

Cam ve Karbon Fiber Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Taze Hal Özellikleri ve Erken Yaş Mekanik Özellikleri

Melek Akgül^{1*}, Serkan Etli²

^{1,*} İnşaat Programı, Tunceli MYO, Munzur Üniversitesi, TÜRKİYE

² Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Munzur Üniversitesi, TÜRKİYE

*(melekakgul@munzur.edu.tr)

Özet – Bu deneysel çalışma karbon fiber ve cam fiber katkılı kendiliğinden yerleşen harç (KYH) numunelerinde taze hal özellikleri ve erken yaş mekanik özelliklerini incelemektedir. Çalışma kapsamında kullanılan karbon ve cam fiber 6 mm uzunlukta seçilmiş ve 7 farklı KYH tasarımına hacimce % 0, % 0.1, % 0.2, % 0.3 oranında eklenmiştir. Üretilen KYH tasarımlarının taze hal özellikleri için mini çökme-yayıma testi, V-hunisi testi; erken yaş mekanik özellikleri için eğilmede çekme ve sonrası eksenel basınç dayanımı deneyleri ilgili standartlar uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma verileri ışığında; cam ve karbon fiberin eklenmesi ile KYH numunelerin işlenebilirlik özelliklerinin olumsuz etkilenmesinin yanı sıra erken yaş eğilmede çekme ve eksenel basınç dayanımı verilerindeki düşüş değerlendirilmiştir. KYH üretiminde karbon veya cam fiber katkısının hacimce % 0.3 oranında kullanılması, EFNARC kriterleri ve işlenebilirlik özellikleri açısından sınır durum özelliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler – Cam Fiber, Karbon Fiber, Kendiliğinden Yerleşen Harç, Taze Özellikler, Erken Yaş Mekanik Özellikler

I. GİRİŞ

Farklı fiber ürünlerin beton ve harç sistemlerinde kullanımı günümüz teknolojilerinde çevreci ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Lifli ürünlerin yapı elemanlarındaki kullanımı beton ve harç esaslı yapı elemanlarındaki kullanımından çok daha eskilere dayanır. Özellikle bitkisel elyaf ve saman kullanımı kerpiç esaslı yığma yapı sistemlerinde çok yaygındır. Günümüzde kullanılan fiber türleri ise çelik, polimer (polipropilen, PVA), cam ve karbon esaslı olma özelliği taşıyan fiberlerdir.

İnşaat endüstrisinde beton, betonarme ve harç elemanların birçok mühendislik özelliğinin yanı sıra durabilite özelliklerinin de iyileştirilmesini amaçlayan sürdürülebilirlik arayışları deneysel çalışma verilerine dayanır. Literatürde cam ve karbon fiberin yapı sistemlerdeki kullanılabilirliğine dayalı ve farklı parametrelere bağlı çalışmalar söz konusudur. Karışım tasarımı kullanılan fiberin türü, miktarı ve fiziksel özellikleri harç elemanların mekanik özellikleri üzerinde etkili parametre grubu olarak kabul edilmektedir.

Ayrıca üretim sürecinde dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husus, fiberin matristeki homojen dağılımı sağlayabilme yeteneğidir [1]-[7].

Eksenel basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve birim ağırlık verisi; harç karışımına çimento ağırlığınca %0.3'ten fazla oranda eklenen karbon fiberin etkisi ile artış sergilerken; %0.3 ekleme değerinin altındaki oranda ise azalış ile kaydedilmiştir [2]. Ayrıca karbon fiberin harç tasarımına hacimce %0.3 oranına kadar eklenmesi küçük değerlerde olmasına rağmen basınç ve eğilme dayanımı değerlerini azaltmaktadır [8].

Qureshi ve Ahmed, [5], yaptıkları deneysel çalışmada karışım hacmine oranla cam fiberin optimum kullanım oranını %0.25 olarak elde etmiştir. Sunulan optimum değerden fazlası için azalan basınç ve eğilme verilerine vurgu yapılmıştır. 0, 5, 10, 15 ve 20 kg/m³ oranlarındaki cam fiber takviyeli betonların yangın sonrası eğilme dayanımında artış sağlamaktadır. Yangın geçirmeyen cam fiber katkılı betonlarda basınç dayanımı katkısı az, çekme dayanımı ise kabul edilebilir düzeydedir [1].

Toklu ve arkadaşları [6] yaptıkları çalışmada; farklı uzunluktaki cam fiberi harç tasarımına hacimce % 0.3, % 0.4 ve % 0.5 oranlarında ilave etmiş ve artan cam fiber oranına bağlı olarak yayılma değerinde, aksenal basınç dayanımı ve ultrasonik atımlı dalga hızında azalmaların yanı sıra eğilmede çekme dayanımında iyileşmelerin elde edildiğini vurgulamıştır.

Kendiliğinden yerleşen harç sistemleri her ne kadar işçilik maliyetlerini azaltmak amaçlı olarak inşaat endüstrisinde ortaya çıkmış olsa da son yıllarda birçok alanda fazlaca tercih edilmektedir. Ancak karışım tasarımına dahil edilen karbon ve cam fiberin özellikle harç sistemlerin işlenebilirliği üzerindeki olumsuz etkisi bilinmektedir. Bu sebeple bu çalışmada her iki fiber türü için taze hal ve erken yaş mekanik özelliklerinin tespitine yönelik birtakım deneysel verilere dayalı değerlendirmelerde bulunulmuştur. Taze hal özelliklerinin tespitine yönelik olarak V-hunisi ve mini çökme-yayılma konisi deneyinin yanı sıra 7. deney gününde erken yaş mekanik özelliklerin tespiti için eğilmede çekme ve aksenal basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

Çalışmada TS EN 197-1 standardına uygun CEM-I 42.5R kullanılmıştır [9]. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de, ince ağregaın elek analizi verileri ise Tablo 2'de verilmiştir [10]. Çalışmada karışım suyu olarak Tunceli ili şehir şebeke suyu [11] ve katkı maddesi olarak TS EN 934-2+A1'e [12] uygun ürün kodu Sika Visco Crete Hi-Tech-28 olan polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı (HRWR) kullanılmıştır. Çalışmada 6 mm lik uzunlukta kırılmış cam ve karbon fiber kullanılmıştır. Cam ve karbon fibere dair teknik özellikler Tablo 3'te verildiği gibidir. Çalışma kapsamında kullanılan ince ağrega, çimento, karbon fiber, cam fiber ve HRWR'nin genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM-I 42.5R Çimentonun özellikleri

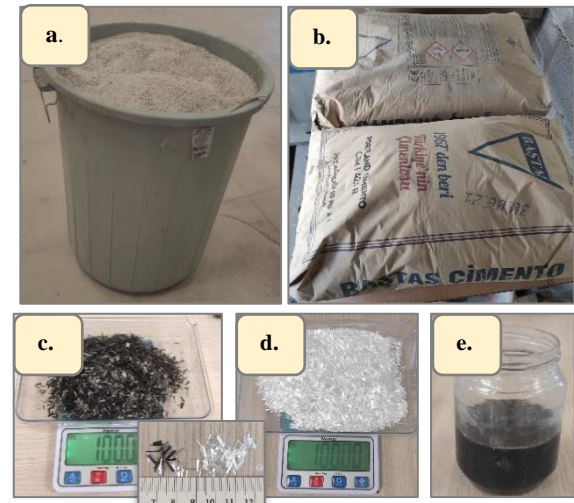
CEM-I 42.5R		
Kimyasal bileşim (%)	SiO ₂	19.47
	Al ₂ O ₃	3.92
	Fe ₂ O ₃	3.76
	CaO	62.74
	Na ₂ O	0.39
	SO ₃	3.18
	K ₂ O	0.77
	MgO	1.84
Cl-	0.01	
Çözünmeyen kalıntı		0.60
Kızdırma kaybı		3.32
Blaine (cm ² /g)		3804
Özgül ağırlık (gr/cm ³)		3.15

Tablo 2. İnce ağrega elek analizi

Elek no (mm)	Elekten geçen yığılımlı (%)
4 mm	100
2 mm	100
1 mm	77.31
0.5 mm	47.09
0.25 mm	28.88
0.125 mm	8.88
0.063 mm	4.37
Toplama kabı	0.00

Tablo 3. Cam ve karbon fiberin teknik özellikleri

Özellik	Fiber türü	
	Cam	Karbon
Çekme dayanımı (MPa)	3400	3800
Elastisite Modülü (GPa)	77	228
Uygulama sıcaklık sınırı (°C)	-60 , +650	---
Ergime sıcaklığı (°C)	1120	---
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.60	1.81
Elyaf çapı (mikron)	13	7.2
Elektrik iletkenliği (ohm-cm)	---	0.00155
Karbon yüzdesi	---	%95



Şekil 1. a. İnce ağrega, b. Çimento, c. Karbon fiber, d. Cam fiber, e. HRWR su azaltıcı

B. YÖNTEM

Karışımında kullanılan cam fiber ve karbon fiberin miktarı, imalat öncesi literatür ve ön deneysel çalışmalar ışığında EFNARC [13] kriterleri dikkate alınarak tespit edilmiştir. 1 referans karışımı olmak üzere 7 farklı KYH karışımı hazırlanmıştır. Fiber takviyeleri hacimce %0.1, %0.2, %0.3 olarak uygulanmıştır. Çalışmada cam fiber içeren KYH numuneler KYH-C, karbon fiber içeren numuneler ise KYH-K olarak kodlanmıştır. Karışım tasarımında kütlece su/çimento (S/Ç) oranı tüm setlerde sabit ve 0.39 olarak hesaplanmıştır.

ASTM C109/C109M-13'e [14] uygun ekipmanla hazırlanan KYH setlerine ait 1 m³ karışım tasarımı Tablo 4'te verilmiştir. Tüm numuneler TS EN 12390-1'e [15] uygun olarak vibrasyon yapılmaksızın her KYH karışımı için 3 adet 40x40x160 mm ayrıtlı prizmatik numune olarak üretilmiştir. Numuneler 24±2 saat sonunda kalıptan alınıp 7. deney gününe kadar kirece doymun su ortamında 20±2 °C sıcaklık ile kür edilmiş ve erken yaş sertleşmiş KYH deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2, numune setlerinin üretimi ve kür şartlarının genel görünümüne ait görseller içerir.



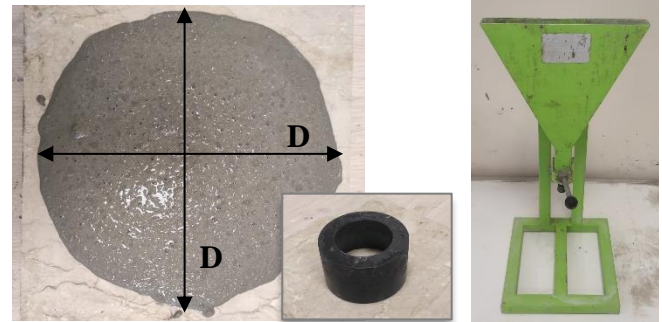
Şekil 2. Numunelerin üretimi ve kür şartları

Tablo 4. 1 m³ KYH için karışım tasarımı (kg/m³)

Numune	Çimento	Su	HRWR	İnce agrega	Fiber	
					Cam	Karbon
KYH-0	550	217	4.870	1591.2	0.000	0.000
KYH-C1	550	217	4.833	1591.2	2.600	
KYH-C2	550	217	5.208	1591.2	5.200	
KYH-C3	550	217	5.208	1591.2	7.800	
KYH-K1	550	217	5.375	1591.2		1.810
KYH-K2	550	217	5.375	1591.2		3.620
KYH-K3	550	217	5.541	1591.2		5.430

Taze Hal Özelliklerinin Tespiti

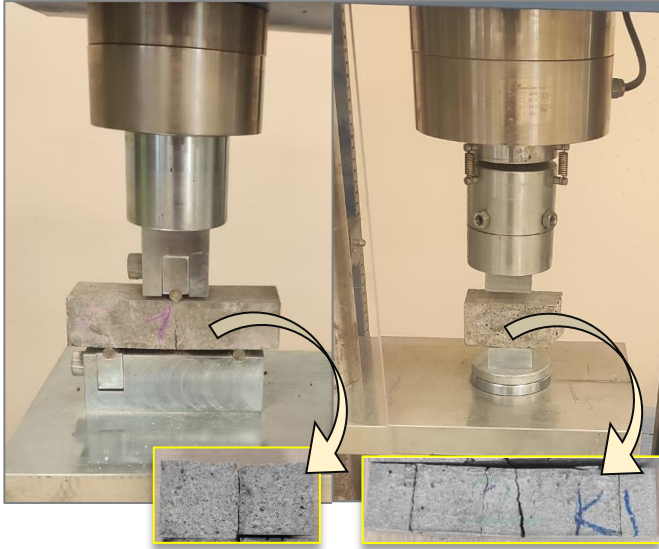
Üretilen 7 farklı KYH için taze hal özelliklerinin tespitinde EFNARC'a göre 6 cm yüksekliğe sahip alt çapı 7 cm üst çapı 10 cm olan kesik koni aracılığıyla mini çökme-yayımla testi yapılmıştır [13], [16]. Mini çökme-yayımla testinde yayılma çapı birbirine dik iki çap (D) değerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. KYH'larda taze hal özelliklerinin belirlenmesi için yapılan ikinci bir test ise V-hunisi testidir (Şekil 3). EFNARC'ın vizkozite tespiti için 7-11 sn olarak sınırlandırdığı V-hunisi akış değerleri tüm üretilen KYH gruplarında sağlanmıştır.



Şekil 3. Mini çökme-yayımla ve V-hunisi testi

Erken Yaş Mekanik Özelliklerin Tespiti

Tüm KYH numune setlerinin 40x40x160 mm ayrıtlı prizma numuneleri ile 7. deney günlerinde ASTM C348'e [17] göre eğilmede çekme ve ardından ASTM C349'a [18] aksenal basınç dayanımı testlerine gerçekleştirilmiştir. 7. deney gününde eğilmede çekme dayanımı deneyi sonrası basınç dayanımı testi her KYH karışımı için 6 adet (3X2 adet) numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Eğilmede çekme ve aksenal basınç testi ve sonrası numune genel görünümü Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Numunelerin eğilmede çekme ve eksenel basınç testi

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

7 farklı KYH tasarımı ile üretilen numunelerin taze durum tespiti için yapılan V-hunisi ve mini çökme-yayımla konisi verileri Tablo 5'te verildiği gibidir. Referans numune setine nazaran fiber katkıli numune setlerinde V-hunisi akma süreleri artmaktadır. Bu durum cam fiber katkıli KYH-C1 numune setinde 8.5 sn iken KYH-C3 numune setinde 10.9 sn'ye kadar artmaktadır. Cam fiber katkıli harçlardaki işlenebilirliğin değişimine vurgu yapan bu değişim; fiber katkıli numune setlerinde de KYH-K1 için 7.6 sn iken en fazla fiber katkısına sahip olan KYH-K3 seti için 9.1 sn'ye kadar artmaktadır.

Benzer değişim mini çökme-yayımla konisi ile elde edilen verilerde de söz konusudur. Referans numune seti olan KYH-0 için yayılma çapı 257 mm iken; % 0.3 fiber katkısına sahip olan KYH-C3 ve KYH-K3 için sırasıyla 240 mm ve 244 mm ye kadar düşmektedir.

Tablo 5. V-hunisi ve Mini çökme-yayımla testi verisi

Mix ID	V-hunisi akma süresi (sn.)	Mini çökme-yayımla konisi yayılma çapı (mm)
KYH-0	7.1	257
KYH-C1	8.5	251
KYH-C2	9.6	245
KYH-C3	10.9	240
KYH-K1	7.6	255
KYH-K2	8.1	250
KYH-K3	9.1	244

7 farklı KYH karışımı ile hazırlanan numune setlerinin 7. deney gününde erken yaş mekanik özelliklerinin tespiti için gerçekleştirilen eğilmede çekme ve eksenel basınç deneyi verileri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Eğilmede çekme ve eksenel basınç testi verisi

	Eğilmede çekme (MPa)	Eksenel basınç (MPa)
KYH-0	7.29	41.73
KYH-C1	7.80	39.70
KYH-C2	4.51	27.68
KYH-C3	4.45	22.15
KYH-K1	8.44	41.35
KYH-K2	7.83	41.08
KYH-K3	6.92	26.63

En yüksek oranda fiber katkıli olarak üretilen KYH-C3 ve KYH-K3 numune setleri için sırasıyla eğilmede çekme dayanımı 4.45 MPa ve 6.92 MPa'dır. Eğilmede çekme dayanımı referans numuneye oranla cam fiber katkıli numune setlerinde KYH-C1 için artış, KYH-C2 ve KYH-C3 için ise azalış ile kaydedilmiştir. Karbon fiber katkıli numune setlerinde ise eğilmede çekme dayanımı en yüksek değerini KYH-K1 ile alırken KYH-K2 için eğilmede çekme dayanımı referans numune setine oranla artış ile kaydedilmiş olsa da KYH-K1'den KYH-K2'ye geçişte azalış dikkat çekicidir. Bu veriler ışığında her iki fiber türü için eğilmede çekme dayanımı %0.1'den %0.3'e geçişte azalma verisi sunmaktadır.

Eksenel basınç verileri incelendiğinde, karbon ve cam fiber katkıli tüm numune setlerinin basınç dayanımı referans numunenin basınç dayanımına nazaran azalmıştır. Referans numune setine kıyasla azalma oranı en yüksek değerini cam fiber ve karbon fiber katkıli numune setlerinde sırasıyla yaklaşık %47 ve %36 oranla KYH-C3 ve KYH-K3'te vermektedir.

IV. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında kullanılan fiberlerin EFNARC kriterlerini karşılayacağı düzeyde KYH tasarımı gerçekleştirilmiş ve % 0.3 oranında hacimce ekleme ile çalışma sonlandırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler literatür ile paralellik sergilemektedir ve karışıma eklenen hacimce %0.3'ün üzerindeki fiber oranında işlenebilirlik açısından KYH özelliklerini sağlanamayacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca karbon fiberin KYH

karışımında yayılma düzeyi cam fiberin yayılma düzeyine nazaran kabul edilebilir düzeydedir.

Karbon ve cam fiberin fiber çapının çok küçük olması ve buna bağlı olarak özgül yüzey alanları diğer liflere göre daha yüksek olması bilinen bir durumdur. Bu durumun bir sonucu olarak, harç matrisi içinde lifler topaklanmakta ve istenmeyen zayıf bölgeler oluşmaktadır. Azalan aksenal basınç dayanımı bu durumun doğal bir sonucudur.

Çalışma sonuçları ışığında taze hal ve erken yaş mekanik özellikleri bağlamında karbon ve cam fiber için hacimce karışım tasarımına eklenme oranında %0.1 optimum seviye olarak kabul edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ali, A.M., Arslan, M.H., Altın, M. “Cam Lif Takviyeli Betonun Yangın Dayanımlarının Çeşitli Parametreler Açısından İrdelenmesi” *Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 199-213, 2019. doi:10.21324/dacd.458094
- [2] Boğa, A. R. “Effect of Using Carbon Fiber and Steel Slag on Mechanical and Electrical Conductivity Properties of Mortars” *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 17(3), 2017. doi:10.5578/fmbd.66301
- [3] Demirel, B., Yazicioğlu, S. “Silis Dumanının Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi” *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1),103-109, 2007.
- [4] Khan, M., Ali, M. (2016). “Use of glass and nylon fibers in concrete for controlling early age micro cracking in bridge decks” *Construction and Building Materials*, 125, 800-808, 2016. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.08.111
- [5] Qureshi, L.A., Ahmed, A. “An Investigation On Strength Properties Of Glass Fiber Reinforced Concrete” *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 2(4), 2013.
- [6] Toklu, K., Avcı, Y., Cihan, M. T., Bıçakcı, E. “Cam Lifi Uzunluğu ve Oranının Çimento Harçlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(1), 2022. doi:10.29137/umagd.955365
- [7] Ali, B., Qureshi, L. A., Raza, A., Nawaz, M. A., Rehman, S. U., Rashid, M. U. (2019). “Influence of Glass Fibers on Mechanical Properties of Concrete with Recycled Coarse Aggregates” *Civil Engineering Journal*, 5(5), 2019. doi:10.28991/cej-2019-03091307
- [8] Kızıllıgın, B. “Çelik ve Karbon Lifli Harçların Sülfat Etkilerine Dayanıklılığının İncelenmesi” *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir. 2009.
- [9] TS EN 197-1. “Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri” *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*. 2012.
- [10] TS EN 933-1. “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini- Eleme yöntemi” *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*. 2012.
- [11] TS EN 1008. “Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları” *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*. 2003.
- [12] TS EN 934-2+A1. “Kimyasal katkıları- Beton, harç ve şerbet için- Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları- Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme” *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*. 2013.
- [13] EFNARC. “Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete” EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, 32. 2002.
- [14] ASTM C109/C109M-13. “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)” ASTM International, West Conshohocken, PA. 2016.
- [15] TS EN 12390-1. “Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri” *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*. 2013.
- [16] EFNARC & The European Project Group. “The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification. Production and Use” The European Guidelines for Self Compacting Concrete. May, 63. 2005.
- [17] ASTM C348-14 “Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, American Society for Testing and Materials” ASTM International, West Conshohocken, United States. 2018.
- [18] ASTM C349 “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure), American Society for Testing and Materials” ASTM International, West Conshohocken, United States. 2018.