

## Çelik Tel ve Cam Elyaf Ağları ile Takviye Edilmiş Tabakalı Beton Kompozitlerin Eğilme Dayanımı

Metehan ARDAHANLI<sup>\*1</sup>, Türkyay KOTAN<sup>\*2</sup>

\*<sup>1</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ERZURUM  
<sup>2</sup> Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ERZURUM

(Alınış / Received: 21.02.2023, Kabul / Accepted: 12.07.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 31.08.2023)

### Anahtar Kelimeler

Çelik Lif,  
Cam Elyaf,  
Kompozit,  
Eğilme Dayanımı

**Öz:** Lifli betonlar; sahip oldukları yüksek eğilme dayanımı ve içeriğinde kullanılan liflerin yüksek çekme dayanımı sayesinde çeşitli endüstriyel uygulamalarda, fabrika zeminlerinde, benzin istasyonlarında, prefabrik beton uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu çalışmada, aynı işlenebilirliğe sahip olan rastgele yönlendirilmiş cam ve çelik lifli betonlar ile tabakalı çelik tel ve cam elyaf ağları içeren beton kompozitlerin eğilme dayanımları incelenmiştir. Hacimce %0.5, %1 ve %1.5 oranlarında lif kullanılarak rastgele yönlendirilmiş cam ve çelik lifli beton grupları oluşturulmuştur. Çelik tel veya cam elyaf ağları içeren tabakalı beton kompozitler, rastgele yönlendirilmiş cam veya çelik lifli betonların lif hacmine eşdeğer olması için 3, 5 ve 7 tabakalı olarak üretilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; tabakalı lifli beton kompozitlerin eğilme dayanımlarının, aynı işlenebilirliğe sahip rastgele yönlendirilmiş lifli betonların eğilme dayanımlarından lif türü fark etmeksizin daha yüksek olduğu belirlenmiş olup tabakalı lifli beton kompozitlerin üretiminde yüksek eğilme dayanımı ve uygun işlenebilirlik için herhangi bir kimyasal katkı kullanımının gerekmediği tespit edilmiştir. Ayrıca tabakalı çelik telli beton kompozitlerin eğilme dayanımlarının, tabakalı cam elyafli beton kompozitlerin eğilme dayanımlarından daha yüksek olduğu ve tabaka sayısının çelik telli beton kompozitlerde eğilme dayanımı sonuçlarını daha fazla etkilediği belirlenmiştir.

## Flexural Strength of Layered Concrete Composites Reinforced with Steel Wire and Glass Fiber Meshes

### Keywords

Steel Fiber,  
Glass Fiber,  
Composite,  
Flexural Strength

**Abstract:** Fiber concrete is widely preferred in various industrial applications, factory pavements, gas stations, and prefabricated concrete applications thanks to the high flexural strength and high tensile strength of the fibers used in its content. In this study, the flexural strengths of randomly oriented glass and steel fiber concretes with the same workability and concrete composites containing layered steel wire and glass fiber mesh were investigated. By using 0.5%, 1% and 1.5% fiber by volume, randomly oriented glass and steel fiber concrete groups were formed. Laminated concrete composites containing steel wire or glass fiber meshes are produced with 3, 5 and 7 layers to be equivalent to the fiber volume of randomly oriented glass or steel fiber concretes. When the results are examined; It has been determined that the flexural strength of laminated fiber concrete composites is higher than the flexural strength of randomly oriented fiber concrete with the same workability, regardless of fiber type, and it has been determined that no chemical additives are required in the production of laminated fiber concrete composites for high flexural strength and suitable workability. In addition, it has been determined that the flexural strength of the laminated steel wire concrete composites is higher than the flexural strength of the laminated glass fiber concrete composites and the number of layers affects the flexural strength results in more in the steel wire concrete composites.

\*İlgili Yazar, email: metehan.ardahanli@erzurum.edu.tr

## 1. Giriş

Beton; agrega, çimento, su temel bileşenlerinden oluşan ve inşaat endüstrisinde en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Betonun birçok yapı malzemesine göre sahip olduğu avantajlar, günümüze kadar kullanımının artarak devam etmesini sağlamıştır [1]. Dünya nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte insanoğlunun ihtiyacına uygun yapıların inşa edilmesi gerekliliği ön plana çıkmış ve bu ihtiyaç beton endüstrisinde özel betonlar kavramını ortaya çıkarmıştır. Başlıca özel beton çeşitleri; ağır veya hafif betonlar, püskürtme betonlar ve reaktif pudra betonları iken bir başka özel beton çeşidi olan lifli betonlar da bu sınıfta yer almaktadır.

Lifli betonlar, betonun çeşitli özelliklerini iyileştirmek için karışıma değişik teknik ve oranda liflerin katılması ile elde edilen özel betonlardır. Beton karışımlarında başlıca; cam, çelik, polimer ve karbon lifler kullanılmaktadır. Lifler, betonun hem taze haldeki hem de sertleşmiş durumdaki özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir [2-3].

Lifler, kullanıldıkları betonun basınç dayanımına etkisinin az olmasına karşı [4-7] sahip oldukları yüksek çekme dayanımı sayesinde betonun eğilme etkisi altındaki davranışında daha önemli yer tutar. Beton karışımlarına lifler çoğunlukla rastgele yönelmiş olarak katılmakta ve betonda oluşturduğu etki incelenmektedir. Rastgele yönelmiş olarak katılan cam ve çelik lifin betonda oluşturduğu etkilere ait literatür incelenirse;

Cam elyaflarının 5 - 10 kg/m<sup>3</sup> ağırlığında kullanılması ile üretilen numunelerde çekme dayanımının kontrol betonuna göre daha yüksek olarak elde edildiği belirlenmiştir [8]. Hacimce %0.25, %0.5, %0.75 ve %1 oranlarında cam elyafı kullanımı ile elde edilen beton numunelerinde en yüksek eğilme dayanımı % 0.5 cam elyafı oranında [9] ve bir başka çalışmada ise hacimce %0.6, %0.8 ve %1 oranlarında cam elyafı kullanılmış en yüksek eğilme dayanımı %1 oranında elde edilmiştir [10].

Çelik liflerin hacimce %0-%3 arasında kullanılması ile kiriş beton numuneler üretilmiş ve çelik liflerin beton eğilme dayanımını artırdığı [11], en yüksek dayanımın ise %1.5 oranında elde edildiği belirlenmiştir [12]. Çelik liflerin betonda kullanıldığı oranlarının artışı ile işlenebilirliğin düştüğü tespit edilmiştir [13].

Çelik lif ile üretilen betona 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 kg/m<sup>3</sup> ağırlıklarında cam elyafı katılarak, betonun basınç ve çekme dayanımındaki değişimleri incelenmiştir. Cam elyaflarının, betonun basınç ve çekme dayanımına olumlu yönde etki sağladığı [14], hacimce %0.5, %0.75, %1 oranlarında çelik ve cam elyafı betonlar üretilmiş olup çelik lifli betonların eğilme dayanımlarının cam elyafı betonlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir [15].

Literatür incelendiğinde, betonda rastgele yönelmiş cam ve çelik liflerin etkilerini inceleyen birçok çalışma olduğu, ancak bu liflerin betonda tabakalı şekilde kullanıldığı herhangi bir çalışma olmadığı görülmektedir. Bu çalışmada, çelik tel ve cam elyafı kullanılarak tabakalı beton kompozit malzeme üretilmiştir. Taze beton işlenebilirliği sabit tutularak üretilen rastgele yönelmiş ve tabakalı lifli betonların eğilme dayanımları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada Aşkale Çimento fabrikasından temin edilen CEM II/A-M(P-LL) 42.5R tipi çimento kullanılmış olup çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 1'de, fiziksel ve mekanik özellikler ise Tablo 2'de verilmiştir. Rastgele yönelmiş ve tabakalı lifli betonların üretiminde bazalt agregası 0-2, 2-4, 4-8 ve 8-16 mm olacak şekilde 4 farklı elek çap aralığında kullanılmıştır. Bazalt agregasına ait fiziksel özellikler Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler	Değer (%)
SiO <sub>2</sub>	17.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.08
CaO	60.02
MgO	2.29
SO <sub>3</sub>	2.67
Na <sub>2</sub> O	0.22
K <sub>2</sub> O	0.63
Cl	0.01
Kızdırma Kaybı	0.49
Ölçülemeyen	0.54
Toplam	100
Serbest CaO	0.69

**Tablo 2. Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri**

<b>Fiziksel ve Mekanik Özellikler</b>	<b>Değer</b>
İncelik (45µm Elek Üstü %)	6.01
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.01
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> gr)	4403
Priz Başı (saat-dakika)	2s-36dk
Priz Sonu (saat-dakika)	3s-24dk
Hacim Genişlemesi (mm)	0.5
Su İhtiyacı (%)	29.8
Basınç Dayanımı (MPa) 2. gün	27.46
Basınç Dayanımı (MPa) 28. gün	51.03

**Tablo 3. Bazalt Agregasının Fiziksel Özellikleri**

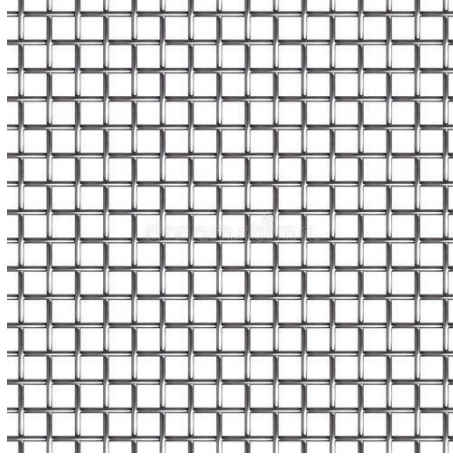
<b>Agrega Boyutu (mm)</b>	<b>Doygun Kuru Yüzey Tane Yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Su Emme (%)</b>	<b>Yüzey Nemi (%)</b>
<b>0-2</b>	2.61	2.98	2.59
<b>2-4</b>	2.61	2.95	2.39
<b>4-8</b>	2.63	1.40	1.49
<b>8-16</b>	2.63	1.47	1.17

Rastgele yönlenmiş lifli beton karışımlarında cam elyafı, E tipi cam elyafı olup uzunlukları 20-24 mm arasında ve özgül ağırlığı ise 2.48 gr/cm<sup>3</sup>'dür. 7.48 gr/cm<sup>3</sup> özgül ağırlığa sahip çelik liflerin mekanik ve karakteristik özellikleri ise Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 4. Çelik liflerin Karakteristik Özellikleri**

<b>Mekanik ve Karakteristik Özellikler</b>	<b>Değer</b>
Nominal Çekme Dayanımı (MPa)	1800
Elastisite Modülü (MPa)	200000
Maksimum Birim Şekil Değiştirme (%)	0.8
Tel Grubu	4D
Uzunluk (mm)	61
Çap (mm)	0.75
Boy/Çap Oranı	80

Tabakalı lifli beton üretiminde 4 mm kare açıklığa sahip çelik tel (Şekil 1) ve alkali şartlandırma sonrası mukavemet kaybı maksimum %50, alkali şartlandırma sonrası çekme mukavemeti  $\geq 20$  N/mm olan Fawori Optimix marka 4 mm kare açıklığa sahip donatı filesi (cam elyaf) (Şekil 2) kullanılmıştır.



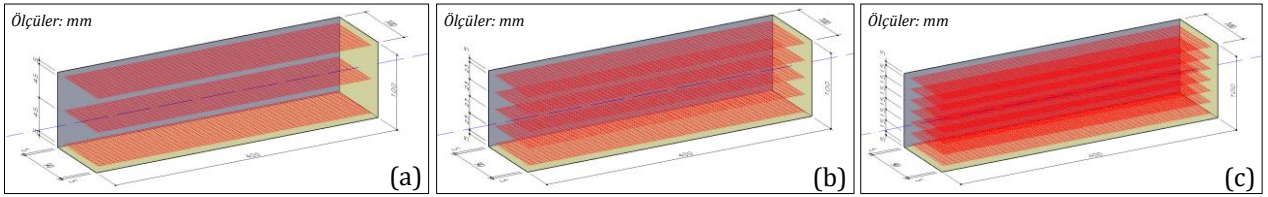
**Şekil 1. Çelik tel**



Şekil 2. Cam elyaf donatı filesi

## 2.2. Metot

Rastgele yönlenmiş olarak kullanılan cam ve çelik lifleri hacimce %0.5, %1 ve %1.5 oranlarında betona eklenmiştir. Tabakalı lif içeren betonlardaki lif hacmi ise rastgele yönlenmiş lifli betonlardaki lif hacmine yaklaşık eşit olacak şekilde 3, 5 ve 7 tabakalı (Şekil 3) üretilmiştir. Tabakalı lif içeren betonlarda en üst ve en alt liflerin beton yüzeyi ile yükseklik mesafesi 5 mm değerinde eşit tutulmuştur. 7 tabakalı lifli kompozitlerde tabakalar arası yükseklik mesafesi 15 mm, 5 tabakalı lifli kompozitlerde tabakalar arası yükseklik mesafesi 22.5 mm ve 3 tabakalı lifli kompozitlerde tabakalar arası yükseklik mesafesi ise 45 mm alınmıştır. Her bir tabakalı lifli kompozit gruplarından 3'er adet 100×100×400 mm boyutlu kiriş numuneler üretilerek eğilme deneyi uygulanmıştır



Şekil 3. Kompozit numunelerde lif tabakalarının yerleşimi ve boyutları [(a) 3 lif tabakalı kompozit, (b) 5 lif tabakalı kompozit, (c) 7 lif tabakalı kompozit]

### 2.2.1. Eğilme dayanımı

Tek noktalı eğilme deneyi (Şekil 4), 100×100×400 mm boyutlu kiriş numunelere TS EN 12390-5 [17] standardına uygun ve yükleme hızı 0.05 MPa/sn olacak şekilde uygulanmıştır.



Şekil 4. Tek noktalı eğilme deneyi

## 2.2.2. Beton karışım grupları

Lifli betonların üretiminde taze beton slump çökme değeri  $8\pm 1$  cm'de sabit tutulmuş olup herhangi bir kimyasal katkı kullanılmamıştır. Beton karışım hesabı TS 802 [16] standardına uygun olarak yapılmıştır. Beton gruplarına ait karışım miktarları Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 5.** Beton Karışım Grupları

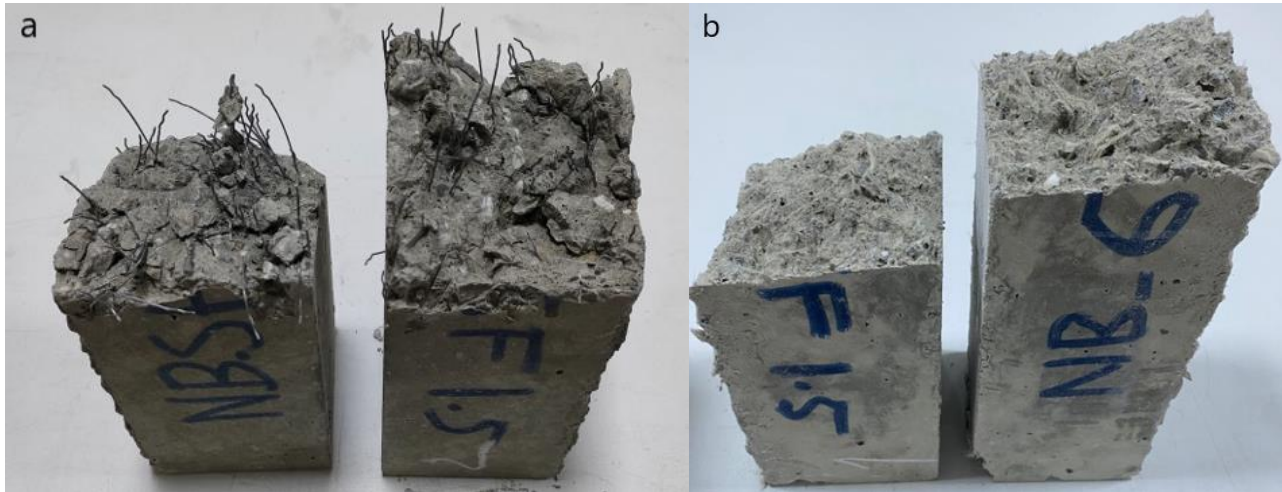
Gruplar	Malzeme Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )							Slump (cm)		
	Çimento	Agrega (mm)				Su Miktarı	Lif Hacmi (%)		Lif Miktarı	
		0-2	2-4	4-8	8-16					
K	491	441	213	307	567	240	-	-	8±1	
Rastgele Yönlendirilmiş Lifli Beton Grupları	CE0.5	491	441	213	307	567	Değişken	0.5	0.161	8±1
	CE1.0	491	441	213	307	567	Değişken	1.0	0.322	8±1
	CE1.5	491	441	213	307	567	Değişken	1.5	0.482	8±1
	ÇLK0.5	491	441	213	307	567	Değişken	0.5	0.471	8±1
	ÇLK1.0	491	441	213	307	567	Değişken	1.0	0.942	8±1
	ÇLK1.5	491	441	213	307	567	Değişken	1.5	1.413	8±1
Tabakalı Lifli Beton Kompozit Grupları	CE3T	491	441	213	307	567	240	≅0.5	≅0.161	8±1
	CE5T	491	441	213	307	567	240	≅1.0	≅0.322	8±1
	CE7T	491	441	213	307	567	240	≅1.5	≅0.482	8±1
	ÇLK3T	491	441	213	307	567	240	≅0.5	≅0.471	8±1
	ÇLK5T	491	441	213	307	567	240	≅1.0	≅0.942	8±1
	ÇLK7T	491	441	213	307	567	240	≅1.5	≅1.413	8±1

K: Kontrol Grubu, CE: Cam Elyafı Grup, ÇLK: Çelik Lifli Grup, 3T: 3 Tabakalı, 5T: 5 Tabakalı, 7T: 7 Tabakalı

## 3. Bulgular ve Tartışma

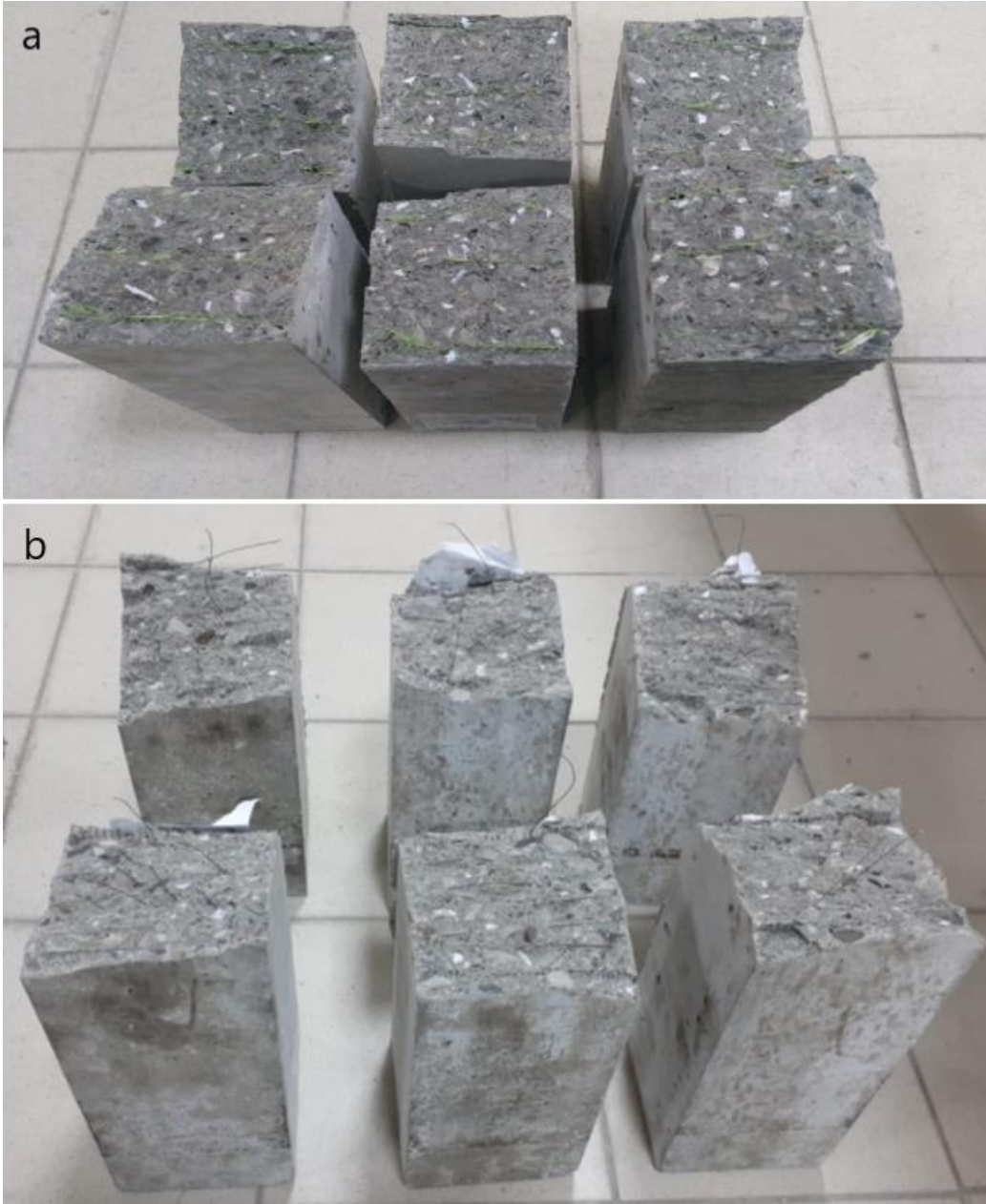
### 3.1. Eğilme dayanımı sonuçları

Eğilme deneyi uygulanan rastgele yönlendirilmiş lifli betonlara ve tabakalı lifli kompozitlere ait fotoğraflar Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde, rastgele yönlendirilmiş lifli betonlarda lif dağılımının tam homojen olmadığı fakat aynı taze beton işlenebilirliğe sahip olan tabakalı lifli kompozitlerde ise daha homojen bir görüntü oluştuğu görülmektedir.



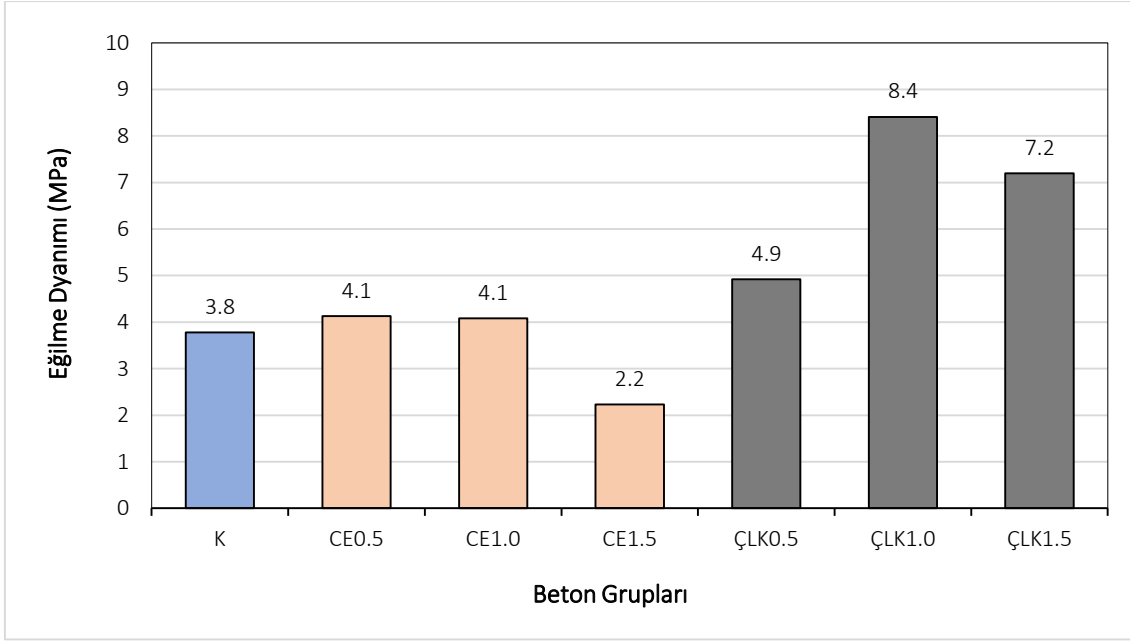
**Şekil 5.** Rastgele yönlendirilmiş lifli betonlar (Çelik lif-ÇLK1.5 (a), Cam elyafı-CE1.5 (b))





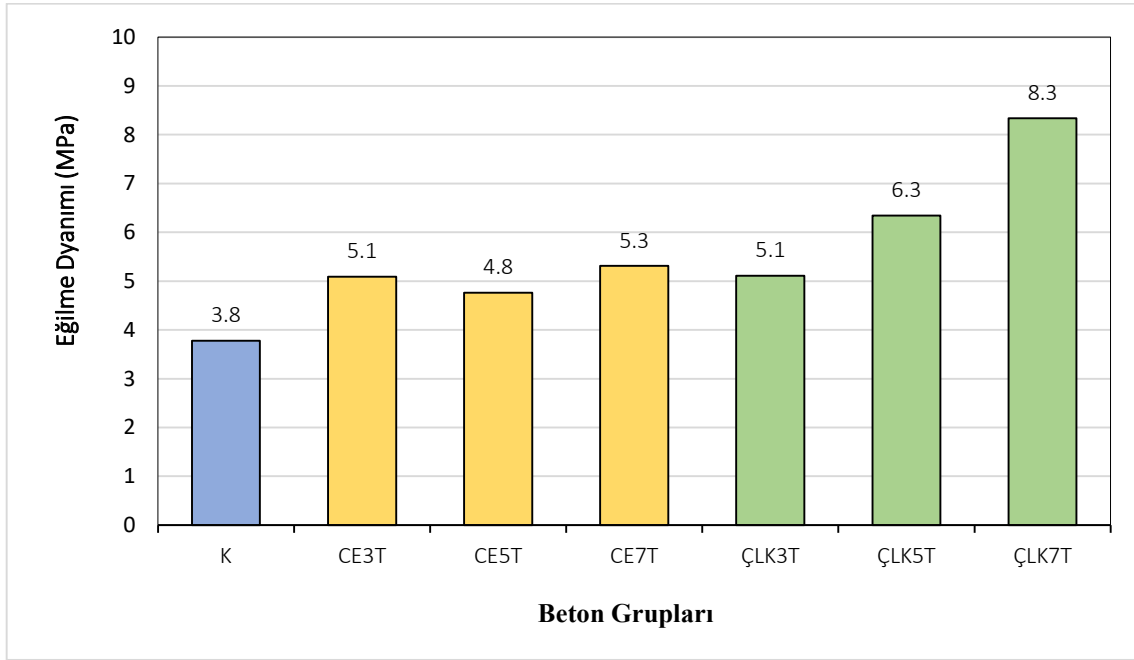
**Şekil 6.** Tabakalı lifli kompozitler (Cam elyafı-CE3T (a), Çelik tel-ÇLK7T (b))

Kontrol ve rastgele yönlendirilmiş beton numunelerine ait eğilme deneyi sonuçları Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, rastgele yönlendirilmiş şekilde betona katılan lifli gruplar içerisinde sadece CE1.5 grubunun eğilme dayanımı kontrol betonunun eğilme dayanımından düşük olduğu görülmektedir. Çelik lifli betonların eğilme dayanımı sonuçları, cam elyafı betonların eğilme dayanımı sonuçlarından daha yüksek olduğu belirlenmiş olup en yüksek eğilme dayanımı ÇLK1.0 beton grubunda elde edilmiştir. Aynı işlenebilirlikte üretilen hacimce %0.5 ve %1.0 oranlarında rastgele yönlendirilmiş olarak cam elyafı içeren betonların eğilme dayanımları arasında ciddi bir fark olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. Kontrol ve rastgele yönlenmiş lifli beton grupları

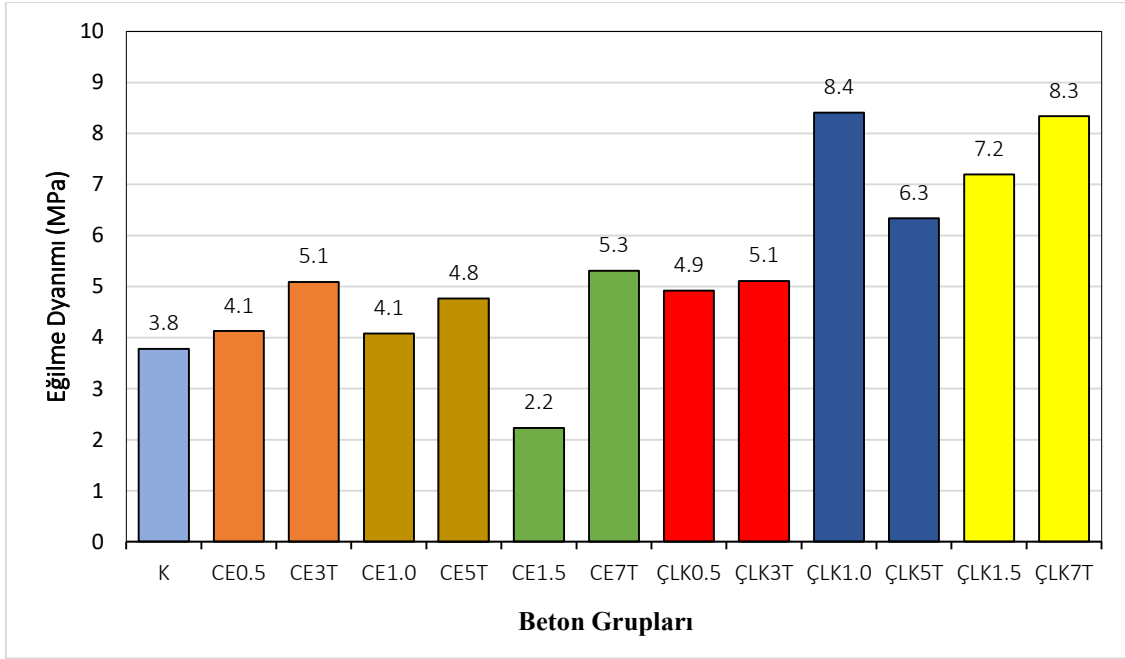
Kontrol ve tabakalı lifli beton numunelerine ait eğilme deneyi sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde, tüm tabakalı lifli beton gruplarının eğilme dayanımları kontrol betonunun eğilme dayanımından daha yüksek olduğu görülmektedir. Tabakalı cam elyafı içeren betonlarda tabaka sayısının eğilme dayanımında önemli bir değişikliğe sebep olmadığı, tabakalı çelik tel içeren betonlarda tabaka sayısı arttıkça eğilme dayanımının arttığı ve en yüksek eğilme dayanımının ise ÇLK7T grubunda (kontrol betonuna göre %121 oranında daha yüksek) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 8. Kontrol ve tabakalı lifli beton grupları

Şekil 9'da yönlenmiş lifli betonların ve tabakalı lifli betonların eğilme dayanımı sonuçları birlikte verilmiştir. Şekilde lif hacimleri yaklaşık eşit olan gruplar aynı renk ile gösterilmiştir. ÇLK1.0-ÇLK5T beton grubu hariç tüm tabakalı lifli beton gruplarının eğilme dayanımı sonuçları yaklaşık eş değer hacme sahip rastgele yönlenmiş lifli beton gruplarının eğilme dayanımı sonuçlarından fazladır. Herhangi bir kimyasal katkı kullanılmadan aynı taze beton işlenebilirliğine sahip tabakalı lifli üretimin eğilme dayanımını, cam elyafı donatı filesi kullanımında minimum %26 maksimum %41, çelik tel kullanımında ise minimum %35 maksimum %121 oranında artırdığı belirlenmiştir. Su/Çimento oranı sabit tutularak gerçekleştirilen lifli beton üretimlerinde lif hacminin artışına bağlı olarak taze beton işlenebilirliğinin azaldığı [18-20] bilinmektedir.

Üretilen herhangi bir betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından yeterli işlenebilirliğe sahip olması oldukça önemlidir. Rastgele yönlenmiş lifli betonlarda sabit işlenebilirliği sağlayabilmek için karışımın su miktarı artmış ve bu durum yeterli işlenebilirliğe sahip olan lifli betonda dayanım kaybına sebep olmuştur. Tabakalı lifli kompozit beton karışımlarında yeterli işlenebilirlik için karışım suyu artırılmasına veya herhangi bir kimyasal katkı kullanılmasına ihtiyaç duyulmaksızın üretim yapılabileceği belirlenmiştir. Tabakalı lifli beton kompozitlerin lif sürekliliği açısından daha homojen bir yapı (Şekil 5 ve Şekil 6) sağladığı görülmüştür. Öte yandan, lif hacminin yaklaşık %0.5 oranına eşit olduğu tabakalı cam elyafı CE3T beton grubunun eğilme dayanımı, lif hacminin %1.5 olduğu CE1.5 grubundan daha yüksektir. Bu durum, tabakalı cam elyafı beton kompozitlerin düşük hacimde bile olsa yeterli dayanıma ulaşabileceğini ve böylece kullanılacağı yapıya gelecek yüklerin azalabileceğini göstermektedir.



Şekil 9. Rastgele yönlenmiş ve tabakalı lifli beton grupları

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada kontrol betonuna ek olarak rastgele yönlenmiş lifli betonlar ve tabakalı lifli betonlardan oluşan toplam 13 farklı beton grubu üretilmiştir. Üretilen bu beton gruplarında işlenebilirlik aynı değerde (eşit slump değeri) tutulmuş ve numunelere eğilme deneyi uygulanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenirse;

- ✓ Tabakalı lifli beton kompozitlerin eğilme dayanımlarının, aynı işlenebilirliğe sahip rastgele yönlenmiş lifli betonların eğilme dayanımlarından lif türü fark etmeksizin büyük oranda daha yüksek olduğu görülmüştür.
- ✓ Tabakalı lifli beton kompozitlerin üretiminde yüksek eğilme dayanımı ve uygun işlenebilirlik için herhangi bir kimyasal katkı kullanımının gerekmediği belirlenmiştir.
- ✓ Tabakalı lifli beton kompozitlerin lif sürekliliği açısından daha homojen bir yapı sağladığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Tabakalı çelik telli beton kompozitlerin eğilme dayanımlarının, tabakalı cam elyafı beton kompozitlerin eğilme dayanımlarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Yaklaşık lif hacmi %0.5'e eşit 3 tabakalı olarak üretilen cam elyafı kompozit betonun eğilme dayanımının, %1.5 oranında rastgele yönlenmiş lif içeren betonun eğilme dayanımından daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- ✓ Tabakalı cam elyafı beton kompozitlerde tabaka sayısının eğilme dayanımında ciddi oranda bir değişikliğe sebep olmadığı belirlenirken, tabakalı çelik telli beton kompozitlerde ise tabaka sayısı ile eğilme dayanımı arasında doğru orantılı bir artış olduğu görülmüştür.

#### Kaynakça

- [1] Zhu, Y., Zhang, Y., Hussein, H. H., Chen, G. 2020. Flexural strengthening of reinforced concrete beams or slabs using ultra-high performance concrete (UHPC): A state of the art review. Engineering Structures, 205(2020).



- [2] Bayasi, Z., Soroushian, P. 1992. Effect of steel fiber reinforcement on fresh mix properties of concrete. Technical Paper ACI Materials Journal, 89(1992).
- [3] Jorna, M. C., Flores, M. N., Serna, P. 2023. Influence of short-term operating temperatures on compression and flexural behaviour of Macro Synthetic and Steel Fibre Reinforced Concretes. Journal of Building Engineering, 67(2023).
- [4] Li, S. X., Tang, L., Shi, W.Y., Zhong, C.C. 2020. Experimental investigation on hydro abrasive erosion of steel fiber UHPC and rubber UHPC. Adv. Mater. Sci. Eng., 6(2020), 1-10.
- [5] Chu, H.Y., Yu, Z., Wang, F.J., Feng, T.T., Wang, L.G. 2020. Effect of graphene oxide on mechanical properties and durability of ultra-high-performance concrete prepared from recycled sand. Nanomaterials, 10(2020), 1-17.
- [6] Kim, J.J., Yoo, D.Y. 2019. Effects of fiber shape and distance on the pullout behavior of steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete. Cement and Concrete Composites, 103(2019), 213-223.
- [7] Chen, X., Wan, D.W., Jin, L.Z., Qian, K., Fu, F. 2019. Experimental studies and microstructure analysis for ultra high-performance reactive powder concrete. Construction and Building Materials, 229(2019).
- [8] Yıldız, S., Bölükbaş, Y., Keleştemur, O. 2010. Cam elyaf katkısının betonun basınç ve çekme dayanımı üzerindeki etkisi. Politeknik Dergisi, 13(2010), 239-243.
- [9] Ali, B., Qureshi, L. A. 2019. Influence of glass fibers on mechanical and durability performance of concrete with recycled aggregates. Construction and Building Materials, 228(2019).
- [10] Lv, Y., Cheng, H. M., Ma, Z. G. 2012. Fatigue performances of glass fiber reinforced concrete in flexure. Procedia Engineering, 31(2012), 551-556.
- [11] Namdar, A., Zakaria, I.B., Hazeli, A.B., Azimi, S.J., Razak, A.S.B.A., Gopalakrishna, G.S. 2013. An experimental study on flexural strength enhancement of concrete using small steel fibers. Frattura ed Integrità' strutturale, 26(2013), 22-30.
- [12] Pajak, M., Ponikiewski, T. 2017. Experimental investigation on hybrid steel fibers reinforced self-compacting concrete under flexure. Procedia Engineering, 193(2017), 218-225.
- [13] Mohammad, S. A., Krishna, T. N. C., Saketh, T., Ganesh, C. Y., Sathyan, D. 2022. Fresh and hardened state properties of waste tire fiber and steel fiber reinforced concrete. Materials Today: Proceedings, in press.
- [14] Yaprak, H., Şimşek, O., Öneş, A. 2004. Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi. Politeknik Dergisi, 7(2004), 353-358.
- [15] Kumar, Y. N., Kumar, B. D., Swami, B. L. P. 2022. Mechanical properties of geopolymer concrete reinforced with steel and glass fibers with various mineral admixtures. Materials Today: Proceedings, 52(2022), 632-641.
- [16] TS 802. 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları. Türk Standartları Enstitüsü, (2016), Türkiye.
- [17] TS EN 12390-5. 2019. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, (2019), Türkiye.
- [18] Yıldız, S., Keleştemur, M. H. 2000. Cam lif katkısının beton dayanımına etkisi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2000), 373-381.
- [19] Orhan, M. 2018. Çelik liflerin beton ve donatı arasındaki aderansa etkisi. KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Konya.
- [20] Topçu, İ. B., Boğa, A. R. 2005. Uçucu kül ve çelik liflerin beton ve beton borularda kullanımı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(2005).