



Araştırma Makalesi - Research Article

Doymuş Ca(OH)_2 ile Alkali Direnci Kuvvetlendirilmiş Bazalt Lifinin Çimento Harcı Performansına Etkisi

Influence of Alkali Resistant Basalt Fiber Strengthened with Saturated Ca(OH)_2 on Cement Mortar Performance

Lütfullah Gündüz¹, Şevket Onur Kalkan^{2*}

Geliş / Received: 11/04/2022

Revize / Revised: 17/01/2023

Kabul / Accepted: 20/01/2023

ÖZ

Bu çalışmada, takviye lifler ile çimento matrisi arasında daha yüksek uyumluluğa sahip bazalt lif takviyeli çimento harçları hazırlamak için, bazalt lifleri yüzey işlemi yapılmadan, Ca(OH)_2 ile muamele edilerek ayrı ayrı çimento harcında kullanılmış ve harcın fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Kıyılmış bazalt lifleri toplam karışımın ağırlıkça %0.05, %0.10, %0.15, %0.20 ve %0.25 oranında kullanılmış ve lif takviyeli çimento harçları $40 \times 40 \times 160$ mm test numuneleri olarak üretildikten sonra suda küre tabi tutulmuşlar ve birim hacim kütle, yayılma, eğilme ve basınç dayanımı ve kuruma büzülmesi özelliklerinin değişimine dair deneysel bir araştırma sunulmaktadır. Bu çalışma, beş farklı grup çimento harcının karşılaştırması şeklinde tamamlanmıştır. Birinci grup harç numuneleri, bazalt lifi içermeyen kontrol numuneleri olmak üzere bir seri olarak üretilmiştir. İkinci grup harçlarda, işlem görmemiş yalın bazalt lifleri ayrı bir seri olarak çimento harcında kullanılmıştır. Üçüncü grupta, çimento harcı karışım dizaynına ağırlıkça %0.10 TiO_2 ilave edilmiş ve işlem görmemiş yalın bazalt lifleri kullanılmıştır. Dördüncü ve beşinci grup çimento harcında ise, sırasıyla 28 gün ve 56 gün boyunca önceden hazırlanmış doymuş Ca(OH)_2 solüsyonlarında bekletilerek alkali ortama direnci ve kimyasal kararlılığı artırma işlemi yapılmış bazalt lifleri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, 3 ve 7 günlük basınç dayanımlarında işlem görmemiş yalın bazalt lifleri harcın dayanımını artırırken, 28 günlük basınç dayanımları %0.10'un üzerinde yalın lif kullanımıyla azalmıştır. Harç karışımına TiO_2 ilave edilmesiyle birlikte basınç dayanım değerleri kontrol harcına kıyasla iyileşmiştir. Bazalt lifinin doymuş Ca(OH)_2 solüsyonlarında bekletilme süresi arttıkça, lifin bünyesine daha yüksek miktarda çözelti emilimi sağlanmaktadır. Bu işlemle lifin hem alkali dayanımı iyileştiği hem de çimento hidrasyonunda lifin bağ yeteneğinin artarak harcın dayanımının iyileştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, lif oranı arttıkça kuruma büzülmesinin azaldığı, Ca(OH)_2 ile işlem görmüş liflerin kullanılmasıyla bu azalmada daha etkin sonuçlar alınabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Çimento Harcı, Lif Takviyesi, Bazalt Lif, Alkali Direnci, Ca(OH)_2

ABSTRACT

In this study, to prepare basalt fiber reinforced cement mortars with higher compatibility between reinforcing fibers and cement matrix, basalt fibers were treated with Ca(OH)_2 and without surface treatment, and used in cement mortar separately and the physical and mechanical properties of the mortar were compared. In this study, an

¹İletişim: lutfullah.gunduz@ikcu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2487-467X>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Çiğli, İzmir

^{2*}Sorumlu yazar iletişimi: sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0250-8134>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Çiğli, İzmir

experimental investigation of the variation of flexural and compressive strength and drying shrinkage of fiber reinforced cement mortars is presented. Chopped basalt fibers were used at the rate of 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20% and 0.25% by weight of the total mixture in fiber reinforced cement mortars. Samples were produced as 40×40×160 mm and then cured in water. This study was completed as a comparison of five different groups of cement mortars. The first group mortar samples were produced as a series of reference samples, which did not contain basalt fiber. In the second group of mortars, untreated basalt fibers were used as a separate batch in cement mortar. In the third group, 0.10% by weight TiO₂ was added to the cement mortar mix design and untreated bare basalt fibers were used. In the fourth and fifth group cement mortars, basalt fibers were used in a way to increase resistance to alkaline environment and chemical stability by keeping them in pre-prepared saturated Ca(OH)₂ solutions for 28 days and 56 days, respectively. According to the results of the study, while untreated basalt fibers increased compressive strength of mortars at 3 and 7 days, 28-day compressive strengths decreased with the use of more than 0.10% untreated fiber. With the addition of TiO₂ to the mortar mixture, the compressive strength values improved compared to the reference mortar. As the soaking time of basalt fiber in saturated Ca(OH)₂ solutions increases, higher amount of solution absorption is provided into the fiber. With this process, it was observed that both the alkali resistance of the fiber improved and the strength of the mortar improved by increasing the bonding ability of the fiber in cement hydration. In addition, it has been determined that as the fiber ratio increases, the drying shrinkage decreases, and more effective results can be obtained by using Ca(OH)₂-treated fibers.

Keywords- Cement Mortar, Fiber Reinforcement, Basalt Fiber, Alkali Resistance, Ca(OH)₂

I. GİRİŞ

Bazalt, inşaat endüstrisinde farklı amaçlarla kullanılan volkanik kökenli doğal bir kayadır. En yaygın kullanımı kırmataş beton agregası olarak görülmekle birlikte, daha ince tane boyutlarında sıva ve harç agregası veya dolgu materyali olarak kullanımları da görülmektedir. Ayrıca, kesme taş olarak da yapı ve kaplama taşı kullanımlarını görmek mümkündür. Bazalt kayacı, 1300-1700°C arasındaki sıcaklıklarda ergitilebilir özelliğe sahip olup, uygun viskozitedeki erimiş bazalt bir memeden geçirilerek 6-20 µm kalınlığında ince lifler halinde bükülebilmektedir [1]. Isıl işleme lif formatına getirilen bazalt lifler (BL), cam liflere benzer bir yapıya sahip yeni bir inorganik elyaf türü olarak bilinmektedir.

Geleneksel çimento harcı, su ile birlikte belirli bir oranda bağlayıcı ve ince agrega içeren yapı malzemesidir. Bununla birlikte, çimento bağlayıcılı harç uygulamalarında harcın durabilitesi, basınç ve eğilmeye karşı mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla değişen çap ve uzunluklarda sentetik ve/veya organik esaslı farklı lif türleri kullanılmaktadır. Çimento harcının yapısal bütünlüğünü iyileştirmek ve harcı güçlendirmek için karbon lifler, organik lifler, cam lifleri veya sentetik lifler kullanılabilir de, volkanik bazalt kayacından elde edilebilir bazalt lifler doğal yapısı ve nispeten düşük enerji ile elde edilebilmesi bakımından ön plana çıkabilmektedir [2]. BL'ler çimento bağlayıcılı harç kombinasyonlarında cam elyaf, polivinil alkol (PVA) lif, selülozik elyaf, karbon elyaf vb. elyaflara benzer şekilde donatı elemanı olarak kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Yaygın olarak çimento harç tasarımlarında kullanılan lifler arasında cam lifi alkali koşullara karşı yüksek hassasiyete sahiptir. BL'ler cam liflere kıyasla daha yüksek değerlerde asit ve alkali korozyon direncine sahip olup, son yıllarda büyük ilgi görmüştür. BL'ler güçlü alkalilerde cam elyaflardan daha kararlıyken, güçlü asitlerde kimyasal kararlılığı daha düşüktür [3-5]. Diğer taraftan, BL'ler, E-cam elyafına (ilk yaygın sentetik kompozit takviyesi, özellikle elektriksel yalıtım uygulamaları için geliştirilmiştir) göre en az %16 daha yüksek elastisite modülüne, eşdeğer gerilme mukavemetine ve daha iyi alkaline direncine, mükemmel ara yüzey kesme mukavemetine sahip elyaf malzemelerdendir [6].

Kimyasal olarak inert ve daha sert yapıda olan karbon elyafların, özel nitelikteki harç kombinasyonları hariç, yüksek maliyet ve anizotropi dezavantajları sebebiyle geleneksel olarak uygulana gelen çimento harcı tasarımlarında tercihe bağlı kullanımları görülebilmektedir. Sentetik veya polimerik lifler, düşük elastik modülü, düşük erime noktası özelliği ve inorganik matrislerle zayıf ara yüzey bağlarına sahip olması sebebiyle esneklik, sıcaklığa dayanım ve yüksek mukavemet performansı arzu edilen çimento esaslı harç bileşimlerinde kullanımları sınırlı olmaktadır. Bu amaçla, özel nitelik taşıyabilen yeni nesil çimento esaslı harç kombinasyonlarında bazalt lif kullanımları önem kazanmaktadır.

Elyaf takviyeli çimento esaslı harçlarda yüksek performanslı takviye malzemelerinin çoğunluğu genellikle yüksek mukavemet ve elastisite modülü sağlamasının yanı sıra, aynı zamanda yüksek kimyasal ve termal stabilite sergilemesi de gerekmektedir [1]. Çimento harçları alkali bir ortama sahiptir. Alkali ortamda lifler kimyasal yapıları bağlamında reaksiyona girerek çimento matris yapısında bağ yapma dereceleri zayıflayarak,

matristen ayrılabilmekte ve harcın dayanım performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle çimento matrislerinde donatı takviyesi olarak kullanılacak lif türlerinin alkali ortama direnç açısından kimyasal stabilitesinin önceden etüt edilip, zayıf karakteristik sergileyen liflerin kullanımları öncesinde alkali ortama karşı dirençli hale getirilmesi önemlidir. Cam elyaflar evrensel olarak yüksek performanslı kompozit malzemelerde kullanılmasına rağmen, alkali koşullarda zayıf bir stabiliteye sahiptir [7]. Son yıllarda farklı araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalarda BL'nin çimento bağlayıcılı sistemlerde kullanımında başlıca iki hususa dikkat çekilmiştir [8-13]: *Çimento hidratasyonunda alkalilik özelliğinin minimize edilmesi veya bazalt lifinin yüzeyi ve bünyesi alkali ortam için kimyasal ön bir işleme kuvvetlendirilmesi* işlemi. Bu alternatif uygulamalar ile bazalt lifleri çimento hidratasyonunun alkali ortamına karşı daha kimyasal kararlı bir forma getirilmiş olur. Ayrıca, çalışmada ayrı bir seri olarak TiO₂ katkılı harçlar üretilmiştir. TiO₂'nin bazalt liflerinde kaplama malzemesi olarak kullanılması ile birlikte bazalt liflerinin alkali korozyonuna karşı dayanımının arttığı diğer araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir [14].

Bu makalede, bazalt liflerinin çimento harcında donatı materyali olarak kullanımı ile harcın basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kuruma büzülmesi değerlerindeki değişim hakkında kapsamlı yapılan bir araştırma çalışmasının özetle bulguları sunulmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada, bazalt liflerinin doymuş Ca(OH)₂ ile alkali direncinin kuvvetlendirilme işlemleri tanımlanmış ve alkali dirençli BL'lerin çimento harcında takviye elemanı olarak kullanımlarında kimyasal kararlılıkları, harcın mekanik ve rötre performansına olan etkileri karşılaştırmalı olarak özetle tartışılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. Malzemeler ve Test Numuneleri

Bazalt lif takviyeli çimento harcı (BLTÇH) test numunelerinin hazırlanmasında karma suyu hariç ana agrega, bağlayıcı malzeme ve katkı malzemeleri olarak 4 ayrı malzeme türü kullanılmıştır. Bağlayıcı malzeme olarak TS EN 197-1 standardına uygun PÇ42.5R (42.5 N/mm²) Portland çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan çimentonun kimyasal içeriği Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca, çimentonun özgül ağırlığı 3.11, priz başlangıcı ve priz sonu değerleri 150 dk ve 220 dakika, 28 günlük basınç dayanımı 52 MPa'dır. Ana agrega malzeme olarak yüzey kuru yoğunluğu 2,72 g/cm³ ve maksimum tane boyutu 2,0 mm olan silis kumu kullanılmıştır. Piyasa koşullarından tedarik edilen 13 µm çapında ve 18 mm uzunluğunda kıyılmış bazalt lifi kullanılmış olup bazı teknik özellikleri Tablo2'de verilmiştir. Katkı maddesi olarak rutil esaslı toz formda TiO₂ piyasadan temin edilerek kullanılmıştır. Tüm BLTÇH test numunelerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları Tablo3'te verilmiştir. Çalışma programında tüm test numunelerinin mukayesesi amacıyla kütlece 1(su):2(çimento):6(kum) karışım oranlarında bir kontrol karışımı tasarlanmıştır (BL0). BL0 karışımı haricinde bazalt lif takviyeli 4 ayrı grup karışım tasarımı daha yapılmıştır. Tüm gruplarda sırasıyla toplam karışımın ağırlıkça %0.05, %0.10, %0.15, %0.20 ve %0.25 oranlarında bazalt lifi silis kumu ile yer değiştirmeli olarak 5 ayrı seri test numuneleri hazırlanmıştır. İlk grupta piyasadan temin edildiği şekliyle bazalt lif (yalın formda) karışımlarda kullanılmıştır. İkinci grupta, karışıma TiO₂ toz formda her bir seride toplam karışımın ağırlıkça %0.10'u kadar sabit oranda silis kumu ile yer değiştirmeli olarak ilave edilmiştir. Üçüncü ve dördüncü gruplarda ise sırasıyla 28 gün ve 56 gün boyunca önceden hazırlanmış doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında bekletilerek, alkali ortama direnci ve kimyasal kararlılığı artırma işlemi yapılmış bazalt lifleri kullanılmıştır. Tüm karışımlarda karma suyu olarak İzmir ili şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. PÇ42.5R Portland çimentosunun kimyasal içeriği

Oksit	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	KK
Ağırlıkça, %	63.31	19.36	4.32	2.86	1.33	0.41	0.19	2.86	3.35

Tablo 2. Bazalt lifinin bazı teknik özellikleri.

Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Gerilmesi (GPa)	Dinamik Elastisite Modülü (GPa)	Yumuşama Noktası (°C)	Kopma Uzaması (%)	Su emme (%)
2.7	4.60	95-105	950	≈3.0	<0.55

Tablo 3. BLTÇH test numunelerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları (ağırlıkça %).

Test	PÇ	0-2 mm Kum	Bazalt Lif	TiO ₂	Su	s/ç	su/katı
<i>Kontrol Karışımı:</i>							
BL0	22.2	66.70	0.00	0.00	11.1	0.50	0.125
<i>Yalın Bazalt Lif Takviyeli:</i>							
BL1	22.2	66.65	0.05	0.00	11.1	0.50	0.125
BL2	22.2	66.60	0.10	0.00	11.1	0.50	0.125
BL3	22.2	66.55	0.15	0.00	11.1	0.50	0.125
BL4	22.2	66.50	0.20	0.00	11.1	0.50	0.125
BL5	22.2	66.45	0.25	0.00	11.1	0.50	0.125
<i>TiO₂ Takviyeli:</i>							
BL6	22.2	66.55	0.05	0.10	11.1	0.50	0.125
BL7	22.2	66.50	0.10	0.10	11.1	0.50	0.125
BL8	22.2	66.45	0.15	0.10	11.1	0.50	0.125
BL9	22.2	66.40	0.20	0.10	11.1	0.50	0.125
BL10	22.2	66.35	0.25	0.10	11.1	0.50	0.125
<i>28 gün boyunca doymuş Ca(OH)₂ solüsyonunda Güçlendirilmiş Bazalt Lif Takviyeli</i>							
BL11	22.2	66.65	0.05	0.00	11.1	0.50	0.125
BL12	22.2	66.60	0.10	0.00	11.1	0.50	0.125
BL13	22.2	66.55	0.15	0.00	11.1	0.50	0.125
BL14	22.2	66.50	0.20	0.00	11.1	0.50	0.125
BL15	22.2	66.45	0.25	0.00	11.1	0.50	0.125
<i>56 gün boyunca doymuş Ca(OH)₂ solüsyonunda Güçlendirilmiş Bazalt Lif Takviyeli:</i>							
BL16	22.2	66.65	0.05	0.00	11.1	0.50	0.125
BL17	22.2	66.60	0.10	0.00	11.1	0.50	0.125
BL18	22.2	66.55	0.15	0.00	11.1	0.50	0.125
BL19	22.2	66.50	0.20	0.00	11.1	0.50	0.125
BL20	22.2	66.45	0.25	0.00	11.1	0.50	0.125

B. Test Metodolojisi

Bazalt lifinin yalın formda çimento harcı karışımında kullanımıyla erken yaşlarda basınç dayanımı kazandığı, ancak ilerleyen yaşlarda ise dayanım kaybettiği yapılan test çalışmalarında tecrübe edinildi. Kum, çimento ve su karışımıyla oluşan çimento harcı alkali bir karakteristiktir. Bazalt lifi herhangi bir işlem yapılmaksızın çimento bileşenli bir harç karışımında kullanımında, ortamın alkalilik durumundan etkilenecek lifin bağ yapma performansında bir zayıflama söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle, bazalt lifi herhangi bir işlem yapılmaksızın çimento bağlayıcı harç karışımında doğrudan kullanıldığında genellikle ilerleyen yaşlarda çimento bileşenli matrislerde mukavemet düşüklüğüne sebep olmaktadır. Bu nedenle, bazalt liflerinin öncelikle alkali ortama karşı dirençli bir forma getirilmesi ve ondan sonra harç karışımlarında kullanılması gerekir. Bazalt lifinin çimento bağlayıcı sistemlerde kullanımında başlıca iki hususa dikkat etmek gerekmektedir: Çimento hidratasyonunda alkalilik özelliğinin minimize edilmesi ve bazalt lifinin yüzeyi ve bünyesi alkali ortam için kimyasal ön bir işlemle kuvvetlendirilmesi gerekmektedir [1, 8].

Testler için tasarlanmış tüm karışımlar laboratuvar ortamında (ortalama 22°C ve %50 RH) bir çimento mikserinde karıştırılmıştır. Taze harç formunu oluşturmak için öncelikle katlı formdaki malzemeler 3 dakika boyunca homojene yakın bir dağılım oluşuncaya kadar karıştırılmıştır. Daha sonra katı formdaki karışıma karışım suyu eklenerek 3 dakika daha malzemeler mikserde karıştırılmıştır. Taze yaş harç karışımı oluşturulduktan sonra, karışım 3 dakika dinlendirilerek 40×40×160mm boyutlarında prizma kalıplara dökülmüştür. Her bir karışım tasarımına ait 9 adet numune dökümü yapılmıştır. Dökümden sonra, numunelerin her biri, kalıptan çıkarmadan önce laboratuvarında yaklaşık 24 saat bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numunelere, mekanik test günlerine kadar 23±2°C'lik termostatlı bir ortamda su içerisinde kür işlemi yapılmıştır. Testler için kürlemesi tamamlanan numuneler sudan çıkartılarak öncelikle 100 °C'de 24 saat havalandırılmalı bir etüvde kurutulmuştur. Sonrasında numuneler 3, 7 ve 28. günlerinde basınç ve eğilme dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Sertleşmiş harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımları TS EN 1015-11'e [15] göre yapılmıştır. Kuruma büzülmesi (rötre) testi ASTM C 596-09 [16] standardına göre yapılmıştır. Rötre testi için 25×25×285 mm boyutlarında prizmalar

üretmiş, numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ve $\%50 \pm 5$ bağıl nemde bir kurutma odasında tutulmuştur. Her karışım için üç adet prizma numune üretilmiştir. 24 ± 1 saatte numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra tüm numunelerde uzunluk değeri için ilk ölçüm yapılmıştır. Bu ölçüm kontrol veya 0 günlük ölçüm olarak kullanılmıştır. Sonraki ölçümler, ilk ölçümden sonra 1, 3, 7, 14, 28 ve 72. günlerde yapılmıştır. Harç karıştırdıktan hemen sonra, taze harcın yayılma ve kıvam analizi TS EN 1015-3'te [17] belirtilen prensiplere göre ölçülmüştür. Ayrıca sertleşmiş harç numunelerinin ASTM C642 (2017) [18] standardına göre yoğunluk değerleri analiz edilmiştir.

Bu çalışmada yalnız bazalt lifinin alkali ortama direncini artırmak amacıyla iki ayrı uygulama yapılmıştır. Birinci uygulamada çimento harcı karışımlara yalnız bazalt lifi ile birlikte toz formda rutil esaslı TiO_2 ağırlıkça $\%0.10$ sabit oranda ilave edilerek (BL6 – BL10), TiO_2 katkısının bazalt lifinin çimento matris yapısındaki dayanım değerlerine etkileşimi analiz edilmiştir. Bu uygulamada, bazalt lifinin karışıma ilave edilmeden önce TiO_2 'yle kimyasal kaplanması yerine alternatif bir yaklaşımla karışımda serbest TiO_2 partiküllerinin varlığıyla bazalt lifinin kimyasal kararlılık kazanıp kazanmadığı dayanım testleri ile analiz edilmiştir. İkinci uygulama da ise bazalt lif demetleri 56 gün boyunca önceden hazırlanmış doymuş $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solüsyonlarında bekletilerek, alkali ortama direnci ve kimyasal kararlılığı artırma işlemi yapıldı. Bekleme süresinden sonra doymuş $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solüsyonlarından lif demetleri alındı ve distile su ile yıkandı. Yıkanan lif demetleri daha sonra 24 saat oda sıcaklığında damıtılmış suya daldırıldı ve sonrasında ilaveten 24 saat daha kurutuldu. Tüm prosedürlerden sonra, her bir lif demeti için kimyasal kararlılıkları bağlamında ağırlık değişimleri aşağıdaki Eşitlik 1 ile hesaplandı.

$$\text{Ağırlık değişimi (\%)} = (1 - ((M_0 - M) / M)) \times 100 \quad (1)$$

Burada; M_0 , solüsyona batırılmadan önce numune ağırlığını (g), M, Solüsyon emdirildikten sonra numune ağırlığını (g) temsil etmektedir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

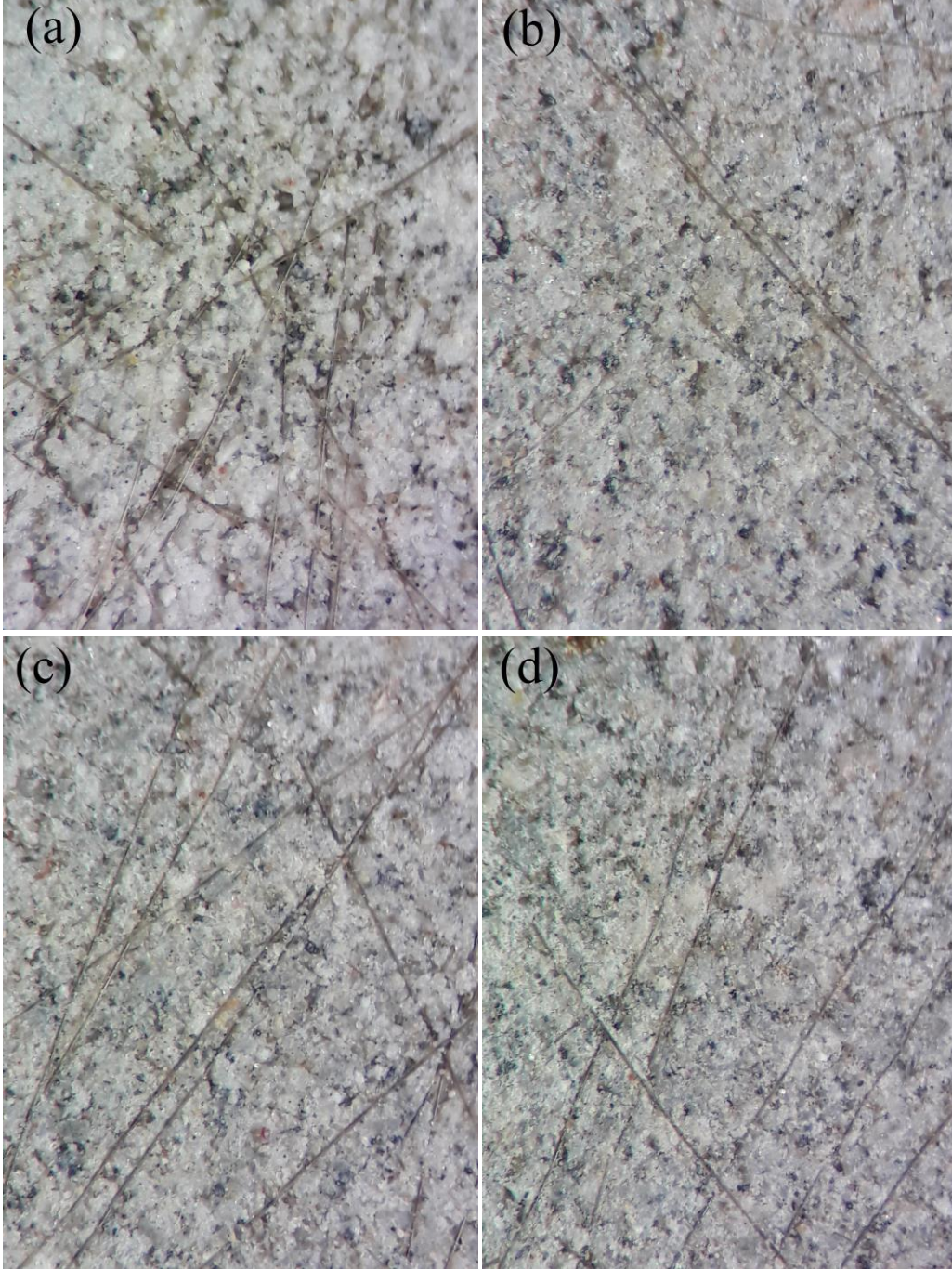
BLTÇH test numunelerinin yaş birim hacim kütle, sertleşmiş harç birim kütle ve yayılma değerleri Tablo4'te verilmiştir. Ayrıca, harç numunelerinin mikroskop görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Mikroskop görüntüleri Nikon marka (SMZ 745T) stereo mikroskop ile elde edilmiştir.

Tablo 4. BLTÇH test numunelerinin analiz bulguları.

Test	Bazalt Lif Oranı (ağırlıkça %)	Yaş Harç Birim Hacim Kütle (kg/m^3)	Sertleşmiş Harç Birim Hacim Kütle (kg/m^3)	Yayılma (mm)
<i>Kontrol Karışımı:</i>				
BL0	0.00	2134	1920	216
<i>Yalın Bazalt Lif Takviyeli:</i>				
BL1	0.05	2125	1911	197
BL2	0.10	2116	1902	183
BL3	0.15	2108	1895	179
BL4	0.20	2101	1887	176
BL5	0.25	2097	1883	171
<i>TiO_2 Katkılı:</i>				
BL6	0.05	2123	1909	197
BL7	0.10	2114	1900	182
BL8	0.15	2106	1893	178
BL9	0.20	2099	1885	176
BL10	0.25	2095	1882	170
<i>28 gün boyunca doymuş $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solüsyonunda Güçlendirilmiş Bazalt Lif Takviyeli:</i>				
BL11	0.05	2125	1911	196
BL12	0.10	2116	1902	182
BL13	0.15	2108	1895	177
BL14	0.20	2101	1887	176
BL15	0.25	2097	1883	171

Tablo 4. (Devamı)

Test	Bazalt Lif Oramı (ağırlıkça %)	Yaş Harç Birim Hacim Kütle (kg/m ³)	Sertleşmiş Harç Birim Hacim Kütle (kg/m ³)	Yayılma (mm)
56 gün boyunca doymuş Ca(OH) ₂ solüsyonunda Güçlendirilmiş Bazalt Lif Takviyeli:				
BL16	0.05	2125	1911	195
BL17	0.10	2116	1902	181
BL18	0.15	2108	1895	177
BL19	0.20	2101	1887	175
BL20	0.25	2097	1883	169

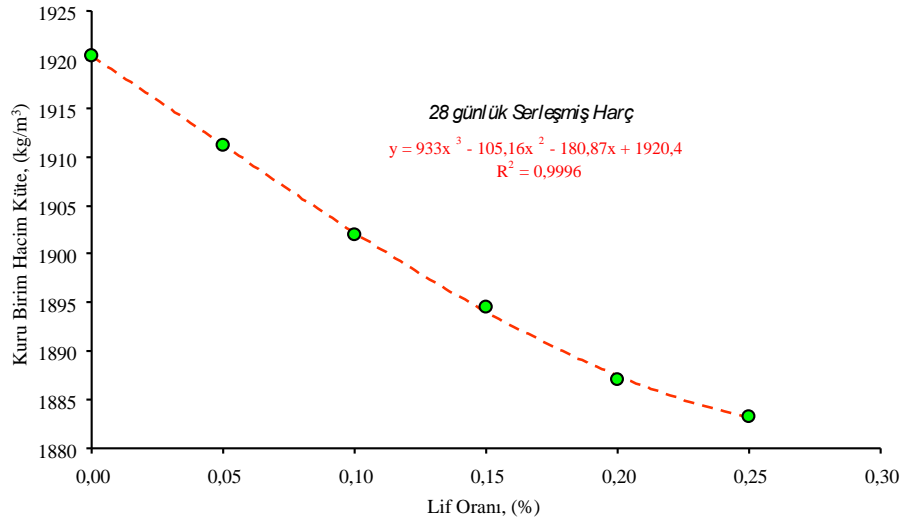


Şekil 1. BL katkılı harç numunelerinin mikroskop görüntüleri

A. Birim Hacim Kütle ve Yayılma

Bileşiminde bazalt lif takviyesi kullanılmaksızın tasarlanmış kontrol harcı (BL0) örneğinin taze harç yaş birim hacim kütlesi ortalama 2134 kg/m^3 'tür. Doymuş Ca(OH)_2 ile alkali direnci kuvvetlendirilmemiş yalın bazalt lif takviyeli harç karışımlarının (BL1-BL5) yaş birim hacim kütle değerleri ortalama $2097\text{-}2125 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişmektedir. BL oranı arttıkça, yaş harç birim hacim kütle değeri düşük değerlerde de olsa azalmaktadır. BL0 harcına göre ortalama %0.42-%1.73 oranında artan lif oranı bağlamında yaş yoğunluğu düşmektedir. Bununla birlikte 28 gün ve 56 gün boyunca doymuş Ca(OH)_2 solüsyonunda güçlendirilmiş bazalt lif takviyeli çimento harcı karışımlarının (BL11-BL15 ve BL16-BL20) yaş birim hacim kütle değerleri de yalın bazalt lif takviyeli harç karışımların değerleri ile aynı olduğu belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, alkali direnci kuvvetlendirilmiş bazalt lifi, harç tasarımında harcın yaş yoğunluk değerine değişim etkisi olmadığı gözlenmiştir. Harç tasarımlarında ağırlıkça %0.10 sabit oranda TiO_2 katkısıyla oluşturulmuş test numunelerinin (BL6-BL10) ise yaş birim hacim kütle değerleri ortalama $2095\text{-}2123 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişmektedir. TiO_2 katkısının harç karışımlarında yaş yoğunluğunun değişimine etken bir parametre olmadığı görülmüştür. Tüm test numunelerinde yaş yoğunluk değişimi için gözlenen değişim veya etkileşim, benzer bir eğilimle sertleşmiş harç formları için de geçerli olduğu belirlenmiştir.

Kontrol harcı (BL0) örneğinin yayılma tablası yöntemiyle ölçülmüş yayılma değeri 216 mm'dir. Doymuş Ca(OH)_2 ile alkali direnci kuvvetlendirilmemiş yalın bazalt lif takviyeli harç karışımlarının (BL1-BL5) yayılma değerleri ise 197 mm'den 171 mm'ye kadar düşmektedir. Bazalt lif oranı arttıkça yayılma değeri düşmekte ve harcın işlenebilirliği bu oranda azalmaktadır. BL0 harcına göre yalın BLTÇH test numunelerinin yayılma değerlerindeki değişim artan lif oranı bağlamında sırasıyla %8.8, %15.3, %17.1, %18.5 ve %20.8 oranlarında gözlemlenmiştir. Bazalt lif içeriğinin artmasıyla harcın akışkanlığının ve sarkma özelliğinin belirgin şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Matris yapıda rastgele yönlendirilmiş kısa bazalt liflerinin kumu tuttuğu, harçta suyun hareket etmesini engellediği ve bazalt liflerinin yüzeyine taze harç bünyesinde oluşan küçük topaklanmaların aynı anda hareket eden suyu azaltarak akışkanlık özelliğini etkilediği düşünülmektedir. Bazalt lifinin çimento harcı karışımlarında bu etkisine yönelik benzer bulgular farklı araştırmacıların çalışmalarında da vurgulanmıştır [19, 20]. Bazalt lif içeriğinin artmasıyla sertleşmiş harç numunelerinin ortalama kütlesi azalmıştır (Şekil 2). Matris yapıda rastgele yönlendirilmiş bazalt liflerin oluşturduğu donatı fonksiyonunun harcın gözenekliliğini arttırdığı düşünülmekte ve buna bağlı olarak harcın yoğunluğu azalmaktadır.



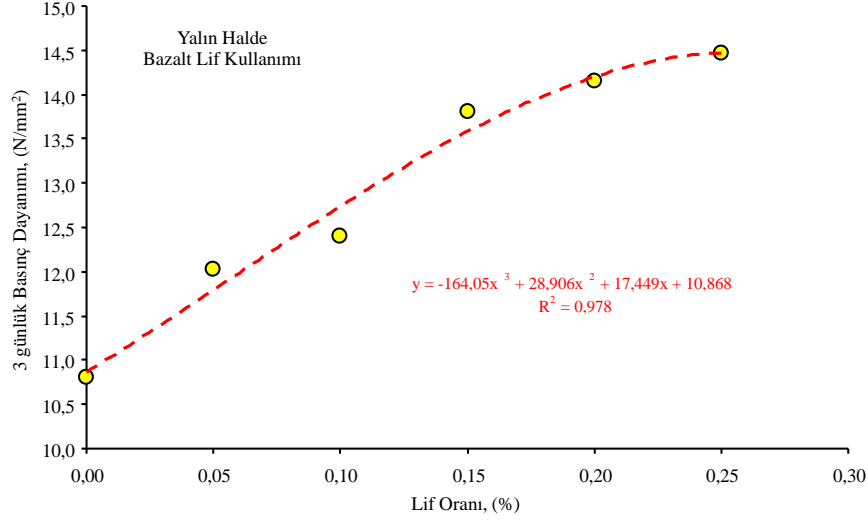
Şekil 2. Bazalt lif oranı-sertleşmiş harç yoğunluk ilişkisi.

Doymuş Ca(OH)_2 ile alkali direnci kuvvetlendirilmiş bazalt lifli karışımların yayılma değerleri eşdeğer oranlarda yalın bazalt lif takviyeli karışımların yayılma değerlerine göre bir miktar daha düşük olduğu görülmüştür. Lifin alkali direncini kuvvetlendirmek amacıyla Ca(OH)_2 etkileşimi sonrasında lif yüzeylerinde mikron büyüklüklerinde CaCO_3 kristalleşmeleriyle kaplanmış olduğu görülebilmektedir. Bu kristalleşmelerin lifin matris yapıda tutuculuğu artırması ve karışım hamurunda suyun hareketini kısıtlayarak akışkanlık özelliğini azalmasına sebep olduğu düşünülmüştür. Alkali direnci için doymuş Ca(OH)_2 etkileşim oranı arttıkça, bazalt lifinin yayılmanın azalmasına olan etkisinin arttığı görülmüştür. Diğer taraftan, yalın bazalt lif takviyeli harç karışımlarına eşit oranda TiO_2 ilavesiyle, bazalt liflerinin çeperlerinde TiO_2 'nin ince partiküller şeklinde yer yer tutunduğu gözlenmiştir. Bu tutunmaların lif yüzeylerinde çeper oluşturarak karma suyunun hamur içerisinde

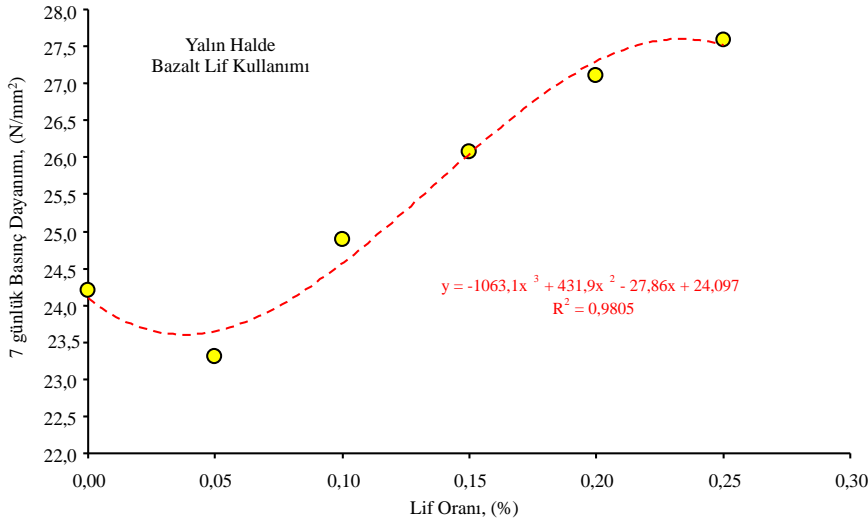
hareketini engellediği ve bu sebeple minimum miktarlarda da olsa harcın yayılma değerini ve kıvamını azalttığı düşünülmektedir.

B. Basınç ve Eğilme Dayanımı

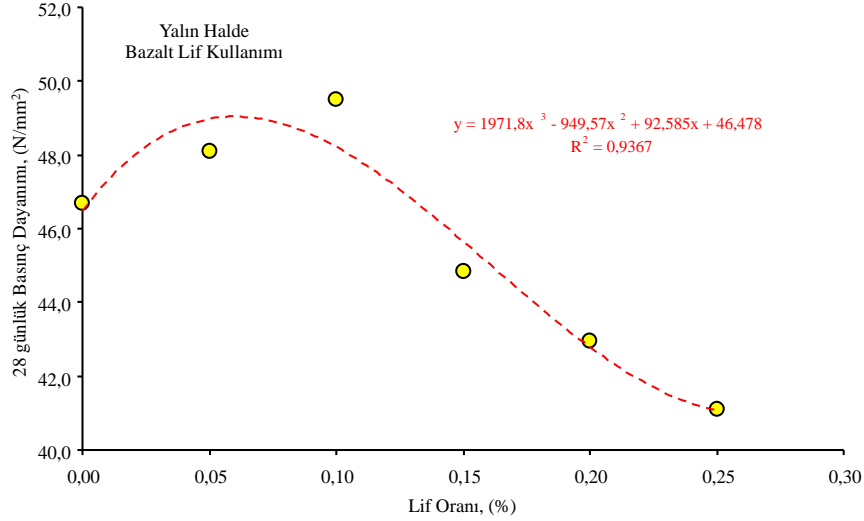
Tüm BLTÇH test numunelerinin 3, 7 ve 28 gün sonrası basınç dayanımı ve eğilme dayanım değerleri analiz edilmiştir. Yalın bazalt lif takviyeli test numunelerinin sertleşme yaşlarına göre basınç dayanımı değişimleri Şekil 3 – Şekil 5'te sırasıyla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bazalt lif takviyesi kullanılmaksızın tasarlanmış kontrol harcı (BL0) test örneğinin 3, 7 ve 28 günlük yaşlarda basınç dayanım değerleri sırasıyla 10.8 N/mm², 24.2 N/mm² ve 46.7 N/mm²'dir.



Şekil 3. Bazalt lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi (3 gün sertleşme yaşı).



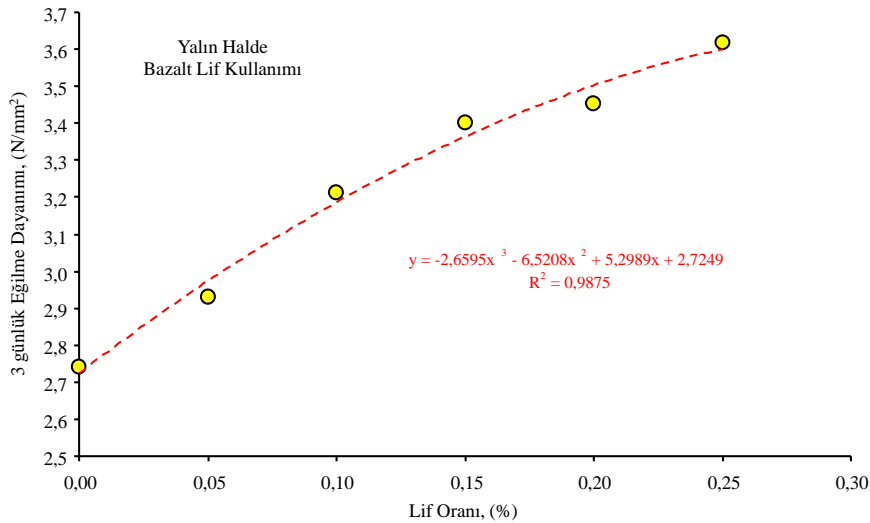
Şekil 4. Bazalt lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi (7 gün sertleşme yaşı).



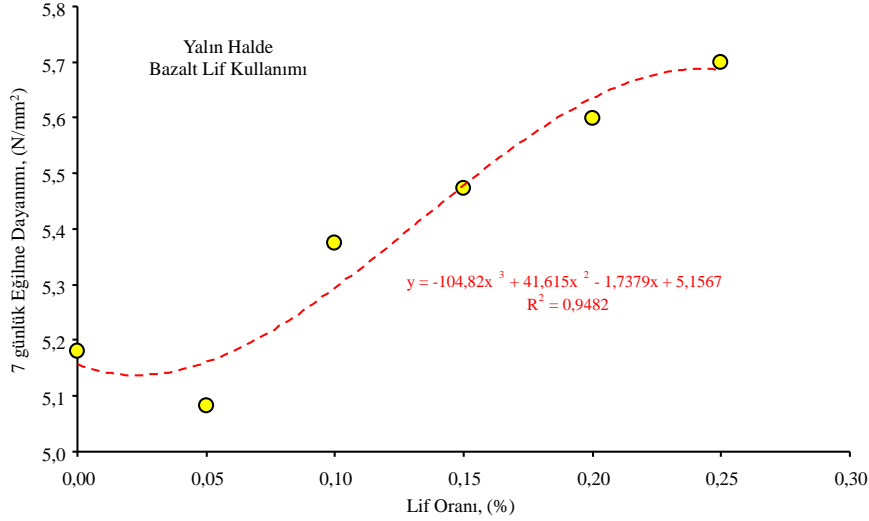
Şekil 5. Bazalt lif oranı-basınç dayanımı ilişkisi (28 gün sertleşme yaşı).

Şekil 3 – Şekil 5 irdelendiğinde görüldüğü üzere, kontrol örneğine göre bazalt lif ilave oranına bağlı yalın bazalt lif takviyeli çimento harcı dayanımlarında sırasıyla %11,2, %14,7, %27,7, %30,9 ve %33,9'luk artışlar olmuştur. Erken yaşlarda çimento harcında yüksek oranda bazalt lif ilave edilmesi dayanımı önemli ölçüde iyileştirmektedir. Örneğin %0 lif kullanımlı test örneğinin basınç dayanımı 10,8 N/mm²'den ağırlıkça %0,25 yalın bazalt lif takviyesiyle 3 günlük yaş sonrası basınç dayanımı 14,5 N/mm²'e yükselerek mukavemet kazanmıştır. Ancak bazalt lif ilavesi ilerleyen yaşlarda harcın mukavemetini azaltıcı etkiler göstermiştir. 7 gün küre tabi tutulan çimento harcı numunelerinin kontrol harcına göre ağırlıkça %0,05'lik bazalt lif kullanımında dayanım değeri %3,7'lik bir oranda düşüş göstermiştir. Bazalt lif oranının bu değer üzerinde ilave oranlarında aynı yaşlarda %14'e varan mukavemet artışları olmuştur. Çimento harcı yaşı arttıkça, yalın bazalt lif etkisiyle mukavemet kazanma oranı erken yaşlara kıyasla düşmüştür. 28 gün kür uygulanan numunelerde ise ağırlıkça %0,05 ve %0,10'luk bazalt lif takviyesinde basınç dayanımlarında %3 ve %6'lık birer artış olmuştur. Ancak, ağırlıkça lif kullanım oranı >%0,15'in üzerine çıktığında ise sırasıyla %4, %8 ve %12'lik dayanım düşüşleri olmuştur (Şekil 5). Lif artış miktarına bağlı dayanım düşüşü, yalın bazalt lifleri ile çimento matrisi arasındaki ara yüzeyde aderans kabiliyetinin azalması ve yaşlanmaya bağlı zayıf karakteristiğinin oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, çimento harcı matrisine yüksek elastik modüllü elyaf eklendikten sonra ilerleyen yaşlarda harcın dayanımlarının azalabileceği farklı araştırmalarda da rapor edilmiştir [21].

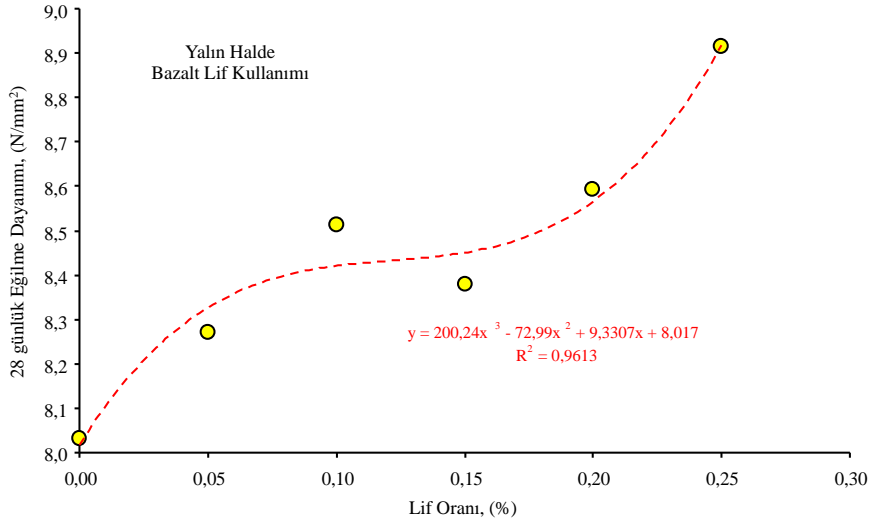
Diğer taraftan yalın bazalt lif takviyeli test numunelerinin sertleşme yaşlarına göre eğilme dayanımı değişimindeki karakteristik eğilim, basınç dayanımı davranışına kıyasla farklılıklar göstermektedir. Bazalt lif takviyesi kullanılmaksızın tasarlanmış kontrol harcı (BL0) test örneğinin 3, 7 ve 28 günlük yaşlarda eğilme dayanım değerleri sırasıyla 2,7 N/mm², 5,2 N/mm² ve 8,0 N/mm²'dir. Yalın bazalt lif oranlarına bağlı eğilme dayanımı değişimleri 3, 7 ve 28 günlük numuneler için sırasıyla Şekil 6 – Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Bazalt lif oranı-eğilme dayanımı ilişkisi (Numune yaşı:3 gün).



Şekil 7. Bazalt lif oranı-eğilme dayanımı ilişkisi (Numune yaşı:7 gün).



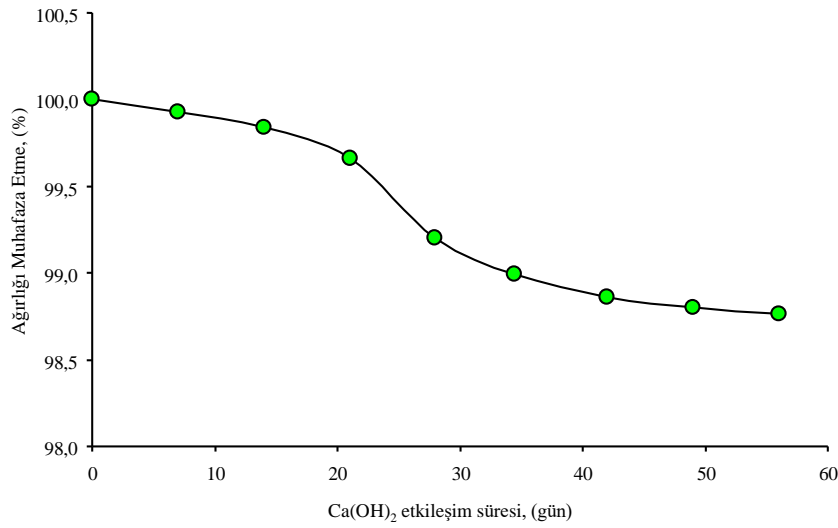
Şekil 8. Bazalt lif oranı-eğilme dayanımı ilişkisi (Numune yaşı:28 gün).

Şekil 6 – Şekil 8 irdelendiğinde, çimento harcı karışımlarına bazalt lifi ilavesi, erken yaşlarda basınç mukavemetine benzer şekilde harcin eğilme dayanımını iyileştirmiştir. Ancak, ilerleyen yaşlarda basınç mukavemetini düşürücü etkisi, eğilme dayanımında gözlenmemiş olup, aksine eğilme dayanımları da iyileşmiştir. 3 günlük yaşa ulaşıldığında test numunelerinin eğilme dayanımları artan lif kullanım oranına bağlı olarak 2.9 N/mm²'den 3.6 N/mm²'ye%26.92'lik artış göstermiştir. Kontrol örneğine göre mukayese edildiğinde bazalt lif ilave oranına bağlı eğilme dayanımlarında sırasıyla %6.9, %17.2, %24.1, %26 ve %32'lik artışlar olmuştur. Erken yaşlarda çimento harcında yüksek oranda bazalt lif ilavesi eğilme dayanımını önemli ölçüde iyileştirmektedir. Örneğin, kontrol örneğinin eğilme dayanımı 2.7 N/mm²'den ağırlıkça %0.25 yalın bazalt lif takviyesiyle 3 günlük yaş sonrası eğilme dayanımı 3.6 N/mm²'e artarak, daha esnek bir karakteristik kazanmıştır. 7 günlük yaşa ulaşan çimento harcı numunelerinde (BL1) kontrol harcına göre ağırlıkça %0.05'lik bazalt lif takviyesinde eğilme dayanımı %1.9'luk oranda düşmüştür. Lif takviyesi >%0.05 oranı üzerine çıktığında eğilme dayanımında %10'a varan iyileşmeler olmuştur. Bununla birlikte 28 günlük yaşlarda ise yalın bazalt lif takviyeli tüm numunelerin eğilme dayanımlarında artış gözlenmiştir. Kontrol örneğine göre kıyasla bazalt lif ilave oranına bağlı eğilme dayanımlarında sırasıyla %8.3, %8.5, 8.4, %8.6 ve %8.9'luk artışlar olmuştur. Literatür incelendiğinde, benzer şekilde bazalt liflerinin harçlarda eğilme dayanımını önemli ölçüde artırabildiği görülebilmektedir [22]. Bu iyileşmenin sebebi olarak; bazalt lifleri, çimento harcı karışımlarında kullanılabilen selülozik lif, PVA, polipropilen ve cam elyaf gibi diğer tür liflere göre çekme gerilme değerleri en yüksek lif türlerindedir. Bu bağlamda, çimento harcı içerisine bazalt lifleri ilave edildiğinde, matris yapıda rastgele yönelmiş bazalt liflerin oluşturduğu donatı uzanımları boyunca çekme gerilmesi taşıma kapasitesinin artışına paralel olarak eğilme dayanımlarının yükseldiği düşünülmektedir.

C. TiO₂ Katkısının ve Ca(OH)₂ ile Alkali Dirençli Bazalt Lifi Takviyesinin Dayanma Etkisi

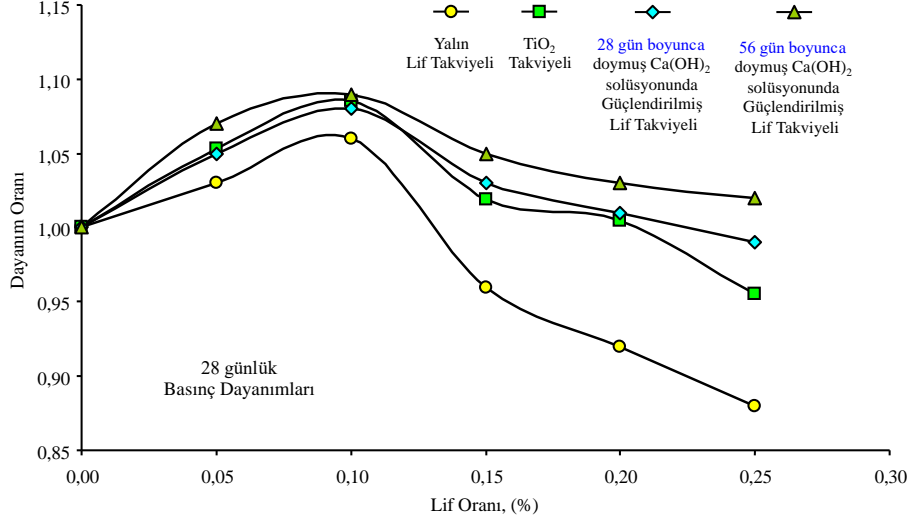
Bazalt lifinin çimento bağlayıcılı sistemlerde kullanımı ve alkali ortama uyumluluğunu sağlamak amacıyla KOH, NH₃, NaOH, NaOH+Na₂CO₃ çözeltileri gibi kimyasal solüsyonlarda belirli bir periyotta bekletilmek suretiyle alkali direnci artırılabilir [1]. Bununla birlikte, Zr₂O veya TiO₂ bileşenleri ile de kimyasal kaplama işlemi yapıldıktan sonra kullanımı sağlanabilmektedir [23]. Bir diğer alternatif işlem ise bazalt lifi belirli bir periyotta daldırma yöntemiyle doymuş Ca(OH)₂ solüsyonunda bekletilerek bazalt lifinin çok düşük ağırlık kaybıyla birlikte alkali ortama yüksek direnç göstermesi sağlanabilmektedir [1]. Konu üzerine yapılan farklı araştırmalarda zayıf alkali solüsyona batırılmış bazalt lifinin çok kararlı olduğu, güçlü alkali solüsyona batırılmış bazalt elyafın ise yüksek ayrışma sabitine bağlı olarak zayıf bir şekilde kalıcılık sergilediği gözlenmiştir. Bazalt elyafın alkali çözeltilerdeki çekme dayanım değeri büyük ölçüde azalır. Lee ve ark. [1] alkali çözeltide bazalt elyafın kimyasal kararlılığı üzerine farklı konsantrasyonlarda hazırladıkları KOH, NH₃, NaOH çözeltilerde ve doymuş Ca(OH)₂ solüsyonunda bazalt liflerinin 90 gün süreyle bekletildikten sonra alkali dirence en mukavim bazalt lifinin doymuş Ca(OH)₂ ve NH₃ solüsyonuna maruz kalmış numunelerinde oluştuğunu rapor etmişlerdir.

Bu çalışmada, 56 gün boyunca doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarına maruz bırakılmış bazalt lif demetlerinin ağırlık değişimi (ağırlığını muhafaza etme, ağırlık tutma) analizi Şekil 9’da verilmiştir.



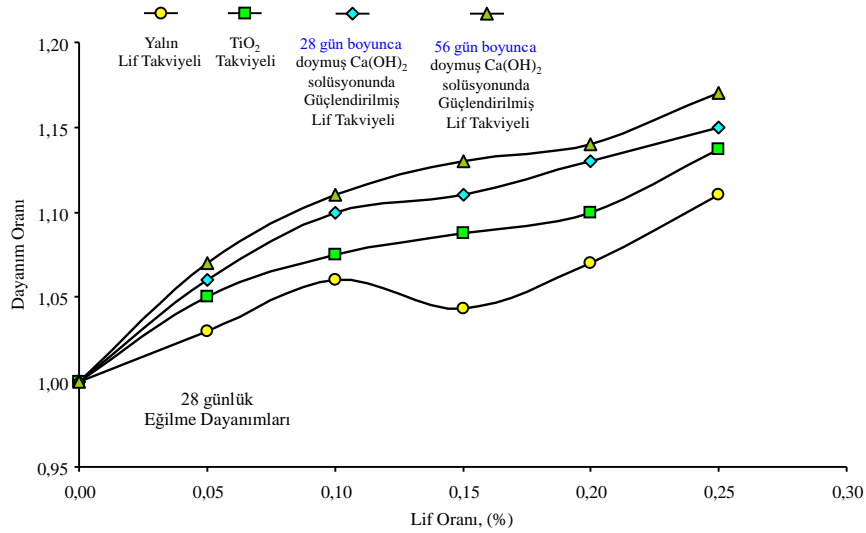
Şekil 9. Doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarına maruz bırakılmış bazalt liflerinin ağırlık değişimi.

56 gün boyunca doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarına batırılarak kimyasal etkileşime maruz bırakılmış bazalt lif demetlerinin, alkali ortamda ortalama %1.24'lük bir ağırlık kaybı ile 56 gün sonunda ağırlığının %98.76'sını muhafaza etmiştir. Solüsyona maruz kalma süresi arttıkça genel eğilim, ağırlığını muhafaza etme kabiliyetinde minimum değerlerde de olsa bir düşme söz konusudur. GB/T 23265 standardında [24] çimento bağlayıcılı karışımlarda kullanılacak bazalt liflerinin alkali dirençli olmasını zorunlu kılınmıştır. Ayrıca, bazalt liflerinin 100°C'de 4 saat süreyle doymuş Ca(OH)₂ çözeltisine maruz kaldıktan sonra ağırlığı muhafaza etme oranının %75'ten az olmaması öngörülmüştür [25]. Bu değerlendirmeye göre, çalışma kapsamında kimyasal etkileşime maruz bırakılmış bazalt liflerinin tümü, öngörülen değerleri sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında 28 güne kadar solüsyonda bekletilme süresinde önemli bir düşme oranı gözlenmiş olup, 28 gün sonrasındaki ağırlık değişiminin daha düşük düzeylerde olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, 28 gün ve 56 gün boyunca doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında bekletilerek kimyasal kararlılığı artırılmış bazalt lif demetlerinden alınan örnekler, çalışma kapsamında alkali direnci kuvvetlendirilmiş iki ayrı bazalt lif takviyesi olarak çimento harcı karışımlarına ilave edilerek yeni seri test numuneleri hazırlanmıştır. Bu seriler, 28 gün solüsyona maruz kalan lif takviyeli seriler BL11-BL15; 56 gün solüsyona maruz kalan lif takviyeli seriler BL16-BL20 olarak kodlanmıştır. Bu serilerdeki BLTÇH numuneleri yalın lif konumu ve TiO₂ katkılı harç karışımlarına kıyasla dayanım performansları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu analiz yaklaşımında, tüm BLTÇH test numunelerinin dayanım değerleri kontrol harcı (BL0) değerine oranlanarak "dayanım oranı" bir parametre olarak tanımlanmıştır. Tüm BLTÇH test numunelerinin 28 günlük yaş sonrası basınç dayanımı ve eğilme dayanımları bağlamında "dayanım oranı" ilişkisi grafiksel gösterimle sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 10. Lif oranı –dayanım oranı ilişkisi (28 günlük basınç dayanımı).

Tüm BLTÇH test numunelerinin basınç dayanımı değişimi irdelendiğinde, yukarıda da değinildiği üzere yalın bazalt lifi takviyeli çimento harcı test numunelerinin dayanımı, kontrol harcı dayanımına göre %0.10'luk lif oranı sonrasında düşmektedir. Harç karışımına TiO₂ ilavesiyle birlikte basınç dayanım değerlerinde kontrol harcına kıyasla bir iyileşme gözlenmiş olup, özellikle ağırlıkça %0.15 bazalt lif kullanım oranlı karışıma kadar basınç dayanım değerleri sırasıyla (BL6 – BL8) 1.05, 1.09 ve 1.02 oranlarında iyileşme göstermiştir. Lif oranı %0.20'lik karışımda (BL9) ise dayanım değeri kontrol karışımına eşdeğer bir mukavemete ulaşmıştır. Ancak, >%0.20 üzerindeki lif kullanım oranının da ise 0.96'lık dayanım oranı ile mukavemet değeri düşmüştür. Çimento matrisinde serbest TiO₂ partiküllerinin karma suyu etkisinde hızla çözünerek bazalt lif boyu uzanımlarında aderans oluşturarak yer yer tutunduğu, bu sebeple alkali direncini kısmi şekilde kuvvetlendirerek harcın dayanım kazanmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Diğer taraftan doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında bekletilmiş bazalt liflerinin ise çimento matrisinde daha etkin bir rol aldığı tecrübe edilmiştir. 28 gün boyunca etkileşimde kalmış BLTÇH test numunelerinden ağırlıkça %0.25 bazalt lif kullanım oranlı karışıma kadar dayanım oranı artmıştır. %0.25'lik karışımda (BL15) ise dayanım değeri kontrol karışımına eşdeğer bir mukavemete ulaşmıştır. 56 gün boyunca etkileşimde kalmış BLTÇH test numunelerinin dayanım oranı artmıştır. En yüksek dayanım oranı 1.09'luk oranla %0.10'luk lif kullanımı için elde edilmiştir. Bu bulgulara göre, bazalt lifinin doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında bekletilme süresi arttıkça, lifin bünyesine daha yüksek miktarda çözelti emilimi sağlanmaktadır. Bu işlemle hem alkali dayanımı iyileştiği hem de çimento hidrotasyonunda lifin bağ yeteneğinin arttığı düşünülmektedir.



Şekil 11. Lif oranı –dayanım oranı ilişkisi (28 günlük eğilme dayanımı).

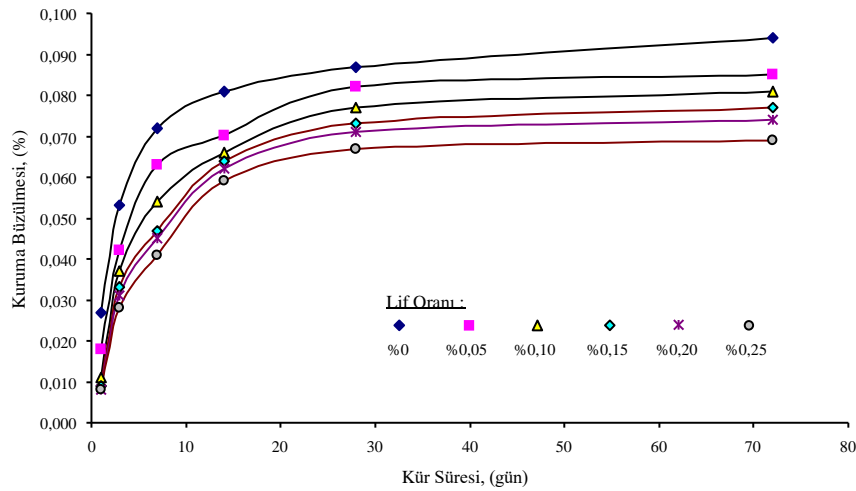
Tüm BLTÇH test numunelerinin eğilme dayanımı değişimi irdelendiğinde ise, yalın BLTÇH test numunelerinin dayanım oranı, lif takviye miktarına bağlı olarak sırasıyla 1.03, 1.06, 1.04, 1.07 ve 1.11 olarak artmıştır. Harç karışımına TiO₂ ilavesiyle dayanım oranındaki bu artış daha belirgin bir değer kazanmış olup, lif

oranı arttıkça eğilme bağlamında dayanım oranı artmakta ve 1.14 değerine kadar ulaşmaktadır. TiO₂ partiküllerinin lif boylarına tutunarak yer yer kaplama rolü üstlendiği ve lifin matris yapıda taşıyıcılık özelliğini geliştirdiği düşünülmektedir. Bu da dayanım oranı artışına neden olmaktadır. Diğer taraftan doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında bekletilmiş bazalt liflerinin ise çimento matrisinde basınç dayanımına olan etkisine kıyasla daha yüksek bir katma değer sağladığı gözlemlenmiştir. 28 gün boyunca etkileşimde kalmış BLTÇH test numunelerinin dayanım oranları 1.06'dan 1.15'e kadar geliştiği, benzer şekilde 56 gün boyunca etkileşimde kalmış BLTÇH test numunelerinin dayanım oranları ise 1.07'den 1.17'e kadar gelişmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına benzer olarak, Vyacheslav ve ark. [22] nispeten düşük miktarda bazalt lifi kullanımı ile (%0.2, %0.4, %0.6, %1) bazalt liflerinin çimento harcının basınç dayanımını artırabileceğini tespit etmişlerdir. Bazalt liflerinin doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında bekletilme süresi arttığında, alkali direnci de artış eğilimi göstermiş ve çimento matrisinde eğilme davranışı bağlamında daha yüksek dayanım oranlarının oluşmasını sağlamıştır. Diğer bir deyişle, alkali direnci kimyasal etkileşimle kuvvetlendirilmiş bazalt lifleri, çimento harcının eğilme mukavemetini artan lif kullanım oranına göre artırmaktadır. Alkali direnci kuvvetlendirilmiş liflerin çimento hidrasyonunda bağ yapma özelliğinin iyileşmesiyle birlikte lif boyu ekseninde çekme gerilmelerinin arttığı ve buna bağlı olarak eğilmeye karşı mukavemet kazandığı düşünülmektedir.

D. Kuruma Büzülmesi

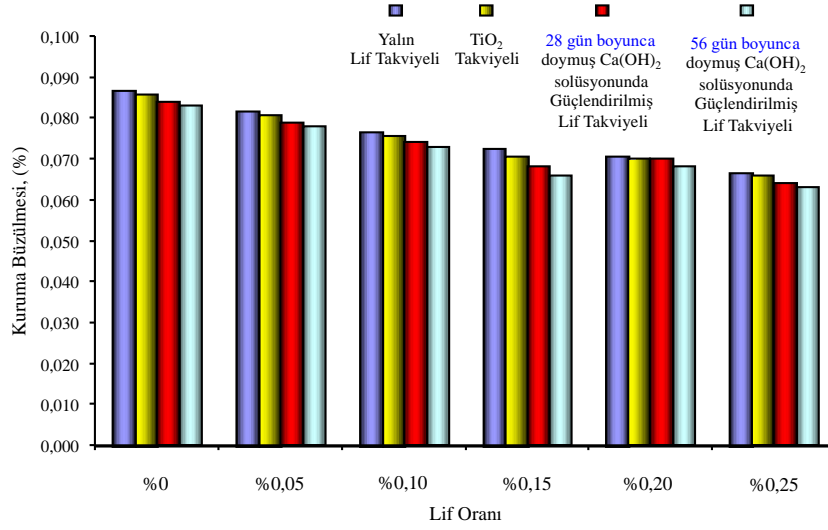
Yalın bazalt lifi ve içeriğinin BLTÇH test numunelerinin kuruma rötre değerleri üzerindeki etkisinin sonuçları ve zamana bağlı kuruma büzülmesi analiz bulguları Şekil 12'de gösterilmiştir. Bu analizde her bir değer en az üç ölçüm değerinin ortalaması olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, farklı yaşlarda özellikle erken yaşlarda, yalın bazalt lifli numunelerin kontrol karışıma göre daha düşük büzülme sergilediğini göstermektedir. Bazalt lifinin yer almadığı BLTÇH test örneğinde ilk günlerde kuruma büzülme artışı hızlı olup, ilerleyen zamanlarda büzülme hızı düşmektedir. Bu olgunun bazalt lifinin kullanıldığı tüm BLTÇH karışımlarında daha belirgin bir eğilim olduğu görülmektedir. Kuruma büzülmesi testleri tüm test numuneleri için 72 gün süreyle yapılmıştır. 14. günden sonra kuruma büzülme artış hızlarında belirgin bir yavaşlamanın olduğu görülmekle birlikte, 28'inci günden sonra ihmal edilebilir düzeyde düşük bir hızla artışın seyrettiği belirlenmiştir. Kontrol harcı BL0 örneğinin 72 gün sonra kuruma büzülmesi ortalama %0.094 iken yalın bazalt lif karışımların kuruma büzülmesi oranı %0.069-%0.085 aralığındadır. 1 gün ve 3 gün kürlenmiş BL3 nolu harç karışımının (%0.15 bazalt lif) kuruma büzülmesi, kontrol karışım harcından sırasıyla %66.7 ve %37.7 daha düşüktür. Benzer bir eğilim, daha yüksek değerlerde BL5 nolu harç karışımı (%0.25 bazalt lif) için görülmüştür. BL5 harcının kuruma büzülmesi, kontrol karışım harcından 1 gün ve 3 gün için sırasıyla %70.4 ve %47.2 daha düşüktür. Karışımlarda lif içeriği arttıkça, karışımın sergilediği kuruma büzülmesinin değeri düşmektedir. Kür yaşlarının artmasıyla bazalt lifinin karışımın büzülme davranışları üzerindeki etkisi azalmıştır.

BLTÇH test numunelerinin kuruma rötreleri üzerindeki etkisinin sonuçları ve lif oranına bağlı, 1, 3, 7, 14, 28 ve 72 gün boyunca ölçülen harç numunelerinin kuruma büzülmesi değerleri Şekil 12'de verilmiştir. Alkali direnci kuvvetlendirilmesine bakılmaksızın tüm BLTÇH test numunelerinde bazalt lif oranı arttıkça kuruma büzülmesi azalmıştır. Bir yandan, kuruma büzülmesi, erken yaşlarda daha hızlı artsa da daha sonraki yaşlarda kuruma büzülmesinin artış hızı yavaşlamakta ve tüm numuneler için kürlenme süresi ile artmaktadır. Öte yandan, bazalt lifinin kontrol harcına kıyasla harcın kuruma büzülmesini etkili bir şekilde azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, harcın kuruma büzülme değerinin azalması, lif içeriğindeki artışla daha da belirginleşmiştir. Benzer sonuçlar Jiang ve ark. [26] bazalt liflerinin tamir harçlarında kullanımı ile ilgili yaptıkları çalışmada da tespit edilmiştir.



Şekil 12. Yalın BLTÇH test numunelerinin zamana bağlı kuruma büzülme oranı değişimi.

28 günlük yaş sonrası tüm BLTÇH test numunelerinin kuruma rötreleri üzerindeki etkisinin sonuçları ve lif oranına bağlı kuruma büzülmesi analiz bulguları Şekil 13'te verilmiştir. Alkali direnci kuvvetlendirilmesine bakılmaksızın tüm BLTÇH test numunelerinde bazalt lif oranı arttıkça kuruma büzülmesi azalmıştır.



Şekil 13. BLTÇH test numunelerinin lif oranına bağlı kuruma büzülme oranı değişimi (28 gün).

Yalın bazalt lif takviyeli numunelerde kontrol harcına göre kuruma büzülmesi %5.75 - %23 aralığında azalmıştır. TiO₂ katkılı harç numunelerinde ise artan lif oranı bağlamında kontrol harcına göre kuruma büzülmesi %5.81 - %23.3 aralığında azalmıştır. 28 gün ve 56 gün boyunca doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında etkileşimde kalmış BLTÇH test numunelerinin kuruma büzülmesindeki değişimleri sırasıyla %6 - %23.8 ve %6 - %24.1 aralığındadır. Bu bulgulara göre doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında bekleme süresinin bazalt lifin çimento matrisinde kuruma rötreleri üzerindeki etkisinin düşük olduğunu göstermiştir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, işlem görmemiş yalın bazalt liflerinin ve Ca(OH)₂ ile işlem görmüş bazalt liflerinin çimento harcının fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, TiO₂ ilavesinin lif takviyeli çimento harcının özelliklerine etkisi de gözlemlenmiştir. Çalışma bulgularına göre;

1. BL0 harcına göre yalın BLTÇH test numunelerinin yayılma değerlerindeki değişim artan lif oranı bağlamında sırasıyla %8.8, %15.3, %17.1, %18.5 ve %20.8 oranlarında düşmektedir. Benzer olgu harçların sertleşmiş birim hacim kütlelerinde de lif kullanımına bağlı olarak azalma şeklinde tespit edilmiştir.
2. İşlem görmemiş yalın bazalt lifi takviyeli çimento harcı test numunelerinin basınç dayanımı, 28 günlük yaşa ulaştığında ise çimento harcı örneklerinden ağırlıkça %0.05 ve %0.10'luk bazalt lif takviyesinde basınç dayanımlarında %3 ve %6'lık birer artış olmuştur. Ancak, ağırlıkça lif kullanım oranı >%0.15'in üzerine çıktığında ise sırasıyla %4, %8 ve %12'lik dayanım düşüşleri olmuştur.
3. Harç karışımına TiO₂ ilave edilmesiyle birlikte basınç dayanım değerlerinde kontrol harcına kıyasla bir iyileşme gözlenmiş olup, özellikle ağırlıkça %0.15 bazalt lif kullanım oranlı karışıma kadar basınç dayanım değerleri sırasıyla (BL6 – BL8) 1.05, 1.09 ve 1.02 oranlarında iyileşme göstermiştir.
4. Doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında bekletilmiş bazalt liflerinin ise çimento matrisinde daha etkin bir rol aldığı tecrübe edinilmiştir. 28 gün boyunca etkileşimde kalmış BLTÇH test numunelerinden ağırlıkça %0.25 bazalt lif kullanım oranlı karışıma kadar dayanım oranı artmıştır.
5. 56 gün boyunca etkileşimde kalmış BLTÇH test numunelerinin basınç dayanım oranı en yüksek dayanım değerleri olarak tespit edilmiştir. Bazalt lifinin doymuş Ca(OH)₂ solüsyonlarında bekletilme süresi arttıkça, lifin bünyesine daha yüksek miktarda çözelti emilimi sağlanmaktadır.
6. Eğilme dayanımlarında ise, çalışma kapsamında test edilen bütün lif türlerinin harç içerisindeki miktarının artması ile harcın eğilme dayanımının iyileştiği tespit edilmiştir. Basınç dayanım değerlerine benzer şekilde, 56 gün etkileşimde bulunan liflerin kullanıldığı karışımların eğilme dayanımları en yüksek değerler olarak gözlemlenmiştir.
7. Yalın bazalt lif takviyeli numunelerde kontrol harcına göre kuruma büzülmesi %5.75 - %23 aralığında azalmıştır. TiO₂ katkılı harç numunelerinde ise artan lif oranı bağlamında kontrol harcına göre kuruma

büzülmesi %5.81 - %23.3 aralığında azalmıştır. 28 gün ve 56 gün boyunca doymuş Ca(OH)_2 solüsyonlarında etkileşimde kalmış BLTÇH test numunelerinin kuruma büzülmesindeki değişimleri sırasıyla %6 - %23.8 ve %6 - %24.1 aralığındadır.

Çalışma kapsamında bazalt liflerinin Ca(OH)_2 ile belirli sürelerde etkileşimde tutularak yüzeylerinin modifikasyonunun sağlanması ile lif takviyeli çimento harçlarının performanslarını iyileştirebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, bazalt liflerinin yüzeylerini TiO_2 ile kaplamak yerine harç karışımlarına serbest şekilde TiO_2 eklenmesinin de lif takviyeli harcın performansını bir miktar iyileştirebildiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Lee, J. J., Song, J., & Kim, H. (2014). Chemical Stability of Basalt Fiber in Alkaline Solution. *Fibers and Polymers*, 15(11), 2329-2334.
- [2] Ralegaonkar, R., Gavali, H., Aswath, P., & Abolmaali, S. (2018). Application of chopped basalt fibers in reinforced mortar: A review. *Construction and Building Materials*, 164, 589-602.
- [3] Gajanan, D. (2007). Basalt - The Technical Fibre. *Man-made Textiles in India*, 50(7), 258-261.
- [4] Lipatov, Y.V., Gutnikov, S.I., Manylov, M.S., Zhukovskaya, E.S. & Lazoryak B.I. (2015). High alkali-resistant basalt fiber forrein forcing concrete. *Materials and Design*, 73, 60–66.
- [5] Pakharenko, V. V., Yanchar, I., Pakharenko, V.A. & Efanova, V. V. (2008). Polymer composite materials with fibrous and dis-purse basaltfillers. *Fibre Chemistry*, 40(3), 246-252.
- [6] Liu, Q., Shaw, M. T. & Parnas, R. S. (2006). Investigation of basalt fiber composite mechanical properties for applications in transportation. *Polymer Composites*, 27(1), 40-48
- [7] Jiang, H., Valdez, J. A., Zhu, Y. T., Beyerlein, I. J. & Lowe, T. C. (2000). Strength and Toughness of Bone-Shaped Steel Wire Reinforced Cement. *Composite Science and Technology*, 60, 1753.
- [8] Guo, Z., Wan, C., Xu, M. & Chen, J. (2018). Review of Basalt Fiber-Reinforced Concrete in China: Alkali Resistance of Fibers and Static Mechanical Properties of Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, 9198656.
- [9] Huang, K. J. & Deng, M. (2010). Stability of basalt fibers in alkaline solution and its effect on the mechanical property of concrete. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 27(1), 150–154.
- [10] Wydra, M., Dolny, P., Sadowski, G. & Fangrat, J. (2021). Flexural Behaviour of Cementitious Mortars with the Addition of Basalt Fibres. *Materials*, 14(6), 1334.
- [11] Borhan T. M. & Bailey, C. G. (2014). Modelling basalt fibre reinforced glass concrete slabs at ambient and elevated temperatures. *Materials and Structures*, 47(6), 999–1009.
- [12] Wang, L., Chen, Y. & Li, Z. W. (2000). Properties of continuous basalt fiber and composites. *Fiber Reinforced Plastics/Composites*, 6(6), 22–24.
- [13] Li, R. Bi, Z., Wang, Y. & Liu, H. Y. (2008). Experimental study on mechanical properties of short basalt fiber self-compacting concrete. *China Concrete and Cement Products*, 2, 48–50.
- [14] Rybin, V. A., Utkin, A. V., & Baklanova, N. I. (2016). Corrosion of uncoated and oxide-coated basalt fibre in different alkaline media. *Corrosion Science*, 102, 503-509.
- [15] TS EN 1015-11, (2020), Kagirharcı - Deneymetotları - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, TSE, Ankara, s15.
- [16] ASTM C596-09, Standard Test Method For Drying Shrinkage Of MortarContaining Hydraulic Cement, ASTM International
- [17] TS EN 1015-3 Kasım 2000 KagirHarcı- DeneyMetotları- Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayımla Tablası İle) Ankara, TSE.
- [18] ASTM C642-13, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International
- [19] Guo, Y. & Yokota, H. (2018). Performance evaluation of basalt fiber reinforced mortar under freeze-thaw and chloride-rich environments. *Journal of Asian Concrete Federation*, 4(1), 29-34.
- [20] Jiang, C., Fan, K., Wu, F. & Chen, D. (2014). Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete. *Materials & Design*, 58, 187-193.
- [21] Jiang, C.H., McCarthy, T.J., Chen, D., & Dong, Q.Q. (2010). Influence of Basalt Fiber on Performance of Cement Mortar. *Key Engineering Material*, 426, 93-96.
- [22] Vyacheslav, S., Tamara, R., Aleksandr, G., & Rozalina, G. (2016). Effective light-weight masonry mortars with dispersed reinforcement. *Procedia Engineering*, 153, 630-637.
- [23] Lipatov, Y. V., Gutnikov, S. I., Manylov, M. S., & Lazoryak, B. I. (2012). Effect of ZrO_2 on the alkali resistance and mechanical properties of basalt fibers. *Inorganic materials*, 48(7), 751-756.
- [24] GB/T 23265-2009, Chopped Basalt Fiber for Cement, Cement Mortar and Concrete, Standards Press of China, Beijing, China, 2009.
- [25] JCT 572-94, Alkali-Resistant Glass Fiber Twistless Roving, Standards Press of China, Beijing, China, 1978.
- [26] Jiang, C., Huang, S., Zhu, Y., Lin, Y., & Chen, D. (2016). Effect of polypropylene and basalt fiber on the behavior of mortars for repair applications. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, 5927609.