



Alkali Hidroliz Ortamda Sıcaklık Değişimi Etkisiyle Tekstil Tipi Cam Elyafların Malzeme Karakteristiğinin Etkileşimi Üzerine Bir Analiz

An Analysis on the Interaction of Material Characteristics of Textile Type Glass Fibers with the Effect of Temperature Change in Alkaline Hydrolysis Environment

Lütfullah Gündüz , Şevket Onur Kalkan* 

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Öz

Çimento bağlayıcılı ürünlerde cam elyaf takviyesi ile ilgili en temel kaygı, cam elyafın alkali ortamda dayanıksız olmasıdır. Yapılan çalışmalarda cam elyafın çimentonun alkali ortamından zarar görebileceği belirtilmektedir. Ayrıca, alkali ortamın sıcaklık derecesi de cam elyaf üzerindeki etkiyi değiştirebilmektedir. Bu çalışmada, 2 farklı tekstil tipi cam elyaf, alkali ortam koşullarına maruz bırakılmıştır. Kullanılan cam elyaf atık/artık malzeme olarak toplanmış fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş 6 mm boy, ortalama 15 µm çap (GFa) ve 12 mm boy, ortalama 17 µm çap (GFb) boyutlarındadır. Çalışma kapsamında 3 farklı derişimde NaOH çözeltileri hazırlanmıştır. Bu derişimler %0.5, %1.5 ve %3'lük ağırlıkça NaOH/Su çözeltileridir. Çalışma kapsamında 12 farklı sıcaklık değerleri uygulanmış olup sırasıyla 20°C, 24°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 70°C, 75°C, 80°C, 85°C, 90°C ve 95°C'dir. Cam elyafı farklı sıcaklık ve derişimde NaOH çözeltisinde 4 saat süre boyunca etkileşime maruz bırakılmıştır. Alkali etkileşimi sonrası elyafın kütle kaybı ve elyaf çaplarının değişimi incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, GFa elyafının %0.5, %1.5 ve %3 NaOH hidrolizinde 20oC normal oda sıcaklığında kütle kaybı değerleri sırasıyla %0.444, %0.682 ve %0.913'tür. GFb elyaf örneğinin 20oC sıcaklık etkisinde kütle kaybı ise sırasıyla ortalama %0.524, %0.712 ve %0.994'tür. 20oC normal oda sıcaklığı koşullarında 4 saat süreyle 3 farklı %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH hidrolizi sonucu elyaf çaplarındaki değişim sırasıyla, GFa için 14.960, 14.949 ve 14.931 µm ve GFb için 16.955, 16.939 ve 16.915 µm olarak belirlenmiştir. Sıcaklık arttıkça her iki elyaf türü için de hem kütle hem de elyaf çapının azaldığı kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alkali ortam dayanıklılığı, cam elyaf, NaOH çözeltisi, sıcaklık ve süre.

Abstract

The main concern about glass fiber reinforcement in cement-based products is that glass fibers are not durable in alkaline environments. Studies have shown that glass fibers can be damaged by the alkaline environment of cement. In addition, the temperature of the alkaline environment can also change the effect on glass fibers. In this study, 2 different textile types of glass fibers were exposed to alkaline environment conditions. The glass fibers used were collected as waste/residual material and obtained through physical recycling, with dimensions of 6 mm length, average diameter of 15 µm (GFa) and 12 mm length, average diameter of 17 µm (GFb). Within the scope of the study, NaOH solutions were prepared at 3 different concentrations. These concentrations are by weight of 0.5%, 1.5% and 3% NaOH/water solutions. In this study, 12 different temperature values were applied and they are 20°C, 24°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 70°C, 75°C, 80°C, 85°C, 90°C and 95°C, respectively. Glass fibers were exposed to interaction in NaOH solution at different temperatures and concentrations for 4 hours. The mass loss of the fibers and the change in fiber diameters after alkali interaction were investigated. According to the study results, the mass loss values of GFa fiber in 0.5%, 1.5% and 3% NaOH hydrolysis at 20°C normal room temperature were 0.444%, 0.682% and 0.913%, respectively. The mass loss of GFb fiber sample under 20°C temperature effect was 0.524%, 0.712% and 0.994% on average, respectively. The changes in fiber diameters as a result of 3 different 0.5%, 1.5% and 3% NaOH hydrolysis for 4 hours at 20°C normal room temperature conditions were determined as 14.960, 14.949 and 14.931 µm for GFa and 16.955, 16.939 and 16.915 µm for GFb, respectively. It was noted that both mass and fiber diameter decreased as the temperature increased for both fiber types.

Keywords: Alkali environment resistance, glass fiber, NaOH solution, temperature and time.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: sevetonur.kalkan@ikcu.edu.tr

Lütfullah Gündüz  orcid.org/0000-0003-2487-467X

Şevket Onur Kalkan  orcid.org/0000-0003-0250-8134



1. Giriş

Çimento bağlayıcılı ürünlerde cam elyafların faydalarına rağmen, çimentonun hidratasyonu sırasında kalsiyum hidroksit kristallerinin oluşumu nedeniyle betonun uzun vadeli dayanıklılığı zarar görebilmektedir (Gilbert 2004, Litherland vd. 1981). Portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) oluşumu betondaki gözenek çözeltisinin alkalinitesinden sorumludur. Portlanditin varlığı nedeniyle betonun pH'ı 12.6 civardır (Hussain ve Yadav 2023). Bu yüksek pH, elyafın filament çapının azalmasına ve sonunda bozulmasına yol açabilmektedir (Charles 1958). Cam elyaflardaki Si-O-Si bağı, beton gözenek çözeltisindeki hidroksil iyonlarının fazlalığından büyük ölçüde etkilenmekte ve Si-OH bağlarının oluşumuna neden olmaktadır. Bu durum elyaf kenarlarında gerilme konsantrasyonunun gelişmesine daha fazla yol açabilmektedir. Kalsiyum hidroksit hekzagonal kristalleri elyaf telleri arasındaki boşluğu işgal eder ve elyafların gerilme kapasitesindeki azalma nedeniyle kırılma eğilimine yol açar. Bu olgu aynı zamanda kompozitin esnekliğinin azalmasına da yol açar (Cohen ve Diamond 1975, Majumdar 1980). Düşük bazik çimento kullanımı, puzolanik malzemeler veya matris ile elyaf arasındaki arayüzeyin yoğunlaştırılması teorik olarak elyafları portlandit saldırısından koruyabilir (Péra ve Ambroise 2004, Scheffler vd. 2009, Oh vd. 2011).

Cam elyaflar gibi yüksek performanslı elyaflar, çimentolu ve/veya çimentosuz kompozit malzemelerde takviye olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bu şekilde, kompozitlerdeki elyafların zayıf matrise mukavemet kazandırdığı bilinmektedir. Kompozit malzemeler yüke maruz kaldığında dış yükün çoğu takviye malzemesi olarak kullanılan elyaflar tarafından üstlenilir (Park vd. 1999, Sim ve Park 2005). Bazı uygulamalarda kompozitler üzerindeki kimyasal korozyon kaçınılmazdır. Örneğin, çimento bağlayıcılı malzemeler içerisinde kullanılan cam elyafları alkali bir ortamda uzun süreli etkileşimden sonra aşınabilir. Kompozitlerin yaygın kullanımını engelleyen sebeplerden birinin, kritik ortamlarda hizmet verirken uzun vadeli dayanıklılık ve performans verilerinin eksikliği olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple, elyaf türü malzemelerin içerisinde bulunabileceği ortam ile etkileşimi araştırılmalı ve anlaşılmalıdır (Shan ve Liao 2001, Tsotsis vd. 2001, Wei vd. 2010).

Bu çalışmada, fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam elyafların çimento ortamını temsil edebilen alkali hidroliz ortamda artan sıcaklık değişimi altında sıcaklık ve alkali ortamın elyaf karakteristiğine etkisi analiz edilmiştir. Bu amaçla 2 farklı tür tekstil tipi cam elyaf bu çalışmada elyaf malzeme olarak kullanılmıştır. Cam elyaflarının yapı

malzemelerinin üretimlerinde kullanım koşullarını ve maruz kalınabilecek alkali ortamı temsil etmek amacıyla, çalışma kapsamında 3 farklı derişimde saf su kullanılarak NaOH çözeltileri hazırlanmıştır. Bu derişimler %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH çözeltileridir. Yüksek derişimdeki NaOH çözeltilerin pH değeri 14 olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 12 farklı sıcaklık değerleri uygulanmış olup sırasıyla 20°C, 24°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 70°C, 75°C, 80°C, 85°C, 90°C ve 95°C'dir. Çalışma kapsamında gerek çalışma süresinin kısaltılabilmesi gerekse test parametrelerinin daha yüksek sıcaklıklarda da değişiminin analiz edilebilmesi düşüncesiyle 50°C, 55°C, 60°C ve 65°C sıcaklık değerlerinde analizler yapılmamış olup, 70°C ve sonrası sıcaklıklarda sürdürülmüştür. Test sürecinin başlangıcında normal oda koşullarını temsil edebilmesi bağlamında öncelikle 20°C ve 24°C sıcaklık değerleri baz alınarak testler düzenlendi, sonrasında 30°C'den başlamak üzere 5°C artırımlı olacak şekilde diğer sıcaklık değerleri çalışma kapsamında öngörülerek bulgular analiz edilmeye çalışılmıştır. Test sıcaklığına ulaşmış sodyum hidroksit çözeltilerine elyaf örnekleri erlen içerisinde daldırma yöntemiyle yatırılarak, ısıtma işlemine 4 saat süreyle devam edilmiştir. Yapılan deneyler sonucu elyaflarda değişen fiziksel özellikler tartışılmıştır.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Gereç

Alkali hidroliz ortamda artan sıcaklık değişimi etkilerinin fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam elyafların malzeme karakteristiğine etkisini analiz etmek amacıyla 2 farklı tür tekstil tipi cam elyaf bu çalışmada elyaf malzemeler olarak kullanılmıştır. Cam elyafları çalışma kapsamında GFa ve GFb olarak isimlendirilmiş olup, elyaf malzemelerin genel görünüşleri Şekil 1'de verilmiştir. GFa cam elyafı, beyaz renkte ortalama elyaf boyutu 6 mm olup, piyasa koşullarından temin edildiği şekliyle herhangi bir kimyasal aktivasyon uygulamaksızın deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. GFa elyafın özgül ağırlık ağırlığı 2.58 gr/cm³, elyaf çapları 14-15 ($\pm$ 15) mikron, çekme dayanımı >3000 MPa, Elastisite Modülü $\geq$ 65 GPa, nem oranı <%0.18, iplik oranı <%0.15 ve uygulama sıcaklığı -60°C ile +650°C arasındadır (Rev Glass 2024). GFa elyafın boyut değerine göre uzunluk tolerans değeri yaklaşık $\pm$ 1.5 μ m seviyesindedir.

GFb cam elyafı ise, kontamine olmamış cam ipliklerin farklı boyutta kesilmesi ile elde edilmiştir. GFb cam elyaf içerisinde kısmi oranda polyester iplik kırıntıları içermektedir. GFb elyaf, yapı kimyasallarının çimento ve/veya çimentosuz üretimlerinde, harç karışımlarında esneklik ve mekanik

özellikleri geliştirici donatı takviyesi olarak, dekoratif yüzeyli kaplama harcı ürünlerde, çatlak oluşumlarını kontrol edici amaçlı, kuruma büzülmelerini önleyici olarak, yüzey uygulamalarını geliştirme amaçlı kullanılabilen bir cam elyaf malzemedir. Beyaz renkte ve ortalama elyaf boyutu 12 mm olup, piyasa koşullarından temin edildiği şekliyle herhangi bir kimyasal aktivasyon uygulamaksızın deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. GFb elyafın özgül ağırlık ağırlığı 2.35 gr/cm³, elyaf çapları 15-17 ($\pm$ 15) μ m, çekme dayanımı >2000 MPa, Elastisite Modülü $\geq$ 45 GPa, nem oranı <%0.40, iplik oranı <%1.5 ve uygulama sıcaklığı -60 °C ile +450°C arasındadır. GFb elyafın boyut değerine göre uzunluk tolerans değeri yaklaşık $\pm$ 2.2 μ m seviyesindedir (Rev Glass 2024).

2.2. Yöntem

2.2.1. Alkali Hidroliz ve Sıcaklık Etkileşimi

Cam elyaflarının yapı malzemelerinin üretimlerinde kullanım koşullarını ve maruz kalılabilecek alkali ortamı temsil etmek amacıyla, çalışma kapsamında lif türlerinin kullanım ortamında muhtemel maruz kalabilecekleri en yüksek derişimler düşünülerek 3 farklı derişimde saf su kullanılarak NaOH çözeltileri hazırlanmıştır. Bu derişimler %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH çözeltileridir. Yüksek derişimdeki NaOH çözeltilerin pH değeri 14'e yakın olarak belirlenmiştir. Örneğin %3'lük NaOH çözeltisi, 1 litre suda 30 gr NaOH olduğu anlamına gelir. 30 gr NaOH, 0.50 mol NaOH olduğundan, " $pH=14+\log(0.75)$ " yaklaşımla çözeltinin pH değeri 13.9 olarak değerlendirilmiştir. Benzer değerlendirme ile %0.5'lik NaOH çözeltisinin pH değeri 13.1 ve %1.5'lik NaOH çözeltisinin pH değeri ise 13.6 olarak değerlendirilmiştir.

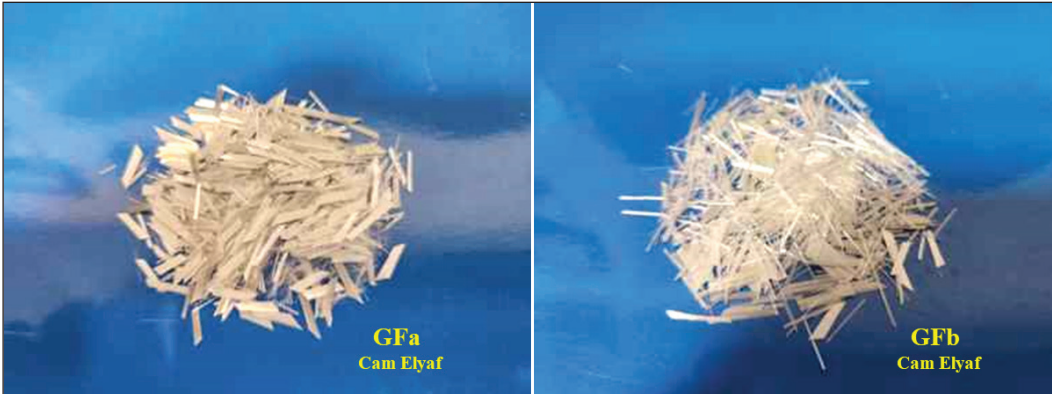
Bu çalışmada, GFa ve GFb olarak kodlanmış iki farklı cam elyafın yüzey pürüzlülüklerinin iyileştirmesi amacıyla NaOH çözeltileri kullanılarak kimyasal etkileşim işlemleri uygulanmıştır. NaOH çözelti işleminin elyafların termo-

fiziksel özellikleri üzerinde farklı etkileri söz konusudur. GFa ve GFb elyaf örneklerinin her birinden yığın ağırlıkları etüvde kurutulduktan sonra 30 gram olacak şekilde tartılarak 12'şer adet elyaf örneği gruplandırılarak, kilitli naylon poşetlere konulmuştur. Daha sonra %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH çözeltileri, ayrı ayrı cam erlenler içerisine konularak, her bir erlen içindeki NaOH çözeltisi ile birlikte termostatl ısıtıcı vasıtasıyla önceden ayarlanmış test sıcaklığına ulaşmaya kadar ısıtılmıştır. Çalışma kapsamında 12 farklı sıcaklık değerleri uygulanmış olup sırasıyla 20°C, 24°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 70°C, 75°C, 80°C, 85°C, 90°C ve 95°C'dir. Test sıcaklığına ulaşmış NaOH çözeltilerine GFa ve GFb elyaf örnekleri erlen içerisinde daldırma yöntemiyle yatırılarak, ısıtma işlemine 4 saat süreyle devam edilmiştir. Bu süre zarfında, GFa ve GFb elyaf örnekleri NaOH hidrolizi için etkileşime maruz bırakılmıştır. Cam elyaf örneklerinin sıcaklık etkisiyle NaOH hidrolizi testleri, Şekil 2'de sembolize edilen test düzeneklerinde gerçekleştirilmiştir.

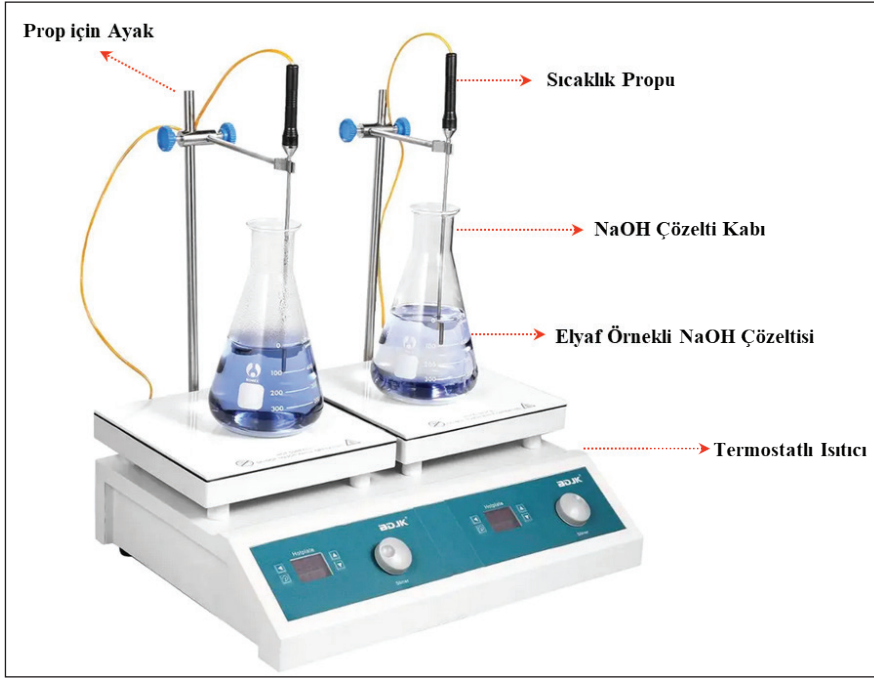
Isıl işlemlerden sonra, elyaf örnekleri çözeltilerden alınarak, normal oda sıcaklığına kadar soğuması sağlanmıştır. Sonrasında elyaf yüzeyindeki alkali izlerini gidermek ve elyaf yüzeylerinde kimyasal bir çözelti etkisi kalmayacak şekilde tüm elyaf örnekleri önce damıtık bir suyla yıkanmış olup, yikanan tüm elyaf örnekleri laboratuvar ortamında kontrollü bir şekilde oda sıcaklığında 48 saat kurutulmuştur. Sonrasında kuru durumda her bir elyaf örneğinin kimyasal etkileşim sonrası ağırlıkları ölçülerek kaydedilmiştir.

2.2.2. Kütle Kaybı Analizi

Test öncesi ve kimyasal etkileşim test sonrası elyaf örneklerinin ağırlık değerlerindeki oluşan fark değeri kullanılarak, her bir kimyasal derişim ortamı ve elyaf türü için alkali ortamda elyafların ağırlık kaybı değerleri % olarak hesaplanmıştır. Alkali hidrolizi ve sıcaklık etkisi altında elyafların ağırlık kaybı değerleri Eşitlik 1'de verilen yaklaşımla belirlenmiştir.



Şekil 1. GFa ve GFb elyaf malzemelerin genel görünümü.



Şekil 2. NaOH hidroliz testleri için test düzeneğinin sembolik görünümü.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad (1)$$

Burada, W_1 ve W_2 , sırasıyla alkali işlemden önceki ve sonraki elyafın ağırlığıdır. Her numune için deney üç kez tekrarlanarak deneysel hata en aza indirilmiş ve verilerin ortalaması istatistiksel $\pm$ standart sapma değerleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında fiili test edilmeyen sıcaklık değerlerine ait kütle kaybı değerleri, fiili olarak test edilen sıcaklık değerleri kullanılarak oluşturulan istatistiksel lineer eşitlikler yardımıyla tanımlanmıştır.

2.2.3. Elyaf Çapları Analizi

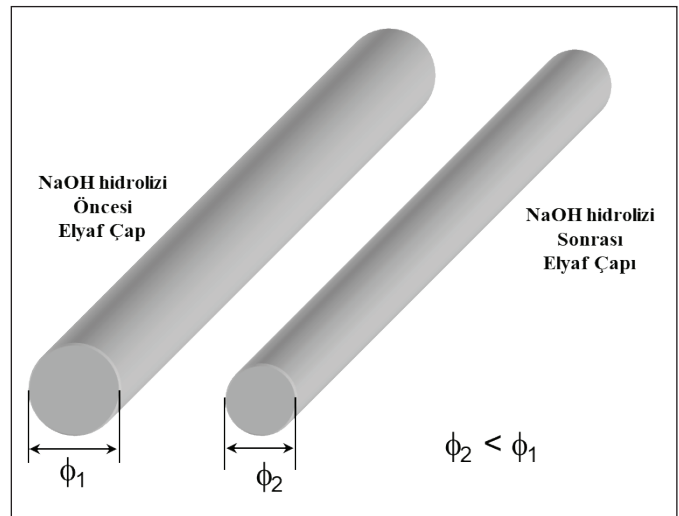
Hareketli standlı trinoküler stereo zoom türü bir mikroskop yardımıyla alkali hidroliz ve sıcaklık etkisi işlemlerinin neden olduğu elyaf çaplarındaki değişim, hidroliz işleminden önce ve sonra kuru duruma kondisyonlanmış elyaf örneklerinde doğrudan ölçülmüştür (Şekil 3). Stereo zoom mikroskop, 6.7x ile 45x arası büyütme kapasitesine sahip olup, dijital görüntüleme düzeneği ile de görselleri bilgisayar ortamında kaydedilmiştir (Şekil 4). İnceleme sürecinde, ayrıca elyaf malzemenin yüzey özellikleri, matrisin genel yapısı, deformasyon gelişimleri vb. hususlar makroskobik olarak incelenmiş ve genel durumları karakteristik olarak yorumlanmıştır. Her numune için deney üç kez tekrarlanarak deneysel hata en aza indirilmiş ve verilerin ortalaması istatistiksel $\pm$ standart sapma değerleriyle birlikte değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kütle Kaybı Analizi

GFa ve GFb elyaf örneklerinin 3 farklı %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH derişimlerde 4 saat süreyle 12 farklı sıcaklık değerinde hidrolizi sonucu kütle kaybı değerleri detaylı analiz edilmiştir. GFa elyaf örneğinin %0.5'lik NaOH hidrolizi sonucu kütle kaybı karakteristiği Şekil 5'te grafiksel olarak verilmiştir.

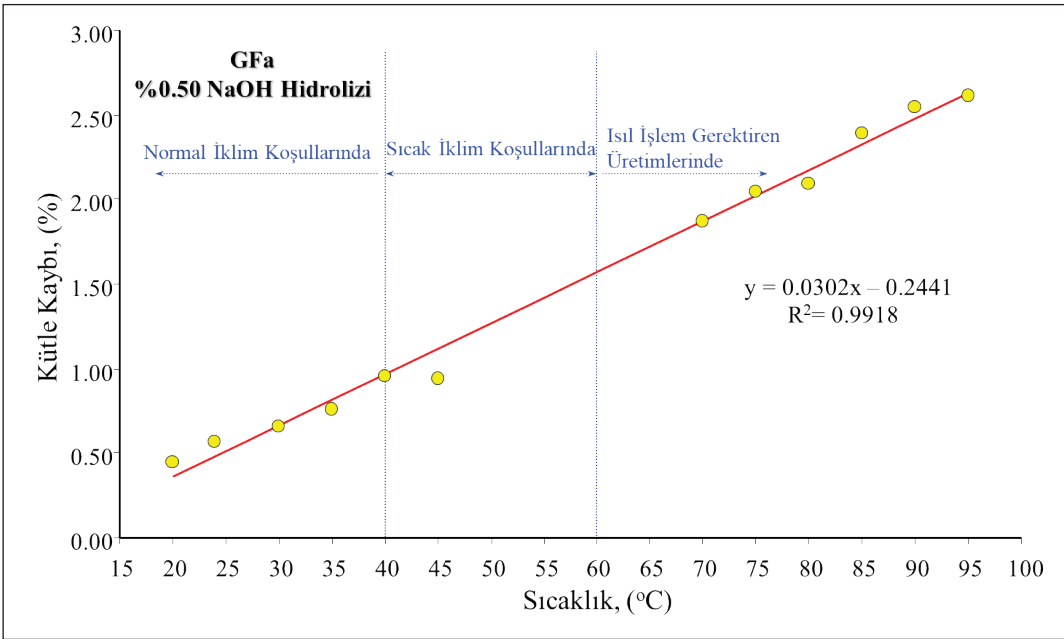
%0.5'lik NaOH hidrolizinde GFa elyaf örneğinin kütle kay-



Şekil 3. Elyaf çaplarındaki değişim.



Şekil 4. Elyaf çaplarındaki değişim için makroskobik test düzeneğinin sembolik görünümü.



Şekil 5. GFa elyaf örneği %0.5'lik NaOH hidrolizi sonucu kütle kaybı analizi.

bı 20°C sıcaklık etkisinde 0.444 ± 0.06 düzeyinde iken, test sıcaklığı 45°C'ye çıktığında, kütle kaybı değeri artış göstererek 0.943 ± 0.05 düzeyine ulaşmıştır. Ayrıca test sıcaklığı 95°C'ye ulaştığında ise, kütle kaybı değeri daha da artış göstererek 2.610 ± 0.07 düzeyine ulaşmıştır. GFa cam elyaf örneği, %0.5 NaOH hidrolizinde artan sıcaklığın etkisine de bağlı olarak lineer kabul edilebilecek bir eğilimle kütle kaybında artış göstermiştir. Çalışma kapsamında, test ortamında uygulanan sıcaklık değerleri, cam elyafların kullanım alanı ve olası kullanım ortam sıcaklık koşulları dikkate alınarak 3 ayrı eşik sıcaklık aralığı tanımlanmıştır. Bunlardan 40°C sıcaklık değerine kadar olan ortam, cam elyaf elyafının *normal iklim koşullarındaki* davranışını temsil etmek üzere

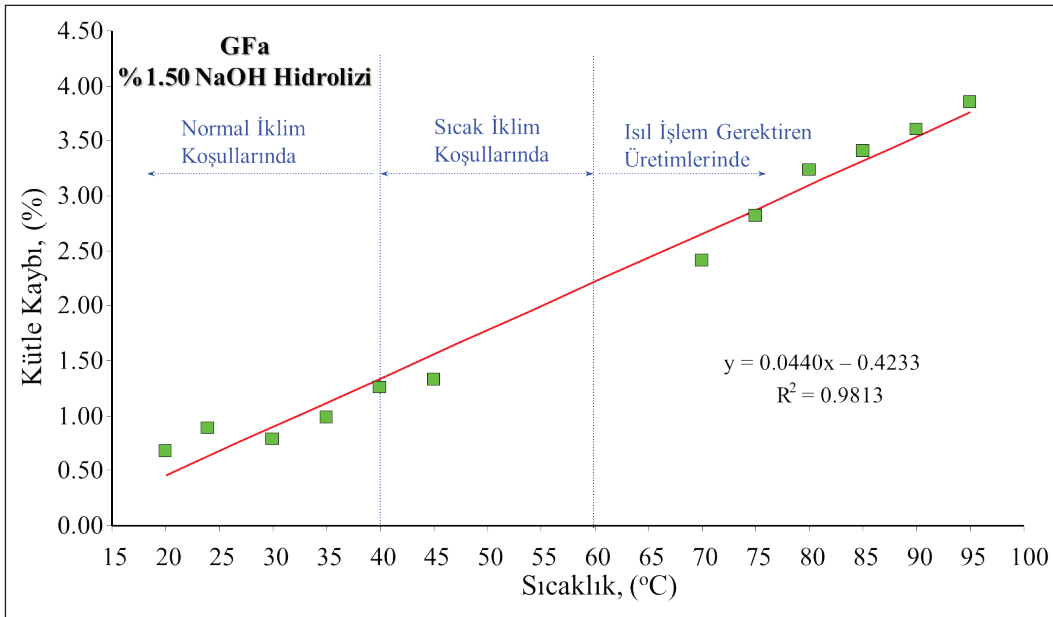
öngörülmüştür. 40°C ile 60°C sıcaklık aralığı olan ortam, cam elyafının *sıcak iklim koşullarındaki* davranışını temsil etmek ve ayrıca 60°C sıcaklık değerinden daha yüksek olan ortam, cam elyafının *ısıl işlem gerektiren üretimlerde* davranışını incelemek amacıyla sektörel kullanımlarda karşılaşılan olası sıcaklık değerleri olması sebebiyle bu çalışmada önemli sıcaklık değerleri olarak öngörülmüştür. Örneğin, GFa elyaf örneği ortam sıcaklığının ortalama 30°C ve %0.5'lik derişimde alkali bir ortamda belirli bir süreyle reaksiyona maruz kaldığında, elyaf kütleli yoğunluğunda ortalama %0.657 oranında bir azalma olabilecektir. Bu da elyaf malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimine doğrudan etki edecektir. Aynı elyaf örneği eğer daha yüksek sıcaklıkta ben-

zer alkalilik değerde olan bir ortama maruz kalması durumunda, kütle yoğunluğunda azalmanın da hızla artacağı görülmektedir.

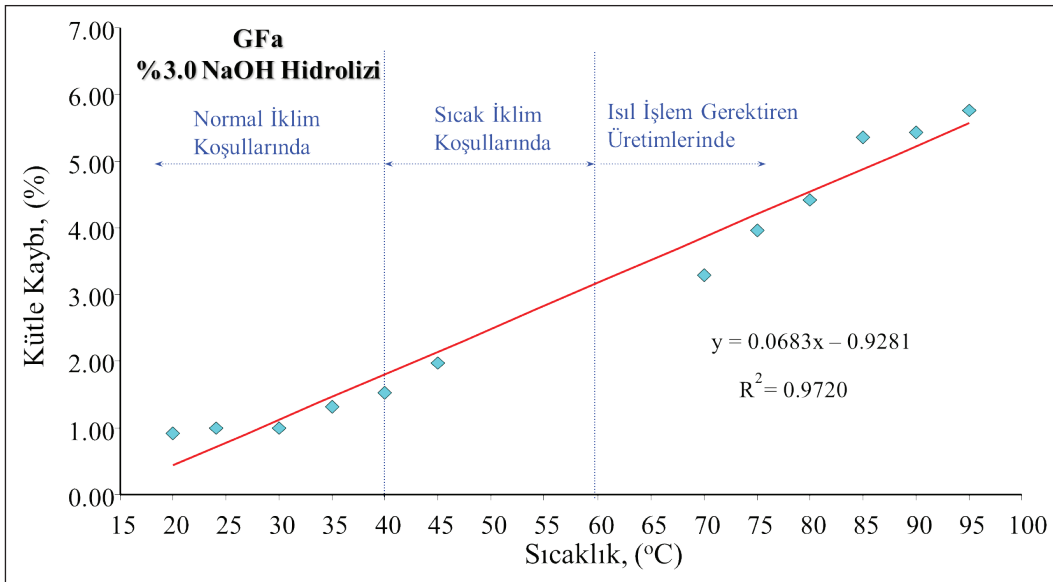
GFa elyaf örneğinin %1.5 ve %3.0'lük NaOH hidrolizi sonucu kütle kaybı karakteristikleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de grafiksel olarak verilmiştir.

GFa elyafının %1.5 ve %3 NaOH hidrolizinde 20°C normal oda sıcaklığında kabul edilebilecek kütle kaybı değerleri sırasıyla %0.682 ve %0.913'tür. Alkali ortamın derişimi arttıkça, eşdeğer ortam sıcaklığında kütle kaybı miktarı da artmaktadır. Bununla birlikte oda sıcaklığı değerine

göre ortam sıcaklığı 10°C artışla 30°C'ye ulaştığında kütle kaybı değerleri sırasıyla %0.79 ve %1.00, ortam sıcaklığı 80°C'ye ulaştığında ise kütle kaybı değerleri sırasıyla %3.23 ve %4.43'e yükselmektedir. Maruz kalınan alkalilik derişim değeri artışı, test örneklerinin kütle kaybına etki ettiği gibi, bir diğer önemli faktörün ise alkali ortama maruz kalınan ortamın sıcaklık değeridir. Sıcaklık değerinin artışı da kütle kaybına sebep verebilen bir diğer parametre olmaktadır. Bu bakımdan, cam elyafı türlerinin yapısal formlarına göre içinde kullanım yerinde içinde bulunacakları ortam ve alkalilik koşullarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bir üründe cam elyafı kullanım öncesi, alkali ortama karşı dirençli hale



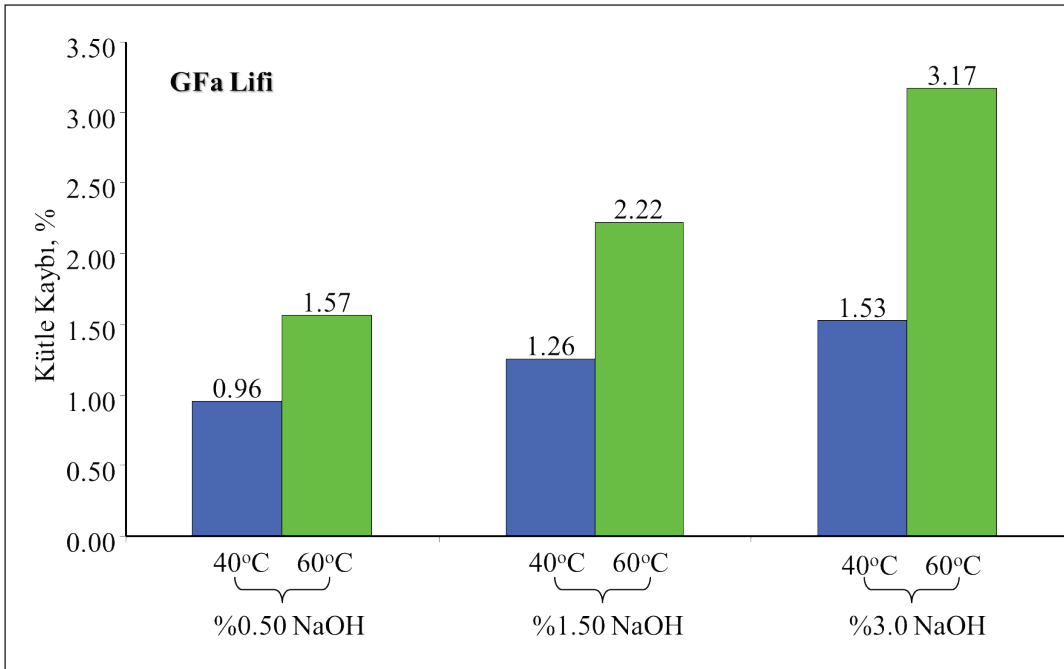
Şekil 6. GFa elyaf örneği %1.5'lik NaOH hidrolizi sonucu kütle kaybı analizi.



Şekil 7. GFa elyaf örneği %3.0'lük NaOH hidrolizi sonucu kütle kaybı analizi.

getirilmesi ürünlerin durabilitesi açısından önemlidir. Ayrıca, alkali ortama dirençli forma getirilmiş elyafın, potansiyel kullanım yerinde maruz kalabileceği sıcaklık değişimleri de ayrı bir inceleme gerektiren husustur. Bu çalışma kapsamında 20°C'den 95°C'ye kadar değişen sıcaklık koşullarında NaOH alkali hidrolizi etkisinde lineer bir trendle elyaf kütle kaybına uğramaktadır. Ortam sıcaklığı arttıkça, kütle kaybındaki değişimde artacaktır. Elyaf malzemede oluşan kütle kaybı, bir harç kombinasyonunun matris yapısında kullanıldığında harcın fiziksel özelliklerinin yanı sıra mekanik özelliklerini de etkileyecektir. Bu olgu, cam elyaf haricinde farklı tür ve orijindeki lif kullanımlarında da görülebilen bir bulgu olabilmektedir. Cam elyafı haricindeki farklı tür bir lif kullanımına ilişkin örnek Polietilen Tereftalat (PET) lifi için verilebilir. Bu bağlamda, Rostami ve arkadaşları (Rostami vd. 2019) beton bileşiminde polyester (Polietilen Tereftalat) (PET) ve Polipropilen (PP) elyaf kullanımları üzerine yaptıkları deneysel analizlerde, PET 8, PET 10, PET 12, PP 8, PP 10 ve PP 12 elyaflarının 60°C sıcaklıkta 1, 2 ve 4 saat sürelerle pH=14 NaOH çözeltisi etkileşimi sonucu farklı elyafların ağırlık kaybı değişimlerini incelemişlerdir. Bu incelemede, alkali işlemin PET elyaflarının ağırlığını azalttığını rapor etmişlerdir. PET elyafları için alkali etki süresinin artmasıyla birlikte artan ağırlık kaybı miktarının da zamana göre değiştiği, etkileşimin ilk aşamalarında ciddi ağırlık kaybının meydana geldiğini, ancak belirli bir süreden sonra ağırlık kaybı artış hızının yavaşladığını belirtmişlerdir. En yüksek ağırlık kaybı %0.83 ile elyafın alkali çözeltiye te-

mas alanını artıran, spesifik yüzey alanı en yüksek olan PET 8 numunesinde gözlemişlerdir. Sonuçlar, PP elyaflarının ise kaynama noktasında işlenmesine rağmen alkali işleminin PP elyaflarını etkilemediğini de belirtmişlerdir. Bir diğer araştırmada ise Krauklis ve Echtermeyer (2018)'de cam elyafların suda uzun süreli çözünmesi ve çözünen silindir sıfır dereceli kinetik modelle kütle kaybı ve çap değerlerinin azalmasına ilişkin yaptıkları çalışmada, özellikle 6 aydan 50 yıla kadar olan zaman sürecinde cam elyaflarda %0.10'dan başlayarak %10'a ulaşan kütle kaybının oluştuğunu belirtmişlerdir. Wang vd. (2023)'de alkali dirençli cam elyafların alkali ortama dayanımı üzerine yaptıkları çalışmada zamanla kütle kaybının gelişimi, alkali-silika reaksiyonunu kolaylaştırdığı için NaOH konsantrasyonunun %4'ten %10'a çıkarılmasıyla hızlandırıldığını belirlemişlerdir. Örneğin, 90 gün boyunca %4 ve %10 NaOH ile aşındırılan cam elyafı örneklerinin kütle kaybı oranı sırasıyla %2.51 ve %4.97 olarak rapor edilmiştir. Bu çalışma kapsamında farklı derişimlerde hazırlanmış NaOH çözeltisi etkileşiminde kütle kaybı değerlerinin Wang vd (2023)'deki çalışma bulgularına kıyasla daha yüksek değerler olarak elde edilmiştir. Bunun temel sebebi, bu çalışma kapsamında kimyasal etkileşimin çalışma sürecinde maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerinin diğer çalışmaya göre yüksek sıcaklık değerlerinde olmasına bağlı olarak geliştiği görülmüştür. Çalışma bulgularından elde edilen genel eğilim, maruz kalınan sıcaklı ortamı değeri arttıkça, eşdeğer derişimde kütle kaybı değerleri daha yüksek oluşmaktadır.



Şekil 8. GFa elyaf örneğinin eşik sıcaklık değerlerinde kütle kaybı değerleri.

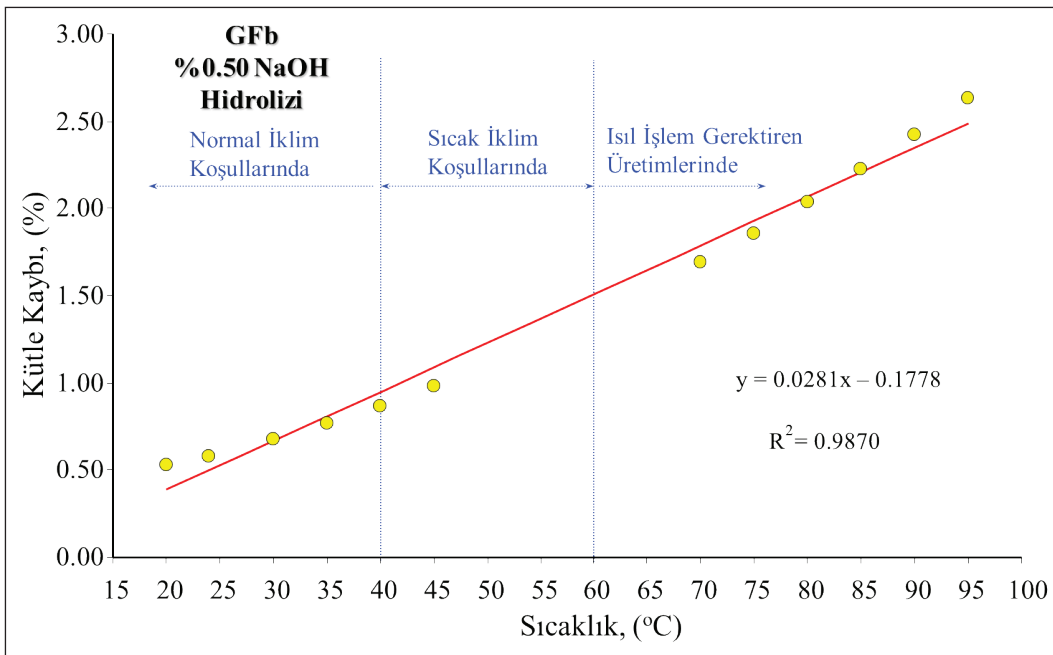
Silva ve Estêvão (2020) cam lifi ile güçlendirilmiş polimer çubukların alkali ortamdaki bozulmalarını incelemişler ve 60°C sıcaklıkta hem polimerin hem de cam liflerinin alkali ortamda oldukça hızlı ve 20°C sıcaklığa göre daha fazla bozulduğunu tespit etmişlerdir. Bu deneysel çalışma kapsamında ise 40°C ve 60°C sıcaklık değerleri, elyaf kullanımı için eşik değerler olarak belirlenmiştir. Bu eşik değerler baz alındığında, üç ayrı derişimdeki NaOH alkali hidrolizi etkisinde GFa elyafında oluşan kütle kaybı değerlerinin karşılaştırması Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8 irdelendiğinde, 40°C'den 60°C'ye artan ortam sıcaklığında üç ayrı alkali derişim için elyaf örneklerindeki kütle kaybı değerleri sırasıyla, 1.63, 1.76 ve 2.07 kat artarak değişim göstermiştir. Özellikle NaOH alkalilik oranı arttıkça 2 katın üzerine çıkan kütle kayıpları söz konusu olmaktadır. Bu bağlamda, ısı işlem gerektiren ürünlerin elde edilmesinde ısı işlem sıcaklığının >70°C değeri üzerinde olması ve ortamda yüksek alkalilik durumunun söz konusu olması, GFa elyaf yapısında %5'ten fazla kütle kayıplarının oluşabilirdiği belirlenmiştir. Bu durum, ısı işlem uygulanarak geliştirilen ve/veya üretilen malzeme kombinasyonlarında alkaliliğe bağlı ortam koşullarının var olduğu kullanım alanlarında elyaf kullanımının sağlayabileceği teknik avantajlar detaylı teknik olarak irdelenmelidir. Ayrıca, eşdeğer ortam sıcaklık değerleri dikkate alındığında NaOH miktarının artışı ile artan alkalilik miktarına bağlı olarak daha fazla kimyasal reaksiyon tepkimesi vermesi sebebiyle GFa lif türü örneklerin kütle kaybı değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Bu etkile-

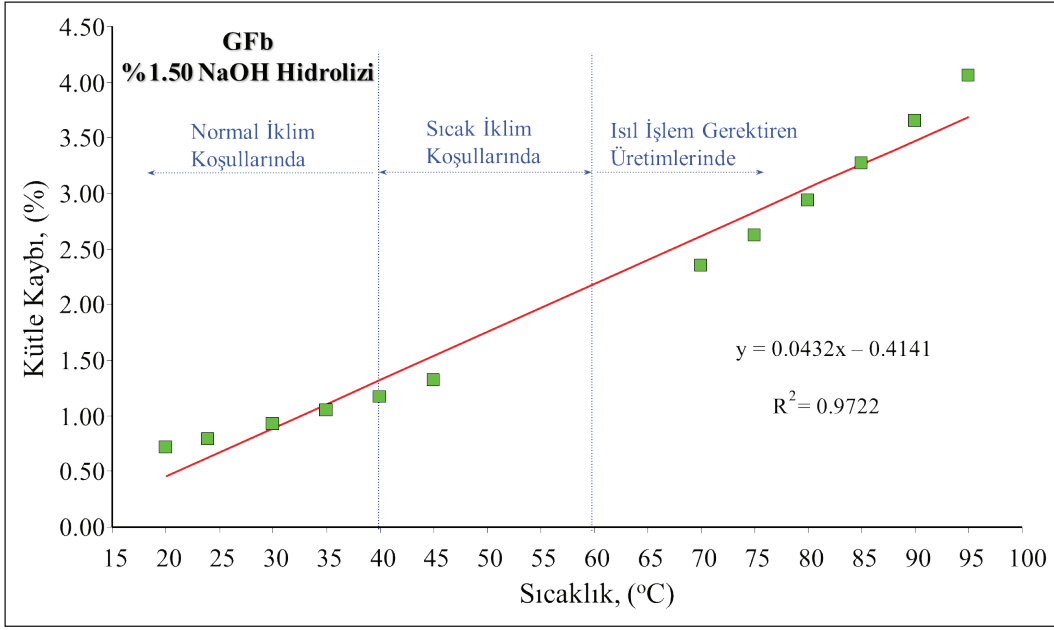
şim, hemen hemen tüm sıcaklık değerlerinin değişiminde görülmüştür.

GFb elyaf örneklerinin %0.5, %1.5 ve %3.0 NaOH hidrolizi sonucu kütle kaybı karakteristikleri sırasıyla Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

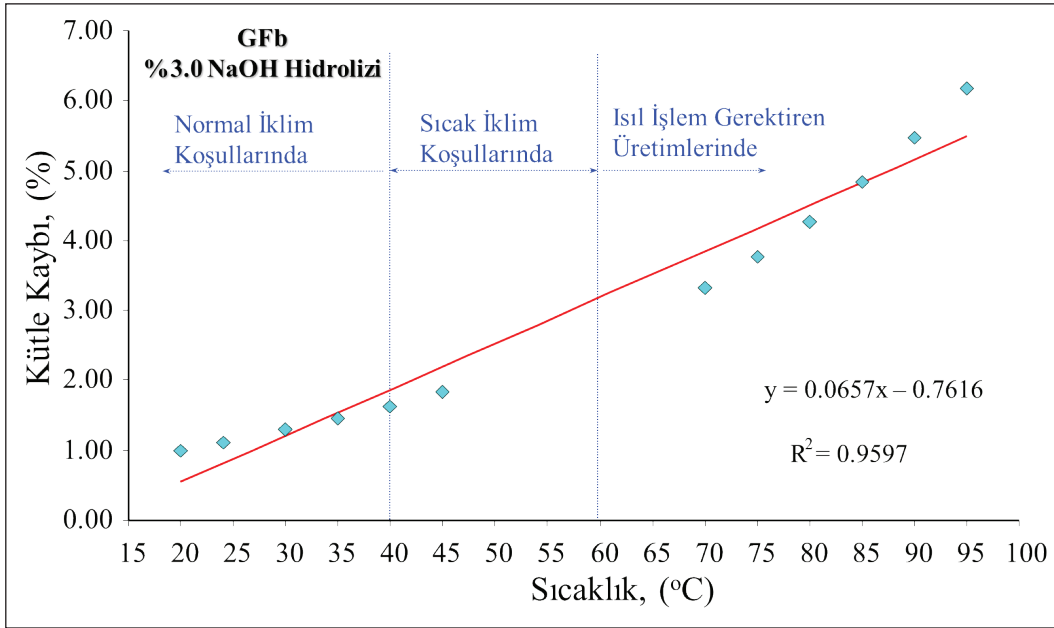
%0.5, %1.5 ve %3.0'lük NaOH hidrolizinde GFb elyaf örneğinin kütle kaybı 20°C sıcaklık etkisinde sırasıyla ortalama %0.524, %0.712 ve %0.994 düzeyinde iken, test sıcaklığı 45°C'ye çıktığında, kütle kaybı değeri artış göstererek sırasıyla ortalama %0.977, %1.317 ve %1.827 düzeyine ulaşmıştır. Ayrıca test sıcaklığı 95°C'ye ulaştığında ise, kütle kaybı değeri daha da artış göstererek %0.5, %1.5 ve %3.0'lük NaOH hidrolizinde ortalama %2.629, %4.054 ve %6.173 düzeyine ulaşmıştır. GFb cam elyaf örnekleri, her üç NaOH hidrolizinde de artan sıcaklığın etkisine de bağlı olarak lineer kabul edilebilecek bir eğilimle kütle kaybında artış göstermiştir. GFa ve GFb elyaflarının kütle kayıpları karşılaştırıldığında özgül ağırlığı daha yüksek olan GFa elyaflarının her üç alkali ortamda da GFb elyafların kıyasla kütle kaybının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, GFb elyafının içinde karışmış olan polyester iplik kırıntılarının da kütle kaybında etkisi olduğu düşünülebilir. Özellikle, GFb elyafının alkali ortam içerisinde sıcaklıktan daha fazla etkilendiği ve daha fazla kütle kaybına uğradığı gözlemlenmiştir. GFa elyafı için 95°C'ye artan sıcaklıkta kütle kaybı yaklaşık %5.75 iken, GFb elyafında 95°C'ye artan sıcaklıkta kütle kaybı yaklaşık %6.173 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 9. GFb elyaf örneği %0.5'lik NaOH hidrolizi sonucu kütle kaybı analizi.



Şekil 10. GFb elyaf örneği %1.5'lik NaOH hidrolizi sonucu kütle kaybı analizi.

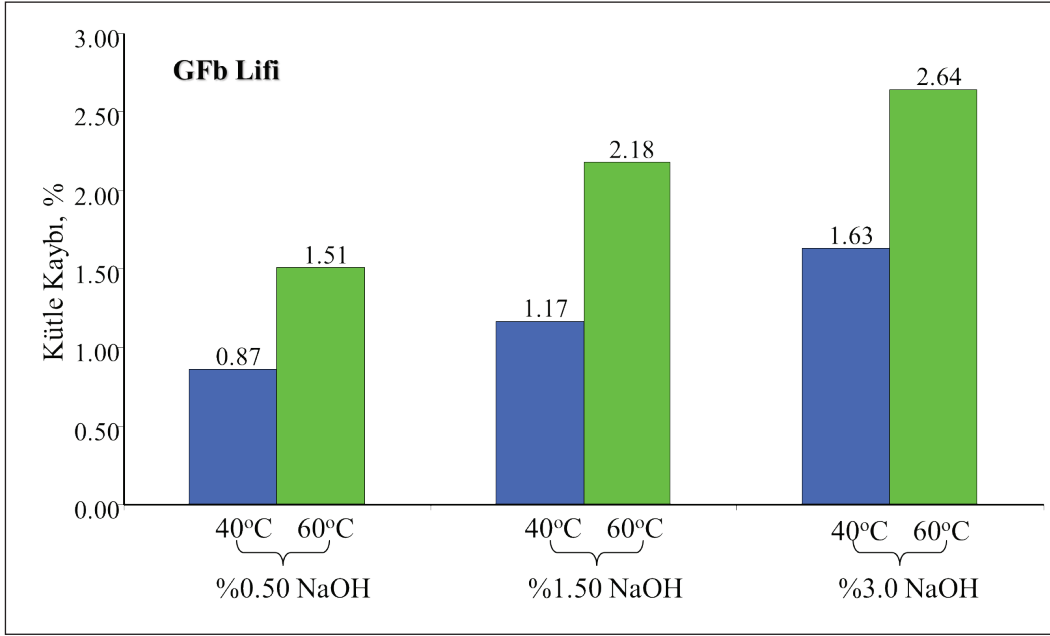


Şekil 11. GFb elyaf örneği %3.0'lük NaOH hidrolizi sonucu kütle kaybı analizi.

Bu çalışma kapsamında 40°C ve 60°C sıcaklık değerleri, elyaf kullanımı için eşik değerler olarak belirlenmiştir. Bu eşik değerler baz alındığında, üç ayrı derişimdeki NaOH alkali hidrolizi etkisinde GFb elyafında oluşan kütle kaybı değerlerinin karşılaştırması Şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 12 irdelendiğinde, 40°C'den 60°C'ye artan ortam sıcaklığında üç ayrı alkali derişim için elyaf örneklerindeki kütle kaybı değerleri sırasıyla, 1.74, 1.86 ve 1.62 kat artarak değişim göstermiştir. GFa elyaf örneklerinin sonuçlarına benzer şekilde, GFb elyaf örneklerinin de eşik sıcaklık de-

ğerleri arasındaki geçişte hemen hemen 2 kata yakın kütle kayıplarının yaşanabileceği tespit edilmiştir. Sıcaklık ve NaOH derişimindeki değişikliğin GFb elyaflarındaki kütle kaybını etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, eşdeğer ortam sıcaklık değerleri dikkate alındığında NaOH miktarının artışı ile artan alkalilik miktarına bağlı olarak daha fazla kimyasal reaksiyon tepkimesi vermesi sebebiyle GFb lif türü örneklerin kütle kaybı değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Bu etki-leşim, hemen hemen tüm sıcaklık değerlerinin değişiminde görülmüştür.



Şekil 12. GFb elyaf örneğinin eşik sıcaklık değerlerinde kütle kaybı değerleri.

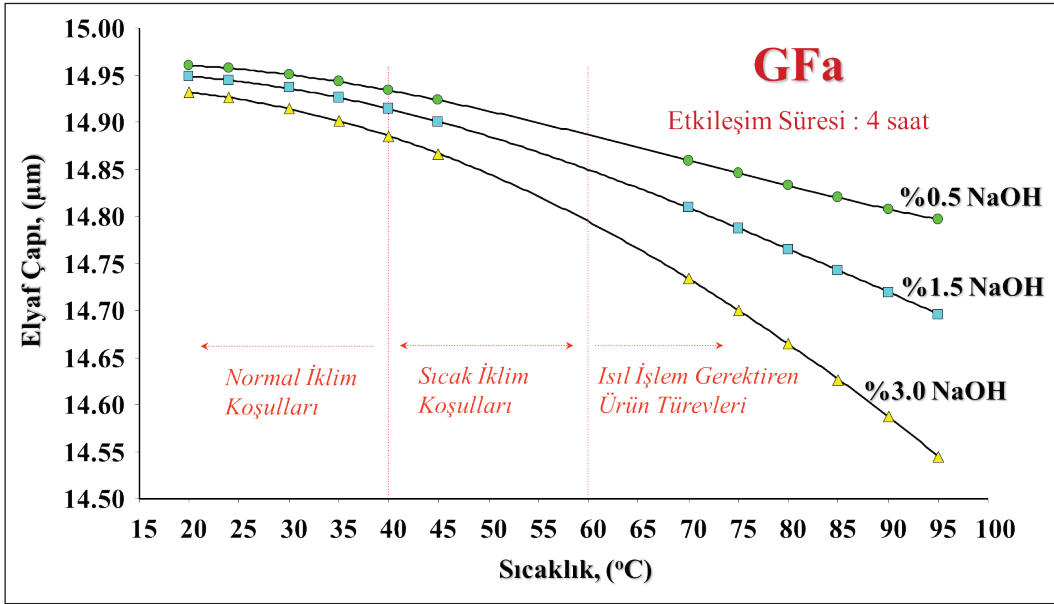
Eşik sıcaklıklar irdelendiğinde en büyük kütle kaybının %2.64 ile 60°C ve %3'lük NaOH derişiminde olduğu tespit edilmiştir. Bir diğer inceleme ise lif boyutunun artışına bağlı olarak kütle kaybı değerlerinin değişimi üzerine yapılmıştır. Bu bağlamda yapılan incelemede genel olarak eşdeğer alkalilik koşullarında lif boyutu artışına bağlı olarak kütle kaybı değerinin de artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Örneğin 24°C ortam sıcaklığında 6 mm boyutundaki GFa örneklerinin %0.5 NaOH çözelti etkileşiminde kütle kaybı değeri %0.566 iken, aynı ortam sıcaklığında bu derişimdeki 12 mm boyutundaki GFb lif örneklerinin kütle değeri %0.578 olarak belirlenmiştir. Benzer bir yaklaşım 95°C ortam sıcaklığı için irdelendiğinde; 6 mm boyutundaki GFa örneklerinin %3.0 NaOH çözelti etkileşiminde kütle kaybı değeri %5.750 iken, aynı ortam sıcaklığında bu derişimdeki 12 mm boyutundaki GFb lif örneklerinin kütle değeri %6.173 olarak belirlenmiştir.

3.2. Elyaf Çapı Analizi

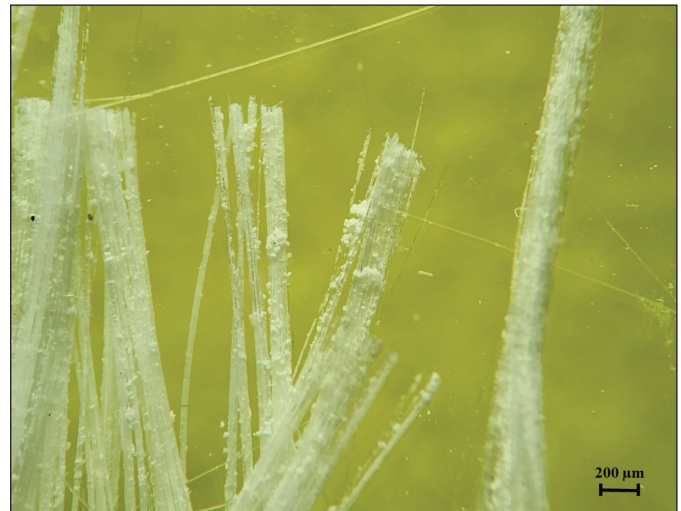
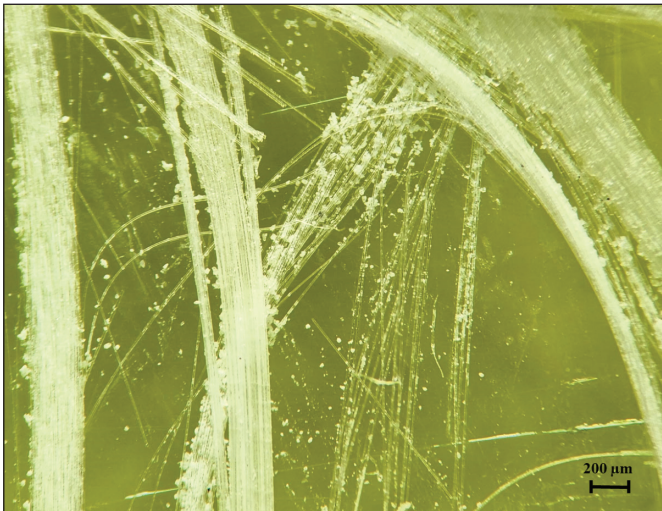
GFa ve GFb elyaf örneklerinin 3 farklı %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH derişimlerde 4 saat süreyle 12 farklı sıcaklık değerinde hidrolizi sonucu elyaf çaplarındaki değişim detaylı analiz edilmiştir. GFa elyaf örneğinin üç ayrı alkali derişim NaOH hidrolizi sonucu elyaf çaplarındaki değişim karakteristiği Şekil 13'te grafiksel olarak verilmiştir.

NaOH hidrolizi öncesi tüm GFa elyaf örneklerinin ortalama çap değeri 15 mikron olarak belirlenmiştir. 20°C normal oda sıcaklığı koşullarında 4 saat süreyle 3 farklı %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH hidrolizi sonucu elyaf çaplarındaki

ki değişim sırasıyla, 14.96, 14.95 ve 14.93 µm olarak belirlenmiştir. Diğer bir değişle, bu sıcaklık değerinde elyaf çaplarında 0.04, 0.05 ve 0.07 µm düzeyinde çap küçülme-leri oluşmuştur. Bu da doğal olarak elyaf matrisinin kütle kaybına sebep olmaktadır. NaOH derişim miktarı arttıkça, elyaf çaplarındaki küçülme miktarı da artmaktadır. Bununla birlikte, sabit derişimde NaOH alkali hidrolizinde artan ortam sıcaklığıyla elyaf çapı küçülme eğilimi göstermektedir. Örneğin, %3'lük NaOH derişiminde 24°C sıcaklıkta elyaf çapı 14.926 µm iken, 40°C sıcaklıkta elyaf çapı 14.885 µm ve 80°C sıcaklıkta elyaf çapı 14.664 µm'dir. Cam elyaf türleri haricinde farklı orijindeki elyaf türleri de alkali ortam koşullarına maruz kaldığında elyaf çap değerlerinde değişimler söz konusu olmaktadır. Rostami vd. (2019) beton bileşiminde PET ve PP elyaf kullanımları üzerine yaptıkları deneysel analizlerde, PET ve PP elyaflarının 60°C sıcaklıkta 1, 2 ve 4 saat sürelerle pH=14 NaOH çözeltisi etkileşimi sonucu elyaf çaplarındaki değişimleri de incelemişlerdir. Bu incelemede, PET 8 elyafı alkali etkileşim öncesi elyaf çapı 28.53 mikron iken, 4 saat etkileşim sonrası elyaf çapı 27.42 mikrona düşmüştür. Benzer şekilde, PET 12 elyafı alkali etkileşim öncesi elyaf çapı 39.19 mikron iken, 4 saat etkileşim sonrası elyaf çapı 38.05 mikrona düşmüştür. PP elyaf türünde benzer NaOH etkileşimleri sonucu çok düşük miktarlarda elyaf çap değerlerinin düştüğünü rapor etmişlerdir. Örneğin PP 8 elyafı alkali etkileşim öncesi elyaf çapı 29.17 mikron iken, 4 saat etkileşim sonrası elyaf çapı 29.10 mikrona düşmüştür. Benzer şekilde, PP 12 elyafı alkali etkileşim öncesi elyaf çapı 39.78 mikron iken, 4 saat etkileşim sonrası elyaf çapı



Şekil 13. GFa elyaf örneğinin sıcaklık-elyaf çapı değişim karakteristiği.



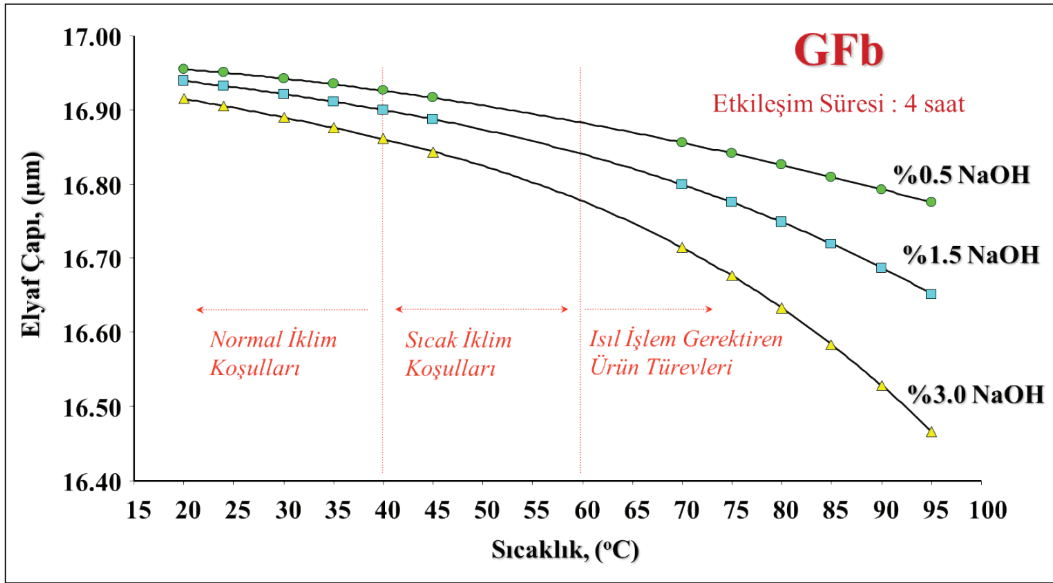
Şekil 14. GFa elyaf örneğinin NaOH hidrolizi sonrası makroskobik genel görünümüleri.

39.75 mikrona düşmüştür (Krauklis ve Echtermeyer 2018). Bir diğer araştırmada ise Krauklis ve Echtermeyer (2018)'de cam elyafların suda uzun süreli 60°C'lik ortam sıcaklığında çap değerlerinin azalmasına ilişkin yaptıkları çalışmada, özellikle 6 aydan 50 yıla kadar olan zaman sürecinde cam elyaflarda %0.05'ten başlayarak %5.13'e ulaşan çap azalması oranlarının oluştuğunu belirtmişlerdir. Yousef ve Kalpokaitė-Dičkuvienė (2024) rüzgar türbin kanatlarından elde ettikleri cam elyafları reçine ve diğer organiklerden ayıkladıktan sonra elde ettikleri atık cam liflerinin alkali ortam dayanıklılığını tespit etmişlerdir. pH = 14 olan çözünmüş alkali çözelti, çimento parçacıklarının hacimce 1:4 oranında su ile karıştırılmasıyla hazırlanmıştır, daha sonra çözelti, çimento parça-

cıklarının çökmesi için 24 saat bekletilmiş, böylece filtrasyon işleminin yardımıyla güçlü bir alkali çimento çözeltisi çıkarılmıştır. 90 gün boyunca bu çözelti içerisinde kalan atık cam liflerinin çaplarının %7.84 azaldığı tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında yüksek alkalilik oranında pH≈14 GFa elyaf örneklerinin NaOH hidrolizi sonrası makroskobik görünümüleri Şekil 14'te verilmiştir.

GFa elyaf örneklerinin NaOH hidrolizi sonucu çeperlerinde oluşan tuz kristalleşmeleri açıkça görülmektedir. Elyaf örneklerinin çözelti içerisinde topaklanma gösterdiği durumlarda bu kristalleşmelerin daha da artarak yoğunluk kazandığı görülmüştür. Bu bağlamda, GFa cam elyafların ç-



Şekil 15. GFb elyaf örneğinin üç ayrı alkali derişim NaOH hidrolizi sonucu elyaf çaplarındaki değişim karakteristiği.

mentolu ve/veya çimentosuz bir karışımında elyaf katkı olarak kullanımında, karışımın matris yapısında tüm elyaf birimlerin saçınımlı bir şekilde dağılım göstermesi, elyafın karma suyu içerisinde açılıp düzenli bir dağılma karakteristiği göstermesi önemli bir faktör olarak değerlendirilecektir.

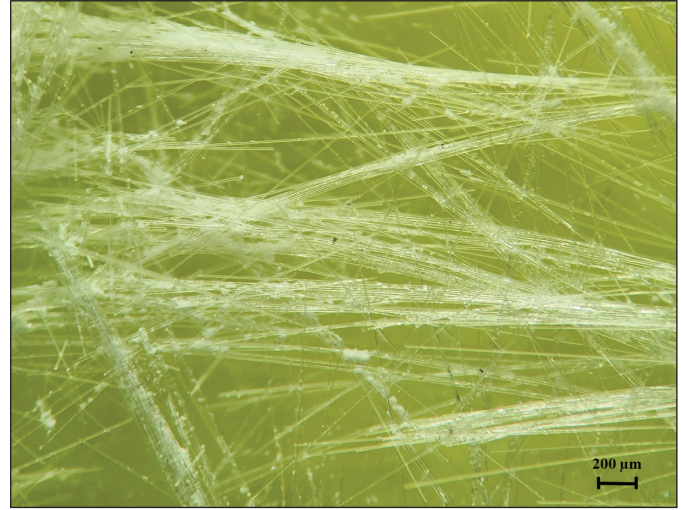
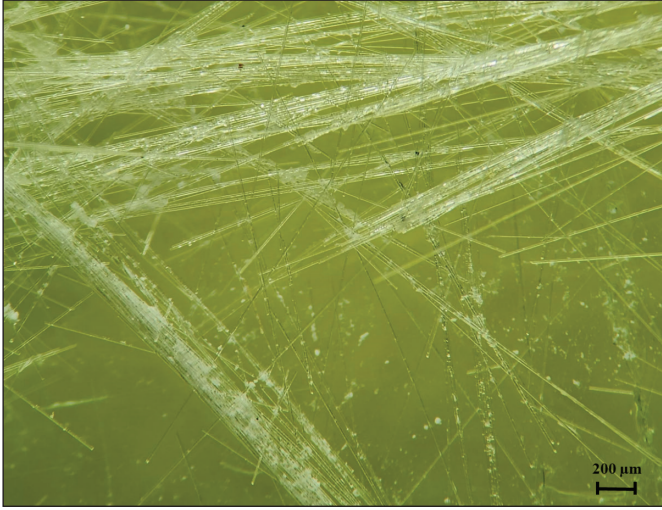
GFb elyaf örneğinin üç ayrı alkali derişim NaOH hidrolizi sonucu elyaf çaplarındaki değişim karakteristiği Şekil 15'te grafiksel olarak gösterilmiştir.

NaOH hidrolizi öncesi tüm GFb elyaf örneklerinin ortalama çap değeri 17 µm olarak belirlenmiştir. 20°C normal oda sıcaklığı koşullarında 4 saat süreyle 3 farklı %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH hidrolizi sonucu elyaf çaplarındaki değişim sırasıyla, 16.955, 16.939 ve 16.915 µm olarak belirlenmiştir. Diğer bir değişle, bu sıcaklık değerinde elyaf çaplarında 0.045, 0.061 ve 0.085 µm düzeyinde çap küçülmeleri oluşmuştur. Bu da doğal olarak elyaf matrisinin kütle kaybına sebep olmaktadır. NaOH derişim miktarı arttıkça, elyaf çaplarındaki küçülme miktarı da artmaktadır. Bununla birlikte, sabit derişimde NaOH alkali hidrolizinde artan ortam sıcaklığıyla da elyaf çapı küçülme eğilimi göstermektedir. Örneğin, %3'lük NaOH derişiminde 24°C sıcaklıkta elyaf çapı 16.905 µm iken, 40°C sıcaklıkta elyaf çapı 16.861 µm ve 80°C sıcaklıkta elyaf çapı 16.633 µm'dir. GFa elyafları ile karşılaştırıldığında, GFb elyaflarının çaplarındaki daralmanın boyutunun daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Xing ve arkadaşları E-cam lifleri üzerinde yaptıkları çalışmada, alkali ortamın başlangıçta ortalama 13 µm çap değerine sahip liflerin çaplarını ortalama 12.9 µm'ye düşürdüğünü belirtmişlerdir (Xing et al., 2020). Bunun sebebini de alkali çözelti-

tide, cam liflerinin ağ yapısındaki -Si-O-Si- bağlarının OH⁻ iyonları tarafından parçalanarak cam ağının tahrip olmasına bağlamışlardır. Bir diğer inceleme ise lif boyutunun artışına bağlı olarak çap değerlerinin değişimi üzerine yapılmıştır. Bu bağlamda yapılan incelemede genel olarak eşdeğer alkalilik koşullarında lif boyutu artışına bağlı olarak lif çapı değeri değişiminin artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Örneğin 24°C ortam sıcaklığında 6 mm boyutundaki GFa örneklerinin %1.5 NaOH çözelti etkileşiminde çap değeri değişimi %0.368 iken, aynı ortam sıcaklığında bu derişimdeki 12 mm boyutundaki GFb lif örneklerinin çap değeri değişimi %0.396 olarak belirlenmiştir. Benzer bir yaklaşım 95°C ortam sıcaklığı için irdelendiğinde; 6 mm boyutundaki GFa örneklerinin %3.0 NaOH çözelti etkileşiminde çap değeri değişimi %3.035 iken, aynı ortam sıcaklığında bu derişimdeki 12 mm boyutundaki GFb lif örneklerinin çap değeri değişimi %3.136 olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında yüksek alkalilik oranında pH≈14 GFb elyaf örneklerinin NaOH hidrolizi sonrası makroskobik görünimleri Şekil 16'da verilmiştir.

GFb elyaf örneklerinin NaOH hidrolizi sonucu çeperlerinde oluşan tuz kristalleşmeleri GFa elyaflarında da olduğu gibi açıkça görülmektedir. Elyaf örneklerinin çözelti içerisinde topaklanma gösterdiği durumlarda bu kristalleşmelerin daha da artarak yoğunluk kazandığı görülmüştür. Bu bağlamda, GFa cam elyafın çimentosu ve/veya çimentosuz bir karışımında elyaf katkı olarak kullanımında, karışımın matris yapısında tüm elyaf birimlerin saçınımlı bir şekilde dağılım göstermesi, elyafın karma suyu içerisinde açılıp dü-



Şekil 16. GFb elyaf örneğinin NaOH hidrolizi sonrası makroskopik genel görünümüleri.

zenli bir dağılma karakteristiği göstermesi önemli bir faktör olarak değerlendirilecektir.

4. Sonuç ve Öneriler

Alkali ortam derişimi ve sıcaklığının elyaf özelliklerine etkisinin incelendiği bu çalışma sonuçlarına göre;

1. Alkali ortamın derişimi cam elyafların kütle kaybı ve elyaf çaplarındaki azalmayı etkileyen önemli bir parametre olarak gözlemlenmiştir.
2. Bir diğer önemli bulgu ise, alkali ortamın sıcaklığındaki artışın elyaflarda önemli oranda kütle kaybına ve elyaf çapında daralmaya sebep olmasıdır.
3. %0.5'lik NaOH hidrolizinde GFa elyaf örneğinin kütle kaybı 20°C sıcaklık etkisinde %0.444±0.06 düzeyinde iken, 45°C'de %0.943±0.05, 95°C'de ise %2.610±0.07 düzeyine ulaşmıştır. GFa elyaflarının %1.5 ve %3 NaOH hidrolizinde 20°C sıcaklıkta kütle kaybı değerleri sırasıyla %0.682 ve %0.913'tür.
4. %0.5, %1.5 ve %3.0'lük NaOH hidrolizinde GFb elyaf örneğinin kütle kaybı 20°C sıcaklık etkisinde sırasıyla ortalama %0.524, %0.712 ve %0.994 düzeyinde iken, test sıcaklığı 45°C'ye çıktığında, kütle kaybı değeri artış göstererek sırasıyla ortalama %0.977, %1.317 ve %1.827 düzeyine ulaşmıştır. Ayrıca test sıcaklığı 95°C'ye ulaştığında ise, kütle kaybı değeri daha da artış göstererek %0.5, %1.5 ve %3.0'lük NaOH hidrolizinde ortalama %2.629, %4.054 ve %6.173 düzeyine ulaşmıştır.
5. Bu çalışma kapsamında 40°C ve 60°C sıcaklık değerleri, elyaf kullanımı için eşik değerler olarak belirlenmiştir.

GFa elyafı için 40°C'den 60°C'ye artan ortam sıcaklığında üç ayrı alkali derişim için elyaf örneklerindeki kütle kaybı değerleri sırasıyla, 1.63, 1.76 ve 2.07 kat artarak değişim göstermiştir. GFb elyafı için 40°C'den 60°C'ye artan ortam sıcaklığında üç ayrı alkali derişim için elyaf örneklerindeki kütle kaybı değerleri sırasıyla, 1.74, 1.86 ve 1.62 kat artarak değişim göstermiştir.

6. NaOH hidrolizi öncesi tüm GFa elyaf örneklerinin ortalama çap değeri ortalama 15 µm olarak belirlenmiştir. 20°C oda sıcaklığı koşullarında 4 saat süreyle 3 farklı %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH hidrolizi sonucu elyaf çaplarındaki değişim sırasıyla, 14.96, 14.95 ve 14.93 µm olarak belirlenmiştir. GFb elyaf örneklerinin ortalama çap değeri 17 µm olarak belirlenmiştir. 20°C normal oda sıcaklığı koşullarında 4 saat süreyle 3 farklı %0.5, %1.5 ve %3'lük NaOH hidrolizi sonucu elyaf çaplarındaki değişim sırasıyla, 16.955, 16.939 ve 16.915 µm olarak belirlenmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre, alkali ortam derişiminin ve sıcaklığın artışı elyaf çaplarında ve elyaf kütlelerinde önemli derecede azalmaya sebebiyet vermektedir. Özellikle 60°C sıcaklık ve üzerindeki alkali ortam sıcaklığı elyafların bozulmasında önemli bir etken olarak gözlemlenmiştir. Bu sıcaklıklarda kür edilecek ve/veya sıcaklık uygulanarak elde edilecek çimentolu ürünlerde cam elyaf kullanımında elyafların mutlaka alkalilere karşı dirençli hale getirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada NaOH alkali olarak kullanılan bir malzemedir, ileriki çalışmalarda farklı alkaliler farklı sıcaklıklarda cam elyafları üzerindeki etkisi bağlamında araştırılmalıdır.

Yazar katkısı: Lütfullah Gündüz: Araştırma için fikir ve hipotezin oluşturulması, sonuçlara ulaşmak için yöntemlerin planlanması, makalenin organizasyonu ve seyrinin gözetimi, bulguların analizi, makale yazımı. Şevket Onur Kalkan: Deneylerin yapılması, verilerin düzenlenmesi, yazma-orijinal taslak hazırlama, makale yazımı-incelenmesi ve düzenlenmesi.

5. Kaynaklar

- Charles, R.J. 1958.** Static fatigue of glass. II. Journal of Applied Physics, 29(11): 1554-1560.
- Cohen, EB., Diamond, S. 1975.** Validity of flexural strength reduction as an indication of alkali attack on glass in fibre reinforced cement composites. Fibre Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, 315-325.
- Gilbert, GT. 2004.** GFRC-30 years of high fiber cement composite applications worldwide. Special Publication, 224:1-20.
- Hussain, S., Yadav, JS. 2023.** Mechanical and Durability Performances of Alkali-resistant Glass Fiber-reinforced Concrete. Jordan Journal of Civil Engineering, 17(2): 231-246. Doi:10.14525/JJCE.v17i2.06
- Krauklis, AE., Echtermeyer, AT. 2018.** Long-term dissolution of glass fibers in water described by dissolving cylinder zero-order kinetic model: Mass loss and radius reduction. Open Chemistry, 16(1): 1189-1199. Doi:10.1515/chem-2018-0133
- Litherland, KL., Oakley, DR., Proctor, BA. 1981.** The use of accelerated ageing procedures to predict the long-term strength of GRC composites. Cement and Concrete Research, 11 (3): 455-466. Doi:10.1016/0008-8846(81)90117-4
- Majumdar, AJ. 1980.** Some aspects of glass fibre reinforced cement research. Advances in Cement-Matrix Composites:Proceedings, Symposium L Materials Research Society, Annual Meeting, 37-60, USA.
- Oh, HS., Moon, DY., Kim, SD. 2011.** An investigation on durability of mixture of alkali-resistant glass and epoxy for civil engineering application. Procedia Engineering, 14: 2223-2229. Doi: 10.1016/j.proeng.2011.07.280
- Park, JM., Shin, WG., Yoon, DJ. 1999.** A study of interfacial aspects of epoxy-based composites reinforced with dual basalt and SiC fibres by means of the fragmentation and acoustic emission techniques. Composites Science and Technology, 59(3): 355-370. Doi: 10.1016/S0266-3538(98)00085-2
- Péra, J., Ambroise, J. 2004.** New applications of calcium sulfoaluminate cement. Cement and Concrete Research, 34(4): 671-676. Doi: 10.1016/j.cemconres.2003.10.019
- Rev Glass, 2024.** REV Glass Fiber Company, Ürün Teknik Bilgi Dokümanı, İzmir.
- Rostami, R., Zarrebini, M., Mandegari, M., Sanginabadi, K., Mostofinejad, D., Abtahi, SM. 2019.** The effect of concrete alkalinity on behavior of reinforcing polyester and polypropylene fibers with similar properties. Cement and Concrete Composites, 97: 118-124. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.12.012
- Scheffler, C., Gao, SL., Plonka, R., Mäder, E., Hempel, S., Butler, M., Mechtcherine, V. 2009.** Interphase modification of alkali-resistant glass fibres and carbon fibres for textile reinforced concrete II: Water adsorption and composite interphases. Composites Science and Technology, 69(7-8): 905-912. Doi: 10.1016/j.compscitech.2008.12.020
- Shan, Y., Liao, K. 2001.** Environmental fatigue of unidirectional glass-carbon fiber reinforced hybrid composite. Composites Part B: Engineering, 32(4): 355-363. Doi: 10.1016/S1359-8368(01)00014-2
- Silva, MA., Estêvão, M. 2020.** Alkaline Attack on Cement or Lime Mortar and Glass Fiber-Reinforced Polymer Rods. ACI Materials Journal, 117(1): 97-106. Doi: 10.14359/51719071
- Sim, J., Park, C. 2005.** Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. Composites Part B: Engineering, 36(6-7): 504-512. Doi: 10.1016/j.compositesb.2005.02.002
- Tsotsis, TK., Keller, S., Lee, K., Bardis, J., Bish, J. 2001.** Aging of polymeric composite specimens for 5000 hours at elevated pressure and temperature. Composites Science and Technology, 61(1): 75-86. Doi:10.1016/S0266-3538(00)00196-2
- Wang, G., Zhang, J., Li, F., Li, K., Xin, M., Zhu, J., Lu, X., Cheng, X., Zhang, L. (2023).** Enhancement of Alkali Resistance of Glass Fibers via In Situ Modification of Manganese-Based Nanomaterials. Materials, 16(16): 5663. Doi:10.3390/ma16165663
- Wei, B., Cao, H., Song, S. 2010.** Tensile behavior contrast of basalt and glass fibers after chemical treatment. Materials & Design, 31(9): 4244-4250. Doi:10.1016/j.matdes.2010.04.009
- Xing, D., Chen, L., Ma, Q., Hao, B., Gutnikov, SI., Lazoryak, BI., Mäder, E., Ma, PC. 2020.** What happens to glass fiber under extreme chemical conditions?. Journal of Non-Crystalline Solids, 548:120331. Doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2020.120331
- Yousef, S., Kalpokaitė-Dičkuvienė, R. 2024.** Sustainable mortar reinforced with recycled glass fiber derived from pyrolysis of wind turbine blade waste. Journal of Materials Research and Technology, 31:879-887.