

**Atf İçin:** Kaya, Ö.A., Taşdemir, M., Çıtak, T., Tozkoparan, S. ve Birol, F. (2023). Bakır Alaşım Takviyesinin Polietilen ve Polipropilen Polimerlerinin Mekanik ve Mikrobiyal Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1275-1286.

**To Cite:** Kaya, Ö.A., Taşdemir, M., Çıtak, T., Tozkoparan, S. & Birol, F. (2023). Investigation of the Effect of Copper Alloy Reinforcement on Mechanical and Microbial Properties of Polyethylene and Polypropylene Polymers *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1275-1286.

**Bakır Alaşım Takviyesinin Polietilen ve Polipropilen Polimerlerinin Mekanik ve Mikrobiyal Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi**

Ömer Alparslan KAYA<sup>1,2</sup>, Münir TAŞDEMİR<sup>3\*</sup>, Talip ÇITAK<sup>2</sup>, Serdar TOZKOPARAN<sup>2</sup>, Feriha BİROL<sup>2</sup>

**Öne Çıkanlar:**

- Polimer kompozit
- Bakır alaşımı
- Mikrobiyal etki

**ÖZET:**

Polimer malzemeler kolay şekillendirilmeleri, geri dönüşümleri, yeniden kullanımları ve güçlü karakteristik özellikleri ile uygun maliyetli olmaları nedenleriyle otomotiv, makine, havacılık ve medikal gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Polimer malzemelerin termal, mekanik ve elektriksel iletkenlik gibi özellikleri, bu malzemelerin polimer-metal, polimer-polimer, polimer-lif kompozitleri olarak kullanılmasıyla geliştirilmiştir. Bu polimer kompozitleri birçok özel uygulamada kullanılmak için tercih edilir. Bakır ve gümüş gibi metaller, antibakteriyel özelliklere sahip metaller olarak bilinir. Bu nedenle çeşitli antibakteriyel uygulamalarda kullanılırlar. Bununla birlikte, bu metallerin nispeten yüksek maliyeti kullanımlarını sınırlar. Bu çalışmada, sağlık sektöründe yaygın olarak kullanılan Polietilen ve Polipropilen matrisin mekanik ve antibakteriyel özelliklerine belirli oranlarda bakır alaşımli tozların eklenmesinin etkisi araştırılmıştır. Matris olarak polietilen ve polipropilen kullanılmıştır. Takviye bakır alaşım bakır-krom-zirkonyum (CuCrZr) toz partikülleri ağırlıkça %0.5-1-3 ve 5 oranında eklenmiştir. Malzemeler çift vidalı ekstrüderde karıştırılarak granül haline getirilmiştir. Daha sonra enjeksiyon makinası ile test numuneleri basılmıştır. Kalıplanan numunelere; çekme, sertlik, darbe, yoğunluk ve antimikrobiyal testler yapılmıştır. Testlerin sonuçları incelenerek bakır alaşım miktarının polietilen ve polipropilen üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:**

- Polietilen
- Polipropilen
- Bakır tozu
- Antimikrobiyal etki

**Investigation of the Effect of Copper Alloy Reinforcement on Mechanical and Microbial Properties of Polyethylene and Polypropylene Polymers**

**Highlights:**

- Polymer composites
- Copper alloy
- Microbial effect

**ABSTRACT:**

Polymer materials are used in many sectors such as automotive, machinery, aviation and medical due to their easy forming, recycling, reuse and strong characteristic properties with their affordable cost. The properties of polymer materials such as thermal, mechanical and electrical conductivity can be improved by using these materials as polymer-metal, polymer-polymer, polymer-fiber composites. This makes polymer composites the preferred material for many specific applications. Metals such as copper and silver are known as metals with antibacterial properties. Therefore, they are used in various antibacterial applications. However, the relatively high cost of these metals limits their use. In this study, the effect of the addition of some copper alloy powders in specific ratios to the antibacterial properties of Polyethylene and Polypropylene matrix, which are used extensively in the health sector, was investigated. Polyethylene and polypropylene were used as matrix materials. Reinforced copper alloy copper-chrome-zirconium (CuCrZr) powder particles were added at a rate of 0.5-1-3 and 5% by machine. Molded samples; Tensile, hardness, impact, density and antimicrobial tests were performed. The results of the tests were examined and the effects of copper alloy amount on polyethylene and polypropylene were determined.

**Keywords:**

- Polyethylene
- Polypropylene
- Copper powder
- Antimicrobial effect

<sup>1,2</sup> Ömer Alparslan KAYA ([Orcid ID: 0000-0003-2070-2723](https://orcid.org/0000-0003-2070-2723)), Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722 İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Talip ÇITAK ([Orcid ID: 0000-0002-5964-5423](https://orcid.org/0000-0002-5964-5423)), Sağlam Metal San. ve Tic. A.Ş., Kocaeli, 41420 İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Serdar TOZKOPARAN ([Orcid ID: 0000-0003-1947-1948](https://orcid.org/0000-0003-1947-1948)), Sağlam Metal San. ve Tic. A.Ş., Kocaeli, 41420 İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Feriha BİROL ([Orcid ID: 0000-0003-0531-6015](https://orcid.org/0000-0003-0531-6015)), Sağlam Metal San. ve Tic. A.Ş., Kocaeli, 41420 İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup> Münir TAŞDEMİR ([Orcid ID: 0000-0001-8635-7251](https://orcid.org/0000-0001-8635-7251)), Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 34722 İstanbul, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Münir TAŞDEMİR, e-mail: munir@marmara.edu.tr

## GİRİŞ

Artan nüfus ve ihtiyaçlar nedeniyle endüstriyel ürünlerin kullanımı da artmaktadır. Endüstriyel ürünler birçok sektörde (havacılık, otomotiv, makine, medikal, ambalaj, beyaz eşya) insanlığa hizmet etmek ile birlikte artan ihtiyaçlar gelişen teknolojiye alternatif ürünlerin geliştirmesine yol açmasına sebep oldu. Polimer malzemeler özellikle üretim kolaylığı ve tekrar kullanımının mümkün olması ve üretim maliyetlerinin düşük olması nedenleriyle tercih edilmektedir. Ancak polimerik malzemeler mekanik ve fiziksel özellikleri sebebiyle yetersizlik göstermektedir. Polimer ürünlerin karakteristik özelliklerini geliştirmek için çeşitli metal, seramik, lif vb. malzemeler ile ilave yaparak kompozit ürünler geliştirilmektedir. Bu sayede servis şartlarının ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir (Berlin ve ark., 1986; Rusu ve ark., 2001; Zhu ve ark., 2003; Cheang ve ark., 2003; Brostow ve ark., 2008).

Metal-polimer kompozitler, polimer matris içerisine metal toz ilavesi ile servis şartlarında istenilen özellikler elde edilmesini sağlar (Paharenko ve ark., 1986; Kilik ve ark., 1989; Rusu ve ark., 2001). İlave malzemenin matris özelliklerinin paslanmazlık, dayanıklılık, sertlik, mikrobiyal davranış gibi özellikleri için uygulama alanlarında kullanımı mümkün kılmaktadır (Tavman 1997; Rusu ve ark., 1999; Kuleznev ve ark., 2013; Prorokova ve ark., 2014.). İlave malzemenin hacimsel oranı, partikül şekli yani toz, parçacık veya lif halinde olması mekanik özelliklerini etkiler (Mamunya ve ark., 2004). N. P. Prorokova ve arkadaşları polietilene farklı metal tozları ilave ettiklerinde polimer kompozitinin mekanik özelliklerinin değiştiğini tespit etmişlerdir (Prorokova ve ark., 2014). M. Taşdemir ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada polistiren içerisine hacimce %5-10 ve 15 oranlarında demir tozları ilave ederek bir polimer kompoziti elde etmişler ve bu kompozitinin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Demir tozu oranının artmasıyla sertlik ve erime akış indeksi değerlerinin yükseldiğini buna karşılık çekme ve akma mukavemeti, % uzama, darbe değerlerinin ise düştüğünü belirlemişlerdir (Taşdemir ve ark., 2006). Yazarlar bir diğer çalışmada ise HDPE, PP ve PS içerisine kattıkları demir tozlarının ilavesi yapmışlar ve demir tozu oranının artmasıyla sertlik ve erime akış indeksi değerlerinin yükseldiğini buna karşılık çekme ve akma mukavemeti, % uzama, darbe değerlerinin ise düştüğünü belirlemişlerdir (Taşdemir ve ark., 2008).

H.Ö.Gülsoy ve arkadaşları polipropilen içerisine demir tozları katarak elde ettikleri polimer kompozitinde demir tozlarının oranının artmasıyla Akma ve çekme mukavemeti ve %uzama değerlerinin düştüğünü buna karşılık sertlik değerlerinin ise arttığını belirlemişlerdir (Gülsoy ve ark., 2007). Yine H.Ö.Gülsoy ve arkadaşları akrilonitril bütadien stiren polimerine bronz tozları katarak elde ettikleri polimer kompozitinde, bronz tozlarının ilavesiyle erime akış indeksi, akma ve çekme mukavemeti,% uzama ve darbe mukavemeti değerlerinin düştüğünü buna karşılık sertlik değerinin ise arttığını tespit etmişlerdir (Gülsoy ve ark., 2007). Polimer içerisine metal toz ilavesi anti-mikrobiyal malzeme üretiminin bir yoludur. Bu yöntem ile metal iyon salınımı ile elde edilen kompozit ürününde iyon salınımı sağlanması ile anti-mikrobiyal özellikler kazandırılmaktadır (Zhang ve ark., 2006; Kenawy ve ark., 2007; Damm ve ark., 2008). K. Delgado ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada polipropilen matris içerisine bakır oksit parçacıklar ilave edilerek E.coli bakterisine karşı mikrobiyal etkinlik testi sonuçları incelenerek elde edilen kompozitin 4 saat süre ile teması ile bakterilerin %95'ini öldürdüğünü belirlemişlerdir (Delgado ve ark., 2011). Rajeev Kumar Sharma ve arkadaşlarının ZnO partikül ekleyerek yaptıkları HDPE matris kompozitinin bakteri kültürü içerisindeki mikrobiyal etkinliği incelenmiş ve ZnO iyonlarının bakteri kültürünün azalmasına sebep olduğunu belirlemişlerdir (Sharma ve ark., 20126). Bu çalışmada endüstriyel olarak birçok malzemede kullanılan polietilen (PE) ve polipropilen (PP) polimerlerine anti-mikrobiyal etkinliğini artırmak için bakır tozu ilavesi 0.5-1-3 ve 5 oranlarında eklenerek mekanik özelliklerini kaybetmeden anti-mikrobiyal etkinlikleri incelenmiştir.

## MATERYAL VE METOT

### Kompozisyon Malzemeler

Toz halindeki bakır, polietilen ve polipropilen içerisine farklı oranlarda eklenerek 10 farklı grup hazırlanmıştır. Aşağıdaki Tablo 1’de elde edilen kompozitinin karışım oranları verilmiştir. Polietilen ve polipropilen malzemeler plaka halinde temin edilerek Ant Kalıp San. ve Tic. A.Ş.’de 1-5 mm ölçülerinde kırılmıştır. Bakır tozu CNPC Powder Group Co., Ltd. firmasından tedarik edilmiştir. Toz boyutu 15-53 mikrometre aralığında yoğunluğu ise  $5.3 \text{ g cm}^{-3}$  tür.

**Çizelge 1.** PE-PP/Cu polimer kompozitinin karışım oranları

Grup	Polietilen (%)	Polipropilen (%)	Bakır (%)
1	0	100	0
2	0	99.5	0.5
3	0	99	1
4	0	97	3
5	0	95	5
6	100	0	0
7	99.5	0	0.5
8	99	0	1
9	97	0	3
10	95	0	5

### Numune Hazırlama

Plaka halinde olan polietilen ve polipropilen ürünler kırma cihazı ile kırılarak 1-3 mm boyutlarına getirildi. Şekil 1’de numunelerin ekstrüzyon makinesinde karışımı ve Şekil 2’de ise enjeksiyon makinesinde kalıplanmasına ait fotoğraflar verilmiştir. Tozlar Yamato ADP-31 tipi fırında  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de 24 saat boyunca kurutulmuştur.



Polietilen granürü



Bakır tozu



Extrüzyon makinesi



PE/Bakır kompoziti

**Şekil 1.** Numunelerin ekstrüzyon makinesinde karıştırılması



Enjeksiyon makinesi



Test numuneleri

**Şekil 2.** Enjeksiyon makinesinde basılan test numuneleri

Ardından ağırlıkça Tablo 1’de belirtildiği oranlarda 50-100 mikron boyutundaki bakır tozları ile karıştırıldı. Numuneler Mikrosan marka ekstrüzyon makinesinde 25-35 bar basınçta, 25 dev dk<sup>-1</sup> hızda ve 200-240 °C sıcaklık aralığında eritilerek karışımları gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon sonrası granüller 105 °C’de 12 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma sonrası PE test numuneleri 200–240 °C ve PP test numuneleri 240-280 °C’de enjeksiyon makinesinde basılmıştır. Enjeksiyon basıncı 700-900 bar’dır. Vida dönme hızı ise 25 dev dk<sup>-1</sup> olarak alınmıştır

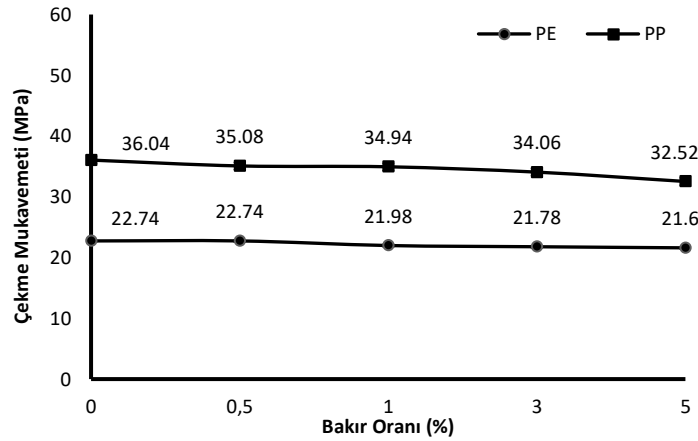
### Karakterizasyon

Mekanik özellikleri belirlemek için her grup için beş adet numune test edilmiş ve aritmetik ortalamaları verilmiştir. Çekme testleri Zwick Z010 test makinesi kullanılarak ASTM D638 standartlarına göre 50 mm/dak. çekme hızında ve 10 kN yük kapasitesine sahip cihaz kullanılmıştır. Çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması ve elastiklik modülü değerleri bu test yönteminden elde edilmiştir. Sertlik testi Zwick sertlik ölçüm cihazı ile ASTM D2240 yöntemine göre yapılmıştır. Çentikli Izod darbe testleri Zwick marka darbe test cihazı ile ASTM D256 yöntemine göre oda sıcaklığında yapılmıştır. Numunelerin yoğunlukları ISO 2781 test yöntemine göre yapılmıştır. Antibakteriyel etkinlik testi ISO 22196 standardına göre incelenmiştir.

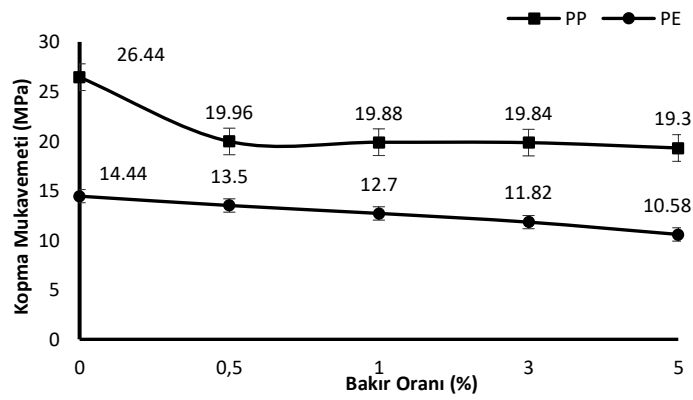
### BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 3’de çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde maksimum çekme mukavemeti değerlerinin saf PE ve PP’e ait numunelerde olduğu görülmektedir. Buna ek olarak bakır oranının artışı ile çekme mukavemeti değerlerinin bir miktar düştüğü görülmektedir. En yüksek çekme mukavemeti değeri 22.74 MPa ile saf PE’ye aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer 21.6 MPa’ya düştüğü görülmektedir. Saf PE’nin çekme mukavemeti değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %5 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. PP matrisine baktığımızda benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile çekme mukavemeti değerinin 32.52 MPa’ya düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda çekme mukavemeti değerinin %11 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bakır ilavesi çekme mukavemeti değerini hem PE’de hemde PP’de düşürdüğü görülmüştür. Ying Tang ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, düşük yoğunluklu polietilen matrisine bakır ilavesinin çekme mukavemeti değerini azalttığını tespit etmişlerdir (Tang ve ark., 2011). Li-Xia Hu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada da metal tozu ilavesinin polimer matrisin çekme mukavemetini değerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir (Hu ve ark., 2018).

Şekil 4 incelendiğinde maksimum kopma mukavemeti değerlerinin saf PE ve PP’e ait numunelerde olduğu görülmektedir. Bakır oranının artışı ile kopma mukavemeti değerleri düşmüştür. En yüksek kopma mukavemeti değeri 14.44 MPa ile saf PE’ye aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer 10.58 MPa’ya düştüğü görülmektedir. Saf PE’nin kopma mukavemeti değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %26 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. PP matrisine baktığımızda benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile kopma mukavemeti değerinin 19.3 MPa’ya düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda kopma mukavemeti değerinin %27 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ying Tang ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada düşük yoğunluklu polietilen içerisine bakır tozu katarak elde ettikleri kompozitin kopma mukavemeti değerinin azalttığını tespit etmişlerdir (Tang ve ark., 2011). Li-Xia Hu ve arkadaşlarının metal tozu ilaveli polimer matris matrisli kompozit numunelerde kopma mukavemetinin azaldığını belirlemişlerdir (Hu ve ark., 2018).



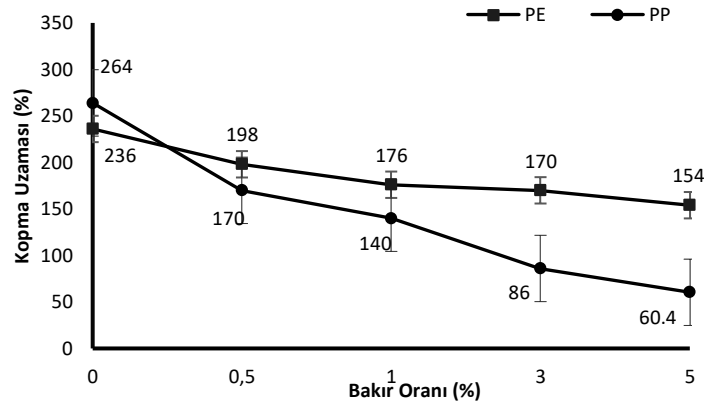
Şekil 3. PE-PP/Cu polimer kompozitinin çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 4. PE-PP/Cu polimer kompozitinin kopma mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi

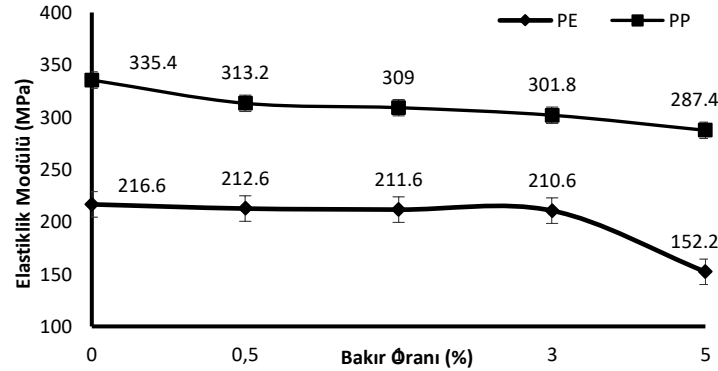
Şekil 5 incelendiğinde maksimum kopma uzaması değerlerinin saf PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. Bakır oranının artışı kopma uzaması değerlerini düşürmüştür. En yüksek kopma uzaması değeri %236 ile saf PE'e aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer %154'e düştüğü görülmektedir. Saf PE'nin kopma uzaması değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %35 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. PP matrise bakıldığında benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile kopma uzama değerinin %264'ten %60.4'e düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda kopma uzaması değerinin %77 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde maksimum elastiklik modülü değerlerinin saf PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. PE matris içerisinde bakır oranının artmasıyla elastiklik modülü değerleri düşmüştür. En yüksek elastiklik modülü değeri 216.6 MPa ile saf PE'e aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer 152.2 MPa'a düştüğü görülmektedir. Saf PE'nin elastiklik modülü değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %29 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. PE-PP/Cu polimer kompozitinin kopma uzaması değerleri

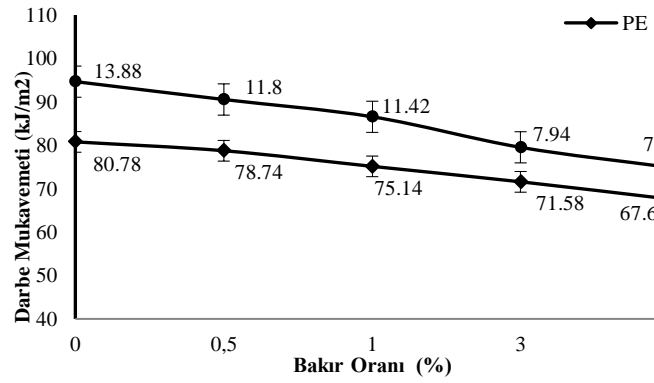
PP matrise bakıldığında benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile elastiklik modül değerinin 335.4 MPa'dan 287.4 MPa'a düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda elastiklik modül değerinin %14 oranında azaldığı tespit edilmiştir.



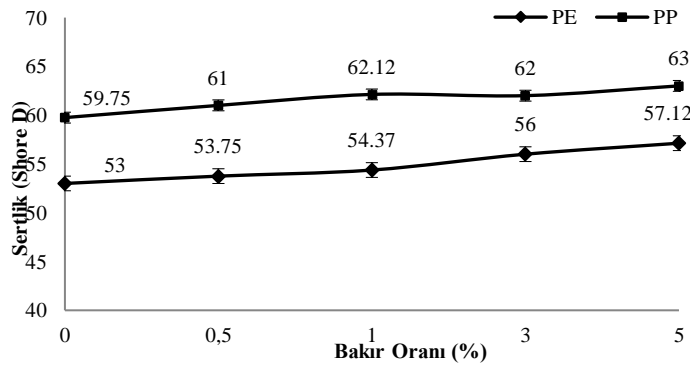
Şekil 6. PE-PP/Cu polimer kompozitinin elastiklik modülü değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 7 incelendiğinde maksimum darbe mukavemeti değerlerinin saf PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. PE matris içerisinde bakır oranının artmasıyla darbe mukavemeti değerleri düşmüştür. En yüksek darbe mukavemeti değeri 80.78 kJ/m<sup>2</sup> ile saf PE'e aittir. PE içerisine %5 bakır ilavesiyle bu değer 67.62 kJ/m<sup>2</sup> düştüğü görülmektedir. Saf PE'nin darbe mukavemeti değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %16 oranında bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. PP matrise bakıldığında benzer durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile darbe mukavemeti değerinin 13.88 kJ/m<sup>2</sup>'den 7.3 kJ/m<sup>2</sup>'ye düştüğü görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda darbe mukavemeti değerinin %47 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

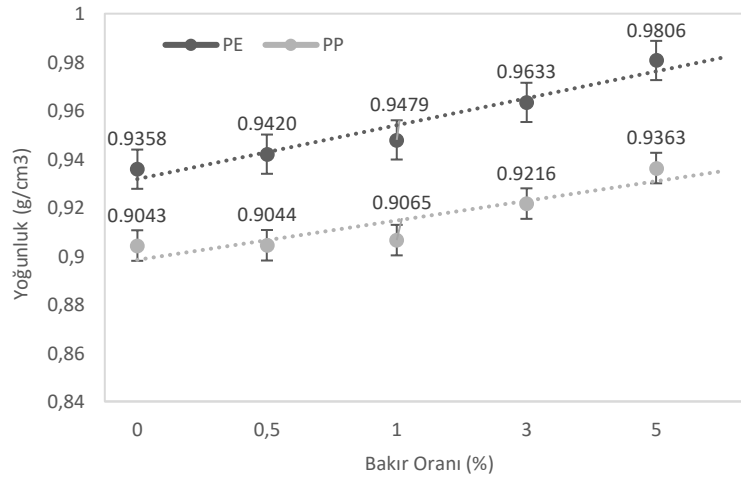
Şekil 8 incelendiğinde maksimum sertlik değerlerinin %5 bakır ilaveli PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. PE matris içerisinde bakır oranının artmasıyla sertlik değerleri artmıştır. En yüksek sertlik değeri 53.12 shore D ile %5 bakır ilaveli PE'e aittir. Saf PE numunede bu değer 53 shore D'de olduğu görülmektedir. Saf PE'nin sertlik değerinin %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %8 oranında bir artış olduğu anlaşılmaktadır. PP matrise bakıldığında bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile sertlik değerinin 59.75 shore D'den 63 shore D'ye çıktığı görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda darbe mukavemeti değerinin %5 oranında azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. PE-PP/Cu polimer kompozitinin darbe mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 8. PE-PP/Cu polimer kompozitinin sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 9. PE-PP/Cu polimer kompozitinin yoğunluk değerlerinin grafiksel gösterimi

Li-Xia Hu ve arkadaşlarının metal tozu ilaveli polimer matrisli kompozit numunelerin sertlik değerinin ilavesiz numunelerden yüksek olduğu görülmüştür (Hu ve ark., 2018). O.B. Zgalat-Lozynskyy ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada PE matris içerisine seramik ve metal tozları ilavesinin üretilen kompozit numunelerin sertliğini arttırdığı görülmüştür (Zgalat ve ark., 2021).

Şekil 9 incelendiğinde maksimum yoğunluk değerlerinin %5 bakır ilaveli PE ve PP'e ait numunelerde olduğu görülmektedir. En yüksek yoğunluk değeri  $0.9806 \text{ gr cm}^{-3}$  ile %5 bakır ilaveli PE'e aittir. Saf PE numunede bu değer  $0.9358 \text{ gr cm}^{-3}$ 'tür. Saf PE'nin yoğunluk değerini %5 bakır ilaveli grup ile kıyasladığımızda %4,78 oranında bir artış olmuştur. PP matrisine baktığımızda bakır tozunun %5 oranlarında ilavesi ile yoğunluk değerinin  $0.9043 \text{ gr cm}^{-3}$ 'den  $0.9363 \text{ gr cm}^{-3}$ 'e çıktığı görülmektedir. Saf polipropilen ile kıyasladığımızda yoğunluk değerinin %3.53 oranında arttığı tespit edilmiştir. Li-Xia

Hu ve arkadaşları da yapmış oldukları çalışmada metal tozu ilavesi ile elde ettikleri polimer kompozitinin yoğunluğunun arttığını belirlemişlerdir (Hu ve ark., 2018).

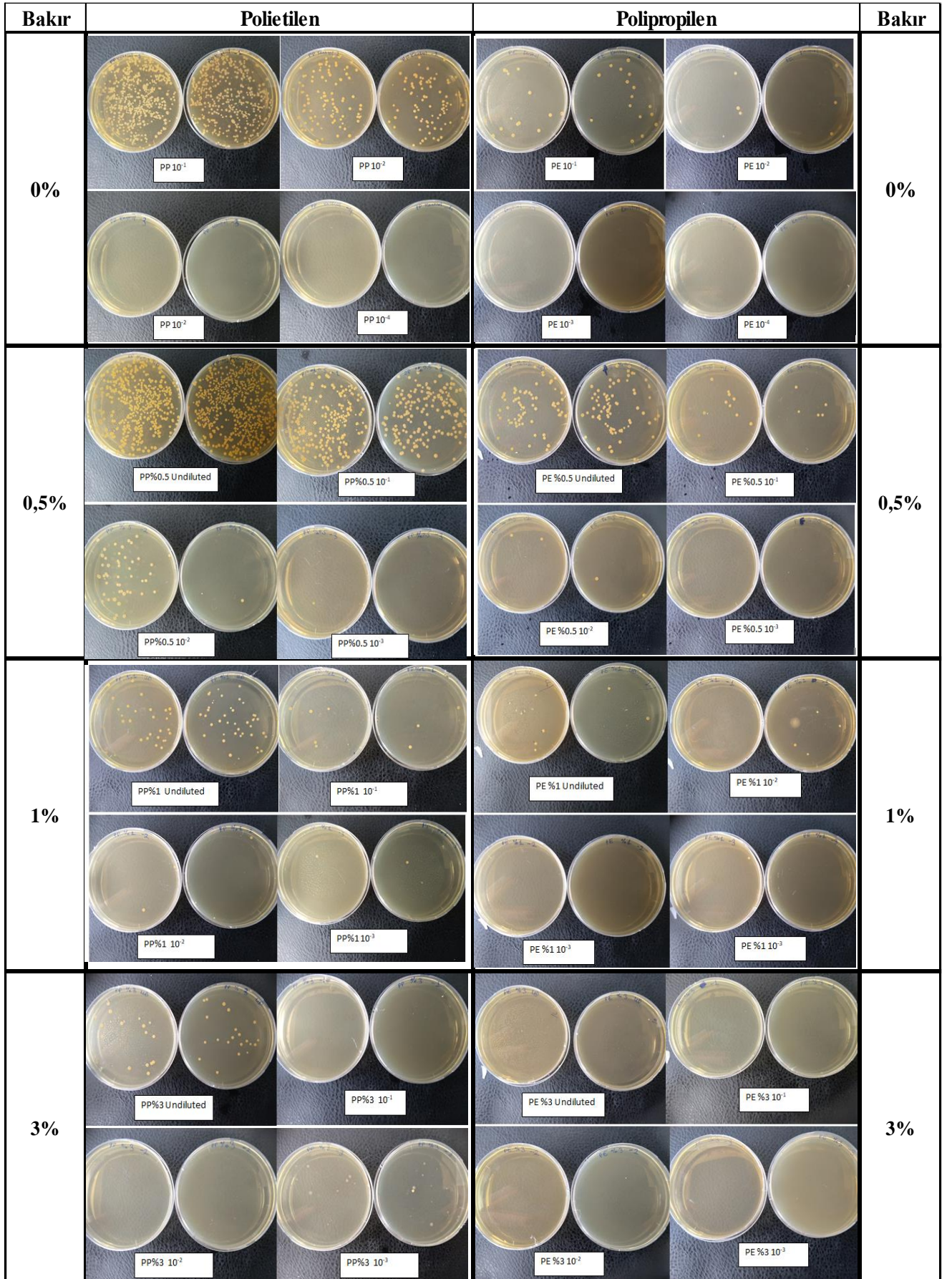
### Mikrobiyal özellikler

Bakır ilavesiz PE numune örneği test ortamında bakteri sayısı  $\log_2$ 'lik bir azalmayla yaklaşık %99.90'unu öldürmüştür. Bu sonuçlar ilavesiz PE numune bakteriye karşı mikrobiyal etkinlik göstermiş olsa da  $\log_3$  değeri altında kaldığı için etkin olarak değerlendirilememiştir. %0.5 bakır ilaveli PE numune de bakteri sayısı  $\log_2.5$  'lik bir azalmayla yaklaşık %99,00'ünü öldürmüştür. Ancak  $\log_3$  altında azalma olduğu için yine etkin olarak değerlendirilememektedir. %1 bakır ilaveli PE numune test ortamında bulunan bakterilerin  $\log_3,73$ 'lük azaltmasıyla bakterilerin %99,90'unu öldürmekle etkin olarak değerlendirilmektedir. %3 bakır ilaveli numune test ortamında bakterilerin sayısını  $\log_4.43$  azaltarak %99.99'dan fazlasını öldürmüştür ve etkin olarak değerlendirilmiştir. Bakır ilavesiz PP numune test ortamında bulunan bakterilerin sayısını  $\log_0.4$ 'lük azaltmıştır. Bu değer kabul edilebilir herhangi bir antimikrobiyal etki göstermemiştir. %0.5 bakır ilaveli test numuneleri test ortamındaki bakteri sayısını  $\log_1.062$ 'lik azaltmıştır. Bakterilerin %90'ını öldürmüştür. Antimikrobiyal etkinlik gösterse de etkin olarak değerlendirilememektedir. %1 bakır ilaveli numuneler test ortamında bulunan bakteri sayısını  $\log_2.82$ 'lik bir azaltma göstermiştir. Bakterilerin %99'ünü öldürmüştür.  $\log_3$  değeri altında kaldığı için etkin olarak değerlendirilememektedir. %3 bakır ilaveli PP numuneler test ortamında bulunan bakteri sayısını  $\log_3,14$ 'lük azaltarak bakterilerin %99.9'unu öldürmüştür ve etkin olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 10'da PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik testi görselleri verilmiştir. Tablo 2'de PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik değerleri ve Şekil 11'de ise bu değerlerin grafiksel gösterimleri verilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde bakır ilavesinin artmasıyla birlikte test ortamındaki bakteri sayısındaki azalmayı gösteren LogR değerinin arttığı görülmektedir. Bakır tozunun ilavesi ile birlikte antimikrobiyal etkinliğin arttığı test sonuçlarına göre söylenebilir.

Literatür araştırmalarında da benzer sonuçlara rastlanılmıştır. Örneğin; Katrin Steinhauer ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bakır alaşım yüzeylerinin mikrobiyal etkinlik gösterdiğini tespit etmişlerdir (Steinhauer ve ark., 2018). Michael G. Schmidt ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada bakır alaşım ilaveli stetoskop yüzeylerinin diğer stetoskop yüzeylerinden daha az bakteri barındırdığını belirlemişlerdir (Schmidt ve ark., 2017). Buna ek olarak Anna Rozanska ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada bakır numune üzerinde bakteriyal aktivitenin diğer materyallere nazaran zaman ve miktar olarak daha az olduğunu belirlemişlerdir (Rozanska ve ark., 2017).

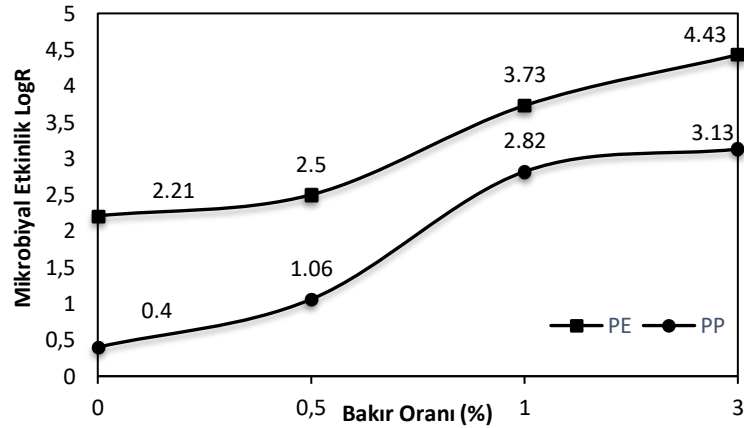




Şekil 10. PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik testi görselleri

Çizelge 2. PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik değerleri

Zamana Bağlı Mikrobiyal Etkinlik Testi					
Matris	Takviye(%Ağırlık)	Koloni Sayısı	Koloni Sayısı	Ortalama	LogR
PE	0	16	16.5	16.25	2.21
PE	0.5	89	82	85.5	2.5
PE	1	2	8	5	3.73
PE	3	1	1	1	4.43
PE	5	0	0	0	0
PP	0	102	112	107	0.4
PP	0.5	264	201	232.5	1.06
PP	1	38	43	40.5	2.82
PP	3	22	18	20	3.13
PP	5	0	0	0	0



Şekil 11. PE-PP/Cu polimer kompozitinin zamana bağlı mikrobiyal etkinlik değerleri

## SONUÇ

Polietilen ve Polipropilen malzemelerin içerisine mikron boyutta bakır tozu ilavesi çift vidalı ekstrüder ile homojen olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kompozit malzemeler %0.5-%1 toz ilavesinde mekanik özelliklerindeki değişim %15'i aşmadığı görülmüştür. Çekme mukavemeti değerinin bakır ilavesi ile birlikte azaldığı deney sonuçlarında gözlemlenmiştir. Kopma uzaması değerleri bakır toz ilavesi ile birlikte PP numunelerde %70, PE numunelerde %14 oranında azalmıştır. Elastik modülü değeri bakır toz ilavesi ile birlikte PP numunelerde ilavesiz numuneye oranla %14, PE numunelerde %29 azalma görülmektedir. Darbe mukavemeti değerleri bakır toz ilavesi ile birlikte sırasıyla PE ve PP numunelerde %16, %47 azaldığı görülmüştür. Bakır toz ilavesi ile polimer kompozitler sertlik değerlerinde %5 oranda artış görülmüştür. Polimer numunelerde bakır ilavesi ile yoğunluk değerleri arttığı görülmüştür. Elde edilen numunelerde zamana bağlı mikrobiyal etkinlik değerleri incelendiğinde polimer malzemelerde bakır oranı %1-%3 ilavelerde medikal yüzey olarak kullanılabilecek derecede antimikrobiyal etkinlik görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Marmara Üniversitesi BAPKO tarafından desteklenmiştir. Proje No: FYL-2022-10444. Sağlam Metal San. ve Tic. A.Ş.'de destekleri için teşekkür ederiz.

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

**Yazar Katkısı**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

**KAYNAKLAR**

- ASTM D256 - Izod Pendulum Impact Resistance of Plastic
- ASTM D638 - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics
- ASTM D2240 - Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness
- ISO 2781- Rubber, vulcanized or thermoplastic-Determination of density
- ISO 22196 - Measurement of antibacterial activity on plastics and other non-porous surfaces
- Berlin AA, Volfson SA, Enikolopian SS, Negmatov SS, 1986. Principles of Polymer Composites (Polymer-Properties and Applications, 10). Springer Verlag, Berlin.
- Brostow W, Buchman A, Buchman E, Olea-Meija O, 2008. Microhybrids of Metal Powder Incorporated in Polymeric Matrices: Friction, Mechanical Behavior, and Microstructure. *Polymer Engineering & science*, 48(10): 1977-1981.
- Cheang P, Khor KA, 2003. Effect of Particulate Morphology on the Tensile Behaviour of Polymer-hydroxyapatite Composites. *Materials Science and Engineering A.*, 345(1-2): 47-57.
- Damm C, Munstedt H, Rosch A, 2008. The Antimicrobial Efficacy of Polyamide 6/Silver-Nano and Microcomposites. *Materials Chemistry Physics*, 108: 61–66.
- Delgado K, Quijada R, Palma R, Palza H, 2011. Polypropylene with Embedded Copper Metal or Copper Oxide Nanoparticles as a Novel Plastic Antimicrobial Agent. *Letters in Applied Microbiology*, 53(1): 50-54.
- Gülsoy HÖ, Taşdemir M, 2007. Physical and Mechanical Properties of Polypropylene Reinforced with Fe Particles. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 55 (8): 619-626.
- Gülsoy Ö, Taşdemir M, 2007. The Effect of Bronze Particles on the Physical and Mechanical Properties of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 46(8): 789-793.
- Hu LX, Hu SF, Rao M, Yang J, Lei H, Duan Z, Zhu C, 2018. Studies of Acute and Subchronic Systemic Toxicity Associated with a Copper/Low-Density Polyethylene Nanocomposite Intrauterine Device. *International Journal of Nanomedicine*, 13: 4913-4926.
- Kenawy ER, Worley SD, Broughton R, 2007. The Chemistry and Applications of Antimicrobial Polymers: A State of the Art Review. *Biomacromolecules*, 8(5):1359-1384.
- Kilik R, Davies R, 1989. Mechanical Properties of Adhesive Filled with Metal Powders. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 9 (4): 224-228.
- Kuleznev VN, 2013. Polymer Mixtures and Alloys: Lecture Notes. Nauchnye Osnovy Tekhnologii, Saint Petersburg.
- Mamunya YP, Zois H, Apekis L, Lebedev EV, 2004. Influence of Pressure on the Electrical Conductivity of Metal Powders Used as Fillers in Polymer Composites. *Powder Technology*, 140: 49-55.
- Paharenko VA, Zverlin VG, Kirienko EM, 1986. Filled Thermoplastics, Tehnika, Kiev.
- Prorokova NP, Vavilova SY, Biryukova MI, Yurkov GY, Buznik VM, 2014. Modification of Polypropylene Filaments with Metal Containing Nanoparticles Immobilized in a Polyethylene Matrix. *Nanotechnologies in Russia*, 9(9):533-540.

- Rozanska A, Chmielarczyk A, Romaniszyn D, Bulanda M, Walkowicz M, Osuch P, Knych T, 2017. Antibiotic Resistance, Ability to Form Biofilm and Susceptibility to Copper Alloys of Selected Staphylococcal Strains Isolated from Touch Surfaces in Polish Hospital Wards. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 6(1):1-12.
- Rusu M, Sofian NM, Rusu DL, 2001. Mechanical and Thermal Properties of Zinc Powder Filled High Density Polyethylene Polymer Composites. *Polymer Testing*, 20(4):409-417.
- Rusu M, Sofian NM, Rusu DL, 1999. Proceedings of the International Monference on Materials Science, vol. IV: Non-Metallic Materials and Enviromental Protection, Brasov, February, 93–96.
- Sharma RK, Agarwal M, Balani K, 2016. Effect of ZnO Morphology on Affecting Bactericidal Property of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Biocomposite. *Materials Science and Engineering: C*, 62: 843-851.
- Steinhauer K, Meyer S, Pfannebecker J, Teckemeyer K, Ockenfeld K, Weber K, Becker B, 2018. Antimicrobial Efficacy and Compatibility of Solid Copper Alloys with Chemical Disinfectants. *Plos One*, 13(8):1-14.
- Schmidt MG, Tuuri RE, Dharsee A, Attaway HH, Fairey SE, Borg KT, Hirsch BE, 2017. Antimicrobial Copper Alloys Decreased Bacteria on Stethoscope Surfaces. *American Journal of Infection Control*, 45(6):642-647.
- Tang Y, Xia X, Wang Y, Xie C, 2011. Study on the Mechanical Properties of Cu/LDPE Composite IUDs. *Contraception*, 83(3):255-262.
- Taşdemir M, Gülsoy HÖ, 2006. Physical and Mechanical Properties of Iron Powder Filled Polystyrene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 45(11):1207-1211.
- Taşdemir M, Gülsoy Ö, 2008. Mechanical Properties of Polymers Filled With Iron Powder. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 57(3):258-265.
- Tavman IH, 1997. Thermal and Mechanical Properties of Copper Powder Filled Poly(ethylene) Composites. *Powder Tehnology*, 91(1): 63-67.
- Zgalat-Lozynskyy OB, Matviichuk OO, Tolochyn OI, Ievdokymova OV, Zgalat-Lozynska NO, Zakiev VI, 2021. Polymer Materials Reinforced with Silicon Nitride Particles for 3D Printing. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 59(9): 515-527.
- Zhang W, Zhang YH, Ji JH, Zhao J, Yan Q, Chu PK, 2006. Antimicrobial Properties of Copper Plasma-Modified Polyethylene. *Polymer*, 47(21):7441-7445.
- Zhu K, Schmauder S, 2003. Prediction of the Failure Properties of Short Fiber Reinforced Composites with Metal and Polymer Matrix. *Computational Materials Science*, 28(3-4):743-748.