



Cam Lifi Uzunluğu ve Oranının Çimento Harçlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi

Effect of Glass Fiber Length and Ratio on Mechanical Properties of Cement Mortars

Kenan Toklu¹ , Yunus Emre Avcı¹ , Mehmet Timur Cihan¹ , Engin Bıçakçı¹ 

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 21/06/2021

Kabul / Accepted: 01/09/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/01/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2022

Öz

Çimento harcının mühendislik özelliklerinde iyileştirmeler yapabilmek için farklı lif türleri harç üretiminde kullanılmaktadır. Fakat lif türü, narinlik gibi değişkenler üretilecek olan harcın özellikleri üzerinde farklı etkilere sahiptir. Bu çalışma kapsamında, farklı uzunluklardaki (3 mm, 6 mm ve 12 mm) cam lifleri, karışıma hacimce % 0.3, % 0.4 ve % 0.5 oranlarında ilave edilerek üretilen harçların yayılma değeri, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve ultrasonik dalga hızı (UPV) incelendi. Elde edilen sonuçlara göre, karışım içerisindeki cam lif miktarının artmasıyla genel olarak karışımın yayılma değeri, basınç dayanımı ve ultrasonik dalga hızında azalmalar meydana gelirken, eğilmede çekme dayanımında ise iyileşmeler meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Cam lifi, lif uzunluğu, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, ultrasonik dalga hızı, lif oranı”

Abstract

Different fiber types are used in the production of the mortar in order to make improvements in the engineering properties of cement mortar. However, properties such as the type of fibers and the slenderness have different effects on the properties of the mortar to be produced. In this study, glass fibers of 3 mm, 6 mm and 12 mm in length were added to mixtures of 0.3%, 0.4% and 0.5% by volume, and the workability, compressive strength, flexural strength and ultrasonic pulse velocity (UPV) of the produced mortars were investigated. According to the results obtained, it was determined that with the increase of the amount of glass fiber in the mixture, there were decreases in the workability, compressive strength and ultrasonic pulse velocity of the mixture and improvements in the flexural strength in general.

Key Words

“Glass fiber, fiber length, compressive strength, flexural strength, ultrasonic pulse velocity, fiber ratio”

1. Giriş

Dünya genelinde en çok tercih edilen yapı malzemesi betondur (Şimşek vd., 2007; Gökçe & Şimşek 2021). Beton, ince/iri agrega, çimento, su ve ihtiyaca göre mineral, kimyasal katkı maddeleri ve lif kullanılarak üretilen kompozit bir yapı malzemesidir (Şimşek 2015; Toklu & Yazıcıoğlu 2020). Beton, genel olarak hacimce %60-80 agrega, %10-15 çimento, %15-20 su, %2-5 mineral katkı ve %0.2-0.5 kimyasal katkıdan oluşmaktadır (Gökçe 2020). Betonun sahip olduğu zayıf mekanik özelliklerini iyileştirebilmek için geleneksel beton üretiminde kullanılan malzemelere farklı malzemeler ilave edilerek betonun bu zayıf özellikleri iyileştirilebilmektedir (Topçu & Boğa 2005). Beton üretiminde betonun sahip olduğu zayıf özelliklerini iyileştirmek için kullanılan malzemelerin belirlenerek karışım hesaplarının yapılması ve en uygun dozajın bulunması gereklidir (Topçu & Boğa 2005).

Betonun sahip olduğu mekanik özellikleri geliştirmek için beton karışımına farklı oranlarda ve türlerde lifler (cam, polipropilen, çelik lifler gibi) eklenerek lifli beton olarak anılan yeni tip beton türü meydana gelmiştir (Şimşek vd., 2021; Demir vd., 2021; Er vd., 2017). Liflerin beton içerisinde kullanılması ve homojen olarak dağılması sonucunda beton çatlakları önenebilmekte ve bu sayede betonun eğilme ve çekme dayanımları gibi özellikleri iyileştirilebilmektedir (Kozak 2013). Beton karışımında kullanılan liflerin miktarı ve narinlik oranı (boy/çap) üretilen betonun özelliklerini en çok etkileyen faktörlerdir (Yaprak vd., 2004).

Camın, 1940'lerde bir yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği fark edilmiş olup, camın sahip olduğu düşük alkali direnci ile alkali olan betonun karıştırılmasını sağlamak amacıyla 1960 yıllarda yüksek zirkonyum dioksit içeren, alkaliye dayanıklı camlar üretilmiştir (İskender & Karasu 2018). Cam lifler, sıcaklığı 1200-1500 °C'de olan elektrikli fırında eritilen camların istenilen çaplarda binlerce deliklerden geçirildikten sonra sertleşmesi ile üretilmektedir (Ali vd., 2019). Cam lifler yüksek dayanımlı olmaları, alev almamaları, ısı iletkenlik değerlerinin düşük olması ve kimyasallara karşı çok dayanıklı olmaları nedeniyle tercih edilmektedir (Çelikkanat 2002).

Literatür taraması

Karakurt ve Varlı (2019) yaptıkları çalışmada, %0.5 ve %1 oranında polipropilen ve polimer lif kullanılarak üretilen çimento harçları ile standart çimento harcını karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, hem polipropilen hemde polimer lif içeren harçların eğilme dayanımlarında iyileşmelerin meydana geldiği belirtilmiştir.

Kurt (2006) yaptığı çalışmada, s/ç (0.34 ve 0.36) ve cam lifi (%0, %2, %4 ve %6) ilave oranlarını değiştirerek 8 farklı beton üretmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, cam liflerin, 0.34 s/ç oranına sahip lifsiz betonun kırılma enerjisinde 109 kata kadar, 0.36 s/ç oranına sahip lifsiz betonun kırılma enerjisinde ise 66 kata kadar iyileşme sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca, cam lifi içeren betonlar lifsiz betonlardan daha sünek davranış gösterdiği ve daha yüksek tokluğa sahip olduğu da vurgulanmıştır.

Yıldız ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, beton sınıfı C30/37 olan, sabit s/ç oranına sahip 1 metreküp beton içerisinde 0, 5, 10, 15 ve 20 kg cam lifi ilave ederek toplam 10 adet, 300 kg ve 350 kg dozlu beton numuneler üretmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, 300 dozajlı beton grubunda 5, 10 ve 15 kg/m³ cam lifi içeren betonların referans betonun basınç dayanımı sırasıyla %2.29, %5.85 ve %0.79 arttırdığını fakat 20 kg/m³ lif içeren betonların referans betonun basınç dayanımını %15.26 düşürdüğünü belirtmişlerdir. 350 dozajlı beton grubunda ise, 5 ve 10 kg/m³ cam lifi içeren betonların referans betonun basınç dayanımından daha düşük olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, cam lifler ile üretilen bütün numunelerin ultrasonik dalga hızının referans betonlara göre azaldığını da belirtmişlerdir.

Qureshi ve Ahmed (2013) yaptıkları çalışmada, s/ç oranını 0.60 olacak şekilde sabit tutarak beton karışımına sırasıyla çimento ağırlığının %0, %0.5, %1, %1.5, %2, %2.5, %3 ve %3.5 oranlarında cam lifi ekleyerek toplamda 8 farklı beton karışımı üretmişlerdir. Sonuçlara göre, lif miktarının artmasıyla betonun işlenebilirliğinin azaldığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, farklı uzunluklardaki (3 mm, 6 mm ve 12 mm) cam lifleri, karışıma hacimce % 0.3, % 0.4 ve % 0.5 oranlarında ilave edilmiş ve üretilen harçların yayılma değeri, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve ultrasonik dalga hızı (UPV) incelenmiştir.

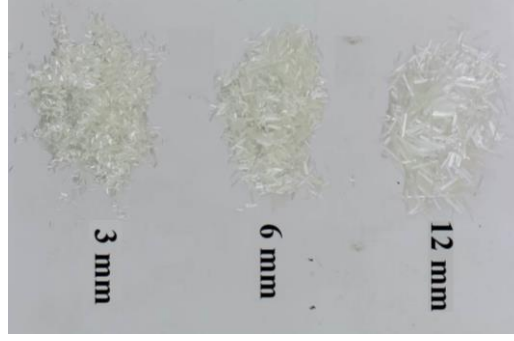
2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında lif katkılı harç üretiminde CEM I 42.5 R tipi çimento (Çizelge 1), TS EN 196-1 (2016) standardına uygun CEN standart kum ve distile su kullanıldı. Ayrıca cam lifi olarak çekme dayanımı 3400 MPa, elastisite modülü 77 GPa, uygulama sıcaklık limitleri -60°C - +650°C arasında, ergime sıcaklığı 1120°C, özgül ağırlığı 2.60 g/cm³ ve elyaf çapı 13-15 mikron olan 3 mm, 6 mm ve 12 mm boyutlarına sahip cam lifleri kullanıldı (Şekil 1).

Çizelge 1. CEM I 42.5 R'ye ait kimyasal oksitler

Oksitler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Değer (%)	20.32	5.91	3.07	63.45	1.88	2.70	0.59	0.88



Şekil 1. Çalışmada kullanılan cam lifleri

2.2. Metot

Lif katkılı harç numuneleri, TS EN 196-1'e (2016) uygun olarak 40x40x160 mm boyutlarında toplam 60 adet üretildi.

Çalışma kapsamında, cam lifi katkılı harç numunelerinin üretiminde dikkate alınan değişkenler, değişim aralıkları ve 6 adet numune üretimi için kullanılan malzeme miktarları Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. Harç üretiminde dikkate alınan değişkenler ve bileşen malzeme miktarları

Numune kodu*	Hacimce lif oranı	Çimento	Standard kum	Su	Lif miktarı	Lif uzunluğu
-	%	g	g	g	g	mm
L12-%0.3	0.3	450	1350	225	7.00	12
L12-%0.4	0.4	450	1350	225	9.34	12
L12-%0.5	0.5	450	1350	225	11.67	12
L6-%0.3	0.3	450	1350	225	7.00	6
L6-%0.4	0.4	450	1350	225	9.34	6
L6-%0.5	0.5	450	1350	225	11.67	6
L3-%0.3	0.3	450	1350	225	7.00	3
L3-%0.4	0.4	450	1350	225	9.34	3
L3-%0.5	0.5	450	1350	225	11.67	3
Ref	0	450	1350	225	0	0

*Ref: Referans harç, L: Lif; 12, 6 ve 3:Lif uzunluğu (mm); %0.3, %0.4 ve %0.5: Hacimce lif oranı.

Lif katkılı harçlar üzerinde yayılma tablası deneyi, ultrasonik dalga hızı deneyi, eğilmede çekme deneyi ve basınç deneyleri gerçekleştirildi. Yayılma tablası deneyi (Şekil 2) TS EN 11015-3 (2000) standardına, ultrasonik dalga hızı deneyi (Şekil 3) TS EN 12504-4 (2012) standardına, eğilmede çekme (Şekil 4) ve basınç dayanım (Şekil 5) deneyleri TS EN 196-1 (2016) standardına göre gerçekleştirildi.



Şekil 2. Yayılma tablası deney aleti



Şekil 3. Ultrasonik dalga hızı deneyi



Şekil 4. Eğilmeye çekme deneyi (3 noktadan yükleme)

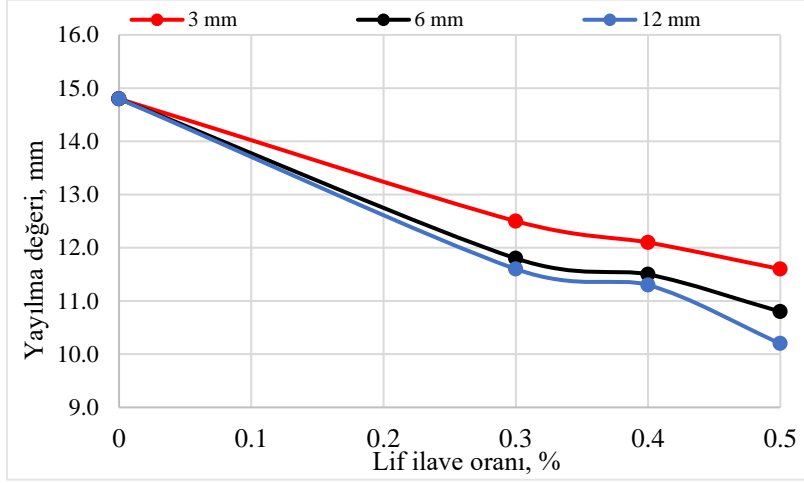


Şekil 5. Basınç deneyi

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yayılma Tablası Deneyi

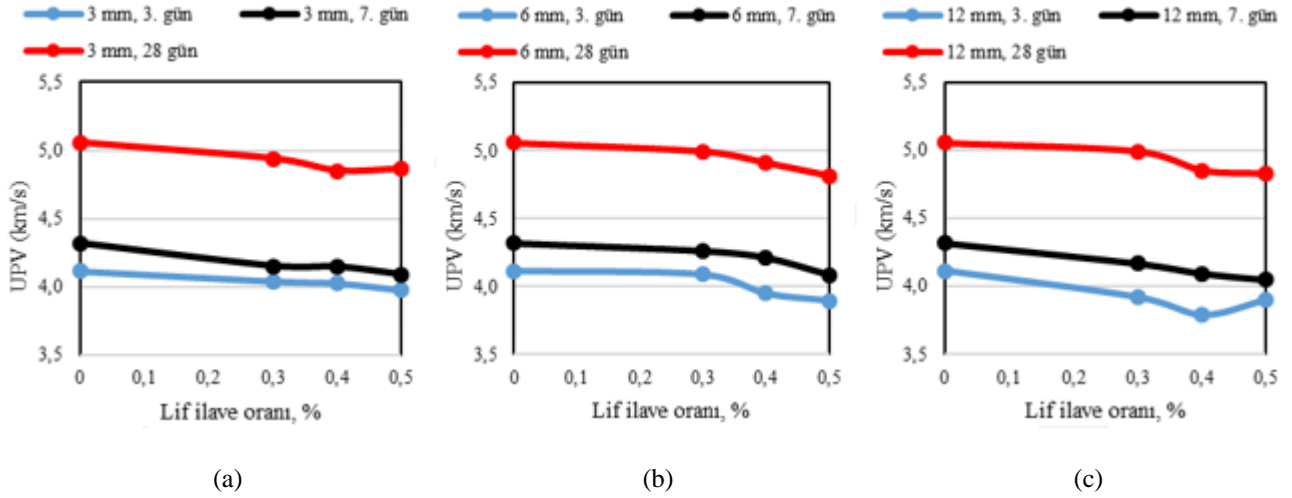
3, 7 ve 28 günlük deneyler için numuneler aynı harman kullanılarak üretildiği için numune yaşına göre yayılma değeri değişmemektedir. Elde edilen yayılma tablası deney sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, genel olarak lif ilavesinin yayılma değerini düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca, lif uzunluğunun artması da yayılma değerinde azalmaya neden olmaktadır. Bu sonuçlara göre, literatürde de belirtildiği gibi (Qureshi ve Ahmed 2013) karışımdaki lif miktarı ve lif boyu arttıkça karışımın işlenebilirliği azalmaktadır. Yayılma değerindeki azalmanın, lif ilave oranının ve lif uzunluğunun artması ile liflerin topaklanma eğiliminin artması (Erkek 2020) ve karışıma eklenen suyun bir miktarının da ilave edilen liflerin ıslatma suyu olarak kullanılmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 6. Yayılma tablası deney sonuçları

3.2. Ultrasonik Dalga Hızı

Herhangi bir ortamda ölçülen sismik dalga hızları, o ortamın doluluğu veya bir diğer adıyla kompasitesi hakkında bilgi vermektedir. Bir beton numuneden geçirilen sesin geçiş hızının yüksek olması o beton ortamının kompasitesinin yüksek olduğunu gösterirken, ses hızının düşük olması ise kompasitesinin daha düşük olduğunu göstermektedir (Topçu vd., 2017; Erdoğan 2003; Kaçar 2018). Çalışma kapsamında üretilen lif katkılı harçların UPV deney sonuçları Şekil 7'de görülmektedir.

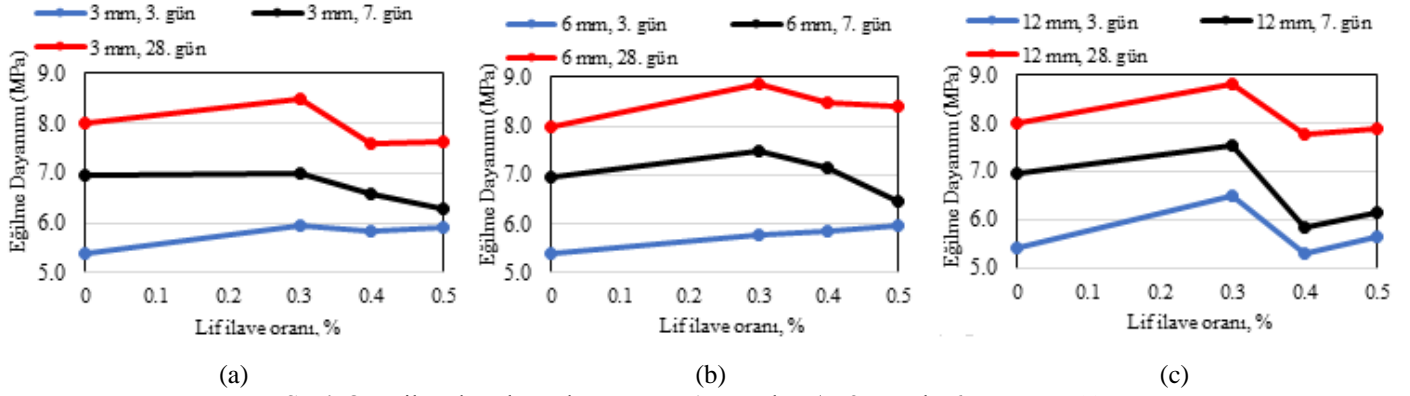


Şekil 7. UPV sonuçları (a: 3 mm, b: 6 mm ve c: 12 mm)

Şekil 7a analiz edildiğinde, lif miktarına bağlı olarak her yaşta genel olarak UPV' de azalmalar meydana geldiği görülmektedir. En yüksek UPV değeri 5.06 km/s (28 günlük) olarak referans numunelerden elde edilirken, en düşük UPV değeri ise 3.79 km/s (3 günlük) olarak 12 mm uzunluğunda %0.4 lif ilave oranına sahip numunelerden elde edilmiştir (Şekil 7c). Şekil 7b ve 7c incelendiğinde, 6 mm ve 12 mm lif uzunluğuna sahip numunelerden elde edilen UPV sonuçlarının 3 mm lif uzunluğuna sahip numunelerle benzer davranış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, Şekil 7a, 7b ve 7c beraber dikkate alındığında, genel olarak en yüksek UPV' nin sırasıyla 3 mm, 6 mm ve 12 mm uzunluğunda liflerin kullanıldığı harçlarda elde edilmektedir. Genel olarak lif ilave oranının artması ile liflerin numune içerisinde toplanması sonucu oluşan boşluklar nedeniyle UPV' nin azaldığı söylenebilir (Topçu vd., 2017).

3.3. Eğilmede Çekme Dayanımı

Lif katkılı harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen eğilmede çekme deney sonucu elde edilen eğilmede çekme dayanımlarının lif ilave oranına göre değişimi Şekil 8'de görülmektedir.

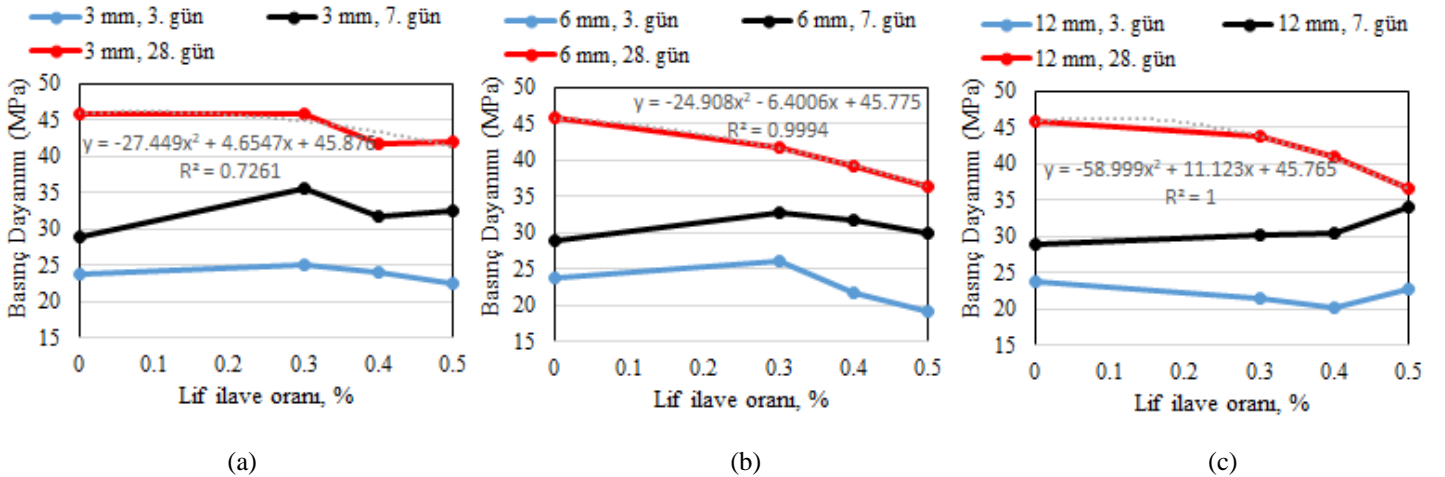


Şekil 8. Eğilmede çekme dayanım testi sonuçları (a: 3 mm, b: 6 mm ve c: 12 mm)

3 mm cam lifi ilaveli harçlarda (Şekil 8a), tüm yaşlarda en iyi sonuç %0.3 lif ilave oranına sahip numunelerde elde edildi. Fakat 7 ve 28 günlük, %0.3 lif oranına sahip numuneler hariç diğer lif oranlarına sahip numunelerin eğilmede çekme dayanımları referans numunelerine göre daha düşük değerler vermektedir. 6 mm cam lifi ilaveli harçlarda (Şekil 8b) 7 günlük %0.5 lif oranına sahip numunelerin eğilmede çekme dayanım sonuçları hariç, diğer tüm numunelerin eğilmede çekme dayanım değeri referans numunelerine göre daha yüksektir. 3 günlük numunelerde eğilmede çekme dayanım değeri lif ilave oranı arttıkça artan bir eğilim göstermektedir. 7 ve 28 günlük numunelerde ise eğilmede çekme dayanım değeri %0.3 lif oranına kadar artma eğilimi gösterirken %0.4 ve %0.5 lif ilave oranlarında azalma gerçekleşmektedir. Şekil 8c incelendiğinde, 3, 7 ve 28 günlük numunelerde %0.3 lif ilave oranına sahip numunelerin eğilmede çekme dayanım değeri artmaktadır. %0.4 ve %0.5 lif ilave oranlarına sahip numunelerin eğilmede çekme dayanım sonuçları ise referans numune sonuçları ile benzer değerler almaktadır fakat %0.3 lif oranına sahip numune sonuçlarına göre azalma gerçekleşmektedir. Literatürde (Alani & Beckett 2013; Hsie vd., 2008; Topçu vd., 2017), çok gevrek davranış gösteren betonun sünekliliğini arttırmak için beton karışımında lif kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, literatürde (Mastali vd., 2017; Li vd., 2021), lif uzunluğu arttığında, eğilme dayanımının arttığını gösteren çalışmalar mevcuttur. 28 günlük 3, 6 ve 12 mm lif uzunluğuna sahip numunelerin eğilmede çekme dayanım değerleri karşılaştırıldığında lif uzunluğuna bağlı olarak eğilmede çekme dayanım değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 8, a, b, c). Tüm lif ilaveli harç numunelerinde %0.3 lif ilave oranında en yüksek eğilmede çekme dayanım değerlerinin elde edilmesi kritik lif ilave oranının %0.3 olduğunu göstermektedir. Ayrıca lif katkılı harçların mekanik özelliklerini etkileyen diğer değişkenlerinde dikkate alınarak optimum değişim aralıklarının bulunması tahmin doğruluğunu arttıracaktır.

3.4. Basınç Dayanımı

Lif katkılı harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen basınç deney sonuçları Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Basınç dayanım sonuçları (a: 3 mm, b: 6 mm ve c: 12 mm)

Şekil 9a incelendiğinde, hacimce %0.3 (3 mm uzunluğunda) lif içeren numuneler tüm yaşlarda referans ve diğer numunelere göre daha iyi basınç dayanımı verdiği görülmektedir. Ayrıca, 3 ve 28 günlük %0.5 lif oranına sahip numunelerin basınç dayanımları ise referans numunelerine göre azalmaktadır. Şekil 9b analiz edildiğinde, 3 ve 7 günlük numunelerde en yüksek basınç dayanımı hacimce %0.3 lif içeren numuneler vermektedir. 28 günlük numunelerde ise en yüksek basınç dayanımını referans numunesi vermektedir. Ayrıca, tüm yaşlarda genel olarak en düşük basınç dayanımı hacimce %0.5 lif içeren numunelerde elde edildiği görülmektedir. 28 günlük numunelerde ise karışıma eklenen lif miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Şekil 9c incelendiğinde, 3 ve 28 günlük numunelerde genel olarak karışımdaki lif miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Fakat 7 günlük numunelerde, diğer günlerin tersine lif miktarı arttıkça basınç dayanımı artmaktadır. Şekil 9a, 9b ve 9c beraber incelendiğinde, genel olarak 3 mm lif uzunluğuna

sahip hacimce %0.3 lif içeren numunelerde en yüksek basınç dayanımı, 6 mm uzunluğunda %0.5 lif içeren numunelerde en düşük basınç dayanımı elde edildiği görülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar göre, cam lifli katkılı harçlarda, cam liflerinin karışım içerisinde topaklanmasından dolayı işlenebilirliklerinde referans numuneye göre azalmalar meydana gelmiştir. Ayrıca, cam liflerinin topaklanması ve boşluk meydana getirmesinden dolayı genel olarak basınç dayanımlarında ve ultrasonik dalga hızlarında azalmalar meydana gelmiştir. Cam liflerinin karışım içerisindeki oranının artmasıyla, genel olarak eğilmede çekme dayanımlarında iyileşmeler meydana geldiği tespit edilmiştir.

%0.3 lif ilave oranı tüm tepki değişkenlerinde (UPV, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı) en yüksek değerleri vermektedir. Cam lifli katkılı harçlarda optimum lif ilave oranının yaklaşık olarak %0.3 olduğu söylenebilir. Fakat lif katkılı harçların mekanik özelliklerini etkileyen değişkenlerin çok daha fazla olması ve seçilen değişim aralıklarında farklı etki düzeylerine sahip olmaları nedeniyle tepki değişken sayısının artırılarak etki değişkenlerinin aralıklarının ana ve etkileşimli terimlerinin de tepki değişkenleri üzerindeki etki düzeyleri de dikkate alınarak optimum değerlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Referanslar

Alani, A.M., Beckett, D. (2013). Mechanical properties of a large scale synthetic fibre reinforced concrete ground slab. *Construction and Building Materials*, 41, 335-344. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.043>

Ali, A.M., Arslan, M.H., & Altın, M. (2019). Cam lif takviyeli betonun yangın dayanımlarının çeşitli parametreler açısından irdelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 198-213. DOI: 10.21324/dacd.458094

Çelikkanat, A.B. (2002). Teknik Tekstiller, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Er, Ş., Sıcacık, E. A., Çetin, S., Demir, İ., & Sevim, Ö (8-10 May 2017). The effect of fiber type and ratio to mechanical properties of cement mortar. *ICOCEE-CAPPADOCIA*, Nevşehir, Turkey, pp. 3436.

Erdoğan, T.Y. (2003). Beton. Ankara, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayn. ve İletişim Şti, 130-160

Erkek, O. (2020). Lifli betonların davranışının deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yapı Deprem Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Demir, I., Sevim, O., Ogdu, M. K., Dogan, O., & Demir, S. (2021). Mechanical and physical properties of autoclaved aerated concrete reinforced using carbon fibre of different lengths. *Tehnički vjesnik*, 28(2), 503-508.

Hsie, M., Tu, C., & Song, P.S. (2008). Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete. *Materials Science and Engineering: A*, 494(1-2), 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.05.037>

Gökçe, M. (2020). Determining the physical properties of polymer in different admixtures used for self-compacting cement paste by ESEM. *Micron*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2020.102953>

Gökçe, M., & Şimşek, O. (2021). The effect of calcite and blast furnace slag on the rheology properties of self-compacting concrete in meso and macro scales. *Revista de la construcción*, 20(1), 190-204. <http://dx.doi.org/10.7764/rdlc.20.1.190>

İskender, M., & Karasu, B. (2018). Glass fibre reinforced concrete (GFRC). *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 136-162.

Karakurt, C., & Varlı, M. (23-25th October 2019). Effect of Polymer and Polypropylene Fibers on Cement Mortar and Epoxy Resin. *I CivilTech (International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology)*, Afyonkarahisar-Turkey, pp. 134-141.

Kozak, M. (2013). Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 3(1), 26-35.

Kurt, G. (2006). Lif içeriği ve su/çimento oranının fibrobetonun mekanik davranışına etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Yapı Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Li, Y.F., Lee, K.F., Ramanathan, G.K., Cheng, T.W., Huang, C.H., & Tsai, Y.K. (2021). Static and Dynamic Performances of Chopped Carbon-Fiber-Reinforced Mortar and Concrete Incorporated with Disparate Lengths. *Materials*, 14(4), 972. <https://doi.org/10.3390/ma14040972>

Mastali, M., Dalvand, A., Sattarifar, A. (2017). The impact resistance and mechanical properties of the reinforced self-compacting concrete incorporating recycled CFRP fiber with different lengths and dosages. *Composites Part B: Engineering*, 112, 74–92. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.12.029>

Qureshi, L.A., Ahmed, A. (2013). An investigation on strength properties of glass fiber reinforced concrete. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2(4), 2567-2572

Şimşek O. (2015). *Beton ve Beton Teknolojisi*. 5. Baskı, Ankara, Türkiye: Seçkin Yayınları

Şimşek, O., Aruntaş, H.Y., Demir, İ. (2007). Beton üretiminde süper akışkanlaştırıcı çeşiti ve oranının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 829-835

Şimşek, O., Toklu, K., & Ünal, M.T. (2021). Çelik Liflerin Geometrik Şeklinin ve Oranının Beton Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 409-415

Kaçar, A. (2018). Atık kâğıt katkılı çimento harçlarının bazı mekanik özellikleri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 1-6.

Toklu, K., Yazicioğlu, S. (2020). The Effect of aggregate size and cure conditions on the engineering properties of concrete. *Turkish Journal of Science and Technology*, 15(2), 127-137

Topçu, İ.B., Boğa, A.R. (2005). Uçucu kül ve çelik liflerin beton ve beton borularda kullanımı. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(2), 1-14

Topçu, İ.B., Demirel, O.E., & Uygunoğlu, T. (2017). Polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 20(1), 91-96

TS EN 196-1. (2016). Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 1015-3. (2000). Kağıt Harcı- Deney Metotları- Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (yayılma tablası ile). Türk Standartları Enstitüsü. Ankara

TS EN 12504-4. (2012). Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara

Yaprak, H., Şimşek, O., & Öneş, A. (2004). Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 7(4), 353-358

Yıldız, S., Bölükbaş, Y., & Keleştemur, O. (2010). Cam Elyaf Katkısının Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 13(3), 239-243