

Alkali Dayanımlı Cam Elyaf Kullanımının Beton Dayanımına Etkisi

Mutlu KURBAN^{1,a}

¹Çukurova Üniversitesi, AOSB Teknik Bilimler MYO, Tekstil Teknolojisi Programı, Adana, Türkiye

^aORCID: 0000-0001-9132-0349

Makale Bilgileri

Geliş : 10.12.2025

Kabul : 12.02.2026

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1840045

Sorumlu Yazar

Mutlu KURBAN

mkurban@cu.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Cam elyaf

Elyaf takviyeli beton

Basınç dayanımı

Eğilme dayanımı

Auf şekli: KURBAN, M., (2026). Alkali Dayanımlı Cam Elyaf Kullanımının Beton Dayanımına Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 41(1), 155-164.

ÖZ

Elyaf takviyeli beton (ETB), geleneksel betonun kırılma doğasını, içine rastgele dağıtılmış kısa elyaflarla aşarak malzemenin performansını önemli ölçüde artıran bir yapı elemanıdır. Bu takviye, özellikle çekme, eğilme ve darbe dayanımında iyileşmeler sağlar ve çatlak oluşumunu kontrol altına alarak betonun sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini artırır. Bu avantajlar sayesinde ETB, yol kaplamaları, endüstriyel zeminler, tünel kaplamaları ve depreme dayanıklı yapılar gibi yüksek performans gerektiren alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada iki ticari firmanın cam elyafı, 2 farklı uzunluk ve 4 farklı elyaf hacim oranında beton takviyesinde kullanılmıştır. Üretilen numunelere basınç ve eğilme dayanımı uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Hacimce %0,3 elyaf kullanıldığında en iyi basınç ve eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Kırılma enerjisinde sehimi etkisi nedeniyle en iyi değerler %0,2 ve %0,3 elyaf hacim oranlarında elde edilmiştir.

Effect of Alkali-Resistant Glass Fiber Using on Concrete Strength

Article Info

Received : 10.12.2025

Accepted : 12.02.2026

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1840045

Corresponding Author

Mutlu KURBAN

mkurban@cu.edu.tr

Keywords

Glass fiber

Fiber reinforced concrete

Compressive strength

Flexural strength

How to cite: KURBAN, M., (2026). Effect of Alkali-Resistant Glass Fiber Using on Concrete Strength. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 41(1), 155-164.

ABSTRACT

Fiber-reinforced concrete (FRC) is a structural element that overcomes the brittle nature of conventional concrete by incorporating randomly distributed short fibers, significantly enhancing the material's performance. This reinforcement provides improvements in tensile, flexural, and impact strengths, and controls crack formation, enhancing concrete's ductility and energy absorption capacity. Thanks to these advantages, FRC is widely used in high-performance applications such as road pavements, industrial floors, tunnel linings, and earthquake-resistant structures. In this study, fiberglass from two commercial companies was used in concrete reinforcement in two different lengths and four different fiber volume ratios. The produced samples were subjected to compressive and flexural strength tests, and the results were evaluated. The best compressive and flexural strength values were obtained when using 0.3% fiber by volume. Due to the deflection effect on fracture energy, the best values were obtained at 0.2% and 0.3% fiber volume ratios.

1. GİRİŞ

Bileşenleri ele alındığında tarihi çok eskiye dayanan beton, modern mimari formların geliştirilmesinde kalıcı bir etki yaratmaktadır. Portland çimentosunun icadı modern beton gelişiminin başlangıç yılı olarak kabul edilmiş ve bu dönemden günümüze kadar beton temel yapı malzemesi olarak kullanılmıştır [1]. Çimento, agrega, su, kimyasal ve mineral katkıların karışımıyla elde edilen beton günümüzde de yaygın kullanılan bir yapı malzemesidir [2]. Beton, doğası gereği sadece basınç kuvvetlerine karşı dayanıklıdır; çekme, kesme ve burkulma etkilerinde yetersiz kalır. Bu nedenle betonun, sünek bir malzeme olan çelikle bir arada kullanılmasıyla, her iki malzemenin avantajlarını birleştiren betonarme yapılar geliştirilmiştir. Ancak çeşitli çevresel faktörler nedeniyle donatıda meydana gelen korozyon inşaat sektörünün en büyük problemlerinden birini oluşturmaktadır. Korozyonla birlikte beton ve donatı arasındaki aderans yok olmakta ve donatı işlevini gösterememektedir [3]. Günümüzde de çeşitli tekstil lifleri betonların dayanımını artırmak için kullanılmaktadır [2]. Beton takviyesinde çelik kullanımından kaynaklanan problemlerden ötürü son dönemlerde korozyon dayanımına sahip olmasından dolayı Elyaf Takviyeli Polimerler (ETP) - Fiber Reinforced Polymers (FRP) çelik donatılara alternatif olarak takviye malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yapıların yüksek dayanım özellikleri, yoğunluğunun çeliğe göre düşük olması ve çeşitli kimyasal etkilere karşı yüksek dayanımı sayesinde endüstriyel alandaki kullanımlarda geniş yer bulmuştur [3].

ETB (FRC), matris içerisinde rastgele dağılmış lifler içeren kompozit bir yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır. 1960'lı yıllardan itibaren yoğun akademik ve endüstriyel ilgi odağı haline gelen ETB, başlangıçta öngörülenin ötesinde bir gelişim göstererek modern beton teknolojisinde stratejik bir konum elde etmiştir. Günümüzde konu üzerine üretilen geniş literatür hacmi ve süreklilik arz eden uluslararası bilimsel organizasyonlar, ETB'nin teknolojik gelişim potansiyeline olan yüksek düzeydeki ilginin güncelliğini koruduğunu teyit etmektedir [4]. ETB, çeşitli özelliklerinin geliştirmek için karışımına farklı türde ve oranda liflerin katılması ile elde edilen özel betonlardır. Beton karışımlarında başlıca; cam, çelik, polimer ve karbon lifler kullanılmaktadır [5,6].

Beton takviyesinde yaygın olarak kullanılan cam elyaf hem elyaf hem de fitil formunda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [7]. Özel üretim bir yapı malzemesi olan cam elyaf takviyeli beton, uluslararası literatürde GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete) olarak bilinmektedir. İnce agrega, yüksek oranda çimento karışımı, cam elyafı ve polimer katkının özel kalıplara püskürtülmesi veya dökülmesi suretiyle GFRC üretimi gerçekleştirilir [8]. Uygulama türüne göre içine; beyaz çimento, silis kumu, alkaliye dayanıklı cam fiber, su, plastik polimer, pigmentler, mermer tozu, ayna sırrı parçaları gibi farklı katkıları da eklenerek üretim şekillendirilebilmektedir [9].

GFRC sahip olduğu dayanım ve mukavemet sayesinde uzun yıllar kullanılabilen bir yapı malzemesidir. Sahip olduğu yüksek doluluk oranı ve düşük geçirgenlik sayesinde yapıların cephelerinde kullanılması durumunda su geçirmez özellik sağlamaktadır. Klasik uygulamada kullanılan çelik donatı yerine cam elyafı kullanılması durumunda kesitler incelmekte ve böylelikle binaya binen yük oldukça azalmaktadır. Ayrıca malzemenin hafifliği sayesinde montaj kolaylığını da sağlamaktadır [9].

Yapılan araştırmalar çimento matrisinin sahip olduğu yüksek alkali ortam nedeniyle cam elyaf liflerinde aşınmalar meydana geldiğini göstermiştir [10]. Ortaya çıkan bu problem nedeniyle beton içerisinde kullanılması için alkali dayanımı yüksek olan cam lifleri üretilmiştir [11]. Örneğin su/çimento oranı 0,32 olan bir beton harcı, alkali dayanımı cam elyafı ile bir araya gelerek normal betona göre basınç, eğilme ve darbe dirençleri oldukça yüksek olan beton karışımları oluşturur. Karışımda kullanılan alkali dayanımlı cam lifler donatı görevi üstlendiğinden harcın içerisine demir ya da çelik donatı konulmasına gerek kalmamaktadır. Bu avantajları nedeniyle GRFC'ler, 1-1,5 cm gibi ince denilebilecek kalınlıkta ve sınırsız tasarım olanaklarında üretilebilmektedir. Ayrıca düşük ağırlıkta olması itibarıyla üretim, montaj ve nakliye kolaylığı sağlamaktadır [12,13].

Sanjeev ve Sai Nitesh (2020)'nin yürüttükleri çalışma cam elyaf takviyeli beton numunelerin takviyesiz numunelere göre daha iyi mekanik performans özellikleri gösterdiğini ortaya koymuştur [14]. Yapılan diğer

bir çalışmada ise cam elyaf takviyesinin betonun basınç, yarmada çekme mukavemeti ve eğilme mukavemet değerlerinde belirgin birer artışa neden olduğunu ortaya koymuştur [15]. Yıldız ve ark. (2010)'daki çalışmalarında 5-10 kg/m³ dozajlı cam elyaf kullanılarak üretilen numunelerin çekme dayanımının kontrol numunesine göre daha yüksek çıktığı görülmüştür [16]. Hacimce %0.25, %0.5, %0.75 ve %1 oranlarında cam elyaf kullanımının gerçekleştiği çalışmada en yüksek eğilme dayanımı % 0.5 cam elyafı kullanılan beton numunelerde [17] ve hacimce %0.6, %0.8 ve %1 oranlarında cam elyafı kullanılmış başka bir çalışmada ise en yüksek eğilme dayanımı %1 oranında cam elyaf kullanılmış beton numunelerde elde edilmiştir [18].

Yürütülen çalışmada; tekstil takviyeli beton üretiminde kullanımı uygun olan alkali dayanımlı cam elyafın iki farklı uzunluk ve dört farklı hacim oranında kullanımının betonun performans özellikleri üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kıyaslama yapmak amacıyla piyasada kullanılan iki farklı ticari alkali dayanımlı cam elyaf kullanılmış ve bu elyaflar ile üretimi gerçekleştirilen numunelerin performans özellikleri kıyaslanmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışmada beton takviyesi için 6 ve 12 mm uzunluklarında alkali dayanımlı cam elyaf kullanılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla Owens Corning ve Nippon Electric Glass firmalarının elyafları kullanılmış olup teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde Owens Corning alkali dayanımlı cam elyafı OC olarak, Nippon Electric Glass alkali dayanımlı cam elyafı NEG olarak kodlanıp kullanılmıştır.

Çizelge 1. Materyallerin teknik özellikleri

Elyaf türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
OC	2,68	1000 <	72
NEG	2,8	1500	74

Elyaf takviyeli beton kompozit bir yapı olup takviye bileşenini tekstil elyafı oluştururken matris bileşenini ise beton oluşturmaktadır. Beton karışımı için çimento, uçucu kül, agrega, yüksek akışkanlaştırıcı ve su kullanılmış olup beton reçetesi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Beton reçetesi

Bileşen	Agrega	Çimento	Uçucu kül	Kimyasal katkı	Su	Toplam
Türü	0-500 µ	CEM II/A-S 42.5 R (Oyak Çimento)	İSKEN	Yüksek akışkanlaştırıcı (Ultraton-Polisan)	Şebeke suyu	
Miktar (kg/m³)	1133	480	240	12,96	270	2135,96

2.2. Metot

Yürütülen çalışmada alkali dayanımlı cam elyaf türünün ve kullanım oranının beton dayanımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 6 ve 12 mm uzunluğundaki OC ve NEG alkali dayanımlı cam elyaftan hacimce % 0,1-0,2-0,3-0,4 oranında kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Elyaf takviyesinin etkisini gözlemllemek için de elyaf takviyesi olmayan karışım ile birlikte toplam 17 beton karışımı hazırlanmıştır. Beton karışımının hazırlanması aşamasında önce katı malzemeler tartılmış ve mikser ile karışım için hazır edilmiştir. Katı malzemelerin karıştırılmasından 2 dk sonra cam elyaf ilave edilmiş (Şekil 1a) ve homojen bir karışım oluncaya kadar 2 dk boyunca karıştırma işlemi devam edilmiştir. Homojen bir karışımın elde edilmesinin ardından karışım için hesaplanan suyun üçte ikisi yavaş yavaş karışıma dökülür ve 2 dk daha karıştırmaya devam edilmiştir. Sonrasında kimyasal katkı olarak kullanılacak yüksek akışkanlaştırıcı karışıma yavaş yavaş ilave edilmiş ve bu şekilde 2 dk daha karıştırılmıştır. Son olarak kalan su karışıma ilave edilerek 2 dk daha karıştırmaya devam edilmiş (Şekil 1b) ve homojen beton karışımı hazırlanmıştır.



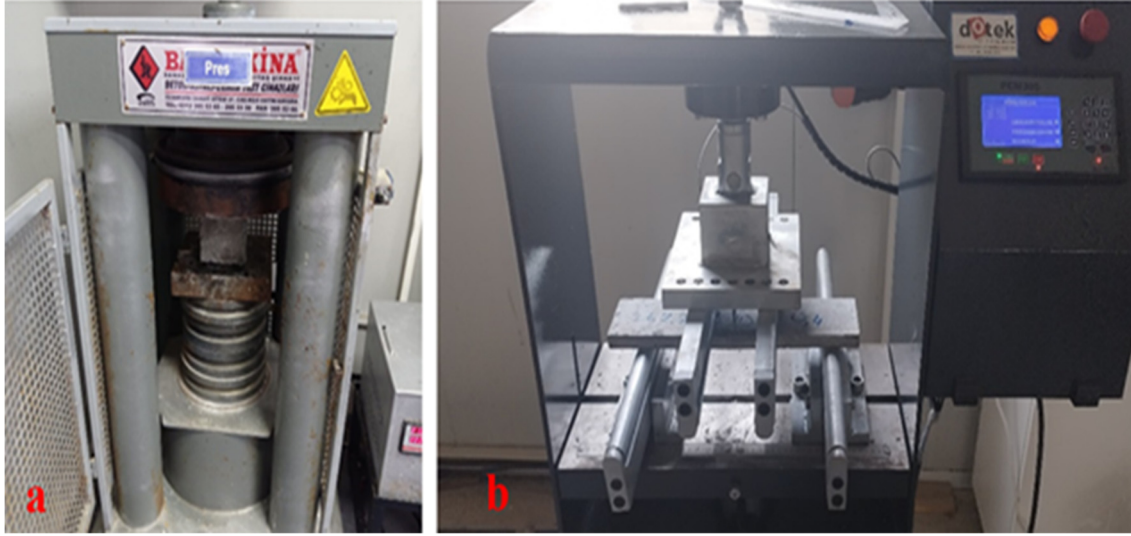
Şekil 1. a) Beton karışımına elyaf ilavesi b) Beton karışımın mikserle hazırlanması

Hazırlanan beton karışımın dayanımının belirlenmesi için küp ve kiriş numuneler hazırlanmıştır. Basınç dayanımının belirlenebilmesi için 100x100x100 mm ebatlarında 3'er adet küp ve eğilme dayanımının belirlenebilmesi için de 400x100x20 mm ebatlarında 4'er adet kiriş numuneler hazırlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Küp ve kiriş beton numuneleri

Beton karışımı kalıplara dökülüp numuneler hazırlandıktan sonra kuruması için 24 saat bekletilir ve sonrasında kalıplardan çıkartılır. Kalıplardan çıkartılan numuneler numaralandırılır ve kürlenmesi için 20°C sıcaklıktaki su bulunan havuza yerleştirilir. 28.günlük kürlenme süresi sonunda numuneler havuzdan çıkartılır ve kuruduktan sonra ilgili testler uygulanır. Küp numunelere TS EN 12390-3 [19] standardına göre basınç dayanımı test cihazında (Şekil 3a) basınç dayanımı deneyi uygulanır. Kiriş numunelere ise TS EN 12390-5 [20] standardına göre eğilme dayanımı test cihazında (Şekil 3b) dört nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanır.



Şekil 3. a) Basınç dayanımı test cihazı, b) Eğilme dayanımı test cihazı

Eğilme dayanımı TS EN 12390-5 standardında belirtilen Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

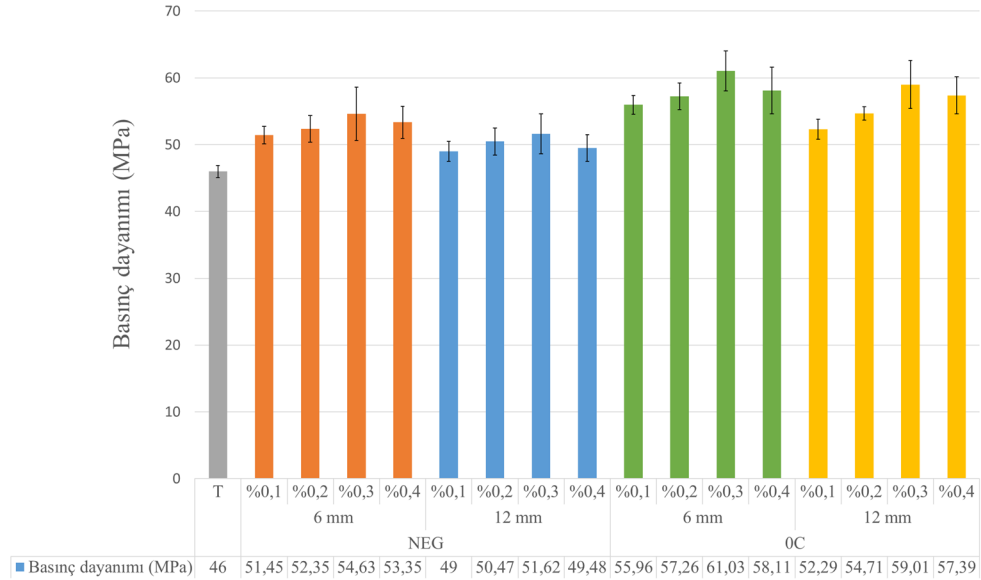
$$\sigma = \frac{(Pl)}{(bh^2)} \quad (1)$$

Eşitlikte; eğilme dayanımı σ (MPa) , kırılma yükü P (N), mesnetler arası mesafe l (mm), numune genişliği b (mm) ve numune kalınlığı h (mm) ile gösterilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Basınç Dayanımı

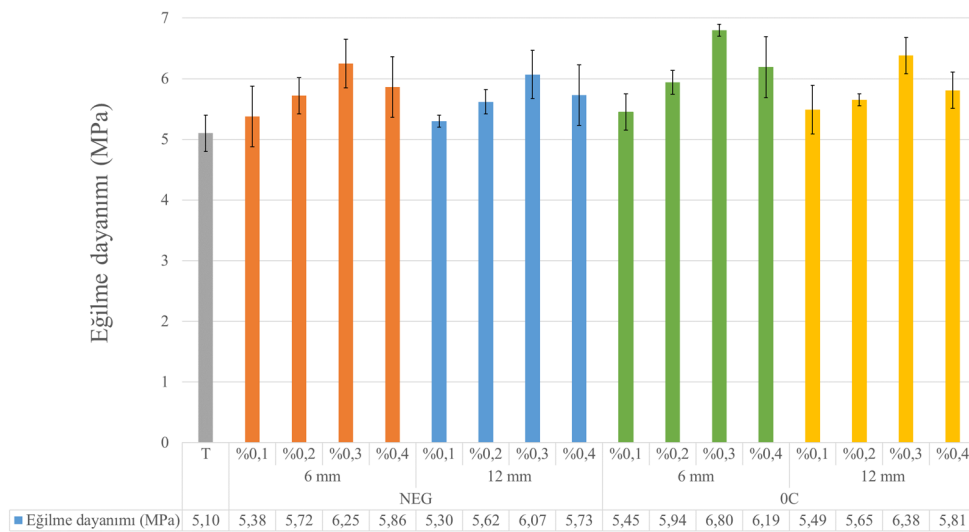
Şekil 4'de elyaf takviyeli beton numunelerin basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla takviyesiz beton numunesinin de test sonuçlarına yer verilmiştir. Grafik incelendiğinde her bir takviye türünün ve takviye oranının betonun basınç dayanımına katkı sağladığı görülmüştür. Elyaf türleri karşılaştırıldığında OC cam elyafın NEG cam elyafa göre daha yüksek basınç dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Her iki elyaf tipinin sahip olduğu zirkonyum miktarının ve beton içerisindeki karakteristik özelliklerinin bu farka neden olduğu düşünülmektedir. Elyaf takviyeli sistemlerde, bileşimdeki zirkonyum oranının beton içindeki elyafın alkali dayanımı üzerindeki belirleyici rolü Daskiran ve arkadaşları [21] tarafından rapor edilmiştir. Söz konusu kimyasal içeriğin, beton matrisi içerisindeki lif bütünlüğünü koruyarak yapısal dayanımı artırdığı saptanmıştır. Elyaf türleri kendi içerisinde karşılaştırıldığında ise aynı elyaf hacim oranında 6 mm elyaf takviyeli beton numunelerin daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği görülmüştür. Elyaf uzunluğunun kısılması karışım içine girecek elyaf miktarını bu da beton-lif bağlantı sayısını artırmıştır. Kullanılan elyaf oranının etkisi incelendiğinde her iki elyaf türü ve uzunluğu için de en yüksek basınç dayanımı değerlerinin hacimce %0,3 elyaf kullanılması durumunda elde edildiği görülmüştür. Takviye için kullanılan elyafın hacim oranı arttıkça basınç dayanımı artmış %0,3'ten sonra Zhang ve arkadaşları [22] çalışmasındaki gibi azalışa geçmiştir. Elyaf katkı oranının artırılması, Hu ve arkadaşları [23] çalışmasında da gözlemlendiği üzere, basınç dayanımında her zaman doğru orantılı bir artış sağlamamış; aksine belirli bir dozajın üzerinde dayanım değerlerinde duraklama veya azalma kaydedilmiştir. Her bir grubun en yüksek basınç dayanımı veren numuneleri takviyesiz numune ile karşılaştırıldığında; NEG cam elyaf kullanılması durumunda 6 mm'li numuneler %18,8, 12 mm'li numuneler %12,2; OC cam elyaf kullanılması durumunda ise 6 mm'li numuneler %32,7, 12 mm'li numuneler %28,3 basınç dayanımı artışı sağlamıştır.



Şekil 4. Elyaf takviyeli beton numunelerin basınç dayanımları

3.2. Eğilme Dayanımı

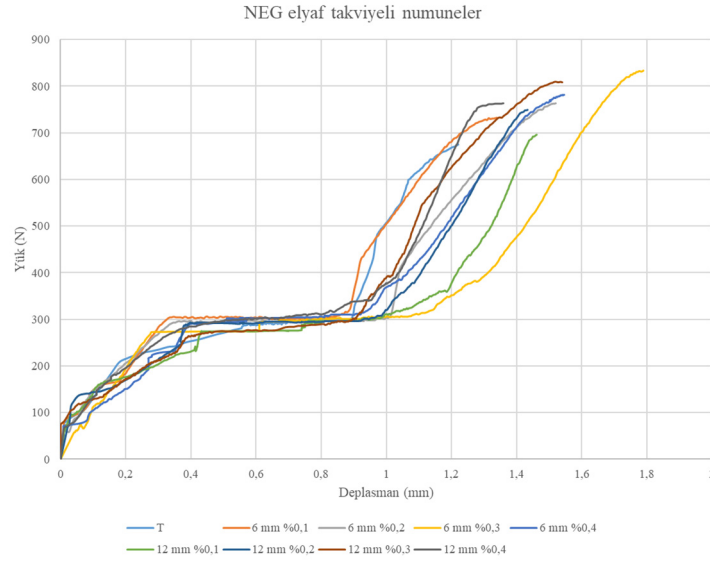
Şekil 5’de elyaf takviyeli beton numunelerin eğilme dayanımı değerleri verilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla takviyesiz beton numunesinin de test sonuçlarına yer verilmiştir. Basınç dayanımında olduğu gibi eğilme dayanımı için de her bir takviye türünün ve takviye oranının betonun eğilme dayanımına katkı sağladığı görülmüştür. Elyaf türleri karşılaştırıldığında aynı elyaf uzunluğu ve elyaf hacminde OC cam elyafın NEG cam elyafa göre daha yüksek eğilme dayanımı değeri verdiği görülmektedir. Elyaf türleri kendi içerisinde karşılaştırıldığında ise aynı elyaf hacim oranında 6 mm elyaf takviyeli beton numunelerin daha yüksek eğilme dayanımı gösterdiği görülmüştür. Elyaf takviyesinin beton eğilme dayanımına etkisi basınç dayanımı ile benzerlik göstermiştir. Beton takviyesinde elyaf kullanımı Moawad ve El-Hanafy [24] ve Lee ve arkadaşları [25] çalışmalarındaki benzer şekilde yük taşıma kapasitesi ve eğilme dayanımı artmıştır. Kullanılan elyaf oranının etkisi incelendiğinde her iki elyaf türü ve uzunluğu için de en yüksek eğilme dayanımı değerlerinin hacimce %0,3 elyaf kullanılması durumunda elde edildiği görülmüştür. Takviye için kullanılan elyafın hacim oranı arttıkça eğilme dayanımı artmış %0,3’ten sonra azalışa geçmiştir. Her bir grubun en yüksek eğilme dayanımı veren numuneleri takviyesiz numune ile karşılaştırıldığında; NEG cam elyaf kullanılması durumunda 6 mm’li numuneler %22,5, 12 mm’li numuneler %19; OC cam elyaf kullanılması durumunda ise 6 mm’li numuneler %33,3, 12 mm’li numuneler %25,1 eğilme dayanımı artışı sağlamıştır.



Şekil 5. Elyaf takviyeli beton numunelerin eğilme dayanımları

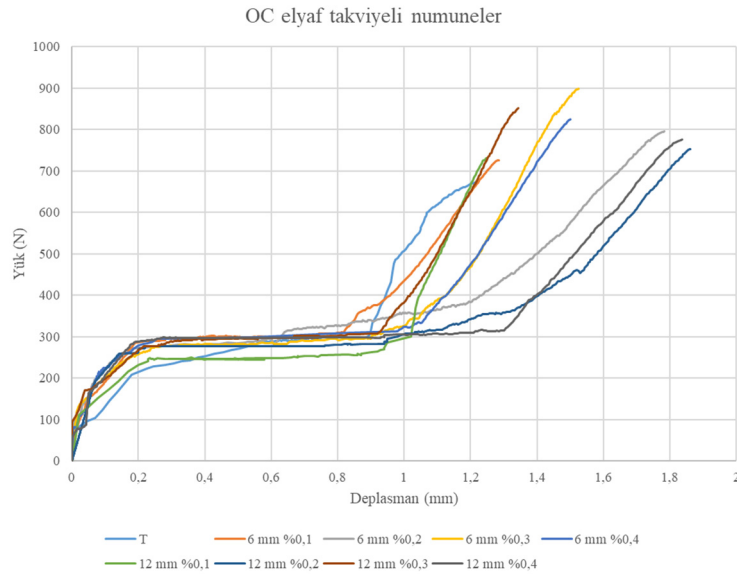
3.3. Yük-Deplasman Grafikleri

Eğilme deneyi sırasında numunelere uygulanan yük ve oluşan sehim değerlerinden yük-deplasman grafikleri oluşturulmuştur. NEG elyaf takviyeli numunelerin grafiklerine Şekil 6'da, OC elyaf takviyeli numunelerin grafiklerine ise Şekil 7'de yer verilmiştir. Yaltay ve arkadaşları [26] çalışmalarına benzer şekilde lif oranı arttıkça eğrilerin ulaştığı maksimum yük değerleri de artmıştır. Grafikler incelendiğinde numunelerin benzer bir eğilimde olduğu görülmektedir. Şekil 6 incelendiğinde NEG elyaf takviyesinin beton numunenin yük taşıma kapasitesini artırdığı görülmüştür. Ayrıca elyaf takviyesi ile birlikte oluşan sehim değerlerinde az da olsa artış görülmüştür. 6 mm uzunluğundaki NEG elyafın hacimce %0,3 kullanıldığı numuneler en büyük yük ve sehim değerini vermiştir.



Şekil 6. NEG elyaf takviyeli beton numunelerin yük-deplasman grafikleri

Şekil 7 incelendiğinde OC elyaf takviyesinin de NEG elyaf takviyesindeki gibi beton numunelerin yük taşıma kapasitesini artırdığı görülmüştür. Ancak sehim değerlerindeki artış NEG elyaf kullanımından daha fazla olmuştur. 6 mm uzunluğundaki OC elyafın hacimce %0,3 kullanıldığı numuneler en büyük yük değerini vermiştir. Numuneler arasında 6 mm %0,2 hacimce, 12 mm %0,2 ve %0,3 hacimce elyaf takviyeli numuneler en büyük deplasman değerlerini vermiştir.



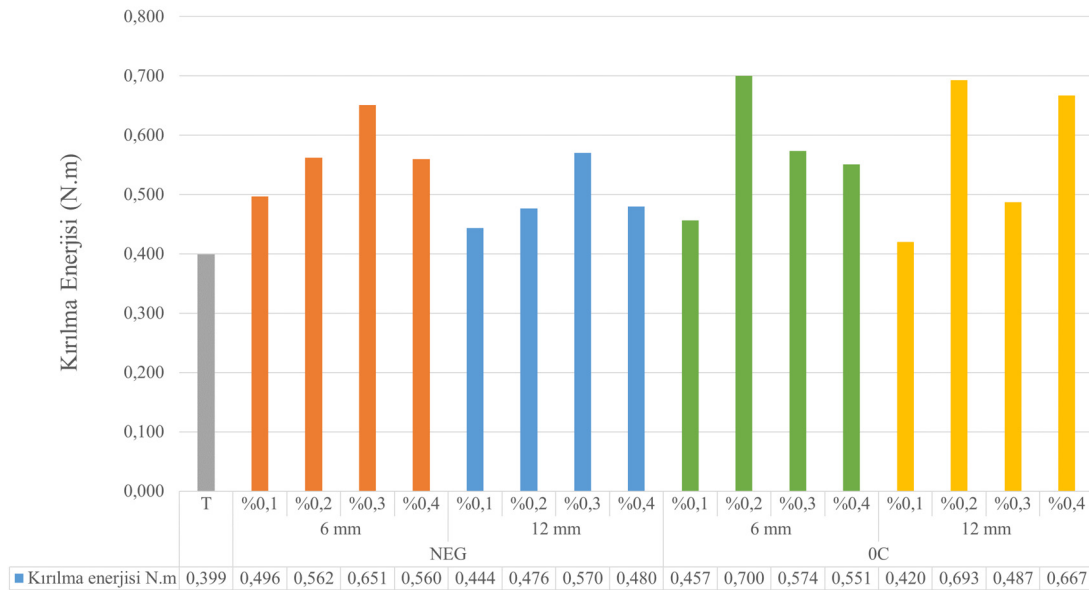
Şekil 7. OC elyaf takviyeli beton numunelerin yük-deplasman grafikleri

3.4. Kırılma Enerjileri

Beton numunelerin kırılma enerjilerinin tayininde, eğilme deneyi neticesinde elde edilen yük-deplasman eğrilerinin altında kalan alanlar esas alınmıştır. Bu alanların hesaplanmasında; geometrik yaklaşıma dayalı Trapez Yöntemi, eğriselliği ikinci dereceden parabollerle modelleyen Simpson 1/3 Yöntemi ve veri noktalarına en uygun matematiksel modelin tatbik edildiği Eğri Uydurma (Curve Fitting) İntegral Yöntemi olmak üzere üç farklı nümerik yaklaşım kullanılmıştır [27,28].

Her bir yöntemin hesaplama hassasiyeti ve algoritmik karmaşıklığı farklılık gösterse de, yapılan analizler neticesinde üç yöntemle elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel olarak belirgin bir fark saptanmamıştır. Bu bağlamda, hesaplama kaynaklı hata payını minimize etmek ve sonuçların güvenilirliğini artırmak amacıyla, kırılma enerjisi değerleri bu üç yöntemin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Şekil 8’de elyaf takviyeli beton numunelerin kırılma enerjisi değerlerine yer verilmiştir. Elyaf takviyesinin etkisini gözlemlemek için takviyesiz beton numunesinin de hesaplamasına yer verilmiştir. Basınç ve eğilme dayanımında olduğu gibi kırılma enerjisi için de her bir takviye türünün ve takviye oranının Guler ve arkadaşları [29] ile Kurban ve arkadaşları [30] çalışmalarındaki gibi betonun kırılma enerjisine katkı sağladığı görülmüştür. Elyaf türleri karşılaştırıldığında aynı elyaf uzunluğu ve elyaf hacminde basınç ve eğilme dayanımında olduğu gibi OC cam elyafı her numunede en iyi kırılma enerjisi değerini vermemiştir. Bu farklılık numunelerin eğilme deneyinde göstermiş olduğu sehim farklılıklarından ortaya çıkmaktadır. NEG cam elyafı için iki uzunlukta da en iyi kırılma enerjisi değerini diğer dayanımlarda olduğu gibi %0,3 elyaf takviyeli numunelerde elde edilmiştir. Takviyesiz numuneler ile karşılaştırıldığında 6 mm’li numuneler %63,2, 12 mm’li numuneler %42,9 kırılma enerjisinde artış sağlamıştır. OC cam elyafı kullanılması durumunda her iki uzunlukta da %0,2 elyaf takviyeli numuneler en iyi kırılma enerjisi değerini vermiştir. Takviyesiz numuneler ile karşılaştırıldığında 6 mm’li numuneler %75,4, 12 mm’li numuneler %73,7 kırılma enerjisinde artış sağlamıştır. Bu değer artışları basınç ve eğilme dayanımından daha fazla olup kırılma enerjisinin hem yük hem de sehim değerinden etkilenmesi ile ilintilidir.



Şekil 8. Elyaf takviyeli beton numunelerin kırılma enerjisi grafikleri

4. SONUÇLAR

Dayanımı yüksek ancak kırılğan bir yapı malzemesi olan betonun teknik özelliklerinin geliştirilmesi için elyaf takviyesinin kullanımı yaygın bir yöntemdir. Çeşitli türlerde ve farklı oranlarda kullanılan elyaf, çatlak oluşumunu azaltma, tokluk ve sünekliliği artırma, darbe ve aşınma dayanımını iyileştirme, çekme ve eğilme dayanımını artırma gibi katkılar sunmaktadır. Yürütülen çalışmada 6-12 mm uzunluğundaki iki farklı ticari alkali dayanımlı cam elyafın 4 farklı hacim oranında kullanılmasıyla üretilmiş numunelerin performans özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Aynı uzunluk ve hacim oranında Owens Corning firmasının cam elyafı Nippon Electric Glass firmasının cam elyafından daha yüksek basınç ve eğilme dayanımı değeri vermiştir.
- Her bir firmanın kendi içinde aynı lif hacim oranında 6 mm elyaf ile üretilen numuneleri 12 mm elyaf ile üretilen numunelerden daha yüksek basınç ve eğilme dayanımı vermiştir.
- Her iki elyaf türü ve uzunluğu için hacim oranı arttıkça basınç ve eğilme dayanımı artmış %0,3'den sonra azalışa geçmiştir.
- En iyi basınç dayanımı veren elyaf türü olan Owens Corning firmasının cam elyafı %0,3 hacim oranında kullanılması durumunda takviyesiz numunelere göre 6 mm'li numuneler yaklaşık %33, 12 mm'li numuneler %28 basınç dayanımı artışı sağlamıştır.
- Basınç dayanımında olduğu gibi en iyi eğilme dayanımını veren elyaf türü olan Owens Corning firmasının cam elyafı %0,3 hacim oranında kullanılması durumunda takviyesiz numunelere göre 6 mm'li numuneler yaklaşık %33, 12 mm'li numuneler %25 eğilme dayanımı artışı sağlamıştır.
- Tüm elyaf türleri için yük-deplasman eğrileri takviyesiz numuneler ile benzerlik göstermiş olup sadece daha büyük yük ve deplasman değerleri vermiştir.
- Kırılma enerjisinde Nippon Electric Glass firmasının cam elyafı numunelerinde %0,3, Owens Corning firmasının cam elyafı numunelerinde %0,2 elyaf katkılı numuneler en iyi değeri vermiştir.

5. TEŞEKKÜR

Beton reçetesinin belirlenmesi, malzeme temini ve basınç dayanımı testlerinin yapılmasındaki desteklerinden dolayı Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Polisan Yapıkim'e teşekkür ederim.

6. KAYNAKLAR

1. Herzog, T., Krippner, R. & Lang, W. (2004). *Facade construction manual*. Basel; Boston: Birkhäuser-Publishers for Architecture.
2. Ünsal, A. ve Şen, H. (2008). *Beton ve beton malzemeleri laboratuvar deneyleri*. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Lab. Şubesi Müdürlüğü, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
3. Gemi, L. ve Köroğlu, M.A. (2018). Çekme bölgesi lifli beton olan cam fiber takviyeli polimer (GFRP) ve çelik donatılı etriyesiz kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışı ve hasar analizi. *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Dergisi*, 6(4), 654-667.
4. Zollo, R.F. (1997). Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development. *Cement and Concrete Composites*, 19, 107-122.
5. Bayasi, Z. & Soroushian, P. (1992). Effect of steel fiber reinforcement on fresh mix properties of concrete. *Technical Paper ACI Materials Journal*, 89, 369-374.
6. 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, 1-13.
7. Brameshuber, W. (2006). *Textile reinforced concrete, in state-of-the-art report of RILEM technical committee 201-TRC, RILEM publications S.A.R.L.* Bagneux, France.
8. Kohen, B. (2013). Yapı kabuğu olarak GRC. *Mimarlıkta Malzeme*, 24, 29-32.
9. PCI, 2016. *Designing with precast and prestressed concrete*. Northampton, İngiltere, 4c-1.
10. Majumdar, A.J. & Laws, V. (1991). *Glass fiber reinforced cement*. BSP professional boks. Oxford.
11. Marikunte, S., Aldea, C. & Shah, S.P. (1997). Durability of glass fiber reinforced cement composites. *Advanced Cement Based Materials*, 5, 100-108.
12. Purnell, P. Short, N.R. & Page, C.L. (2001). A static fatigue model for the durability of glass fiber reinforced cement. *Journal of Materials Science*, 36, 5385-5390.
13. Ferreira, J.C. & Branco, F.A. (2007). Structural applications of GRC in telecommunications towers. *Construction and Building Materials*, 21, 19-28.
14. Sanjeev J. & Sai Nitesh, K.J.N. (2020). Study on the effect of steel and glass fibers on fresh and hardened properties of vibrated concrete and self-compacting concrete. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1559-1568.
15. Akyüncü, V. (2021). Investigation of mechanical and permeability properties of fiber mortars. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 6(1), 29-35.

16. Yıldız, S., Bölükbaş, Y. ve Keleştemur, O. (2010). Cam elyaf katkısının betonun basınç ve çekme dayanımı üzerindeki etkisi. *Politeknik Dergisi*, 13, 239-243.
17. 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.
18. Lv, Y., Cheng, H.M. & Ma, Z.G. (2012). Fatigue performances of glass fiber reinforced concrete in flexure. *Procedia Engineering*, 31, 551-556.
19. TS EN 12390-3: (2019). *Beton-sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini*.
20. TS EN 12390-5: (2019). *Beton-sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini*.
21. Daskiran, E.G., Daskiran, M.M. & Gencoglu, M. (2022). Experimental investigation on impact strength of AR Glass, Basalt and PVA textile reinforced cementitious composites. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26(6), 2037-2056.
22. Zhang, Q., Yang, Q.C., Li, W.J., Gu, X. L. & Dai, H.H. (2023). Study on model of flexure response of carbon fiber textile reinforced concrete (CTRC) sheets with short AR-glass fibers. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01791.
23. Hu, Z., Wang, Q., Lv, H., Li, K., Zhang, J. & Ma, Y. (2023). Improved mechanical and macro-microscopic characteristics of shotcrete by incorporating hybrid alkali-resistant glass fibers. *Construction and Building Materials*, 403, 133131.
24. Moawad, M.S. & El-Hanafy, A.M. (2023). Investigation of the effect of using geogrid, short glass, and steel fiber on the flexural failure of concrete beams. *Alexandria Engineering Journal*, 68, 479-489.
25. Lee, M., Mata-Falcón, J. & Kaufmann, W. (2022). Influence of short glass fibres and spatial features on the mechanical behaviour of weft-knitted textile reinforced concrete elements in bending. *Construction and Building Materials*, 344, 128167.
26. Yaltay, N., Yavuz, D. ve Güler, S. (2021). Çelik lif katkılı alüminyum tüp içine beton doldurulmuş kirişlerin eğilme dayanımlarının incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(1), 79-88.
27. Ayyub, B.M. & McCuen, R.H. (2016). *Numerical analysis for engineers* (2nd Edition). CRC Press Taylor & Francis Group.
28. Moin, P. (2010). *Fundamentals of engineering numerical analysis* (2nd Edition). New York, Cambridge University Press.
29. Guler, S., Öker, B. & Akbulut, Z.F. (2021). Workability, strength and toughness properties of different types of fiber-reinforced wet-mix shotcrete. *Structures*, 31, 781-791.
30. Kurban, M., Babaarslan, O. ve Çağatay, İ.H. (2022). Ham ve epoksi reçine kaplı teknik elyaf kullanımının yapı elemanı performansına etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(2), 577-588.