



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.05.2023
Kabul Tarihi : 21.03.2023

Received Date : 29.05.2023
Accepted Date : 21.03.2023

CAM ELYAF TAKVİYESİNİN POLİ-ETER-İMİD NUMUNELERİN KURU KAYMA AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

EFFECT OF GLASS FIBER REINFORCEMENT ON DRY SLIDING WEAR BEHAVIOR OF POLY-ETHER-IMIDE SPECIMENS

Ahmet MASLAVI¹ (ORCID: 0000-0002-9571-0640)

Hüseyin ÜNAL² (ORCID: 0000-0003-0521-6647)

Alim KAŞTAN^{3*} (ORCID: 0000-0002-6514-3796)

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

³Düden Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Kepez/Antalya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Alim KAŞTAN, kastanalim@gmail.com

ÖZET

Özellikle gıda sektörü başta olmak üzere otomotiv, havacılık, elektrik/elektronik ve tekstil sektörleri gibi endüstrinin birçok alanlarında çok farklı makinalar kullanılmaktadır. Bu makinalarda ise hareket iletimlerinde bazen plastik bazen de plastik esaslı kompozitlerden imal edilmiş dişli malzemeleri kullanılmaktadır. Bu deneysel çalışmada, saf poli-eter-imid (PEI) polimeri ile ağırlık olarak %30 oranında cam elyaf (CE) takviyeli poli-eter-imid (PEI-30CE) kompozitin tribolojik performansları incelenmiştir. Aşınma ve sürtünme deneyleri disk üzerinde pim cihazı kullanılarak yaklaşık oda sıcaklığında ve kuru kayma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde üç farklı yük (30N, 60N, 100N) ve 1.0 m/s kayma hızı kullanılmıştır. Deneyler sonucunda saf PEI polimer ve %30 oranında cam elyaf takviyeli PEI kompozitinin sürtünme katsayısı, pim/disk sıcaklığı ve spesifik aşınma oranı belirlenmiştir. Ayrıca optik mikroskop kullanılarak deneylerde kullanılan malzemelerinin aşınma yüzeyi mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda uygulanan yüke bağlı olarak hem saf PEI hem de cam elyaf takviyeli PEI kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma oranının azaldığı tespit edilmiştir. Cam elyaf takviyeli PEI kompozitin saf PEI polimerine göre yaklaşık %95 oranında daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PEI, cam elyaf, kompozit, aşınma oranı, sürtünme katsayısı

ABSTRACT

Many different machines are used in many areas of the industry such as automotive, aviation, electrical/electronic and textile sectors, especially in the food sector. In these machines, gear materials made of plastic and sometimes plastic-based composites are used in motion transmission. In this experimental study, the tribological performances of pure poly-ether-imide (PEI) polymer and 30wt.% by weight glass fiber (GF) reinforced poly-ether-imide (PEI-30GF) composite were investigated. Wear and friction tests were carried out using pin-on-disk device at approximately room temperature and dry sliding conditions. Three different loads (30N, 60N, 100N) and a sliding speed of 1.0 m/s were used in the experiments. As a result of the experiments, the friction coefficient, pin/disc temperature and specific wear rate of pure PEI polymer and PEI-30GF composite were determined. In addition, microstructure examinations of the wear surface of the materials used in the experiments were carried out using an optical microscope. As a result of the experiments, it was determined that the friction coefficient and wear rate of both pure PEI and PEI-30GF composite decreased depending on the applied load. It was determined that PEI-30GF composite has approximately 95% higher wear resistance than pure PEI polymer.

Keywords: PEI, glass fiber, composite, wear rate, friction coefficient

GİRİŞ

Kompozitler, güvenli otomobillerin, uzun menzilli uçakların ve son derece hafif makine bileşenlerinin yapılmasına katkı sağlamaktadır. Bu malzemeler sayesinde binaların, köprülerin yenilenmesi ve tıbbi implantların imalatı gerçekleştirilebilmektedir. Kompozitler, dünyada sürdürülebilir kalkınmaya sürekli şekilde katkıda bulunan üstün özellikli malzemelerdir (Chou, 1986). Günümüzde gelişen teknolojinin tek bir malzemenin sağlayamayacağı özellik kombinasyonlarına ihtiyaç duyulduğu her alanda, kompozitler tercih edilen malzemeler haline gelmiştir. Bir maddenin liflerini veya parçacıklarını başka bir matriste veya bağlayıcıda dağıtarak hazırlayan bir kompozit tasarımcısı, hiçbir malzemenin kendi başına göstermediği özelliklere ulaşabilir. Sertlik, mukavemet, düşük yoğunluk gibi üstün özelliklerinden dolayı, askeri ve ticari uçak, spor ekipmanı ve araba tasarımcılarının birçok bileşenler için kompozitlere yönelmesine yol açmıştır. Örneğin, kompozit malzemenin ısı ve elektriği iletme yeteneği, matrisin iletkenliğinden büyük ölçüde etkilenir. Kompozitin mekanik davranışı ise tek başına lifler tarafından değil, lifler ve matris arasındaki sinerji tarafından yönetilir (Friedrich and Almajid, 2013). PEI ilk olarak General Electric Şirketi tarafından 1982 yılında ULTEM ticari adı ile üretilmiştir (Craver and Carraher, 2000). PEI amorf yapıya sahip yüksek performanslı bir termoplastiktir. PEI polimerinin camsı geçiş sıcaklığı yüksek olduğundan (yaklaşık T_g: 217°C) servis sırasında geniş sıcaklık aralığında kullanılabilir. PEI polimerinin işlenebilmesi için diğer polimerlere kıyasla daha yüksek erime sıcaklığı gereklidir. Yüksek termal kararlılığın önemli olduğu tribolojik uygulamalar için PEI doğru bir tercihtir. Fakat PEI polimerinin aşınma direnci düşük olduğu için içerisine katkı maddelerinin ilave edilmesi gerekmektedir (Xiana and Zhang, 2005). PEI polimerinin hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda mükemmel boyutsal kararlılık, iyi elektriksel özellikler ve kimyasal direnç özellikleri gösterirken aynı zamanda yüksek mukavemet, yanmayı geciktiricilik, düşük duman yoğunluğu, optik özellikler ve yüksek sertlik özellikleri de gösterir (McKeen, 2016). PEI polimeri uçak motoru parçalarında, kaplamalarında, mühimmat gövdelerinde, dişli imalatında, mikrodalga fırınlarda, elektrik ve elektronik alanında, otomotiv ve ulaştırma ekipmanlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Tatlıdilli, 2020). Cam fiberler polimer malzemelerin hemen hemen %90'ında kullanılmaktadır. Bu kadar yaygın kullanılmasının sebebi cam fiberlerin ekonomik ve ağırlık/mukavemet performansının oldukça iyi olmasıdır. Cam fiberler, 1600 °C civarında ısıtılmış fırında alüminyum oksit ve bazı metal oksitlerle kolemanit, kireç taşı, soda, kil, gibi maddelerin sıvı hale getirilip çok ince kovanlardan geçirilerek (9-25 mikron) üretilir (Pemberton vd. 2018). Cam fiberlerin çekme mukavemetinin demir esaslı malzemelere göre bir hayli yüksek olması, kimyasallara karşı dirençli olmaları, nem çekmemeleri, yalıtkan olmaları ve yanmazlık gibi üstün özelliklerinden dolayı üretimin değişik alanlarında sıklıkla tercih edilmesini sağlamıştır (Özer, 2015). Daha önce birçok araştırmacı PEI polimerinin özelliklerini geliştirmek için cam fiber takviyeli polimer kompozitler üretmiş ve bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Şekil 1'de PEI polimerinden imal edilmiş dişli uygulamaları görülmektedir. Bu araştırmalardan bazıları Stuart, 1998; Demir, 2006; Xian and Zhang, 2004; Ünal ve Mimaroglu, 2012; Chen vd. 2013; Mimaroglu ve Ünal, 2007; Chen vd. 2012; Maslavi vd. 2022; Demir vd. 2019; İhan ve Feyzullahoğlu, 2018; Yuan vd. 2021; Meng vd. 2022; Sathishkumar vd. 2014; Vina vd. 2008; Cai, 2011; Harsha vd. 2017; Li vd. 2013; Song vd. 2017; Yılmaz, 2013 yaptığı çalışmalardır. Tribolojik araştırmalarda malzeme kompozisyonunun ve deney proses parametrelerinin değişmesinin farklı sonuçlar ortaya çıkardığı herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Bu çalışmada %30 oranında cam elyaf takviyeli PEI kompozitin üç farklı yük (30N, 60N,100N) ve 1.0 m/s kayma hızında yapılan deneylerden elde edilen sürtünme ve aşınma davranışları incelenmiştir.



Şekil 1. PEI Polimerinden İmal Edilmiş Dişli Uygulamaları (Www.Polymershapes.Com/Application/Gears)

MATERYAL VE METOT

Aşınma deneylerinde kullanılan saf PEI, Ultem 1000 ticari koduyla, %30 oranında kısa cam elyaf takviyeli (PEI/30CE) PEI kompoziti ise Ultem 2300 ticari koduyla 10 mm çapında ve 1000 mm uzunluğunda çubuk formunda SABIC firmasından temin edilmiştir. Polimer kompozit malzemelerde genellikle %30 oranında elyaf kullanımı optimum fiyat/performans ilişkisi sağladığından endüstride büyük talep görmektedir. Bu sebeple malzeme seçiminde, saf PEI polimer malzeme ile kıyaslama yapmak için endüstride yaygın olarak tercih edilen PEI/30CE kompozitinin endüstri talepleri için daha uygun olduğu düşünülmüştür. Muhtemel elyaf oranının %30' dan fazla olması aşınma direncinin artmasına sebep olacaktır. Aşınma test numuneleri 6 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda olacak şekilde Revolver tornada işlenmiştir. Deneylerde kullanılan saf PEI ve %30 kısa cam elyaf takviyeli PEI kompozitin üretici firmadan alınan fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Aşınma testleri pin on disk cihazında oda sıcaklığında yapılmıştır. Deneylerde üç farklı aşındırma (30N, 60N, 100N) yükü kullanılmıştır. Kayma hızı 1m/s ve kayma mesafesi ise 2000 metre seçilmiştir. Uygulanan yük, kayma hızı ve kayma mesafesi seçiminde yük, hız ve kayma mesafesinin optimize edilmesi gerekir. Düşük yük ve hızlarda test numunesi az aşınmakta bunun sonucu ağırlık farkı ölçümlerinde hata oranı artabilmektedir. Yüksek yüklerde ve hızlarda ise aşırı aşınma ve plastik deformasyon meydana gelerek çalışma ortamında kullanılabilirliği tartışılır seviyeye ulaşmaktadır. Bu konular dikkate alınarak ön deneme çalışmaları ile uygulanan yük, kayma hızı ve kayma mesafesi şartları belirlenmiştir. Kayma mesafesi süresince her 5 dakikada bir 500°C maksimum sıcaklık ölçüm kapasitesine sahip TFA marka kızılötesi lazerli termometre kullanılarak hem pim hem de disk yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Şekil 3 ve Şekil 4'de verilen pim ve disk yüzey sıcaklıkları aşınma deneyi son dakikası içinde alınan sıcaklık değerleridir.

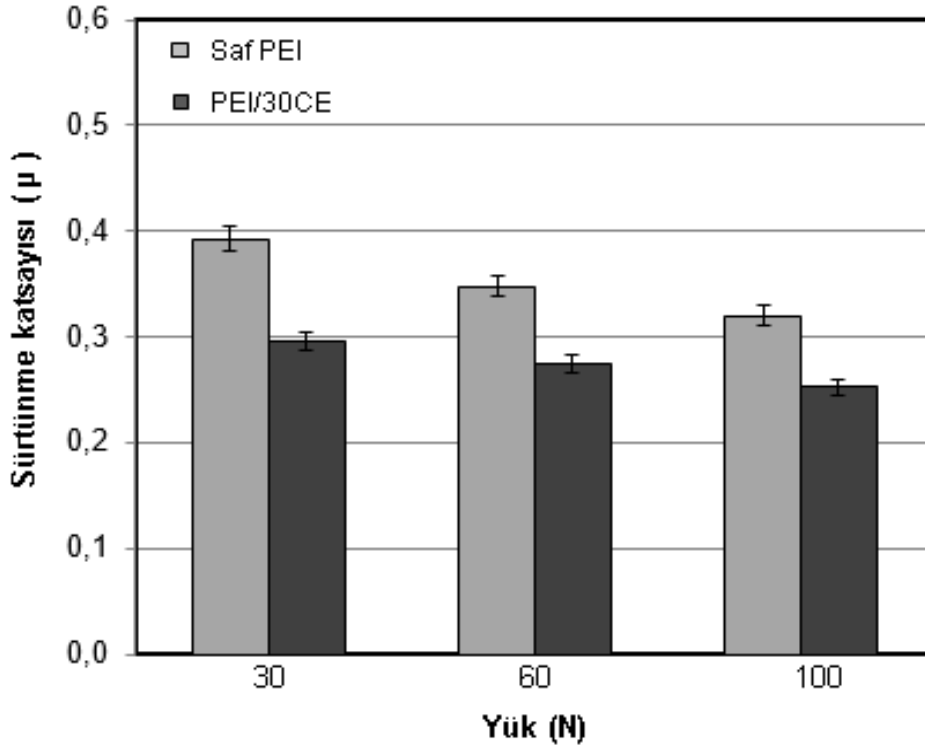
Tablo 1. Saf PEI ve % PEI/30CE Kompozitin Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri

| Malzemeler | | | Saf PEI | PEI/30CE |
|------------------------------------|-------------------|----------------|---------|----------|
| Özellik | Birimi | Test standardı | Değeri | |
| Yoğunluk | g/cm ³ | ASTM D792 | 1.28 | 1.51 |
| Su emme, (24 saat) | % | ASTM D570(2) | 0.25 | 0.16 |
| Çekme mukavemeti | MPa | ASTM D638 | 115 | 175 |
| Elastiklik modülü (çekmede) | MPa | ASTM D638 | 3450 | 10400 |
| Kopmadaki % uzama | % | ASTM D638 | 7 | 2,5 |
| İzod darbe mukavemeti, 23°C | Kj/m ² | ISO 180/1A | 5 | 10 |
| Termal iletkenlik | W/ m.°K | ISO 8302 | 0,177 | 0,31 |
| Sertlik | Rockwell M | ASTM D785 | 112 | 114 |
| Ergime sıcaklığı | °C | ASTM D3418 | 348 | 398 |
| Camsı geçiş sıcaklığı | °C | ASTM D3418 | 210 | 217 |
| Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı | °C | - | 171 | 250 |
| Oksijen indeksi | % | ASTM D2863 | 44 | 50 |

BULGULAR VE TARTIŞMA

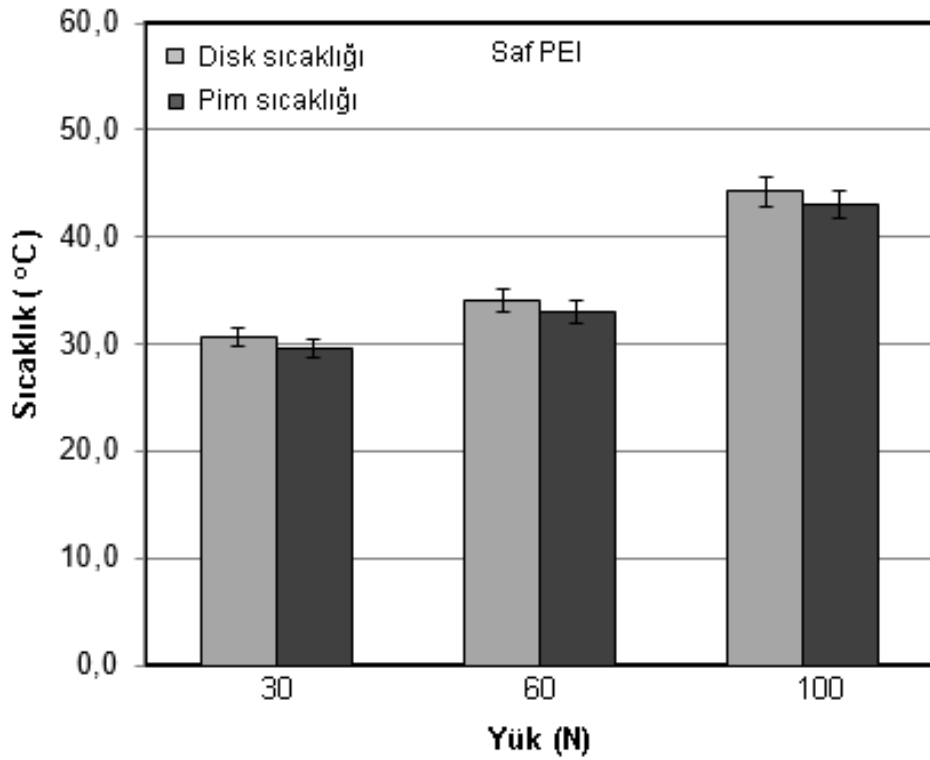
Şekil 2'de saf PEI polimeri ile %30 oranında kısa cam elyaf takviyeli PEI polimer kompozitin 1 m/s hız ve değişik yükler (30N, 60N ve 100N) altındaki sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir. Katkısız PEI'nin 30N yük altındaki sürtünme katsayısı 0,392 iken %30 kısa cam elyaf takviyeli PEI polimerin ise 0.295 olarak ölçülmüştür. 60N yükte katkısız PEI'nin sürtünme katsayısı 0,348 iken %30 kısa cam elyaf takviyeli PEI polimer kompozitin 0.275, ve 100N yük altında ise sürtünme katsayısı sırasıyla 0.32 ve 0.27 olarak tespit edilmiştir. Hem katkısız PEI'in hem de %30 oranında kısa cam elyaf takviyeli PEI kompozitinde uygulanan yükün artırılması ile sürtünme katsayısında azalma tespit edilmiştir. Tüm yükler altında %30 oranında kısa cam elyaf takviyeli PEI polimer kompozitin sürtünme katsayısı katkısız PEI polimerinin sürtünme katsayısına göre daha düşük değerlerde ölçülmüştür. Sürtünme katsayısı 30N yükte %25, 60N yükte %21 ve 100N yükte %22 oranında azalmıştır. Bu azalma özellikle sürtünmeli ortamda çalışacak makine parçalarının servis ömrü açısından son derece önemlidir. Cai (2011) yaptığı çalışmada PEI bünyesine %0.1-1.0 oranında cam fiber ilave ederek ürettiği kompozitin sürtünme katsayısının saf PEI'e göre daha düşük olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca yükün artırılması ile sürtünme katsayısının azaldığı belirtilmiştir. Mimaroglu vd. (2007) %20 oranında cam fiber takviyeli PEI kompozitinin aşınma deneylerinde aşındırman yükünün %200 oranında artırılması sonucunda sürtünme katsayısında ortalama %50 oranında azalma olduğunu rapor etmişlerdir. Sürtünme katsayısındaki değişimin polimerin viskoelastik davranış göstermesi ile ifade etmişlerdir. Vina vd. (2008)

PEI bünyesine cam fiber ilave ederek 20°C - 200°C arasındaki sıcaklıklarda yaptıkları çalışmada katkısız PEI'nin sürtünme katsayısı 0.7 civarında tespit edilirken cam fiber takviyeli PEI kompozitlerin ise 0.38-0.48 aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Cam fiber katkının PEI polimer kompozitinin sürtünme katsayısı üzerinde etkin rol oynadığını ifade ederken sıcaklık artışı ile birlikte sürtünme katsayısında artış tespit etmişlerdir. Sürtünme katsayısında artışın sebebi olarak polimerin yumuşaması ile ifade ederlerken polimer malzemenin mukavemetinin azalmasına bağlamışlardır.

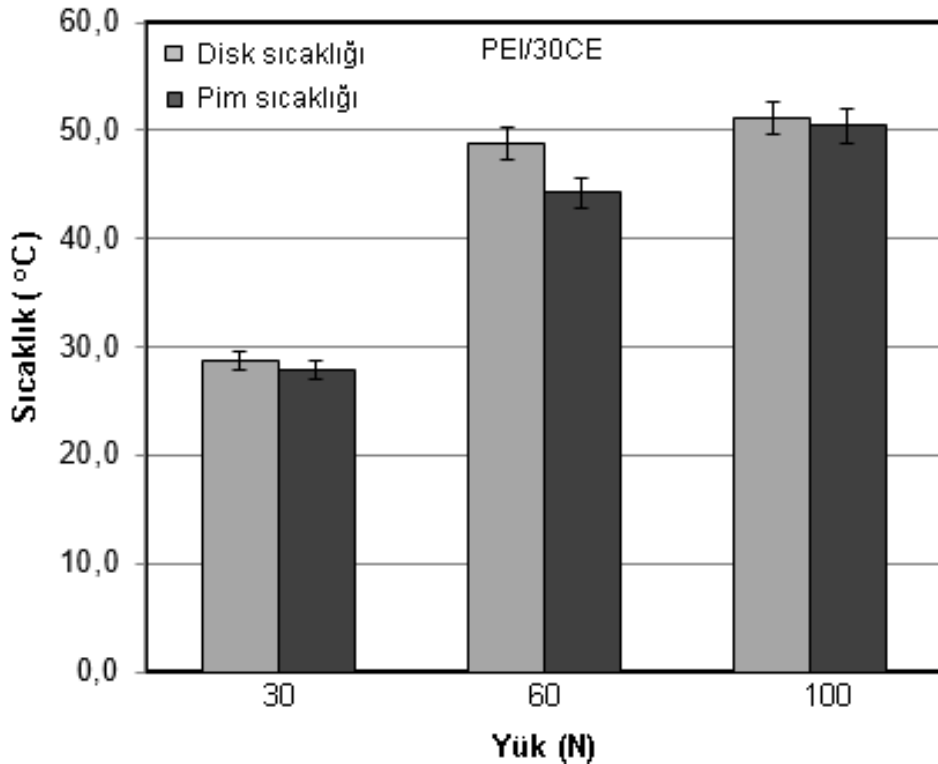


Şekil 2. Saf PEI Polimeri ve PEI/30CE Kompozitin Farklı Yükler Altındaki Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 3’de saf PEI polimerinin 30N, 60N ve 100N yüklerde yapılan deneylerden elde edilen pim ve disk sıcaklıkları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi aşındırma yükünün artırılması ile birlikte hem disk, hem de pim sıcaklıklarında belirgin artışlar gözlemlenmiştir. 30N aşındırma yükünde disk sıcaklığı 30.6°C pim sıcaklığı 29.6°C, 60N aşındırma yükünde disk sıcaklığı 34°C pim sıcaklığı 33°C ve 100N aşındırma yükünde disk sıcaklığı 44.2°C pim sıcaklığı ise 43°C olarak ölçülmüştür. Yapılan tüm deneylerde disk sıcaklıklarının pim sıcaklıklarından hafif daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu farkın malzemeler arasındaki ısı iletim katsayısı farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Şekil 4’de %30 oranında kısa cam elyaf takviyeli PEI polimer kompozitin farklı yükler altındaki pim ve disk sıcaklığı değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi katkısız PEI polimerinde olduğu gibi %30 cam elyaf takviyeli PEI kompozitin artan aşındırma yükü ile birlikte hem pim, hem de disk sıcaklıklarında artış gözlenmiştir. Pim ve disk sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı 30N yükte 1°C, 60N yük altında 1.6°C ve 100N yükte ise 0.8°C’olarak tespit edilmiştir. Pim ve disk sıcaklık farkları açısından incelendiğinde katkısız PEI ve %30 kısa cam elyaf takviyeli PEI’nin benzer sonuçlar verdiği söylenebilir. Ancak deneyler sırasında ulaşılan maksimum pim ve disk sıcaklıkları incelendiğinde PEI/30CE kompozitin 60N ve 100N aşındırma yükünde katkısız PEI polimerine göre yaklaşık 7°C civarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Maslavi vd. (2022) PEEK+%30CE’nin pim sıcaklığının artan aşındırma yüküne bağlı olarak arttığını ve pim sıcaklığının 40°C ile 83°C aralığında değiştiğini belirtmiştir.



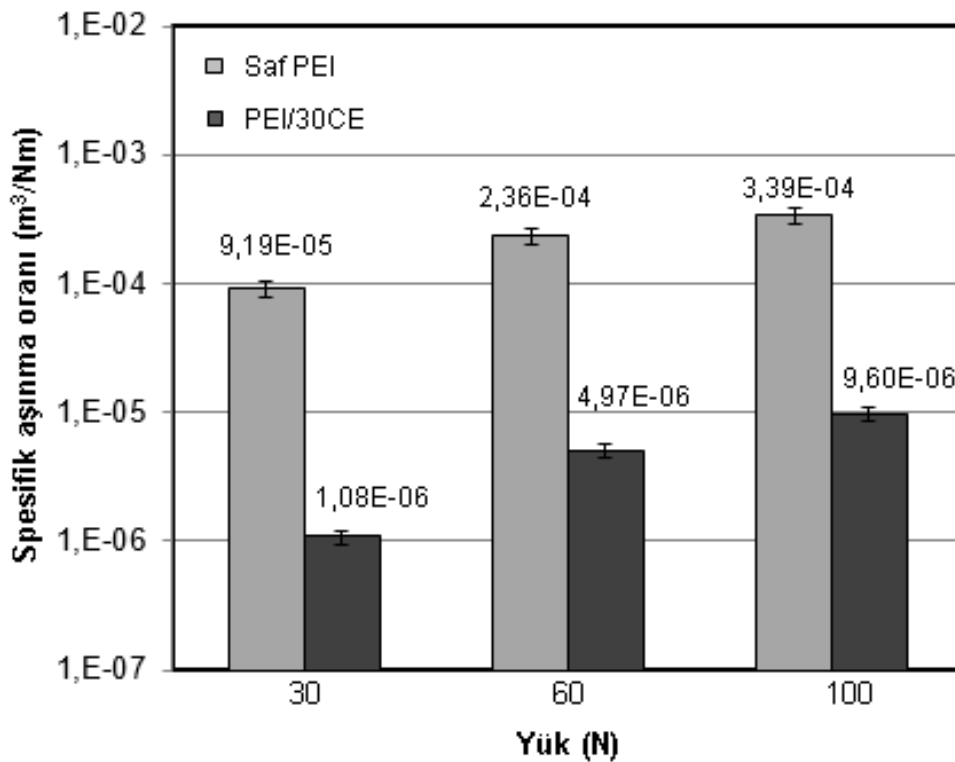
Şekil 3. Saf PEI Polimerinin Farklı Yükler Altındaki Pim ve Disk Sıcaklığı Değişimi



Şekil 4. PEI/30CE Kompozitin Farklı Yükler Altındaki Pim ve Disk Sıcaklığı Değişimi

Şekil 5'te saf PEI polimeri ve %30 kısa cam elyaf takviyeli PEI polimer kompozitin 30N, 60N ve 100N yükler altındaki aşınma oranındaki değişim verilmiştir. Artan yüke bağlı olarak spesifik aşınma oranında artış meydana gelmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere matristeki kısa cam fiberlerin aşınma oranı üzerinde olumlu yönde son derece etkili olduğu söylenebilir. 30N aşındırma yükünde katkısız PEI'nin aşınma oranı $9.19 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ iken cam fiber katkılı PEI'nin aşınma oranı %84 azalarak $1.08 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ değerine düşmüştür. 60N'da katkısız PEI'nin aşınma oranı $2.36 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ olan aşınma oranı yaklaşık %95 azalarak $4.97 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ olarak hesaplanmıştır.

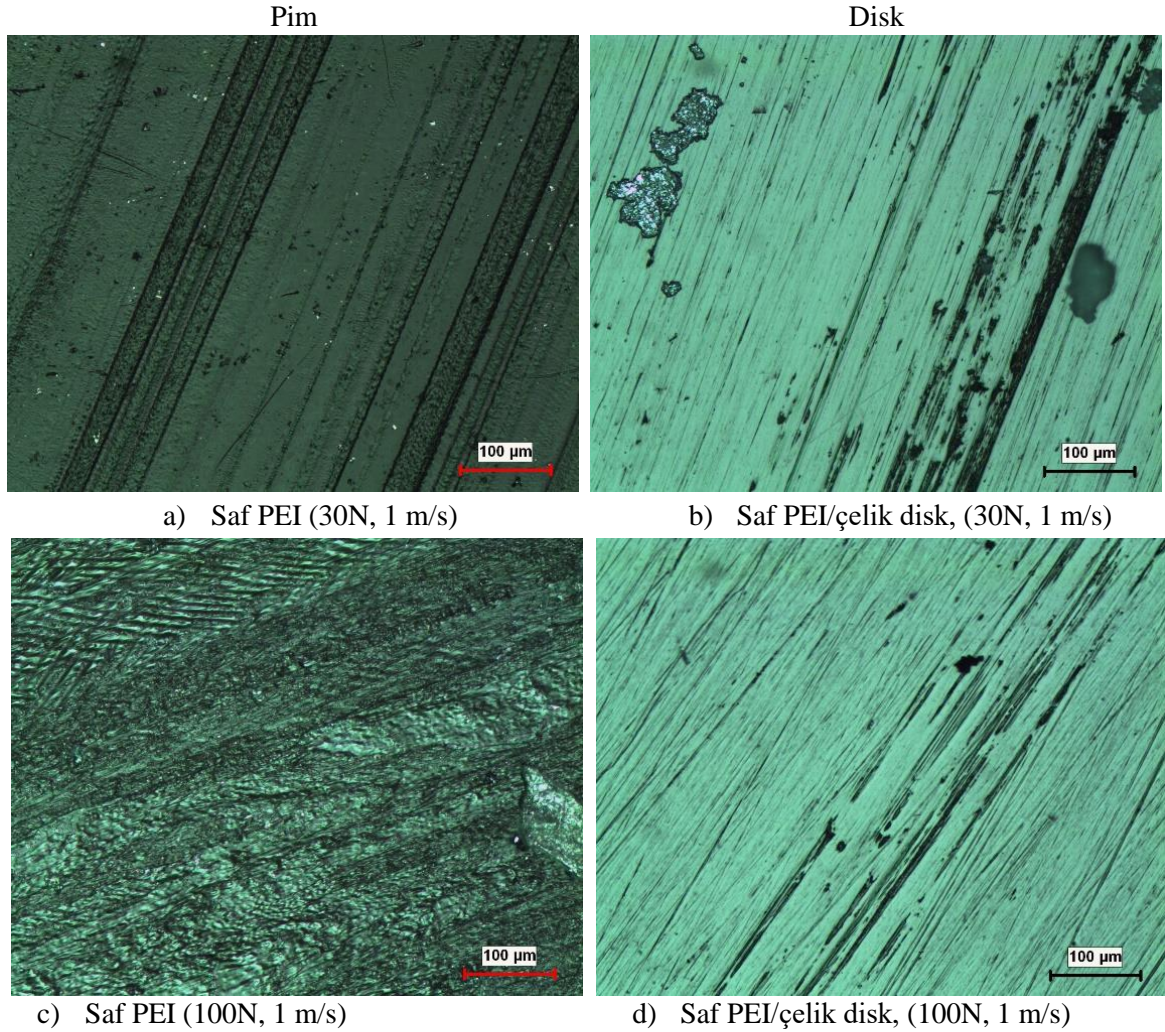
100N aşındırma yükünde ise katkısız PEI'nin $3.39 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ olan aşınma oranı cam fiber ilave edilmesiyle yaklaşık %65 oranında azalarak $9.06 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ değerine gerilemiştir. Araştırmacılar kısa cam elyaf takviyeli PEI kompozitin aşınma oranındaki azalmayı Archard denklemine göre, pimin sertliğinin artması sonucunda malzemenin temas alanının azalması şeklinde açıklamışlardır. Buradan hareketle saf PEI polimer matrisine kıyasla cam fiberlerin sert ve aşınma direncinin yüksek olmasının spesifik aşınma oranında azalmaya sebep olduğu tahmin edilmektedir. Harsha vd. (2017) PEI içerisine %10 oranında cam fiber ilave ederek ürettikleri polimer esaslı kompozitlerle yapmış oldukları çalışmada artan aşındırma yüküne bağlı olarak aşınma oranında belirgin oranda artış olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca oda sıcaklığında yapılan deneylere kıyasla yüksek sıcaklıklarda matrise cam fiber ilave edilmesinin kompozitin aşınma oranı üzerinde daha etkin olduğunu ifade etmişlerdir. Bu durumu cam fiberlerin matrisin sıcaklık karşısındaki yumuşamasını geciktirmesi olarak açıklanmıştır. Demir vd. (2019) vinil ester polimer bünyesine cam ve karbon elyaf ilave ederek hazırladıkları kompozitlerle yaptıkları çalışmada uygulanan yükün artması ile aşınma deneyinde kütle kaybın arttığını, karbon elyaf katkının cam elyaf katkıya göre aşınma üzerinde daha etkin olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen aşınma oranı ile ilgili deney sonuçları literatür ile benzerlik göstermektedir.



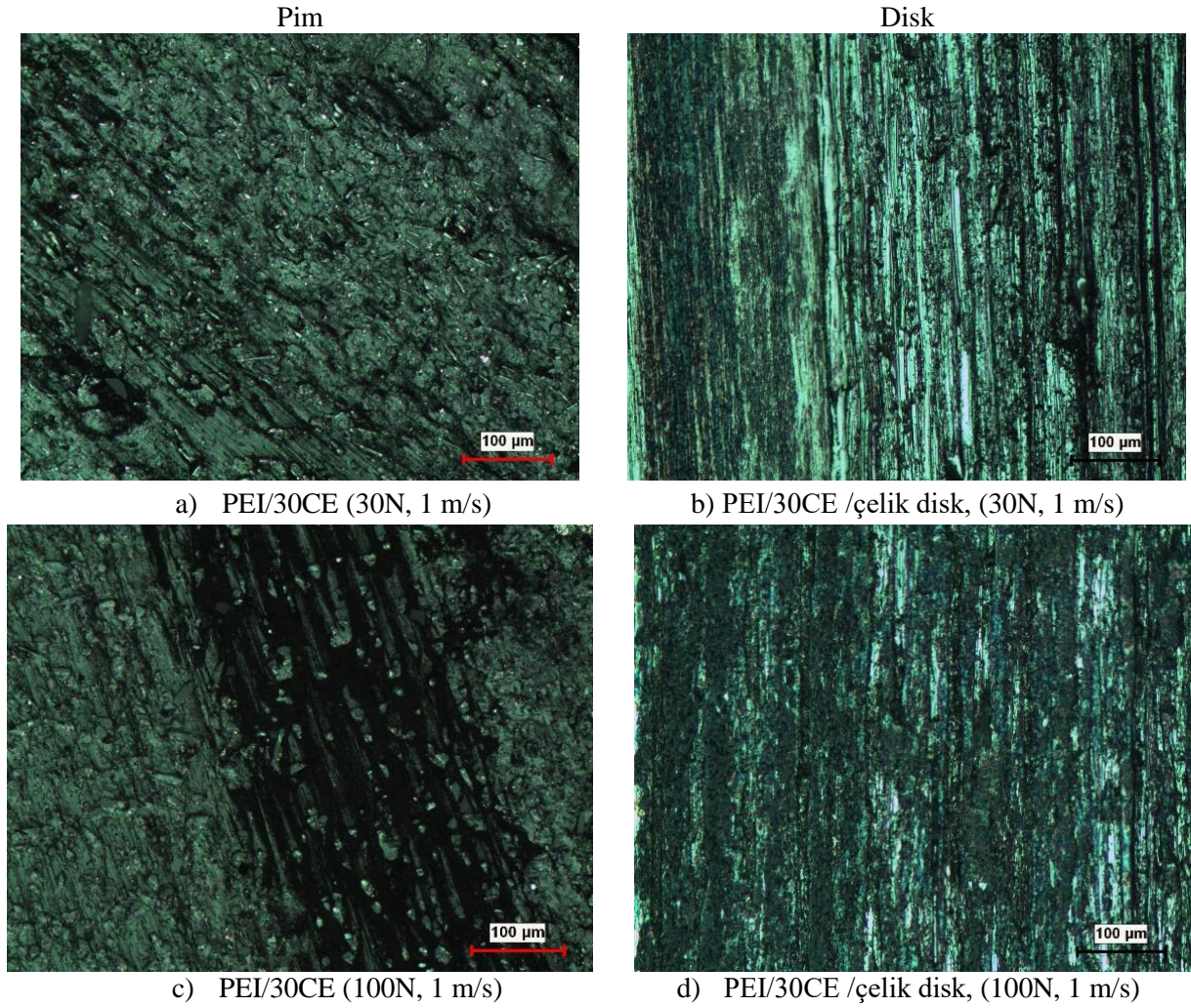
Şekil 5. Saf PEI Polimeri ve PEI/30CE Kompozitin Farklı Yükler Altındaki Aşınma Oranı Değişimi

Şekil 6'da saf PEI polimerinin 30N ve 100N aşındırma yükleri altında yapılan deneylerden elde edilen pim ve disk yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Saf PEI polimerin aşınan pim yüzeyleri incelendiğinde (Şekil 6a ve c) hem 30N ve hem de 100N aşındırma yüklerinde pim yüzeylerinde kayma yönünde derin aşınma izlerinin olduğu görülmektedir. Buradan aşınmanın şiddetli ve abrazif aşınma şeklinde olduğu söylenebilir. Bu durumu Şekil 6b'deki disk yüzeyinde kopmuş olarak görülen polimer parçacıkları desteklemektedir. Disk yüzeylerinin optik mikroskop görüntülerine bakıldığında (Şekil 6b ve 6d) aşınma sırasında kısmi olarak ince bir film tabakasının oluştuğu ifade edilebilir. Ancak oluşan film tabakasının çok az ve yetersiz olduğu da açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum kayma yolu boyunca aşınmanın etkin bir şekilde devam etmesine neden olmuştur. Şekil 7'de PEI/30CE kompozitin 30N ve 100N aşındırma yükü altında yapılan deneylerden elde edilen pim ve disk yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri yer almaktadır. Aşınma pim yüzey görüntüleri (Şekil 7a ve 7c) incelendiğinde ana matrise ilave edilen kısa cam fiberlerden dolayı aşınma yüzeylerinin daha düzgün olduğu söylenebilir. Ayrıca kopan polimer parçacıklarının pim yüzeylerine tekrar yapıştığı görülmektedir. Optik mikroskoptan elde edilen disk yüzey (Şekil 7b ve d) görüntüleri doğrultusunda hem 30N hem de 100N yüklerde aşınma sırasında disk yüzeyinde etkin bir film tabakasının oluştuğu söylenebilir. Bu film tabakası ve sert cam fiberler sayesinde PEI/30CE'nin aşınma oranı saf PEI polimerine göre önemli oranda azalmıştır. Bu sayede adhezif ve abrazif aşınmanın birlikte etkin olduğu söylenebilir. Disk yüzeyindeki film tabakasının oluşumuna PEI içerisine ilave edilen kısa cam fiberlerin önemli oranda katkı

sağladığı söylenebilir. Yani polimer matris ile çelik disk teması neticesinde aşınan polimer matris malzemeleri yada partiküller cam fiberler arasına girmekte ve yapışmaktadır. Li vd. (2013) ve Song vd. (2017) yaptıkları çalışmalarda polimer matris içerisine ilave edilen fiberlerin aşınma sırasında pimlerin yüzeyinde oluşacak muhtemel derin aşınma izlerinin azaltılmasında etkin olduklarını belirtmişlerdir. Matris içerisindeki fiberlere yakın yerlerde malzeme kaybının kesintiye uğrayarak etraflarında aşınma kalıntılarının birikerek aşınma yüzeyinde koruyucu film tabakasının oluşumunu teşvik ettiğini vurgulamışlardır. Yılmaz (2013) aşınma sırasında hem adhezif hem de abrazif aşınma mekanizmalarının etkisiyle açığa çıkan toz şeklinde aşınan partiküllerin numune ile aşındırıcı disk ara-yüzeyinde sürtünme sonucu ortaya çıkan ısı ile matris malzemesinin yumuşamasına neden olup toz şeklindeki aşınma kalıntılarının matris içerisine gömülmesiyle oluşan koruyucu tabakanın kompozit malzemelerin aşınma davranışını önemli ölçüde etkilediğini ifade etmiştir. Elde edilen görüntüler ve sonuçlar literatürle uyum göstermektedir.



Şekil 6. Saf PEI Polimerinin 30N ve 100N Aşındırma Yükleri Altında Yapılan Aşınma Deneylerinden Elde Edilen Pim ve Disk Yüzeylerinin Optik Mikroskop Görüntüleri. (Hız:1.0 m/s)



Şekil 7. 30N ve 100N Aşındırma Yükleri Altında Yapılan Aşınma Deneylerinden Elde Edilen PEI/30CE Kompozitinin Pim ve Disk Yüzeylerinin Optik Mikroskop Görüntüleri (Hız:1.0 m/s)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Saf PEI polimeri ile PEI/30CE kompozitin farklı yükler altındaki aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. PEI/30CE kompozitin sürtünme katsayısının saf PEI polimere kıyasla 30N yükte %25, 60N yükte %21 ve 100N yükte %22 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
2. Saf PEI polimerinin farklı aşındırma yükleri altındaki pim sıcaklığının 29.6°C - 43°C ve disk sıcaklığının 30.6°C - 44.2°C aralığında gözlemlenmiştir.
3. PEI/30CE kompozitin pim ve disk sıcaklıkları genel olarak saf PEI polimerine göre özellikle yüksek yükler altında (60N ve 100N) daha yüksek (7°C - 15°C aralığında) elde edilmiştir.
4. Saf PEI polimere kıyasla PEI/30CE kompozitin aşınma oranı yaklaşık %95 oranında azalmıştır.
5. Aşınmanın etkin olduğu uygulamalarda (özellikle gıda sektöründe) dişli malzemelerin imalatında kullanılması düşünüldüğünde servis ömrünün daha uzun olması açısından saf PEI polimer yerine %30 oranında kısa cam elyaf ile takviye edilmiş PEI polimer kompozitin tercih edilmesi önerilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, desteklerinden dolayı Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (Proje No: 008-2020) teşekkürü bir borç bilir.

YAZARLARIN KATKISI

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKLAR

- Cai, C. L. (2011). Evaluation of the friction and wear properties of PEI composites filled with glass and carbon fiber. *Advanced Materials Research*, 299, 21-24. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.299-300.21>
- Chen, J., Guo, Q., Zhang, S., Wang, X., & Shao, X. (2012). Research on friction and wear behaviors of PEEK/PEI/PES plastics alloys under sliding contact condition. *Procedia Engineering*, 36, 285-291. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.03.042>
- Chen, J., Guo, Q., Zhao, Z., Shao, X., Wang, X., & Duan, C. (2013). Thermal, crystalline, and tribological properties of PEEK/PEI/PES plastics alloys. *Journal of applied polymer science*, 127(3), 2220-2226. <https://doi.org/10.1002/app.37923>
- Chou, T.W., McCullough, R.L., Pipes, R.B.: *Composites. Sci. Am.* 254, 193–203 (1986).
- Craver, C., & Carraher, C. (Eds.). (2000). *Applied polymer science: 21st century*. Elsevier.
- Demir, M. E., Çelik, Y. H., & Kılıçkap, E. (2019). Cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf cinsinin, yükün, kayma hızı ve mesafesinin abrazif aşınmaya etkisi. *Politeknik Dergisi*, 22(4), 811-817. <https://doi.org/10.2339/politeknik.429642>
- Demir, Z. (2006). Tribological Performance of Electrical Insulating Poly-ether-imide Polymers. *Science and Engineering of Composite Materials*, 13(1), 55-64. <https://doi.org/10.1515/SECM.2006.13.1.55>
- Feyzullahoğlu, E., & Recep, İ. (2018). Farklı Yük ve Hızlarda Cam Elyaf Takviyeli Polyester Kompozit Malzemelerin Aşınması. *El-Cezeri*, 5(1), 259-266. <https://doi.org/10.31202/ecjse.370504>
- Friedrich, K., & Almajid, A. A. (2013). Manufacturing aspects of advanced polymer composites for automotive applications. *Applied Composite Materials*, 20, 107-128. DOI 10.1007/s10443-012-9258-7
<https://www.Polymershapes.Com/Application/Gears/>
- Harsha, A. P., Wäsche, R., & Hartelt, M. (2017). Friction and wear studies of polyetherimide composites under oscillating sliding condition against steel cylinder. *Polymer Composites*, 38(1), 48-60. <https://doi.org/10.1002/pc.23559>
- Li E.Z., Xu B.S., Wang H.D., & Guo W.L. (2013). The tribological behaviour of glass fiber-reinforced poly-ether-ether-ketone composite under dry sliding and water lubrication. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 32(5) 318–329.
- Maslavi, A., Ünal H., & Kaştan, A. (2022). Saf ve Cam Elyaf Katkılı PEEK Polimerin Sürtünme ve Aşınma Performanslarına Yük ve Kayma Hızının Etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(4), 2437-2449. <https://doi.org/10.21597/jist.1131369>
- McKeen, L. W. (2016). Permeability properties of plastics and elastomers. *William Andrew*.
- Meng, Z., Wang, Y., Liu, H., & Yan, F. (2022). Carbon fiber modified by attapulgite for preparing ultra-high molecular weight polyethylene composite with enhanced thermal, mechanical, and tribological properties. *Polymers for Advanced Technologies*, 33(12), 4142-4151. <https://doi.org/10.1002/pat.5845>
- Mimaroglu, A., Ünal, H., & Arda, T. (2007). Friction and wear performance of pure and glass fibre reinforced poly-ether-imide on polymer and steel counter-face materials. *Wear*, 262(11-12), 1407-1413. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.01.015>

- Özer, H. (2015). Sürekli Cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi (Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye).
- Pemberton, R., Summerscales, J., & Graham-Jones, J. (Eds.). (2018). Marine composites: design and performance. Woodhead Publishing.
- Sathishkumar, T. P., Satheeshkumar, S., & Naveen, J. (2014). Glass fiber reinforced polymer composites—a review. *Journal of reinforced plastics and composites*, 33(13), 1258-1275. <https://doi.org/10.1177/0731684414530>
- Song J, Lioa Z., Shi H, Xiang D., Liu Y., Liu W., & Peng Z, 2017. Fretting wear study of peek-based composites for bio-implant application. *Tribology Letters*, 65:150. DOI 10.1007/s11249-017-0931-8
- Stuart, B. H. (1998). Tribological studies of poly (ether-ether-ketone) blends. *Tribology International*, 31(11), 647-651. [https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(98\)00090-5](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(98)00090-5)
- Tatlıdilli, A. (2020). Karbon elyaf dolgulu Poli-eter-imid kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu.
- Ünal, H., & Mimaroglu, A. (2012). Comparison of tribological performance of PEEK, UHMWPE, glass fiber reinforced PTFE and PTFE reinforced PEI composite materials under dry and lubricated conditions. *Journal of Polymer Engineering*, 32(6-7), 349-354. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2012-0052>
- Vina, J., Garcia, M. A., Castrillo, M. A., Vina, I., & Argüelles, A. (2008). Wear behaviour of a glass fiber reinforced PEI composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21(3), 279-286. <https://doi.org/10.1177/0892705708089481>
- Xian, G., & Zhang, Z. (2004). Effects of the combination of solid lubricants and short carbon fibers on the sliding performance of poly (ether imide) matrix composites. *Journal of applied polymer science*, 94(4), 1428-1434. <https://doi.org/10.1002/app.20980>
- Xian, G., & Zhang, Z. (2005). Sliding wear of poly-ether-imide matrix composites: I. Influence of short carbon fibre reinforcement. *Wear*, 258(5-6), 776-782. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.09.054>
- Yılmaz, M. (2013). Kompozitlerin kuru kaymadaki aşınma davranışlarının deneysel olarak araştırılması (Doktora tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yuan, J., Zhang, Z., Yang, M., Zhao, X., Wu, L., Li, P. & Liu, W. (2021). Combined effects of interface modification and micro-filler reinforcements on the thermal and tribological performances of fabric composites. *Friction*, 9, 1110-1126. <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0405-0>