

## ÇELİK LİF KATKILI BETONARME KİRİŞLERDE BOYUNA DONATI DEĞİŞİMİNİN BURULMA KAPASİTESİNE ETKİSİ

Serkan ENGİN, Fuad OKAY

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ

### ABSTRACT

#### EFFECT OF LONGITUDINAL REINFORCEMENT RATIO ON TORSIONAL CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH STEEL FIBRES

Torsion can act on structural elements with shear force and bending moment but rarely can act alone as well. Magnitudes of the torques acting on structural elements are generally less than the magnitudes of shear force and bending moment. However, there exists an important difference in stress distribution of the section cracked under the effect of torsion with respect to uncracked section. Shear stresses occur under the effect of torsion on the beam element cross-sections; and those stresses cause cracking of the concrete which is weak in tension and accordingly a sudden fall in the capacity. Although torsional capacity is indicated to change with transverse reinforcement ratio; it is known that longitudinal reinforcement has also effect on torsional capacity. In this study, variations in torsional strength of normal reinforced concrete beams used with steel fibres with different dimensions which are known to have positive effect on tensile strength of concrete, with respect to increase in longitudinal reinforcement is investigated. With two different fibre dimensions, two different longitudinal reinforcement ratios and with the virgin specimens, totally six reinforced concrete beams are produced. Specimens are designed to keep the shear reinforcement properties to be constant. Produced specimens are tested under uniformly increased simple torsion and torque vs unit angle of twist curves are obtained for each specimen. In the experiments performed by displacement control, specimens are loaded up to a specific value of unit angle of twist and torque values carried by the specimen are recorded to an electronic data acquisition system. Torque vs unit angle of twist curves obtained for all specimens are compared and variations of steel fibres and increase in longitudinal reinforcement are investigated.

**Keywords:** Reinforced concrete, simple torsion, steel fibre, longitudinal reinforcement, unit angle of twist

## ÖZET

Burulma, yapı elemanlarına kesme kuvveti ve eğilme momenti gibi etkilerle birlikte etki ettiği gibi, nadir olarak da tek başına etkiyebilmektedir. Yapı elemanlarına etkiyen burulma momentlerinin şiddeti, çoğu zaman kesme kuvveti ve eğilme momenti şiddetine göre daha düşük seviyelerde olmaktadır. Bununla birlikte burulma etkisiyle çatlayan kesitte, çatlamamış kesite göre önemli yük dağılımı farkları oluşmaktadır. Burulmaya maruz kalmış çubuk eleman kesitlerinde burulma etkisiyle kayma gerilmeleri meydana gelmekte ve bu gerilmeler de, çekme dayanımı düşük olan betonun çatlamasına ve kapasitenin ani olarak düşmesine sebep olmaktadır. Yönetmeliklerde genel olarak burulma kapasitesinin enine donatı oranı ile değiştiği belirtilmesine rağmen, boyuna donatı oranının da burulma kapasitesi üzerine etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, betonun çekme dayanımına olumlu etkisi olduğu bilinen farklı boyutlarda çelik lifler kullanılarak, normal dayanımlı beton ile üretilmiş betonarme kirişlerin boyuna donatı artışının, burulma dayanımında meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. İki değişik boyuta sahip çelik lif, iki farklı boyuna donatı oranı seçilerek, lifsiz ve lif katkılı olmak üzere toplam 6 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Numunelerin tamamında enine donatı özellikleri aynı olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Üretilen numuneler düzenli artan basit burulma yüklemesi altında test edilmiş ve her bir numune için burulma momenti-birim dönme açısı eğrileri elde edilmiştir. Deplasman kontrollü yapılan deneylerde numuneler birim dönme açısı belli bir değere ulaşıncaya kadar yüklenmiş ve numunenin taşıdığı burulma momenti değerleri elektronik veri toplama sistemine kaydedilmiştir. Her numune için elde edilen burulma momenti-birim dönme açısı eğrileri karşılaştırılarak çelik lif ilavesinin ve boyuna donatı artışının, numunelerde burulma kapasitesinde sebep olduğu değişimler tespit edilerek sonuçları irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme, kiriş, basit burulma, çelik lif, boyuna donatı, birim dönme açısı

## 1.GİRİŞ

Burulma, yapı elemanlarına kesme kuvveti ve eğilme momenti gibi etkilerle birlikte etki ettiği gibi nadir olarak da tek başına etkiyebilmektedir [1]. Yapı elemanlarında görülen burulma momentlerinin şiddeti, çoğu zaman kesme kuvveti ve eğilme momenti şiddetine göre daha düşük seviyelerde olmaktadır. Bununla birlikte burulma etkisiyle çatlayan kesitte, çatlamamış kesite göre önemli yük dağılımı farkları oluşmaktadır. Burulmaya maruz kalmış çubuk eleman kesitlerinde burulma etkisiyle kayma gerilmeleri meydana gelmekte ve bu gerilmelerde, çekme dayanımı düşük olan betonun çatlamasına ve kapasitenin ani olarak düşmesine sebep olmaktadır. Yönetmeliklerde genel olarak burulma kapasitesinin enine donatı oranı ile değiştiği belirtilmesine rağmen, boyuna donatı oranının da burulma kapasitesi üzerine etkili olduğu bilinmektedir. Kirişe yerleştirilen boyuna donatı, yukarıdaki davranışı değiştirememekte, ancak boyuna donatı ile birlikte kullanılan enine donatı bahsedilen davranışta değişime sebep olmaktadır. Donatılı durumda göçme gerçekleşmeden önce çok sayıda çatlak oluşmaktadır. Burulma çatlaklarının oluşması ile kirişin boyunun uzamaya başladığı ve uzamanın ihmal edilemeyecek düzeye ulaştığı, uzama miktarının ise boyuna donatıdaki uzamayla aynı olduğu yapılan deneylerden anlaşılmıştır [2]. Burulma etkisindeki betonarme kirişlerin deformasyon özelliklerini saptamak için bir dizi deney gerçekleştirmiştir.

Bu deney serisinde burulma donatısı dışındaki tüm özellikler sabit tutulmuştur. Seride yer alan kirişlerde farklı enine donatı oranları kullanılmış ve enine donatıya eşit hacimde boyuna donatı kullanılmıştır. Bu deneyler sonucunda kirişlere ait burulma momenti-birim dönme açısı ( $T-\theta$ ) ilişkileri tespit edilmiştir. Elde edilen “burulma momenti - birim dönme açısı” ilişkilerinden, burulma çatlamasının olduğu  $T_{cr}$  değerine kadar tüm numuneler için davranışın doğrusal olduğu görülmüştür. Eğrinin bu doğrusal kısmı tüm deney numunelerinde aynı olduğu için burulma çatlamasının olduğu noktaya kadarki burulma rijitliğinin tüm numunelerde aynı olduğu söylenebilir. Bu bulgu çatlama olana kadarki burulma rijitliğinin donatıdan bağımsız olduğunu göstermektedir [3].

Normal dayanımlı betona çelik lif ilave edilerek yapılan basınç testlerinde, şahit numuneler ile çelik lif katkılı beton ile üretilen numunelerin dayanımları arasında kayda değer bir farklılık tespit edilememiştir. Buna karşın, normal dayanımlı betona ilave edilen çelik lifler, betonun eğilme dayanımının [4] ve silindir yarma dayanımının [5] önemli oranda artmasına sebep olmuşlardır. Yerleştirme problemlerinden dolayı yüksek oranlı lif katılması durumunda beton basınç dayanımı değerlerinde çok küçük artışlar veya kayıpların olduğu da belirtilmektedir [5,6].

Kullanılan lifin hacimsel oranı ( $V_f$ ) artırıldıkça betonun basınç altındaki gerilme birim deformasyon eğrisinin yataya daha yaklaştığı ve kırılma anına kadar yaptığı birim deformasyonun lif oranı ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir [6]. Bu davranış, çelik lif ilave edilen betonarme elemanların daha sünek bir davranış sergileyeceğinin önemli bir göstergesidir. Yüksek dayanımlı betonlara çelik lif ilave edilmesi sonucunda, çelik lif ilavesi yüzdesinin artışı ile birlikte basınç dayanımında çok küçük artışlar gözlemlendiği, buna karşın yarma ve eğilme dayanımının çelik lif ilavesi arttıkça arttığı rapor edilmiştir [7].

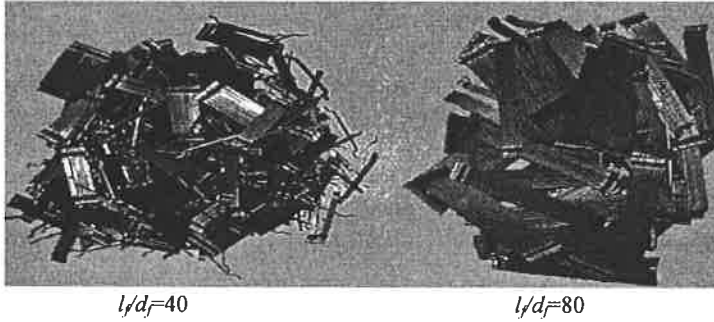
Bu çalışmada, betonun çekme dayanımına olumlu etkisi olduğu bilinen farklı boyutlarda çelik lifler kullanılarak, normal dayanımlı beton ile üretilmiş betonarme kirişlerin boyuna donatı artışının, burulma dayanımında meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. İki değişik boyuta sahip çelik lif, iki farklı boyuna donatı oranı seçilerek, toplam 6 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Numunelerin tamamında enine donatı özellikleri aynı olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Üretilen numuneler düzenli artan basit burulma yüklemesi altında test edilmiş ve her bir numune için burulma momenti-birim dönme açısı eğrileri oluşturulmuştur. Deplasman kontrollü yapılan deneylerde numune birim dönme açısı belli bir değere ulaşana kadar yüklenmiş ve numunenin taşıdığı burulma momenti değerleri elektronik veri toplama sistemine kaydedilmiştir. Her numune için elde edilen burulma momenti-birim dönme açısı eğrileri karşılaştırılarak çelik lif ilavesinin ve boyuna donatı artışının, numunelerde burulma kapasitesinde sebep olduğu değişimler tespit edilerek sonuçları irdelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1. Deneyde Numunelerinin Üretilmesinde Kullanılan Malzemeler

Deney numunelerinde kullanılan beton üretiminde ince malzeme olarak doğal kum, iri malzeme olarak kırmataş, bağlayıcı olarak PÇ42.5 çimento kullanılmıştır. İstenen beton

kıvamını elde edebilmek için üretim sırasında betona Sika FFN süperakışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Üretilen deney numunelerinde ucu kancalı çelik lif kullanılmıştır. Kullanılan çelik lifler Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Ayrıca deney numunelerinde boyuna ve enine donatı olarak BÇIII tipinde donatı kullanılmıştır. Yapılan donatı çekme deneylerinde akma dayanımı 460 MPa dolaylarında bulunmuştur.



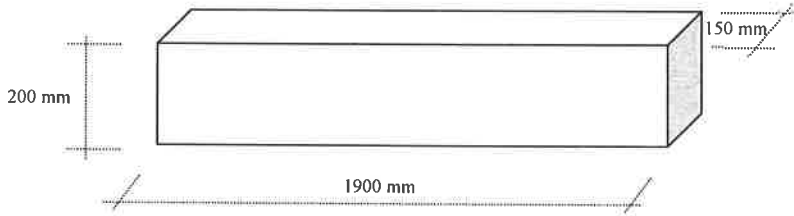
Şekil 2.1. Deneyde numunelerinde kullanılan çelik lif tipleri

## 2.2. Deney Numuneleri

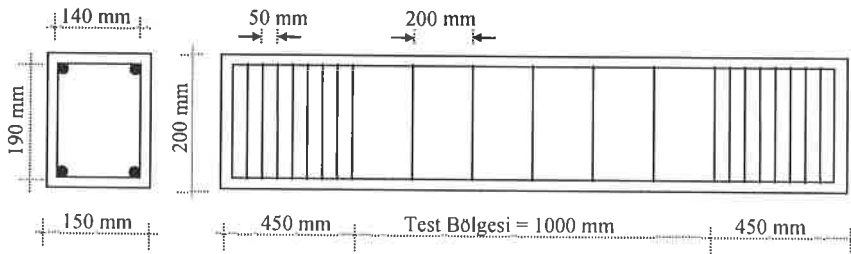
Beton üretiminde kullanılan çelik lifin hacimsel oranı ve yine çelik lifin boy/çap oranı ile kirişlerde kullanılan boy donatı miktarı deney değişkenleri olarak belirlenmiştir. Üretilen numunelerde 4Ø8 mm ve 4Ø12 mm olmak üzere iki farklı boy donatı kullanılmıştır. Bu numunelerde boy donatı oranı sırasıyla  $\rho_b=0.0067$  ve  $\rho_b=0.0151$ 'dir. Deney numunelerinin üretilmesi sırasında boy/çap oranı  $l/d_f=40$  (30/0.75) ve 80 (60/0.75) olmak üzere iki farklı boyutta ucu kancalı çelik lif kullanılmıştır. Bu çelik lifler beton hacminin  $V_f=0.003$  oranında betona ilave edilmiştir. Lifin betona bu oranlarla ilave edilmesi ile lifin davranışa etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Tüm deney elemanlarında, pas payı 5 mm, enine donatı çapı  $d_e=8$ mm ve enine donatı aralığı merkezden merkeze 200 mm olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Deney numunelerin nasıl adlandırıldıkları Tablo 1’de, boyutları Şekil 2.2’de, donatı yerleşimi ise Şekil 2.3’de verilmiştir.

Tablo 1. Deney Numunelerinin Özellikleri

Numune Adı	Boyuna Donatı	$l/d_f$	$V_f$ (%)
L08F00V0	4 adet Ø8	-	-
L08F40V3	4 adet Ø8	40	0.3
L08F80V3	4 adet Ø8	80	0.3
L12F00V0	4 adet Ø12	-	-
L12F40V3	4 adet Ø12	40	0.3
L12F80V3	4 adet Ø12	80	0.3



Şekil 2.2. Deney numunesi boyutları



Şekil 2.3. Deney numunesi donatı yerleşimi

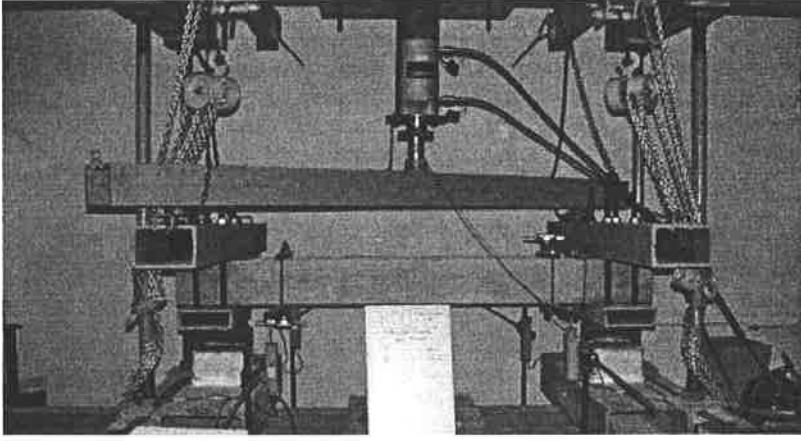
Her bir burulma deney numunesi üretilirken betonun basınç dayanımını ve yarma dayanımını tespit etmek için yeterli sayıda 150x300 mm boyutlarında silindir numune üretilmiştir.

### 2.3. Burulma Deneyleri

Üretilen 150x200x1900 mm boyutlarındaki deney numuneleri Şekil 2.4'de gösterilen yükleme düzeneği kullanılarak basit burulma testine tabi tutulmuş ve deney süresince numunede meydana gelen dönme değerleri ve taşınan burulma momenti değerleri kaydedilmiştir.

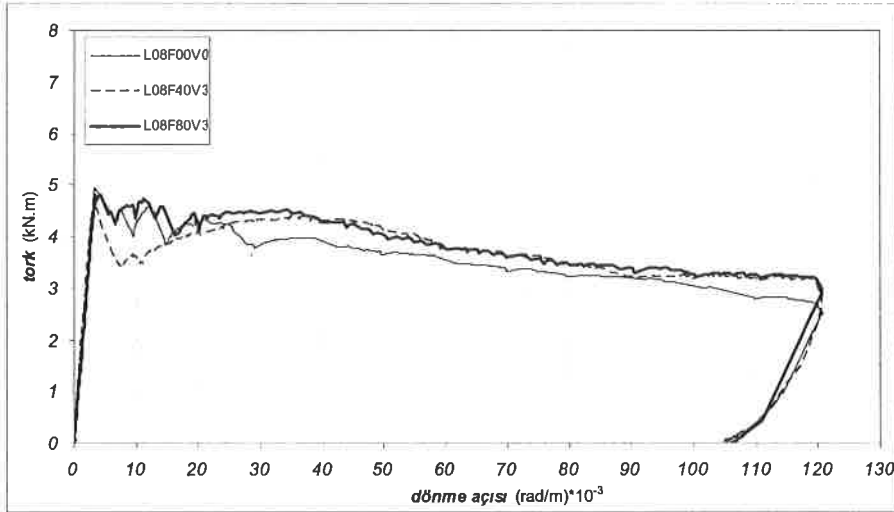
Burulma deneylerinin yapıldığı gün, burulma deneyi numunesinin üretildiği betonun mekanik özelliklerini tespit için üretilen silindir numuneler basınç ve yarma deneylerine tabi tutulmuş, bu deneylerden betonun basınç ve silindir yarma dayanımları tespit edilmiştir. Ayrıca burulma deneylerinden elde edilen burulma momenti ( $T$ ) ve birim dönme açısı ( $\Phi$ ) değerlerinden yararlanarak her bir numune için  $T-\Phi$  eğrileri çizilmiştir.

Şekil 2.5'de boyuna donatısı 8 mm ve çelik lif içermeyen ve % 0.3 çelik lif içeren numuneler için "dönme açısı – tork" değişimi grafikleri verilmiştir. Bu grafiğe göre çelik liflerin  $l/d_f$  oranının değişimi kapasitede değişikliğe sebep olmakla birlikte önemli sayılabilecek oranda bir fark yaratmamıştır.



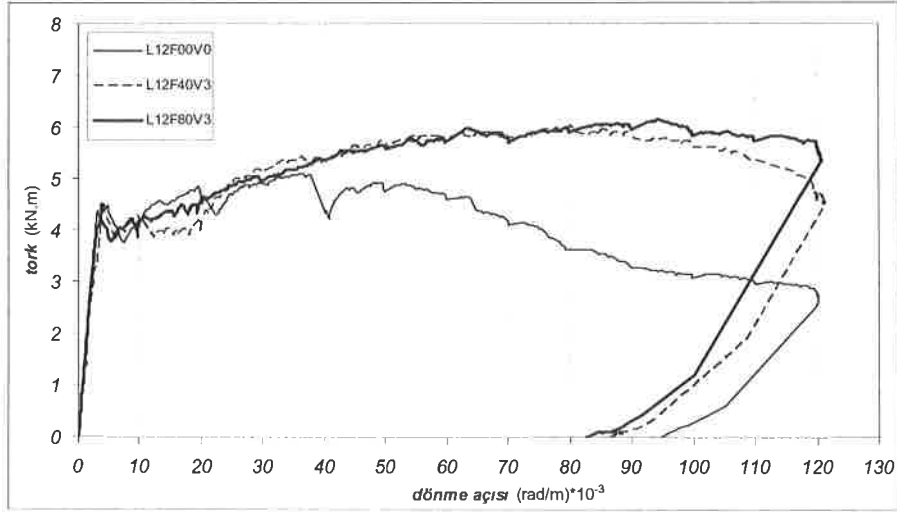
Şekil 2.4. Burulma deneyi düzeneği

Şekil 2.6'da ise boyuna donatısı 12 mm olan numuneler için oluşturulmuş  $T-\Phi$  grafiği verilmiştir. Bu grafikten de görüleceği üzere boyuna donatı değişimi burulma kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır.



Şekil 2.5. Boyuna donatısı  $d_b=8$  mm olan numunelerde lif tipinin kapasiteye etkisi

Tüm numuneler için yapılan silindir basınç deneyleri sonucunda bulunan beton karakteristik basınç dayanımı  $f_{ck}$ , silindir yarma deneyi sonucunda bulunan yarma çekme dayanımı  $f_{ct}$ , burulma deneyleri sonucunda elde edilen numune çatlama momenti  $T_{cr}$ , bu momente karşı gelen birim dönme açısı  $\phi_{cr}$ , maksimum burulma momenti değeri  $T_u$  ve bu maksimum momente karşı gelen birim dönme açısı değeri  $\phi_u$  bulunmuştur. Bulunan bu değerler Tablo 2'de verilmiştir.



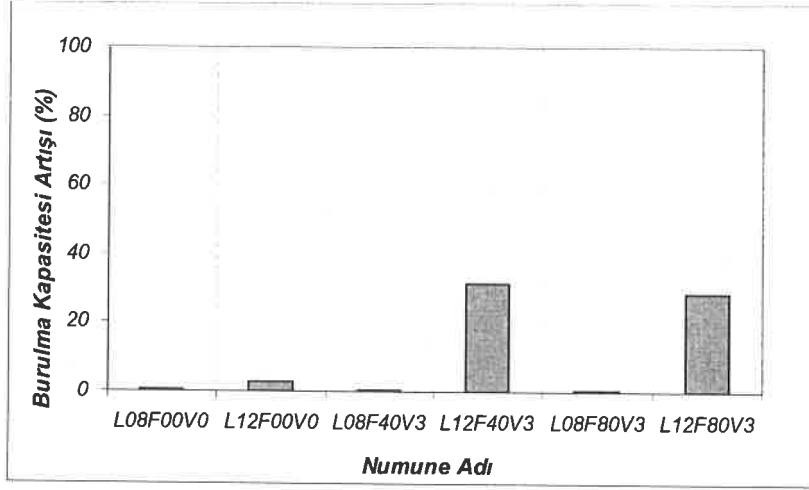
Şekil 2.6. Boyuna donatısı  $d_b=12$  mm olan numunelerde lif tipinin kapasiteye etkisi

Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilen grafiklerden ve Tablo 2'de görülen değerlerden de anlaşılacağı üzere çelik lif tipinin,  $l/d_f$  değişimi burulma kapasitesi ve sünekliği üzerinde önemli bir etki yaratmamıştır. Ancak Şekil 2.6'da boyuna donatı oranı ve lif içeriği artışının kapasite ve süneklik üzerindeki olumlu etkisi belirgin olarak görülmektedir.

Tablo 2. Deney Verileri

Numune Adı	$f_{ck}$ (MPa)	$f_{ct,s}$ (MPa)	$T_{cr}$ (kN.m)	$\phi_{cr}$ (rad/m) $\times 10^{-3}$	$T_u$ (kN.m)	$\phi_u$ (rad/m) $\times 10^{-3}$
L08F00V0	34.8	3.51	4.93	3.20	4.93	3.20
L08F40V3	33.4	3.55	4.58	3.22	4.58	3.22
L08F80V3	31.9	3.46	4.80	3.36	4.85	4.09
L12F00V0	34.8	3.51	4.45	3.16	5.07	34.60
L12F40V3	31.7	3.58	4.61	3.68	6.01	89.74
L12F80V3	31.6	3.56	4.47	3.60	6.25	93.45

Meydana gelen burulma kapasitesi artışı oranları Şekil 2.7'de verilmiştir. Bu grafiğe göre boyuna donatısı 8 mm ile 12 mm olan lif içermeyen numuneler arasındaki kapasite farkı %3 iken, boyuna donatısı 8 mm'den 12 mm'ye çıkan numunelerde %0.3 çelik lif ilavesi ile kapasite artışı %30 mertebelerinde olmuştur.



Şekil 2.7. Numunelerde meydana gelen kapasite artışı oranları

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada test edilen numuneler ve elde edilen veriler ışığında, dikkate alınan değişkenler çerçevesinde olmak kaydıyla, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Çelik lif ilavesi ile kesitlerin burulma momenti taşıma ve enerji yutma kapasitelerinde olumlu yönde artışlar sağlanabilmektedir. Bu artışlar boyuna donatı oranıyla önemli ölçüde değişmektedir.
- Çoğu zaman burulma kapasitesi hesaplarında ihmal edilmesine rağmen, yapılan deneyler boyuna donatı oranının da kapasite üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.
- Çelik lifin boy/çap oranı değişimi kapasite üzerinde sınırlı oranda değişime sebep olmaktadır.
- Çelik lif ilavesi boyuna donatıya bağlı olarak, burulma etkisi altındaki elemanların sünekliğini arttırmaktadır. Özellikle burulmaya maruz kalan elemanlardan oluşan yapılarda, çelik lifli beton ile üretim yapmak yapının burulmada yuttuğu elemanında yutulan enerji miktarını arttıracaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] Leet, K., Reinforced Concrete Design. McGraw-Hill Book Company Inc., 1982.
- [2] Ersoy, U., ve Özcebe, G., Betonarme, Geliştirilmiş Yeni Baskı, Evrim Yayınevi ve Bilg. San. Tic. Ltd. Şti., 2001.
- [3] Hsu, T., Torsion of Structural Concrete-Behaviour of R.C. Rectangular Members, ACI Symposium Volume on Torsion, ACI SP-18, 1968.
- [4] Yıldırım, S.T., Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı eğitimi Anabilim Dalı, 2002.
- [5] El-Niema, E.I., Fiber Reinforced Beams under Torsion, ACI Structural Journal, Title No 90-S50, pp.489-495, September-October, 1993.
- [6] Craig, R.J., James, A.P., Germain, E., Mosquera, V., and Kamilaes, S., Fiber Reinforced Beams in Torsion, ACI Structural Journal, Title No 83-81, pp. 934-942, November-December, 1986.
- [7] Song, P.S., and Hwang, S., Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete, Construction and Building Materials 18, pp. 669-673, 2004.

