



BETON-CAM LİF KOMPOZİT MALZEMESİNDE DEĞİŞİK LİF ORANLARININ MUKAVEMETE ETKİSİ

Servet YILDIZ*, M. Halidun KELEŞTEMUR**

* F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

** F.Ü. Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Bilimleri Bölümü, ELAZIĞ

ÖZET

Bu çalışmada, %0.2, 0.4 ve 0.6 ağırlık oranlarında cam liflerle katkılanmış beton matrisli kompozit malzemenin mekanik davranışları araştırılmıştır. Çekme basma deneylerinin yanında, eğme davranışının belirlenmesi, üç nokta ve dört nokta eğme deneyleri ile gerçekleştirilmiştir. Cam liflerle katkılanılan betonun çekme ve basma mukavemetinin arttığı, eğme mukavemetinin ise azaldığı yapılan deneylerde tespit edilmiştir. Üç

nokta eğme deneyleri ile elde edilen eğme mukavemeti sonuçları, dört nokta eğmedekilere göre daha yüksek gözlenmiştir. Beton matrisi katkılanılan cam lifler, matris içerisinde homojen olarak yayılmış bir donatı aksamı gibi çalışarak, üç boyutlu bir mikro takviye vazifesi görmüşlerdir. Basma deneyi sırasında boşluk gibi davranan bu lifler basma dayanımını düşürmüşlerdir.

Anahtar Kelimeler: Beton-cam lif kompozitler, Üç nokta eğilme, Dört nokta eğilme.

THE EFFECTS OF VARIOUS FIBRE CONTENTS ON STRENGTH OF GLASS FIBRE REINFORCED CONCRETES

ABSTRACT

The effect of various fiber contents, 0.2, 0.4 and 0.6% by weight, on fracture behavior of glass fiber reinforced concrete were investigated. Tensile and compression tests were carried out to find its mechanic characteristics. The determination of bending behaviors was detected by using three point and four point bending tests. The tensile and bending strength of the material increased

with the addition of glass fibers. The glass fibers increased the stiffness of the material. The results of three point bending tests gave little higher values than that of four point bending tests. The compression strength of the material decreased with the increasing of glass fibers. The glass fibers behaved like voids inside the material under the compression loading.

Key Words: Glass-fibre reinforced concrete composites, Three point bending, Four point bending.

1.GİRİŞ

Kullanıldığı yerde, beton esas itibari ile çekme gerilmesinden çok basma gerilmesine maruzdur. Bununla beraber çekme gerilmesinin ve buna paralel olarak kırılma mukavemetinin de yüksek olması istenen uygulamalarda beton matrisli kompozitlerin kullanılması önem kazanmıştır (Postacıoğlu, 1986). Bu amaçla katkı maddesi olarak kullanılan asbestin yerine son zamanlarda cam, karbon, polipropilen, mika ve kevlar lifleri gibi katkı maddeleri kullanılmaktadır (Yıldız, 1998).

Beton-cam lifli kompozit malzemelerin mekanik davranışları üzerine sadece birkaç çalışmaya rastlanmıştır. Mobasher ve diğerleri (1989) beton-cam lif kompozit malzemedeki tokluğun ölçülmesini üç farklı yükleme şekli uygulayarak hesaplamaya çalışmış ve tokluğun, kırılma numune geometrisi, yükleme şekli ve betonun yaşlanması ile yakından ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Barr ve diğerleri (1982) yapmış oldukları çalışmada, beton-cam lif kompozitlerin kırılma karakteristiklerini incelemişlerdir. Cam lif miktarının artışı, kırılma tokluğunun artmasını sağlamıştır. Bu sonuç cam lifin yapıya süneklik kazandırması ile yorumlandırılmıştır.

Kırılma mukavemeti, beton-cam lifli kompozit malzemelerde belirlenmesi gereken en önemli özelliklerden birisi olarak karşımıza çıkar. Bu çalışmada, farklı cam lif oranlarında katkılандırılmış beton matrisli malzemenin çekme, basma ve eğmede üç nokta ve dört nokta eğme dayanımları incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Deneylerde İstanbul-Beyoğlu Camsar Sanayi Ara Malları Pazarlama A.Ş.'den temin edilen cam lifleri kullanılmıştır (1992). Başlangıçta rulolar halinde ve ızgara şeklinde olan bu lifler uygun şekilde ayrıştırılarak deneyler için hazırlanmıştır. Çok fazla bilinmemekle birlikte, cam elyafı elastiklik özelliği olan bir malzemedir. Diğer bir deyişle dikkate değer bir yüzde uzamaya sahiptir. Diğer organik liflerde bulunmayan, düşük de olsa bu süreklilik özelliği cam elyafına bir miktar enerjiyi, kayıpsız olarak depolama ve bırakma imkanı sağlamaktadır. Deneylerde kullanılan cam lifinin mekanik özellikleri tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Cam Liflerine Ait Bazı Tipik Değerler

Lif Çeşidi	Boyutu (μm)	Özgül Ağırlığı (kN/m^3)	Young Modülü (kN/mm^2)	Çekme Mukavemeti (kN/mm^2)	Kırılmada Uzama (%)
Cam	9-15	26.0	70-80	2.4	2-3.5

Araştırmada, Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş.'nin üretmiş olduğu portland çimentosu (PÇ 325) kullanılmıştır. Çimentoların fiziksel ve kimyasal analizleri ve mekanik özellikleri tablo 2'de verilmiştir. Bütün deneylerde aynı çimento kullanılmıştır.

Tablo 2. Portland Çimentosunun Analiz Sonuçları

KİMYASAL ANALİZLER (%)

Çimento Türü	Elazığ Çimento PÇ 325
CaO	65.87
SiO ₂	20.42
Al ₂ O ₃	5.92
Fe ₂ O ₃	2.81
MgO	3.23
SO ₃	0.97
Çözülmeyen Kalıntı	0.18
Tayin Edilemeyen	1.10
(Na ₂ O+K ₂ O) Alkaliler	0.15
Klorür Cl	≤ 0.1
Kızdırma Kaybı	2.16
C ₃ S	60.06
C ₂ S	13.31
C ₃ A	10.94
C ₄ AF	8.55

FİZİKSEL ANALİZLER

Özgöl Ağırlık(g/cm ³)		3.00
Özgöl Yüzey (cm ² /g)		3927
Elekte Kalan (%)	200 mik	1.1
	90 mik	7.6
Normal Kıvam Su (%)		
Priz (s/dk)	Başlama	2.25
	Bitiş	3.55
Le Chatelier (mm)		5

DAYANIMLAR

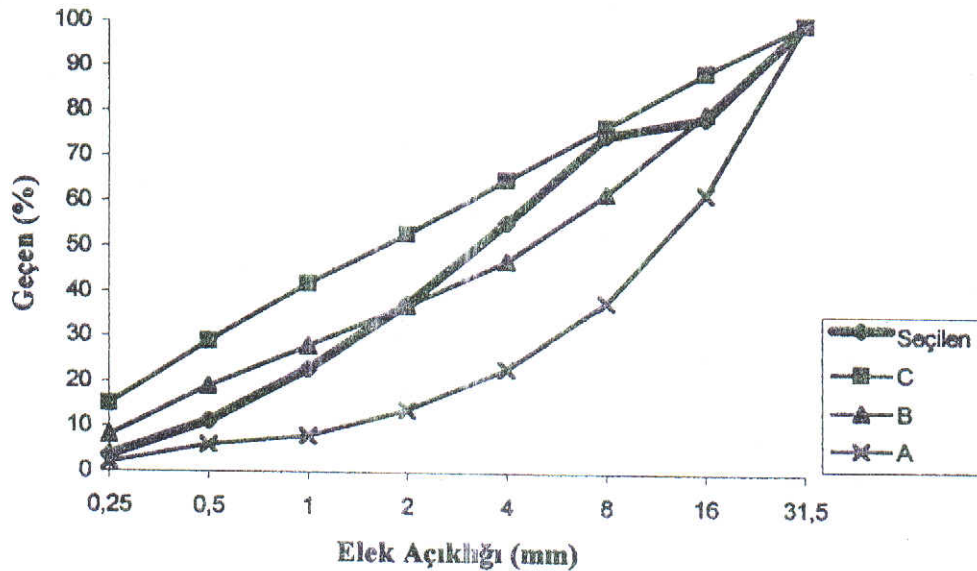
Basınç (N/mm ²)	7 gün	27.5
	28 gün	38.5
Eğilmede Çekme (N/mm ²)	7 gün	5.7
	28 gün	6.8

Mevcut agrega numunelerinde yoğunluk $\gamma = 2,70 \text{ kg/dm}^3$

Beton deneylerinde Elazığ-Çemişgezek kumu kullanılmıştır. Mevcut yıkama eleme tesisinde hazırlanmış olan üç değişik agrega malzemesi mevcuttur. Bu agregalara ait granülometrik bileşimler, tablo 3'de verilmiştir (TS 706). Deneylerde kullanılan üç agreganın granülometri eğrisi de Şekil 1'de verilmiştir

Tablo 3. Elazığ-Çemişgezek Agregası Elek Analizi Sonuçları

Elek Göz Açıklığı (mm)	Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık (gr)	% Kalan	% Geçen
31.5	-	-	-	100.00
16.0	210.75	210.75	21.07	78.93
8.0	40.00	250.75	25.07	74.93
4.0	193.30	444.05	44.41	55.59
2.0	181.40	625.45	62.55	37.45
1.0	145.00	770.45	77.05	22.95
0.5	117.00	887.45	88.75	11.25
0.25	77.55	965.00	96.50	3.50
Toplama Kabı	35.00	1000.00	100.00	-



Şekil 1. Elazığ-Çemişgezek Agregası Granülometri Eğrisi

Bütün karışımlarda kullanılan su/çimento oranı W/C olarak ifade edilmiştir. W/C oranı, en elverişli durumda karışım ve karıştırıcıyı çalıştırmak için 0.39 olarak alınmıştır. Karışımlarda; Çimento, 1 nolu, 2 nolu ve 3 nolu agrega, ve ağırlıkça %0.2, 0.4 ve 0.6 oranlarında cam lifi kullanılmıştır. W/C oranı lif oranına bağlı olarak 0.39-0.48 arasında tutulmuştur. Deneylerde kullanılan malzeme oranları % olarak Tablo 4'de verilmiştir.

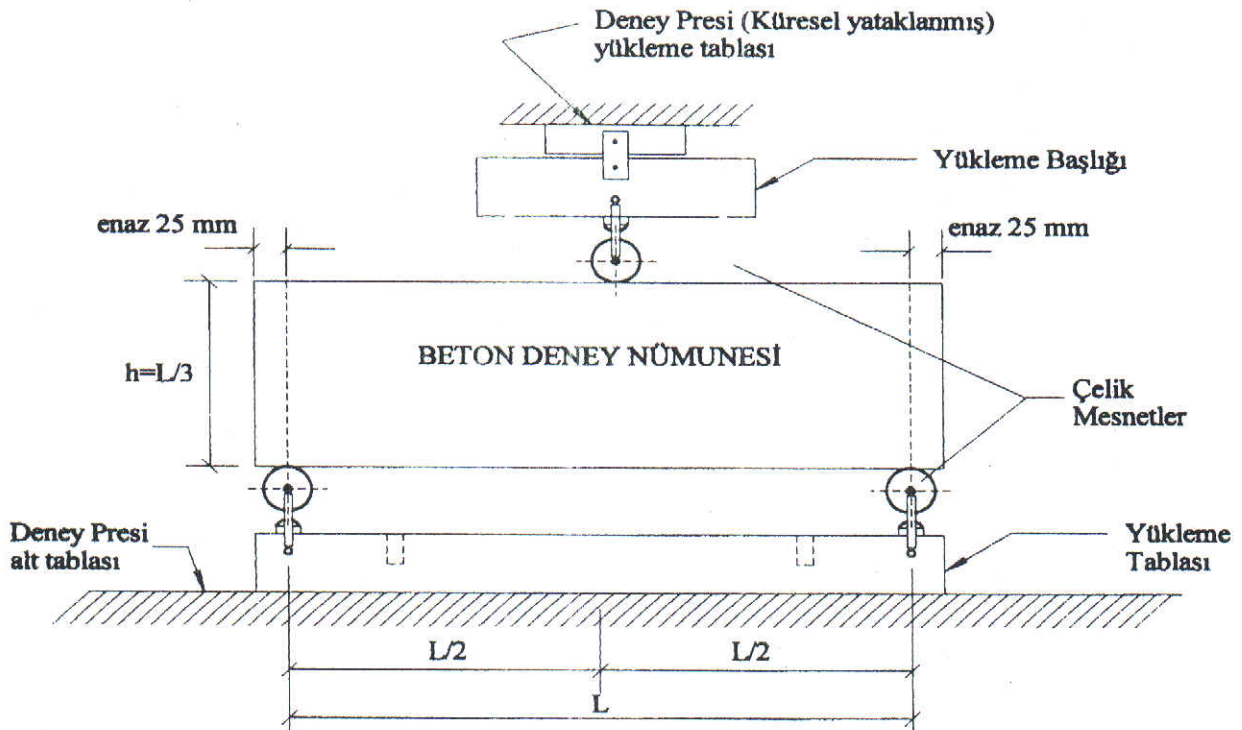
Deneyde kullanılacak numuneler TS 2940'a göre seçilmiş ve TS 3068'e göre hazırlanmış ve bakımı yapılmıştır. Eğilme dayanımında lif oranına bağlı olarak sürekli bir artış gözlemlendiği için lif oranı %0.6'ya kadar artırılmıştır. Hazırlanan beton harcı 10×10×50 cm ebadındaki prizmatik kalıplara yerleştirilmiş ve sarsma tablasında, numunede boşluk kalmayacak şekilde sarsılmış ve sıkıştırılmıştır.

Daha sonra bu numuneler su tankına konulmak üzere $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki ktr odasında %90 bağıl nem altında bekletilmiştir. Burada bir gün bekletildikten sonra, $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de değişmez sıcaklıktaki su tankına alınmıştır. Numuneler 28 gün suda bekletildikten sonra sudan çıkarılmış ve 2 gün oda şartlarında korumaya bırakılmıştır. İki gün sonunda numuneler, TS 3284'e ve ASTM (C-190) (1979) standardına uygun olarak deneye tabii tutulmuştur.

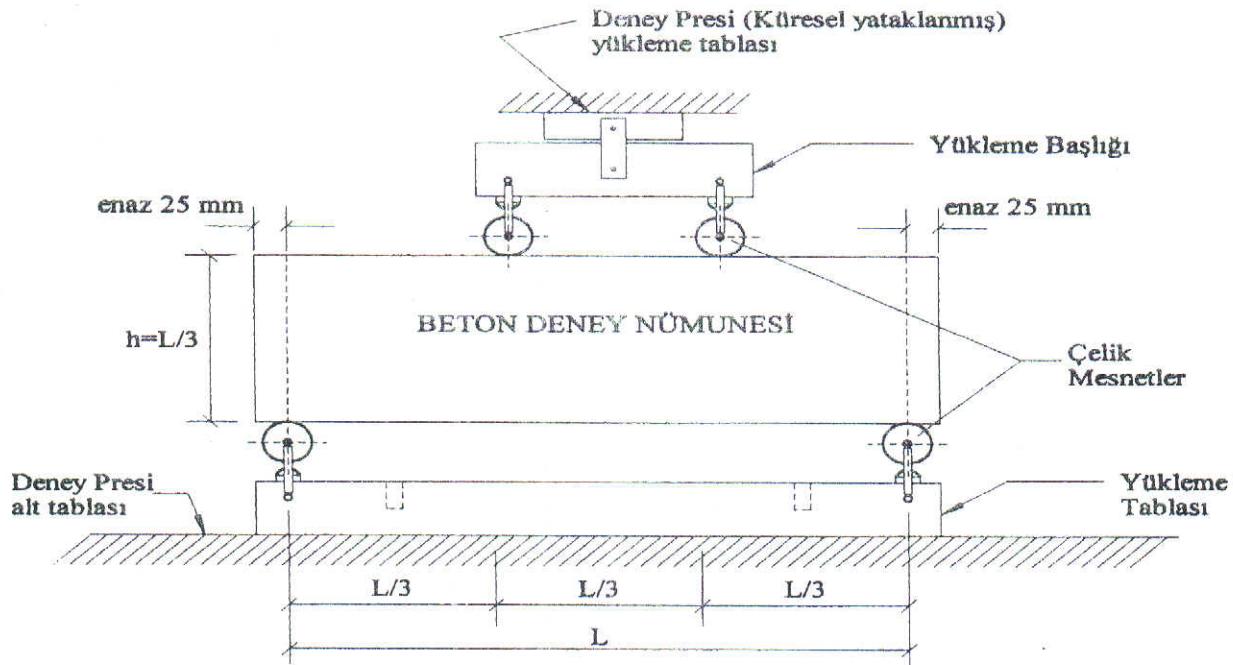
Tablo 4. Beton Karışım Oranları

Malzemenin Adı	Karışımındaki Miktarı (%)
1 Nolu Agrega	24.1
2 Nolu Agrega	31.9
3 Nolu Agrega	16.3
Çimento	19.9
Su	7.8
Cam Lifi	0.2-0.4-0.6

TSE 3114 standartlarında hazırlanan numunelerle çekme ve basma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Üç nokta ve dört nokta eğme deney aparatı ve deney numunesi sırasıyla şekil 2. ve şekil 3'de verilmektedir. Yükleme tablası ve yükleme başlığındaki mesnet silindirleri, deney uygulanacak numunenin uzunluğuna uygun olarak yataklara oturtulmuştur.



Şekil 2. Kırılma Dayanımında Üç Noktadan Yüklenmiş Basit Kirişin Yükleme Başlığı ve Yükleme Tablası Durumu



Şekil 3. Kırılma Dayanımında Dört Noktadan Yüklənmiş Basit Kirişin Yükleme Başlığı ve Yükleme Tablası Durumu

Deney esnasında deney numuneleri yükleme tablasına paralel olarak yerleştirilmiş ve yükleme yönü, numunenin yükleme uygulanan yüzeyine dik olarak çalışılmıştır. Mesnetler arasındaki mesafelerin birbirine eşit olmasına dikkat edilmiş ve numunenin ortasından yükleme yapılabilmesi için silindir şeklinde bir demir parçası yerleştirilmiştir. Yükleme hızı 75 kg/dakika olarak seçilmiş ve beton numunesinin taşıyabileceği maksimum kuvvete (P) ulaştığı anda yükleme otomatik olarak son verilmiştir. Üç nokta ve dört nokta eğilme dayanımlarının (σ_e) hesaplandığı formüller aşağıda sırasıyla (1) ve (2) eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3 PL}{2 bh^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$\sigma_e = \frac{PL}{bh^2} \dots\dots\dots(2)$$

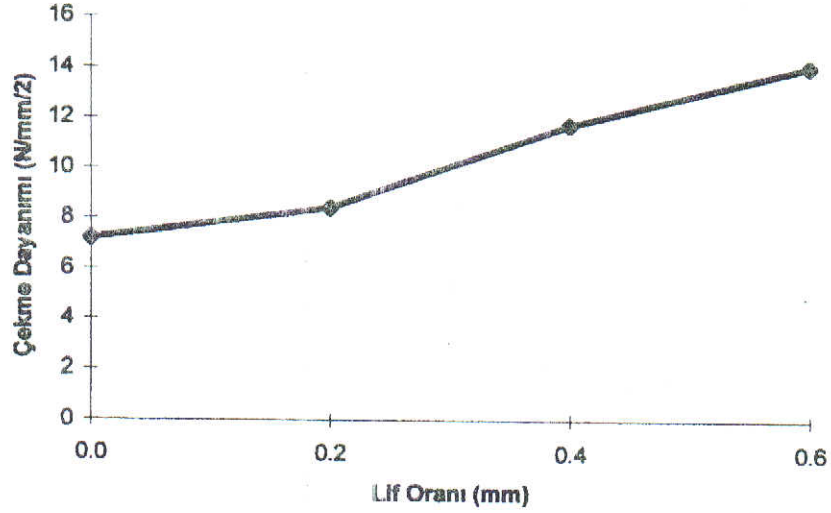
Yukarıdaki formüllerde, σ_e , eğilme dayanımı, P, numunenin kırılması için gerekli olan kuvvet, L, b ve h sırasıyla numunenin uzunluğu, genişliği ve yükseklikleridir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çekme ve basma dayanımları ile ilgili deney sonuçları sırasıyla tablo 4 ve 5 de gösterilmiştir. Bu değerlere ait lif oranı-çekme ve basma dayanımı grafikleri şekil 4 ve 5 de çizilmiştir. Malzemenin çekme dayanımı artan cam lif oranı ile lineer olarak artarken basınç dayanımı bunun tersine yine lineer olarak azalma göstermektedir. Eğimlerden de anlaşılacağı gibi, basma dayanımındaki düşüş çekme dayanımındaki artışa göre pek dikkate değer olmamaktadır. Diğer bir deyişle, çekme dayanımının yüksek olması istenen yerlerde basma dayanımındaki bu düşüş ihmal edilebilir bir düzeydedir. Lifli beton numunelerde lif oranı arttıkça numunelerdeki uzama miktarı da artmaktadır. Çünkü lifler beton içerisinde bir nevi donatı görevi yaptığı için numunelerdeki kopma dayanımını da arttırmaktadır. Basınç dayanımının cam lif oranının artırılması ile düşük çıkmasının sebebi de, lif katkılı numunelerde boşluk oranının fazla olması, karışıma katılan liflerin beton içerisinde daha fazla su emmesi ve daha az homojen olması ile yorumlanabilir.

Tablo 4. Basınç Etkisi Altında Betonda Meydana Gelen Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

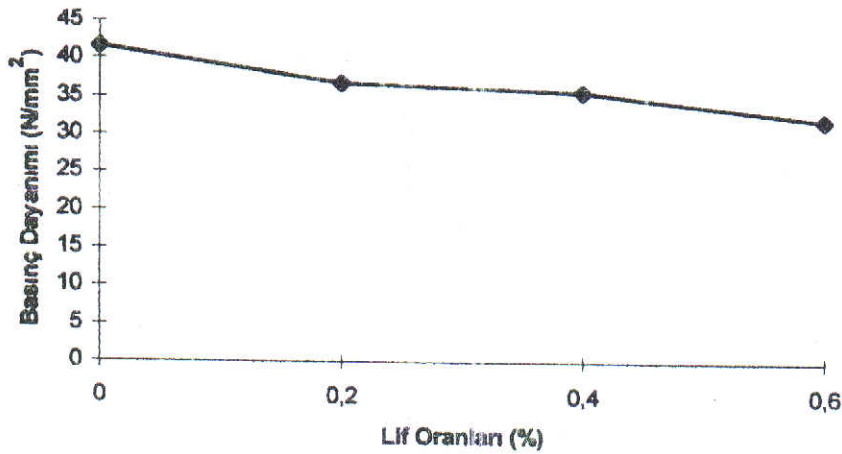
Lif Oranı (%)	Kopma Yükleri (kg)			Ortalama Yük (kg)	Çekme Yükleri (kg)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama Miktarları (mm)	Artış Oranı (%)
-	2400	2500	2300	2400	1442	7.21	1.84	-
0.2	2700	2800	2900	2800	1682	8.41	2.02	16.64
0.4	4000	3900	3800	3900	2343	11.72	2.68	62.55
0.6	4600	4680	4700	4660	2808	14.04	3.70	94.74



Şekil 4. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Çekme Dayanımının Değişimi

Tablo 5. Cam Lifli Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Numune No	Lif Oranı (%)	Kırılma yükleri (28 Günlük) (N/mm ²)			Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol (%)
K	-	41	41.2	42.5	41.57	100
L2	0.2	36	36	38.5	36.83	88.6
L4	0.4	37	35	35	35.67	85.8
L6	0.6	30	32	34	32.00	76.98



Şekil 5. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Basınç Dayanımlarının Değişimi

Üç nokta ve dört nokta eğme deney sonuçları (TS 3285) tablo 6 ve tablo 7’de verilmiştir. Şekil 6 ‘da üç nokta ve dört nokta eğme dayanımlarına bağlı olarak cam lif oranının etkisi görülmektedir. Şekil ve tablolardaki bu değerlerden de görüldüğü gibi, kontrol numunelerinde, eğilme dayanımı 4.07N/mm^2 iken, %0.6 cam lif katkılı numunelerde bu değerin üç nokta eğme deneyi için 6.29N/mm^2 ’ye yükseldiği görülmüştür. Cam lif ilave edilmiş numunelerin çekme dayanımı, yaklaşık olarak üç noktadan yüklenmiş kirişlerde %54.55 oranında, dört noktadan yüklenmiş kirişlerde ise bu oranın %67.78 oranında arttığı görülmektedir. Üç nokta eğme dayanımı, dört nokta eğme dayanımına göre daha yüksek değer vermiştir. Dört nokta yüklemede, yük değerleri üç nokta yüklemedekilere göre daha büyüktür. Bu aradaki tezat, 1 ve 2 nolu eşitlikle verilmiş formülasyonun izotropik malzemeye göre çıkarılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Beton-cam lif malzemenin eğilme dayanımı için anizotropik formülasyona başvurulması gerekir.

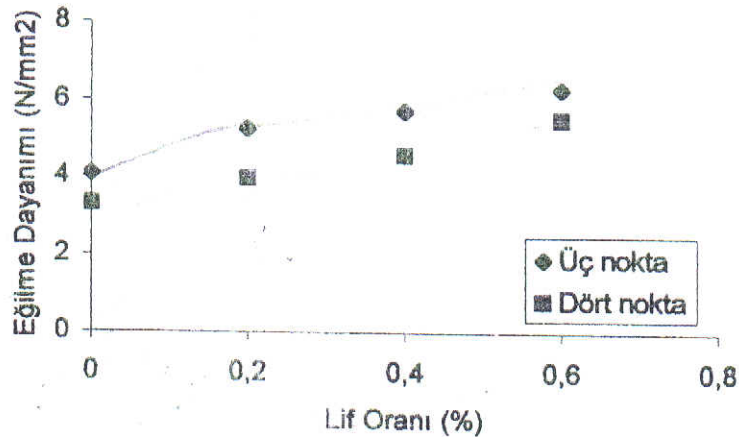
Beton-cam lif kompozitlerin donatı kullanılmayacak kadar küçük ebatlara sahip yapı elamanlarında kullanılması uygun olacaktır. Ayrıca büyük kütle betonlarda, örneğin çekme dayanımının önem kazandığı kirişlerde, maliyet gözardı edilmeden, cam liflerin kullanılmasının uygun olacağı söylenebilir. Buna ilaveten lif oranı arttıkça deplasman yapma kabiliyeti de artmakta dolayısıyla numunenin sünekliği artmakta, bu da daha fazla enerji absorbe edeceği anlamına geldiği için depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkate alınabilecek bir malzeme olabileceğini göstermektedir.

Tablo 6. Üç Noktadan Yüklenmiş Numunelerin Kırılma Dayanımı Deney Sonuçları

Numune No	Kırılma Yükleri (kN)			Ortalama Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	Artış Oranı (%)
	1	2	3			
K	5.41	5.53	5.35	5.43	4.07	-
L2	7.11	7.03	6.86	7.00	5.25	28.99
L4	7.50	7.95	7.46	7.64	5.73	40.79
L6	7.88	8.82	8.45	8.38	6.29	54.55

Tablo 7. Dört Noktadan Yüklenmiş Numunelerin Kırılma Dayanımı Deney Sonuçları

Numune No	Kırılma Yükleri (kN)			Ortalama Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	Artış Oranı (%)
	1	2	3			
K	6.64	6.50	6.60	6.58	3.29	-
L2	8.10	7.76	7.94	7.93	3.97	20.67
L4	8.99	9.25	9.16	9.13	4.57	38.91
L6	10.86	10.75	11.50	11.04	5.52	67.78



Şekil 6. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Eğilme Dayanımlarının Değişimi

6. SONUÇLAR

Cam lif katkılı numunelerle yapılan deneyler, lif katkısının malzemenin çekme ve eğilme dayanımlarını artırdığını bunun yanında basma dayanımını düşürdüğünü göstermiştir. Cam lifin dikkate değer ölçüdeki sünekliği ve yapı içerisinde bir donatı gibi görev ifa etmesi, çekme ve eğme dayanımındaki artışın sebebi olmuştur. Bunun yanında basınç karşısında bu liflerin birer boşluk gibi davranıp su emme özelliğine de sahip olması basma dayanımının düşük çıkmasına sebep olmuştur. Sonuç olarak, çekme dayanımının yüksek olması istenen yapı uygulamalarında cam lif katkılı betonların kullanılması uygundur.

5. KAYNAKLAR

- ACI COMMITTEE 644. (1978), "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete". ACI Journal. July, 75-30.
- BARR, B.I.G. AND LIU, K., (1982), "Fracture of GRC Materials", Int Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 4, No 3, pp. 163-171.
- CAMSAR Sanayi Ara Malları Pazarlama A.Ş., (1992?), Cam Elyaf Atölye Bilgileri, Katalog, İstanbul.
- DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi, (1994), "Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton", (Yayın No: MLZ-878), Ankara.
- Mobasher, B. Shah, S. P. , (1989), "Test Parameters for Evaluation Toughness of Glass-Fiber Reinforced Concrete Panels" ACI Materials Journal. V 86 n 5 Sep-Oct 1989p 448-458.
- POSTACIOĞLU, B., (1986), "Beton Bağlayıcı Maddeleri (Cilt: 1)", İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1979), "TS 3284 Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Üçtebir Noktalarından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle", Ankara.
- YILDIZ, S., (1998), "Lifli Beton Boruların Durabilitesi Kırılma Performansı ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması", (Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı), Elazığ.