

Çelik Lif Katkılı Normal Dayanımlı Beton İle Üretilmiş Betonarme Kirişlerin Burulma Davranışı

Fuad OKAY, Şevket ÖZDEN, Serkan ENGİN
Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Öz

Burulma momenti, uygulandığı çubuk elemanların kesitlerinde kayma formunda gerilmeler meydana getirir. Bu tür gerilmeler de, çekme dayanımı kesme dayanımına oranla daha düşük olan betonarme elemanlarda asal gerilmeler yönünde çekme çatlaklarının oluşmasına ve elemanın göçmesine sebep olur. Bu çalışmada, betonun çekme dayanımına olumlu etkisi olduğu bilinen farklı boyutlarda çelik lifler kullanılarak normal dayanımlı betondan üretilmiş betonarme kirişlerin burulma dayanım ve davranışındaki olası değişiklikler incelenmiştir.

Boy/çap oranı 40, 55, 67, 80 olan çelik lifler, beton hacminin % 0.3 ve % 0.6'sı oranında ilave edilerek toplam 12 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Üretilen bu kirişlerde beton basınç dayanımı $f_{ck} = 30$ MPa hedeflenmiştir. Numunelerin tamamında enine donatı çapı $d_e = 8$ mm ve enine donatı aralığı $s = 200$ mm seçilmiştir. 9 adet numunede boyuna donatı çapı $d_b = 8$ mm, 3 adet numunede ise boyuna donatı çapı $d_b = 12$ mm seçilmiştir. Üretilen numuneler düzenli artan yükleme altında test edilmiş ve her bir numune için burulma momenti – birim dönme açısı eğrileri oluşturulmuştur. Yük kontrollü yapılan deneylerde yüklemeye, numune birim dönme açısı $\Phi = 0.12$ rad/m olana kadar devam edilmiş, birim dönme açısı bu değere ulaştıkça deneye son verilmiştir. Her numune için elde edilen burulma momenti – birim dönme açısı eğrileri karşılaştırılarak çelik lif ilavesinin, numunede yutulan enerji miktarında ve burulma kapasitesinde sağladığı artışlar incelenmiştir.

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

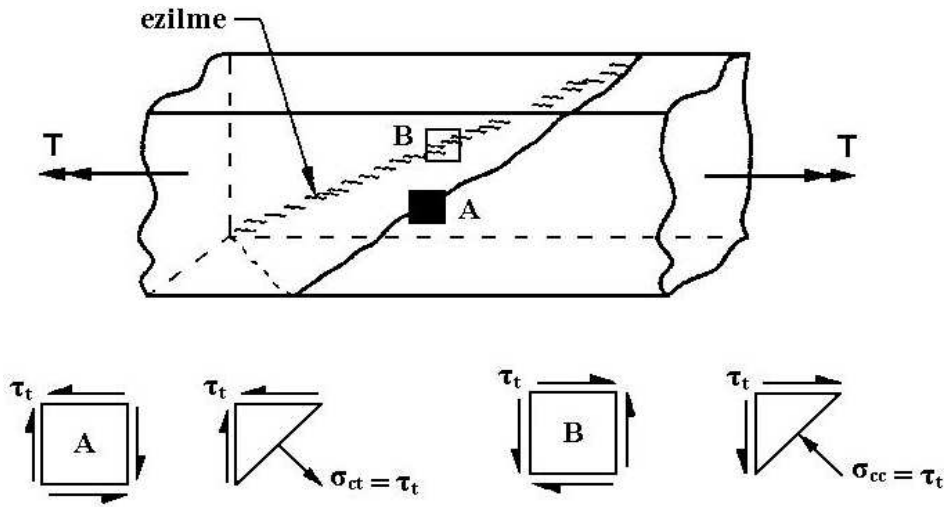
1. Giriş

1.1 Basit Burulmanın Oluşum Mekanizması

Betonarme yapı elemanlarına eğilme, kesme gibi etkilerin yanı sıra burulma momenti de etkir (Leet, K., 1982). Burulma etkisi, betonarme yapıların bir döküm özeliğe sahip

olması nedeniyle taşıyıcı sistemin geometrisinden veya simetrik olmayan yük uygulamalarından kaynaklanabilir (Nilson, A. H. and Winter, G., 1991).

Burulma momentleri, kesme kuvveti nedeniyle elemanda oluşan kayma gerilmelerinin yanında kesitte radyal kayma gerilmeleri oluşturur. Eleman üzerinde yalnızca burulma momenti olması durumunda dahi kayma gerilmeleri mevcuttur. Burulma genellikle eğilme ve kesme ile birlikte etkir ve basit burulma durumuna pratikte sık rastlanmaz. Ancak, bileşik yükleme durumundaki davranışın daha iyi anlaşılabilmesi için, basit burulmadaki davranışın bilinmesi gereklidir. Dikdörtgen kesitli, donatısız bir kiriş basit burulmaya maruz kaldığında, ilk çatlamanın oluşması ile ani ve gevrek biçimde kırılır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Basit burulma etkisindeki donatısız kiriş

Burada kirişin ön yüzünden alınan noktasal bir A parçası üzerinde şekilde gösterildiği gibi kayma gerilmeleri oluşmakta, bu kayma gerilmeleri, asal eksen doğrultusunda çekme gerilmeleri oluşturmakta ve çekme dayanımı çok düşük olan betonun çatlmasına sebep olmaktadır. Şekilden de görüleceği gibi çatlak, kirişin üç yüzünde asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşurken, arka yüzde ezilme gözlenmektedir. Kirişin arka yüzünden alınan bir B noktasal parçası üzerinde oluşan kesme gerilmeleri de ezilmeye sebep olmaktadır.

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 (Ersoy ve Özcebe, 2001).

Hsu 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 çatlama momentinin olduğu T_{cr} değerine kadar tüm numuneler için davranışın doğrusal olduğu görülmüştür. Eğrinin bu doğrusal kısmı tüm deney numunelerinde aynı olduğu için burulma çatlama momentinin olduğu noktaya kadarki burulma rijitliğinin tüm numunelerde aynı olduğu söylenebilir. Bu bulgu çatlama olana kadarki burulma rijitliğinin donatıdan bağımsız olduğunu göstermektedir (Hsu, 1968)

1.2 Çelik Lif İlavesinin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi

Yapılan araştırmalar incelendiğinde çelik lif ilavesinin betonun mekanik özelliklerinde önemli değişikliklere sebep olduğu anlaşılmaktadır. Temel olarak betonun çekme dayanımını arttıran çelik lif katkısı betonarme kirişlerde kesme dayanımının artmasına ve eğilme etkisindeki kirişlerde hem dayanım artışına hem de çatlak genişliklerinin azalmasına sebep olur.

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 (Yıldırım 2002) ve silindirik yarma dayanımının (El-Niema 1993) 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 (El-Niema 1993, Craig et. al. 1986).

Kullanılan lifin hacimsel oranı (V_{FF}) arttırıldıkça betonun basınç altındaki gerilme birim deformasyon eğrisinin yataya daha yaklaştığı ve kırılma anına kadar yaptığı birim deformasyonun lif oranı ile doğru orantılı olduğu tesbit edilmiştir (Craig et. al. 1986). 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 (Song and Hwang, 2004).

1.3 Burulma Deneyleri

Basınç dayanımı 40-90 MPa arasında değişen yüksek dayanımlı betonlarla üretilen numuneler üzerinde basit burulma deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde burulma momentini oluşturan yük yavaş yavaş arttırılarak burulma momenti ve dönme açısı değerleri kaydedilmiştir. Kirişler, donatı kullanılmamasından dolayı ilk çatlama oluşması ile kapasitesine ulaşarak kırılmışlardır (Ataf et.al., 1991).

Normal ve yüksek dayanımlı donatılı kirişlerin burulma davranışını tespit etmek için yapılan deneylerde ise beton basınç dayanımına bağlı olarak numunelerin ilk çatlama dayanımları farklılıklar göstermiştir. Değişen enine ve boyuna donatı miktarlarının çatlama dayanımındaki bu farklılıklara çok fazla etkisi olmamıştır. Ancak çatlama olmadan sonra numuneler için oluşturulmuş burulma momenti-birim dönme açısı eğrilerinin izlediği yollar farklılıklar göstermiştir. Üretilen numunelerde enine ve boyuna donatının

hacimsel oranı % 0.6 ile % 2.0 arasında değiştirilmiştir. Burulma deneyleri sunucunda normal dayanımlı beton ile üretilen, % 1.2 enine donatı oranı, % 1.6 boyuna donatı oranı içeren numune ve eşit % 2.0 oranında enine ve boyuna donatı içeren numuneler dışındaki tüm numunelerde, enine ve boyuna donatılarda akma gözlenmiştir. Yüksek dayanımlı betonlarla üretilen numunelerde de eşit, %2.0 oranında enine ve boyuna donatı içeren numune dışındaki tüm numunelerin enine ve boyuna donatılarında akma gözlenmiştir. Donatı miktarları çatlama momenti üzerinde belirgin bir etki göstermemiş, ancak enine ve boyuna donatı oranının artması elemanların burulma kapasitelerini önemli miktarda arttırmışlardır (Fang and Shiau 2004).

2. Deneysel Çalışma

2.1. Deney Değişkenleri ve Numunelerin İsimlendirilmesi

Bu bölümde, öncelikle çalışma sırasında kullanılan deney değişkenleri anlatılmış, daha sonra da numunelerin ne şekilde isimlendirildiği belirtilmiştir.

2.1.1. Deney Değişkenleri

Beton üretiminde kullanılan çelik lifin oranı ve yine çelik lifin boy/çap oranı ile kirişlerde kullanılan boy donatı miktarı deney değişkenleri olarak belirlenmiştir. Üretilen numunelerde $4\Phi 8$ mm ve $4\Phi 12$ 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 $l/d= 40, 55, 67, 80$ olmak üzere dört farklı boyutta ucu kancalı çelik lif kullanılmıştır. Bu çelik lifler beton hacminin $V_{ff}=0.003$ ve 0.006 'sı oranlarında betona ilave edilmiştir. Lifin betona bu oranlarla ilave edilmesi ile lif hacmindeki artışının davranışa etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Üst sınır olan 0.006 oranı ise deneme betonları dökülerek, betonun yerleşme durumuna göre tespit edilmiştir. 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.

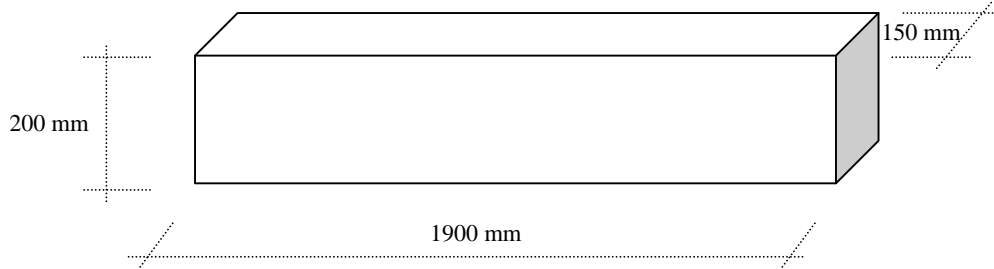
2.1.2. Numunelerin İsimlendirilmesi

Numune isimlendirilmesinde C1 $f_{ck}=30$ MPa dayanımındaki betonu ifade etmektedir. L karakter bloğu boyuna donatı özelliğini belirtmekte; L1 ifadesi $d_b=8$ mm, L2 ise $d_b=12$ mm çapındaki boyuna donatıyı ifade etmektedir. F karakter bloğu lif boyut oranını belirtmektedir. F1, F2, F3, F4 sırasıyla $l/d= 40, 55, 67, 80$ boy/çap oranına sahip lifler için kullanılmıştır. Adlandırılmada kullanılan V bloğu betona ilave edilen lif hacmini göstermektedir. V1 betona hacminin $V_{ff}=0.003$ oranında, V2 ise $V_{ff}=0.006$ oranında lif ilave edildiğini anlatmaktadır. Şahit numunelerin adlandırılmasında lif kullanılmadığı için F bloğuna yer verilmemiş, lif yüzdesini ifade eden V ise 0 olarak alınmıştır. Deney numuneleri değişkenleri tablosu aşağıda verilmiştir (Tablo 2.1).

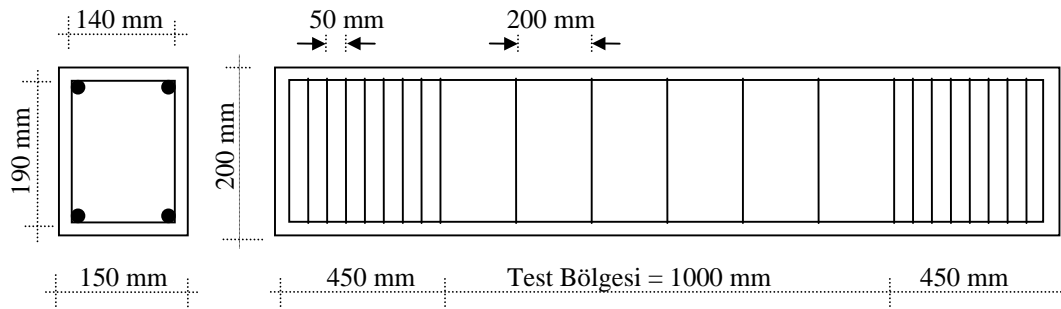
Tablo 2.1 - Deney Numunelerinin Adlandırılması ve Özellikleri.

Numune Adı	Beton Dayanımı (MPa-Hedef)	Boy Donatı Çapı (d_b) (mm)	Etriye çapı/arahğı (mm/mm)	Lif Boyutu (l/d)	Hacimsel Lif Oranı, V_{ff}
C1L1V0	30	8	8/20	-	-
C1L1F1V1	30	8	8/20	40	0.003
C1L1F1V2	30	8	8/20	40	0.006
C1L1F2V1	30	8	8/20	55	0.003
C1L1F2V2	30	8	8/20	55	0.006
C1L1F3V1	30	8	8/20	67	0.003
C1L1F3V2	30	8	8/20	67	0.006
C1L1F4V1	30	8	8/20	80	0.003
C1L1F4V2	30	8	8/20	80	0.006
C1L2V0	30	12	8/20	-	-
C1L2F1V1	30	12	8/20	40	0.003
C1L2F4V1	30	12	8/20	80	0.003

Deney numunesi boyutları ve donatı yerleşimi Şekil 2.1 ve Şekil 2.2' de verilmiştir.



Şekil 2.1 - Deney numunesi boyutları.



Şekil 2.2 - Donatı yerleşimi.

2.2. Burulma Deneyleri

Üretilen 150x200x1900 mm boyutlarındaki deney numuneleri Şekil 2.3’de gösterilen yükleme düzeneği kullanılarak basit burulma testine tabi tutulmuş ve deney süresince numunede meydana gelen dönme değerleri, taşınan burulma momenti değerleri ile boy uzamaları kaydedilmiştir.

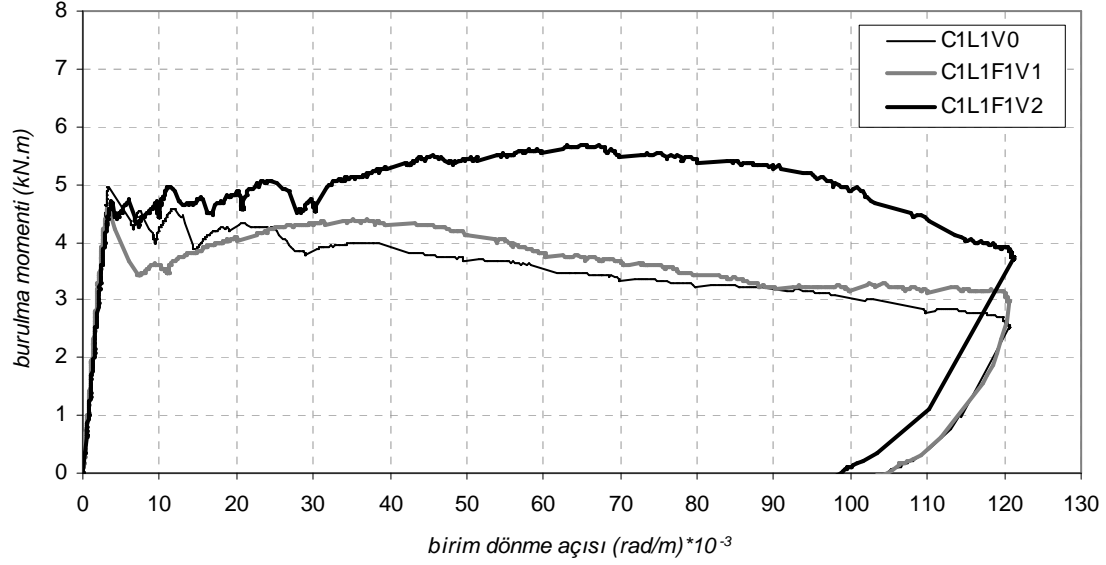


Şekil 2.3 - Burulma deneyi düzeneği.

2.3. Deneylerden Elde Edilen Veriler

Burulma deneylerinin yapıldığı gün, burulma deneyi numunesinin üretildiği betonun mekanik özelliklerini tesbit için üretilen silindir numuneler ve eğilme kirişleri de test edilmiş, bu deneylerden betonun basınç, silindir yarma, eğilme dayanımları ile elastisite modülü tespit edilmiştir. Ayrıca burulma deneylerinden elde edilen burulma momenti (T) ve birim dönme açısı (Φ) değerlerinden yararlanarak her bir numune için $T-\Phi$ eğrileri çizilmiştir. Aşağıda Şekil 2.4’de $l/d = 40$ olan lif tipinde lif hacminin artışı ile $T-\Phi$ değişimi verilmiştir.

Her bir numune için elde edilen çatlama momenti, bu çatlama momentine karşı gelen birim dönme açısı, elde edilen maksimum burulma momenti, bu burulma momentine karşı gelen birim dönme açısı değerleri ve her bir numune için elde edilen malzeme dayanımları, aşağıda Tablo 2.2’ de verilmiştir.

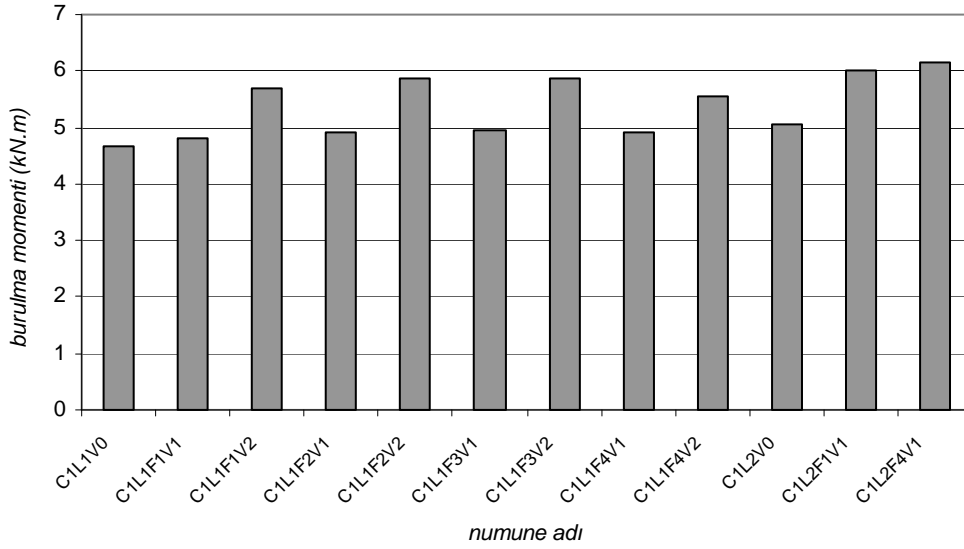


Şekil 2.4 - $l/d = 40$ olan lif tipinde lif hacminin artışı ile $T-\Phi$ değişimi.

Tablo 2.2 - Deney Verileri.

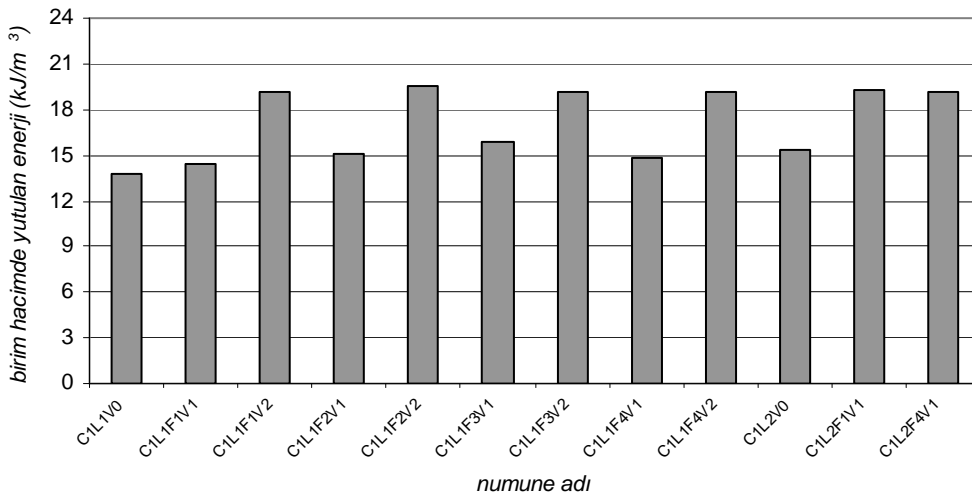
Numune Adı	f_{ck} (MPa)	f_{cts} (MPa)	f_{ctf} (MPa)	E (MPa)	T_{cr} (kN.m)	Φ_{cr} (rad/m)	T_u (kN.m)	Φ_u (rad/m)
C1L1V0	34,8	3,51	4,54	31407	4,93	0,0032	4,93	0,0032
C1L1F1V1	33,4	3,55	4,96	30060	4,58	0,0032	4,58	0,0032
C1L1F1V2	31,3	3,35	5,02	29931	4,62	0,0039	5,68	0,0630
C1L1F2V1	31,0	3,08	4,82	27924	4,93	0,0038	4,93	0,0038
C1L1F2V2	30,9	3,41	4,57	29940	5,14	0,0042	5,88	0,0590
C1L1F3V1	32,7	3,42	4,39	31198	4,85	0,0034	5,07	0,0563
C1L1F3V2	29,5	3,08	4,39	28518	4,96	0,0036	5,88	0,0659
C1L1F4V1	31,9	3,46	4,56	27882	4,80	0,0041	4,80	0,0041
C1L1F4V2	30,0	2,95	4,82	28715	4,51	0,0038	5,54	0,0464
C1L2V0	34,8	3,51	4,54	31407	4,45	0,0049	5,07	0,0346
C1L2F1V1	31,7	3,58	4,46	29623	4,53	0,0039	6,01	0,0800
C1L2F4V1	31,6	3,56	4,87	27545	4,17	0,0038	6,15	0,0940

Burulma deneyleri sonucunda elde edilen en büyük burulma momenti değerleri, lif ilavesinin sebep olduğu değişimin görülebilmesi amacıyla kolonlar şeklinde aşağıda Şekil 2.5’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi çelik lif ilavesinin artışı maksimum burulma momenti kapasitesinin artışına sebep olmaktadır. Ancak yapı açısından bir elemanda kapasitesinin yüksek olması her zaman olumlu bir özellik olarak değerlendirilmeyebilir. Taşıma kapasitesi yanında enerji yutabilme ve süneklik kavramları ayrı ayrı ve eşit etkide önemlidir.



Şekil 2.5 – Ölçülen maksimum burulma momenti değerleri.

Bu çalışmada ayrıca her bir numune için elde edilen $T-\Phi$ eğrilerinin altında kalan alanlar hesaplanarak numunelerin yuttuğu enerji miktarları da tespit edilmiştir. Numunelere ait birim hacim başına yutulan enerji miktarı değerleri de aşağıda Şekil 2.6’da verilmektedir.



Şekil 2.6 – Deney bölgesinde yutulan enerji miktarı.

3. Sonuçlar

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

- Uygun miktarda elik lif ilavesi ile kesitlerin burulma momenti taşıma ve enerji yutma kapasitelerinde ciddi artışlar sağlanabilmektedir.
- Boyuna donatısı $d_b= 8$ mm olan deney numunelerinde, dört farklı lif tipinde de burulma kapasitelerinde artışlar gözlenmiştir. Artış oranları $V_{ff}=0.003$ elik lif ilavesi için % 3 ile % 6 arasında; $V_{ff}=0.006$ elik lif ilavesi için ise % 19 ile % 26 arasındadır.
- Boyuna donatısı $d_b= 8$ mm olan deney numunelerinde, dört farklı lif tipinde de enerji yutma kapasitelerinde artışlar gözlenmiştir. Artış oranları $V_{ff}=0.003$ elik lif ilavesi için % 5 ile % 15 arasında; $V_{ff}=0.006$ elik lif ilavesi için ise % 39 ile % 42 arasındadır.
- Boyuna donatısı $d_b= 12$ mm olan deney numunelerinde, $l/d=40$ ve $l/d=80$ olan lif tipleri $V_{ff}=0.003$ oranında kullanılmıştır. Bu durumda burulma momenti ve enerji yutma kapasitelerindeki artışlar sırasıyla %21 ve %25 olarak llmüştir.
- Yapılardan beklenen davranış, üzerine gelen dış etkiler karşısında göçmeye sebep olmadan enerjiyi yutarak ayakta kalmasıdır. Yapının enerjiyi yutması ise, elemanların enerji yutmasıyla yani snekliliğiyle ilişkilidir. elik lif ilavesi ile burulma etkisi altındaki elemanların sünekliliği artmaktadır. Özellikle burulmaya maruz kalan elemanlardan oluşan yapılarda, elik lifli beton ile üretim yapmak yapı sünekliliğini arttıracaktır.
- Burulma etkisinde ilk çatlaklar, kayma gerilmelerinin sebep olduğu asal çekme gerilmeleri nedeniyle oluşmaktadır. elik lif ilavesi oluşan çatlak sayısını arttırmakta buna karşılık her bir çatlağın genişliğini azaltmaktadır. Özellikle atlak genişliklerinin çok az olmasının istendiği yapı elemanlarında elik lifli beton ile üretim yapmak istenilen sonuçların alınmasını sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu alışma Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu (KOU.Ar.Fon.2004-18) tarafından desteklenmiş ve deneyler İnaaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı' nda yapılmıştır. Yazarlar alışma süresince malzeme, ekipman ve teknik desteğinden dolayı BEKSA A.ř.'ye ve sayın Mehmet Yerlikaya'ya teşekkür ederler.

Simgeler Dizini

d	: Çelik lifin çapı (mm)
d_b	: Boyuna donatı çapı (mm)
d_e	: Enine donatı çapı (mm)
E	: Elastisite Modülü (N/mm ²)
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı (N/mm ²)
f_{ctf}	: Betonun eğilme dayanımı (N/mm ²)
f_{cts}	: Betonun yarma dayanımı (N/mm ²)
l	: Çelik lif boyu (mm)
s	: Enine donatı aralığı (mm)
T	: Taşınan burulma momenti (kN.m)
T_{cr}	: Kesitin çatlama momenti (kN.m)
T_u	: Kesitin taşıdığı en büyük burulma momenti değeri (kN.m)
V_{jF}	: Lifin hacimsel oranı
Φ	: Kesitin birim dönme açısı (1/m)
Φ_{cr}	: Kesitin çatlama momentine karşı gelen, birim dönme açısı (1/m)
Φ_u	: Kesitin taşıdığı en büyük momente karşı gelen, birim dönme açısı (1/m)
τ_t	: Betonun kayma dayanımı (N/mm ²)
ρ_b	: Kiriş boy donatı oranı

Kaynaklar

1. Atef, H.B.et.al. 1991. Torsional Behavior of Plain high-Strength Concrete Beams, ACI Structural Journal, Title No 87-S59, pp. 583-588, September-October
2. Craig, R.J. et.al., 1986. Fiber Reinforced Beams in Torsion, ACI Structural Journal, Title No 83-81, pp. 934-942, November-December
3. El-Niema, E.I., 1993. Fiber Reinforced Beams under Torsion, ACI Structural Journal, Title No 90-S50, pp.489-495, September-October
4. Ersoy, U., ve Özcebe, G., 2001. Betonarme, Geliştirilmiş Yeni Baskı, Evrim Yayınevi ve Bilg. San. Tic. Ltd. Şti., İstanbul
5. Hsu,T., 1968. Torsion of Structural Concrete-Behaviour of R.C. Rectangular Members, ACI Symposium Volume on Torsion, ACI SP-18
6. Leet, K., 1982. Reinforced Concrete Design. McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
7. Nilson, A. H., and Winter, G., 1991. Design of Concrete Structures. McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
8. Song, P.S., and Hwang, S., 2004. Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete, Construction and Building Materials 18, pp. 669-673
9. Yıldırım, S.T., 2002. Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ

BOOK OF ABSTRACTS



ACE 2006

7th
International
Congress
on

Advances
in Civil
Engineering

**Editors
Organizing Committee**



BOGAZICI UNIVERSITY (BU)



EASTERN MEDITERRANEAN UNIVERSITY (EMU)



ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY (ITU)



MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY (METU)



YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY (YTU)

October 11-13, 2006

**Yıldız Technical University
İSTANBUL - TURKEY**