

Alaşımsız Demir Tozu İlavesi ile Geliştirilen Akrilonitril Bütadien Stiren Polimer Kompozitlerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Münir TAŞDEMİR^{1*}, Elif ULUTAŞ¹

¹Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34840 Maltepe İSTANBUL

Article Info

Research article
Received: 24/06/2024
Revision: 23/01/2025
Accepted: 02/03/2025

Keywords

Acrylonitrile butadiene
styrene
Non-alloyed iron powder
Mechanical properties
Polymer composite
Physical properties

Makale Bilgisi

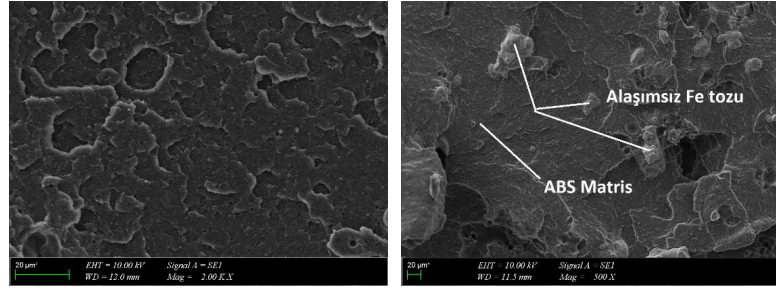
Araştırma makalesi
Başvuru: 24/06/2024
Düzeltilme: 23/01/2025
Kabul: 02/03/2025

Anahtar Kelimeler

Akrilonitril bütadien stiren
Alaşımsız demir tozu
Mekanik özellikler
Polimer kompoziti
Fiziksel özellikler

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada, akrilonitril bütadien stiren (ABS) polimerine alaşımsız demir tozunun etkileri değerlendirilmiştir. Alaşımsız demir tozu, ABS'ye hacimce %3, %6 ve %9 oranlarında katılmış ve bu farklı toz oranlarının ABS'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. / In this study, the effects of unalloyed iron powder on acrylonitrile butadiene styrene (ABS) polymer were evaluated. Unalloyed iron powder was added to ABS at 3%, 6% and 9% by volume and the effects of these different powder ratios on the physical, mechanical and thermal properties of ABS were investigated.



Resim/Figure A: ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin SEM mikroyapı fotoğrafları (SEM microstructure photographs of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

Önemli noktalar (Highlights)

- Polimer kompozit / Polymer Composite
- Fiziksel özellikler / Physical Properties
- Alaşımsız demir tozu / non-alloyed iron powder

Amaç (Aim): Bu çalışmanın temel amacı, alaşımsız demir tozunun mevcut üretim sürecine entegre edilerek, ek bir yüzey işleme gereksinimi ve maliyet artışı olmaksızın doğrudan üretim aşamasına geçilmesiyle elde edilecek sonuçların incelenmesidir. / The main purpose of this study is to investigate the results to be obtained by integrating non-alloyed iron powder into the existing production process and directly switching to the production phase without the need for additional surface treatment and increased cost.

Özgünlük (Originality): Bu çalışmalar, metal tozu eklemenin polimer kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin karmaşık olduğunu ve genellikle sertlik ve rijitlikte artış sağlarken, esneklik ve dayanıklılıkta zayıflamalara yol açabileceğini ortaya koymaktadır. / These studies reveal that the effects of adding metal powder on the physical and mechanical properties of polymer composites are complex and generally lead to increases in hardness and stiffness but may lead to decreases in flexibility and strength.

Bulgular (Results): SEM sonuçları alaşımsız demir tozlarının ABS matrisi içinde homojen olarak dağılmadığını ve iyi bir adezyonun olmadığını göstermektedir. / SEM results show that non-alloyed iron powders are not homogeneously distributed in the ABS matrix and there is no good adhesion.

Sonuç (Conclusion): Test sonuçlarına göre, alaşımsız demir tozu ilavesi, elastiklik modülü, shore sertliği, yoğunluk, MFI, HDT ve vicat yumuşama sıcaklıklarında anlamlı bir artışa yol açarken, çekme ve kopma mukavemeti, uzama oranı ve Izod çentikli darbe mukavemeti değerlerinde bir azalma gözlemlenmiştir. / According to the test results, the addition of non-alloyed iron powder caused a significant increase in the elastic modulus, shore hardness, density, MFI, HDT and vicat softening temperatures, while a decrease in the tensile and rupture strength, elongation ratio and Izod notched impact strength values was observed..



Alaşımsız Demir Tozu İlavesi ile Geliştirilen Akrilonitril Bütadien Stiren Polimer Kompozitlerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Münir TAŞDEMİR^{1*} , Elif ULUTAŞ¹

¹Marmara University Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 34840 Maltepe ISTANBUL

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 24/06/2024
Düzeltilme: 23/01/2025
Kabul: 02/03/2025

Anahtar Kelimeler

Akrilonitril bütadien stiren
Alaşımsız demir tozu
Mekanik özellikler
Polimer kompoziti
Fiziksel özellikler

Öz

Bu çalışmada, akrilonitril bütadien stiren (ABS) polimerine alaşımsız demir tozunun etkileri değerlendirilmiştir. Alaşımsız demir tozu, ABS'ye hacimce %3, %6 ve %9 oranlarında katılmış ve bu farklı toz oranlarının ABS'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. ABS polimer matrisi ile alaşımsız demir tozu, çift vidalı ekstrüder kullanılarak eriyik karıştırma yöntemiyle homojen bir şekilde karıştırılmış ve sonrasında granül haline getirilmiştir. Üretilen granüller, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle test numuneleri haline getirilmiş ve bu numuneler üzerinde elastiklik modülü, çekme ve kopma mukavemeti, uzama oranı, Izod çentikli darbe mukavemeti, Shore sertlik değeri, yoğunluk, erime akış indeksi (MFI), ısı çarpılma sıcaklığı (HDT) ve Vicat yumuşama sıcaklığı gibi fiziksel ve mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, alaşımsız demir tozlarının ABS matrisi içindeki dağılımını daha ayrıntılı bir şekilde belirlemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak mikro yapısal analiz yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, alaşımsız demir tozu ilavesi, elastiklik modülü, shore sertliği, yoğunluk, MFI, HDT ve vicat yumuşama sıcaklıklarında anlamlı bir artışa yol açarken, çekme ve kopma mukavemeti, uzama oranı ve Izod çentikli darbe mukavemeti değerlerinde bir azalma gözlemlenmiştir. SEM sonuçları ise alaşımsız demir tozlarının ABS matrisi içinde homojen olarak dağılmadığını ve iyi bir adezyonun olmadığını göstermektedir.

Physical and Mechanical Properties of Acrylonitrile Butadiene Styrene Polymer Composites Developed with the Addition of Non-Alloyed Iron Powder

Article Info

Research article
Received: 24/06/2024
Revision: 23/01/2025
Accepted: 02/03/2025

Keywords

Acrylonitrile butadiene
styrene
Non-alloyed iron powder
Mechanical properties
Polymer composite
Physical properties

Abstract

This study evaluates the effects of non-alloyed iron powder on acrylonitrile butadiene styrene (ABS) polymer. Non-alloyed iron powder was added to ABS in volume fractions of 3%, 6%, and 9%, and the impact of these varying powder concentrations on the physical, mechanical, and thermal properties of ABS was investigated. The ABS polymer matrix and non-alloyed iron powder were blended homogeneously using a twin-screw extruder with a melt mixing method, and subsequently pelletized. The produced pellets were then molded into test specimens using injection molding, and various physical and mechanical tests, including modulus of elasticity, tensile and break strength, elongation at break, Izod notched impact strength, Shore hardness, density, melt flow index (MFI), heat deflection temperature (HDT), and Vicat softening temperature, were performed. Additionally, scanning electron microscopy (SEM) was employed for detailed microstructural analysis to determine the distribution of non-alloyed iron powder within the ABS matrix. The test results showed that the addition of non-alloyed iron powder led to a significant increase in modulus of elasticity, shore hardness, density, MFI, HDT, and Vicat softening temperature, while a decrease was observed in tensile and break strength, elongation at break, and Izod notched impact strength. The SEM results show that the pure iron particles are not homogeneously distributed within the ABS matrix and there is a lack of good adhesion.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Polimerik malzemelerin kullanımının giderek yaygınlaşmasının başlıca sebepleri, bu malzemelerin yeniden kullanılabilir olmaları, işlemlerinin kolay olması ve üretim süreçlerinde

ekonomik avantajlar sağlamasıdır. Ancak, bu malzemelerin bazı uygulamalarda mekanik ve fiziksel özelliklerinin yeterli olamaması, onların kullanım alanlarını sınırlayabilmektedir. Bu nedenle, polimerlerin mekanik ve fiziksel performansını artırmak amacıyla, farklı

malzemelerin polimerlere eklenerek kompozit yapılar geliştirilmiş ve böylece daha güçlü ve dayanıklı materyaller elde edilmiştir. Bu yaklaşım, polimerlerin sınırlı performanslarını aşarak daha geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır [1].

Yapılan araştırmalarda ABS/alaşimsız demir tozu karışımları ile ilgili bir çalışma tespit edilmemiştir. Fakat metal tozlarının polimerik malzemelere katılması ile elde edilen kompozitlerin özellikleri üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar, tozun katkı oranı, dağılımı ve üretim yönteminin, elde edilen kompozitlerin mekanik, ısısal ve akışkanlık özellikleri üzerindeki etkileri üzerinedir. Örneğin, Niksad ve arkadaşları [2], ABS polimerine %10 demir tozu ekleyerek, bu kompozitleri üç boyutlu yazıcı filamentleri olarak kullanmak amacıyla üretmişlerdir. Kullandıkları demir tozu %99,7 saflığa sahip olup, ortalama parçacık boyutu 45 mikron civarındadır. Bu çalışmada, elde edilen kompozitin eriyik akış özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Benzer şekilde, Hanemann ve Honnef [3], poliester polimerine mikronize demir tozları ekleyerek elde ettikleri kompozitin akışkanlık özelliklerini araştırmışlardır. Güldaş ve arkadaşları [4] ise polipropilen içerisine alüminyum tozu ekleyerek, ekstrüzyon yöntemiyle ürettikleri kompozitlerin akış özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, toz boyutu ve katkı oranı ile erime akış indeksinin sıcaklık ve basınç artışına bağlı olarak değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu tür çalışmalar, metal tozlarının polimer kompozitlerinin işlenebilirliğini ve performansını iyileştirmek için önemli bilgiler sunmaktadır. Güngör [5], yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) polimerine farklı oranlarda (hacimce %5, %10 ve %15) Fe (Ancorsteel 1000HP - Hoeganaes) tozu ekleyerek yapılan deneysel çalışmalarda, demir tozu oranının arttıkça polimer kompozitinin mekanik özelliklerinde değişiklikler gözlemiştir. Özellikle, demir tozu içeriği arttıkça % uzama, darbe dayanımı, akma ve çekme mukavemeti gibi özelliklerde düşüş meydana gelirken; elastiklik modül ve sertlik gibi özelliklerde belirgin bir artış tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, metal tozlarının polimer kompozitlerine eklenmesinin malzemenin rijitliğini artırmasına rağmen, esneklik ve darbe dayanımında azalma ile sonuçlanabileceğini göstermektedir. Benzer bir şekilde, Taşdemir ve Gülsoy [6], polistiren içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında demir tozu ekleyerek yapılan çalışmada, demir tozu oranının arttığı durumlarda elastiklik modül, ısı çarpılma sıcaklığı, erime akış indeksi ve shore sertlik değerlerinde yükselme gözlemişlerdir. Ancak, aynı oranlarda ekleme yapıldığında % uzama, darbe mukavemeti, çekme

mukavemeti ve akma mukavemeti gibi mekanik özelliklerde düşüş meydana gelmiştir. Bu bulgular, demir tozu katkısının polistirenin fiziksel ve mekanik performansını etkileyebileceğini ve genellikle rijitlik ve sertlik artışı sağlarken, esneklik ve dayanıklılıkla ilgili bazı olumsuz etkiler yaratabileceğini ortaya koymaktadır. Saude ve arkadaşları [7], ABS polimerine demir tozu ve yüzey aktif madde ekleyerek üç boyutlu yazıcılar için filament üretmişlerdir. Çalışmalarında, ABS'nin hacimce %50-46, demir tozunun %24-29 ve yüzey aktif maddenin ise %26-25 oranlarında kullanıldığını belirtmişlerdir. Yapılan testler sonucunda, demir tozu oranının artmasıyla birlikte eğilme mukavemeti ve sertlik değerlerinde bir azalma görülürken, çekme mukavemeti ve kopma mukavemeti değerlerinde ise artış tespit edilmiştir. Gülsoy ve Taşdemir [8], polipropilen polimerine %99,75 saflıkta ve ortalama 50 mikron parçacık boyutuna sahip demir tozu eklemiş ve bu karışımı hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında kullanarak polimer kompoziti hazırlamışlardır. Bu çalışmada, demir tozu oranının artmasıyla ısı çarpılma sıcaklığı, Vicat yumuşama sıcaklığı, erime akış indeksi, Shore sertlik ve elastik modül değerlerinde artış gözlemlenirken, aynı zamanda Izod çentikli darbe mukavemeti, çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama gibi mekanik özelliklerde bir azalma olduğu belirlenmiştir. Chawla ve arkadaşları [9], ABS polimerine demir tozu ilave ederek bir kompozit materyal geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, ekstrüzyon hızı ve sıcaklığı gibi üretim parametrelerini değiştirerek, üç boyutlu yazıcılar için uygun filament üretimi gerçekleştirmişlerdir. Demir tozu oranının ağırlıkça %2,5'ten %5'e yükseltilmesiyle, MFI değerinde bir artış gözlemişlerdir. Benzer şekilde, Gülsoy ve Taşdemir [10] başka bir çalışmada, ABS kopolimerine hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında bronz tozu ekleyerek polimer kompoziti hazırlamışlardır. Elde ettikleri kompozitte, bronz tozu oranının arttığı durumlarda elastik modül, sertlik ve ısı çarpılma sıcaklığı gibi termomekanik özelliklerin yükseldiği, ancak erime akış indeksi, darbe mukavemeti, % uzama, çekme ve akma mukavemeti gibi mekanik özelliklerin ise azaldığı belirlenmiştir. Bu çalışmalar, metal tozu eklemenin polimer kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin karmaşık olduğunu ve genellikle sertlik ve rijitlikte artış sağlarken, esneklik ve dayanıklılıkta zayıflamalara yol açabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, alaşimsız demir tozunun mevcut üretim sürecine entegre edilerek, ek bir yüzey işleme gereksinimi ve maliyet artışı olmaksızın doğrudan üretim aşamasına

geçilmesiyle elde edilecek sonuçların incelenmesidir. Bu doğrultuda, alaşımsız demir tozunun yüzey modifikasyonunun yapılması veya uyumlaştırıcı bileşenlerin miktarının artırılması, ABS ve takviye malzemesi olan alaşımsız demir tozu arasındaki etkileşimin iyileştirilmesine olanak tanıyabilir. Bu tür bir iyileştirme, aynı zamanda kompozitin mekanik özelliklerinde daha belirgin bir artışa yol açabilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde, alaşımsız demir tozunun ABS ile karıştırılmasının, polimerin çeşitli özelliklerini geliştirdiği ancak bazı mekanik özelliklerinde ödün verilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

2. MATERYAL VE MEDOD (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Kullanılan Malzemeler (Used Materials)

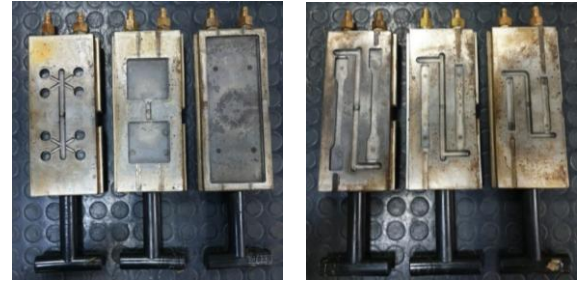
Tablo 1. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin karışım oranları-hacimce (Mixing ratios of ABS/unalloyed Fe polymer composite by volume)

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

2.2. Numune Hazırlama (Sample Preparation)

ABS, elektro.mag M1071P model kurutma fırınında 105°C sıcaklıkta bir gün boyunca kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında, numuneler V-Tipi kuru karıştırıcıda 15 dakika süreyle karıştırılmış ve ardından çift vidalı ekstrüderde, 40-55 bar arasında bir basınç altında, 70 dev/dk vida dönüş hızında ve vida-kovan sıcaklıkları 210-250°C aralığında işlenmiştir. Granüller, daha sonra bir gün boyunca 105°C'de kurutulmuştur. Test numuneleri enjeksiyon kalıplama işlemine tabi tutulmuş ve 210-250°C sıcaklık aralığında, 750 bar basınç altında, kalıp bekleme süresi 15 saniye olacak şekilde şekillendirilmiştir. Şekil 1'de enjeksiyon ile kalıplamada kullanılan kalıp resimleri verilmiştir. Kalıplama parametreleri ise Tablo 2'de sunulmuştur.

Çalışmada, ABS kopolimer matrisine farklı oranlarda ilave edilen alaşımsız demir (Fe) tozlarıyla dört farklı grup oluşturulmuştur. Elde edilen ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitlerinin oranları, Tablo 1'de sunulmuştur. ABS, Starex firmasının SD-0150 kodlu ürünüdür. Bu malzemenin yoğunluğu 1,03 g/cm³, su emme oranı %0,3, eriyik akış indeksi değeri (200 °C, 5 kg yük altında) 1,8 g/10 dk, çekme mukavemeti 48 MPa ve vicat yumuşama sıcaklığı (1 kg yük) 107 °C'dir. Kompozit malzemede kullanılan Ancosteel 150 hp alaşımsız Fe tozu Hoeganaes firmasının üretmiş olduğu üründür. Alaşımsız Fe'nin saflığı %99,75'tir ve ortalama parçacık boyutu 50 mikrondur (firma reçete bilgisidir). Hacim, kütle/yoğunluk formülüyle hesaplanmıştır.



Şekil 1. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin kalıplanmasında kullanılan enjeksiyon kalıpları (Injection molds used for molding ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

Tablo 2. Kalıplama parametreleri (Molding parameters)

İşlem	Ekstrüzyon	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	210-250	210-250
Basınç (bar)	40-55	750
Kalıpta tutma süresi (sn)	-	15
Vida dönme hızı (dev/dk)	70	-
Kalıp sıcaklığı (°C)	-	40-45

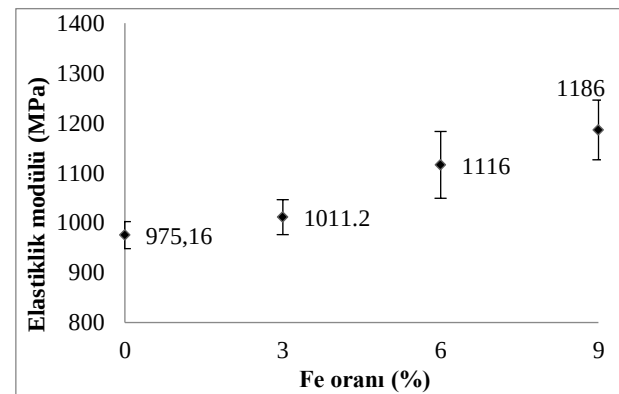
2.3. Test Yöntemleri (Test Methods)

Bu çalışmada, numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme testi ASTM D638 standardına uygun olarak Zwick (Z010) çekme test cihazı kullanılarak, 50 mm/dk hızında ve beş adet numunenin ortalamaları alınarak gerçekleştirilmiştir. Izod darbe (çentikli) testleri ise ASTM D256 standardına göre, oda sıcaklığında Zwick cihazı ile yapılmıştır. Shore sertlik ölçümleri, Zwick marka cihazla (ASTM D2240) gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk tayini, ISO 2781 standardına uygun olarak her bir grup için üç ayrı ölçüm alınıp yapılmıştır. HDT ve vicat yumuşama noktası testleri, Devotrans CEAST 6521 marka HDT-vicat test cihazı ile, ISO 75 ve ISO 306 standartlarına göre uygulanmıştır. Akış davranışı, Zwick 4100 EAİ cihazı kullanılarak, ISO 1133 standardına uygun olarak 200°C sıcaklık ve 5 kg yük altında incelenmiştir. SEM analizinden önce, numune yüzeyleri altın/paladyum alaşımı ile kaplanmış ve Zeiss EVO MA 10 marka SEM cihazı (10 kV) ile incelenmiştir.

3. RESULTS (BULGULAR)

Çalışmada, ABS polimerine demir tozu ilavesi ile elde edilen karışıma uygulanan çekme testi sonucunda elde edilen elastiklik modülü değerleri Şekil 2’de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde, saf ABS'nin elastiklik modülü değeri 975,16 MPa olarak ölçülmüştür. Ancak, ABS'ye hacimce %3 oranında demir tozu eklenmesiyle bu değer 1011,2 MPa'ya yükselmiştir. Demir tozu oranı %6'ya çıktığında, elastiklik modülü değeri 1116 MPa'ya ve %9'luk ilaveyle 1186 MPa'ya ulaşmıştır. %9 demir tozu içeren kompozit, en yüksek elastiklik modülüne sahip olup, bu değer saf ABS'ye kıyasla %21,6'lık bir artış göstermektedir. Demir tozu, ABS'ye göre çok daha sert bir malzemedir. Demir

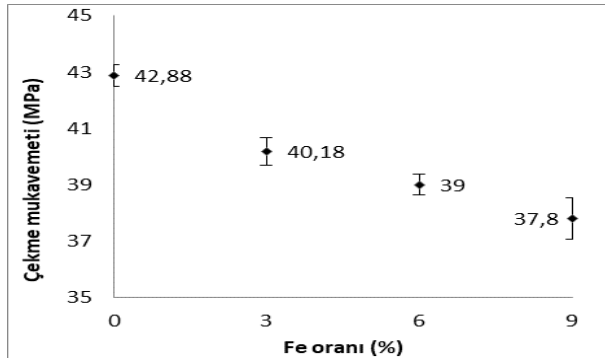
tozu, ABS matrisi içine eklendiğinde, kompozit malzemenin genel sertliğini artırmıştır. Alaşimsız demir parçacıklarının deformasyonu, ABS'nin deformasyonundan çok daha zordur. Bu durum, kompozitin elastiklik modülünün yükselmesine neden olmuştur. Elastiklik modülü, malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olduğundan, sertliği yüksek olan demir tozu parçacıkları, kompozit malzemenin genel deformasyon direncini artırır. Bu sonuç, alaşimsız demir tozu ilavesinin, ABS'nin elastik özelliklerini artırma potansiyeline sahip olduğunu ve polimerin mekanik dayanımını iyileştirdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar Güngör [5], Taşdemir ve Gülsoy [6] yapmış olduğu çalışmalar ile paralellik göstermektedir.



Şekil 2. ABS/alaşimsız Fe polimer kompozitinin elastiklik modül değerleri (Elastic modulus values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

Şekil 3'te, ABS polimerine demir tozu ilavesiyle elde edilen çekme mukavemeti değerleri sunulmuştur. Bu verilere göre, saf ABS'nin çekme mukavemeti değeri 42,88 MPa olarak belirlenmiştir. Ancak, ABS'ye hacimce %3 oranında demir tozu eklenmesiyle bu değer 40,18

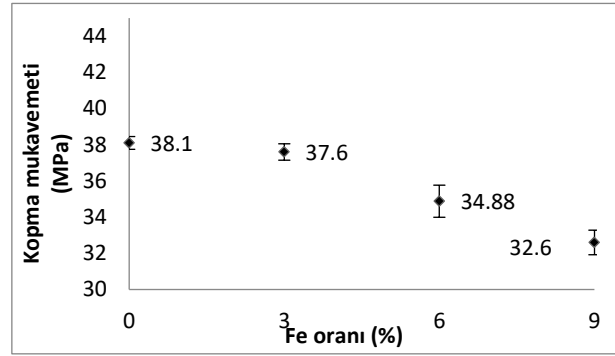
MPa'ya düşmüştür. %6 oranında demir tozu ilavesinde çekme mukavemeti daha da azalarak 39 MPa'ya gerilemiş ve %9 demir tozu ilavesiyle ise en düşük çekme mukavemeti değeri olan 37,8 MPa'ya ulaşmıştır. Bu sonuç, saf ABS'ye kıyasla %11,8'lik bir azalmayı göstermektedir. ABS'ye alaşımsız demir tozu eklenmesi, yapıyı rijit özellik kazandırdığından elastiklik modülünü artırırken, çekme mukavemeti düşürmüştür. Bu düşüş, esas olarak alaşımsız demir tozunun polimerle bağlanamaması, homojen olmayan dağılım, iç gerilimler, mikro çatlaklar ve yük taşıma kapasitesinin değişmesi gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Yani, elastiklik modülündeki artış, daha az deformasyona ve daha fazla sertliğe yol açarken, çekme mukavemeti, zayıf bağlar ve mikro yapısal bozulmalar nedeniyle olumsuz etkilenebilir. Mikroyapı analizleri de bu durumu desteklemektedir; Mikro yapı fotoğrafları incelendiğinde demir tozlarının ABS matrisine iyi bir şekilde bağlanmadığı tespit edilmiştir. Bu bağlanma zayıflığı, materyalin çekme mukavemetinin düşmesine neden olmuştur.



Şekil 3. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin çekme mukavemeti değerleri (Tensile strength values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

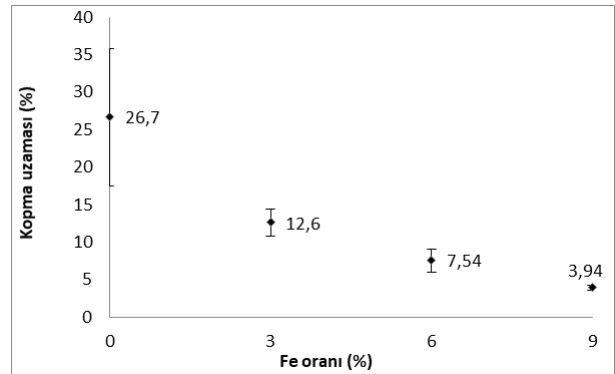
Şekil 4'te, ABS içerisine hacimce %3 oranında demir tozu ilavesiyle elde edilen kopma mukavemeti değerleri sunulmuştur. Grafikte, saf ABS'nin kopma mukavemeti değeri 38,1 MPa olarak ölçülmektedir. %3 demir tozu eklenmesiyle bu değer 37,6 MPa'ya düşerken, %6 demir tozu ilavesinde bu değer 34,88 MPa'ya gerilemiştir. %9 demir tozu ilavesi ise kopma mukavemeti değerinin daha da azalarak 32,6 MPa'ya inmesine yol açmıştır, bu da en düşük ölçülen değeri temsil etmektedir. Bu değişimler, saf ABS'nin kopma mukavemeti değeri ile kıyaslandığında %14,4'lük bir azalma göstermektedir. Kopma mukavemetindeki bu

düşüş, demir tozlarının ABS matrisi ile yeterince iyi bağlanamamasına bağlı olarak açıklanabilir.



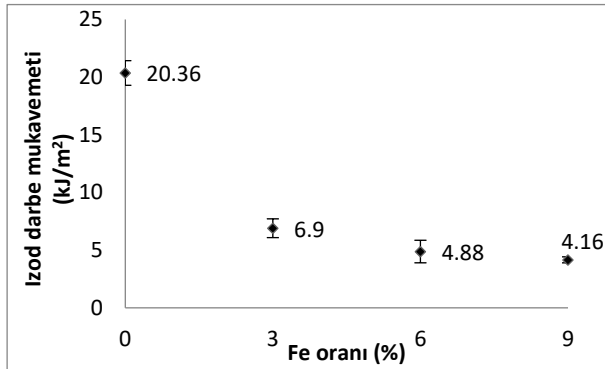
Şekil 4. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin kopma mukavemeti değerleri (Tensile strength values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

Şekil 5'te, %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen kompozitin kopma uzama değerleri sunulmaktadır. Grafikte, saf ABS'nin kopma uzama değerinin %26,7 olduğu görülmektedir. %3 demir tozu eklenmesiyle bu değer %12,62'ye düşerken, %6 demir tozu ilavesiyle bu oran bir miktar daha azalarak %7,54'e gerilemiştir. En düşük kopma uzama değeri, %9 demir tozu ilavesiyle elde edilen kompozitte %3,94 olarak ölçülmüştür. Bu değer, saf ABS'nin kopma uzama değeriyle kıyaslandığında %85,2 oranında bir azalma göstermektedir. ABS, plastik deformasyon kabiliyeti yüksek bir malzemedir, ancak demir tozu ilavesiyle birlikte, kompozit daha kırılgan hale gelmiş ve polimerin plastik akma davranışını engellemiştir bu da kopma öncesindeki uzamayı sınırlamıştır. Demir tozunun artan oranı ile bu etki daha belirginleşmiştir. Sonuç olarak, demir tozunun eklenmesi, ABS'nin doğal elastikiyetini ve uzama kapasitesini sınırlayarak kopma uzamasında düşüşe neden olmuştur. Güngör [5] tarafından gerçekleştirilen çalışma ile sonuçlar benzerlik göstermektedir.



Şekil 5. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin kopma uzama değerleri (Elongation at break values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

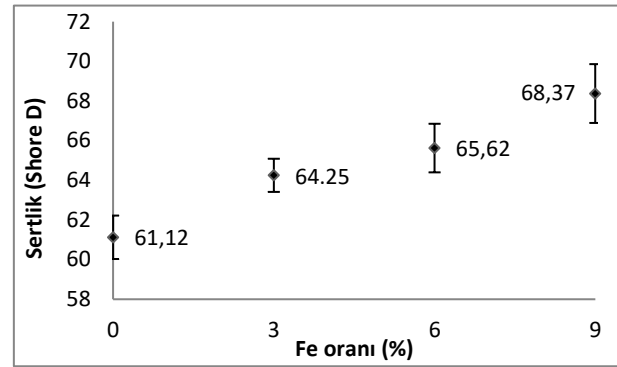
Şekil 6’da, ABS polimerine %3 oranında demir tozu eklenerek elde edilen kompozitin Izod çentikli darbe mukavemeti değerleri sunulmuştur. Bu grafikte, saf ABS’nin darbe mukavemeti değerinin 20,36 kJ/m² olduğu gözlemlenmektedir. Ancak, %3 demir tozu ilavesiyle bu değer belirgin bir şekilde düşerek 6,9 kJ/m²’ye gerilemiştir. %6 demir tozu eklemesiyle darbe mukavemeti daha da azalarak 4,88 kJ/m² seviyesine ulaşmıştır. En düşük darbe mukavemeti değeri ise %9 demir tozu ilavesinde 4,16 kJ/m² olarak kaydedilmiştir. Bu sonuç, ABS’nin darbe mukavemetinin %79,5 oranında bir azalma gösterdiğini ortaya koymaktadır. Şekil 5’teki mikroyapı fotoğrafı, demir tozu parçacıklarının ABS matrisinde iyi bir adezyon oluşturmadığını ve bu parçacıkların kolaylıkla matristen ayrıldığını göstermektedir. Bu zayıf bağlantılar, malzemenin darbe enerjisini düzgün bir şekilde dağıtamamasına ve kırılma noktasında daha kırılgan hale gelmesine yol açmıştır. Sonuç olarak, kompozitteki alaşımsız demir tozu oranının artmasıyla birlikte, darbe mukavemeti değerlerinde gözlemlenen azalma, materyalin darbeye karşı daha hassas hale gelmesine sebebiyet vermiştir.



Şekil 6. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin Izod darbe mukavemeti değerleri (Izod impact strength values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

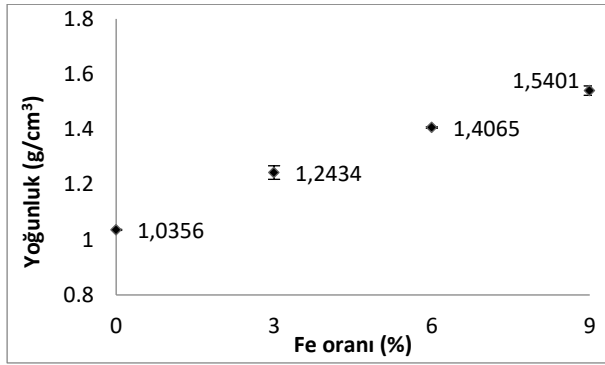
Şekil 7’de, ABS içerisine %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen sertlik değerleri sunulmaktadır. Bu grafik incelendiğinde, saf ABS’nin sertlik değeri 61,12 Shore D olarak ölçülmüştür. %3 oranında demir tozu ilavesiyle bu değer 64,25 Shore D’ye çıkarken, %6 demir tozu eklenmesiyle sertlik değeri bir miktar daha artarak 65,62 Shore D’ye ulaşmıştır. En yüksek sertlik değeri ise %9 demir tozu eklemesiyle 68,37 Shore D olarak kaydedilmiştir. Bu, saf ABS ile karşılaştırıldığında %11,8’lik bir artış göstermektedir. Bu artış, demir tozunun sert ve katı yapısının polimer matrisine entegre olmasıyla açıklanabilir. Demir tozlarının katkısı, polimer

matrisinin daha rijit hale gelmesine ve dolayısıyla malzemenin sertlik değerinin yükselmesine neden olmuştur. Demir parçacıklarının matrisle oluşturduğu fiziksel bağlar, malzemenin içyapısındaki etkileşimleri artırarak sertlik değerlerinin yükselmesine yol açmıştır. Alaşımsız demir tozunun arttırılması ile sertlik değerlerinde gözlemlenen artış, malzemenin daha rijit ve dayanıklı hale gelmesine işaret etmekle birlikte, bu sertlik artışının diğer mekanik özellikler üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.



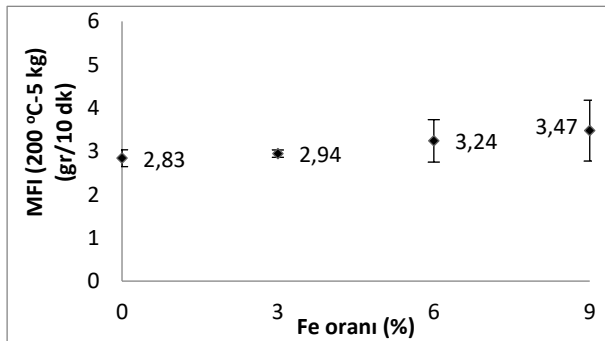
Şekil 7. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin sertlik değerleri (Hardness values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

Şekil 8’de, ABS içerisine hacimce %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen yoğunluk değerleri sunulmaktadır. Verilen grafik incelendiğinde, saf ABS’nin yoğunluk değeri 1,0356 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Ancak, ABS’ye %3 demir tozu eklenmesiyle bu değer 1,2434 g/cm³’e yükselmiştir. %6 demir tozu ilavesinde, yoğunluk bir miktar daha artarak 1,4065 g/cm³ seviyesine çıkmıştır. En yüksek yoğunluk değeri ise %9 demir tozu eklenmesiyle 1,5401 g/cm³ olarak kaydedilmiştir. Bu değer, saf ABS’nin yoğunluk değeri ile karşılaştırıldığında %48,7 oranında bir artış göstermektedir. Bu artışın temel nedeni, demir tozunun yoğunluğunun (7,85 g/cm³), ABS polimerinden belirgin derecede daha yüksek olmasıdır. Demir tozunun polimer matrisine ilave edilmesi, kompozit malzemenin toplam yoğunluğunu artırarak daha yoğun bir yapı oluşturmuştur. Bu, özellikle metal içerikli kompozitlerde yaygın olarak görülen bir davranıştır.



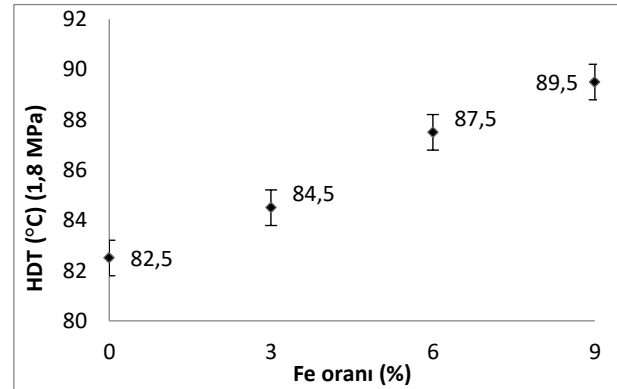
Şekil 8. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin sertlik değerleri (Hardness values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

Şekil 9'da, ABS içerisine %3 oranında demir tozu ilavesiyle elde edilen MFI değerleri sunulmaktadır. Grafik incelendiğinde, saf ABS'nin MFI değeri 2,83 g/10 dk olarak ölçülmüştür. ABS'ye %3 demir tozu eklenmesiyle MFI değeri, 2,94 g/10 dk seviyesine yükselmiştir. %6 demir tozu ilavesinde bu değer daha fazla artarak 3,24 g/10 dk'ya ulaşırken, %9 demir tozu eklenmesinde ise en yüksek MFI değeri olan 3,47 g/10 dk kaydedilmiştir. Bu değer, saf ABS'nin MFI değeriyle karşılaştırıldığında %22,6 oranında bir artış göstermektedir. Bu artışın temel nedeni, demir tozunun ABS matrisine olan bağlanma derecesinin düşük olmasıdır. Demir tozu parçacıklarının matrisle yeterince güçlü bir adezyon oluşturamaması, malzemenin daha akışkan olmasına yol açmaktadır. Bu durum, kompozitin daha düşük viskoziteye sahip olmasını sağlar ve daha kolay şekillendirilmesine imkan verir. Yüksek MFI değerleri, daha düşük işlem sıcaklıkları ve enjeksiyon basınçları ile üretim yapılmasına olanak tanır, bu da enerji verimliliğini artırabilir ve üretim sürecini daha ekonomik hale getirebilir. Enjeksiyonla üretim sırasında düşük basınçlar kullanılarak, nihai ürünler daha az enerji harcanarak ve daha az ısı stres altında üretilebilir, bu da malzemenin işlenebilirliğini iyileştirir [11].



Şekil 9. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin MFI değerleri (MFI values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

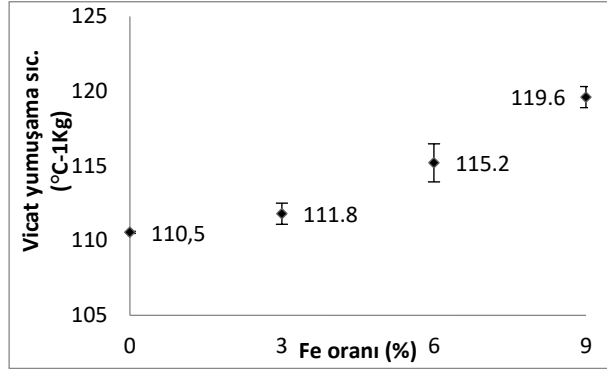
Şekil 10'da, ABS içerisine hacimce %3 oranında demir tozu eklenerek elde edilen ısıl çarpılma sıcaklığı değerleri sunulmaktadır. Grafik incelendiğinde, saf ABS'nin HDT değeri 82,5 °C olarak ölçülmüştür. ABS'ye %3 demir tozu ilave edilmesiyle, HDT değeri 84,5 °C'ye yükselmiştir. %6 demir tozu eklenmesiyle bu değer 87,5 °C'ye çıkarken, %9 demir tozu ilavesiyle en yüksek HDT değeri olan 89,5 °C kaydedilmiştir. Bu değer, saf ABS'nin HDT değeri ile karşılaştırıldığında %8,4 oranında bir artış göstermektedir. Demir tozunun eklenmesiyle, polimer matrisinin mekanik yapısı güçlenmiş ve ısıl dayanıklılık üzerinde olumlu bir etkisi olmuştur. Gülsoy ve Taşdemir [10] tarafından yapılan çalışmada benzer şekilde, ABS kopolimeri içerisine bronz tozu eklenmesiyle ısıl çarpılma sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. Bu da, demir tozu içeren kompozitlerin, matris materyali ile daha sağlam bir yapı oluşturarak daha yüksek ısıl stabilite gösterdiğini ve ısıl yüke karşı daha dayanıklı hale geldiğini desteklemektedir. Bu durum, özellikle yüksek sıcaklık koşullarında kullanılacak malzemelerin performansını artırmak için önemli bir bulgu sağlamaktadır.



Şekil 10. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin HDT değerleri (HDT values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

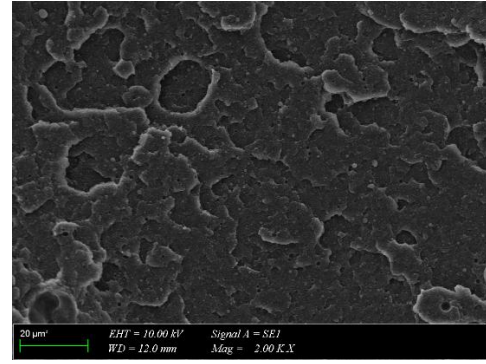
Şekil 11'de, ABS içerisine hacimce %3 demir tozu ilavesiyle elde edilen Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri sunulmaktadır. Grafik incelendiğinde, saf ABS'nin Vicat yumuşama sıcaklığı değeri 110,5 °C olarak ölçülmüştür. ABS'ye %3 demir tozu eklenmesiyle bu değer 118,0 °C'ye yükselmiştir. %6 demir tozu ilavesinde, Vicat yumuşama sıcaklığı değeri 115,2 °C'ye çıkarken, %9 demir tozu ilavesiyle en yüksek Vicat yumuşama sıcaklığı değeri 119,6 °C olarak kaydedilmiştir. Bu değer, saf ABS'nin Vicat yumuşama sıcaklığı değeri ile kıyaslandığında %8,2 oranında bir artış göstermektedir. Bu artış, alaşımsız demir tozunun

ABS polimer matrisine eklenmesiyle kompozitin ısı stabilitesinin arttığını ve daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı hale geldiğini göstermektedir. Alaşımsız demir tozu, ABS matrisin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirerek malzemenin şekil değiştirme noktasına kadar daha yüksek sıcaklıklara dayanabileceğini göstermiştir. Bu sonuç, özellikle yüksek sıcaklık koşullarında uygulama gerektiren endüstriyel alanda, kompozit malzemelerin performansını artırmak adına önemli bir katkıdır.

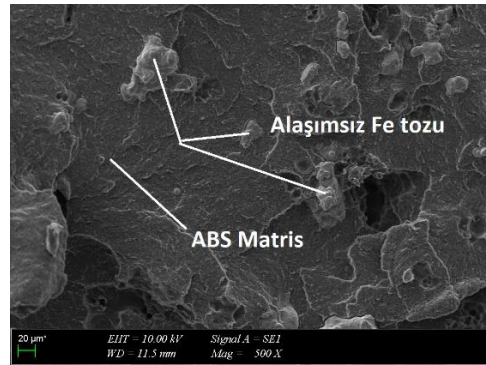


Şekil 11. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri (Vicat softening temperature values of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

Şekil 12’de, ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin mikroyapı analizine ait SEM fotoğrafları sunulmaktadır. Görüntüler incelendiğinde, ABS matrisi ile alaşımsız demir parçacıklarının belirgin bir şekilde görüldüğü ve demir tozlarının matris içerisinde homojen bir şekilde dağılmadığı gözlemlenmektedir. Ancak, SEM fotoğraflarında dikkat çeken bir diğer önemli husus, demir parçacıklarının ABS matrisiyle yeterli bir adezyon göstermemesi ve bu iki bileşenin arasındaki bağın zayıf olmasıdır. Bu durum, demir tozlarının matrisle etkileşim kurmada güçlük yaşadığını ve kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin bu bağlanma zayıflığından olumsuz etkilenebileceğini düşündürmektedir. Adhezyon eksikliği, kompozitlerin dayanıklılığını ve performansını sınırlayabilecek önemli bir faktördür ve bu bulgu, demir tozlarının matrise entegrasyonunu iyileştirmek amacıyla yüzey modifikasyonu veya bağlayıcı maddelerin kullanımını gerektirmektedir.



Saf ABS (Pure ABS)



ABS/Fe (91/9)

Şekil 12. ABS/alaşımsız Fe polimer kompozitinin SEM mikroyapı fotoğrafları (SEM microstructure photographs of ABS/non-alloyed Fe polymer composite)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, ABS polimerine alaşımsız demir tozu ilave edilerek yeni bir polimer kompoziti üretilmiştir. Üretilen kompozitin çeşitli mekanik ve termal özellikleri incelenmiş, elastisite modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, % uzama, Izod çentikli darbe mukavemeti, Shore sertlik, yoğunluk, MFI, HDT ve Vicat yumuşama sıcaklığı gibi değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, kompozitin mikroyapısı SEM ile incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda, demir tozunun polimer matrisine eklenmesiyle elastisite modülü, Shore sertliği, yoğunluk, MFI, HDT ve Vicat yumuşama sıcaklıklarının belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış, demir tozunun mekanik ve termal dayanıklılığı artırıcı bir etki sağladığını göstermektedir. Ancak, kompozitte % uzama, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti ve Izod çentikli darbe mukavemeti gibi mekanik özelliklerde düşüşler tespit edilmiştir. Bu olumsuz değişiklikler, muhtemelen demir tozlarının ABS matrisiyle yeterli bir adezyon sağlayamamasından kaynaklanmaktadır. SEM analizleri, demir tozlarının matris içinde homojen bir şekilde

dağılmadığını ve ABS matrisi ile alaşımsız demir tozları arasında güçlü bir etkileşim olmadığına işaret etmektedir. Bu durum, kompozitlerin mekanik performansını olumsuz yönde etkilemiştir.

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.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gültaş A, Temel S. Alüminyum tozu takviyeli polipropilenin takviye oranına göre mekanik özellikleri, 1st International Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition, Ankara, (2013).
- [2] Niksad M, Masood SH, Sbarski I. and 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).
- [3] Hanemann T. and Honnef, K. Rheological investigations on the flow behavior of polymer-microsized iron powder composites, Polymer Composites, 30(8), (1114-1118), (2009).
- [4] Gültaş A. Temel S. Altuğ M. Alüminyum tozu katkılı polipropilenin ergiyik akış indeksi

özelliklerinin incelenmesi, Journal of Polytechnic, 20(1), (51-59), (2017).

- [5] Güngör A. Mechanical properties of iron powder filled high density polyethylene composites, Materials & Design, 28(3), (1027-1030), (2007).
- [6] Taşdemir M. and Gülsoy HÖ. Physical and mechanical properties of iron powder filled, polymer-plastics technology and engineering, 45, 12, (2006).
- [7] Saude N, Ibrahim M and Ibrahim MHI. 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).
- [8] Gülsoy HÖ, and Taşdemir M. Physical and mechanical properties of polypropylene reinforced with Fe particles, International Journal of Polymeric Materials, 55, 619-626 (2006).
- [9] Chawla K, Singh R, Singh J, and 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).
- [10] Gülsoy HÖ and 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).
- [11] Taşçı G. Zeren M. Metal katkılı polimer matrisli hibrit kompozitler, Metal Dünyası, 2017.