



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN:1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Farklı türlerde polyester ve çekme katkısı içeren cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerde çevresel koşulların aşınma davranışlarına olan etkilerinin incelenmesi

Investigation of the effects of environmental conditions on wear behaviors in glass fiber reinforced polyester composite materials containing different types of polyester and low profile additive

Yazar(lar) (Author(s)): Mihriban KORKU¹, Erol FEYZULLAHOĞLU², Recep İLHAN³

ORCID¹: 0000-0001-5783-5293

ORCID²: 0000-0003-0739-9643

ORCID³: 0000-0002-5488-533X

To cite to this article: Korku M., Feyzullahoğlu E. ve İlhan R., “Farklı türlerde polyester ve çekme katkısı içeren cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerde çevresel koşulların aşınma davranışlarına olan etkilerinin incelenmesi”, *Journal of Polytechnic*, 27(1): 197-209, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Korku M., Feyzullahoğlu E. ve İlhan R., “Farklı türlerde polyester ve çekme katkısı içeren cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerde çevresel koşulların aşınma davranışlarına olan etkilerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 27(1): 197-209, (2024).

Erişim linki(To link to this article):<http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1105329

Farklı Türlerde Polyester ve Çekme Katkısı İçeren Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerde Çevresel Koşulların Aşınma Davranışlarına Olan Etkilerinin İncelenmesi

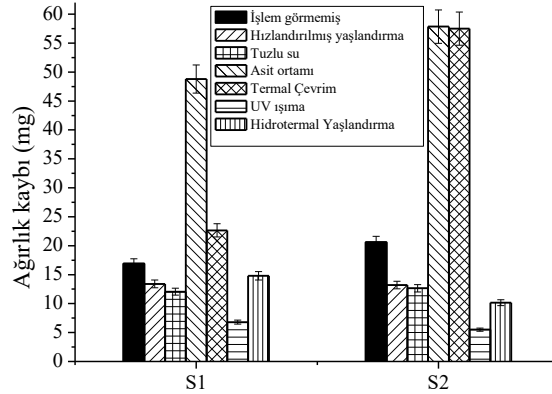
Investigation of the Effects of Environmental Conditions on Wear Behaviors in Glass Fiber Reinforced Polyester Composite Materials Containing Different Types of Polyester and Low Profile Additive

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ CTP kompozit malzemelerde aşınma (Wear in GFRP composite materials)
- ❖ Çevresel koşulların CTP kompozit malzemeleri etkilemesi (Effect of environmental conditions on GFRP composite materials)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, iki farklı tipte polyester (ortoftalik ve izoftalik) ve iki farklı tipte çekme katkısı (polistiren ve plastifiyen) içeren CTP kompozit malzemelerin farklı çevresel koşullar altındaki aşınma davranışları incelenmiştir. (In this study, the wear behaviors of GFRP composite materials containing two different types of polyester (orthophthalic and isophthalic) and two different types of low profile additive (polystyrene and plasticizer) were investigated under different environmental conditions).



Şekil. CTP numunelerin aşınma sonrası ağırlık kayıpları / **Figure.** Weight losses of GFRP samples after wear

Amaç (Aim)

CTP kompozit malzemelerde farklı tipte reçine ve çekme katkıları kullanılarak çevresel koşullara karşı aşınma dayanımı yüksek malzemenin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. (It is aimed to develop materials with high wear resistance against environmental conditions by using different types of resin and low profile additives in GFRP composite materials).

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Farklı içerikte malzeme üretimi ve aşınma deneyleri yapılmıştır. (Different content of material production and wear tests were carried out).

Özgünlük (Originality)

Farklı türlerde polyester ve çekme katkıları içeren CTP kompozitlerde, çevresel koşulların kompozit malzemelerin aşınma dayanımları üzerindeki etkilerinin incelenmesi. (Investigation of the effects of environmental conditions on the wear resistance of GFRP composite materials containing different types of polyester and tensile additives)

Bulgular (Findings)

CTP numunelerin aşınma dayanımları belirlenmiştir. (Wear resistance of GFRP samples was determined).

Sonuç (Conclusion)

CTP kompozit malzemeler içerisinde ortoftalik polyester reçine ve polistiren çekme katkısının kullanılması aşınma dayanımını iyileştirmektedir. (The use of orthophthalic polyester resin and polystyrene low profile additive in GFRP composite materials improves the wear resistance).

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Farklı Türlerde Polyester ve Çekme Katkısı İçeren Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerde Çevresel Koşulların Aşınma Davranışlarına Olan Etkilerinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mihriban KORKU¹, Erol FEYZULLAHOĞLU^{2*}, Recep İLHAN^{3,4}

¹Nicomatic A.Ş., Ankara/Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kocaeli/Türkiye

³Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bursa/Türkiye

⁴Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa/Türkiye

(Geliş / Received : 18.04.2022 ; Kabul/Accepted : 11.05.2022 ; Erken Görünüm / Early View : 28.06.2022)

ÖZ

Kompozit malzemeler, gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde birçok alanda başarıyla kullanılmaktadırlar. Elyaf takviyeli polimer kompozitler, yüksek dayanım ve düşük maliyet özelliklerinden dolayı en sık tercih edilen kompozit malzemelerdir. Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kompozitler kullanım alanlarına göre istenilen mekanik ve tribolojik özellikleri karşılayan polimer matrisli ve cam elyaf takviye malzemeli bir kompozit türüdür. Cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemeler farklı türlerde polyester ve çekme katkıları içerebilmektedir. Çevresel koşullar cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerin aşınma dayanımı üzerinde etkili olmaktadır. Bu çalışmada, iki farklı türde polyester (ortoftalik ve izoftalik) ve çekme katkısı (polistiren ve plastifiyen) içeren cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerin farklı çevresel koşullar (UV ışınım, asit ortamı, tuzlu su ortamı, hızlandırılmış yaşlandırma, hidrotermal yaşlandırma ve termal çevrim) altındaki aşınma davranışları incelenmiş ve farklı türlerde polyester ve çekme katkısı içeren numunelerde çevresel koşulların malzemelerin aşınma davranışları üzerine olan etkileri araştırılmıştır. CTP kompozit numunelerin aşınma dayanımına çevresel koşulların etkileri dikkate alındığında her iki numunede de UV ışınım ortamına ve hidrotermal yaşlandırmaya maruz kalan numunelerin aşınma dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. CTP kompozit malzemelerin içerisinde polistiren çekme katkısının kullanılması malzemenin aşınma dayanımını iyileştirmektedir. Ortoftalik polyester reçine içeren CTP kompozit numunelerin, izoftalik reçine içeren numunelere kıyasla aşınma dayanımları daha iyidir.

Anahtar Kelimeler: Cam elyaf takviyeli polyester, adheziv aşınma, çevresel koşullar, yaşlandırma.

Investigation of the Effects of Environmental Conditions on Wear Behaviors in Glass Fiber Reinforced Polyester Composite Materials Containing Different Types of Polyester and Low Profile Additive

ABSTRACT

Composite materials are used successfully in many fields today with the developing technology. Fiber reinforced polymer composites are the most preferred composite materials due to their low cost properties and high strength. Glass fiber reinforced polyester (GFRP) composites are a type of composite with polymer matrix and glass fiber reinforcement material that meet the desired mechanical and tribological properties according to their usage areas. GFRP composite materials can contain different types of polyester and shrinkage additives. Environmental conditions affect the wear resistance of glass fiber reinforced polyester composites. In this study, different environmental conditions (UV irradiation, acid environment, salt water environment, accelerated aging, hydrothermal aging and thermal cycling) of glass fiber reinforced polyester composite materials containing two varied types of polyester (orthophthalic and isophthalic) and low profile additive (polystyrene and plasticizer) were investigated and the effects of environmental conditions on the wear behavior of the materials were investigated in samples containing different types of polyester and low profile additives. Considering the effects of environmental conditions on the wear resistance of the GFRP composite samples, it was observed that the wear resistance of the samples exposed to UV irradiation and hydrothermal aging increased in both samples. The use of polystyrene low profile additive in GFRP composite materials increases the wear resistance of the material. GFRP composite samples containing orthophthalic polyester resin have better wear resistance than samples containing isophthalic resin.

Keywords: Glass fiber reinforced polyester, adhesive wear, environmental factors, aging.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstride alışılagelmiş malzemelerin yanı sıra, daha ekonomik ve daha iyi malzeme özelliklerine sahip

kompozit malzemelerin kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Kompozit malzemeler, gelişen teknoloji ile birlikte geçmişten günümüze uzay teknolojisi ve havacılık, elektrik-elektronik, yapı-inşaat, otomotiv, savunma sanayi ve sağlık sektörü gibi birçok alanda

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : efeyz@kocaeli.edu.tr

başarıyla kullanılmaktadırlar. Kompozit malzemeler, genel olarak farklı özellikteki iki veya daha fazla mikro ve makro bileşenlerin kimyasal bağ kurmaksızın belirli yöntemlerle birleştirilmesi sonucunda farklı karakteristik özelliklerin elde edildiği malzemelerdir [1]. Kompozit malzemeler içeriğini oluşturan takviye ve matris elemanları sayesinde, mevcut malzemeden daha farklı mekanik, tribolojik ve kimyasal özelliklere sahiptirler [2]. Kompozit malzemeler, yüksek mekanik ve çok iyi darbe dayanımı özellikleri, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, korozyona karşı direnç, iyileştirilmiş basınç-gerilme dayanımı ve daha iyi yorulma direnci gibi özellikleri nedeniyle birçok mühendislik alanında farklı uygulamalara sahiptirler [3]. Çeşitli katkı malzemeleri ile iyileştirilen kompozit malzemeler, geleneksel polimerlere, metal ve alaşımlara alternatif olarak birçok alanda kullanılmaktadır.

Mevcut malzemelerin olumsuz yanlarını iyileştirmek adına ortaya çıkan kompozit malzemeler ile polimer malzemelerin kullanım alanı da önemli derecede artmıştır [4]. Polimer matrisli kompozitler, dağıntı fazdaki lif takviyesi ve polimer matrisinden oluşan malzemelerdir. Bu malzemeler çoğunlukla petrokimya esaslı ürünler olup günümüzde yaygın kullanılmaktadırlar. Polimerler, kolay şekil alabilmeleri, düşük üretim maliyetleri ve uzun süreli kullanıma uygunlukları açısından sık kullanılan matris malzemesi olup birim kütle başına yük kapasiteleri de oldukça yüksektir [1].

Kompozitin sürekli fazı olan matris malzemesi, kompozitin hacimsel oranının büyük kısmını oluşturduğu ve takviye liflerin bir arada durmasını sağladığı için ana bileşen olarak tanımlanmaktadır. Matris fazı olarak kullanılan polimerler, termoset ve termoplastik esaslı olarak ikiye ayrılırlar. Lif şeklinde adlandırdığımız kuvvetli takviye malzemeleri ise kompozit malzemedeki ikinci fazı oluşturmaktadır. Günümüzde elyaf takviyeli polimer kompozitler, yüksek dayanım ve düşük maliyet özelliklerinden dolayı en sık tercih edilen kompozit çeşitlerinden [5]. Bu kompozit tipi yumuşak matris içerisine, sert ve dayanıklı elyafların farklı şekillerde yer almasıyla meydana getirilmiştir. Genellikle matris hacminin %30-%70 kadarını kaplayan elyaflar matris içinde kırılmış, doğranmış, öğütülmüş veya dokunmuş şekilde bulunabilmektedir [6]. Aynı zamanda takviye olarak da kullanılan elyafların dayanımı, kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. İstenen mekanik özelliklerinin yanı sıra, korozyona karşı dirençleri elyaf takviyeli kompozitleri farklı alanlarda kullanmak için cazip kılmaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerde doğal ve sentetik olmak üzere birçok elyaf çeşidi kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak kullanılan cam, karbon aramid ve doğal elyaflar arasında en yaygın kullanılanı ve düşük maliyetli olanı cam elyafıdır. Kolay erişilebilirliği ve ekonomik olması nedeniyle cam elyaf, takviye edildiği kompozit

malzemelere yüksek mukavemet ve yük altında şekil değiştirmede azalma gibi özellikler kazandırmaktadır [7]. Havacılık ve savunma sanayi, otomotiv endüstrisi, elektronik ekipman ve korozyon direnci gerektiren denizcilik sektöründe kullanımı oldukça yaygın olan cam elyaf takviyeli kompozitler ayrıca aşınmaya maruz kalan makine parçaları ve hareketli ekipmanlarda da kullanılmaktadır.

Reçine, kompozitlerde önem taşıyan bir başka bileşendir. Reçineler iç yapılarına göre, termoplastik ve termoset reçineler olmak üzere ikiye ayrılır. Termoset reçineler, doğru malzemeler ile takviye edildiğinde teknolojinin geliştirdiği en dayanıklı malzemeler arasına girebilmektedir. Kompozit endüstrisinde kullanılan en yaygın reçineler, termoset reçinelerdir. Polyester, epoksi, fenolik ve vinilester reçineler bu gruba giren termoset reçinelerdendir. Polyester reçineler, denizcilik endüstrisi başta olmak üzere birçok alanda yaygın kullanılan reçine türüdür. Polyesterler çok iyi korozyon direncine sahip olmasının yanında maliyetleri de oldukça düşüktür. Diğer yandan çalışma sıcaklıkları ise epoksilerden daha düşüktür. Polyester reçineler, saf hallerinde yüksek korozif dayanıma ve suya karşı dirence sahiptirler. Polyester reçineler, kompozit endüstrisinin önemli bir elemanıdır ve kullanılan bütün reçinelerin %75'i gibi büyük bir oranını oluşturmaktadırlar [8].

Dolgu malzemeleri, kompozit malzemenin rijitliğini artırmak, performansını güçlendirmek, sertlik derecesini artırmak ve aynı zamanda maliyeti düşürmek adına kompozite eklenen katı haldeki malzemelerdir [9]. Dolgu malzemeleri sadece ürün maliyetini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda takviye ve reçine eklentileriyle elde edilmesi mümkün olmayan bazı performans artışlarını da sağlayabilmektedirler. Kalsiyum karbonat, alüminyum oksit (alümina), kil, silika, talk ve cam kürecik gibi maddeler yaygın kullanımı bulunan dolgu malzemeleridir [10].

Günümüzde elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin üretilmesi ve kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Burada üretilen kompozit malzemelerin çoğunluğunu ise cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemeler oluşturmaktadır. Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kompozitler kullanım alanlarına göre istenilen mekanik ve tribolojik özellikleri karşılayan polimer matrisli ve cam elyaf takviye malzemesi bir kompozit türüdür. CTP kompozitler, iyi elastiklik, tasarım ve kalıplama esnekliği, çok iyi dielektriksel özelliği ve hafiflik gibi temel özelliklere sahiptir [11]. Günümüzde CTP kompozitler, uygun kimyasal oran birleşimiyle birçok metalin kullanım alanlarında tercih edilmektedir. CTP kompozitler, dış etkenlere karşı dayanımı yüksek malzemelerdir. CTP malzemelerin uygulama alanları dönemsel olarak farklı sektörlerde önem kazanmıştır. İnşaat alanında CTP kirişler kullanılarak, inşaat yapıları güçlendirilebilmektedir. Ayrıca otoyol köprüleri ve otomobil panelleri gibi birçok uygulama örnekleri de bulunmaktadır. Düşük maliyete sahip CTP malzemelerin bu özelliği, tercih sebeplerinden biridir. Çok iyi çevresel dirence sahip olmaları nedeniyle,

denizcilik, havacılık, inşaat sektöründe yerlerini almışlardır. CTP kompozitlere şekil verme ve delme işlemleri uygulanabilir ve kompozitler çeşitli ihtiyaçlara uygun olacak şekilde tasarlanabilirler (esnek, hafif, sert vb.) [11].

Aşınma, farklı etkenlere bağlı olarak birçok şekilde ortaya çıkabilmektedir. Malzemeler her ne kadar çok iyi tasarıma sahip olsalar bile, çalışma şartlarından veya ortam koşullarından kaynaklı olarak aşınmaya maruz kalmaktadırlar. Malzemelerin çalışma ömrünü azaltan ve fonksiyonlarını etkileyen aşınma, istenmeyen bozulmalara neden olan ve temas sonucu yüzey üzerinden parça ayrılması sonucu oluşmaktadır [12]. Aşınmanın azaltılması veya önlenmesi uzun süreli çalışmalarda önemli ölçüde tasarruf sağlar [13]. Aşınmayı önleyici yöntemler ile sistemlerde elde edilen enerji tasarrufu, ürün maliyetinin %2'sini oluşturan aşınma maliyetini azaltmaktadır [14]. Aşınmanın en yaygın türü olan adheziv aşınma, temas halindeki yüzeylerin arasında oluşan bağların kopmasıyla meydana gelen malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır [15]. Adheziv aşınma, normal kuvvet etkisi ile birbirine temas eden iki yüzey arasında meydana gelmektedir. Yağlı veya yağsız ortamda oluşan bu aşınma çeşidinde, kuvvet altında oluşan izafi hareketler sebebiyle iki cisim arasında diğer cisme kıyasla daha yumuşak olan malzemeye sahip cisimde boşluklar, diğer yüzeyde ise çıkıntılar meydana gelmektedir. Çoğunlukla yapışma aşınması olarak da adlandırılan adheziv aşınma, cisimler arasında oluşan bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan gerçekleşir ve yüzeyler arası malzeme transferi gerçekleşir [12].

Polimer kompozitler genel olarak, elastik olmaları, düşük sürtünme ve iyi aşınma dayanımı gibi özellikleri nedeniyle tribolojik uygulamalarda çok fazla kullanılmaktadır. Polimerlerin aşınmasıyla ilgili çalışmalar hem bilimsel hem de teknolojik açıdan önem arz etmektedir. CTP kompozit malzemeler farklı türlerde polyester ve çekme katkıları içerebilmektedir. Çevresel koşulların CTP kompozitlerin aşınma dayanımı üzerinde etkileri bulunmaktadır. Literatürde farklı türlerde polyester ve çekme katkıları içeren CTP kompozitlerde, çevresel koşulların kompozit malzemelerin aşınma dayanımları üzerindeki etkilerini inceleyen çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Feyzullahoğlu çalışmasında, CTP kompozit malzemenin farklı reçine ve çekme katkıları ile oluşturulan konfigürasyonlarının abrazyiv aşınma davranışlarını incelemiştir. Çalışmada, içerik olarak ortoftalik polyester ve izoftalik polyester reçineli numuneler kıyaslanmış ve sonuçlarda ortoftalik polyester reçineli CTP kompozit numunelerin izoftalik polyester reçinelilere nazaran aşınma dayanımlarının daha yüksek olduğu belirtilmiştir [16]. İlhan ve Feyzullahoğlu çalışmalarında, farklı hız ve yük uygulamalarında, farklı dolgu ve reçinelerin CTP malzemelerin aşınma davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Farklı hız ve yükler altında yapılan adheziv aşınma deneyleri sonucunda, ortoftalik polyester reçineli CTP kompozit malzemeye cam kürecik ilavesinin aşınma oranını düşürdüğü ortaya

konulmuştur [17]. Chakraverty ve diğ. çalışmalarında, cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin deniz suyuna daldırılıp sonrasında oluşan kimyasal ve fiziksel bağların detaylarını, mekanik özelliklerin varyasyonlarını ve ortaya çıkan hasar mekanizmalarını incelemişlerdir. Bu çalışmada numunelerin iki aylık periyotlarda toplam bir yıl deniz suyuna batırıldığı deneysel çalışmada laminar kayma gerilimi, kopma gerilimi ve elastiklik modülü gibi mekaniksel özelliklerin daldırma süresinin artmasıyla bozulma eğiliminde oldukları gözlemlenmiştir. Numunelerde tuzlu suyun etkisiyle matris çatlaması ve çizilmesi, lif kırılması gibi yüzey problemlerinin ortaya çıktığı belirlenmiştir [18]. Shaofeng ve diğ. çalışmalarında, cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozitlerin deniz suyu altında yağlayıcılık performansını ele almışlardır. Testler deniz suyu ortamında, cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler ile saf numunelerin farklı hızlarda disk altında aşınmaya maruz bırakılması ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarda, tüm dönme hızlarında cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozitlerin yağlayıcılık performansının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [19]. Bir başka çalışmada ise Han ve arkadaşları, deniz ortamı altında epoksi malzemenin aşınma ve kırılma performansını artırmaya yönelik deneyler yapmışlardır. Saf epoksi ve katkı malzemesi ile geliştirilmiş epoksi kompozit numuneler deniz suyunda bekletilerek deneylere tabi tutulmuştur. Saf epoksiye kıyasla, katkı ile geliştirilmiş epoksinin korozyon direncini artıran katkı malzemesinin etkisiyle tuzlu suya daldırmanın artmasıyla birlikte sürtünme katsayısının düştüğü sonucuna varılmıştır [20]. Singh ve diğ. çalışmalarında, sulu çalışma ortamında elyaf takviyeli termoplastik kompozitin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Farklı yük ve kayma mesafelerinde gerçekleştirilen testlerin sonuçlarını gözlemek için SEM görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kayan ara yüzler arasına nüfuz eden suyun yağlama, sürtünme ve aşınma oranını azaltma etkisi gösterdiği belirtilmiştir [21]. Agrawal ve diğ. çalışmalarında, cam elyaf takviyeli epoksi reçinenin üç farklı ortamdaki aşınma davranışlarını incelemiştir. Kuru sürtünme, sıvı sürtünme ve inert gaz ortamında gerçekleştirilen aşınma deneylerinde, inert gaz içinde sürtünme katsayısı değerinin maksimum olduğu gözlemlenmiştir. Sıvı sürtünme ortamında ise temas yüzeyinde oluşan transfer film tabakası ile minimum sürtünme katsayısına ulaşıldığı belirtilmiştir [22]. Nuruddin çalışmasında, cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin farklı koşullarda, farklı reçine tiplerine göre abrazyiv aşınma dayanımlarını incelemiştir. Çalışmada polyester, vinil ester ve fenolik gibi farklı reçinelerin kullanıldığı CTP numuneler tuzlu su altında 60 °C sıcaklıkta 2 ay yaşlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda polyester reçinenin aşınma direnci açısından diğer reçinelere kıyasla en iyi performansı gösterdiği belirtilmiştir. Bu deney sonucunda, açık deniz platformunda çeliğe alternatif olarak CTP malzemenin kullanımının mümkün olduğu ifade edilmiştir [23].

Bu çalışmada, iki farklı tipte polyester (ortoftalik ve izoftalik) ve iki farklı tipte çekme katkısı (polistiren ve plastifiyen) içeren cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerin farklı çevresel koşullar (UV ışınım, asit ortamı, tuzlu su ortamı, hızlandırılmış yaşlandırma, hidrotermal yaşlandırma ve termal çevrim) altındaki aşınma davranışları incelenmiş ve farklı türlerde polyester ve çekme katkısı içeren numunelerde çevresel koşulların malzemelerin aşınma davranışları üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Malzeme (Material)

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli polyester kompozit numunelerin imalatı Sami Tongün Cam Elyafly Polyester Ürünleri tarafından yapılmıştır. CTP kompozit numuneler, hammadde karışımı hazırlandıktan sonra 140 °C sıcaklık ve 150 bar basınç altında sıcak pres kalıplama yöntemi ile 3 dakikalık süreçte üretilmiştir. CTP kompozit numunelerde takviye elemanı olarak cam elyaf (CE) kullanılmıştır. Kullanılan cam elyafların çapları 13 µm ve uzunlukları ise 12 mm 'dir. Deney numuneleri 20x20x4 mm plakalar halinde üretilmiş olup, aşınma deneyleri öncesi cihaza uygun olarak kesilmiştir. Numunelerde matris malzemesi olarak ortoftalik polyester ve izoftalik polyester kullanılmıştır. Ortoftalik polyester kolay erişilebilirliği ve fiyat performans oranının yüksek olması nedeniyle en çok kullanılan standart reçine çeşididir. İzofthalik polyester ise kimyasallara ve aşındırıcı çevrelere dayanımı diğer polyesterlere kıyasla daha iyi olan bir reçine çeşididir. İzofthalik polyester reçinesinin mekanik özellikleri ve sıcaklığa dayanımı ortoftalik polyester reçineden daha iyidir [16]. Polyester reçinelerde kalıntı gerilmeleri ve kalıp içinde hacimsel boşluklar oluşturarak parçanın yüzeyinin bozulmasını önlemek için termoplastik esaslı çekme katkıları kullanılır. Çekme katkıları polyesterdeki çekme oranını azaltır ve reçinenin özelliklerini geliştirir. Çekme katkıları CTP malzemelerin üretimi esnasında ilave edilerek parçanın hacminin ve boyutlarının değişmesine engel olmaktadır [24]. Bu çalışmada CTP numunelerin üretiminde polistiren ve plastifiyen olmak üzere iki farklı çekme katkısı kullanılmıştır. Elektrik yalıtkanlıklarının iyi olmasıyla bilinen polistiren,

boyutsal kararlılığı iyi olup düşük maliyetli ve kolay şekillendirilebilen bir malzemedir. Polistiren çözücü ve yağlardan kolay etkilenmektedir [25]. Plastifiyenler ise genel olarak kompozit malzemelerde fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla kullanılırlar. Aynı zamanda malzemenin işlenebilirlik özelliklerini arttırmada etkili olup yanmazlık özelliğini de artırırlar.

Bu çalışmada kullanılan CTP kompozit numunelerin kimyasal bileşimi Çizelge 1 'de verilmiştir.

Malzeme karakterizasyonunda kullanılan Çizelge 1 'deki bileşenlerle birlikte yapıdaki ana dolgu malzemesi kalsiyum karbonattır (CaCO₃). Doğada oldukça yaygın bulunan kalsiyum karbonat dolgu malzemesi olarak en çok kullanılan inorganik maddelerden birisidir. Kalsiyum karbonatın dolgu malzemesi olarak kullanılmasının temel nedenleri, düşük maliyete sahip olması, kompozit malzemeye iyi yüzey bitirme özelliği, yüksek darbe direnci, tokluk özelliği gibi farklı özellikler katmasıdır. Ayrıca malzemeye aşındırıcı bir etkisi de bulunmamaktadır [11]. Numunelerde katkı maddesi olarak kullanılan CaCO₃ 5-20µm arasında değişen tane büyüklüğüne sahiptir.

2.2. Numunelerin Maruz Bırakıldıkları Farklı Çevresel Koşullar (Different Environmental Conditions Exposed to Samples)

2.2.1. Tuzlu su ortamı (Salt water environment)

CTP numuneler, oda koşullarında tuzlu su (%5 tuzlu su çözeltisi) ortamında 12 ay bekletilmiştir. 12 ay bekleme süresinden sonra numuneler aşınma testine tabi tutulmuştur.

2.2.2. Asit ortamı (Acid environment)

Özellikle kimya endüstrisi gibi alanlarda kullanılan bazı parçaların aside maruz kaldıkları bilinmekte ve aşınma etkisi araştırılmaktadır. Bu amaçla CTP numunelerinin, asitli ortama maruz bırakıldıklarında aşınma dayanımlarında meydana gelen değişimleri gözlemlemek için 6 ay süre boyunca 0,3M HNO₃ (nitrik asit) ortamında bekledikten sonra aşınma testine tabi tutulmuştur.

2.2.3. Hızlandırılmış yaşlandırma (Accelerated aging)

Hızlandırılmış yaşlandırma, genellikle bir malzemenin ömrünü hızlandırılmış şekilde belirlemek için gerçekleştirilen yapay bir prosedürdür. Bu çalışmada CTP numuneleri hızlandırılmış yaşlandırma işlemine maruz bırakmak için numuneler klasik bir etüv fırınında 70 °C'de 96 saat boyunca bekletilmiştir. Yaşlandırma işlemi sonrasında ortamdaki uzaklaştırılan numuneler aşınma testine tabi tutulmuştur.

Çizelge 1. CTP kompozit numunelerin kimyasal bileşimleri (Chemical compositions of GFRP composite samples)

Numune	Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Dolgu Malzemesi
S1	%20 Ortoftalik polyester %8 Polistiren	%16 CE	%56 CaCO ₃
S2	%20 İzofthalik polyester %8 Plastifiyen	%28 CE	%44 CaCO ₃

2.2.4. Termal çevrim (Thermal cycling)

CTP kompozit malzemeler, diğer birçok malzeme gibi kullanım koşullarına göre sıcak veya soğuk ortamlara maruz kalabilmektedirler. Bu çalışmada numunelere, değişken sıcaklıktaki çalışma ortamında kullanılmaları durumunda aşınmaya olan etkisini incelemek adına termal çevrim uygulanmıştır. Numuneler 0 °C' deki suya daldırılıp hemen ardından 100 °C' deki suya daldırılmıştır. Bu işlem 100 çevrim tekrarlanıncaya kadar devam ettirilmiştir. Termal çevrim işlemi sonrasında numuneler aşınma testine tabi tutulmuştur.

2.2.5. Ultraviyole (UV) ışınma (UV irradiation)

UV ışınları, ışının şiddetine ve dalga boyuna bağlı olarak, kompozit malzemelerde polimer moleküllerini uyarma ve life hasar verme etkisi gösterebilmektedir. Bu etki malzemenin lif tipine, inceliğine ve kimyasal yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Literatürde çok fazla örneği bulunmayan UV ışınlarının aşınma üzerindeki etkisini incelemek için CTP numuneler 300 saat boyunca UV ışık kabini içerisinde bekletilerek UV ışını etkisine maruz bırakılmıştır. Ultraviyole ışına maruz kalan numuneler sonrasında aşınma testine tabi tutulmuştur.

2.2.6. Hidrotermal yaşlandırma (Hydrothermal aging)

CTP numuneler etüv fırınında sıvı ortamda, su dolu hazne içerisinde hidrotermal yaşlandırmaya maruz bırakılmıştır. Numuneler 70 °C sıcaklıktaki suyun içerisinde, 8 hafta süre ile bekletilmiştir. Hidrotermal yaşlandırmaya maruz kalan numuneler aşınma testine tabi tutulmuştur. Literatürde CTP malzemelerin hidrotermal yaşlandırmaya maruz kaldıkları aşınma çalışmalarına rastlanmamaktadır. Bu çalışma ile çalışma koşulu olarak su ile temasta olan ve yüksek sıcaklığa maruz kalan CTP numunelerin aşınma dayanımları araştırılmıştır.

2.3. Yoğunluk Ölçümü (Density Measurement)

Bu deneysel çalışmada kullanılan numunelerin yoğunluk ölçümleri, arşimet prensibine göre AND GR-200 analitik hassas terazi cihazı ile yapılmıştır.

2.4. Aşınma Testi (Wear Testing)

İşlem görmemiş ve farklı çevresel koşullara maruz bırakılmış CTP kompozit numunelerin kuru sürtünme koşullarındaki adhesiv aşınma deneyleri ASTM G77 standardına göre 500 d/d hızda ve 60 N normal yük altında 2 saatlik sürelerde yapılmıştır. Aşınma testi öncesi her bir numunenin Precisa 125A hassas terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. Çevresel koşullar etkisinde kalan numunelerin aşınma testlerine tabi tutulduktan sonra yeniden ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları kullanılarak aşınma deneyi sonrası numunelerin ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Aşınma testleri, Phoneix Tribology Ltd. tarafından üretilen TE 53 Slim model aşınma test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz ASTM G77 standardına uygun olarak üretilmiş olup hız kapasitesi 50-850d/d ve yükleme aralığı ise 50-750N'dur.

2.5. Aşınma Yüzeylerinin Mikroskopik İncelenmesi (Microscopic Examination of Wear Surfaces)

Aşınma deneyleri sonrasında numunelerin yüzeyleri, Duravision 20 G5 model çok yönlü cihaz ile incelenmiştir. Cihazın ayırt edici özelliklerinden birisi olan 2-kademe zoom teknolojisine sahip olmasıdır. Burada lensin büyütme miktarı, standart görüntü kalitesini kaybetmeden iki katına çıkarılabilmektedir. Böylelikle, tek bir cihaz kullanılarak çok daha geniş değer aralığı sağlanabilmektedir. Mikroskop 14 kademeli büyütme özelliğine sahip olup, deneysel çalışmalardaki numunelerin görselleri 150x büyütme ile görüntülenmiştir. Numunelerin aşınma yüzey görsellerinin fotoğrafları 40-200µm yakınlıktan alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

3.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları (Density Measurement Results)

Kompozit malzemeler, özellikle savunma sanayi, balistik, havacılık, zırh, uçak gövdesi gibi ağırlığın çok kritik seviyede olduğu alanlarda kullanımı yaygın bir malzemedir. Hafifliğin sağlanması ise malzemenin içeriği, katkısı ve bu doğrultuda oluşan yoğunluğu ile doğrudan alakalıdır. Bunun yanı sıra maliyet açısından malzemeyi uygun fiyatlı tutmak da yoğunluğa bağlı olabilmektedir. Bu amaçla kompozit malzemelerin yoğunluklarının, çeşitli takviye elemanları ve dolgu malzemeleri ile düşürülmesi hedeflenir. Çizelge 2'de bu çalışmada kullanılan numunelerin yoğunlukları verilmiştir.

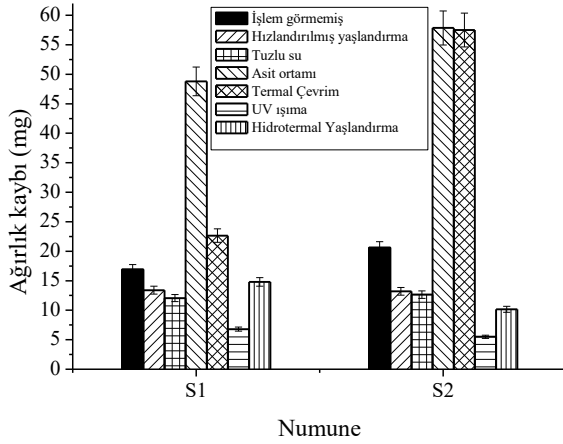
Çizelge 2. CTP kompozit numunelerin yoğunluk değerleri (Density values of GFRP composite samples)

Numune	Yoğunluk (g/cm ³)
S1	1,84
S2	1,68

Çizelge 2'deki veriler incelendiğinde, en düşük yoğunluk değeri S2 numunesinde gözlemlenmektedir. S2 numunesindeki yoğunluğun düşüşünün yüksek cam elyaf takviyesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Numunelerdeki çekme katkısının yoğunluğa etkisi üzerine kıyaslama yapıldığında, plastifiyen çekme katkılı S2 numunesinin yoğunluğunun polistiren çekme katkılı S1 numunesinden daha düşük olduğu görülmektedir.

3.2. Aşınma Testi Sonuçları (Wear Testing Results)

Aşınma testi öncesi ağırlıkları ölçülen numunelerin, aşınma testi sonrası ağırlıkları yeniden ölçülmüş ve aşınma miktarı ağırlık kaybı olarak kaydedilmiştir. CTP numunelerin aşınma miktarları ortalama değer olarak sapmaları ile birlikte Şekil 1'de verilmiştir.



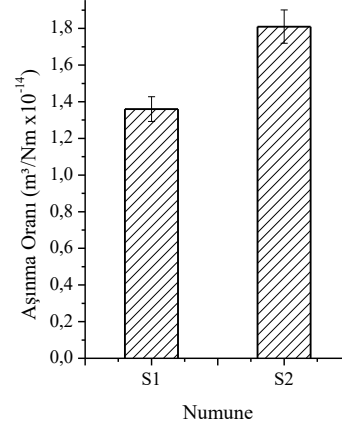
Şekil 1. CTP numunelerin aşınma sonrası ağırlık kayıpları (Weight losses of GFRP samples after wear)

Şekil 1 incelendiğinde, işlem görmemiş numunelere yapılan aşınma sonucunda en az ağırlık kaybı S1 numunesinde gerçekleşmiştir. S1 numunesinin yapısındaki polistiren çekme katkısı, ağırlık kaybının az olmasında etkili olmuş olabilir. Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış numunelerde ise ağırlık kaybı en çok S1 numunesinde görülmüştür. Genel olarak bakıldığında hızlandırılmış yaşlandırma ortamı bütün numunelerde aşınma miktarını, ağırlık bazında düşürmüştür. Tuzlu su ortamı da hızlandırılmış yaşlandırma etkisinde olduğu gibi tüm numunelerde ağırlık kaybında iyileştirme etkisi göstermiştir. Asit ortamında tüm CTP numunelerin aşınma miktarları artmıştır. Termal çevrime maruz kalmış bütün numunelerin aşınma miktarı, ağırlık bazında artmıştır. Termal çevrime girmiş numunelerden S1 numunesinin ağırlık kaybı S2 numunesine göre daha azdır. Bunun sebebi olarak S1 numunesinin yapısındaki polistiren çekme katkısı gösterilebilir. UV ortamındaki numunelere bakıldığında ağırlık kayıplarının azaldığını ve S2 numunesinin UV ortamından daha az etkilendiği görülmektedir. Diğer numuneden farklı olarak yapısında izofталik polyester reçine kullanılan S2 numunesinin UV ortamından daha az etkilenmesi bu duruma bağlanabilir. Hidrotermal yaşlandırmaya maruz kalan numunelerden S1 numunesi ağırlık kaybının en çok görüldüğü numunedir. Genel olarak ağırlık kayıpları değerlendirildiğinde en yüksek ağırlık kaybı asit ortamına maruz bırakılmış S2 numunesinde gözlemlenmiştir. İşlem görmemiş kontrol numunelerine kıyasla farklı çevresel koşulların etkisi dikkate alındığında S1 ve S2 numunelerinin her ikisinde de ağırlık kaybını en az etkileyen çevresel koşulun UV ışına olduğu görülmektedir. Bu durum sonraki bölümde incelenecek olan numunelerin aşınma dayanımları üzerinde etkili olup aşınma oranlarını düşürecektir.

Aşınma testleri sonrasında, hassas terazi kullanılarak ağırlık kayıpları ölçülen numunelerin aşınma oranları Denklem 1'den hesaplanmıştır:

$$W = \frac{\Delta M}{\rho \cdot L \cdot F_N} \quad (1)$$

Denklem 1'de yer alan W , ΔM , ρ , L ve F_N ifadeleri sırasıyla aşınma oranını (m^3/Nm), ağırlık kaybını (gr), yoğunluğu (gr/m^3), kayma mesafesini (m) ve normal yükü (N) ifade etmektedir. Çalışmada $F_N=60$ N ve $L=11200$ m alınmıştır.

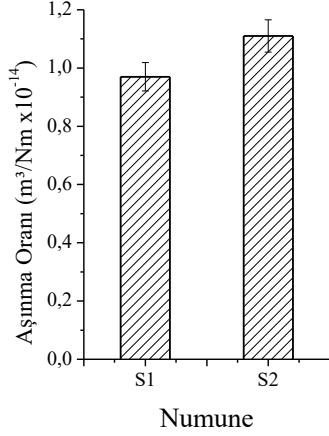


Şekil 2. İşlem görmemiş CTP numunelerin aşınma oranları (Wear rates of non-treated GFRP samples)

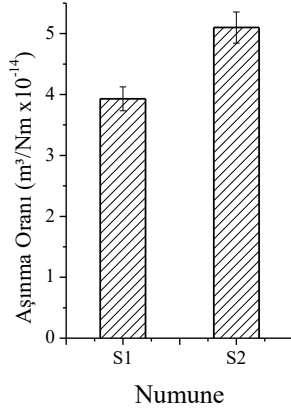
İşlem görmemiş ve farklı çevresel koşullara maruz bırakılmış her bir numunenin aşınma oranları hesaplanarak veriler grafikler halinde sunulmuştur. İşlem görmemiş numunelerin sabit yük ve hız altında ölçülen değerler sonucunda hesaplanan aşınma oranları sapmaları ile birlikte Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde 500 rpm sabit hız ve 60N yük altındaki işlem görmemiş numuneler arasında en az aşınmaya uğrayan numunenin S1 olduğu görülmektedir. Cam elyaf takviyesinin doğru oranda kullanılması aşınma direncini etkilemiştir ve en iyi aşınma oranı %20 ortoftalik polyester reçine ve %8 polistiren çekme katkısı içeren matris malzemesi ile %16 cam elyaf takviyeli S1 numunesine ait olduğu görülmektedir. Literatürdeki diğer çalışmalarda da ifade edildiği üzere polistiren çekme katkısının CTP malzemenin aşınma dayanımını iyileştirdiği bu çalışmada da görülmüştür [16]. Yine literatürdeki benzer çalışmalarda, bu çalışmada da belirlendiği gibi ortoftalik polyester reçine içeren numunelerin izofталik polyester reçine içeren numunelere nazaran aşınma dayanımlarının daha iyi olduğu ifade edilmektedir [16].

12 ay süre boyunca tuzlu su ortamında bekletilmiş CTP numuneler kurutulduktan sonra aşınma testi uygulanarak aşınma oranları belirlenmiştir. Tuzlu su ortamında bekletilen numunelerin aşınma oranları sapmaları ile birlikte Şekil 3'te görülmektedir. İşlem görmemiş numunelerin aşınma oranları dikkate alındığında tuzlu suyun numuneler üzerinde aşınma direncini artırıcı etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde aşınma direnci en yüksek olan numunenin S1, en düşük olan numunenin ise S2 olduğu görülmektedir. Literatürde tuzlu su ortamının CTP malzemelerin aşınma davranışları üzerindeki etkisi ile

ilgili çalışmalarda katkılı kompozit malzemelerin, katkısız malzemelere oranla tuzlu su ortamında uzun süreli beklemeye karşın aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğu yapılan bazı araştırmalarda görülmüştür [20].



Şekil 3. Tuzlu su ortamında bekletilmiş CTP numunelerin aşınma oranları (Wear rates of GFRP samples exposed to salt water)

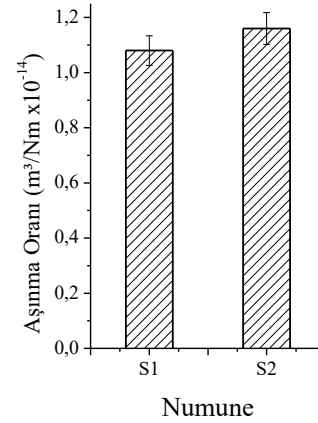


Şekil 4. Asit ortamına maruz kalmış CTP numunelerin aşınma oranları (Wear rates of GFRP samples exposed to acid)

0,3M HNO₃ (nitrik asit) ortamında 6 ay bekletilen CTP numunelerin aşınma oranları sapmaları ile birlikte Şekil 4'te görülmektedir. Asit ortamında bekleyen numunelerde, aşınma deneyi öncesinde de gözle görülür bir şekilde tahribat gözlemlenmiştir. Kaydedilen aşınma oranlarına bakıldığında ise asit çözeltisinin numunelerin aşınma direnci üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Her iki numunenin aşınma oranlarında büyük miktarlarda artış meydana gelmiştir. Asit ortamında aşınma dayanımı en iyi olan numune S1 numunesidir. Cam elyaf takviye oranının asit ortamındaki aşınma direncine etkisi, değerlere bakıldığında net bir şekilde analiz edilememektedir. Aşınma ortamının kompozit numuneler üzerinde olumsuz aşınma davranışı ve yüzey bozulumu etkisi, benzer çalışmalarda da tespit edilmiştir [26, 27].

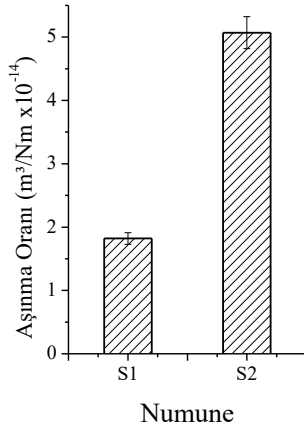
70 °C 'de 96 saat boyunca hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan numunelerin aşınma oranları sapmaları ile birlikte Şekil 5 'de görülmektedir. Numunelerin

aşınma oranlarına bakıldığında ve işlem görmemiş numunelerin aşınma oranlarıyla kıyaslandığında, her bir numunede, hızlandırılmış yaşlandırma işleminin, numunelerin aşınma dirençlerini arttırdığı görülmektedir. S2 ve S1 numuneleri kıyaslandığında izoftalik polyester matrisine sahip S2 numunesinin aşınma direncinin, ortoftalik polyester matrisine sahip S1 numunesinin aşınma direncinden daha düşük olduğu görülmektedir. Uzun süreli sıcaklığın izoftalik polyesteri ortoftalik polyesterden daha fazla etkilediği söylenebilir. Literatürde hızlandırılmış yaşlandırmanın aşınma direncine etkisi ile ilgili benzer çalışmalara rastlanmamıştır. Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalmış CTP malzemelerdeki katkı maddelerinin, eğilme, süneklik ve mukavemet gibi mekanik özellikler üzerinde olumsuz yönde etkisinin olduğu çalışmalarla gösterilmiştir [28, 29].



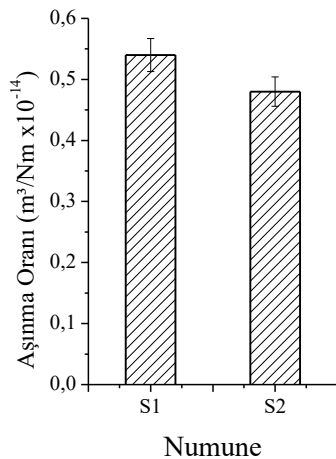
Şekil 5. Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanan CTP numunelerin aşınma oranları (Wear rates of GFRP samples exposed to accelerated aging)

0 °C'deki suya ve hemen ardından 100 °C'deki suya daldırılıp, 100 çevrim gören numunelerin, test sonrasında aşınma oranları kıyaslanmış ve sonuçlar sapmaları ile birlikte Şekil 6'da verilmiştir. Termal çevrim sonrası değerlere baktığımızda aşınma dayanımı en iyi olan numune S1 olarak görülmektedir. Aşınma oranı değerleri işlem görmemiş malzeme değerleriyle kıyaslandığında termal çevrim işleminin aşınma oranlarında artışa neden olduğu ve malzemelerin genel olarak aşınma dirençlerinde düşüş yaşandığı gözlemlenmektedir. Termal çevrimden en çok etkilenen numune ise, işlem görmemiş ilk aşınma oranıyla kıyaslandığında S2 numunesidir. Numuneler arasındaki en yüksek elyaf katkı malzemesine sahip olmasına rağmen S2 numunesinin en çok etkilenen numune olması diğerlerinden farklı olarak kullanılan izoftalik polyestere bağlı olmaktadır. Literatürde cam elyaf takviyeli kompozitlerin çok yüksek ve çok düşük ısıdaki farklı koşullar altında aşınma direnci ile ilgili araştırma bulunmamaktadır. Fakat kompozit malzemelerin kaynar su ve daha düşük suya maruz bırakıldıklarında mekanik özelliklerinde düşüş yaşadığı geçmişte yapılan bazı çalışmalarda görülmüştür [30].



Şekil 6. Termal çevrime maruz kalmış CTP numunelerin aşınma oranları (Wear rates of GFRP samples exposed to thermal cycling)

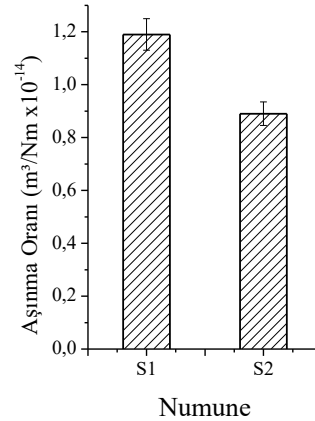
Literatürde kompozit malzemenin aşınma özelliği üzerinde UV ışınlarının etkisi üzerine kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Fakat yine literatürde bilinmektedir ki, UV ışınlarının kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine, maruz kalma süresine ve maruz bırakılan sıcaklığa bağlı olarak olumsuz yönde etkisi mevcuttur. Bu deneysel çalışmada CTP numuneler 300 saat boyunca UV ışını etkisine maruz bırakılmıştır. Devamında uygulanan aşınma deneyi sonuçlarında Şekil 7’de numunelere ait aşınma oranları sapmaları ile birlikte görülmektedir. Aşınma dayanımı daha yüksek olan S2 numunesi dikkate alındığında, plastifiyen katkı malzemesinin polistiren katkı malzemesine göre UV ışınına karşı daha dirençli olduğu söylenebilir. Cam elyaf katkısı yüksek olan S2 numunesinin en düşük aşınma oranına sahip olması, cam elyaf takviyesinin UV ışınının olumsuz etkisine karşı aşınma direncini arttırdığı söylenebilir.



Şekil 7. UV ışınına maruz bırakılan CTP numunelerin aşınma oranları (Wear rates of GFRP samples exposed to UV irradiation)

Otomotiv, havacılık, denizcilik uygulamaları gibi alanlarda aktif olarak kullanılan kompozitlerin, bu

ortamlarda maruz kaldıkları sıcaklık ve nem parametrelerine karşı ömrünün ve dayanıklılığının geliştirilmesi için hidrotermal yaşlandırma deneylerine başvurulmaktadır. Bu deneysel çalışmada numuneler 70 °C sıcaklıktaki suyun içerisinde, 8 hafta süre ile bekletilmiştir. Deney sonrası aşınma testi yapılan numunelere ait aşınma oranları sapmaları ile birlikte Şekil 8’de gösterilmiştir. İşlem görmemiş numunelerde aşınma dayanımı en yüksek numune S1 numunesi iken, hidrotermal yaşlandırma sonrası aşınma dayanımı en yüksek numune S2 numunesidir. Değerlere bakıldığında cam elyaf oranındaki artış ile nem ve yüksek sıcaklık ortamında malzemenin aşınma direncinde de artış gözlemlenmiştir. Yine S1 ve S2 numunelerinin kıyaslanması sonrası, S1 numunesindeki polistiren katkı malzemesinin aşınmaya etkisinin, plastifiyen katkı malzemesinin aşınmaya etkisinden daha olumlu olduğu söylenebilir. Yine S2 numunesinin aşınma direncinin yüksek oluşu, cam elyaf oranının fazla oluşuyla birlikte izoftalik polyeester reçinenin hidrotermal yaşlandırmadan daha az etkilenmesi durumu söz konusudur. Literatürde hızlandırılmış yaşlandırmanın malzemelerin kayma mukavemeti, eğilme modülü ve taşıma mukavemeti gibi mekanik özelliklerine olumsuz yönde etkileri bilinmektedir. Bu çalışmada hızlandırılmış yaşlandırmanın numuneler üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

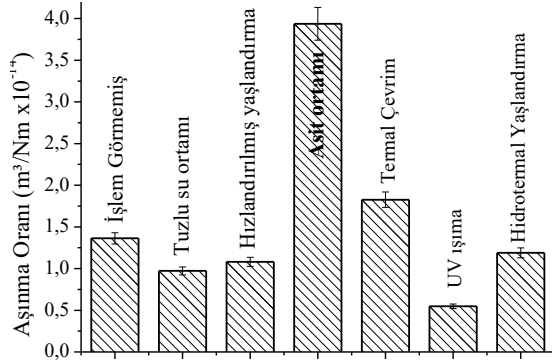


Şekil 8. Hidrotermal yaşlandırmaya maruz bırakılan CTP numunelerin aşınma oranları (Wear rates of GFRP samples exposed to hydrothermal aging)

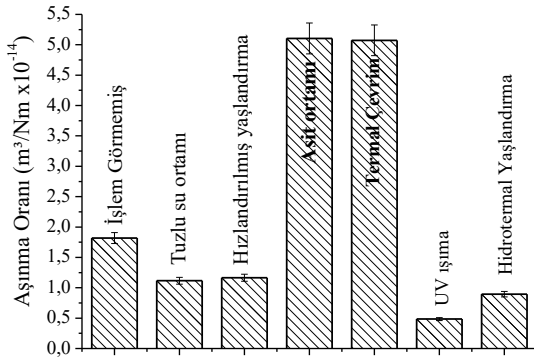
Genel olarak literatürde ortoftalik reçineli numunelerin, izoftalik reçineli numunelerden daha iyi aşınma dayanımına sahip olduğunu gösteren bazı çalışmalar bulunmaktadır [16]. Bu çalışmada izoftalik polyeester ile ortoftalik polyeester reçine karşılaştırmasında farklı çevresel etkenlerde farklı sonuçlar gösterdiği görülmektedir. Farklı çevresel koşullar baz alınarak, tüm numunelerin aşınma değerleri kıyaslandıktan sonra, numune bazlı olarak çevresel koşulların numunelerin aşınma oranları üzerindeki etkileri aşağıda yer alan şekillerde sunulmuştur.

S1 numunesinin farklı çevresel koşullarda aşınma oranları açısından ne şekilde etkilendiği Şekil 9’daki

grafikten görülebilmektedir. İşlem görmemiş numunelerin deney sonuçlarıyla kıyaslandığında aşınma dayanımını arttıran çevresel koşulların tuzlu su ortamı, hızlandırılmış yaşlandırma, UV ışına ve hidrotermal yaşlandırma olduğu görülmektedir. Termal çevrim S1 numunesinin aşınma oranını artırarak aşınma dayanımını düşürmüştür. Aynı şekilde asit ortamı da numunenin aşınma oranını oldukça arttırmıştır. Ağırlık kaybında olduğu gibi S1 numunesinde aşınma dayanımını en az etkileyen çevresel faktörün UV ışına olduğu görülmektedir.



Şekil 9. S1 numunesinin farklı çevresel koşullar altındaki aşınma oranları (Wear rates of S1 sample under different environmental conditions)



Şekil 10. S2 numunesinin farklı çevresel koşullar altındaki aşınma oranları (Wear rates of S2 sample under different environmental conditions)

S2 numunesinin işlem görmemiş hali ve farklı çevresel koşullardaki aşınma oranları sapmaları ile birlikte Şekil 10 'da görülmektedir. Farklı çevresel koşullara maruz bırakılmış numunelerden S2 numunesinin aşınmadan en az etkilendiği ortam UV ışına ortamıdır. Aşınma dayanımının en yüksek olduğu UV ışına ortamının yanı sıra tuzlu su ortamı, hızlandırılmış yaşlandırma ve hidrotermal yaşlandırma işlemleri de numunelerin aşınma dayanımını arttırmıştır. Asit ortamı ve termal çevrim ise aşınmayı artırıcı etki göstererek S2 numunesinin aşınma dayanımını azaltmıştır.

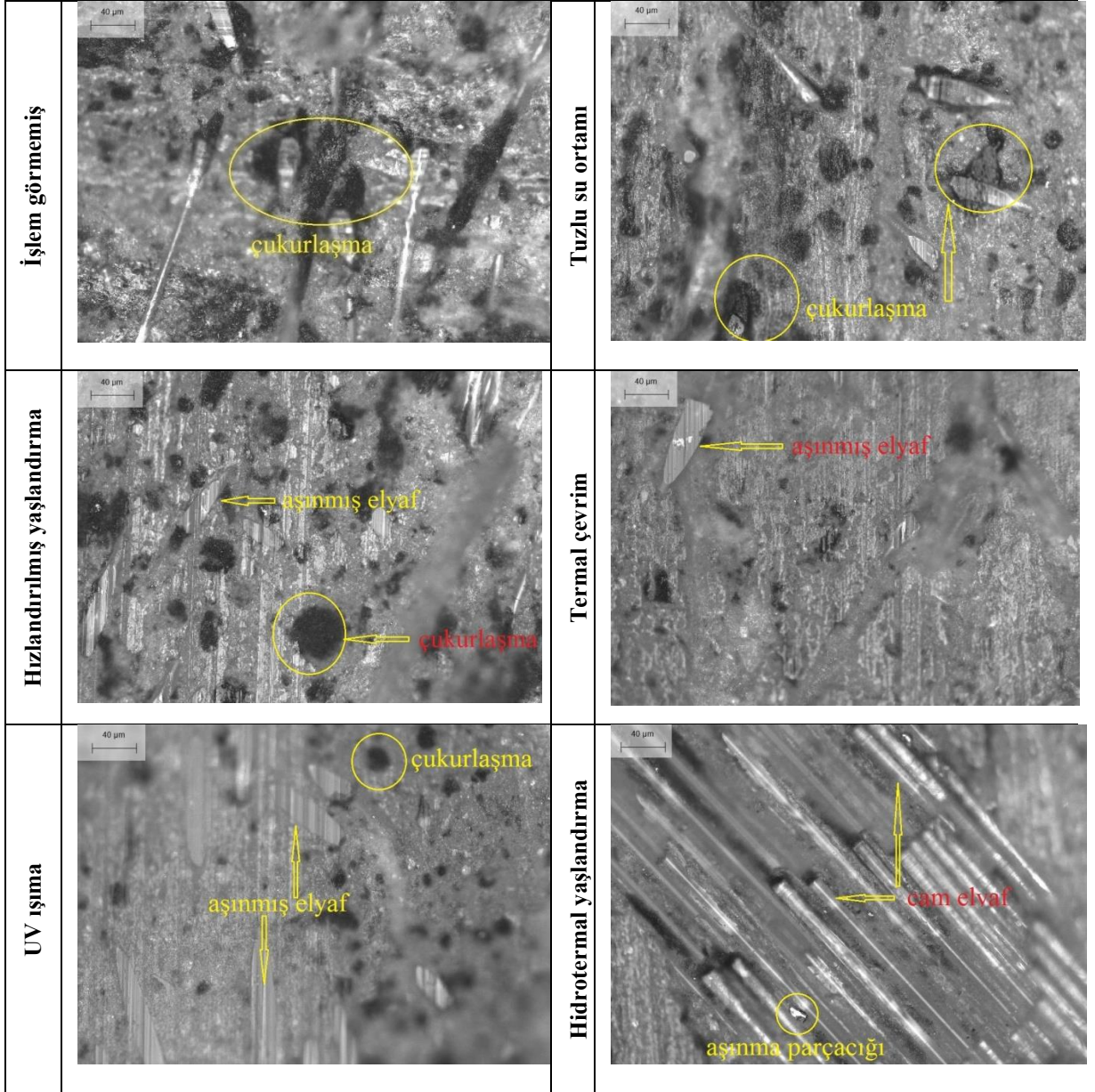
Numune bazlı grafikler incelendiğinde genel olarak tuzlu su ortamının, numunelerin aşınma dayanımına olumlu yönde etki ettiği görülmektedir. Yine hızlandırılmış

yaşlandırma ile CTP malzemelerin aşınma dirençlerinde artış görülerek aşınma oranlarında düşüş yaşanmıştır. Asit ortamı ise tüm numunelerde aşındırıcı etki göstererek, ciddi oranda aşınma dayanımını azaltarak aşınma oranında artışa neden olmuştur. Termal çevrim ile sıcak ve soğuk ortama maruz bırakılan CTP numunelerin aşınma dirençlerinde de düşüş görülmüştür. Literatürde UV ışınanın, malzemelerin mekanik özelliklerine olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Ancak bu deneysel çalışmada UV ışına deneyi sonrası numuneler ve işlem görmemiş numunelerin aşınma sonuçları karşılaştırıldığında aşınma dayanımının UV ışına sonrası iyileştiği görülmüştür. Hidrotermal yaşlandırmaya maruz bırakılmış malzemelerde (S1 ve S2) ise aşınma oranında azalma görülmüştür. Nem ve yüksek sıcaklıktan etkilenmeleri aşınma oranlarına bakılarak farklı kimyasal bileşime sahip numunelerde farklı etki oluşturmuştur. S1 numunesinde farklı olarak kullanılan polistiren katkısının hidrotermal yaşlandırmadan olumsuz etkilenmediği ve aşınma dayanımına katkı sağladığı söylenebilir. Diğer yandan hidrotermal yaşlandırmanın olumlu etki gösterdiği bir diğer numune olan S2'ye baktığımızda izofoalik polyester reçine malzemesinin bu koşul altında aşınma dayanımında etkili olduğu söylenebilir.

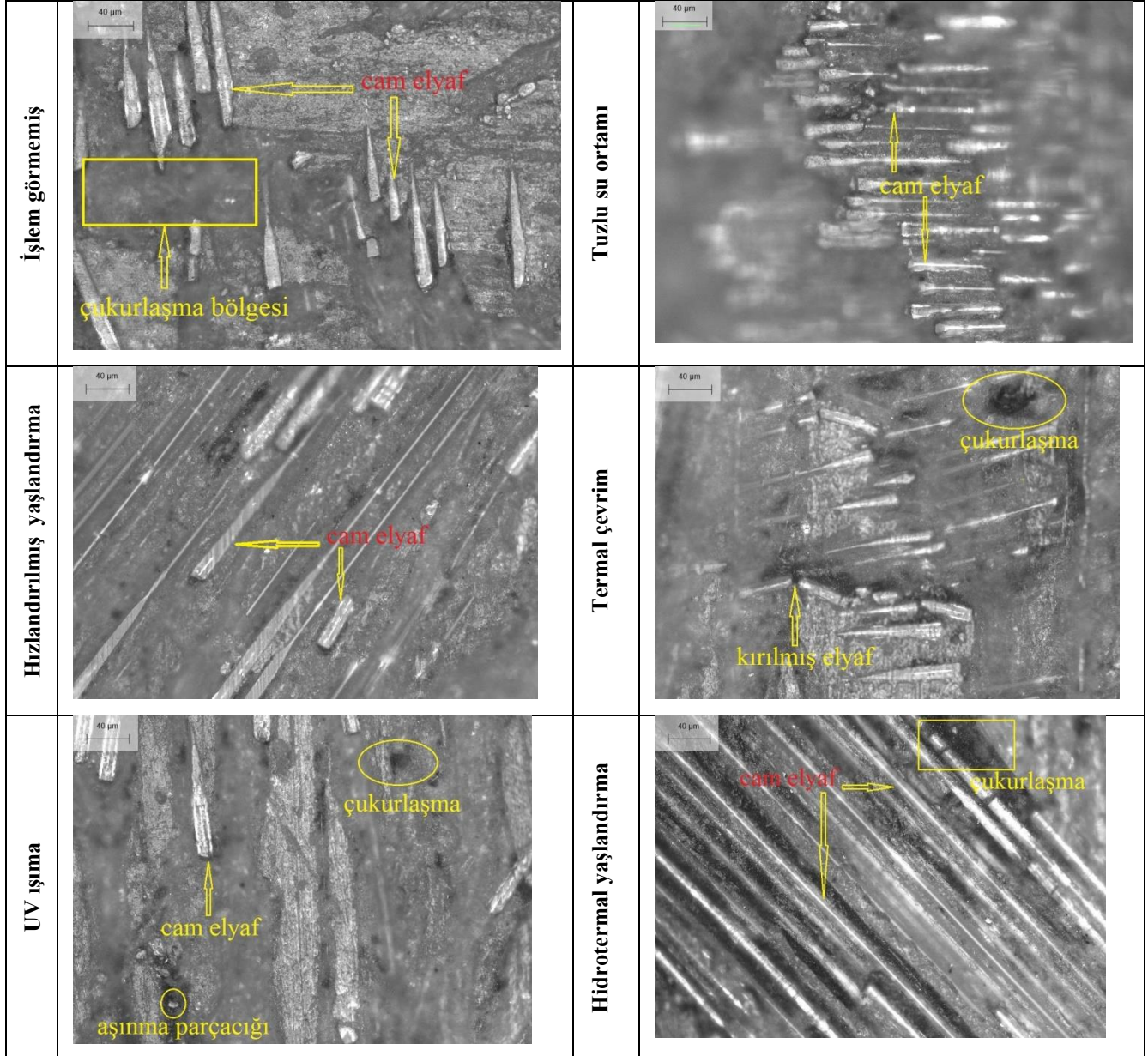
3.3. Mikroskopik İnceleme Sonuçları (Microscopic Examination Results)

Şekil 11' de farklı çevresel koşullar altındaki S1 numunesinin aşınma yüzeylerinden alınan 150x büyütme görüntü örnekleri verilmiştir. Aşınma izleri ve aşınma sonrası ortaya çıkan elyaflar, numune yüzeyinde gözlenmektedir. Aşınmanın diğer numunelere kıyasla daha az olduğu UV ışına ortamına ait numune görselinde aşınma izleri, daha ince ve yüzeysel olarak görülmektedir. Aşınma dayanımı düşük olan işlem görmemiş numune yüzeyinde çukurlaşma (pitting) bölgeleri belirlenmiştir. Termal çevrime maruz kalan numunelerde ise numune yüzeyinde aşınmış elyaflar net olarak görülebilmektedir. Aşınma dayanımı düşük olan hidrotermal yaşlandırmaya maruz kalan numunelerde ise matrisin yüzeyden sıyrıldığı ve elyafların ortaya çıktığı görülmektedir.

Farklı çevresel koşullar altındaki S2 numunesinin aşınma yüzeylerine ait mikroskop görüntüleri Şekil 12 'de sunulmuştur. UV ışına ve hızlandırılmış yaşlandırma ortamlarındaki numunelere ait görsellerde de görüldüğü gibi aşınma oranının az olduğu numunelerde aşınma izleri incedir. Aşınma dayanımının düşük olduğu işlem görmemiş ve termal çevrime maruz kalmış numune yüzeylerinde çukurcuk oluşumu bölgeleri yoğun bir şekilde gözlemlenmiştir. Hidrotermal yaşlandırmaya maruz kalan numunelerde reçine matrisi yüzeyden ayrılarak cam elyaflar ortaya çıkmıştır



Şekil 11. Farklı koşullar altında S1 numunesinin aşınma yüzeylerine ait mikroskop görüntüleri (Microscope images of wear surfaces of sample S1 under different conditions)



Şekil 12. Farklı koşullar altında S2 numunesinin aşınma yüzeylerine ait mikroskop görüntüleri (Microscope images of wear surfaces of sample S2 under different conditions)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, iki farklı tipte polyester (ortoformik ve izoformik) ve iki farklı tipte çekme katkısı (polistiren ve plastifiyen) içeren cam elyaf takviyeli polyester kompozit numuneler farklı çevresel koşullara (UV ışına, asit ortamı, tuzlu su ortamı, hızlandırılmış yaşlandırma, hidrotermal yaşlandırma ve termal çevrim) maruz bırakılmıştır. Numuneler daha sonra aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Farklı türlerde polyester reçine ve çekme katkısı içeren numunelerde çevresel koşulların malzemelerin aşınma davranışlarına olan etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada öne çıkan sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

1. CTP kompozit malzemeler içerisinde polistiren çekme katkısının kullanılması malzemenin aşınma dayanımını iyileştirmektedir.
2. Ortoformik polyester reçine içeren CTP kompozit numunelerin, izoformik reçine içeren numunelere nazaran aşınma dayanımları daha iyidir.
3. CTP kompozit numunelerin aşınma dayanımına çevresel koşulların etkileri dikkate alındığında her iki numunede de UV ışına ortamına ve hidrotermal yaşlandırmaya maruz kalan numunelerin aşınma dayanımının iyileştiği gözlemlenmiştir.
4. Asit ortamı ve termal çevrim CTP kompozit numunelerin aşınma dayanımlarını büyük ölçüde azaltmıştır.

CTP kompozitlerin çalışma süreleri boyunca aşınma dayanımlarının azalmasında etkili olan çevresel koşulların, asit ortamı ve termal çevrim olduğu görülmektedir. Bu çalışmada farklı kimyasal bileşimlere sahip S1 ve S2 numuneleri farklı çevresel koşullar altında farklı aşınma özellikleri göstermiştir. Bu nedenle böylesi sert koşullarda çalışacak kompozit malzemelerin kimyasal bileşimlerinin uygun şekilde hazırlanması gerekmektedir. Böylelikle hem hafif hem de aşınma performansı iyi olan kompozit tasarımları gerçekleştirilebilecektir. Ayrıca bu çalışma farklı kimyasal bileşimler ile numunelerin aşınma özelliklerinin uygulamaya göre ayarlanabileceğini net şekilde göstermektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, malzeme tedarikine verdikleri destek için Sami Tongün Cam Elyafı Polyester Ürünleri' ne (Kocaeli/Türkiye) teşekkür ederler.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Mihriban KORKU: Deneyle ilgili yapılmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

Erol FEYZULLAHOĞLU: Sonuçları analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Recep İLHAN: Sonuçları analiz etmiş ve yorumlamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- [1] Kaya İ.A., "Kompozit Malzemeler ve Özellikleri", 29, *Putech&Composites*, (2016).
- [2] Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, (2006).
- [3] Ersoy Y.H., "Kompozit Malzeme", *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, (2001).
- [4] Seymour R.B. and Deanin R.D., "History of Polymeric Composites", *VNU Press*, Netherlands, (1987).
- [5] Jiping B., "Advanced Fibre-reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications", *Woodhead Publishing*, UK, (2013).
- [6] Bagherpour S., "Fibre Reinforced Polyester Composites, Polyester," Editors: Saleh El-Din H, *InTech*, (2012).
- [7] Prashanth S., Subbaya K.M., Nithin K. and Sachhidananda S., "Fiber Reinforced Composites-A Review", *Journal of Material Sciences & Engineering*, 6: (2017).

- [8] Soo-Jin Park and Min-Kang Seo, "Interface Science and Technology", *Academic Press*, San Diego, (2011).
- [9] Wypych G., "Handbook of fillers", *Chem Tec Publishing*, Canada, (1999).
- [10] Feyzullahoğlu E., "Effect of Different Fillers on Adhesive Wear Properties of Glass Fiber Reinforced Polyester Composites", *Tribology in Industry*, 39: 482-486, (2017).
- [11] Sathishkumar T.P. and Naveen J., "Glass fiber-reinforced polymer composites-A review", *J Rein Plas Comp*, 33: 1258-1275, (2014).
- [12] Neale M.J., "The Tribology Handbook", *Butterworth-Heinemann*, Oxford, (1995).
- [13] Glaeser A.W., "Materials for Tribology", *Elsevier Science Publishers*, Amsterdam, (1992).
- [14] Stachowiak W.G. and Batchelor W. A., "Engineering Tribology", *Butterworth-Heinemann*, UK, (2005).
- [15] Fischer A. and Bobzin K., "Friction, Wear and Wear Protection", *Wiley*, Germany, (2009).
- [16] Feyzullahoğlu E., "The Investigation of Effects of Polyester Resins and Tensile Additives on Abrasive Wear of Glass Fiber Reinforced Polyester Composites", *International Science and Technology Conference (ISTEC)*, Paris, 603-608, (2018).
- [17] İlhan R. and Feyzullahoğlu E., "The Wear of Glass Fiber Reinforced Polyester Composite Materials at Different Loads and Speeds", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5: 259-266, (2018).
- [18] Chakraverty A.P., Mohanty U.K., Mishra S.C. and Satapathy A., "Sea Water Ageing of GFRP Composites and the Dissolved Salts", *IOP Publishing*, 75: 1-16, (2015).
- [19] Shaofeng W., Dianrong G., Liang Y. and Chen B., "Experimental Study on Influence of Dimples on Lubrication Performance of Glass Fiber-Epoxy Resin Composite under Natural Sea water Lubrication", *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 30: 110-117, (2016).
- [20] Han W., Chen S., Campbell J., Zhang X. and Tang Y., "Fracture Toughness and Wear Properties of Nanosilica /Epoxy Composites under Marine Environment", *Materials Chem. And Phys*, 177: 147-155, (2016).
- [21] Singh N., Yousif B.F. and Rilling D., "Tribological Characteristics of Sustainable Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites under Wet Adhesive Wear", *Tribology Transactions*, 54: 736-748 (2011).
- [22] Agrawal S., Singh K.K. and Sarkar P.K., "A Comparative Study of Wear and Friction Characteristics of Glass Fibre Reinforced Epoxy Resin, Sliding under Dry, Oil-Lubricated and Inert Gas Environments", *Tribology International*, 96: 217-224, (2015).
- [23] Zaini M.Z.B., "The Performance of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) under Abrasive Condition", *Universiti Teknologi Petronas*, (2013).
- [24] İlhan R. and Feyzullahoğlu E. "Investigation of adhesive wear properties of glass fiber reinforced polyester composites having different chemical compositions", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 236: 156-173, (2022).

- [25] Smith W.F., “Material Science and Engineering”, **Mc Graw-Hill Education**, USA, (1993).
- [26] Valinoti C.A., Neves G.B., Silva M.E. and Maia C.L., “Surface Degradation of Composite Resins by Acidic Medicines and Ph-Cycling”, *J Appl Oral Sci*, 16: 257–265, (2008).
- [27] Münchow A.E., Ferreira C.A., “Effect of Acidic Solutions on the Surface Degradation of A Micro-Hybrid Composite Resin”, *Brazilian Dental Journal*, 25: 321-326, (2014).
- [28] Park Y., Kim H.Y. and Lee S., “Long-Term Flexural Behaviors of GFRP Reinforced Concrete Beams Exposed to Accelerated Aging Exposure Conditions”, *Polymers*, 6: 1773-1793, (2014).
- [29] Kuram E., “Cam Elyaf Katkılı Poli (oksimetilen) Kompozitinin Laboratuvar Ortamında ve Suda Yaşlandırılması Sonucunda Mekanik, Reolojik ve Morfolojik Özelliklerindeki Değişimler”, *Gazi University Journal of Science*, 6: 721-728, (2018).
- [30] Jafari A., Ashrafi H., Bazli M. and Ozbakkaloglu T., “Effect of Thermal Cycles on Mechanical Response of Pultruded Glass Fiber Reinforced Polymer Profiles of Different Geometries”, *Composite Structure*, 223: (2019)