



# Düşük Yoğunluklu Polietilenin Mekanik, Fiziksel ve Morfolojik Özelliklerine Alaşım Demir Tozunun Etkisi

Münir TAŞDEMİR<sup>1\*</sup>  Elif ULUTAŞ<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34840 Maltepe İSTANBUL

## Article Info

Research article  
Received: 04/04/2024  
Revision: 17/07/2024  
Accepted: 18/07/2024

## Keywords

Low density polyethylene  
alloy iron powder,  
mechanical properties,  
polymer composite,  
physical properties.

## Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 04/04/2024  
Düzeltilme: 17/07/2024  
Kabul: 18/07/2024

## Anahtar Kelimeler

Düşük yoğunluklu  
polietilen,  
alaşım demir tozu,  
mekanik özellikler, polimer  
kompoziti,  
fiziksel özellikler.

## Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada; alaşım demir tozunun düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) polimerinin özelliklerine etkileri incelenmiştir. Alaşım demir tozu (Fe) hacimce % 3 - 6 ve 9 oranlarında katılmıştır. Farklı oranlarda katılan demir tozlarının düşük yoğunluklu polietilenin mekanik, fiziksel ve ısıl özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. / In this study, the effects of alloyed iron powder on the properties of low-density polyethylene (LDPE) were investigated. Alloyed iron powder (Fe) was added in volumes of 3%, 6%, and 9%. The changes in the mechanical, physical, and thermal properties of LDPE due to the addition of iron powder at these different concentrations were examined.

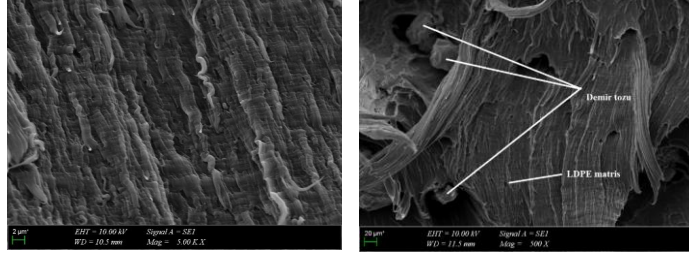


Figure A: LDPE/Fe polimer kompozitinin mikroyapı fotoğrafı (Microstructure photograph of LDPE/Fe polymer composite)

## Önemli noktalar (Highlights)

- Polimer kompozit / Polymer Composite
- Mekanik özellikler / Mechanical Properties
- Demir tozu / Iron powder

**Amaç (Aim):** Bu çalışmadaki amaç; demir tozunun var olan prosesin akışını bozmadan ve maliyeti artırıcı yüzey işleme teknikleri kullanılmadan direkt üretime geçildiğinde ne gibi sonuçlar alınacağı yönündedir. / The objective of this study is to investigate the outcomes of directly transitioning to production with iron powder without disrupting the existing process flow or employing cost-increasing surface treatment techniques.

**Özgünlük (Originality):** Bu çalışmada; LDPE içerisine % 3 - 6 ve 9 oranlarında alaşım demir tozu katılarak polimer kompozitleri elde edilmiştir. Demir tozunun farklı oranlarda ilavesi ile LDPE'nin mekanik, fiziksel ve ısıl özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. / In this study, polymer composites were produced by incorporating alloyed iron powder into LDPE (Low-Density Polyethylene) at concentrations of 3%, 6%, and 9%. The changes in the mechanical, physical, and thermal properties of LDPE due to the addition of iron powder in different proportions were investigated.

**Bulgular (Results):** Bu çalışmada akışkanlık değerlerinde önemli bir artış tespit edilmiş olup üretim esnasında daha az enerji kullanımını ortaya çıkarmıştır. / In this study, a significant increase in flowability values was observed, which resulted in reduced energy consumption during production.

**Sonuç (Conclusion):** Testler sonucunda demir tozu ilavesiyle; sertlik, yoğunluk, MFI, HDT ve vicat yumuşama sıcaklık değerlerinde artış buna karşılık çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması ve darbe mukavemeti değerleri düşmüştür. MFI değerindeki artış düşük çalışma sıcaklığı ve basıncına olanak sağladığından enerji tasarrufuna katkı sağlamıştır. / As a result of the tests, the addition of iron powder led to increases in hardness, density, MFI (Melt Flow Index), HDT (Heat Deflection Temperature), and Vicat softening temperature values. In contrast, tensile strength, break strength, elongation at break, and impact resistance values decreased. The increase in MFI values contributed to energy savings by allowing for lower processing temperatures and pressures.



## Effect of Alloyed Iron Powder on Mechanical, Physical and Morphological Properties of Low Density Polyethylene

Münir TAŞDEMİR<sup>1\*</sup> Elif ULUTAŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Marmara University Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 34840 Maltepe ISTANBUL

### Article Info

Research article  
Received: 04/04/2024  
Revision: 17/07/2024  
Accepted: 18/07/2024

### Keywords

Low density polyethylene  
alloy iron powder,  
mechanical properties,  
polymer composite,  
physical properties.

### Abstract

In this study; the effects of alloyed iron powder on the properties of low density polyethylene (LDPE) polymer were examined. Alloyed iron powder (Fe) was added at rates of 3 - 6 and 9% by volume. The changes in the mechanical, physical and thermal properties of low density polyethylene by adding iron powders at different rates were examined. LDPE/Fe polymer composites were mixed in a twin-screw extruder and then granulated. Then, test samples in accordance with the standards were molded from the obtained granules on the injection machine. To determine the properties of LDPE/Fe polymer composite; Tensile strength, breaking strength, elongation at break, impact strength, hardness, density, melt flow index (MFI), thermal distortion temperature (HDT), vicat softening temperature and dynamic friction coefficient determination tests were carried out. In addition, photographs were taken with scanning electron microscopy (SEM) to determine the distribution of iron powders within the LDPE matrix. As a result of the tests, with the addition of alloyed iron powder; Hardness, density, MFI, HDT, Vicat softening temperature values increased, whereas tensile strength, breaking strength, elongation at break and impact strength values decreased. In the friction coefficient determination test, it was determined that the dynamic friction coefficient values increased as the Fe ratio and load amount increased. As a result of SEM examination, it was determined that the iron particles were distributed homogeneously.

## Düşük Yoğunluklu Polietilenin Mekanik, Fiziksel ve Morfolojik Özelliklerine Alaşımli Demir Tozunun Etkisi

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 04/04/2024  
Düzelme: 17/07/2024  
Kabul: 18/07/2024

### Anahtar Kelimeler

Düşük yoğunluklu  
polietilen,  
alaşımli demir tozu,  
mekanik özellikler,  
polimer kompozit,  
fiziksel özellikler.

### Öz

Bu çalışmada; alaşımli demir tozunun düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) polimerinin özelliklerine etkileri incelenmiştir. Alaşımli demir tozu (Fe) hacimce % 3 - 6 ve 9 oranlarında katılmıştır. Farklı oranlarda katılan demir tozlarının düşük yoğunluklu polietilenin mekanik, fiziksel ve ısıl özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. LDPE/Fe polimer kompozitleri çift vidalı ekstruderde karıştırılmış ve ardından granül haline getirilmiştir. Daha sonra elde edilen granüllerden enjeksiyon makinesinde standartlara uygun test numuneleri basılmıştır. LDPE/Fe polimer kompozitinin özelliklerinin belirlenmesi için çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması, darbe mukavemeti, sertlik, yoğunluk, erime akış indeksi (MFI), ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT), vicat yumuşama sıcaklığı ve dinamik sürtünme katsayısı belirleme testleri yapılmıştır. Ayrıca demir tozlarının LDPE matrisi içerisindeki dağılımlarını belirlemek için taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile fotoğrafları çekilmiştir. Testler sonucunda alaşımli demir tozu ilavesiyle; sertlik, yoğunluk, MFI, HDT, vicat yumuşama sıcaklık değerlerinde artış buna karşılık çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması ve darbe mukavemeti değerleri düşmüştür. Sürtünme katsayısı belirleme testinde Fe oranının ve yük miktarının artmasıyla dinamik sürtünme katsayısı değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. SEM incelemesi sonucunda demir partiküllerinin homojen dağıldığı tespit edilmiştir.

### 1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Polimerik kompozitler, plastik endüstrisinde en hızlı büyüme gösteren gruplardan birini oluşturmaktadır. Bu malzemeler özellikle inşaat

sektöründe yapı malzemeleri, otomotiv sektöründeki bazı parçaların imalatı ve ambalaj malzemeleri başta olmak üzere başka uygulamalarda da kullanılmaktadır. Polimerik malzemelerin özelliklerini geliştirmek için içerisinde

çeşitli katkı, dolgu ve takviye malzemeleri ilavesi edilmektedir. Bu ilave malzemeler elde edilen polimer matrisli kompozitlerin mekanik, ısısal, fiziksel vb özelliklerini değiştirmektedir [1]. Plastik malzemelerin kimyasal yapılarının farklı olması ve ilave malzemelere bağlı olarak da birçok özelliğinin değişmesi sebebiyle akış özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bazı ilave maddeleri akışı artırırken başka maddeler ise akış özelliğini kötüleştirmektedir ki bu da işleme ve kalıplama sırasında bir takım problemlere sebebiyet vermektedir [2-3]. Kaya ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada polietilen ve polipropilen içerisine bakır alaşımı katarak bir kompozit elde etmişler ve bakır alaşımı ilavesiyle mekanik ve mikrobiyal özelliklerdeki değişimleri incelemişlerdir. % 0,5-%1 oranlarındaki bakır ilavesinde mekanik özelliklerdeki değişimin %15'i aşmadığını çalışmalarında rapor etmişlerdir. Buna ek olarak çekme mukavemeti ve kopma uzama değerlerinin bakır ilavesi ile birlikte azaldığını belirlemişlerdir [4]. Nixsad ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada ise ABS içerisine %10 demir tozu katarak üç boyutlu yazıcılarda kullanmak için filamet üretmişlerdir. Burada kullandıkları demir tozu %99,7 saflıkta ve ortalama partikül büyüklüğü ise 45 mikrondur. Elde edilen polimer kompozitinin eriyik akış davranışlarını incelemişlerdir [5]. Tavman'ın yapmış olduğu çalışmalarda yüksek yoğunluklu polietilen içerisine alüminyum ve bakır tozlarını ilave ederek polimer kompozitleri elde etmiş ve bu kompozitlerin termal iletkenlik ve mekanik özelliklerini incelemiştir [6,7]. Chawla ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada ABS içerisine demir tozu katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Çalışmalarında ekstrüzyon hızı ve sıcaklığı gibi üretim parametrelerini değiştirerek optimum değerlerde üç boyutlu yazıcılar için filamet üretmişlerdir. Elde ettikleri kompozitlere mekanik ve ısısal testlerin yanında mikro yapı analizleri yaparak en iyi üretim parametrelerinin neler olduğunu çalışmalarında rapor etmişlerdir. Örneğin Fe oranının ağırlıkça %2,5'ten %5'e yükseltilmesiyle MFI değerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Demir oranının artmasıyla kompozitin kırılma hızı geldiğini ve nozulu tıkağını çalışmalarında rapor etmişlerdir [8]. Gölbaş ve arkadaşları [1] alüminyum tozu katkılı polipropilenin erime akış indeksi özelliklerini incelemişlerdir. Alüminyum tozu katkı oranı ve alüminyum toz büyüklüğü arttıkça ergime akış indeksi değerinde azalma olduğunu çalışmalarında rapor etmişlerdir. Ghosh ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada polipropilen içerisine gümüş tozları katarak bir polimer kompoziti elde etmişler ve gümüş tozlarının kompozit malzemedeki akış

özelliklerini ne yönde değiştirdiğini incelemişlerdir. Deneysel sonuçta ergiyiğin viskozitesi katkı maddesinin % 4,1 oranına kadar azaldığını ve bu değerden sonra arttığını belirlemişlerdir. Çalışmalarında gümüş tozu takviyeli polipropilenin viskozite değerinin takviyesiz polipropilenin değerinden daha düşük olduğunu tespit edilmişlerdir [9].

Bu çalışmada; LDPE içerisine % 3 - 6 ve 9 oranlarında alaşımli demir tozu katılarak polimer kompozitleri elde edilmiştir. Demir tozunun farklı oranlarda ilavesi ile LDPE'nin mekanik, fiziksel ve ısısal özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Testler sonucunda demir tozu ilavesiyle; sertlik, yoğunluk, MFI, HDT ve vıcacık yumuşama sıcaklık değerlerinde artış buna karşılık çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması ve darbe mukavemeti değerleri düşmüştür. Yüksek akışkanlık değerleri daha düşük çalışma sıcaklıklarına olanak sağlayıp enerji tasarrufuna katkı sağlayabilir. Ayrıca enjeksiyonla üretim yapıldığında daha düşük basınçlarda nihai ürün elde etmek mümkündür [10]. Bizim bu çalışmada akışkanlık değerlerinde önemli bir artış tespit edilmiş olup üretim esnasında daha az enerji kullanımını ortaya çıkarmıştır. Sürtünme katsayısı belirleme testinde demir oranının ve yük miktarının artmasıyla dinamik sürtünme katsayısı değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. SEM incelemesi sonucunda demir partiküllerinin homojen dağıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki amaç; demir tozunun var olan prosesin akışını bozmadan ve maliyeti artırıcı yüzey işleme teknikleri kullanılmadan direk üretime geçildiğinde ne gibi sonuçlar alınacağı yönündedir. Bundan dolayı demir tozuna yapılacak yüzey modifikasyonu, uyumlaştırıcı ve/veya uyumlaştırıcı miktarı artırılarak matris ile takviye malzemesi olan demir tozu arasındaki uyum geliştirilebilir aynı zamanda mekanik özelliklerde daha fazla artış beklenebilir.

## 2.MATERIALS AND METHODS (MATERİYAL VE METOD)

### 2.1. Kullanılan Malzemeler (Used Materials)

LDPE polimeri içerisine farklı oranlarda katılan alaşımli demir tozları ile dört farklı grup üretilmiştir. Üretilen LDPE/Fe polimer kompozitinin karışım oranları Tablo 1' de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan LDPE, Petkim A.Ş.'in ürettiği Petilen G03-5 kodlu ürünüdür. Yoğunluğu 0,92 g/cm<sup>3</sup>, MFI değeri (190 °C-2,16 kg) 0,3 g/10 dk, kopma mukavemeti 26 MPa ve vıcacık yumuşama sıcaklık değeri (1kg yük) 98 °C'dir. Kompozit malzemedeki kullanılan Ancorsteel 1000C

olarak bilinen alaşımlı demir tozu ABD'deki Hoeganaes firmasından temin edilmiştir. Fe'nin saflığı %99,75'tir ve partikül büyüklüğü 45-250 mikron arasındadır. Sıkıştırılmış yoğunluk değeri

7,1 g/cm<sup>3</sup> civarındadır. Ancorsteel 1000C alaşımlı metal tozunun kompozisyonu Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** LDPE/Fe polimer kompozitinin karışım oranları - hacimce (Mixing ratios of LDPE/Fe polymer composite - by volume)

Gruplar	ABS (%)	Fe (%)
1	100	-
2	97	3
3	94	6
4	91	9

**Tablo 2.** Ancorsteel 1000C alaşımlı demir tozunun kompozisyonu - % (Composition of Ancorsteel 1000C alloy iron powder - %)

C	O	N	S	P	Si	Mn	Cr	Cu	Ni
<0,01	0,07	0,001	0,007	0,004	<0,01	0,07	0,02	0,03	0,04

## 2.2. Numune Hazırlama (Sample Preparation)

LDPE, elektro.mag M1071P tipi kurutma fırınında 105°C'de 24 saat süresince kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra tüm ürünler Devotrans marka V-Tipi karıştırıcıda 15 dakika boyunca karıştırılmış ve çift vidalı ekstrüderde 35-50 bar basınç altında, 65 dev/dak vida dönüş hızında ve 160-200 °C arasındaki sıcaklıklarda karıştırılmıştır.

Karışım sonrasında 105 °C' de yine 24 saat boyunca kurutma fırınında kurutulmuştur. Enjeksiyon makinesinde test numuneleri 160-200 °C sıcaklık, 700 bar basınç ve kalıpta bekleme süresi 15 s olacak şekilde basılmıştır. Aşağıda Şekil 1'de LDPE granülü ve alaşımlı demir tozunun fotoğrafları verilmiştir. Şekil 2'de LDPE/Fe polimer kompozitinin numune kalıplama aşamaları verilmiştir.



LDPE granülleri  
(LDPE Granules)



Alaşımlı demir (Fe) tozu  
(Alloyed Iron (Fe) Powder)

**Şekil 1.** LDPE granülü ve demir tozu (LDPE Granules and Iron Powder)



**Şekil 2.** LDPE/Fe polimer kompozitinin numune hazırlama aşamaları (*Sample Preparation Stages of LDPE/Fe Polymer Composite*)

### 2.3 Test Yöntemleri (Test Methods)

Bu çalışmada çekme testinde beş adet numune kullanılmış ve ortalamaları verilmiştir. Zwick Z010 marka çekme test makinesi kullanılarak çekme testleri yapılmıştır. Bu test ASTM D638 standartlarına göre 50 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çentikli Izod darbe testleri Zwick marka darbe test cihazı ile ASTM D256 yöntemine göre oda sıcaklığında yapılmıştır. Sertlik testi Zwick sertlik ölçüm cihazı ile ASTM D2240 yöntemine göre yapılmıştır. Yoğunluk tayini ISO 2781 test standardına göre her bileşim için üç ölçüm alınarak yapılmıştır. Devotrans CEAST 6521

marka HDT-Vicat test cihazı ile ISO 75 ve ISO 307 standardına göre HDT ve Vicat yumuşama noktası testleri yapılmıştır. Tüm karışımların akış davranışı Zwick 4100 erime akış indeksi cihazı ile ISO 1133 standardına uygun olarak 190 °C sıcaklık ve 2,16 kg yük altında incelenmiştir. Darbe test numunelerinin kırık yüzeyleri Quorum sc 7620 marka kaplama cihazında altın/paladyum alaşımı ile kaplanmıştır. Kaplama süresi 180 sn ve uygulanan elektrik akımı ise 20 mA'dır. Daha sonra numuneler 10 kV altında Zeiss EVO MA 10 marka SEM ile incelenmiştir. Aşağıdaki Şekil 3'de bu çalışmada kullanılan test cihazları verilmiştir.



**Şekil 3.** LDPE/Fe polimer kompozitinin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan cihazlar (*Devices Used for Determining the Properties of LDPE/Fe Polymer Composite*)



Sürtünme katsayısı ölçüm  
(Coefficient of Fric. Measurement)



HDT-Vicat cihazı  
(HDT-Vicat Tester)



Kaplama cihazı  
(Coating Device)



SEM  
(SEM)

Şekil 3. (devamı) (continue)

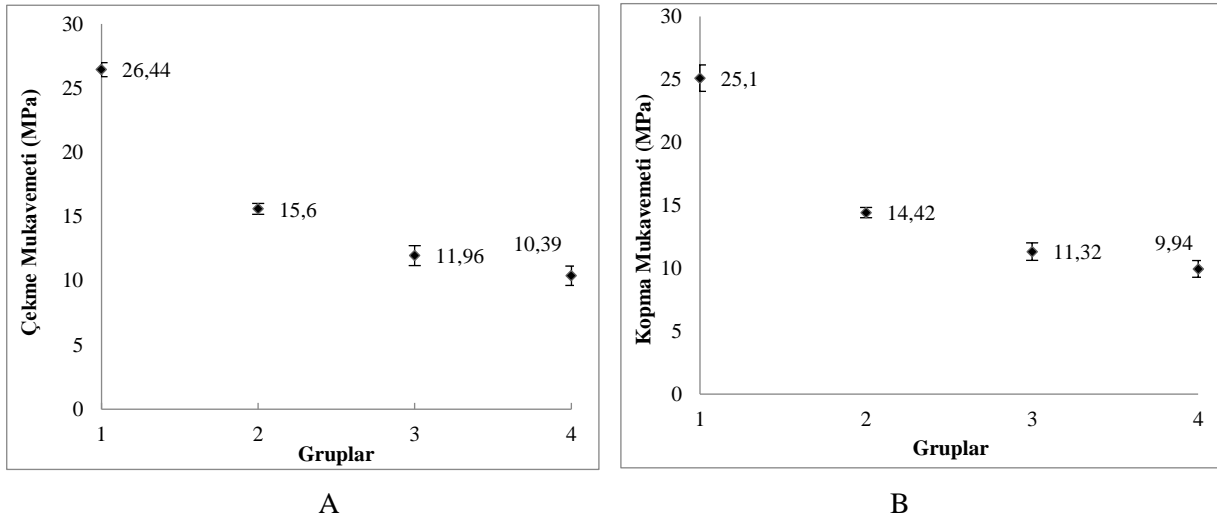
### 3.BULGULAR (RESULTS)

LDPE içerisine alaşımlı demir tozu ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan çekme testi sonucu elde edilen çekme mukavemeti değerleri Şekil 4-A'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf LDPE'nin çekme mukavemeti değerinin 26,44 MPa olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine hacimce %3 alaşımlı demir tozu katılmasıyla bu değer 15,6 MPa değerine düştüğü görülmektedir. %6 demir tozu ilavesinde bu değer 11,96 MPa'ya ve %9 demir tozu ilavesinde ise 10,39 MPa'ya düştüğü görülmektedir ki bu değer en düşük çekme mukavemeti değeridir. LDPE'nin çekme mukavemeti değerini bu grup ile kıyasladığımızda % 60,7 oranında düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Buradaki düşüşün sebebi matris içerisine katılan demir tozlarının matrise bağlanmadığından kaynaklı olduğunu düşünmekteyiz. Çekilen mikroyapı fotoğraflarından da bu durum anlaşılmaktadır. Taşdemir ve Gülsoy'un yapmış oldukları bir çalışmada, polistiren içerisine hacimce %5, 10 ve 15 demir tozu katmışlar ve elde ettikleri polimer kompozitinin özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen polimer kompozitinde demir oranının artışıyla elastiklik modülü, ısıl çarpılma sıcaklığı, erime akış indeksi ve Shore sertlik değerlerinin arttığını belirlemişlerdir. Buna karşılık % uzama, darbe mukavemeti, çekme mukavemeti ve akma mukavemeti değerlerinin düştüğünü çalışmalarında ortaya koymuşlardır [11]. Çekme testi sonucu elde edilen kopma mukavemeti değerleri Şekil 4-B'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf LDPE'nin kopma mukavemeti değerinin 25,1 MPa olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine hacimce %3 alaşımlı demir tozu katılmasıyla bu değer 14,42 MPa değerine düştüğü görülmektedir. %6 demir tozu ilavesinde bu değer 11,32 MPa'ya ve %9 demir tozu ilavesinde ise 9,94 MPa'ya düştüğü görülmektedir ki bu değer en düşük kopma

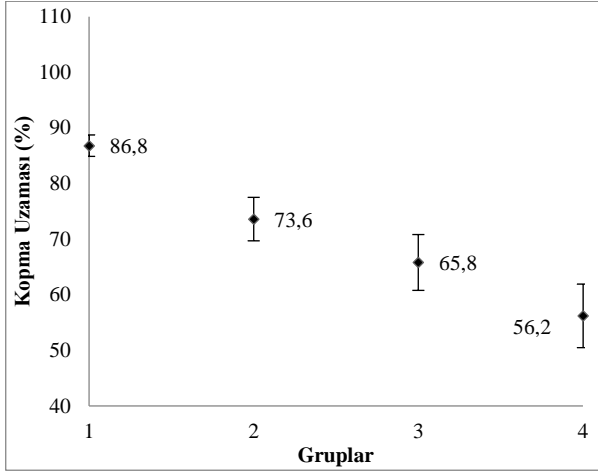
mukavemeti değeridir. LDPE'nin kopma mukavemeti değerini bu grup ile kıyasladığımızda % 60,4 oranında düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Kopma mukavemetindeki düşüşün sebebi, demir partiküllerinin LDPE matris içerisine çok iyi bağlanmadıklarından kaynaklıdır. Şekil 6'da verilen mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde demir tozu partiküllerinin LDPE matris içerisinde herhangi bir adezyon oluşturmadığı görülmektedir. Şekil 4-C'ye bakıldığında LDPE içerisine hacimce %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen kopma uzaması değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde LDPE'nin kopma uzama değerinin %86,8 olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %3 demir tozu katılmasıyla değer %73,6'ya düşmüştür. %6 demir ilavesinde bu değer %65,8 olarak ölçülmüştür. %9 demir tozu ilavesinde kopma uzama değeri bir miktar daha düşerek %56,2 değerini vermiştir ki bu en düşük kopma uzaması değeridir. Bu değeri saf LDPE'nin kopma uzaması değeri ile kıyasladığımızda %35,2 oranında bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Güngör yapmış olduğu bir çalışmada Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) içerisine hacimce %5, 10 ve %15 Fe (Ancorsteel 1000HP - Hoeganaes) tozu katarak elde ettiği polimer kompozitinin özelliklerini incelemiştir. Elde ettiği polimer kompozitinde Fe oranının artmasıyla % uzama, darbe, akma ve çekme mukavemet değerlerinin düştüğünü fakat demir tozu oranının artışıyla elastiklik modülü ve sertlik değerlerinin ise arttığını belirlemiştir [12]. LDPE içerisine alaşımlı demir tozu ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan Izod darbe testi sonucu elde edilen darbe mukavemeti değerleri Şekil 4-D'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf LDPE'nin darbe mukavemeti değerinin 50 kJ/m<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine hacimce %3 alaşımlı demir tozu katılmasıyla bu değer 48,98 kJ/m<sup>2</sup> değerine düştüğü görülmektedir. %6 demir tozu ilavesinde bu değer 44,8 kJ/m<sup>2</sup>'ye ve %9 demir tozu ilavesinde

ise 28,48 kJ/m<sup>2</sup> 'ye düştüğü görülmektedir. Saf LDPE'nin Izod darbe mukavemeti değerini bu grup ile kıyasladığımızda % 43 oranında düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Izod darbe değerlerindeki düşüşün sebebi, demir partiküllerinin LDPE matris içerisine çok iyi bağlanamadıklarından kaynaklanmıştır. Şekil 6'da verilen mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde demir tozu partiküllerinin LDPE matris içerisinde herhangi bir adezyon oluşturmadığı dolayısıyla kolaylıkla LDPE matrisinden ayrıldığı görülmektedir. Bu da Izod darbe mukavemeti değerlerinde düşüşe sebebiyet vermiştir. Şekil 4-E'ye bakıldığında LDPE içerisine hacimce %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen sertlik değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde LDPE'nin sertlik değerinin 44,37 Shore D olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %3 demir tozu katılmasıyla değer bir miktar artarak 45,43 Shore D değerine çıkmıştır. %6 demir ilavesinde bu değer bir miktar daha yükselerek 46,75 Shore D olarak ölçülmüştür. %9 demir tozu ilavesinde sertlik değeri 47,81 Shore D olarak ölçülmüş olup en yüksek sertlik değerini vermiştir. Bu değeri saf LDPE'nin sertlik değeri ile kıyasladığımızda % 7,7 oranında bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Sa'ude

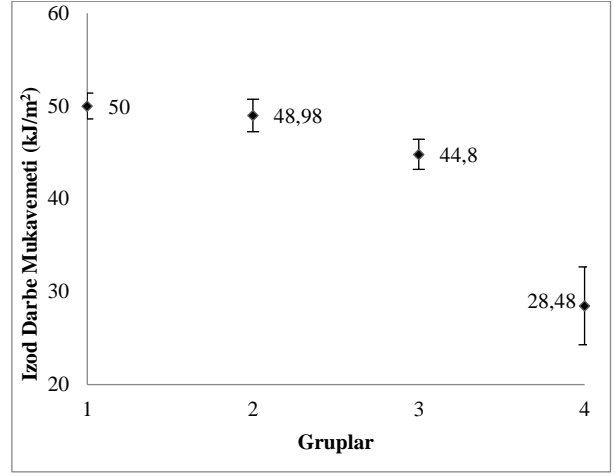
ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada akrilonitril bütadien stiren içerisine demir tozu ve yüzey aktif madde katarak üç boyutlu yazıcı için filamet üretmişlerdir. Çalışmalarında ABS %50-46, demir %%24-29 ve yüzey aktif madde ise %26-25 (hacimce) oranlarında kullanmışlardır. Elde edilen polimer kompozitine yapılan testler sonucunda demir oranının artmasıyla eğilme mukavemeti ve sertlik değerinin düştüğünü tespit etmişlerdir [13]. Şekil 4-F'ye bakıldığında LDPE içerisine hacimce %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen yoğunluk değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde LDPE'nin yoğunluk değerinin 0,908 g/cm<sup>3</sup> olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %3 demir tozu katılmasıyla değer 0,988 g/cm<sup>3</sup> 'e yükselmiştir. %6 demir ilavesinde bu değer bir miktar daha artarak 1,180 g/cm<sup>3</sup> değerine çıkmıştır. %9 demir tozu ilavesinde yoğunluk değeri 1,243 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüş olup en yüksek yoğunluk değerini vermiştir. Bu değeri saf LDPE'nin yoğunluk değeri ile kıyasladığımızda %36,9 oranında bir artışın olduğu tespit edilmiştir.



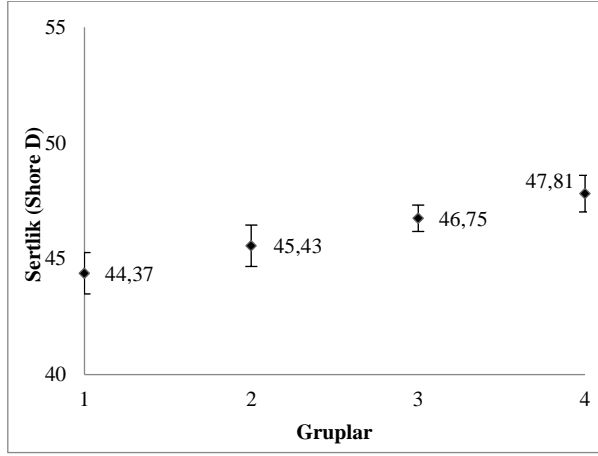
Şekil 4. LDPE/Fe polimer kompozitinin test sonucu elde edilen özelliklerinin grafiksel gösterimi  
(Graphical Representation of the Test Results for the Properties of LDPE/Fe Polymer Composite)



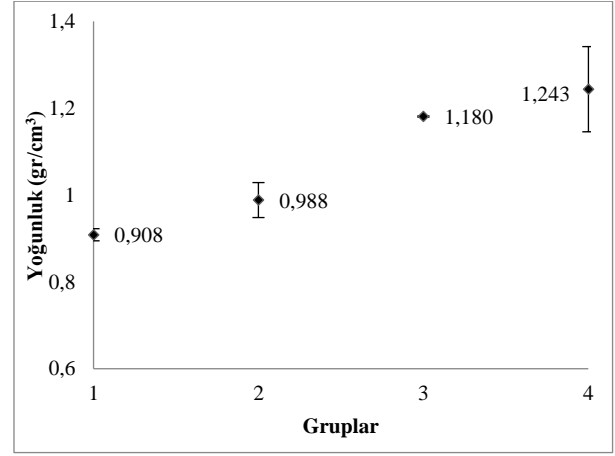
C



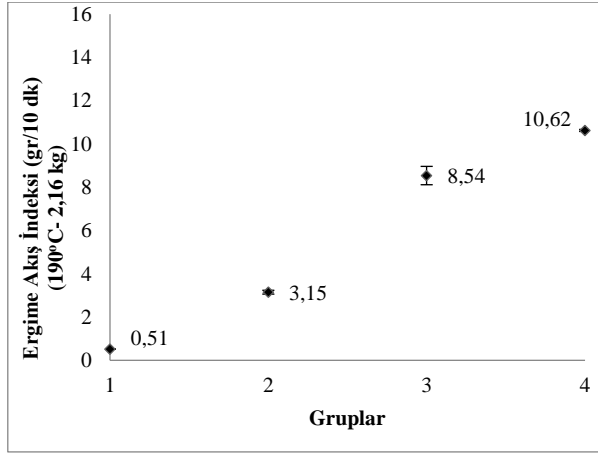
D



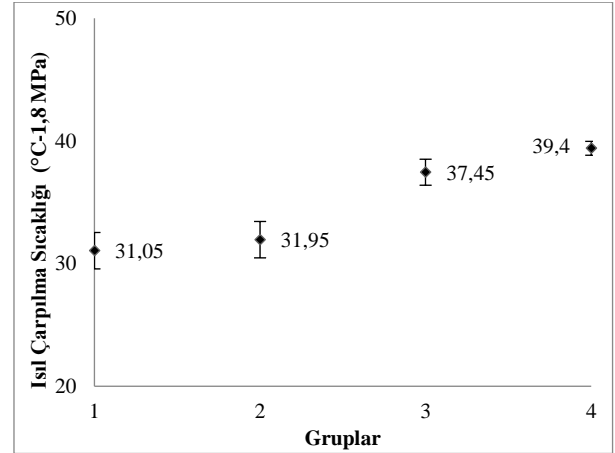
E



F



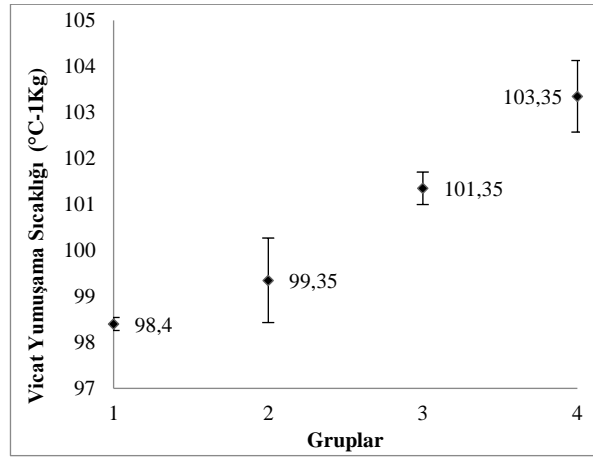
G



H

Şekil 4. (devamı) (continue)





I

Şekil 4. (devamı) (continue)

Şekil 4-G'ye bakıldığında LDPE içerisine hacimce %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen MFI değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde LDPE' nin MFI değerinin 0,51 g/10 dk olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %3 demir tozu katılmasıyla değer 3,15 g/10 dk'e yükselmiştir. %6 demir ilavesinde bu değer bir miktar daha artarak 8,54 g/10 dk değerine çıkmıştır. %9 demir tozu ilavesinde MFI değeri 10,62 g/10 dk olarak ölçülmüş olup en yüksek MFI değerini vermiştir. Bu değeri saf LDPE'nin MFI değeri ile kıyasladığımızda %1982 oranında bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Buradaki artışın nedeni demir partikülleri ve matris arasında bir adezyonun olmamasından kaynaklıdır.

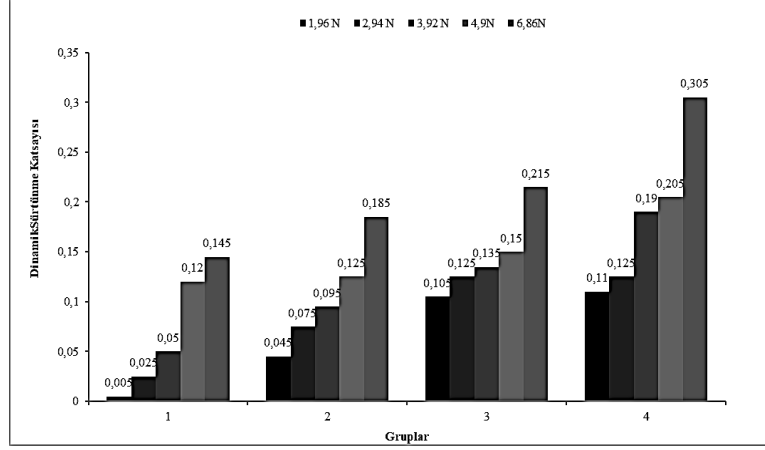
Gülsoy ve arkadaşlarının yapmış oldukları başka bir çalışmada akrilonitril bütadien stiren kopolimeri içerisine hacimce % 5-10 ve 15 oranlarında bronz (Cu-10 wt. % Sn) katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Elde edilen polimer kompozitinde bronz toz oranının artışıyla elastiklik modülü, sertlik ve ısıl çarpılma sıcaklığı değerlerinin yükseldiğini buna karşılık erime akış indeksi, darbe mukavemeti, % uzama, çekme ve akma mukavemeti değerlerinin ise düştüğünü belirlemişlerdir. [14]. Şekil 4-H'ye bakıldığında LDPE içerisine hacimce %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen HDT değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde LDPE' nin HDT değerinin 31,05 °C olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %3 demir tozu katılmasıyla değer çok az artarak 31,95 °C ya yükselmiştir. %6 demir ilavesinde bu değer bir miktar daha artarak 37,45 °C değerine çıkmıştır. %9 demir tozu ilavesinde HDT değeri 39,4 °C olarak ölçülmüş olup en yüksek HDT değerini vermiştir. Bu değeri saf LDPE'nin HDT değeri ile kıyasladığımızda %26,9 oranında bir artışın olduğu

tespit edilmiştir. Gülsoy ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada ise polipropilen içerisine hacimce %99,75 saflıkta ve ortalama partikül boyutu 50 mikron olan demir tozunu hacimce %5-10 ve 15 oranlarında katarak polimer kompoziti hazırlamışlardır. Elde ettikleri polimer kompozitinde demir tozlarının oranının artmasıyla ısıl çarpılma sıcaklığı, Vicat yumuşama sıcaklığı, erime akış indeksi, shore sertlik ve elastiklik modül değerlerinin arttığını buna karşılık Izod çentikli darbe mukavemeti, çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama değerlerinin düştüğünü rapor etmişlerdir [15]. Şekil 4-I'ye bakıldığında LDPE içerisine hacimce %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen vicat yumuşama sıcaklığı değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde LDPE' nin vicat yumuşama sıcaklığı değerinin 98,4 °C olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %3 demir tozu katılmasıyla değer artarak 99,35 °C ye yükselmiştir. %6 demir ilavesinde bu değer bir miktar daha artarak 101,35 °C değerine çıkmıştır. %9 demir tozu ilavesinde vicat yumuşama sıcaklığı değeri 103,35 °C olarak ölçülmüş olup en yüksek vicat yumuşama sıcaklığı değerini vermiştir. Bu değeri saf LDPE'nin vicat yumuşama sıcaklığı değeri ile kıyasladığımızda % 5 oranında bir artışın olduğu tespit edilmiştir.

Dinamik sürtünme katsayısı değerini belirlemek için Devotrans marka cihaz kullanılmış olup işlem ISO 8295 standardına uygun gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri alt ve üst plakadan oluşmaktadır. Alt plaka ölçüleri 80x200 mm ve üst plaka ölçüleri ise 63x63 mm' dir. Test yük değişkenine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yük miktarları 1,96 – 2,94 – 3,92 – 4,9 ve 6,86 Newton olarak belirlenmiştir. Aşağıda Şekil 5' de elde edilen

dinamik sürtünme katsayı değerleri verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde uygulanan yük miktarının artmasıyla dinamik sürtünme katsayısı değerlerinin tüm gruplarda arttığı görülmektedir. Örneğin saf LDPE'nin 1,96 N yük altındaki dinamik sürtünme katsayısı değerinin 0,005 olduğu; 6,86 N yük uygulandığında bu değer 0,145 değerine yükseldiği görülmektedir. Benzer durum diğer gruplarda da tespit edilmiştir. Buna ek olarak demir

miktarının matris içerisinde artışı ile de dinamik sürtünme katsayısı değerlerinde yükselme olduğu görülmektedir. Örneğin saf LDPE'nin 1,96 N yük altındaki dinamik sürtünme katsayısı değerinin 0,005 olduğu; buna karşılık %9 demir tozu ilavesinde 1,96 N yük altındaki değerinin 0,11'e çıktığı görülmektedir. Benzer durum diğer gruplarda da tespit edilmiştir.

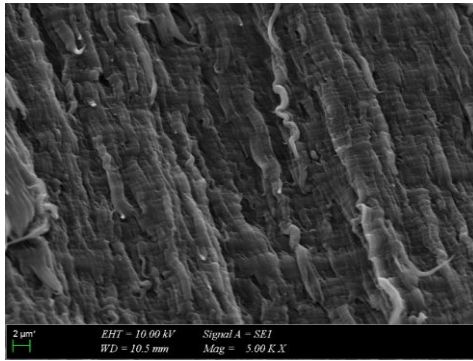


Şekil 5. LDPE/Fe polimer kompozitinin test sonucu elde edilen dinamik sürtünme katsayısı değerleri

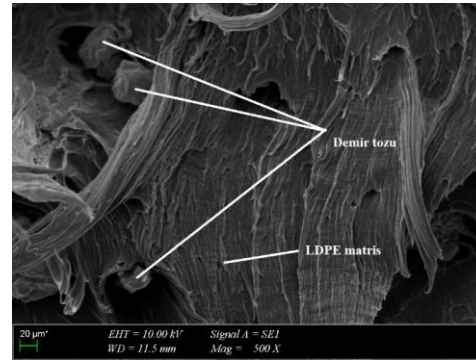
(Dynamic Coefficient of Friction Values Obtained from Testing of LDPE/Fe Polymer Composite)

Şekil 6' da LDPE/Fe polimer kompozitinin mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. SEM fotoğraflarına bakıldığında LDPE matrisi ve demir partikülleri net olarak gözükmemektedir. Demir

partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı anlaşılmaktadır. Fakat matris ile bir adhezyon yapmadığı da görülmektedir.



Saf LDPE  
(Pure LDPE)



%6 alaşımlı Fe katkılı LDPE  
(6% Alloyed Fe-Added LDPE)

Şekil 6. LDPE/Fe polimer kompozitinin mikroyapı fotoğrafları (Microstructure Photographs of LDPE/Fe Polymer Composite)

#### 4.SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada; LDPE içerisine %3 - 6 ve 9 oranlarında alaşımlı demir tozu katılarak polimer kompozitleri elde edilmiştir. Demir tozunun farklı oranlarda ilavesi ile LDPE'nin mekanik, fiziksel ve

ısısal özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Testler sonucunda demir tozu ilavesiyle; sertlik, yoğunluk, MFI, HDT ve vicat yumuşama sıcaklık değerlerinde artış buna karşılık çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması ve darbe

mukavemeti değerleri düşmüştür. MFI değerindeki artış düşük çalışma sıcaklığı ve basıncına olanak sağladığından enerji tasarrufuna katkı sağlamıştır. Sürtünme katsayısı belirleme testinde Fe oranının ve yük miktarının artmasıyla dinamik sürtünme katsayısı değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. SEM incelemesi sonucunda demir partiküllerinin homojen dağıldığı tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, bu çalışmada demir tozunun var olan prosesin akışını bozmadan ve maliyeti artırıcı yüzey işleme teknikleri kullanılmadan direk üretime geçildiğinde ne gibi sonuçlar alınacağı amaçlanmıştır.

#### **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.

The authors of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### **YAZARLARIN KATKILARI** (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Münir TAŞDEMİR:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve maklenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

**Elif ULUTAŞ:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve maklenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

#### **ÇIKAR ÇATIŞMASI** (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### **REFERENCES** (KAYNAKLAR)

- [1] Güdaş, A., Temel, S., Altuğ, M., Alüminyum tozu katkılı polipropilenin ergiyik akış indeksi özelliklerinin incelenmesi. Politeknik Dergisi, 20(1), 51-59 (2017).
- [2] Spinace, M.A.S., Feroseli, K.K.G., De Paoli, M.A., Recycled polypropylene reinforced with curaua fibers by extrusion, J. Appl. Polym. Sci., 112, 3686 (2009).
- [3] Lai, S.M., Yeh, F.C., Wang, Y., Chan, H.C., Shen, H.F., Comparative study of maleated polyolefins as compatibilizers for polyethylene/wood flour composites, J. Appl. Polym. Sci., 87: 487 (2003).
- [4] Kaya, Ö.A, Taşdemir, M., Tozkopara, S., Çıtrak, T., Birol, F., Bakır alaşım takviyesinin polietilen ve polipropilen polimerlerinin mekanik ve mikrobiyal özelliklerine etkisinin incelenmesi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13(2), 1287-1296 (2023).
- [5] Niksad, M., Masood, S.H., Sbarski, I., Groth, A., A study of melt flow analysis of an ABS-iron composite in fused deposition modelling process, Tsinghua Science & Technology 14, 29-37, (2009).
- [6] Tavman, I.H., Thermal and mechanical Properties of aluminum powder-filled high-density polyethylene composites, Journal of Applied Polymer Science, 62, 2161-2167, (1996).
- [7] Tavman, I.H., Thermal and mechanical properties of copper powder filled poly (ethylene) composites, Powder Technology, 91, 63-67, (1997).
- [8] Chawla, K., Singh, R., Singh, J., Mehta, H., Investigations on mechanical properties of secondary recycled ABS reinforced with Fe powder for 3D printing applications, Materials Today: Proceedings 50(5), 2450-2454, (2022).
- [9] Ghosh, K., Maiti, S.N., "Melt rheological properties of silver-powder-filled polypropylene composites, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 36 (5), 703-722, (1997).
- [10] Taşçı, G., Zeren, M., Metal katkılı polimer matrisli hibrit kompozitler, Metal Dünyası, 2017.
- [11] Taşdemir, M., Gülsoy, H.Ö., Physical and mechanical properties of iron powder filled, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 45, 1207-1211, (2006).

- [12] Güngör, A., Mechanical properties of iron powder filled high density polyethylene composites. *Materials & design*, 28(3), 1027-1030, (2007).
- [13] Sa'ude, N., Ibrahim, M., Ibrahim, M.H.I., Mechanical properties of highly filled iron-ABS composites in injection molding for FDM wire filament, *Materials Science Forum*. Vol. 773-774, 456-461, Trans Tech Publications Ltd, (2014).
- [14] Gülsoy, H.Ö., Taşdemir, M., The effect of bronze particles on the physical and mechanical properties of acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 46, 789–793, (2007).
- [15] Gülsoy, H.Ö., Taşdemir, M., Physical and mechanical properties of polypropylene reinforced with Fe Particles, *International Journal of Polymeric Materials*, 55, 619–626, (2006).