



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 23.05.2024  
Kabul Tarihi : 04.09.2024

Received Date : 23.05.2024  
Accepted Date : 04.09.2024

### FARKLI BOYUTLARDA CAM LİFİ TAKVİYELİ ALÇI ESASLI KOMPOZİT HARÇLARIN MEKANİK VE TERMAL PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE TEKNİK BİR İRDELEME

#### A TECHNICAL EVALUATION ON THE COMPARISON OF THE MECHANICAL AND THERMAL PERFORMANCES OF DIFFERENT SIZE GLASS FIBERS REINFORCED GYPSUM BASED COMPOSITE MORTARS

Ali KAYA<sup>1\*</sup> (ORCID: 0009-0008-3347-900X)  
Lütfullah GÜNDÜZ<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-2487-467X)

<sup>1</sup> İzmir Kâtip Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ali KAYA, alikaya36555@gmail.com

#### ÖZET

Alçı esaslı kompozit harçlar, yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve çeşitli inşaat uygulamalarında tercih edilen önemli bir yapı malzemesidir. Bu harçlar, alçı matris içerisine farklı takviye maddelerinin katılmasıyla geliştirilmiş, dayanıklılığı ve mukavemeti artırılmış kompozit malzemelerdir. Antik medeniyetlerden günümüze kadar uzanan bir geçmişe sahip olan alçı, modern inşaat teknikleriyle daha da yaygınlaşmış ve günümüzde kompozit harçlar olarak kullanımı yaygınlaşmıştır. Ancak, bu malzemeler bazı mekanik özelliklerde sınırlamalar getirmektedir eğilme dayanımı, basınç dayanımı veya ısı iletimi konularında bazı problemler ile karşılaşabilmektedir. Bu çalışma farklı cam lifi takviyelerinin alçı esaslı kompozit harçların performansı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Mikronize cam lifi, taraklanmış cam lifi, 6 mm ve 12 mm cam lifi gibi farklı cam lifi türlerinin kullanıldığı deneyler, harcın mekanik özellikleri ve sıcaklık etkileri üzerinde kapsamlı analizler sunmaktadır. Bu analizler, alçı esaslı kompozit harçların tasarımını ve kullanımını daha etkili hale getirmek için önemli bilgiler sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Alçı kompozit, mikronize cam lifi, taraklanmış cam lifi, 6mm cam lifi, 12mm cam lifi.

#### ABSTRACT

Gypsum-based composite mortars are widely used in the construction industry and preferred in various construction applications. These mortars are composite materials improved by adding different reinforcing materials to the gypsum matrix, enhancing their durability and strength. Gypsum, which has a long history from ancient civilizations to the present, has become more widespread with modern construction techniques, and its use in composite mortars has increased today. However, there are some limitations in the physical and mechanical properties of these materials. For instance, compared to cement-bonded mortar combinations, significant differences can be observed in technical properties such as flexural strength, compressive strength and thermal conductivity. This study examines the effect of different sizes of glass fiber reinforcements on the performance of gypsum-based composite mortars. Test samples were prepared using micronized, combed, 6 mm and 12 mm glass fibers, the analysis results on unit weight change, water absorption, apparent porosity, mechanical properties and thermal effects are presented comparatively in the context of fiber size effect. It was observed that sample 12 mm fibers performed better than those with other fiber sizes. The findings aim to improve design and usage conditions of gypsum-based composite mortar products.

**Keywords:** Gypsum composite, micronized glass fiber, combed glass fiber, 6mm glass fiber, 12mm glass fiber

ToCite: KAYA, A., & GÜNDÜZ, L., (2024). FARKLI BOYUTLARDA CAM LİFİ TAKVİYELİ ALÇI ESASLI KOMPOZİT HARÇLARIN MEKANİK VE TERMAL PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE TEKNİK BİR İRDELEME. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(4), 1267-1284.

## GİRİŞ

Alçı esaslı kompozit harçlar, modern yapı endüstrisinde önemli bir yere sahip olan ve çeşitli inşaat uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Bu malzemeler, alçı esaslı matris içerisine farklı takviye maddelerinin katılmasıyla elde edilen, yapısal dayanıklılığı artırmak, mukavemetini yükseltmek ve özelliklerini iyileştirmek amacıyla geliştirilmiş bir tür kompozit malzemedir (Fantilli vd., 2021; Yildizel, 2020). İç mekan duvar kaplamalarından sıva uygulamalarına, dekoratif elemanlardan mimari yapıların inşasına kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Ren vd., 2021).

Alçı, binlerce yıllık geçmişiyle eski medeniyetlerden beri kullanılan bir yapı malzemesidir. Eski Mısır'da piramitlerde ve Orta Çağ Avrupa'sında katedrallerde sıklıkla kullanılan alçı, 18. ve 19. yüzyıllarda modern inşaat tekniklerinin gelişmesiyle daha da yaygınlaşmıştır (Vitti, 2021). Günümüzde, alçının kompozit harçlar olarak kullanımı, malzemenin doğal özelliklerinin yanı sıra mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli takviye maddeleriyle zenginleştirilmesiyle gerçekleşmektedir (Demir, 2019; Zhu vd., 2018).

Ancak, alçı esaslı kompozit harçlar kullanıldıkları uygulama alanlarında bazı zorluklarla karşılaşabilmektedir. Özellikle, eğilme dayanımındaki zayıflıklar ve ısı iletimindeki sınırlamalar, bu malzemelerin performansını etkileyen başlıca faktörlerdir (Gencel vd., 2022; Bouzit vd., 2019). Yüksek miktarda yük altında eğilme dayanımındaki zayıflıklar, yapısal bütünlüğü tehlikeye atabilirken, ısı iletimindeki sınırlamalar ise yapıların enerji verimliliğini ve ısı yalıtımını olumsuz etkileyebilir (Jia vd., 2021). Malzemenin zamana karşı ısıya olan dayanıklılık süresi, karşı tarafa ilettiği ısı miktarı ve ısı tutma yeteneği, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla önemlidir (Khamidov vd., 2022). Alçı esaslı harçlarda bunu sağlamak mümkün olabilir, bu durum malzemeleri iyi bir yalıtım malzemesi yapar ancak mekanik mukavemeti sınırlayabilir (Chernysheva vd., 2020).

Buna rağmen, alçı esaslı kompozit harçların performansını artırmak ve kullanım alanlarını genişletmek amacıyla birçok araştırma ve geliştirme çalışması yapılmaktadır (Esan, 2024). Özellikle, farklı takviye malzemelerinin kullanımı ve üretim tekniklerindeki gelişmeler, bu malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için önemli bir potansiyele sahiptir (Li vd., 2022). Takviye malzemeleri olarak cam lifi, polimer lifler, doğal lifler ve metal lifler gibi çeşitli malzemeler kullanılmaktadır (Gonçalves vd., 2022). Bu liflerin eklenmesi, harcın çekme ve eğilme mukavemetini artırarak daha dayanıklı yapı malzemeleri elde edilmesini sağlar (Wu vd., 2024).

Alçı bazlı kompozit harçların modern inşaat sektöründeki önemi, çevre dostu ve sürdürülebilir malzemelere olan talebin artmasıyla daha da belirginleşmiştir (Doleželová vd., 2022; Şahin & Demir, 2019). Bu harçlar, enerji verimliliğini artırarak ve yapıların çevresel etkilerini azaltarak sürdürülebilir yapı uygulamalarına katkıda bulunur (Devrek vd., 2022; Biçer, 2020). Örneğin, alçı esaslı kompozit harçların kullanımı, hem malzemenin dayanıklılığını artırır hem de yapıların enerji tasarrufunu sağlar (Korkmaz & Birinci, 2017). Aynı zamanda, bu tür kompozit malzemelerin üretimi, geleneksel yapı malzemelerine göre daha düşük enerji gereksinimleri ile gerçekleştirilebilir, bu da karbon ayak izinin azalmasına yardımcı olur (Kugo & Mai, 2021).

Günümüzde fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş cam lif türevlerinin çimento bağlayıcılı harç kombinasyonlarında kullanımı üzerine sınır sayıda da olsa araştırma bulgularını görebilmek mümkün olmaktadır. Ancak, bu lif türü malzemelerin alçı bazlı bağlayıcılı ürünlerde kullanımı ve etkileşimleri üzerine yeter düzeyde çalışma bulgularına rastlanılmadığı da görülebilmektedir. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş ve dört farklı boyutta sınıflandırılmış tekstil tipi cam lifi takviyelerinin farklı oranlarda alçı esaslı kompozit harçların performansı üzerindeki etkileri incelenmiş ve özellikleri irdelenmiştir. Dört farklı boyutta sınıflandırılmış tekstil tipi cam lifleri bu çalışmada *mikronize cam lifi*, *taraklanmış cam lifi*, *6 mm cam lifi* ve *12 mm cam lifi* olarak isimlendirilmiş olup, cam lifi boyut etkisinin hazırlanan harç test örneklerinin mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, test örneklerinin 20°C-250°C sıcaklık değişimine maruz kalmaları durumunda ısıl verimlilik etkileri yapılan bir dizi ısıl değişim analizleri ile irdelenmiştir. Cam lifi boyutunun alçı bazlı harç

karışımlarındaki etkilerinin irdelenmesi, optimum lif boyutu ve kullanım oranlarının alçı bazlı yapı malzeme ürünlerinin gelişimine ışık tutması amaçlanmıştır. Ayrıca, farklı uzunluk değerlerine sahip cam lifi malzemelerin alçı bazlı ürünlerde sağlayabileceği teknik avantaj ve dezavantajlar üzerine bir tecrübenin oluşması da hedeflenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Malzemeler

Alçı esaslı hazırlanan kompozit harç karışımlarında kullanılmış olan alçı, TS EN 13279 standardına uygun olarak üretilmiş ve piyasada kartonpiyer alçı olarak bilinen bir alçı türü olup teknik özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir.

**Tablo 1.** Alçı Malzemenin Teknik Özellikleri (All Alçı, 2024)

Teknik özellikler	
Prize Başlangıç Süresi	min. 25dk.
Donma Süresi	12-14dk.
Hacim Ağırlığı 6.1 Yoğunluk (K.LA)	640-690 g/lt
Yayıma Çapı	180-210 mm
PH	1 lt'lik ölçülü kap için 6-7
Eğilmede Çekme Dayanımı	min.1,5 N/mm <sup>2</sup>
Basınç Dayanımı	min.3,0 N/mm <sup>2</sup>
Elek Analizi	200 um = <%1, 100 um = <%10

Çalışma kapsamında alçı esaslı kompozit harç örneklerinin hazırlanmasında dört farklı boyutta sınıflandırılmış tekstil tipi cam lifi kullanılmış olup, bu lifler mikronize cam lifi (ML), taraklanmış cam lifi (TL), 6 mm cam lifi (NL) ve 12 mm (UL) cam lifi olarak kodlanmıştır. Lif malzemelerin sembolik görselleri Şekil 1’de verilmiş olup, bazı teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu lif örneklerinden mikronize cam lifi (ML) öğütülmüş toz formunda olup, diğer lifler farklı boyutlardaki elyaf formlarındadır.

**Tablo 2.** Tekstil Tipi Cam Lifi Malzemenin Teknik Özellikleri

Özellik	Mikronize	Taraklanmış	6 mm Cam Lifi	12 mm Cam Lifi
	Cam Lifi	Cam Lifi		
	ML	TL	NL	UL
Özgül ağırlık ağırlığı, (gr/cm <sup>3</sup> )	2,60	2,58	2,62	2,63
Maksimum tane boyutu	150 µm	750 µm - 2 mm	6 mm	12 mm
Elyaf çapı, (µm)	10-15 (±%15)	10-15 (±%15)	15-18 (±%18)	15-18 (±%18)
Nem oranı, (%)	<0,15	<0,18	<0,15	<0,15
İplik oranı, (%)	<0,12	<0,16	<0,12	<0,12
Erime sıcaklığı, (°C)	>1050	>985	>1050	>1050
Çekme dayanımı, (MPa)	-	>2200	>3000	>3000
Elastisite Modülü, (GPa)	-	>35	>65	>65

Kompozit harç karışımlarının hazırlanmasında ana agrega malzeme olarak -1 mm boyutlu silis kumu ve dolgu malzemesi olarak -100 mikron boyutta toz formda kalsit (CaCO<sub>3</sub>) kullanılmıştır. Silis kumu ve toz kalsit malzemeler piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmıştır. Harç bileşiminde kıvam arttırıcı katkı malzemesi olarak alçı bileşimiyle uyumlu melamin sülfonat esaslı bir süperakışkanlaştırıcı, toz formunda piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmıştır. Tüm harç karışımlarında karma suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır.



Şekil 1. Lif Görselleri a. Mikronize Cam Lifi b. Taraklanmış Cam Lifi  
c. 6mm Cam Lifi d. 12mm Cam Lifi

Tablo 3. Karışım Dizaynları

Numune Kodu	Alçı (%)	Kum (%)	Dolgu Malzemesi (%)	Melamin Sülfonat (%)	Lif (%)
KH	40	39,92	20	0,08	0,00
ML <sub>0,5</sub>	40	39,42	20	0,08	0,50
ML <sub>1</sub>	40	38,92	20	0,08	1,00
ML <sub>1,5</sub>	40	38,42	20	0,08	1,50
ML <sub>2</sub>	40	37,92	20	0,08	2,00
ML <sub>2,5</sub>	40	37,42	20	0,08	2,50
ML <sub>3</sub>	40	36,92	20	0,08	3,00
ML <sub>4</sub>	40	35,92	20	0,08	4,00
TL <sub>0,5</sub>	40	39,42	20	0,08	0,50
TL <sub>1</sub>	40	38,92	20	0,08	1,00
TL <sub>1,5</sub>	40	38,42	20	0,08	1,50
TL <sub>2</sub>	40	37,92	20	0,08	2,00
TL <sub>2,5</sub>	40	37,42	20	0,08	2,50
TL <sub>3</sub>	40	36,92	20	0,08	3,00
TL <sub>4</sub>	40	35,92	20	0,08	4,00
NL <sub>0,5</sub>	40	39,42	20	0,08	0,50
NL <sub>1</sub>	40	38,92	20	0,08	1,00
NL <sub>1,5</sub>	40	38,42	20	0,08	1,50
NL <sub>2</sub>	40	37,92	20	0,08	2,00
NL <sub>2,5</sub>	40	37,42	20	0,08	2,50
NL <sub>3</sub>	40	36,92	20	0,08	3,00
NL <sub>4</sub>	40	35,92	20	0,08	4,00
UL <sub>0,5</sub>	40	39,42	20	0,08	0,50
UL <sub>1</sub>	40	38,92	20	0,08	1,00
UL <sub>1,5</sub>	40	38,42	20	0,08	1,50
UL <sub>2</sub>	40	37,92	20	0,08	2,00
UL <sub>2,5</sub>	40	37,42	20	0,08	2,50
UL <sub>3</sub>	40	36,92	20	0,08	3,00
UL <sub>4</sub>	40	35,92	20	0,08	4,00

#### Malzemelerin Kullanım Oranları ve Örneklerin Hazırlanması

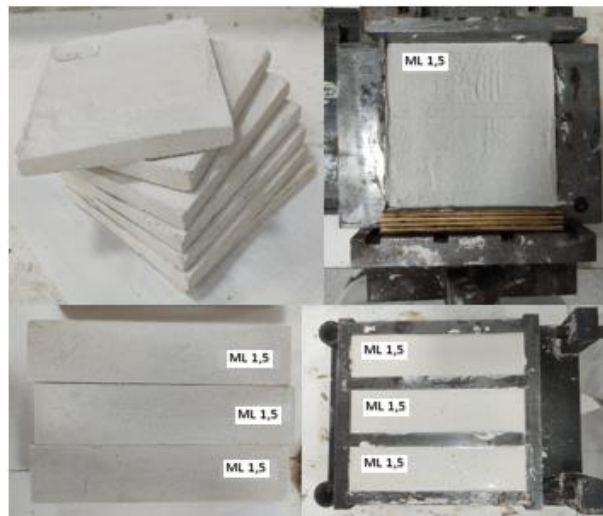
Alçı esaslı kompozit harç örneklerinin hazırlanmasında oluşturulan karışım kombinasyonları ve harç tasarım bileşenleri Tablo 3'de verilmiştir. Test örneklerinde cam lifi boyu ve katkı oranının etkisinin incelenebilmesi

amacıyla bileşiminde herhangi bir lif içermeyen bir seri kontrol numunesi (KH) hazırlanarak test edilmiştir. 4 farklı formdaki cam lifinin her biri ile ayrı ayrı ağırlıkça %0.5, %1, %1.5, %2, %2.5, %3 ve %4 oranlarında cam lif katkılı test örnekleri hazırlanmıştır. Bu örneklerin hazırlanmasında karışımda kullanılan cam lifi miktarı, karışım tasarımındaki silis kumu ile ikame edilerek oluşturulmuştur.

Kompozit harç karışımlarında kullanılan 4 farklı formdaki cam lifinin her biri için 7'şer seri numuneler dökülmüştür. Bu test örneklerinde değişken parametre olarak karışım tasarımında lif katkı miktarı ağırlıkça artırılarak, lif miktarı ve boyut farkı etkisinin alçı esaslı harcın eğilme dayanımı, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve 20°C-250°C sıcaklık etkileşiminde ısıl performans davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Tüm harç karışımları öncelikle kuru toz formda yaklaşık 1-2 dakika mikser kabında karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra tüm karışımlarda su/katı oranı 1,33 sabit değerinde olacak şekilde şehir şebeke suyu ile homojen bir form elde edilinceye kadar 1.5-2 dakika daha karıştırma işlemine devam edilmiştir. Harç tasarımı alçı bazlı olması ve hızlı donma etkisi göstermesi sebebiyle, yaş karıştırma işlemi sonrası bekletilmeksizin tüm karışımlar prizmatik 40x40x160 mm<sup>3</sup> çelik kalıplara ve ayrıca 140x140x10 mm<sup>3</sup> hacimli kare geometrili çelik levha kalıplara dökülerek 30 dakika priz alma sürecine bırakılmıştır. Bu süre sonunda test örnekleri kalıplardan çıkarılıp 20±2°C'lik ortamda laboratuvar koşullarında test gününe kadar beklemeye bırakılmıştır (Şekil 2). Elde edilen tüm test örnekleri üzerinde Tablo 4'te belirtilen standartlarda öngörülen deneysel analizlerin prensipleri bu çalışmada test prosedürü olarak uygulanmış olup, teknik bulgular kaydedilmiştir (Şekil 3). Prizma şekilli örnekler üzerinde yoğunluk, görünür porozite, kütlece su emme, eğilme dayanım ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Levha formundaki örnekler üzerinde ise laboratuvar ortam koşullarında oluşturulan bir test düzeneği yardımıyla sıcaklık etkileşim analizleri değişen sıcaklık etkilerinde incelenmiştir. Bunlara ilaveten test örnekleri üzerinde makroskobik incelemeler yapılarak lif takviyelerinin alçı bazlı matris yapı içerisindeki fiziksel durumu incelenmeye çalışılmıştır.

**Tablo 4.** Kompozit Harç Örnekleri Üzerinde Uygulanan Testler ve İlgili Standartları

Deneysel	İlgili Standart	Açıklama
Birim Hacim Ağırlık	TS EN 1015-10 (2001)	Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini
Üç Nokta Eğilme Dayanımı	TS EN 1015-10 (2022)	Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	TS EN 1015-10 (2022)	Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini
Görünür Porozite	ASTM C20, (2022)	Görünür Porozite, Su Emme, Görünür Özgül Kütle, Yığın Yoğunluk Tayini
Kütlece Su emme	ASTM C20, (2022)	Görünür Porozite, Su Emme, Görünür Özgül Kütle, Yığın Yoğunluk Tayini



**Şekil 2.** Prizma ve Kare Levha Boyutlu Test Örneklerinin Sembolik Görünümü





a). Eğilme Dayanımı Analizi, b). Tek Eksenli Basınç Dayanımı Analizi,  
c). Birim Hacim Ağırlık Tayini, d). Kütlece Su Emme Analizi

**Şekil 3.** Deneysel Çalışmalardan Kısa Bir Kesit

**Tablo 5.** Genel Deneysel Veri Tablosu

Numune Kod	1.Gün Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )	14.Gün Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )	Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Görünür Porozite (%)	Kütlece Su Emme (%)
KH	1.849	1.582	1,75	6,85	3,23	18,63
ML <sub>0,5</sub>	1.805	1.520	1,44	4,22	17,50	18,08
ML <sub>1</sub>	1.775	1.498	1,28	3,85	19,28	19,93
ML <sub>1,5</sub>	1.823	1.523	1,28	4,15	18,49	18,99
ML <sub>2</sub>	1.795	1.534	1,28	4,22	18,20	18,69
ML <sub>2,5</sub>	1.773	1.507	1,15	3,24	18,71	19,27
ML <sub>3</sub>	1.796	1.500	1,32	4,29	18,51	19,16
ML <sub>4</sub>	1.810	1.502	1,04	3,71	18,87	19,47
TL <sub>0,5</sub>	1.853	1.644	1,16	2,98	18,18	18,49
TL <sub>1</sub>	1.820	1.575	1,13	2,85	18,68	19,05
TL <sub>1,5</sub>	1.846	1.558	1,29	3,26	18,13	18,75
TL <sub>2</sub>	1.832	1.528	1,69	5,58	17,72	17,90
TL <sub>2,5</sub>	1.833	1.528	1,42	4,11	17,70	18,14
TL <sub>3</sub>	1.813	1.518	2,14	6,42	17,30	17,74
TL <sub>4</sub>	1.826	1.517	1,96	5,69	17,87	18,38
NL <sub>0,5</sub>	1.866	1.544	1,70	4,39	18,52	19,16
NL <sub>1</sub>	1.857	1.612	1,54	3,09	18,26	18,82
NL <sub>1,5</sub>	1.832	1.571	1,72	3,41	18,26	18,91
NL <sub>2</sub>	1.852	1.549	2,18	3,69	17,86	18,54
NL <sub>2,5</sub>	1.828	1.591	1,71	3,73	18,75	19,26
NL <sub>3</sub>	1.845	1.565	1,73	3,39	18,98	19,71
NL <sub>4</sub>	1.808	1.512	2,72	5,80	18,69	19,31
UL <sub>0,5</sub>	1.868	1.563	1,51	3,53	18,40	18,92
UL <sub>1</sub>	1.825	1.519	1,48	3,39	18,53	19,35
UL <sub>1,5</sub>	1.854	1.543	1,75	3,69	18,55	19,17
UL <sub>2</sub>	1.850	1.524	1,77	3,71	18,61	19,30
UL <sub>2,5</sub>	1.836	1.521	1,80	4,63	18,43	19,05
UL <sub>3</sub>	1.830	1.511	2,60	5,85	18,26	18,88
UL <sub>4</sub>	1.819	1.514	3,32	7,03	17,96	19,67

Laboratuvar ortam koşullarında normal atmosfer basıncında beklemeye bırakılan tüm test örneklerinin 1. ve 14. gün birim hacim ağırlık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. 1. ve 14. gün kütle değeri değişimlerinden, her bir numune için nem atma miktarları % oran olarak hesaplanmıştır. 20°C-250°C sıcaklık etkileşiminde ısıl performans davranışının incelenmesi amacıyla kontrol karışımı ve her bir lif türevi için karışımdaki lif katkı oranı ağırlıkça %0.5, %2 ve %4 olan levha şekilli test örneklerinin 14 gün sonrasında testleri yapılmış olup, test düzeneğinde elde edilen parametrik bulgular detaylı kaydedilmiştir.

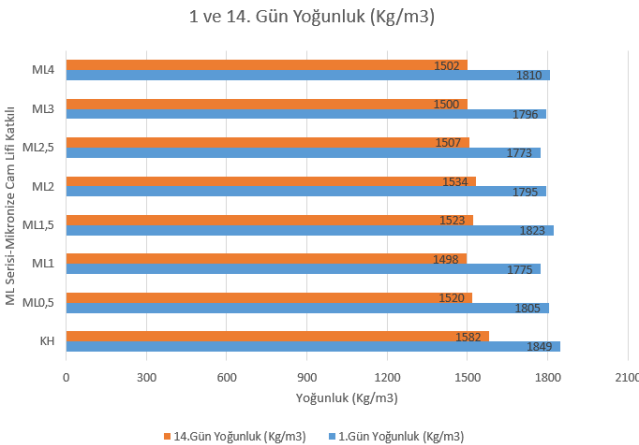
## ARAŞTIRMA BULGULARI

### Fiziksel Etkiler

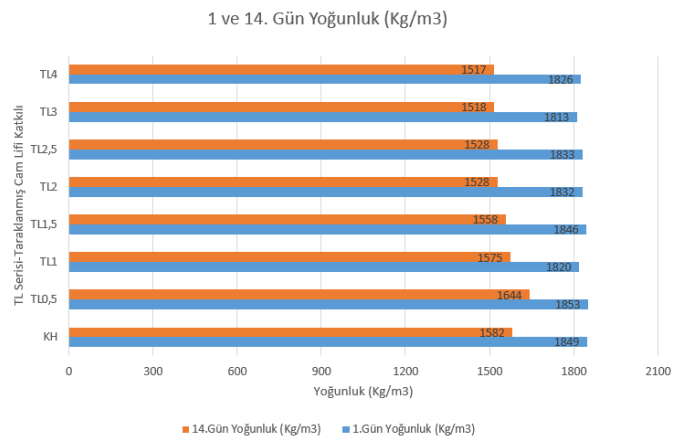
Alçı esaslı cam lif takviyeli kompozit harç örneklerinde elde edilen yoğunluk, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, görünür porozite ve kütlece su emme deney bulguları Tablo 5'te verilmiştir.

### Yoğunluk

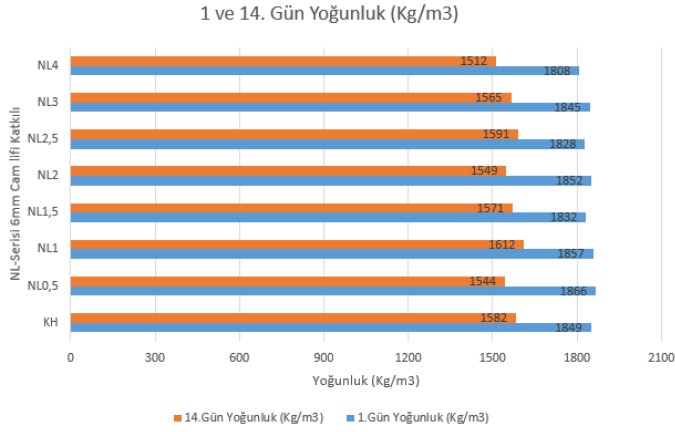
Kontrol örneklerinin 14 gün sonrası durumda yoğunluk değeri 1582 kg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Alı\_Ridha vd., 2017'de alçı bazlı kompozit test örneklerinin kuru durumda yoğunluk değerlerini karışımdaki su/alçı oranı değişimine bağlı olarak 1340 – 1463 kg/m<sup>3</sup> aralığında belirlemişlerdir. Farklı boyut cam lifi takviyeli alçı esaslı kompozit harç örneklerinin 1. ve 14. gün yoğunluk değerleri incelendiğinde; her bir lif boyutu ve kullanım oranına göre yoğunluk değerlerinin farklılık göstermektedir. 1. gün yoğunluk değerleri dikkate alındığında, ağırlıkça %2.5 mikronize cam lifli karışım (ML<sub>2.5</sub>) kontrol harcına göre %4,07 daha düşük yoğunluktadır. Bu değer, tüm test örnekleri arasında en düşük yoğunluk değerini temsil etmekte olup, 1773 kg/m<sup>3</sup> değerindedir. Bununla birlikte en yüksek yoğunluk değeri ise ağırlıkça %0.5 oranında 12 mm cam lifi katkılı kompozit harç (UL<sub>0.5</sub>) örneğinde elde edilmiş olup, kontrol harcına göre %1,06 daha yüksek yoğunluk değerindedir. 14. gün sonrasında tüm test örneklerinde farklı oranlarda nem atma ve kuruma olguları gözlenmiş olup, 14 gün sonra hemen hemen tüm örneklerin değişmez kütle değerine ulaştığı görülmüş olup, 14. gün yoğunluk değerleri tüm örnekler için bu çalışmada priz almış kuru durumda örnek yoğunluk değerleri olarak kabul edilmiştir. Bu bağlamda, ML<sub>1</sub> örneğinin yoğunluk değeri 1498 kg/m<sup>3</sup> olup, kontrol harcına göre %5,34 daha düşük yoğunluktadır. Bununla birlikte en yüksek yoğunluk değeri ise ağırlıkça %0.5 oranında taraklanmış cam lifi katkılı kompozit harç (TL<sub>0.5</sub>) örneğinde elde edilmiş olup, kontrol harcına göre %3,91 daha yüksek yoğunluk değerindedir. Tüm test örneklerinin 1. ve 14. gün yoğunluk değerleri arasındaki değişim grafiksel olarak Şekil 4 – Şekil 7'de her bir lif boyutu için ayrı ayrı gösterilmiştir.



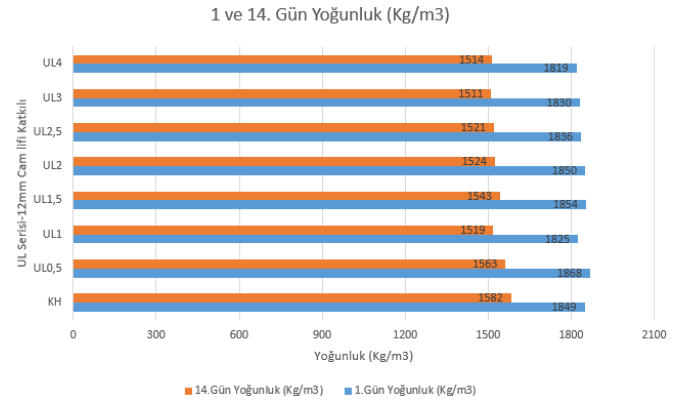
Şekil 4. ML Kodlu Örneklerin Süreye Bağlı Yoğunluk İlişkisi



Şekil 5. TL Kodlu Örneklerin Süreye Bağlı Yoğunluk İlişkisi



Şekil 6. NL Kodlu Örneklerin Süreye Bağlı Yoğunluk İlişkisi



Şekil 7. UL Kodlu Örneklerin Süreye Bağlı Yoğunluk İlişkisi

Farklı boyut lif katkılarının alçı bazlı harç kombinasyonlarındaki yoğunluğa etkisi bağlamında incelendiğinde, lif katkı oranının artmasıyla yoğunluk değerlerinin düştüğü görülmektedir. Ancak, bu düşüşler ihmal edilebilir düzeyde olup, yoğunluk değerleri üzerinde kısmi artışlar da görülebilmektedir. Bunun sebebi ise lifin matris yapı içerisinde yeterince homojen karışmamasından kaynaklı olduğu öngörülmektedir. Hazırlanan kompozit harç içerisinde kullanılan 4 farklı boyut cam lifi arasında mikronize cam lif katkılarıyla hazırlanan karışımlarda lif miktarının artması kontrol karışımına kıyasla yoğunluğu diğer lif boyutlarına göre daha fazla düşürmektedir.

### Görünür Gözeneklilik

Alçı esaslı kompozit harç örneklerinin Tablo 4'de verilen görünür gözeneklilik değerleri incelendiğinde, kontrol harcının görünür gözeneklilik değeri ortalama %3.23 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, kontrol harcına kıyasla cam lifi boyut etkisinin harcın matris yapısında önemli ölçüde görünür gözeneklilik olgusunu artırdığı açıkça görülebilmektedir. Ancak, lif boyutundaki değişimler açısından ele alındığında görünür gözeneklilik değerlerinde çok belirgin bir değişiklik oluşturmadığı görülmüştür. Cam lifi katkılı karışımlardan görünür gözeneklilik oranı en düşük olan karışım TL<sub>3</sub> olup değeri %17.30 olup, kontrol harcına göre gözeneklilik artışı yaklaşık 5.4 kat'dır. Görünür gözeneklilik oranı en yüksek olan karışım ise ML<sub>1</sub> olup değeri %19.28 olup, kontrol harcına göre gözeneklilik artışı yaklaşık 6 kat'dır. Örneklerin matris yapılarında cam lif boyutunun artışı, matris yapıda liflerin saçılımlı ve düzensiz dağılım özelliği göstermesi sebebiyle, görünür gözeneklilik olgularının artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

### Kütlece Su Emme

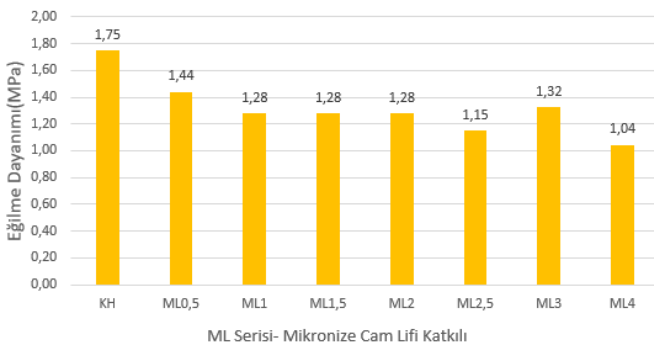
Lif boyutu değişimi ve lif katkısı kullanım oranı bağlamında test örneklerinin kütlece su emme değerlerine etkisi bakımından incelendiğinde mikronize cam lifi, 6 mm cam lifi ve 12 mm cam lifi katkılı harçlarda değişken ara değerler görülse de genel olarak kütlece su emme değerlerinin lif takviyesinin artırılması ile arttığı yönündedir. Taraklanmış cam lifi katkılı harç örneklerinin kütlece su emme değerlerinde ise lif katkı oranı arttıkça genel eğilimin azalma yönünde olduğu gözlenmiştir. Bu bağlamda kontrol harcı (KH) ile kıyaslandığında, mikronize cam lifi katkılı harçlarda ML<sub>0,5</sub> karışımı %2,96 daha az su emme değerine sahipken ML<sub>4</sub> karışımı %4,5 daha fazla su emme eğilimi göstermiştir. Taraklanmış cam lifi katkılı harçta kontrol numunesine oranla maksimum olarak TL<sub>1</sub> karışımı %2,24 daha fazla su emme özelliği gösterirken TL<sub>3</sub> karışımında %4,77 daha az kütlece su emme değeri elde edilmiştir. Diğer bir lif katkısı olarak kullanılan 6 mm cam lifinin kütlece su emme değerine etkisi kontrol harcına göre incelendiğinde maksimum değer NL<sub>2</sub> karışımında elde edilmiş olup kütlece %0,49 oranında daha az su emme eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte, NL<sub>3</sub> karışımı ise %5,82 daha fazla su emme eğilimi göstermiştir. 12 mm cam lifi katkılı numunelerde ise UL<sub>4</sub> karışımı için maksimum değer elde edilmiş olup, kontrol harcına göre %5,58 daha fazla kütlece su emme eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir.

### Eğilme Dayanımı

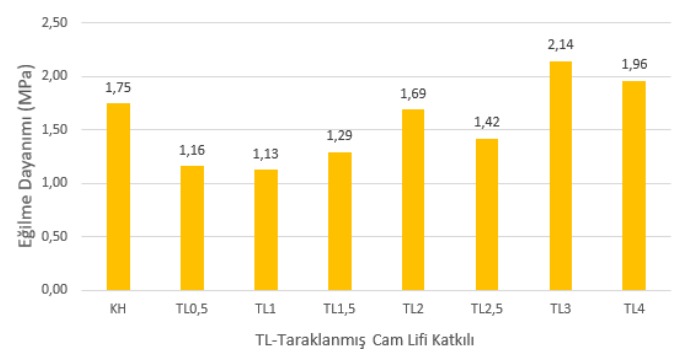
Cam lif katkılı alçı esaslı kompozit test örnekleri üzerinde 14 günlük kür sonrasında üç nokta eğilme dayanım testleri uygulanmıştır. Kompozit yapıları harçlarda farklı orijinlerdeki lif katkısının özellikle lif boyutuna bağlı olarak harcın eğilme dayanım değerlerini önemli ölçüde etkilediği genel bir yaklaşım olarak kabul edilebilmektedir. Özellikle lif boyutunun artışı ve katkı oranı arttıkça, harcın eğilme dayanımını artırıcı yönde olumlu bir etki ettiği



genel bir olgudur. Bu özellik çoğunlukla çimento esaslı harç matrislerinde görülebilen bir durum olmasının yanı sıra alçı esaslı matrislerde detay bir inceleme gerektirebilmektedir. Bu çalışma kapsamında dört farklı boyuttaki cam lifi katkısıyla hazırlanan örneklerde, lif boyutunun değişiminin harcın eğilme dayanım değerine farklı etkileşimleri olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, özellikle mikronize cam lifli katkıli numunelerin tamamında, lif katkı oranının artmasına paralel olarak eğilme dayanım değerlerinin düştüğü belirlenmiştir (Şekil 8). Kontrol harcının aynı koşullardaki eğilme dayanımı 1.75 MPa iken, mikronize cam lifli katkıli numunelerin eğilme dayanımı değerleri 1.04 MPa – 1.44 MPa aralığında değişim göstermiştir. Bu durumun, mikronize cam lifinin lif boylarının 10-100  $\mu\text{m}$  olması sebebiyle alçı bazlı matris yapı içerisinde gerekli adezyon etkisini sağlayamamış olması, lif katkısının artmasıyla daha gevrek dokulu bir yapı oluşması ve dayanım etkisinde negatif bir olgu gelişmesinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Padavet ve arkadaşları (2011) gri kalsine alçının mekanik özelliklerinin (Young Modülü, mukavemet ve sürünme) zamana bağlı değişimleri üzerine yaptıkları araştırma çalışmasında alçı bazlı test örneklerinin eğilme dayanımlarını 1,12 – 3,58 MPa aralığında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu bağlamda herhangi bir lif katkısı yer almayan kontrol örneklerinin de eğilme dayanım değerlerinin bu bulgular aralığında kaldığı görülmüştür.

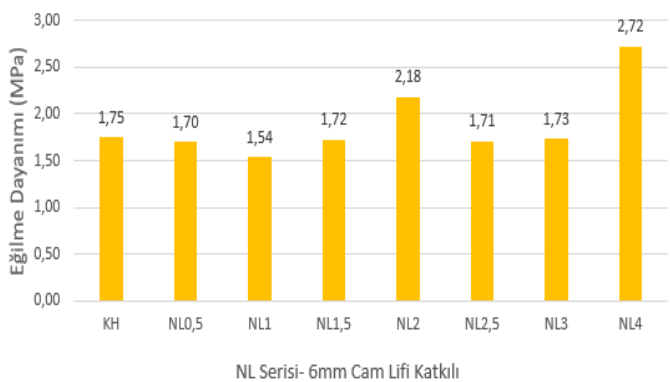


Şekil 8. ML Kodlu Örneklerin Eğilme Dayanımı Değerleri

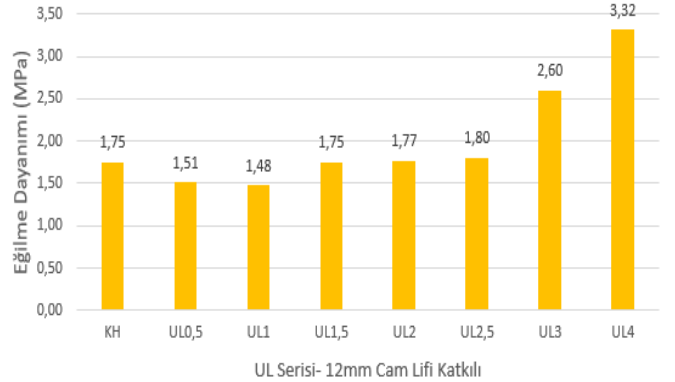


Şekil 9. TL Kodlu Örneklerin Eğilme Dayanımı Değerleri

Taraklanmış cam lifi katkıli örneklerin eğilme dayanım değerlerinde ise, ağırlıkça %3 lif katkı kullanım oranına kadar, lif katkısının harcın eğilme dayanımını kontrol harcına kıyasla artırıcı bir etki göstermediği belirlenmiştir. Bu kullanım oranına kadar olan taraklanmış cam lifi katkıli örneklerin (TL<sub>0,5</sub> – TL<sub>2,5</sub>) eğilme dayanımları kontrol harcının değerlerinden daha düşük düzeyde kalmıştır (Şekil 8). Ancak, ağırlıkça %3 ve %4 lif katkı kullanım oranlarına sahip TL3 ve TL4 karışımlarının ise eğilme dayanımları kontrol harcının değerlerinden daha yüksek değerlerdedir. Bu olgu; taraklanmış cam lifi kullanımlarında alçı esaslı harcın eğilme dayanımının artışı, lif katkısının ağırlıkça >%3'den daha büyük oranlarda kullanımının gerekliliğini göstermektedir. Bu oranlarda lif katkısının eğilme mukavemeti açısından daha etkinlik kazandığı görülebilmektedir.



Şekil 10. NL Kodlu Örneklerin Eğilme Dayanımı Değerleri



Şekil 11. UL Kodlu Örneklerin Eğilme Dayanımı Değerleri

Diğer taraftan, 6 mm cam lifi katkıli örneklerin eğilme dayanım değerlerinde ise, ağırlıkça %2 ve %4 lif katkı kullanım oranlı (NL<sub>2</sub> ve NL<sub>4</sub>) karışımlarının eğilme dayanımının kontrol harcına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek değer, %4 lif katkıli karışımda elde edilmiş olup, kontrol harcına göre eğilme

dayanımında %55,7'lik bir artış sağlanmıştır (Şekil 10). Bu boyuttaki diğer tüm lif katkılı NL karışımlarının eğilme dayanım değerlerinin, harcın eğilme mukavemetine belirgin bir artış eğilimi sergilemediği görülebilmektedir.

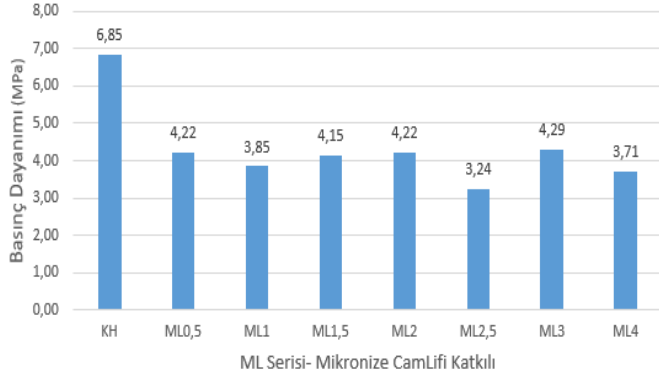
12 mm cam lifi katkılı örneklerin eğilme dayanım değerleri irdelendiğinde ise, ağırlıkça %1,5 lif katkı kullanım oranına kadar, lif katkısının harcın eğilme dayanımını kontrol harcına kıyasla artırıcı bir etki göstermediği belirlenmiştir. Bu kullanım oranına kadar olan 12 mm cam lifi katkılı örneklerin ( $UL_{0.5} - UL_1$ ) eğilme dayanımları kontrol harcının değerlerinden daha düşük düzeyde kalmıştır (Şekil 11). Ancak, ağırlıkça %1,5 - %4 lif katkı kullanım oranlarına sahip  $UL_{1.5} - UL_4$  karışımlarının ise eğilme dayanımları kontrol harcının değerlerinden daha yüksek değerlerdedir. Bu olgu; 12 mm cam lifi kullanımlarında alçı esaslı harcın eğilme dayanımının artışının, lif katkısının ağırlıkça  $> \%1,5$ 'den daha büyük oranlarda kullanımının gerekliliğini göstermektedir. Bu oranlarda lif katkısının eğilme mukavemeti açısından daha etkinlik kazandığı açıkça görülebilmektedir.  $UL_4$  karışımının eğilme dayanımına olumlu olan etkinliği yaklaşık %90 seviyesindedir.

Çalışma kapsamında elde edilen değerler doğrultusunda genel eğilimin matris yapıda lif boyunun artması harcın eğilme dayanımını iyileştirdiği yönündedir. Bu doğrultuda kompozit harç içerisinde 12 mm cam lifi kullanılmasının eğilmeye karşı direnci iyileştirdiği ve matris yapıya daha esnek bir form kazandırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, matris yapıda lif boyunun artışına bağlı aynı zamanda matriste homojen bir dağılımın sağlanabilir olması, bu özelliği daha da geliştireceği kaçınılmaz olacaktır.

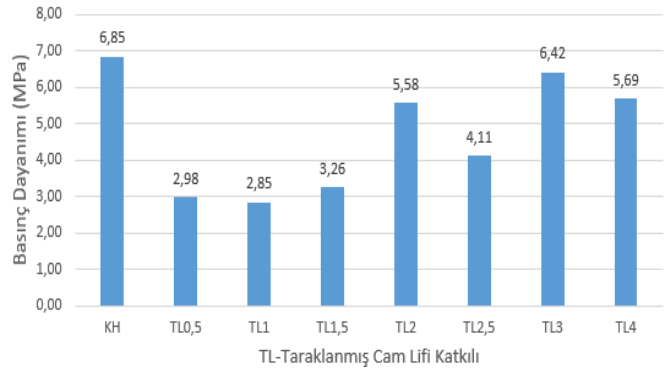
### **Basınç Dayanımı**

Cam lif katkılı alçı bazlı kompozit test örnekleri üzerinde 14 günlük kür sonrasında basınç dayanım testleri uygulanmıştır. Eğilme dayanımının tersine, kompozit yapıli harçlarda farklı orijinlerdeki lif katkısının lif boyutuna bağlı olarak harcın basınç dayanım değerlerini genellikle olumsuz yönde etkilediği genel bir yaklaşım olarak kabul edilebilmektedir. Çimento esaslı harç matrislerinde lif boyutunun artışı ve katkı oranı arttıkça, harcın basınç dayanımını azaltıcı yönde bir etki ettiği gözlenebilmektedir. Ancak bu olgunun alçı bazlı matrislerde nasıl bir etkileşim sergilediği ayrı bir inceleme konusu olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında dört farklı boyuttaki cam lifi katkısıyla hazırlanan örneklerde, lif boyutunun değişiminin harcın basınç dayanım değerine farklı etkileşimleri olduğu görülmüştür.

Mikronize cam lifli katkılı numunelerin tamamında, lif katkı oranının artmasına paralel olarak basınç dayanım değerlerinin düştüğü belirlenmiştir (Şekil 12). Kontrol harcının aynı koşullardaki basınç dayanımı 6.85 MPa iken, mikronize cam lifli katkılı numunelerin basınç dayanımı değerleri 3.24 MPa - 4.29 MPa aralığında değişim göstermiştir. Buradaki basınç dayanımı düşüşünün, matris yapının daha gözenekli forma dönüşmüş olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Padavet vd., gri kalsine alçının mekanik özelliklerinin (Young Modülü, mukavemet ve sürünme) zamana bağlı değişimleri üzerine yaptıkları araştırma çalışmasında alçı bazlı test örneklerinin basınç dayanımlarını 1,86 – 9.62 MPa aralığında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Al\_Ridha ve arkadaşları (2017)'de alçı bazlı kompozit test örneklerinin basınç dayanımlarını karışımdaki su/alçı oranı değişimine bağlı olarak 3,20 – 7,41 MPa aralığında belirlemişlerdir. Bu bağlamda herhangi bir lif katkısı yer almayan kontrol örneklerinin de basınç dayanım değerlerinin elde edilen bu bulguların aralığında kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, bir diğer husus, karışım tasarımlarında katkı olarak ilave edilen cam lifi, karışım bileşenlerinden kumla ikame edilerek kullanılmasına bağlı olarak cam lifinin kuma oranla daha düşük tane mukavemetine sahip olması, harç matrisinin dayanım değerinin de zayıflamasına neden olabileceği öngörülmüştür. Benzer şekilde taraklanmış cam lifli katkılı numunelerin tamamında da, lif katkı oranının artmasına paralel olarak basınç dayanım değerlerinin düştüğü belirlenmiştir (Şekil 13). Taraklanmış cam lifli katkılı numunelerin basınç dayanımı değerleri 2.85 MPa - 6.42 MPa aralığında değişim göstermiştir. Ancak, taraklanmış cam lifi katkılı örneklerin lif katkı oranına bağlı seri içerisinde basınç dayanım değerlerinde, lif kullanım oranı arttıkça artan bir eğilimde iyileşme olduğu görülmektedir. Özellikle ağırlıkça %1,5 ( $TL_{1.5}$ ) lif katkı kullanım oranından sonra harcın basınç dayanımının artış eğilime geçtiği görülmektedir.

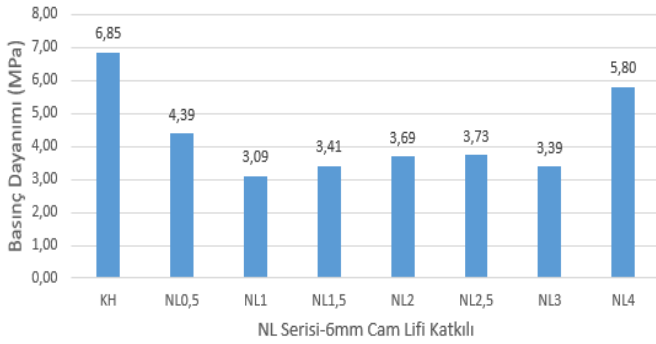


Şekil 12. ML Kodlu Örneklerin Basınç Dayanımı Değerleri

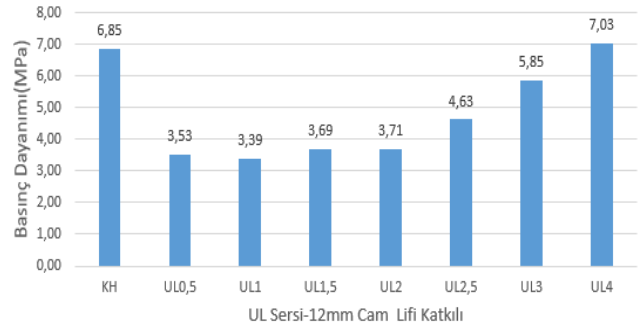


Şekil 13. TL Kodlu Örneklerin Basınç Dayanımı Değerleri

6 mm boyutlu cam lifli katkıli numunelerin tamamı diğer iki lif boyutunda olduğu gibi, lif katkı oranının artmasına rağmen basınç dayanım değerleri düşmüştür (Şekil 14). 6 mm cam lifli katkıli numunelerin basınç dayanımı değerleri 3.09 MPa - 5.80 MPa aralığında değişim göstermiştir. Cam lifli katkıli örneklerde lif katkı oranına bağlı serinin kendi içerisindeki değişimde basınç dayanım değerlerinde, lif kullanım oranı arttıkça artan bir eğilimde iyileşme olduğu görülmektedir. Özellikle ağırlıkça %4 (NL<sub>4</sub>) lif katkı kullanım oranlı örnekler en yüksek basınç dayanımını oluşturmuş olup, kontrol örneğine göre %15.3'lük bir dayanım kaybı göstermiştir.



Şekil 14. NL Kodlu Örneklerin Basınç Dayanımı Değerleri



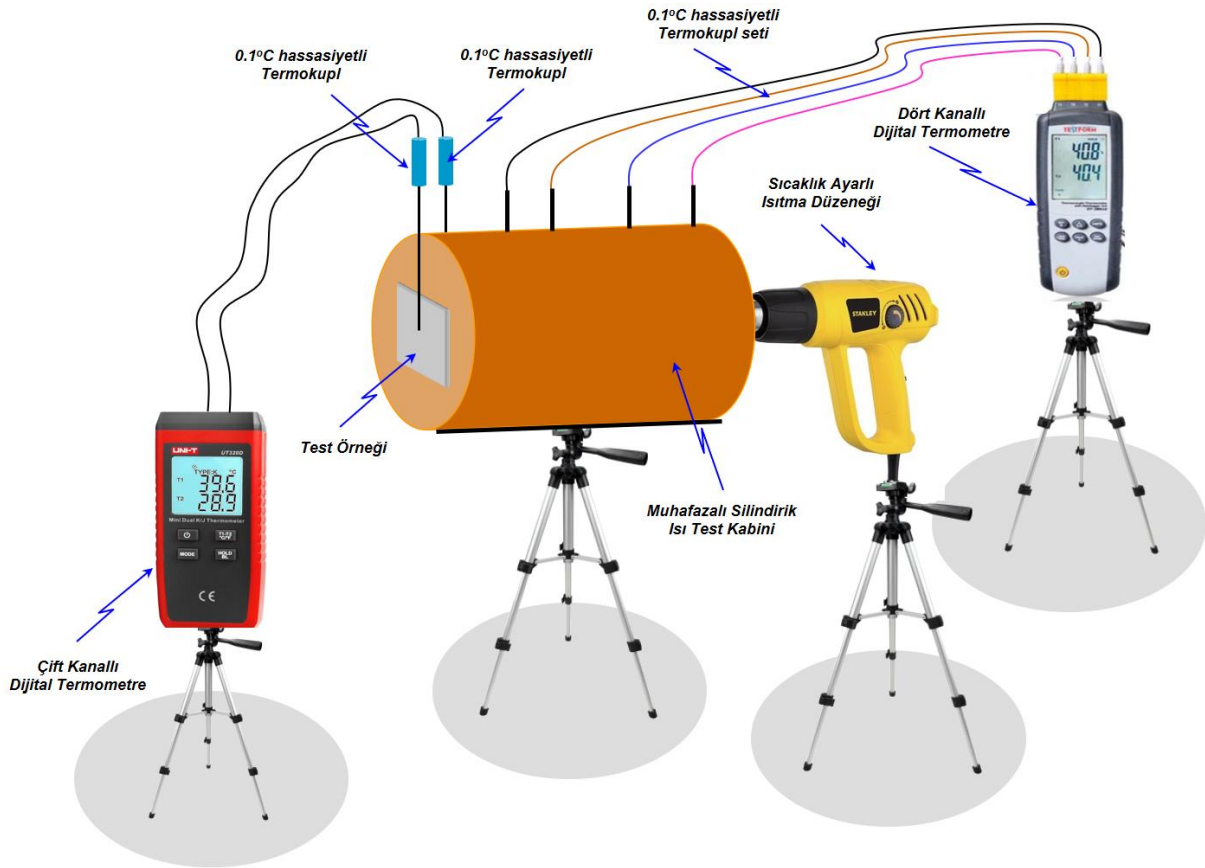
Şekil 15. UL Kodlu Örneklerin Basınç Dayanımı Değerleri

12 mm boyutlu cam lifli katkıli numunelerin basınç dayanım gelişimindeki etkileşim irdelendiğinde, diğer lif boyutlarında çalışma kapsamında tecrübe edinildiği üzere, lif katkı oranı arttıkça harcın basınç dayanımı iyileşmiştir. Kontrol harcına kıyasla, ağırlıkça %3'lük lif kullanım oranı da dahil tüm örneklerinin dayanımı daha düşüktür (Şekil 15). Ancak, ağırlıkça %4 (UL<sub>4</sub>) lif katkı kullanım oranlı örnekler en yüksek basınç dayanımını oluşturmuş olup, kontrol örneğine göre %2.63'lük bir dayanım artışı göstermiştir.

Çalışma boyunca test edilen tüm örneklerin (ML, TL, NL ve UL serileri) dayanım değerleri bir arada irdelendiğinde, her bir seri için maksimum olarak basınç dayanımlarında sırasıyla %52.8, %58.4, %54.9 ve %50.6 oranlarında kontrol harcına göre düşüşler olmuştur. Genel eğilim olarak, lif boyutu arttıkça harcın matris yapısını daha plastik bir forma büründürmesine bağlı olarak basınç etkilerine karşı daha düşük dirençsiz bir yapısal özellik kazandırdığı tecrübe edilmiştir. Bu da bu tür harç kombinasyonlarına sahip yapı malzemelerinin basınç etkileşimlerine karşın görece değişken deforme olabilmeye potansiyelini oluşturmaktadır. Karışım kombinasyonundaki lif katkı oranı arttıkça, basınç dayanımında iyileşmeler ve gelişmeler gözlemlense de genel eğilim, dayanımın zayıflaması yönünde olmaktadır. Dayanım değerinin iyileşmesi ve görece kontrol örneğine göre daha yüksek dayanım direnci sağlanması, matris yapıdaki lifin oriyantasyonu, homojen dağılımı, topaklanma yapmaması gibi özelliklerin gelişimine bağlıdır.

### Sıcaklık Etkileşim Analizi

Yapı malzemeleri kullanım ve uygulama alanlarında farklı sıcaklık etkileşimlerine farklı sürelerde maruz kalabilmektedir. Maruz kalınan sıcaklık değeri arttıkça, yapı malzeme yüzeyinde yanma, çatlama, yarıma ve damlama vb. deformasyonlar görülebilir. Bu olgu da, yapı malzemesinin kullanım koşullarını ve ortam uyumluğunu olumsuz etkileyen bir durum olarak görülmektedir. Alçı esaslı yapı malzemelerinde değişken sıcaklık değerlerine maruz kalma durumunda, karışım bileşenlerinin harcın matris yapısının deforme olmama olgusunda ne denli etki ettiği detay gerektiren bir inceleme konusudur. Bu bağlamda, çalışma kapsamında cam lifi orijinli katkıların harcın matrisinde artan sıcaklık değişimlerinde nasıl bir etkileşime neden olabileceği hususu, deneysel bir yöntemle irdelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada uygulanan yöntem laboratuvar ortam koşullarında oluşturulmuş bir test düzeneğinde (Şekil 16), kare yüzey alanlı hazırlanan levha geometrili test örneğinin bir yüzeyi belirli bir zaman periyodunda artan derecelerde olmak üzere sıcaklık etkileşimine maruz bırakılmıştır.

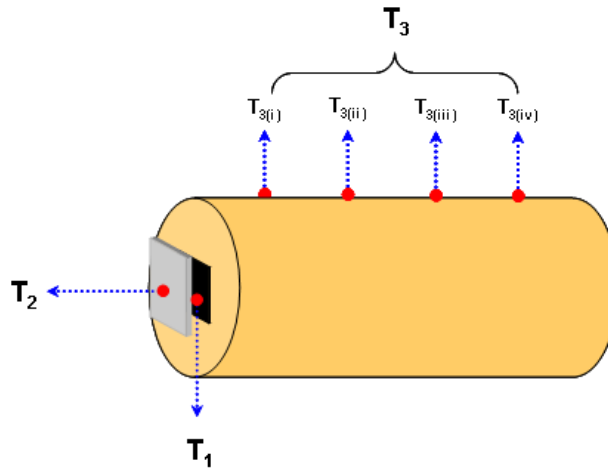


Şekil 16. Sıcaklık Etkileşimi Analizi Test Düzeneği Sembolik Görünümü

Test sürecinde sıcaklık etkileşimi 20°C – 250°C aralığında değişim göstermekte olup, her bir test için uygulanan zaman periyodu ortalama 15 dakika olarak belirlenmiştir. Test kabini içerisinde homojen dağılımlı bir sıcaklık değerinin oluşumu, test kabini üzerine eşit aralıklarda yerleştirilmiş 4 adet 0.1°C ölçüm hassasiyetli termokupllar ile  $T_{3(i)} - T_{3(iv)}$  değerleri olarak kayıt altına alınmış, test kabininin iç sıcaklık değeri bu termokupllarla belirlenen sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması  $T_3$  olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, test kabininin açık yüzeyli numune bölümüne monte edilen levha geometrili test örneğinin yüzey sıcaklığı 0.1°C ölçüm hassasiyetli termokupl ile  $T_1$  değerleri olarak kaydedilmiştir. Test örneğinin test kabini dışında ve atmosfer ortamına açık olan yüzeyine monte edilen 0.1°C ölçüm hassasiyetli termokupl yardımıyla soğuk yüzey sıcaklığı  $T_2$  değerleri olarak ölçülerek kaydedilmiştir (Şekil 17).

Test sürecinde elde edilen veriler irdelendiğinde, her bir test için ayrı ayrı ortalama 15 dakikalık uygulanan test sürelerinde, test kabini içinde test örneğinin sıcak yüzeyi için ölçülen  $T_1$  değerleri, 100°C – 235°C aralığında artan sıcaklık değerlerinde değişmiştir. Test kabinin iç ortam ortalama sıcaklık değeri  $T_3$  ise  $T_1$  değerine göre 1.35 °C -

1.65°C aralığında daha yüksek sıcaklıklar olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, test örneğinin soğuk yüzey sıcaklık değerleri ( $T_2$ ) ise karışım kombinasyonunun bileşenlerine ve oranlarına bağlı olarak 24°C – 70°C aralığında değişen sıcaklık değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Her bir test örneğinin sıcaklık etkileşimleri sonrası ısıya maruz kalan yüzeylerindeki deformasyon durumu, renk değişimleri ve matris yapılarındaki olası değişimler detaylı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, sıcaklık etkisinde her bir test örneğinin iki yüzeyindeki sıcaklık farklığı sebebiyle oluşan ısı geçiş karakteristiği ve ısıya karşı direncini yalın ve görgül bir yaklaşımla analiz etmek üzere “ısı kazanç verimliliği” belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında  $T_1$  sıcaklık değerinin  $\Delta T = T_1 - T_2$  sıcaklık farkına oranı yüzde değeri “ısı kazanç verimliliği” olarak tanımlanmış olup, “ $\xi$ ” sembolü ile simgelenmiştir. Her bir test serini temsil etmek amacıyla kontrol karışımı da dahil, lif boyutu değişimlerinde ağırlıkça %0.5, %2 ve %4 oranları için hazırlanan levha örneklerinin her biri sıcaklık etkileşim analizlerine tabi tutularak  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $T_3$  sıcaklık değer değişimleri detaylı kaydedilmiştir. Ölçümlerden sonra test edilen her bir örneğin ısı kazanç verimliliği ( $\xi$ ) hesaplanmış olup, numune yüzey sıcaklık değişimi bağlamında grafiksel olarak analizleri yapılmıştır.

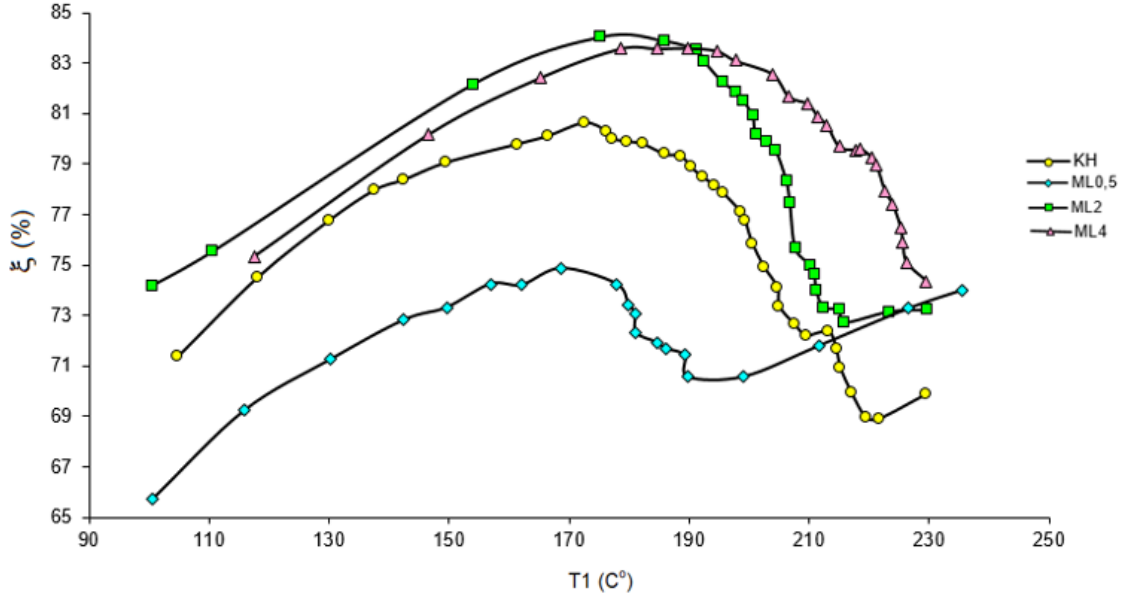


Şekil 17. Deney Düzeneginde Ölçülen Sıcaklık Değerleri-Sembolik Gösterimi

Cam lifi katkısı içermeyen kontrol test örneği, sıcaklık etkileşimine maruz kaldığında 165°C'ye kadar artan yüzey sıcaklığında ısı kazanç verimliliği ( $\xi$ ) %80 oranına kadar artış eğilimi göstermiştir. 165°C yüzey sıcaklığını aşan sıcaklık değerlerinde numunenin hızla ısı kaybı sebebiyle verimliliği ( $\xi$ ) %66 oranına kadar düşmektedir (Şekil 18).

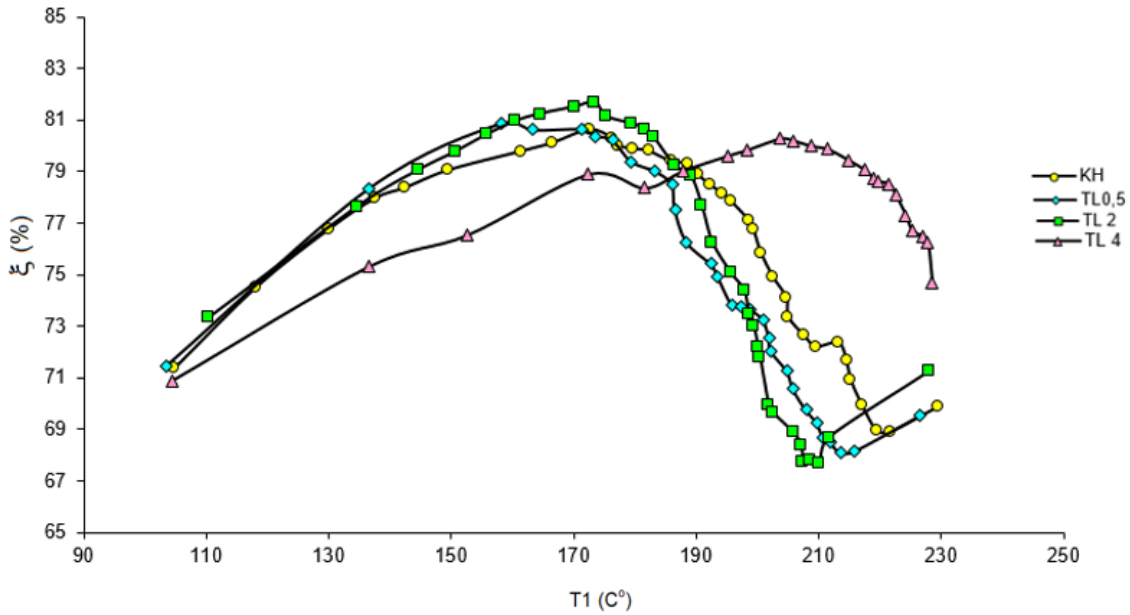
Mikronize cam lifi katkılı test örneklerinin sıcaklık etkileşim değerlendirmesi Şekil 18'de verilmiştir. Ağırlıkça %0.5 oranında mikronize cam lifi katkılı test örneklerinden 215°C'ye kadar artan yüzey sıcaklığında ısı kazanç verimliliği, kontrol örneğine göre daha düşük düzeydedir. 215°C yüzey sıcaklığını aşan değerden sonra  $\xi$  verimliliği artmıştır. ML<sub>2</sub> ve ML<sub>4</sub> örneklerinin sıcaklık etkileşimi, kontrol örneğine benzer bir karakteristik sergilemiştir. ML<sub>2</sub> örneği 195°C'ye kadar artan yüzey sıcaklığında ısı kazanç verimliliği ( $\xi$ ) %83 oranına kadar artış eğilimi gösterirken, ML<sub>4</sub> örneği ise 200°C'ye kadar artan yüzey sıcaklığında  $\xi$  verimliliği %84 oranına kadar artış eğilimi göstermiştir. Bu her iki örnek, ısı kazancı ve ısıya karşı direnç gösterme özelliği bağlamında kontrol örneğine göre daha etkin bir özellik göstermektedir.





**Şekil 18.** T<sub>1</sub> Sıcaklığına Bağlı  $\xi$  Değişimi (ML Serisi Örnekler)

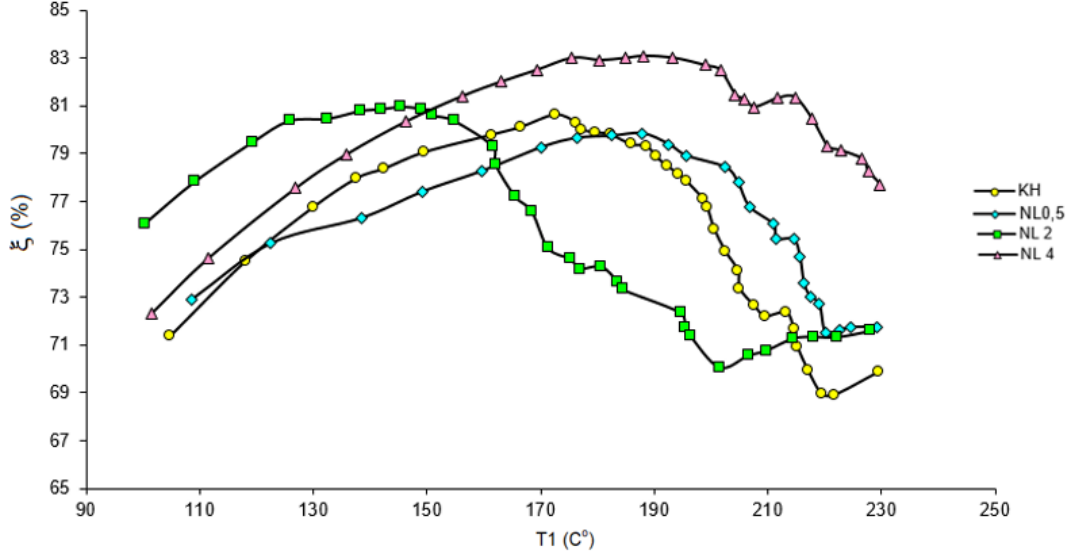
Taraklanmış cam lifli katkı test örneklerinin sıcaklık etkileşim değerlendirmesi ise Şekil 19’da verilmiştir. Ağırlıkça %4 oranında taraklanmış cam lifli katkı test örneği T<sub>1</sub>=185°C ye kadar diğer lif katkılı ve KH kontrol örneğine göre daha düşük  $\xi$  verimliliğine sahiptir. Bununla birlikte TL<sub>0,5</sub> ve TL<sub>2</sub> örnekleri de T<sub>1</sub>=175°C ye kadar  $\xi$  verimliliği kontrol örneğine göre daha düşüktür. Bu T<sub>1</sub> sıcaklık değerine kadar test örneklerinin ısı kazanç verimliliği %78 - %80 aralığında değişmektedir. Ancak, T<sub>1</sub> sıcaklığının daha yüksek değerlere artması, bünyesine ısı depolamış örneklerin ısı kaybı oluşturmasına bağlı olarak  $\xi$  verimliliği %66 oranına kadar düşmektedir. Bu olgu, test örneğinin yüksek sıcaklık ortamına maruz kalması durumunda düşük oranlarda da olsa ısıya karşı bir direnç özelliği gösterdiğini temsil edebilmektedir.



**Şekil 19.** T<sub>1</sub> Sıcaklığına Bağlı  $\xi$  Değişimi (TL Serisi Örnekler)

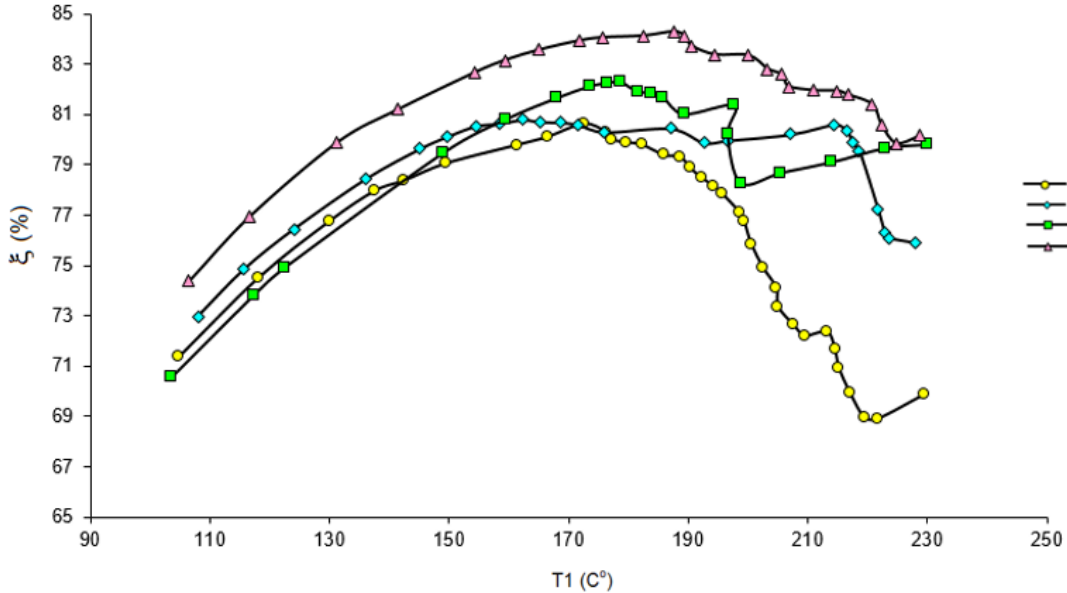
6 mm cam lifli katkı test örneklerinin sıcaklık etkileşim değerlendirmesi Şekil 20’de verilmiştir. 6 mm cam lifli katkıli numuneler ısı kazanç durumuna göre incelendiğinde NL<sub>4</sub> kodlu numune her sıcaklık değerinde kontrol numunesine göre daha verimli bir performans gösterdiği görülmektedir. Grafik üzerinde NL<sub>2</sub>’nin düzensiz eğilimi diğerlerine oranla dikkat çekmektedir. Bu durumun, cam lifinin matris yapıda topaklanmasından kaynaklı

olabileceği ve 160°C-215°C aralığında performansını kontrol numunesine göre kötü etkilediği söylenebilir. Ancak daha homojen bir karışım doğrultusunda daha verimli sonuçlar alınabileceği söz konusu durumlardan biridir. En düşük lif katkılı numune olan NL<sub>0.5</sub> 180°C' den sonra ısı kazanç değerinin daha iyi bir performans göstermeye başladığı açıkça görülmektedir. 6 mm cam lifi katkılı test örneklerinin  $\xi$  verimliliği lif katkı oranına bağlı olmak koşuluyla %84 oranına kadar artabilmektedir.



Şekil 20. T<sub>1</sub> Sıcaklığına Bağlı  $\xi$  Değişimi (NL Serisi Örnekler)

12 mm cam lifi katkılı test örneklerinin sıcaklık etkileşim değerlendirilmesi Şekil 21'de verilmiştir. 12 mm cam lifi katkılı numuneler ısı kazanç durumuna göre incelendiğinde yalnızca UL<sub>2</sub> kodlu numunede 145°C'ye kadar kontrol numunesi değerinin bir miktar altında seyir etmekte olup, sonrasında daha verimli bir ısı kazanç performansı gösterdiği görülmektedir. Bunun yanı sıra belirtilen diğer oranlarda ise her sıcaklık seviyesinde kontrol numunesine göre daha yüksek ısı kazanç performansları görülmektedir. Bu bağlamda, 12 mm cam lifi kullanımının ısı kazanç ve ısıya karşı direnç gösterme özelliği dikkate alındığında diğer lif boyutlarına kıyasla daha önem kazanmaktadır.



Şekil 21. T<sub>1</sub> Sıcaklığına Bağlı  $\xi$  Değişimi (UL Serisi Örnekler)

Yukarıda sırasıyla sıcaklık etkileşimleri üzerine grafiksel olarak verilen her bir lif boyutuna ait analizlerde, daha anlamlı bir mukayese yapabilmek amacıyla eşdeğer  $T_1$  sıcaklık değerlerinde harcın matris yapısının verimlilikleri irdelendiğinde Tablo 5’de verilen parametrik bulgular elde edilmiştir.

**Tablo 5.** Sabit Sıcaklıklarda Isı Kazanç Değerleri

Numune Kod	KH	ML <sub>0,5</sub>	ML <sub>2</sub>	ML <sub>4</sub>	TL <sub>0,5</sub>	TL <sub>2</sub>	TL <sub>4</sub>	NL <sub>0,5</sub>	NL <sub>2</sub>	NL <sub>4</sub>	UL <sub>0,5</sub>	UL <sub>2</sub>	UL <sub>4</sub>
T1 (C°)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)	ξ (%)
75	59,30	64,16	61,02	55,70	61,94	59,89	63,81	61,59	59,05	65,03	65,52	63,54	64,26
100	70,68	65,73	74,19	69,53	74,93	70,80	68,93	69,30	76,02	72,11	70,63	69,95	70,71
120	74,81	70,27	79,30	75,61	79,43	75,40	73,21	74,93	79,53	76,84	75,60	74,35	75,20
150	79,15	73,36	81,20	81,14	79,85	79,10	76,32	77,52	80,71	80,81	80,20	79,94	80,17
180	79,92	73,51	84,00	83,52	79,36	80,72	77,22	78,50	74,19	82,76	80,40	82,05	82,03
200	76,31	70,85	81,75	82,78	73,20	72,19	80,11	78,33	69,94	82,39	80,10	78,40	81,29
220	68,94	72,54	72,98	79,20	68,96	70,33	78,53	71,50	71,35	79,25	77,30	79,22	79,52

Kullanılan 4 farklı boyut cam lifi ve oranları karşılaştırıldığında, lif boyunun ve oranının artması numune özelinde ısı kazanç değerini iyileştirerek, enerji verimliliği daha yüksek alçı esaslı kompozit harç oluşturmaya olanak sağladığı görülmektedir. Artan sıcaklık değerlerinde, lif boyunun artışı ısı kazanç değerini geliştiren olumlu bir faktör olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklık ortamına maruz kalacak alçı esaslı yapı malzemelerinin daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla, cam lifinin bir donatı ajanı olarak kullanımı yanı sıra sıcaklığa direnç sağlamada da daha etken bir rol oynamasına olanak sağlayabilmektedir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Her bir lif boyutu ve kullanım oranına göre yoğunluk değerleri farklılık göstermiştir. 1 günlük yoğunluk değerlerinde en düşük yoğunluk değeri, ağırlıkça %2.5 mikronize cam lifli karışımı (ML<sub>2.5</sub>) için elde edilmiş olup, kontrol harcına göre %4,07 daha düşük yoğunluktadır. 14 günlük yoğunluk değerlerinde ise ML<sub>1</sub> örneği en hafif örnek olarak görülmüş olup, kontrol harcına göre yoğunluk değeri %5,34 daha düşüktür. Cam lifi katkılı karışımlardan görünür gözeneklilik oranı en düşük olan karışım TL<sub>3</sub> olup değeri %17.30 olup, kontrol harcına göre gözeneklilik artışı yaklaşık 5.4 kat’dır. Görünür gözeneklilik oranı en yüksek olan karışım ise ML<sub>1</sub> olup değeri %19.28 olup, kontrol harcına göre gözeneklilik artışı yaklaşık 6 kat’dır. Kontrol harcına göre ML<sub>0,5</sub> karışımı %2,96 daha az su emme değerine sahipken ML<sub>4</sub> karışımı %4,5 daha fazla su emme eğilimi göstermiştir. Taraklanmış cam lifi katkılı harçta kontrol numunesine oranla maksimum olarak TL<sub>1</sub> karışımı %2,24 daha fazla su emme özelliği gösterirken TL<sub>3</sub> karışımında %4,77 daha az kütlece su emme değeri elde edilmiştir. Eğilme dayanımı değerlerinde mikronize cam lifli katkılı numunelerin eğilme dayanımı değerleri 1.04 MPa – 1.44 MPa aralığında değişim göstermiştir. Taraklanmış cam lifi kullanımlarında alçı esaslı harcın eğilme dayanımının artışının, lif katkısının ağırlıkça >%3’den daha büyük oranlarda kullanımının gerekliliği belirlenmiştir. 6 mm cam lifi katkılı örneklerinde En yüksek değer, %4 lif katkılı karışımda elde edilmiş olup, kontrol harcına göre eğilme dayanımında %55,7’lik bir artış sağlanmıştır. 12 mm cam lifi kullanımlarında ise lif katkısının ağırlıkça >%1,5’den daha büyük oranlarda kullanımının 12 mm cam lifi kullanımlarında alçı esaslı harcın eğilme dayanımının artışının, lif katkısının ağırlıkça >%1,5’den daha büyük oranlarda kullanımının gerekliliğini göstermektedir. Tüm örneklerin (ML, TL, NL ve UL serileri) basınç dayanım değerleri, her bir seri için maksimum olarak basınç dayanımlarında sırasıyla %52.8, %58.4, %54.9 ve %50.6 oranlarında kontrol harcına göre düşüşler olmuştur. 4 farklı lif boyunun ve karışımlardaki katkı miktarının artması numune özelinde ısı kazanç değerini iyileştirerek, enerji verimliliği daha yüksek alçı esaslı kompozit harç oluşturmaya olanak sağladığı görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, farklı boyut ve oranlardaki cam lifi ile hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirilen mekanik ve termal performans testleri sonucunda, artan lif katkısının kompozit harç yoğunluğunu ihmal edilebilir düzeyde artırdığı belirlenmiştir. Matris yapıdaki cam lifi uzunluğunun artması, yapı içerisindeki görünür gözeneklilik oranını artırmakta ve bu da kütlece su emme oranının artmasına neden olmaktadır. Alçı bazlı olarak test edilen örneklerde, karışımdaki lif katkı oranının artışı, basınç dayanım değerlerinin azalmasına sebebiyet vermiştir. Eğilme dayanımı incelendiğinde ise, lif boyutu ve oranının artırılması eğilme dayanımında %90’a kadar iyileşme sağlamış ve matris yapının daha esnek bir form kazanmasına yol açmıştır. Termal performans testleri

sonucunda, lif boyunun artmasının enerji verimliliği yüksek alçı esaslı kompozit harçların oluşturulmasına katkı sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak, cam lifi boyutunun ve oranının artması eğilme dayanımı ve termal performans açısından pozitif etkiler oluşturmaktadır. Yoğunluk durumları karşılaştırıldığında ise sonuçlar ihmal edilebilir düzeyde kalırken, görünür gözeneklilik oranlarında belirgin bir artış gözlenmiş ve bu artış kütlece su emme oranını da benzer şekilde etkilemiştir. Basınç dayanımları aynı tip lif içinde oran arttıkça dayanım artışı gösterse de, genel bağlamda basınç dayanımının zayıfladığı yönünde bulgular elde edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, optimum performans için bu çalışma kapsamında ağırlıkça %2-%4 oranında 12 mm cam lifi kullanımının alçı esaslı kompozit harçlarda daha verimli sonuçlar vereceği yönündedir. Konu üzerine yeni çalışmalar yapacak araştırmacılar, tekstil tipi cam elyafların tek bir boyut kullanmak yerine, farklı boyutlardaki elyafların karması şeklinde düzenlenebilecek yeni formları alçı bazlı yapı malzeme ürünlerinde kullanımı üzerine araştırma çalışmaları geliştirilebilir. Bu şekilde uygulanacak kullanım şekli, bu çalışmada elde edilen bulgulardan teknik bağlamda daha avantajlı sonuçlar oluşturabilir.

## KAYNAKLAR

- ALL ALÇI, (2024), Kartonpiyer Alçısı, Etnik Özellikler, <https://www.allalci.com/urun/kartonpiyer-alcisi#pd-download>
- ASTM C20, (2022), Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water, Designation: C20 – 00 (Reapproved 2022), ASTM International, United States.
- AL-Ridha A.S.D., Abbood A.A., Hussein H.H., (2017), Improvement of Gypsum Properties Using S.F.Additive, International Journal of Science and Research (IJSR), ISSN (Online): 2319-7064, Volume 6 Issue 8, August 2017, [www.ijsr.net](http://www.ijsr.net), Paper ID: ART20175774, p504-509, DOI: 10.21275/ART20175774
- Biçer, A. (2020). Thermal Properties of Gypsum Plaster with Fly Ash. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik Ve Tasarım Dergisi, 2(1), 120-133.
- Bouzit, S., Laasri, S., Taha, M., Laghizil, A., Hajjaji, A., Merli, F., & Buratti, C. (2019). Characterization of natural gypsum materials and their composites for building applications. *Applied Sciences*, 9(12), 2443. <https://doi.org/10.3390/app9122443>
- Chernysheva, N., Lesovik, V., Fediuk, R., & Vatin, N. (2020). Improvement of performances of the gypsum-cement fiber reinforced composite (GCFRC). *Materials*, 13(17), 3847. <https://doi.org/10.3390/ma13173847>
- Devrek, O., Sevinç, A. H., Durgun, M. Y., Uras, Y. (2022). Alçı Esaslı Karışımlarda Mikronize Cam Küreciklerinin Değerlendirilmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(4), 591-601. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1142101>
- Doleželová, M., Krejsová, J., Scheinherrová, L., Keppert, M., & Vimmrová, A. (2022). Investigation of environmentally friendly gypsum based composites with improved water resistance. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133278>
- Demir, İ. (2019). *Bazı selülozik esaslı sekonder lifsel hammaddeler katılarak üretilmiş alçı esaslı kompozitlerin teknolojik özelliklerinin araştırılması* (Master's thesis, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Esan, M. T. (2024). Review of gypsum reinforced composites as building materials. *Discover Civil Engineering*, 1(1), 1-25. DOI: 10.1007/s44290-024-00005-x
- Fantilli, A. P., Józwiak-Niedźwiedzka, D., & Denis, P. (2021). Bio-fibres as a reinforcement of gypsum composites. *Materials*, 14(17), 4830. <https://doi.org/10.3390/ma14174830>
- Gonçalves, R. M., Martinho, A., & Oliveira, J. P. (2022). Evaluating the potential use of recycled glass fibers for the development of gypsum-based composites. *Construction and Building Materials*, 321, 126320. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126320>

- Gencil, O., Hekimoglu, G., Sarı, A., Ustaoglu, A., subası, s., marasli, m., . . . Memon, S. (2022). Glass fiber reinforced gypsum composites with microencapsulated PCM as. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127788>
- Jia, R., Wang, Q., & Feng, P. (2021). A comprehensive overview of fibre-reinforced gypsum-based composites (FRGCs) in the construction field. *Composites Part B: Engineering*, 205, 108540. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108540>
- Khamidov, A., Akhmedov, I., Kholmirezayev, S., Yusupov, S., Kazadayev, A., & Sharopov, B. (2022). Application of heat-insulating composite gypsum for energy efficient constructio. *Science and innovation*, 1(A8), 1058-1064. DOI: 10.5281/zenodo.7447953
- Kuqo, A., & Mai, C. (2021). Mechanical properties of lightweight gypsum composites comprised of seagrass *Posidonia oceanica* and pine (*Pinus sylvestris*) wood fibers. *Construction and Building Materials*, 282, 122714. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122714>
- Li, Z., Wu, Z., Wang, X., Liu, J., Yan, W., Ding, L., & Huang , H. (2022). Physical and mechanical properties of gypsum-based composites. *Journal of Building Engine*. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.168
- Padevět P., Tesárek P., Plachý T., (2011), Evolution of mechanical properties of gypsum in time, *INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICS*, Issue 1, Volume 5, 2011
- Ren, K., Cui, N., Zhao, S., Zheng, K., Ji, X., Feng, L., ... & Xie, N. (2021). Low-carbon sustainable composites from waste phosphogypsum and their environmental impacts. *Crystals*, 11(7), 719. <https://doi.org/10.3390/cryst11070719>
- S. Korkmazi, F. Birinci, Increasing the Tensile Strength of Fiber Reinforced Self-Compacting-Concrete, and Effects of Fiber Type and Orientation, *Romanian Journal of Materials*, 2017, 47(3), 361.
- Şahin, H., & Demir, İ. (2019). Gypsum-Based Boards Made from Mixtures of Waste Cellulosic Sources: Part 1. Physical and Mechanical Properties. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*(16), 567-576. <https://doi.org/10.31590/ejosat.565240>
- TS EN 1015-10, (2001), Kâgir harcı-Deney metotları- Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini, *TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ*, İnşaat İhtisas Grubu, s5, Ankara
- TS EN 1015-11, (2020), Kagir harcı - Deney yöntemleri - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayin, *TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ*, Teknik Kurul, s18, Ankara
- Vitti, P. (2021). Mortars and masonry—structural lime and gypsum mortars in Antiquity and Middle Ages. *Archaeological and anthropological sciences*, 13(10), 164. DOI: 10.1007/s12520-021-01408-y
- Wu, T., Yue, K., Wang, S., Liang, B., Wu, P., Lu, W., ... & Sun, K. (2024). Experimental investigation on mechanical properties and fire performance of innovative wheat straw-gypsum composites as building sheathing panels. *Industrial Crops and Products*, 208, 117897. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117897
- Yildizel, S. A. (2020). Material properties of basalt-fiber-reinforced gypsum-based composites made with metakaolin and silica sand. *Mechanics of Composite Materials*, 56, 379-388. <https://doi.org/10.1007/s11029-020-09889-z>
- Zhu, C., Zhang, J., Peng, J., Cao, W., & Liu, J. (2018). Physical and mechanical properties of gypsum-based composites reinforced with PVA and PP fibers. *Construction and Building Materials*, 163, 695-705. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.168