrıca katkısız 3 adet 2000 mm uzunluğunda 250x350 mm kesitinde betonarme kiriş elemanda üretilerek sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çelik lif katkıli betonun tokluk indeksinin belirlenmesi için 150x150x750 mm ebatlarında 30 kg/m^3 çelik lif katkıli 3 adet prizmatik kiriş numunelerde üretilmiştir (TS 10515, ASTM C1018-92).

Deney Düzeneği ve Hesap Esasları

Betonarme kirişler çekme kırılması oluşacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Çelik lif katkıli ve katkısız betonarme kiriş elemanlar ile ayrıca üretilen prizmatik kiriş numuneler Şekil 2 de verilen iki nokta yüklemeli deneye tabii tutularak kırılmıştır.



Şekil 2. Deney düzeneği

Betonarme kiriş statik hesaplamalarında numune ağırlığından ileri gelen kesit tesirleri ihmal edilmiştir. Kesit tesirleri, iki noktadan yükleme deneyine göre M_u eğilme–taşıma gücü momenti olmak üzere yükün eş değeri,

$$P_{bu} = P_u = \frac{3 M_u}{L} \quad (1)$$

ile bulunmuştur. Betonarme hesaplarda kesitin moment taşıma kapasitesi çekme kırılması oluşacak şekilde seçilmiş olan $\rho = 0.00315$ donatı yüzdesine göre,

$$M_u = \rho b d^2 f_{yk} \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_{yk}}{f_{ck}}\right) \quad (2)$$

kesit moment taşıma gücü değeri teorik olarak tayin edilmiştir. Bulunan donatı alanlarına karşılık seçilen donatı adetleri Tablo 1 de verilmiştir.

Deneyel Çalışma

Kiriş numunelerin üretilmesinde, aynı beton özelliklerinin elde edilebilmesi için şu sıra takip edilmiştir. Çelik lif katkısız betonarme kirişler öncelikli olarak üretilmişlerdir. Aynı beton için 30 kg/m^3 oranı dikkate alınarak Şekil 3 de verildiği gibi çelik lif ilave edilmiştir. Lifler Beksa firmasının üretimi olan Dramix RC 80/60 BN tipidir. Çelik lifler transmiksere 20 kg/dak. hız ile homojen karışım sağlanacak şekilde betona katılmış ve karışım çelik liflerle birlikte maksimum hızda 5 dak. çevrilmiştir.



Şekil 3. Numunelerin üretilmesi

Çelik lif katkılı beton ile de diğer üç betonarme kiriş eleman üretilmiştir. Çalışmada su/çimento oranı 0.5 olan ve çökmesi $150 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm.}$ aralığında sabit tutulan C20 betonu kullanılmıştır. Üretilmiş olan numuneler Şekil 4 de verilmiştir.



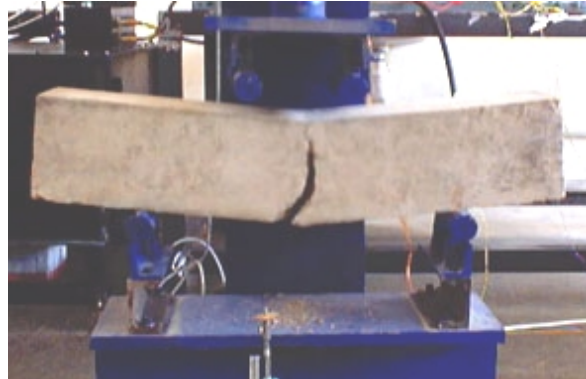
Şekil 4. Numunelerin üretilmesi

Çelik lif katkılı ve katkısız betonarme kiriş ile prizmatik kiriş numuneleri üretilerek uygun kür şartlarında 28 gün bekletilmişlerdir. Numuneler iki nokta yüklemesi yapılarak 28 gün sonunda 350 kN yükleme kapasitesine sahip yükleme çerçevesinde kırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Numunelerin kırılması

Çelik lif katkılı prizmatik kiriş numuneler ise, strok kontrollü yükleme cihazı ile Şekil 6 da verildiği gibi kırılmıştır. Strok kontrol hızı yüklemesi 1mm/dak. olarak yapılmıştır.



Şekil 6. Prizmatik kiriş numunelerin kırılması

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

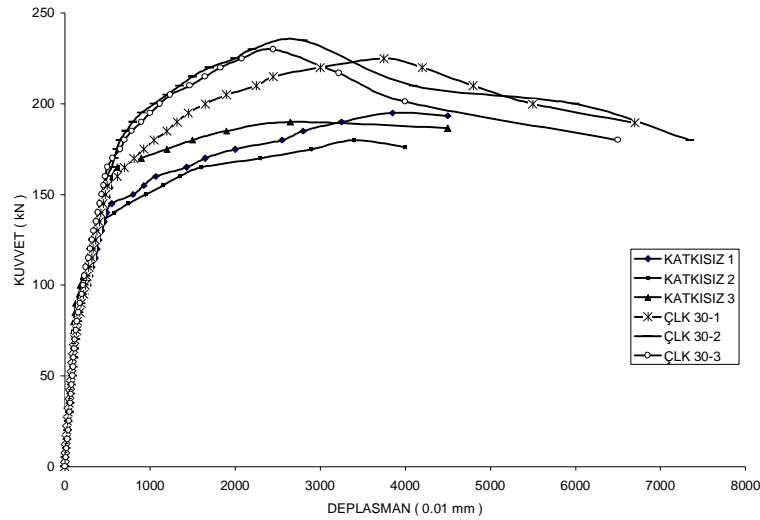
Çelik lif katkılı ve katkısız betonarme kirişler için yükleme sonucunda elde edilen deney sonuçları Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Betonarme Kiriş Deney sonuçları

Deney Elemanı	Katılan çelik lif miktarı (kg/m ³)	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü (kN)	İlk Çatlak Yüğü (kN)	Akma Kuvveti (kN)	Deneyel Kırılma Yüğü (kN)	Deneyel Yüğü/Teorik Yüğü
No.1	---	2φ12+1φ8	129.95	92.00	14400	197.20	1.52
No.2	---	2φ12+1φ8	129.95	87.00	13700	180.25	1.39
No.3	---	2φ12+1φ8	129.95	93.25	16200	196.40	1.51
No.4	30	2φ12+1φ8	129.95	98.00	157.50	213.65	1.65
No.5	30	2φ12+1φ8	129.95	101.90	178.00	227.10	1.75
No.6	30	2φ12+1φ8	129.95	115.00	173.15	232.10	1.79

Katkısız betonarme kirişlerde deneyel ve teorik göçme yükleri arasındaki kapasite artış oranı; ortalama 1.47 olarak bulunmuştur. Çelik lif katkılı betonarme kirişlerde deneyel ve teorik göçme yükleri arasındaki kapasite artış oranı; ortalama 1.73 olarak bulunmuştur. Çelik lif katkılı betonarme kirişler ile katkısız betonarme kirişler arasında göçme yükleri arasındaki oran ise ortalama 1.18 olarak bulunmuştur.

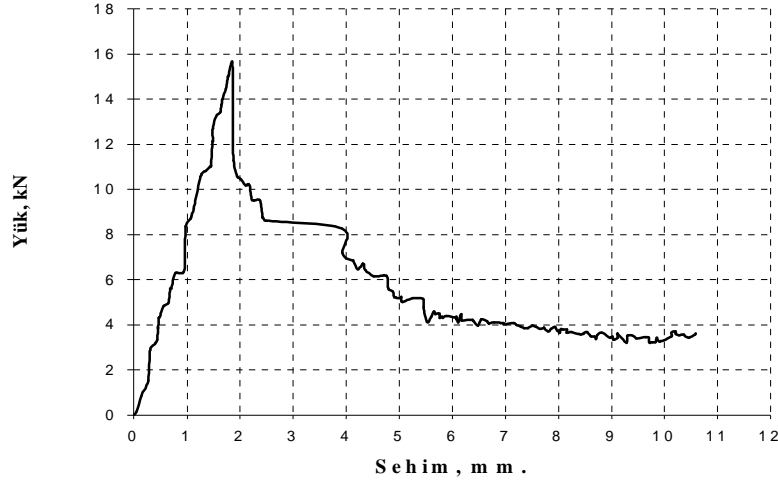
Yapılan yüklemelerde orta nokta deplasmanları LVDT (lineer deplasman ölçer) yardımıyla okunarak betonarme kiriş elemanlarda kuvvet – deplasman grafikleri çizilerek Şekil 7 de verilmiştir.



Şekil 7. Betonarme kiriş numune orta nokta kuvvet-deplasman eğrileri

Çelik lif katkılı ve katkısız betonarme kiriş elemanlar için toplam 6 adet kuvvet-deplasman grafiği elde edilmiştir. Çelik lif katkılı 3 eğri ile katkısız 3 eğri için ayrı ayrı polinom türü tek bir eğri uydurulmuştur. Eğri fonksiyonu tayin edilerek altında kalan alan bu fonksiyona bağlı olarak matlab paket programı ile hesaplanmıştır. Hesap sonucu enerji yutma kapasiteleri katkısız betonarme kirişlerde 7 175 kN.mm (joule) ve katkılı betonarme kirişlerde 13 140 kN.mm (joule) olarak bulunmuştur. Buradan çelik lif katkısı katkısız numuneye göre 1.83 kadar sünek davranış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çelik lif katkılı prizmatik kiriş numuneler strok kontrollü yükleme cihazı ile kırılarak ortalama yük – sehim grafikleri Şekil 8 de verilmiştir.



Şekil 8. Prizmatik kiriş numune orta nokta kuvvet-deplasman eğrisi

Prizmatik numunelerin tokluk indeks sınırları TS 10515 de Çizelge 1 de elastik şekil değiştirme indeksi değerleri sınırları, $I_5=1-6$ ve $I_{10}=1-12$ olarak verilmiştir. Numuneler için hesap edilen ilk çatlak yükü 8.8 kN ve kırılma yükü 15.62 kN olup, indeksler $I_5=5.9$ ve $I_{10}=9.3$ olarak hesaplanmıştır. Bulunan indeks değerleri TS 10515 de verilen elastik şekil değiştirme indeksi değerleri sınırlarında kalmaktadır.

Sonuçlar

Bu çalışmada çelik lif katkılı betonarme kirişlerin taşıma gücü, enerji yutma kapasiteleri ve tokluk indeksi gibi mekanik özellikler deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen deneysel verilere göre incelenen betonarme kirişler için şu sonuçlar elde edilmiştir.

Katkısız betonarme kirişlerde deneysel ve teorik göçme yükleri arasındaki kapasite artış oranı ortalama 1.47 olarak gerçekleşmiştir. Çelik lif katkılı betonarme kirişlerde deneysel ve teorik göçme yükleri arasındaki kapasite artış oranı ise ortalama 1.73 olarak bulunmuştur. Buradan denenen betonarme kirişlerde çelik lif katkısının taşıma gücünü %18 kadar artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Deney sonucunda betonarme kirişlere ait kuvvet-deplasman grafikleri incelendiğinde enerji yutma kapasiteleri katkısız betonarme kirişlerde 7 175 kN.mm (joule) ve katkılı betonarme kirişlerde 13 140 kN.mm (joule) olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler, çelik lif katkısının denenen betonarme kiriş elemanlarda sünekliği artırdığını göstermektedir.

Çalışma ile çelik lif katkısının betonarme kiriş elemanlarda süneklik değerini artırması yanında, taşıma gücünü de verilen çelik lif oranı için yaklaşık %20 kadar artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Teşekkür: Deneysel çalışmalarda sağladıkları katkılardan dolayı BEKSA Çelik Kort Sanayi

ve Ticaret A.Ş. 'ye teşekkür ederiz.

Referanslar

Swamy, R.N., Mannat, P.S., 1974, A Theory for the Flexural Strength of Fiber Reinforced Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 4, No.2, pp. 313-325.

Suasis, W., Shah, S.P., 1983, Properties of Concrete Subjected to Impact, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 109, No. 7, pp. 1727-1741.

Arslan, A., 1995, Mixed Mode Fracture Performance of Fiber Reinforced Concrete Under Impact Loading, *Materials and Structures*, pp.473-478.

Groth, P., Ghasemlou, F., 1996, Toughness Characteristics of Steel Fibre Reinforced Concrete with Energetically Modified Cement. Luea University of Tecnology, *Division of Structural Engineering*, Internal Report 96, pp. 23.

Şener, S., Çağatay B., Begimgil M., Ogün F., 1999, Çelik Lifli Çentikli Kirişlerde Boyut Etkisi, *Çelik Tel Donatılı Beton Sempozyumu*, Sabancı Center, İstanbul.

Gençoğlu, M., Eren, İ., 1999, İki Yönlü Tekrarlı Yüklemeler Altındaki Betonarme Kenar Kolon-Kiriş Birleşimlerinde Kullanılan Çelik Tel Takviyeli Betonun Etkili Bölgesinin Araştırılması, *Çelik Tel Donatılı Beton Sempozyumu*, Sabancı Center, İstanbul.

TS 10513., 1992, Çelik Teller- Beton Takviyesinde Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 10515., 1992, Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ASTM C1018-92, 1992, Standart Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fibre-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading), *American Society for Testing and Materials*, May 7p.