



CAM ELYAF İÇEREN BETONARME KİRİŞİN EĞİLME DAVRANIŞI İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMA

Nildem Tayşi¹ ve Abdullah Ahmed Mohammed²

^{1,2} Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

ABSTRACT

Concrete is most widely used construction material in the world. It is relatively strong in compression but weak in tension tends to be brittle [1, 2]. The weakness in tension can be overcome by the use of conventional steel reinforcement and to some extent by the mixing of a sufficient volume of certain fibers [3]. The use of fibers also recalibrates the behavior of the fiber-matrix composite after it has cracked through improving its toughness. Fiber reinforced concrete is a concrete in which small and discontinuous fibers are dispersed uniformly. In the present investigation, the compressive strength, flexural strength, and workability of concrete containing varying proportions of Glass Fiber (GF) (0.0 %, 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %) as replacement of fine aggregate is studied. The effect of GF on C30 concrete on compressive strength, tensile strength and flexural strength are studied for a given aspect ratio and various percentages of GF. For each percentage of fiber three cubes and three cylinders are casted to take average results. Also for flexural strengthening of reinforced concrete, four beams were tested over an effective span of 1300 mm up to the failure of the beam under four-point loading test.

ÖZET

Yaygın yapı malzemesi olarak kullanılan beton gevrek bir malzeme olduğu için basınç altında nispeten güçlü olmasına rağmen çekmede zayıftır [1, 2]. Betonun çekmedeki zayıflığı, geleneksel çelik çubuk takviyesinin kullanılması veya yeterli oranda lifli malzemenin karıştırılmasıyla aşılabilmektedir [3]. Liflerin kullanımı, betonda çatlaklar oluşuktan sonra da kompozit malzemenin tokluğunu arttırarak davranışını yeniden düzenler. Lifli beton küçük ve süreksiz elyafların düzgün şekilde dağılmış olduğu betondur. Mevcut araştırmada, ince agrega yerine cam elyafın farklı oranlarda (% 0.0, % 0.5, % 1.0, % 1.5) eklenmesi ile, betonun basınç dayanımını, eğilme mukavemetini ve işlenebilirliğini araştırmak için deneysel çalışmanın yapılması amaçlanmaktadır. Cam elyafın C30 kalite betonun basınç, çekme ve eğilme mukavemeti üzerine etkileri karşılaştırılacaktır. Her lif yüzdesi için, ortalama sonuçları almak için üçer adet küp ve silindir numune dökülmüştür. Ayrıca betonarme kirişin, eğilmede güçlendirmesini incelemek için de dört adet 1300 mm etkin açıklıklı kirişde dört noktalı eğilme testi yapılacaktır.

GİRİŞ

Beton en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir [1,2] ve betonun çekmedeki zayıflığı, çelik donatı kullanılması veya lifli malzemenin betona karıştırılmasıyla aşılabılır [3]. Günümüzde elyaf takviyesi, endüstriyel kiriş döşeme, kaplamalar ve püskürtme beton gibi birçok inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılmakta olup diğer uygulama alanları da mevcuttur. Lifli betonda kullanılan elyaflar çelik, karbon, cam, aramid, asbest, polipropilen ve

benzerleri gibi çeşitli malzemelerden olabilir [4]. Bu elyafların beton kütlesi içerisine eklenmesi, betonun basınç, çekme, eğilme ve darbe mukavemetini önemli ölçüde arttırmaktadır.

Harç-agrega arayüzünde mikro-çatlakların olması, düz betonun doğal zayıflığından dolayıdır. Zayıflık, tokluğu veya çatlak büyümesine direnme yeteneğini artırmak için karışıma lifler eklenebilir. Lifler, iç mikro-çatlaklara yük aktarmaya yardımcı olur. Elyaflar agrega parçacıkları etrafında birbirlerine kenetlenir, betonun işlenebilirliği önemli ölçüde azaltırken, karışım daha yapışkan hale gelir ve ayrılmaya daha az eğilim gösterir [2]. Elyaflar, karıştırma esnasında beton içine rastgele dağılır ve yerleşirken betonun tüm yönlerde özelliklerini iyileştirir [5]. Ayrıca lifler maksimum süneklik performansını, çatlak öncesi gerilme mukavemetini, yorulma mukavemetini, darbe mukavemetini arttırmaya, sıcaklık ve çekmeden dolayı oluşan çatlakları ortadan kaldırmaya yardımcı olur [6].

En yaygın kullanılan elyaf türlerinden biri cam elyafıdır. Cam elyaf takviyeli betonarme uygulamaları, üst yapı, tünel kabukları, beton kanalizasyon boruları ve büyük sanayi binalarının döşemeleri gibi alanlarda yaygınlaşmıştır. Günümüzde cam elyaf takviyeli betonun, geleneksel betonarme çerçevelere sahip binaların yük taşıyan elemanlarındaki kullanımı, hem enerji emme kapasitesine hem de beton mukavemetine olumlu katkı yaptığı için yaygınlaşmaktadır [7].

Kıyılmış cam elyafının (ağırlık olarak) malzemenin yaklaşık yüzde 1.5 oranında ilavesi, kopma modülünü yaklaşık yüzde 20 ve kırılma tokluğunu yaklaşık yüzde 55 oranında arttırmaktadır [2]. Cam elyaf donatılı kompozitler üzerine yapılan araştırmalar 1960'lı yıllarda başlamış ve 40 yılı aşkın süredir ticari kullanımda başarılı olmuştur [7]. Cam elyaflı betonarme ürünler geleneksel prefabrik beton ürünlerine göre çok önemli avantajlara sahiptir. Hafiftir, kullanımı kolaydır ve yüksek tokluğa sahiptir. Cam elyafları, geleneksel takviye çubukları veya hasır takviyeleri ile birlikte de kullanılabilir. Cam elyaf takviyeli beton üzerine yapılan çalışmalarda, eğilme ve kırılma mukavemetinde % 15-20 artış ve basınç dayanımında ise % 20-25 artış gözlemlenmektedir [8].

DENEYSEL ÇALIŞMA

Mevcut araştırmada, ince agrega yerine farklı oranlarda cam elyaf kullanımının C30 kalite betonun basınç, çekme dayanımı, eğilme mukavemeti ve işlenebilirliği üzerine etkileri araştırılacaktır. Bu çalışmada kullanılan cam elyafın özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

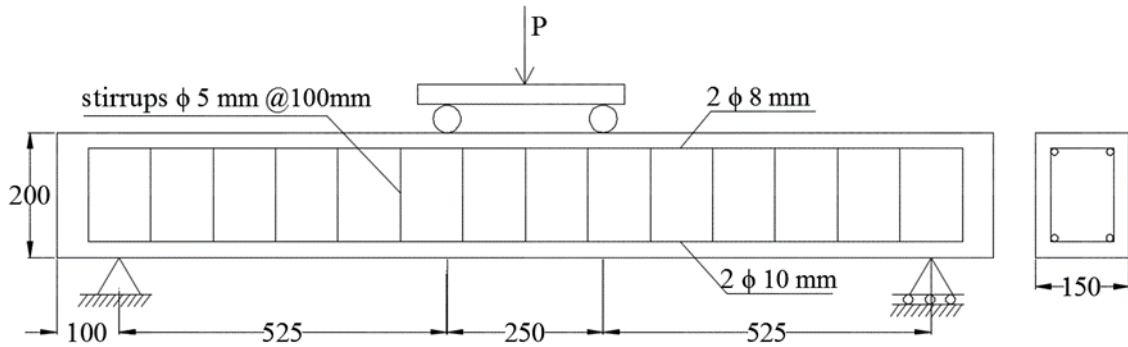


Şekil 1. Boyu 12 mm ve çapı 13 µm olan cam elyaf

Çizelge 1. Cam elyafın özellikleri

Elyaf türü	Uzunluk (mm)	Çap (μm)	Elastisite modülü (GPa)	Uzama (%)	Çekme gerilmesi (MPa)	Yoğunluk (g/cm^3)
Cam elyaf	12	13	77	2.56	3400	2.6

Beton numuneleri, toplam beton hacminin elyaf yüzdeleri (% 0.0, % 0.5, % 1.0, % 1.5) olacak şekilde hazırlanmıştır. Her lif yüzdesi için, ortalama sonuçları almak üzere üçer adet küp ve silindir numune dökülmüştür. Betonarme kirişin, eğilmede güçlendirmesini incelemek için de ayrıca toplam dört adet 1300 mm etkin açıklıklı kiriş hazırlanıp, dört noktalı eğilme testi yapılacaktır. Kiriş detayları Şekil 1 de verilmiş olup, 1500x150x200 mm'lik özdeş boyutlu tüm numuneler aynı şekilde donatılandırılmıştır. Her bir kirişin alt ve üst kısmında 2 şer adet 10 mm ve 8 mm çaplı donatılar kullanılmıştır. Ayrıca 5 mm çaplı 100 mm aralıklı Şekil 2 de gösterilen etriyeler kullanılmıştır.



Şekil 2. Cam elyaflı kiriş detayları ve yükleme düzeneği (boyutlar mm cinsindedir)

Cam elyaf kullanılarak hazırlanan betonarme kirişler, 28 gün kürlendikten sonra, standart kiriş yükleme çerçevesinde dört nokta yükleme düzeneği ile eğilmeye tabi tutulacaktır. Kirişler kırılıncaya kadar yüklenmeye devam edilecek ve uygulanan yüklere karşılık gelen orta noktadaki yer değiştirmeler kaydedilecektir.

SAYISAL SONUÇLAR

Eğilme testlerine geçilmeden önce cam elyaflı beton küp ve silindir numunelerinde basınç ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4 bu testler için kullanılan deney düzeneklerini göstermektedir.



Şekil 3. Küp basınç dayanımı testi



Şekil 4. Yarmada çekme mukavemeti testi

Karşılaştırmalar değişik oranlarda katılan cam elyafı beton numuneleri üzerinde yapılmıştır. Basınç ve yarmada çekme mukavemetinin sonuçları Çizelge 2 de sunulmuştur. Yüzde 0.5, 1.0 ve 1.5 cam elyafından yapılan üç denemeden % 0.5 cam elyafının eklenmesinin basınç dayanımında maksimum artışa yol açtığı görülmektedir. Bununla birlikte, cam elyaf yüzdesinin değişimi ile basınç direncinde fazla bir değişiklik yoktur. Cam elyafı betonun yarmada çekme mukavemeti yaklaşık olarak basınç dayanımının % 9 ila % 13'ü arasında değişmektedir.

Cam lifi eklenen M30 sınıfı betonun işlenebilirliği, sıkıştırma faktörü olarak hesaplanmıştır. M30 beton sınıfı için 0.93-0.97 olan sıkıştırma faktörünün, cam elyaf ilavesinde de korunduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca deneysel çalışmaya dayanarak, beton içerisine cam elyaf ilavesinin terlemede azalma sağladığı sonucuna da varılmaktadır. Terlemedeki azalma, betonun yüzey bütünlüğünü artırdığından, homojenliğini geliştirir ve yerleşirken biraz sınırlama getirdiğinden çatlak oluşma ihtimalini de azaltmaktadır.

Çizelge 2. Malzeme karışım oranları, basınç ve çekme mukavemetleri

Beton karışımları	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Kalm agrega (kg/m ³)	İnce agrega (kg/m ³)	GF oranı (%)	SP (kg/m ³)	Yoğunluk (kg/m ³)	Basınç muk. (MPa)	Çekme muk. (MPa)
Kontrol	400	192	1110	600	0	1.8	2398	44.1	2.85
GF0.50					0.5	3.22	2480	62	5.07
GF1.00					1.0	3.34	2420	52.7	4.14
GF1.50					1.5	3.45	2260	53.5	4.37

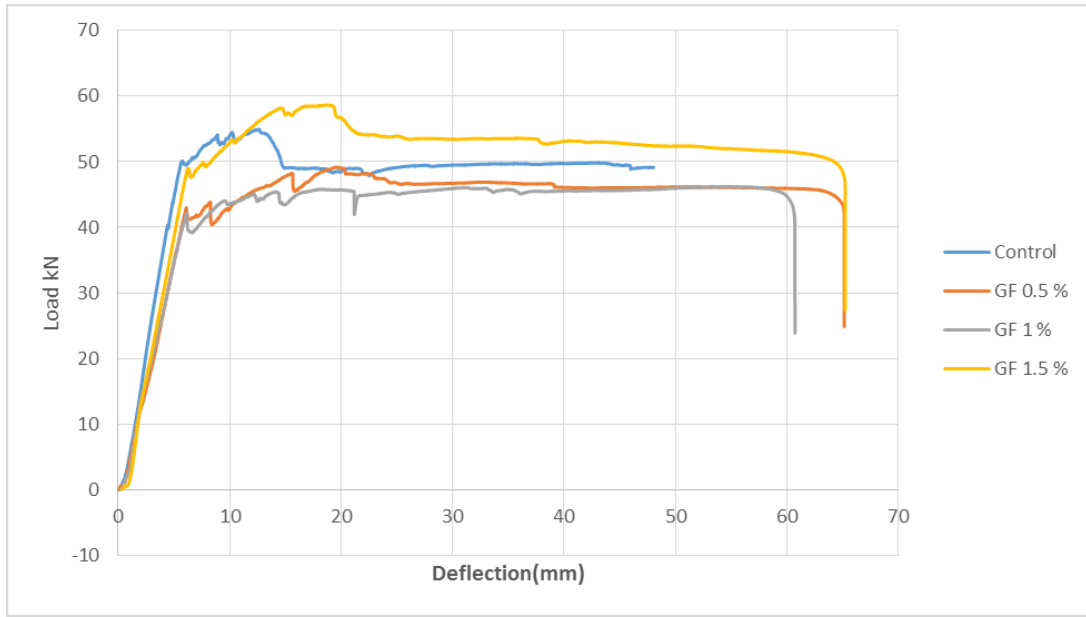
Eğilme mukavemeti test sonuçları

Kirişler, 1300 mm'lik bir açıklık ile basitçe desteklenmiştir (her iki uçtaki mesnetler) ve Şekil 5 de görüldüğü gibi 250 mm'lik mesafeyle iki noktadan yüklenerek, dört noktalı test yapılmıştır. Testler deplasman kontrolü ile yürütülmüş ve testler sırasında yük ve deplasman değerleri ölçülmüştür. Test sırasında cam elyaf takviyeli kirişlerde ilk önce kiriş yüzeyinde çatlak gözlemlenmiş ve ilk çatlak yükünden biraz daha fazla çıkmıştır. Kiriş derinliği boyunca yayılmayan kiriş yüzeyinde küçük çatlaklar oluşmuştur. İlk çatlak, toplam yük taşıma kapasitesinin yaklaşık % 55'lik bir kısmında gözlemlenmeye başlamıştır. Bu noktadan sonra, kirişte eğilmeden dolayı bazı çatlaklar oluşmaktadır, ancak çatlak yönüne cam elyaf denk geldiğinde kirişin derinliği boyunca yayılmamaktadır. Kirişin kesme bölgesinde ise 45⁰ lik açıyla kesme çatlakları oluşmaktadır.



Şekil 5. Eğilme deneyi test düzeneği

Şekil 6 da farklı dozajlarda hazırlanan cam elyaf takviyeli kirişlerin yük-deplasman eğrileri verilmektedir. Ayrıca eğilme mukavemeti test sonucunda elde edilen maksimum yük ve buna karşılık gelen deplasmanlar Çizelge 3 de verilmiştir. Genel olarak bakıldığında, % 1.5 oranında cam elyafın eklenmesinin, betonun maksimum mukavemet özelliğini arttırdığı görülmüştür.



Şekil 6. Farklı dozajlarda cam elyaf takviyeli kirişlerin yük-deplasman eğrileri

Çizelge 3. Eğilme mukavemeti test sonuçları

	Kontrol	GF0.5	GF1.0	GF1.5
Max yük (kN)	54.94	49.2	46.19	58.66
Max deplasman (mm)	48.05	65.16	60.74	65.25

SONUÇLAR

Elyaf takviyeli beton uygulamaları için detaylı çalışmalar yürütülmüş olmakla birlikte, cam elyafın homojen bir şekilde güçlendirici olarak kullanılması konusunda yerli inşaat endüstrisinde halen sınırlı çalışma bulunmaktadır. Yapı elemanlarında çekme veya basınç çatlaklarının önlenmesi için bir modifikasyon olarak, cam elyaf, geleneksel donatı çubuklar veya hasır donatılar ile birlikte de kullanılabilir.

Bu deneysel çalışmanın sonucunda, cam elyaf katkılı betonun özellikleri standart C30 betondaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Cam elyaf katkısı, betonun basınç dayanımında az bir iyileşme gösterirken eğilme mukavemetinde belirgin bir büyümeye neden olmaktadır. Ayrıca, cam elyaf içeriğindeki artış ile birlikte cam elyaf takviyeli betonun deplasman değerlerinde değişiklikler gözlemlenmiştir. Beton karışımı tasarımı ve lif muhteviyatı göz önüne alındığında, test sonuçları, cam elyaf eklenmesinin yalın betona kıyasla daha iyi işlenebilirlik, daha yüksek mekanik özellikler ve artmış maksimum kırılma yükü kapasitesi sonuçlarını vermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] C. Jiang, K. Fan, F. Wu, D. Chen, Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete, *Materials and Design*, 58 (2014) 187–193.
- [2] S.T. Tassew, A.S. Lubell, Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete. *Construction and Building Materials*, (2014), 215–224.
- [3] A. Rai, Y.P Joshi, Applications and properties of fibre reinforced concrete, *Engineering Research and Applications*, (2014), 123-131.
- [4] K.I.M. Ibrahim, Mechanical properties of glass fiber reinforced concrete (GFRC), *Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, (2016), 47-50.
- [5] N. Amreen, A. Milind. V. Mohod, A review on effect of fiber reinforced concrete on rigid pavement, *International Journal of Research in Engineering Science and Technologies (IJRESTs)*, (2015), 2395-6453.
- [6] C. S. Ravikumar and T. S. Thandavamoorthy, Application of FRP for strengthening and retrofitting of civil engineering structures, *Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development (IJCSEIERD)*, (2014), 49-60.
- [7] R. F. Zollo, Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development, *Cement and Concrete Composites*, (1997), 107-122.
- [8] K. Ramujee, Strength properties of polypropylene fiber reinforced concrete, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, (2013), 2319-8753.