

Atf İçin: Ulutaş, E., Taşdemir, M. ve Eker Gümüş, B. (2023). Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) Kopolimerinin Fiziksel Özelliklerine Çelik Tufalinin Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1287-1296.

To Cite: Ulutaş, E., Taşdemir, M. & Eker Gümüş, B. (2023). Effect Of Steel Scale On The Physical Properties Of Acrtlonitrile Butadiene Styrene (ABS) Copolymer. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1287-1296.

Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) Kopolimerinin Fiziksel Özelliklerine Çelik Tufalinin Etkisi

Elif ULUTAŞ^{1*}, Münir TAŞDEMİR¹, Beril EKER GÜMÜŞ²

Öne Çıkanlar:

- Sürdürülebilir kaynak kullanımı
- Demir-çelik endüstri atığı
- Tufalin katkı maddesi olarak kullanımı

Anahtar Kelimeler:

- Tufal,
- Akrilonitril bütadien stiren,
- Polimer kompozit,
- Fiziksel özellikler

ÖZET:

Ülkemizde demir-çelik üretimi esnasında her yıl tonlarca ağırlıkta tufal oluşmaktadır. Son yıllarda demir-çelik tüketim miktarındaki artış, hammadde kaynaklarındaki azalmayı beraberinde getirmiştir ve bu yüzden yapısında yüksek oranda demir barındıran tufale karşı ilgiyi arttırmıştır. Yeniden ergitilme veya redüksiyon gibi farklı uygulamalarda değerlendirilebilen tufalin hammadde olarak kullanımı geri kazanım adına farklı bir alan oluşturmaktadır. Bu çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan çelik tufalinin akrilonitril bütadien stiren (ABS) polimer matris üzerindeki fiziksel etkileri incelenmiştir. Tufal, çelik kütük üzerinden püskürtme ile ayrıştırıldığından farklı boyutlarda olurlar. Bu sebeple öğütücü ile toz haline getirilen çelik tufali, ABS ile homojen bir karışım elde etmek için ekstrüde edilmiştir. Standartlara uygun boyutlardaki test numuneleri enjeksiyon makinesinde kalıplanarak kompozitlerin yoğunluk, aşınma, ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT), vicat yumuşama sıcaklığı, erime akış indeksi (MFI), nem, sertlik testleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; tufal ilavesiyle aşınma oranının düştüğü fakat tufal oranının artışıyla birlikte aşınma oranında bir artış görülmüştür. Ayrıca tufal ilavesi ile yoğunluk, vicat yumuşama sıcaklığını, ısıl çarpılma sıcaklığı değeri artmış buna karşılık nem emme ve erime akış indeksi değerlerinde ise düşüş tespit edilmiştir.

Effect Of Steel Scale On The Physical Properties of Acrtlonitrile Butadiene Styrene (ABS) Copolymer

Highlights:

- Sustainable sourcing
- Waste from the iron and steel industry
- Use the scale as an additive

Keywords:

- Scale
- Acrylonitrile butadiene styrene,
- Polymer composite,
- Physical properties

ABSTRACT:

During iron and steel production in our country, tons of scale is formed every year. The increase in the amount of iron and steel consumption in recent years has brought about a decrease in raw material resources, and therefore, the interest in scale, which contains high iron in its structure, has increased. The use of scale, which can be evaluated in different applications such as remelting or reduction, as a raw material creates a different area for recycling. In this study, the physical effects of steel scale used as an additive on acrylonitrile butadiene styrene (ABS) polymer matrix were investigated. Since the scale is separated by spraying over the steel billet, they come in different sizes. For this reason, steel scale powdered with a grinder was extruded to obtain a homogeneous mixture with ABS. The test samples in the dimensions suitable for the standards were molded in the injection machine and the density, abrasion, thermal distortion temperature (HDT), vicat softening temperature, melt flow index (MFI), moisture, hardness analyzes and microstructure examination of the composites were carried out. According to the test results; It was observed that the wear rate decreased with the addition of scale, but an increase in the rate of wear was observed with the increase in the scale rate. In addition, with the addition of scale, the density, vicat softening temperature, thermal distortion temperature value increased, while the moisture absorption and melt flow index values decreased.

¹ Elif ULUTAŞ ([Orcid ID: 0000-0001-7753-8878](https://orcid.org/0000-0001-7753-8878)), Münir TAŞDEMİR ([Orcid ID: 0000-0001-8635-7251](https://orcid.org/0000-0001-8635-7251)), Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Beril EKER GÜMÜŞ ([Orcid ID: 0000-0002-4185-4470](https://orcid.org/0000-0002-4185-4470)), Yıldız Teknik Üniversitesi, Rektörlük, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Elif ULUTAŞ, e-mail: elif.ulutas@marmara.edu.tr

GİRİŞ

Demir-çelik endüstrisi, farklı sanayi dallarıyla iç içe olduğundan yüksek üretim kapasitesi sebebiyle stratejik bir öneme sahiptir. İmalat sanayide hammadde ve enerji tüketimi açısından en büyük payı oluşturan demir-çelik endüstrisi atık üretimi bakımından da yoğun bir sektördür (Kaya, 2019). Ayrıca yan ürün ve atık madde oluşumu, başta çelik endüstrisinde olmak üzere diğer endüstri dallarında da görülmektedir. Yapılan araştırmalar; çelik üretimi esnasında 1 ton çelik başına 2-4 ton arasında atık/yan ürün oluştuğunu göstermektedir (Das ve ark. 2007; Roslan ve ark. 2013). Endüstrilerin yüksek oranda enerji kullanımı ve atık oluşturması ele alındığında kısıtlı kaynakların insanların sınırsız ihtiyaçları tarafından tüketimi sürdürülebilirlik ilkesini doğurmuştur. Bu sebeple sürdürülebilir kaynak kullanımı; başka bir deyişle geri dönüşüm ile atık oluşumunun azaltılarak yeniden kullanıma kazandırılması, enerji ve malzeme tasarrufu sağlarken maliyeti de düşürmeyi hedefler (Anonim, 2015; Kaya, 2019).

Demir-çelik endüstrisinde üretim esnasında girdi olarak kullanılan malzemenin büyük çoğunluğu uçucu kül, cüruf, tufal ve baca tozu gibi yan ürün olarak çıkmaktadır. Önemli oranda ağır metal içeren bu atıklar uygun şekilde yönetilemeyip toprağa atıldığında çeşitli çevre sorunlarına yol açacaktır. Gaz ve katı atıktan oluşan yan ürünlerin depolanması, atık oluşturması gibi çevreye verdikleri olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için çıkan bu yan ürünler yeniden değerlendirilebilir (Gökpınar ve Gökpınar, 2019). Atıklar yüksek oranda farklı uygulamalarda kullanılsa bile, çelik tufali işlem maliyeti sebebiyle bedelsiz olarak uzaklaştırılmakta veya hurda olarak satılmaktadır (Mozt ve Geiseler, 2001; Turhan, 2019; Göçmen ve ark, 2020). Çevreye verdiği olumsuz etkinin azaltılabilmesi ve atık bir ürünün ülke ekonomisine kazandırılması açısından tufalin geri kazanımı çok önemlidir (Tuna Kayılı ve ark. 2018).

Demirin doğası gereği oluşumu engellenemeyen tufal; dökümhanelerde ve tav fırınlarında çeliğin haddelenmesi esnasında yüzeyde oluşup metalden ayrılmaya çalışan sırasıyla vüstit (FeO), manyetit (Fe_3O_4) ve hematit (Fe_2O_3) gibi demir oksitli fazlardan oluşan katmanlı bir yapıdır (Gündoğdu, 2013; Arancı, 2018; Cihangiroğlu, 2021). Tufal; çelik kütüğünün yüksek sıcaklıkta hava ile teması sırasında, çeliğin yüksek sıcaklıklarda yapılan işlemlerinde veya tav fırınlarında haddeleme öncesi deformasyon sıcaklığına getirilme aşamasında oluşur (Turhan, 2019). Literatür incelendiğinde; demir-çelik endüstrisine ait bu atığın tekrar ergitilmesi veya redüksiyonu üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca tufalin betonda doğal agregalar (betonun hammaddelerini oluşturan kum ve çakıl karışımı) ile belirli oranlarda yer değiştirerek değerlendirilmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Mohamed, 2017; Murthy ve ark, 2017; Arıcı ve Keleştemur, 2018; Ganeshprabhu ve ark, 2018; Keleştemur ve Arıcı, 2020; Arıcı ve Keleştemur, 2021). Özcan çalışmasında (Özcan, 2019); clarofast ticari isimli polimer matris içerisine %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ve 61-67, 67-91 ve 91-125 μm boyutlarında tufal katmıştır. Ürettiği kompozit malzemelerin sertlik ve aşınma davranışını incelemiştir. Sıcak kalıplama ile hazırlanan numuneler 7 ve 10 N yük altında 0.15 m sn^{-1} hızında aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda yapıya tufal ilavesiyle kompozit numunelerin aşınma direncinin arttığı bunun aksine tufal oranının artmasıyla aşınma direncinin düştüğü görülmüştür. Başka bir çalışmada Taşdemir ve Gülsoy (Taşdemir ve Gülsoy, 2006); metal takviyeli polimer matrisli kompozitlerin fiziksel davranışlarını incelediği çalışmasında polistiren içerisine demir tozu ilave etmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda; demir tozlarının artışına bağlı olarak kompozitlerin sertlik, vicat yumuşama sıcaklığı ve HDT değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Farklı formlarda takviye elemanı barındıran kompozit malzeme grubu içerisinde toz halindeki dolgu ve katkı maddelerini içerenler önemli bir yer tutar. Özellikle metal parçacıklarla güçlendirilmiş polimer matrisli kompozitler hem metal hem de polimerlerin özelliklerini sergilediğinden önemli bir araştırma konusu haline

gelmiştir. Bu tür dolgu ve katkı maddeleri termal ve elektriksel iletkenliği iyileştirmenin yanı sıra sertliği artırarak matrise aşınma direnci kazandırmak için de kullanılmaktadır (Güngör, 2005; Rusu ve Rusu, 2001; Ghosh ve Maiti, 1996). Farklı alanlarda çalışmalar yapılmasına rağmen tufalin plastik malzemelerde katkı/takviye malzemesi olarak kullanımı ile ilgili kısıtlı sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Yapısında yüksek oranda metal tozu barındıran atık malzemeler katkı/takviye malzemesi olarak kullanıldığında mekanik özellikleri ve dayanıklılığı iyileştirebileceği düşünülmektedir. Literatürdeki yetersizlikten yola çıkılarak, çelik tufali ile yapılan bu çalışmada polimer matris içerisinde katkı maddesi olarak kullanılmış ve tufal miktarının artmasıyla; yoğunluk, HDT, Vicat yumuşama sıcaklığı, nem emme miktarı, ergime akış indeksi, sertlik ve aşınma oranı değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunlara ek olarak taramalı elektron mikroskopu ile çelik tufal partiküllerinin dağılımları incelenmiştir.

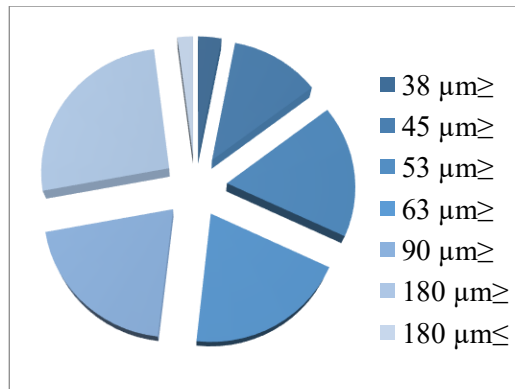
MATERYAL VE METOT

Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada katkı maddesi olarak kullanılan çelik tufali Bursa'da bulunan Asil Çelik San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Yoğunluğu ise 5.0122 g/cm^3 'tür. Matris malzemesi olarak kullanılan ABS polimeri (starex SD-0150) Lotte Chemical Corporation tarafından temin edilmiştir. Bu polimerin yoğunluğu 1.03 g/cm^3 , çekme dayanımı 48 MPa ve Vicat yumuşama sıcaklığı değeri ise 98°C 'dir. Deneylerde kullanılan malzemelere ait görseller Şekil 1'de ve çelik tufalinin partikül büyüklüğü dağılım grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Polimer kompozit üretiminde kullanılan malzemeler



Şekil 2. Çelik tufaline ait partikül büyüklüğü dağılımı

Numunelerin Hazırlanması

Çelik üretiminde; soğutma, gaz temizleme, tufal kırma ve yıkama işlemleri için su kullanılır. Bu sebeple Asil Çelik'ten temin edilen tufalin yapısındaki suyu uzaklaştırmak için 105°C sıcaklıkta 12 saat boyunca Yamato ADP-31 tipi fırında kurutulmuştur. Daha sonra Siemens simatic C7-621 marka

öğütücüde toz haline getirilmiştir. Tablo 1’de belirtilen oranlarda tartılan ABS ve toz çelik tufali bir karıştırıcıda (Patterson marka) 15 dak. boyunca karıştırılmıştır ardından homojen karışım elde etmek için Mikrosan marka (Mikrosan Makine A.Ş., Türkiye) çift vidalı bir ekstrüzyon makinesinde 25-35 bar basınç altında, 40 dev /dk dönüş hızında ve 210-240°C arasındaki sıcaklıklarda eritilerek karışımları gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon makinesinde soğutma işlemi için suya daldırılan polimer kompozitler; kırıcı yardımıyla granül formuna getirilmiş ve yapıdaki nemi uzaklaştırmak için etüvde 105°C’ de 12 saat boyunca kurutulmuştur. Test numuneleri, enjeksiyon sıcaklığı 210–240°C, enjeksiyon basıncı 700-900 bar ve vida dönme hızı 25 dev /dk olan bir enjeksiyon makinesinde basılmıştır.

Tablo 1. ABS/çelik tufali polimer kompozitinin karışım oranları (hacimce)

ABS (%)	Çelik Tufali (%)
100	-
97	3
95	5
93	7
91	9

Test Yöntemleri

Çelik tufalinin ABS üzerindeki termal etkisini incelemek için HDT ve vicat testleri sırayla ISO 75 ve ISO306 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Her iki test için Devotrans marka test cihazı kullanılarak üç adet numunenin ortalaması alınmıştır. Malzemelerin akışkanlığı hakkında yorum yapmamızı sağlayan MFI testleri Zwick marka test cihazında ISO 1133 standardına uygun olarak yapılmıştır. Numunelerin yoğunluk ve nem tayini ölçümleri sırasıyla ISO 2781 ve ASTM D 6980 standardında 3 adet numune kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca numunelerin aşınma davranışını incelemek için yapılan aşınma oranı tayini için; Devotrans DA5 marka tamburlu aşınma test cihazı (0.32 m /s aşınma hızı) kullanılmıştır. Test esnasında 10 N yük uygulanan numuneler farklı aşınma mesafelerinde (20, 40, 60, 80 m) zımpara üzerinde aşındırılmıştır. Sert plastiklerin sertlik miktarını belirlemek için kullanılan D durometresi ile kompozitlerin Shore sertlik değeri ölçülmüştür.



Şekil 3. ABS/çelik tufali polimer kompozitinin üretim aşamaları ve kullanılan cihazlar

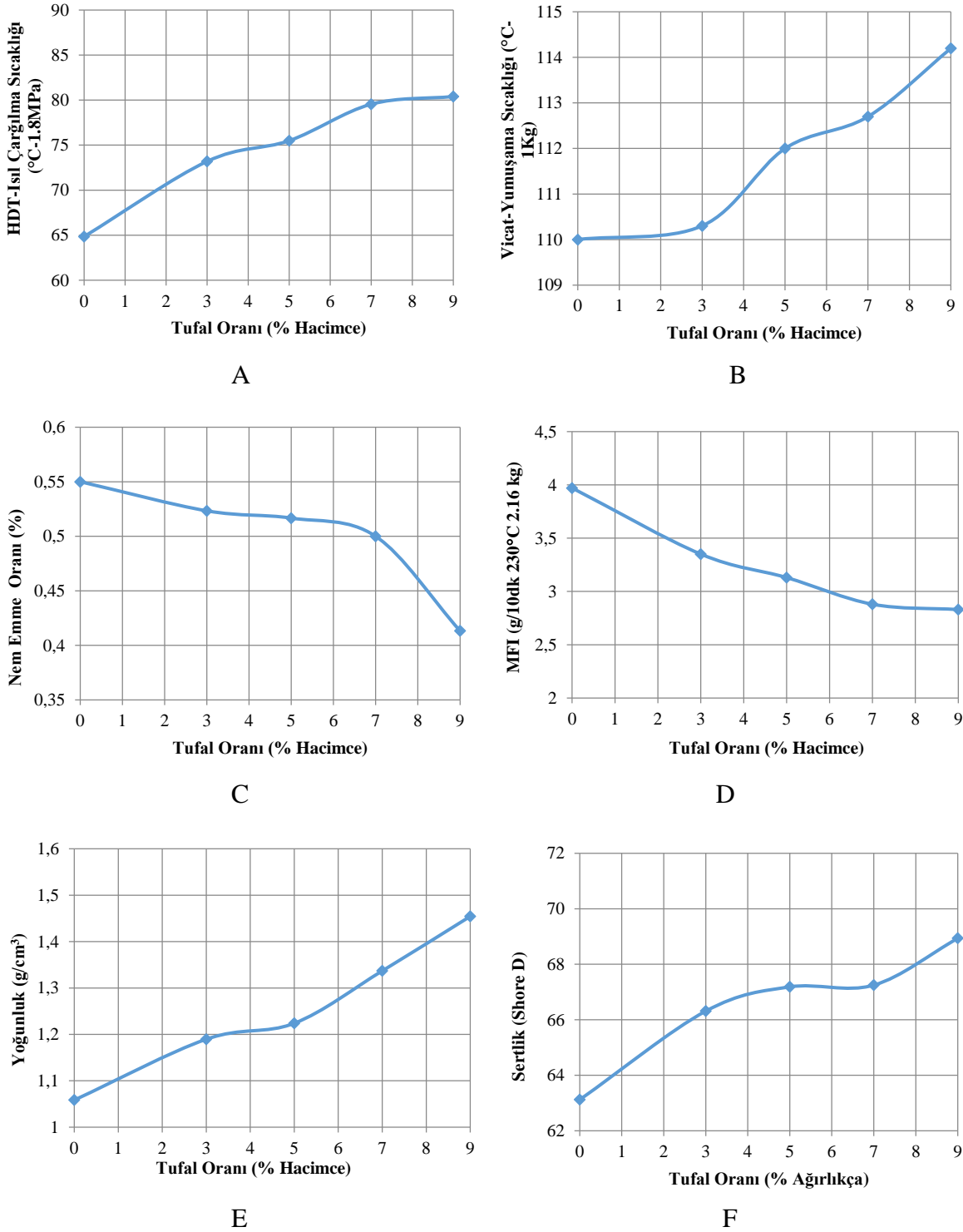
Sertlik testi ASTM D-1706-67 standardına uygun olarak Zwick marka test cihazında 6 ölçümün ortalaması alınarak yapılmıştır. Tane boyutu dağılımını saptamak için yapılan elek analizi testinde Retsch AS 200 marka test cihazı kullanılarak numuneler, farklı mesh numaralarından oluşan elek

düzeneğinde 15 dk boyunca sabit hızda titreşime maruz bırakılmıştır. Çelik tufalinin ABS matris içerisindeki dağılımını ve mikroyapısını incelemek için 20kV hızlanma voltajında SEM analizi (FEI Sirion XL30 FEG-Hollanda) yapılmıştır ve mikroyapı görüntüleri 5000 büyütme oranında incelenmiştir. Elektriksel şarjı önlemek için polimer kompozitlerin kırık yüzeyleri 20Å kalınlığında altın-paladyum karışımı ile kaplanmıştır. Şekil 3'te ABS/çelik tufali polimer kompozitinin üretim aşamaları ve kullanılan cihazlar verilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çelik tufalinin ilavesi ile polimer kompozitinin termal etkisini incelemek için yapılan HDT ve vicat testlerine ait sonuçlar Şekil 4A ve 4B'de verilmiştir. Test sonuçlarına göre çelik tufali her iki testte de benzer etki göstermiştir. Saf ABS en düşük HDT ve vicat değerine sahipken, tufal ilavesi bu değerleri artırmıştır. Tufal miktarının artmasıyla her iki değer artmaya devam etmiştir. Bayraktar (Bayraktar, 2020), yapmış olduğu çalışmada tufal katkılı polietilen matrisli kompozitlerin tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Test sonuçları incelendiğinde tufal ilavesiyle elde ettiği kompozitlerin ısı absorblama miktarı artış göstermiştir. Yani artan konsantrasyon ile birlikte malzemenin erime entalpisi artmış böylelikle bozunma entalpisi yükselmiştir. Çalışmamıza benzer şekilde Gülsoy ve Taşdemir (Gülsoy ve Taşdemir, 2006); polipropilen matris içerisine demir tozu ilavesiyle kompozitlerin fiziksel özelliklerini incelediği çalışmasında artan demir miktarı ile HDT ve vicat sıcaklıklarının arttığını gözlemlemiştir. Şekil 4C'de verilen nem testi sonuçları incelendiğinde; tufal ilavesiyle nem oranını azaldığı dolayısıyla neme karşı direnç kazandığı görülmektedir. Tufal konsantrasyonunun %5 ve 7 olduğu durumlarda nem miktarı ciddi bir değişiklik göstermemiştir; bunun aksine %9 oranında katılan tufal, saf ABS'nin nem çekme kapasitesini yaklaşık %25 oranında azaltmıştır. Polimer kompozitlere ait MFI değerleri Şekil 4D'de verilmiştir. Yapılan test sonuçları incelendiğinde; %3 oranında tufal ilavesi saf ABS'nin MFI değerini yaklaşık %15 oranında azaltmıştır ve tufal miktarı arttıkça bu değer düşmeye devam etmiştir. En düşük MFI değeri %9 oranında tufal içeren numunelerde görülmektedir. Şekil 4E'de yer alan yoğunluk testi sonuçları incelendiğinde; ABS polimer matrise katılan tufalin yoğunluğu artırdığı görülmektedir. Hacimce %9 oranında katılan çelik tufali ile elde edilen karışım en yüksek yoğunluk değerine sahiptir. Ulutaş ve arkadaşları (Ulutaş ve ark, 2021) çalışmalarında; bir başka endüstriyel atık olan ve yapısında demir, titanyum, alüminyum minerallerini barındıran kırmızı çamurun yüksek yoğunluklu polietilen ve düşük yoğunluklu polietilen üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapmış oldukları testler neticesinde; yoğunluk değerinde bu çalışmada elde edilen benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Kullandıkları polimerlerden daha yüksek yoğunluğa sahip olan kırmızı çamur (2.5-2.7 g/cm³) ilavesinin polimer kompozitlerin yoğunluk değerini artırdığını ve artan konsantrasyonla birlikte bu değer artmaya devam ettiğini gözlemlemişlerdir. Şekil 4F'de verilen sertlik testi sonuçları incelendiğinde ABS içerisinde tufal katılmasıyla malzemenin sertliğinin arttığı görülmüştür. Yapısında bulundurduğu demir oksitli fazlardan dolayı daha sert bir yapıya sahip olan çelik tufali polimerin sertliğini artırmıştır ve tufal konsantrasyonundaki artışı bağlı olarak sertlik değeri artmaya devam etmiştir. Güngör'e ait bir çalışmada (Güngör, 2005) yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) içerisine demir tozu (%5, 10, 15 oranında) katarak elde ettiği polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapmış olduğu Shore sertlik testinde bu çalışma ile benzer sonuçlara ulaşmıştır. Fe partikülleri, YYPE'nin sertliğinde iyileştirici bir rol oynamıştır.

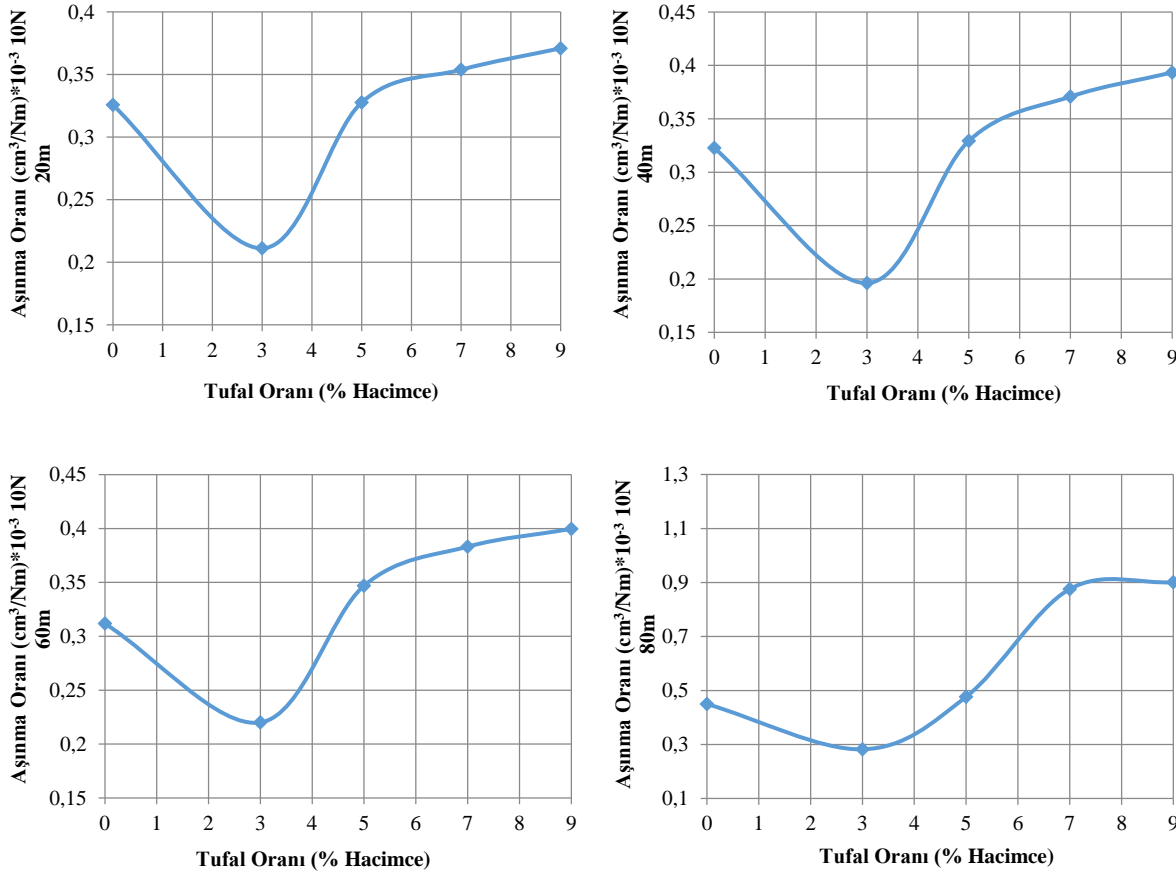
Elde edilen polimer kompozitlere ait aşınma testi sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Farklı aşındırma mesafelerindeki (20, 40, 60, 80 m) grafikler incelendiğinde; hacimce %3 oranında tufal içeren polimer kompozitlerin en düşük aşınma oranına sahip olduğu dolayısıyla daha yüksek aşınma direnci gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4. ABS/çelik tufali polimer kompozitlerine ait fiziksel özellikler

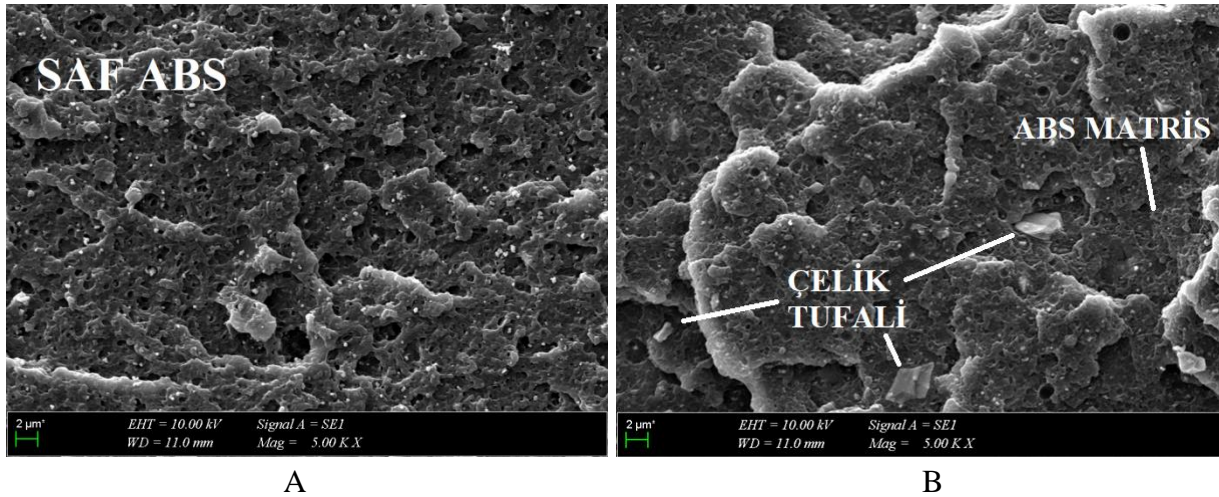
Bunun aksine matris içerisindeki tufal konsantrasyonu arttıkça aşınma oranı artış göstermiştir. Gök ve arkadaşları (Gök ve ark, 2018) ticari ismi clarofast olan bir polimer içerisine endüstriyel atık olan tufali katarak polimer kompozitlerin aşınma davranışını incelemişlerdir. Kompozitlerin aşınma davranışlarını inceledikleri çalışmalar sonucunda; takviye edici malzemenin konsantrasyonunun artmasıyla numunelerdeki hacim kütle kayıplarının azaldığını tespit etmişlerdir. Kiraz (Kiraz, 2019) yapmış olduğu çalışmada; oda sıcaklığında 5N ve 10N yük altında %5, 10, 15, 20 oranında demir oksit takviyeli polipropilenin aşınma davranışını incelemiştir. Deney sonuçlarına göre; en iyi aşınma direnci dolayısıyla en düşük hacim kaybı %5 oranında demir oksit içeren numunelerde görülmüştür ve demir

oksit içermeyen numuneler en yüksek hacim kaybı oranına sahiptir. Ayrıca artan yük ile birlikte hacim kaybı paralel olarak artmıştır. Aşınma davranışının incelendiği bir başka çalışmada Özcan (Özcan, 2019) polimer matrisli kompozit üretiminde kullandığı haddehane tufalinin etkilerini araştırmıştır. Abrasif aşındırıcı kullanarak gerçekleştirdiği deneylerde yüksek oranda sert takviye edici içeriğe sahip kompozitlerin aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğunu belirlemiştir.



Şekil 5. ABS/çelik tufali polimer kompozitlerinin aşınma oranı değerleri

Taramalı elektron mikroskopu ile yapılan saf ABS'ye ait mikroyapı görüntüleri Şekil 6A'da verilmiştir. Ayrıca Şekil 6B'de verilen ABS/çelik tufali polimer kompozitine ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde; çelik tufalinin yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Çelik tufal partiküllerinin polimer matrisine iyi tutunmadığı başka bir deyişle çelik tufali ve ABS arasındaki adezyonun çok iyi olmadığı görülmektedir. Toz metalurjisi ile üretilen tozlar küresel, yuvarlak, pul, düzensiz, çubuk, açılı ve geometrik olarak farklı şekillerde olabilir. Özcan'a ait bir tez çalışmasında ve Gök ve arkadaşlarına ait bir çalışmada SEM analizi sonucuna göre; öğütülmüş tufal partiküllerinin pulu ve girinti çıkıntılara sahip, köşeli geometrik bir görünüme sahip olduğu belirtilmiştir. ABS matris içerisinde gömülü olan tufal partiküllerinin keskin köşeleri bulunan geometrik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6. ABS/çelik tufali polimer kompozitlerine ait mikroyapı görüntüleri

SONUÇ

Çelik tufali 5.0122 g/cm^3 yoğunluğa sahip olduğundan daha düşük yoğunluktaki ABS polimer matris içerisine katıldığında karışımın yoğunluğunu artırmıştır. Ayrıca tufalin yapı içerisindeki miktarının artırılmasıyla yoğunluk artmaya devam etmiştir. En düşük HDT ve vicat değerine sahip olan saf ABS'e tufal ilavesiyle bu değerler artış göstermiştir. Dolayısıyla çelik tufalinin ilavesi polimere termal direnç kazandırmıştır ve bunun sebebinin ABS ve tufal arasında oluşan kimyasal etkileşimin zincir hareketini engellemesi olduğu düşünülmektedir. Polimerlerde aşınma davranışını deney şartları, kullanılan malzeme ve aşındırıcı özellikleri gibi birçok parametre etkilemektedir. Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında yoğunluk ve sertlik yer almaktadır. Bir cismin kendisine batmaya çalışan başka bir cisme karşı gösterdiği direnç sertlik olarak tanımlanmaktadır. Malzemenin sertliği arttıkça; aşındırıcı zımparaya karşı gösterilen direnç artacağından malzemenin aşınma direnci de artış gösterecektir. Yani; genellikle yoğunluk ve sertliğin artmasıyla malzemenin aşınma davranışı direnç kazanmaktadır. Polimere kıyasla daha yüksek sertliğe ve yoğunluğa sahip olan tufalin ABS matris içerisine katılmasıyla kompozitin sertlik ve yoğunluk değeri artış göstermiştir. Buna bağlı olarak %3 oranında tufal, polimerin aşınma direncinde artışa sebep olmuştur. Bunun sebebi tufalin; ABS yüzeyi ve zımpara arasında koruyucu bir yatak görevi üstlenerek aşındırıcı yüzeye karşı polimere sert ve dayanıklı bir yapı kazandırmasıdır. Bunun aksine takviye oranının artmasıyla tufalin polimerin aşınma direncine katkısı azalmıştır. Takviye elemanı ve matris arasında oluşan arayüzeyin bağlanma direnci aşınma direncinin artırılmasında önemli bir etkiye sahiptir. Takviye oranının düşük olduğu yapılarda homojen dağılım olasılığı artarken, takviye oranının artmasıyla yapıda topaklanmalar meydana gelebilir. Buna bağlı olarak arayüzey bağlanmasında zayıflama meydana gelecektir. Tufal oranının artmasıyla aşınma direncinde meydana gelen düşüşün sebebi artan takviye miktarına bağlı olarak matrisle oluşan ara yüzey bağ dokunun zayıflaması olarak düşünülmektedir. Artan oranla birlikte birim alan başına düşen ve düşük arayüzey bağlanmasına sahip tufal miktarı artar. Bunun sonucunda aşınma direncinde düşüş meydana gelir. SEM ile elde edilen mikroyapı görüntüleri; takviye oranının artmasıyla matris malzemesi ve tufal arasında güçlü bir yapılaşma olmadığını doğrulamaktadır. Dolayısıyla aşınmaya maruz kalan yüzeylerde tutunamayan tufal, iyi bir yapışma sağlayamadığı için çukurlar oluşturarak aşınma direncinin azalmasına neden olmuştur. Bu olumsuz etkinin azaltılması için polimer ve takviye elemanı arasındaki yapışmayı arttıracak uyumlaştırıcı bir malzeme kullanılması önerilir. Polimerlerin aynı şartlara sahip olduklarını anlamamıza yardımcı olan MFI testi aynı zamanda polimerlerin işleme şartlarını belirlemede ve akışkanlığı hakkında yorum yapmamızda öncü bir test yöntemidir. MFI değerindeki düşüş akışkanlığın

azaldığını yani polimerin viskozitesinin arttığını ifade etmektedir. Çelik tufali, ABS matris içerisine ilave edildiğinde polimerin MFI değerini düşürmüştür. Bu durumda polimer kompozitler daha az akışkan yani yüksek viskoziteli bir yapıya geçmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2015) https://www.bilecikdemircelik.com.tr/wp-content/uploads/2021/02/EFRS_Celik-Uretiminde-Surdurulebilir-Kaynaklarinin-Degerlendirilmesi-Makale-002-rev-MB.pdf (Şubat, 2022)
- Arancı E, (2018). Manyetit Cevheri Konsantrasyonunun Karbonize Çay Tesis Atıkları İle Mikrodalga Redüksiyonuna Mekanik Aktivasyon İşleminin Etkisinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi (Basılmış).
- Arıcı E, Keleştemur O, (2018). Tufal Katkılı Harçların Basınç Dayanımının Taguchi Metodu ile Analizi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 30(3), 145-151.
- Arıcı E, Keleştemur O, (2021). Gri İlişkisel Analiz Yöntemi İle Tufal Katkılı Harçların Basınç Dayanımı Ve Porozitesinin Optimizasyonu. Politeknik Dergisi, 24(4), 1445-1452.
- Bayraktar G, (2020). Tufal Katkılı PE Matrisli Kompozitlerin Tribolojik Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Cihangiroglu E, (2021). Demir Çelik Atıklarından Olan Tufalin Alternatif Yöntemlerle Değerlendirilmesi, Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Das B, Prakash S, Redy PSR, Misra VN, (2007). An Overview of Utilization of Slag and Sludge from Steel Industries. Resources, Conservation and Recycling. 50, 40-57.
- Ganeshprabhu P, Chandrasekaran P, Farzana AS, (2018). Mechanical And MicroStructural Characteristics Of Steel Mill Scale As A Partial Replacement For Fine Aggregate İn Concrete, Taga Jörn, 14, 306-322.
- Ghosh K, Maiti SN, (1996). Mechanical Properties of Silver-Powder-Filled Polypropylene Composites, Journal of Applied Polymer Science. 60(3), 323-331.
- Göçmen E, Özgüven A, Köybaşı Ö, Aydınarı AO, Yeşil K, Göknaar Yaşar Ö, Coşkun SH, Vural EU, (2020). Tufalin, Öğütme Ve Peletlemeye Hazır Hale Getirilip Atık Olarak Değerlendirilmesi ve Katma Değerinin Arttırılması. 3. Çevre Mühendisliği Kaynak Geri Kazanımı Uluslararası Kongresi. Güven Plus Grup Danışmanlık A.Ş. Yayınları. İstanbul. Prof. Dr. Mustafa TALAS, Doç. Dr. Gökşen ARAS.
- Gök MS, Çay VV, Koçyiğit F, (2018). Endüstriyel Atık (Tufal) Takviyeli Clarofastın Kuru-Kayma Aşınma Davranışları. International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2018). 1084-1090.
- Gökpınar B, Gökpınar S, (2019). Endüstriyel Yan Ürünlerin Yeniden Değerlendirilmesi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 2(3), 103-111.
- Gündoğdu N, (2013). Demir-Çelik Tesislerinde Açığa Çıkan Tufalden Demirin Geri Kazanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)
- Güngör A, (2005). The Physical and Mechanical Properties of Polymer Composites Filled with Fe-Powder. Journal of Applied Polymer Science, 99(5), 2438-2442.

- Gülsoy HÖ, Taşdemir M, 2006. Physical and Mechanical Properties of Polypropylene Reinforced With Fe Particles. *International Journal of Polymeric Materials*. 55: 619-626.
- Kaya D, (2019). Demir Çelik Sektöründe Enerji Verimliliği. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2)
- Keleştemur O, Arıcı E, (2020). Analysis Of Some Engineering Properties Of Mortars Containing Steel Scale Using Taguchi Based Grey Method. *Journal Of Building Engineering*. 29. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.101015>
- Kiraz AT, (2019). Polimer Matrisli Demir Oksit Takviyeli Kompozit Malzemenin Kuru Kayma Aşınma Davranışı, *Bartın Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*.
- Mohamed A, (2017). Investigation Of Gamma Radiation Shielding And Compressive Strength Properties Of Concrete Containing Scale And Granulated Lead-Zinc Slag Wastes, *J. Clean. Prod.* 166, 157-162.
- Motz H Geiseler J, (2001). Products Of Steel Slags An Opportunity To Save Natural Resources. *Waste Management*. 21, 285-293.
- Murthy Y, Agarwal A, Pandey A, 2017. Characterization Of Mill Scale For Potential Application In Construction Industry, *Indian J. Engineering*. 14 (35): 71-76.
- Özcan M, (2019). Haddehane Tufalinin Polimer Matrisli Kompozit Üretiminde Kullanımı, *Bartın Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*.
- Roslan NH, İsmail M, Yusuf TO, (2013). Evaluation of By-Product from Steel Industry as Cement Replacement. *4th International Graduate Conference on Engineering Science & Humanity*, Johor, Malezya.
- Rusu M, Rusu D, (2001). Mechanical and Thermal Properties of Zinc Powder Filled High Density Polyethylene Composites, *Polymer Testing*. 20, 409-417.
- Taşdemir M, Gülsoy HÖ, (2006). Physical and Mechanical Properties on Iron Powder Filled Polystyrene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 45, 1207-1211.
- Tuna Kayılı M, Çelebi G, Gültaş A, (2018). Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Hedefiyle Demir Çelik ve Plastik Endüstrisi Atıklarının Geri Kazanımı, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 33(2), 33-44.
- Turhan, E, (2019). SHS Yöntemi İle Tufal Kullanılarak $AlFe_2B_2$ İntermetalik Bileşiğinin Üretimi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*.
- Ulutaş E, Yazgan ZH, Uzun Kart E, Taşdemir M, (2021). Metalurjik Atık Takviyesinin HDPE ve LDPE Polimer Kompozitler Üzerine Etkileri. *UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 3(2), 33-46.