



Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/nevbiltek>

Makale Doi: 10.17100/nevbiltek.633270



¹İndirgenmiş Grafen Oksit Katkılı UHMWPE Kompozitin Kuru ve Sulu Ortamlarda Aşınma Davranışlarının Karşılaştırılması

Alime ÇOLAK ¹, Ferda MİNDİVAN ^{1,2}, Meryem GÖKTAŞ ^{1,3}

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bilecik
ORCID ID:0000-0002-1311-8644

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Bilecik, Türkiye
ORCID ID:0000-0002-6046-2456

³ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Metalurji Programı, Bilecik, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-1583-8300

Öz

Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE), biyo-uyumluluğu ve mükemmel özellikleri nedeniyle kalça ve diz protezleri için en uygun malzemedir. Bu çalışmada, düşük yoğunluğa ve yağlayıcı özelliğe sahip olan grafen dolgu maddesi olarak kullanılmış ve kompozitin performansını güçlendirmek için UHMWPE matrisine ilave edilmiştir. Saf UHMWPE ve ağırlıkça % 0,5 indirgenmiş grafen oksit (CRGO) dolgulu kompozitin (CRGO / UHMWPE) aşınma davranışları kuru ve sulu ortamlarda incelenmiştir. UHMWPE ve CRGO sıvı faz ultrasonik dispersiyon ile karıştırıldıktan sonra kompozit örnekleri sıcak pres kalıplama ile üretilmiştir. FTIR analiz sonuçları, dolgu maddesi ile polimer matrisi arasında etkileşim olduğunu, XRD analizi UHMWPE' nin kristal yapısında meydana gelen değişimi, SEM-EDS elementel haritalama analizi sonuçları ise oksijenin polimer matrikste homojen bir şekilde dağıldığını göstermiştir. Kompozit örneğinin sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri CRGO ilavesiyle hem kuru hem de sulu ortamda azalmıştır. Çünkü hem grafen hem de saf suyun yağlayıcı özelliği, kompozit örneğinin sürtünme ve aşınma davranışını önemli ölçüde etkilemiştir. Kompozit numune için kuru kayma koşullarında plastik deformasyon ve yorulma aşınması baskınken, sulu ortamda adhezif aşınma izleri gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: UHMWPE kompozit, İndirgenmiş grafen oksit, Sürtünme, Aşınma mekanizmaları.

A Comparative Investigation of The Wear Behavior of Reduced Graphene Oxide Filled UHMWPE Composite Under Dry and Water Environments

Abstract

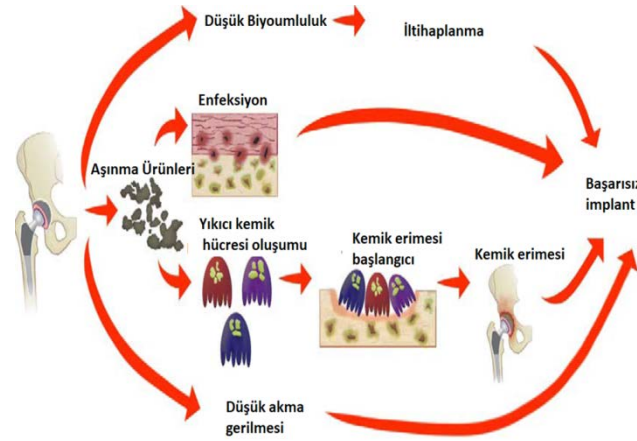
Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) is the most relevant materials for hip and knee replacements due to its bio-compatibility and excellent properties. In this study, graphene with its low density and lubricating properties was used as filler and was incorporated into UHMWPE matrix to strengthen the performance of composite. Wear behaviors of pure UHMWPE and composite (CRGO/UHMWPE) filled with 0,5 wt.% reduced graphene oxide (CRGO) under dry and distilled water environments were studied. UHMWPE and CRGO were mixed with the liquid phase ultrasonic dispersion and composite sample were produced by hot press molding. FTIR analysis results showed that there was interaction between the filler and polymer matrix, XRD analysis confirmed the modification of crystalline structure of UHMWPE and SEM-EDS elemental mapping results of composite indicated that oxygen was uniformly distributed in the polymer matrix. The coefficient of friction and wear rate of composite sample decreased under both dry and distilled water conditions by the addition of CRGO filler. Because lubrication capability of both graphene and distilled water had a significantly effect on friction and wear behavior of composite sample. Plastic deformation and fatigue wear were dominant for the composite sample under dry sliding but adhesive wear traces were observed under distilled water conditions.

Keywords: UHMWPE composite, Reduced graphene oxide, Friction, Wear mechanisms.

¹Bu çalışma "The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology (IMSMATEC)" adlı konferans da sunulmuştur.

1. Giriş

Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE), kimyasal inertlik, mükemmel darbe dayanımı ve diğer termoplastiklere göre düşük sürtünme katsayısı gibi üstün performans ve özelliklere sahip ticari polimerlerden biridir [1]. Kalça ve diz protezlerinde vazgeçilmez olan UHMWPE eklem yerlerindeki sıvı ortamlarda destek, hareket ve yatak görevi yapmaktadır [2]. Ancak UHMWPE' nin düşük yüzey sertliği ve elastik modülü nedeniyle uzun süreli işlemlerde aşınma sorunu ile karşılaşmaktadır [1]. UHMWPE aşınma ürünleri Şekil 1' de görüldüğü gibi vücutta enfeksiyona veya kemik erimesine neden olan hücre oluşumuna neden olmaktadır. Aynı zamanda düşük biyoyumluluğu iltihaplanmalara sebep olmakta ve düşük akma mukavemeti implantların ömrünü sınırlamaktadır [3]. Bu yüzden yapılan araştırmalarda UHMWPE' nin özelliklerini iyileştirmek için organik ve inorganik dolgu elemanları kullanılmış ancak henüz arzu edilen özellikler elde edilememiştir [4]. Bu çalışmada düşük yoğunluğu, yağlayıcı özelliği ve mükemmel mekanik özellikleri ile dikkat çeken grafen, dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Kuru ve sulu ortamda yapılan aşınma deney sonuçları grafen katkısının sürtünme katsayısını ve aşınma hızını azalttığını göstermiştir.



Şekil 1. UHMWPE Esaslı Kalça İmplantların Ömrünü Sınırlayan Mekanik, Tribolojik ve Biyolojik Özellikler [3]

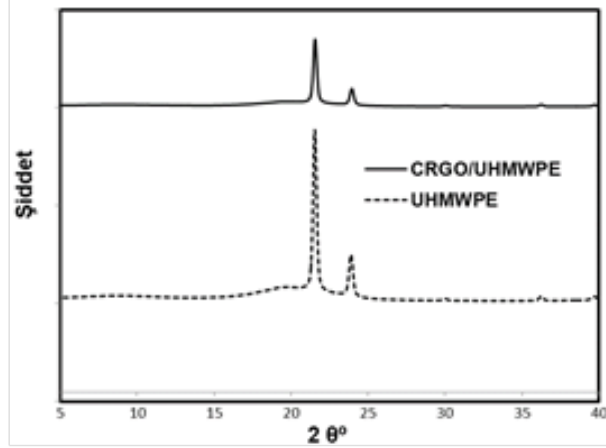
2. Yöntem ve Karakterizasyon

Hummers metoduna göre hazırlanan grafen oksit (GO) [5] tozundan kimyasal indirgeme yöntemi ile indirgenmiş grafen oksit (CRGO) elde edilmiştir. İndirgeme elemanı olarak c vitamini kullanılmıştır. CRGO hazırlamak için 1 g GO 500 mL saf suda ultrasonik prob yardımıyla dağıtılmıştır. Hazırlanan GO süspansiyonunun amonyak ile pH' sı ~ 10 ' a ayarlanmıştır. 1g c vitamini süspansiyona eklenerek 12 saat 98°C ' de geri soğutucu altında karıştırılmıştır. Karışım süzülüp, birkaç kez saf su ile yıkanmıştır ve 65°C ' de 12 saat kurutulmuştur [5]. Ağırlıkça % 0,5 CRGO içeren UHMWPE esaslı kompozit (CRGO/UHMWPE) önce kolloidal karıştırma ardından 10 MPa basınç altında, 185°C ' de 30 dakika süre ile preslenerek hazırlanmıştır. XRD ölçümleri Cu K α ($\lambda:1,5404$) radyasyon kaynaklı PAN analytical, Empyrean marka cihaz ile yapılmıştır. Ölçüm değerleri $2\theta=5^{\circ}-40^{\circ}$ tarama aralığında ve $2^{\circ}/\text{dk}$ ' lık tarama hızında elde edilmiştir. FTIR analizi $400-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığında Pelkin-Elmer Spectrum-One cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. UHMWPE ve kompozitin aşınma yüzey görüntüleri SEM, Supra 40VP, Zeiss cihazı ile incelenmiştir. Kompozit yapısının elementel analizi enerji dağılım X-ışınları spektroskopisi (EDS) ile incelenmiştir. Aşınma testi kuru ve sulu ortam koşulları altında, ileri-geri aşınma test cihazı kullanılarak, $1,7\text{ mm s}^{-1}$ kayma hızında, 10 mm çapındaki bir Al_2O_3 topu karşı malzeme olarak kullanılarak, 5 N' lik sabit bir yük altında ve kayma mesafesi 50 m seçilerek gerçekleştirilmiştir. Kuru ortamda yapılan testte ortam sıcaklığı yaklaşık 25°C ve bağıl nem yaklaşık $\%30 \pm 5$ olarak ölçülmüştür. Profilometre (SJ400) yardımı ile aşınma hızları, örneklerin yüzeylerinde oluşan aşınma izlerinin genişliği ve derinliği analiz edilerek hesaplanmıştır. Aşınma testlerinin ardından, Al_2O_3 karşı malzeme yüzeyleri aşınma mekanizmalarını açıklamak için optik mikroskop ile incelenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

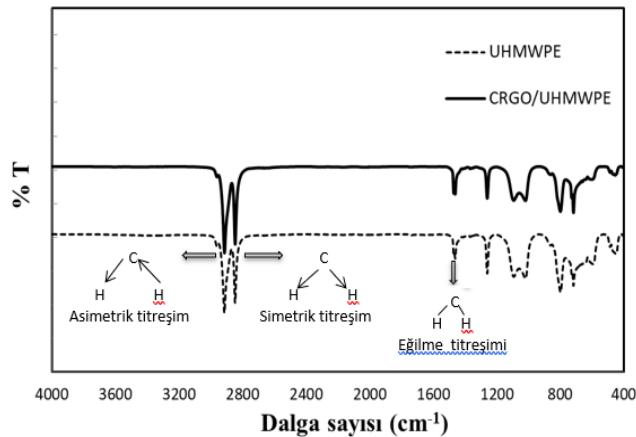
UHMWPE ve CRGO/UHMWPE kompozitin XRD difraktogramları Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2' de görüldüğü gibi UHMWPE' nin orthorombik yapısını yansıtan $2\theta=21,5$ derecede (110) ve $2\theta=23,8$ derecede (200) düzlemlerine ait pikler saf polimer için belirlenmiştir [6]. Ağırlıkça %0,5 CRGO içeren kompozit örneğinin ise hemen hemen aynı derece ve düzlemlerde görülen piklerin şiddetinin büyük ölçüde azaldığı görülmüştür. Ahmet vd.

UHMWPE/ yüksek yoğunluklu polietilen karışımına takviye elemanı olarak polietilen glikol ve hidroksi apatiti ilave ettikleri çalışmalarında, üretilen kompozitlerin saf UHMWPE' nin XRD difraktogramı ile karşılaştırdıklarında bu çalışma ile benzer şekilde pik şiddetlerinin azaldığını rapor etmişlerdir. Bu sonucu matriksin kristal yapısının modifiye olması ile açıklamışlardır [7]. Bahrami vd.' nin yaptıkları UHMWPE/GO nanokompozitin termomekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında da bu çalışmaya benzer şekilde kompozitlerin kristal pikleri dışında başka bir pikin difraktogramda görülmemesini GO' nun matriksde homojen şekilde dağılmasına, tabakaların tamamen eksfoliye olmasına atfetmişlerdir [8]. Yine benzer şekilde Pang vd.' nin yaptıkları GO dolgulı UHMWPE kompozitin aşınma özelliklerini inceledikleri çalışmalarında difraktogramda GO' ya ait bir pikin olmamasını GO' nun yapıda tamamen dağıldığını ve grafene ait düzenli yapının ortadan kalktığını rapor etmişlerdir [4]. Sonuç olarak bu çalışmada CRGO ilavesinin polimerin kristal yapısını değiştirdiği ve difraktogramda ilave bir pikin gözlenmemiş olması da dolgunun matriksde homojen dağıldığını göstermektedir.



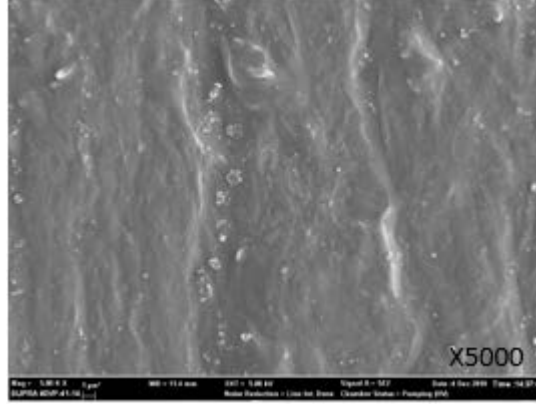
Şekil 2. UHMWPE ve Kompozitin XRD Difraktogramı

UHMWPE ve CRGO/UHMWPE kompozit örneğinin FTIR spektrumu Şekil 3'de verilmiştir. UHMWPE' nin FTIR spektrumunda 2915-2848 cm^{-1} dalga sayısında gözlenen iki keskin pik CH gerilme titreşimine aittir [9]. 1463 cm^{-1} ve 718 cm^{-1} dalga sayılarında görülen CH_2 eğilme ve sallanma titreşimlerine atfedilmektedir [10 ve 11]. 718 cm^{-1} dalga sayısında görülen CH_2 sallanma titreşim piki UHMWPE' nin uzun moleküler zinciri ve yüksek derecede polimerizasyonundan kaynaklanmaktadır [4]. Kompozitin FTIR spektrumuna bakıldığında yukarıda UHMWPE için verilen dalga sayılarında ki gerilme titreşimlerine ek olarak ve 1093 ve 1020 cm^{-1} dalga sayılarında diğer karbon bağlarına ait (C-O-C) piklerin şiddetinde de artışlar görülmektedir [12]. Bu durum CRGO' nun UHMWPE' nin moleküler yapısı üzerinde etkisi olduğunu yani dolgu-matriks etkileşiminin sağlandığını göstermektedir. Bu çalışma ile benzer şekilde Kandhol vd. poli vinilalkol ile indirgenmiş grafen oksitten (RGO) ürettikleri kompozitlerin FTIR analizinde, RGO' nun matrikse ilavesi sonucu bazı titreşim piklerinin şiddetlerinde azalma olduğunu rapor etmişlerdir. Bu durumu matriks dolgu etkileşimi sebebi ile mevcut bağların bozulup, yeni bağların kurulmasına atfetmişlerdir [13]. Ayrıca Wu vd.' nin PVC membranlar üzerine yaptıkları çalışmanın FTIR analizinde pik şiddetinde ki artışın, PVC ile üzerine modifiye etmeye çalışılan maddenin etkileşiminin daha da artmasının sebep olduğu rapor edilmiştir [14]. Yani literatürde pik şiddetinde görülen artış ve azalmalar dolgu ve matriks etkileşiminin bir kanıtı olarak gösterilmektedir.

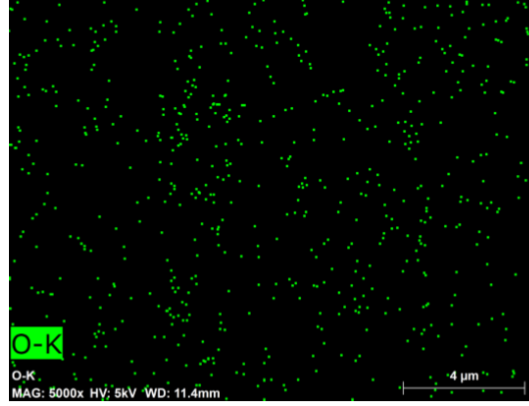


Şekil 3. UHMWPE ve Kompozitin FTIR Spektrumu

Şekil 4 kompozit örneğinin aşınma öncesi SEM yüzey görüntüsünü göstermektedir. Kompozit yüzeyi yapının kristallikliğini yansıtmaktadır [12]. Ayrıca oksijen içermeyen polimer matrikse oksijen içeren CRGO' nun dağılımının ayırt edilmesi için EDS haritalama analizi kullanılmış ve analiz sonucu Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekil 5'de yeşil renk ile gösterilen görüntü oksijen elementinin matrikste homojen dağılımını göstermektedir. Bu sonuçlar XRD analiz sonuçları ile de uyumludur.



Şekil 4. Kompozit Örneğinin SEM Yüzey Görüntüsü

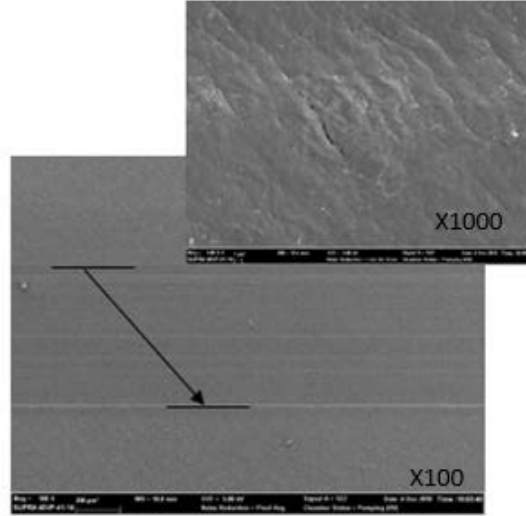
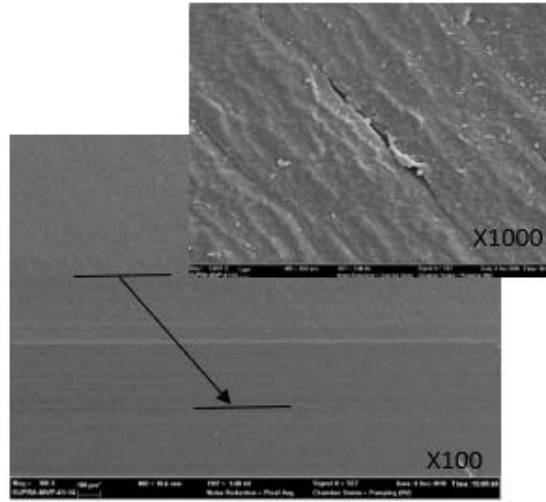


Şekil 5. Kompozit Örneğinin EDS Haritalama Analizi

UHMWPE' nin kuru ve saf su ortamlarında yapılan aşınma test sonuçlarından elde edilen sürtünme katsayısı ve aşınma hızları değerleri Tablo 1' de verilmiştir. Katkısız polimerin kuru ve sulu ortam koşullarında sürtünme katsayısı ve aşınma hızları değerleri karşılaştırıldığında saf suyun yağlayıcı etkisinden dolayı sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri kuru ortam koşullarına göre azalmıştır [15]. UHMWPE' nin aşınma sonrası düşük ve yüksek büyütmede yüzey görüntüleri kuru ve saf su ortamlarında Şekil 6 ve 7'de sırasıyla verilmiştir. Düşük büyütmede kuru ortamda aşınma izi sulu ortama göre daha küçüktür. Yüksek büyütmede aşınma yüzey görüntüleri incelendiğinde ise, kuru ortamda yorulma aşınmasını gösteren çatlaklar mevcuttur. Sulu ortamda ise aşınma debrisleri ve bu debrislerin üçüncü bir aşındırıcı olarak davranması sonucunda yorulma aşınmasını gösteren kuru ortama göre daha uzun bir çatlak mevcuttur. Chang vd. UHMWPE' in sulu ortamda yaptıkları aşınma testi sonucunda aşınma yüzeyinde oluşan ince su filminin ortaya çıkan debrislerden ve çok miktarda aspiritelerden dolayı zarar gördüğünü, bu yüzden sürtünme katsayısının azaldığını rapor etmişlerdir [16]. Ancak Guezmil vd. UHMWPE' in tribolojik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında oluşan debrislerin karşı malzemeye taşınmasından dolayı test sırasında oluşan çatlaklara ortaya çıkan debrislerin yerleştiği ve bu sonuçların kuru aşınmada ortaya çıkan sıcaklık artışı ile oluşan plastik deformasyon ile de ilgili olduğunu aşınma bölgesi görüntüleri ile de göstermişlerdir [17]. Bu çalışmada saf su ortamında kompozit örneğinin daha fazla yorulma aşınmasına uğradığını gösteren çatlakın büyüklüğü, test sırasında örnek üzerinde saf su filminin zarar görmesinden ziyade, aşınma testi sırasında karşı malzemeye yapışan debrislerin oluşan çatlakla dolmasından kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir. Çünkü bu çalışmada saf suyun yağlayıcı etkisi sürtünme katsayısını azaltmıştır. Plastik deformasyon izleri ise saf su ortamında yapılan testte oldukça az görünmesine rağmen kuru ortamda daha fazla plastik deformasyon izleri mevcuttur. Bu durum suyun sürtünme sırasında oluşan ısıyı engellemesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 1. UHMWPE' nin Farklı Ortamlarda Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Hızı Değerleri

Sürtünme Katsayısı		Aşınma Hızı (mm^3/Nm)
Kuru	0,098	$6,5 \cdot 10^{-5}$
Saf su	0,089	$5,6 \cdot 10^{-5}$

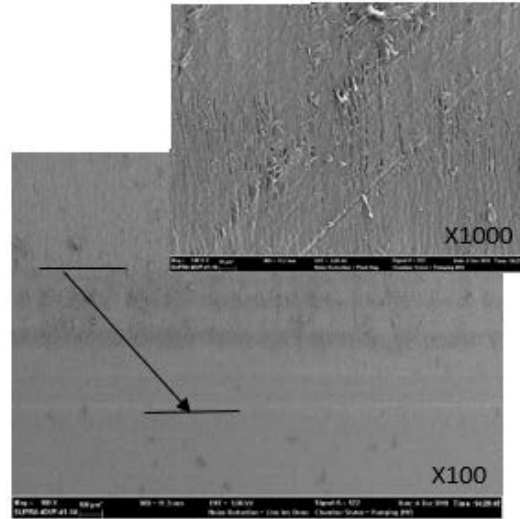
**Şekil 6.** UHMWPE' nin Kuru Ortamda Aşınma Yüzey Görüntüsü**Şekil 7.** UHMWPE' nin Sulu Ortamda Aşınma Yüzey Görüntüsü

Kompozit örneğinin kuru ve saf su ortamında yapılan aşınma test sonuçları Tablo 2' de, SEM ile çekilen aşınma yüzey görüntüleri Şekil 8 ve 9' da karşı malzemenin optik mikroskop ile çekilen yüzey görüntüleri ise sırasıyla Şekil 10 ve 11' de verilmiştir. Kompozit örneğinin kuru ortamda sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri saf su ortamında yapılan aşınma deney sonuçları ile karşılaştırıldığında Tablo 2' den görüldüğü gibi azalmıştır. Bu durum hem grafenin hem de saf su ortamının yağlayıcı etkisinden kaynaklanmaktadır [15].

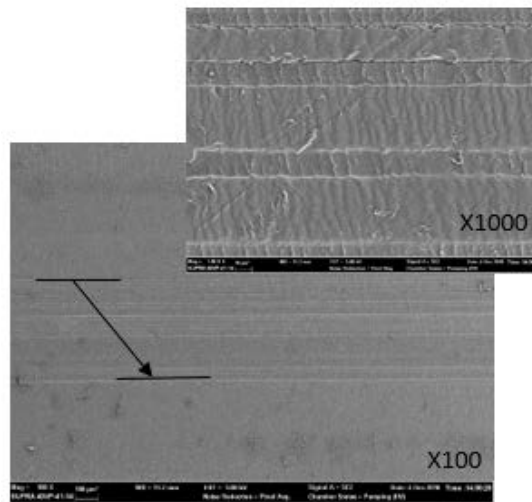
Tablo 2. Kompozit Örneğinin Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Hızı Değerleri
CRGO/UHMWPE

	Sürtünme Katsayısı	Aşınma Hızı (mm ³ /Nm)
Kuru	0,064	5,1.10 ⁻⁵
Saf su	0,032	3,8.10 ⁻⁵

Ayrıca aşınma sonrası yüzey görüntüleri sulu ortamda aşınma iz genişliğinin kuru ortama göre büyük oranda azaldığını göstermektedir. Yüksek büyütme görüntüleri bakıldığında kuru ortamda yorulma aşınmasını gösteren (Şekil 8) delaminasyonlar mevcuttur. Sulu ortamda ise yorulma aşınmasını gösteren izlerin azaldığı ancak adhezif aşınma izlerinin de olduğu Şekil 9’ dan görülmektedir. Bu durum grafen ilavesinin kompozitin aşınma sonuçları ve mekanizması üzerinde büyük bir etki yarattığını göstermektedir. Sürtünme katsayısında ve aşınma hızlarında görülen ciddi azalma ve SEM görüntülerinde görülen yorulma aşınmasında ki azalma hem grafenin hem de saf su ortamının yağlayıcı özelliğinden kaynaklanmaktadır [15].



Şekil 8. Kompozit Örneğinin Kuru Ortam Aşınma Yüzey Görüntüsü



Şekil 9. Kompozit Örneğinin Sulu Ortamda Aşınma Yüzey Görüntüsü

Kuru ortamda yapılan aşınma testi sonucunda karşı malzeme yüzeyine yapışan parçaların (Şekil 10) sulu ortama göre (Şekil 11) çok daha fazla olduğu optik mikroskop görüntülerinden anlaşılmaktadır. Bu görüntüler kuru ortamda daha şiddetli plastik deformasyona sebep olan aşınmanın gerçekleştiğini kanıtlamıştır.



Şekil 10. Kompozit Örneğinin Kuru Ortamda Aşınma Sonucu Karşı Malzemenin Optik Mikroskop Görüntüsü



Şekil 11. Kompozit Örneğinin Sulu Ortamda Aşınma Sonucu Karşı Malzemenin Optik Mikroskop Görüntüsü

4. Sonuçlar

Katkısız UHMWPE ve CRGO/UHMWPE kompozitin kuru ve saf su ortamlarında aşınma davranışlarını incelemek için yapılan bu çalışma sonucunda aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir.

- XRD analiz sonuçları, CRGO ilavesinin UHMWPE' nin kristal yapısını değiştirdiği ve polimer matriksde homojen dağıldığını göstermiştir.
- FTIR analizi ile CRGO' nun UHMWPE' nin moleküler yapısını etkilediği yani dolgu-matriks etkileşiminin sağlandığı sonucu ortaya çıkmıştır.
- Kompozit örneğinin aşınma öncesi SEM yüzey görüntüsünü ile yapının kristallliği ve CRGO' nun dağılımının gözlenmesi için kullanılan EDS haritalama analizi ile de oksijen içeren dolgunun matriksde homojen dağılımı açıkça gözlenmiştir.
- CRGO içeren kompozitin sulu ortamda gerçekleştirilen aşınma testi sonucunda en düşük sürtünme katsayısı, aşınma hızı değerleri ve aşınma iz genişliği görüntüsü elde edilmiştir. Bu duruma hem grafenin hem suyun yağlayıcı etkisi sebep olmuştur.
- Kompozit örneğinin aşınma sonrası yüzey görüntüleri kuru ortamda yorulma aşınmasını gösteren delaminasyonlar açıkça göstermiştir. Sulu ortamda ise aşınma mekanizması adhezif aşınmaya dönüşmüştür.
- Kompozit örneğinin kuru ortamda aşınma sonrası karşı malzemede görülen kalıntı miktarının sulu ortama göre oldukça fazla olması aşınma test sonuçları ile birbirini desteklemiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma "C Vitamini kullanılarak İndirgenmiş Grafen Oksit (RGOC) Katkılı Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE) Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu" adlı tezden türetilmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] Sánchez-Sánchez, X., Elias-Zuñiga, A., Hernández-Avila, M., “Processing of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene/Graphite Composites by Ultrasonic Injection Moulding: Taguchi Optimization”, *Ultrasonics – Sonochemistry*, 44, 350–358, 2018.
- [2] Tai, Z., Chen, Y., An, Y., Yan, X., Xue, Q., “Tribological Behavior of UHMWPE Reinforced With Graphene Oxide Nanosheets”, *Tribology Letters*, 46, 1, 55–63, 2012.
- [3] Salari, M., Taromsari, S. M., Bagheri, R., Faghihi Sani, M. A., “Improved Wear, Mechanical, and Biological Behavior of UHMWPE-HAP-Zirconia Hybrid Nanocomposites With a Prospective Application in Total Hip Joint Replacement”, *Journal of Materials Science*, 5, 54, 4259–4276, 2009.
- [4] Pang, W., Ni, Z., Chen, G., Huang, G., Huang, H., Zhao, Y., “Mechanical and Thermal Properties of Graphene Oxide/Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Nanocomposites”, *RSC Advances*, 5, 77, 63063-63072, 2015.
- [5] Mindivan, F., Goktas, M., Green Synthesis of Reduced Graphene Oxide (RGNO) / Polyvinylchloride (PVC) Composites and Their Structural Characterization, *Materials Research Proceedings*, 8, 143-151, 2018.
- [6] Mohammed, A. S., Ali, A., Nesar, M., “Evaluation of Tribological Properties of Organoclay Reinforced UHMWPE Nanocomposites”, *Journal of Tribology*, 139, 1-6, 2017.
- [7] Ahmad, M., Uzir Wahit, M., Rafiq Abdul Kadir, M., Zaman Mohd Dahlan, K., “Mechanical, Rheological, and Bioactivity Properties of Ultra High-Molecular-Weight Polyethylene Bioactive Composites Containing Polyethylene Glycol and Hydroxyapatite”, *The Scientific World Journal*, 2012, 1-13, 2012.
- [8] Bahrami, H., Ramazani S. A., A., Kheradmand, A., Shafiee, M., Baniasadi, H., “Investigation of Thermomechanical Properties of UHMWPE/Graphene Oxide Nanocomposites Prepared by In Situ Ziegler-Natta Polymerization”, *Advances in Polymer Technology*, 0, 1-7, 2015.
- [9] Peng Chang, B., Akil, H. Md., Nasir, R. Bt., Khan, A., “Optimization on Wear Performance of UHMWPE Composites Using Response Surface Methodology”, *Tribology International*, 88, 252–262, 2015.
- [10] Lusitâneo Pier Macuvele, D., Collaa, G., Cescaa, K., Ribeiroa, L.F.B., Costad, C.E., Nonesa, J., Breitenbachd, E.R., Portoa, L.M., Soaresa, C., Antônio Fioric, M., Gracher Riellaa, H., “UHMWPE/HA Biocomposite Compatibilized by Organophilic Montmorillonite: An evaluation of The Mechanical-Tribological Properties and Its Hemocompatibility and Performance in Simulated Blood Fluid”, *Materials Science & Engineering C*, 100, 411–423, 2019.
- [11] Meng, L., Li, W., Ma, R., Huang, M., Wang, J., Luo, Y., Wang, J., Xia, K., “Long UHMWPE Fibers Reinforced Rigid Polyurethane Composites: An Investigation in Mechanical Properties”, *European Polymer Journal*, 105, 55–60, 2018.
- [12] Pang, W., Ni, Z., Wu, J., Zhao, Y., “Investigation of Tribological Properties of Graphene Oxide Reinforced Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Under Artificial Seawater Lubricating Condition”, *Applied Surface Science*, 434, 273–282, 2018.
- [13] Kandhol, G., Wadhwa, H., Chand, S., Mahendia, S., Kumar, S. “Study of dielectric relaxation behavior of composites of Poly (vinyl alcohol) (PVA) and Reduced graphene oxide (RGO)”, *Vacuum*, 160, 384-393, 2019.
- [14] Wu, H., Li, T., Liu, B., Chen, C., Wang, S., Crittenden, J. C., “Blended PVC/PVC-g-PEGMA ultrafiltration membranes with enhanced performance and antifouling properties”, *Applied Surface Science*, 455, 987-996, 2018.
- [15] Golchin, A., Wikner, A., Emami, N., “An Investigation into Tribological Behaviour of Multi-Walled Carbon Nanotube/Graphene Oxide Reinforced UHMWPE in Water Lubricated Contacts”, *Tribology International*, 95, 156–161, 2016.
- [16] Chang, T., Yuan, C., Guo, Z., “Tribological Behavior of Aged UHMWPE Under Water-Lubricated Condition”, *Tribology International*, 1-24, 2018.
- [17] Guezmil, M., Bensalah, W., Mezlini, S., “Effect of Bio-Lubrication on The Tribological Behavior of UHMWPE Against M30NW Stainless Steel”, *Tribology International*, 94, 550–559, 2016.

Extended Abstract

Introduction

Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) is the most relevant materials for total hip and knee replacements due to its bio-compatibility, excellent chemical stability, impact strength, wear resistance, low friction and good self-lubricating property. However, owing to the low hardness and Young's modulus, poor wear resistance of unfilled UHMWPE the use of polymer has been limited. One way to improve these disadvantageous properties of unfilled UHMWPE is the use of fillers. In this study, graphene with its low density, lubricating properties and excellent mechanical properties was used as filler. Also, the influence of incorporating the filler and their interaction on tribological behavior of UHMWPE composite in dry and distilled water lubricated sliding contacts was investigated.

Method

Graphene oxide (GO) was synthesized from graphite by Hummers method. The synthesized GO was reduced with vitamin C, a natural antioxidant, to obtain reduced graphene oxide (CRGO). UHMWPE and CRGO were mixed with the liquid phase dispersion and then the dried composite powder mixture was molded by hot-pressing at 180°C under a 10 MPa pressure and holding at this pressure for 30 min. In order to investigate the effects of CRGO content on the tribological properties of the composite with 0,5 wt.% CRGO, CRGO/UHMWPE composite were prepared.

Results and Discussion

FTIR results showed that there was interaction between the CRGO and UHMWPE. XRD analysis confirmed homogenous dispersion of the CRGO in the polymer matrix and the modification of crystalline structure of UHMWPE. The SEM-EDS elemental mapping of composite indicated that oxygen was uniformly distributed in the composite matrix. The friction coefficient and wear rate of composite were greatly reduced by the addition of CRGO filler under distilled water lubrication condition. Because lubrication capability of both graphene and distilled water had a significantly effect. Under the distilled water lubrication condition, the wear mechanism appeared to be adhesive wear, while in the dry sliding condition fatigue wear predominated.

Conclusion

As one of the most important graphene derivatives, CRGO with excellent mechanical strength and lubricity was incorporated into UHMWPE matrix to strengthen the performance of composite. This article gave a characterization to investigate the tribological behaviors of CRGO/UHMWPE composite under different friction conditions including both of dry sliding and distilled water lubrication. The friction coefficient and wear rate of the composite reduced under different friction conditions compared unfilled UHMWPE. The tribological behavior of the CRGO/UHMWPE composite transformed from fatigue wear to adhesive wear associated with the lubricating action of the graphene filler in water lubricated sliding contacts.