

## The Effect of Graphene on the Mechanical Properties of High Density Polyethylene (HDPE)/Zinc Borate Polymer Composite

Elif ULUTAŞ<sup>1a</sup>  Beril EKER GÜMÜŞ<sup>2b</sup>  Münir TAŞDEMİR<sup>1c</sup> 

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722 Kadıköy İSTANBUL

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, 34200, Esenler İSTANBUL

<sup>a</sup> [elif.ulutas@marmara.edu.tr](mailto:elif.ulutas@marmara.edu.tr), ORCID: 0000-0001-7753-8878

<sup>b</sup> [beril.gumus@merklab.yildiz.edu.tr](mailto:beril.gumus@merklab.yildiz.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4185-4470

<sup>c</sup> [munir@marmara.edu.tr](mailto:munir@marmara.edu.tr), ORCID: 0000-0001-8635-7251

### Graphical/Tabular Abstract

#### Article Info:

Research article

Received: 17.01.2023

Revision: 27.02.2023

Accepted: 01.03.2023

#### Highlights

- Mechanical properties
- Composite material

#### Keywords

High density polyethylene

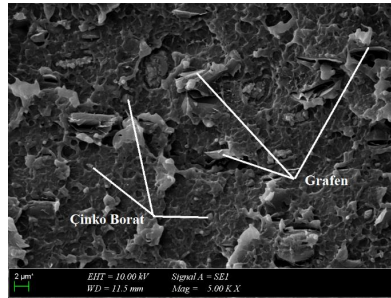
Zinc borate

Graphene

Mechanical properties

Composite material

In this study; A composite was produced by adding 5% zinc borate and different amounts of graphene powders into high density polyethylene (HDPE). Five different groups were obtained by mixing the materials forming the composite in a twin screw extruder and standard test samples were produced using an injection machine.



Şekil 4. HDPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin mikroyapı fotoğrafları

**Purpose:** A number of problems arise when traditional materials are used alone in the face of developments in the industry. The production and development of composite materials since the nineteenth century has been very popular recently [1]. Nanotechnology is the most popular subject of research and development studies in all technical fields. In particular, studies on biomedical and sensors have gained momentum and their importance is increasing in these sectors. Therefore, the production of graphene and graphene-based new polymer nanocomposite materials makes significant contributions to the fields of nanotechnology [2].

**Theory and Methods:** Five different groups were obtained by mixing the materials forming the composite in a twin screw extruder and standard test samples were produced using an injection machine. Tensile, hardness and impact tests were performed to determine the mechanical values. In addition, photographs were taken with scanning electron microscopy (SEM) to determine the distributions of zinc borate and graphene.

**Results:** As a result of the analysis, with the addition of zinc borate and graphene powder in HDPE; It was determined that the modulus of elasticity, tensile strength, breaking strength and hardness values increased, while the values of impact strength, elongation at break and elongation at break decreased. As a result of SEM examination, it was determined that zinc borate and graphene powders were homogeneously dispersed.

**Conclusion:** In this study, zinc borate and graphene were added to high density polyethylene and the elastic modulus, tensile strength, breaking strength, elongation at break, hardness and Izod impact strength values of the composite were determined. In addition to these, microstructure images were examined. According to the results obtained; It was determined that the modulus of elasticity increased with the addition of zinc borate and graphene in HDPE/ÇB/graphene polymer composite. The main reason for the increase in the elastic modulus value is due to graphene, which is a durable material.



## The Effect of Graphene on the Mechanical Properties of High Density Polyethylene (HDPE)/Zinc Borate Polymer Composite

Elif ULUTAŞ<sup>1a</sup> Beril EKER GÜMÜŞ<sup>2b</sup> Münir TAŞDEMİR<sup>1c</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722 Kadıköy İSTANBUL

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, 34200, Esenler İSTANBUL

<sup>a</sup> elif.ulutas@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7753-8878

<sup>b</sup> beril.gumus@merklab.yildiz.edu.tr ORCID: 0000-0002-4185-4470

<sup>c</sup> munir@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8635-7251

### Abstract

In this study; A composite was produced by adding 5% zinc borate and different amounts of graphene powders into high density polyethylene (HDPE). Five different groups were obtained by mixing the materials forming the composite in a twin screw extruder and standard test samples were produced using an injection machine. Tensile, hardness and impact tests were performed to determine the mechanical values. In addition, photographs were taken with scanning electron microscopy (SEM) to determine the distributions of zinc borate and graphene. As a result of the analysis, with the addition of zinc borate and graphene powder in HDPE; It was determined that the modulus of elasticity, tensile strength, breaking strength and hardness values increased, while the values of impact strength, elongation at break and elongation at break decreased. As a result of SEM examination, it was determined that zinc borate and graphene powders were homogeneously dispersed.

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 17.01.2023  
Düzeltilme: 27.02.2023  
Kabul: 01.03.2023

### Keywords

High density polyethylene  
Zinc borate  
Graphene  
Mechanical properties  
Composite material

### Anahtar Kelimeler

Yüksek yoğunluklu polietilen  
Çinko borat  
Grafen  
Mekanik özellikler  
Kompozit malzeme

### Yüksek Yoğunluklu Polietin (YYPE)/Çinko Borat Polimer Kompozitinin Mekanik Özelliklerine Grafenin Etkisi

### Öz

Bu çalışmada; yüksek yoğunluklu polietilenin (YYPE) mekanik özelliklerinin çinko borat ve grafen ilavesi ile geliştirilmesi hedeflenmiş olup yüksek yoğunluklu polietilen içerisine %5 oranında çinko borat ve farklı oranlarda grafen tozları katılarak bir kompozit üretilmiştir. Kompoziti oluşturan malzemeler çift vidalı ekstrüzyon makinesinde karıştırılarak beş farklı grup elde edilmiştir ve enjeksiyon makinası kullanılarak standart test numuneleri üretilmiştir. Mekanik değerleri belirlemek için çekme, sertlik ve darbe testleri yapılmıştır. Ayrıca çinko borat ve grafenin dağılımlarını belirlemek için taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile fotoğrafları çekilmiştir. Analizler sonucunda YYPE içerisinde çinko borat ve grafen toz ilavesiyle; elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti ve sertlik değerlerinin arttığı diğer taraftan darbe mukavemeti kopma uzaması ve kopma uzaması değerlerinin ise düştüğü tespit edilmiştir. SEM inceleme sonucu çinko borat ve grafen tozlarının homojen dağıldığı tespit edilmiştir.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geleneksel malzemelerin endüstrideki gelişmeler karşısında tek başlarına kullanılmalarında bir takım problemler ortaya çıkmaktadır. Bindokuzyüzlü yıllardan itibaren kompozit malzemelerin üretilmesi ve geliştirilmesi konusu son zamanlarda oldukça revaçtadır [1]. Tüm teknik alanlarda araştırma ve geliştirme

çalışmalarının en popüler konusunu nanoteknoloji oluşturmaktadır. Özellikle biyomedikal ve sensor konusunda yapılan çalışmalar hız kazanmış ve bu sektörlerde önemi gittikçe artmaktadır. Dolayısıyla grafen ve grafen esaslı yeni polimer nanokompozit malzemelerinin üretilmesi nanoteknoloji alanlarına önemli katkılar sağlamaktadır [2]. Doğada grafit, elmas veya değişik bileşikler halinde bulunan karbon elementi yüzyıllardır kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı grafenden; fiber, köpük, nanotüp veya fulleren üretilip diğer malzemeler ile karıştırıp elde edilen kompozitin özelliklerini incelemektedirler [3-4]. Dolayısıyla geleceğin malzemesi olarak isimlendirilen grafenin tüm sektörlerde kullanımı hız kazanmıştır [5]. Bunlardan en önemli sektörlerin başında savunma sanayi ve otomotiv gelmektedir [1]. Grafen karbon atomları kristal kafes içerisinde bal peteğine benzer bir dizilimde bulunurlar. Karbon esaslı malzemelerden olan grafit, karbon nanotüp veya fullerenlerin ana bileşenini grafendir. Grafenin yuvarlak şekilde sarılmasıyla fulleren, rulo şeklinde sarılmasıyla karbon nanotüp ve üst üste istiflenmesiyle grafit elde edilmektedir [6-7].

Eriyik karıştırma yöntemi termoplastik nanokompozitlerin üretimi için endüstride en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Hızlı, ucuz ve nispeten basittir. Polimerin yüksek sıcaklıklarda eritilmesini ve tek, çift, üçlü ve hatta dört vidalı bir ekstrüder kullanılarak grafen pullarının (toz halinde) karıştırılmasını içerir. Birkaç grafen bazlı nanokompozitler bu teknikle hazırlanmıştır [8-22]. Vijay ve arkadaşları PC-ABS polimer karışımının içerisine grafen katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir ve bu kompozitten üç boyutlu yazıcı için filament üretmişlerdir. Yapılan mekanik testler sonucunda grafen oranının artmasıyla çekme mukavemeti değerinde artışın olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda elastiklik modül ve akma mukavemeti değerlerinin arttığını buna karşılık % uzama değerinin ise düştüğünü belirlemişlerdir [23]. Burcu Saner Okan 2017 yılında yapmış olduğu bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine değişik oranlarda çok katmanlı grafen oksit takviyesi yaparak bir polimer kompoziti üretmiştir. Elde ettiği kompozitte grafen oksit oranının artmasıyla elastiklik modül ve çekme mukavemeti değerlerinin arttığını belirlemiştir [24]. Jian Wang ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada polipropilen içerisine grafen katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Polipropilen içerisine grafen oranının artmasıyla çekme mukavemeti ve elastiklik modül değerinin yükseldiğini buna karşılık %uzama değerinin ise düştüğünü belirlemişlerdir [25]. Abdulaziz S. Alghamdi yapmış olduğu bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine grafen katmış ve bir nano kompozit elde etmiştir. Grafen oranının matris içerisine artışı ile kristalizasyon oranını, erime sıcaklığı ve % uzama değerlerinin düştüğünü belirlemiştir. Buna karşılık elastiklik modül ve çekme mukavemeti değerinin ise arttığını rapor etmiştir [26].

Bu çalışmada; %5 oranında çinko borat ve %1-2-3 oranlarında grafen tozları yüksek yoğunluklu polietilen içerisine katılarak bir polimer kompoziti elde edilmiştir. Çinko borat ve grafen toz ilavesiyle mekanik değerlerin değiştiği tespit edilmiştir.

## MALZEME ve METOT

### 1.1. Kullanılan Malzemeler

Yüksek yoğunluklu polietilen içerisine katılan çinko borat ve grafen oranları değiştirilerek beş farklı grup elde edilmiştir. Hazırlanan HDPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin karışım oranları Tablo 1' de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) PETKİM'in PETİLEN YY I668(UV) ticari koduyla ürettiği üründür. YYPE'nin erime akış hızı (190°C/2.16 kg) 5.5 g/10dk'dır. Yoğunluğu 0.965 g/cm<sup>3</sup>, erime noktası 134°C, akma mukavemeti 30 MPa ve sertlik (Shore D) değeri ise 66'dır. YYPE içerisine katılan çinko borat 4013'de (2ZnO 3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3,5H<sub>2</sub>O) Refsan İzolasyon San. Tic. Ltd. Şti'den (Kütahya) temin edilmiştir. Çinko oksit oranı min. %37 ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı ise min. %45'dir. Ortalama tane boyutu 3.2 µm, nem oranı (105°C) mak. %1'dir. Yoğunluğu ise 0.40-0.60 g/cm<sup>3</sup> aralığındadır. Literatür incelemesi yapılarak çinko borat ilavesinin %5 oranında olmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Grahene nanoplatelets ticari isimli Grafen ise Nanografi Nano Teknoloji A.Ş.'den (Ankara) temin edilmiştir. %99.9 saflıkta olup kalınlık 5 nanometre, yüzey alanı 135 m<sup>2</sup>/g, çap 7 µm ve yoğunluğu ise 2.27 g/cm<sup>3</sup>'tür.

**Tablo 1.** HDPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin karışım oranları (ağırlıkça)

Grup	HDPE (%)	Çinko Borat (ÇB) (%)	Grafen (%)
1	100	-	-
2	95	5	-
3	94	5	1
4	93	5	2
5	92	5	3

## 2.2 Numunelerin Hazırlanması

Yüksek yoğunluklu polietilen, çinko borat ve grafen Yamato ADP-31 tipi fırında 105°C' de 5 saat süresince kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra tüm ürünler Devotrans marka V-Tipi karıştırıcıda yirmi dakika boyunca karıştırılmış ve Mikrosan marka çift vidalı ekstrüderde 25-35 bar basınç altında, 30 dev/dak vida dönüş hızında ve 190-220°C arasındaki sıcaklıklarda karıştırılmıştır. Karışım sonrasında 105 °C' de 10 saat boyunca kurutulmuştur. Enjeksiyon makinesinde test numuneleri 190-220°C sıcaklık, 105-115 bar basınç ve 25 dev/dk devirde test numuneleri basılmıştır. Aşağıda Şekil 1'de YYPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin numune hazırlama aşamaları ve Tablo 2'de ise HDPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin kalıplama parametreleri verilmiştir.



Kurutma

Ekstrüzyon makinesi

Enjeksiyon makinesi

Test numuneleri

**Şekil 1.** YYPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin numune hazırlama aşamaları**Tablo 2.** HDPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin kalıplama parametreleri

İşlem	Ekstrüzyon	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	190-220	190-220
Basınç (bar)	25-35	105-115
Kalıpta bekleme süresi (sn)	-	15
Vida hızı (dev/dk)	30	25
Kalıp sıcaklığı (°C)	-	40

## 2.3 Test Yöntemleri

Mekanik özellikleri belirlemek için her grup için beş adet numune test edilmiş ve aritmetik ortalamaları verilmiştir. Çekme testleri Zwick Z010 test makinesi kullanılarak ASTM D638 standartlarına göre 50 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Sertlik testi Zwick sertlik ölçüm cihazı ile ASTM D2240 yöntemine göre yapılmıştır. Çentikli Izod darbe testleri Zwick marka darbe test cihazı ile ASTM D256 yöntemine göre oda sıcaklığında yapılmıştır. Darbe numunelerinden elde edilen kırık yüzeyler 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

taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Aşağıdaki şekilde bu çalışmada kullanılan test cihazları verilmiştir.



Çekme cihazı

Darbe cihazı

Sertlik cihazı

Kaplama Cihazı

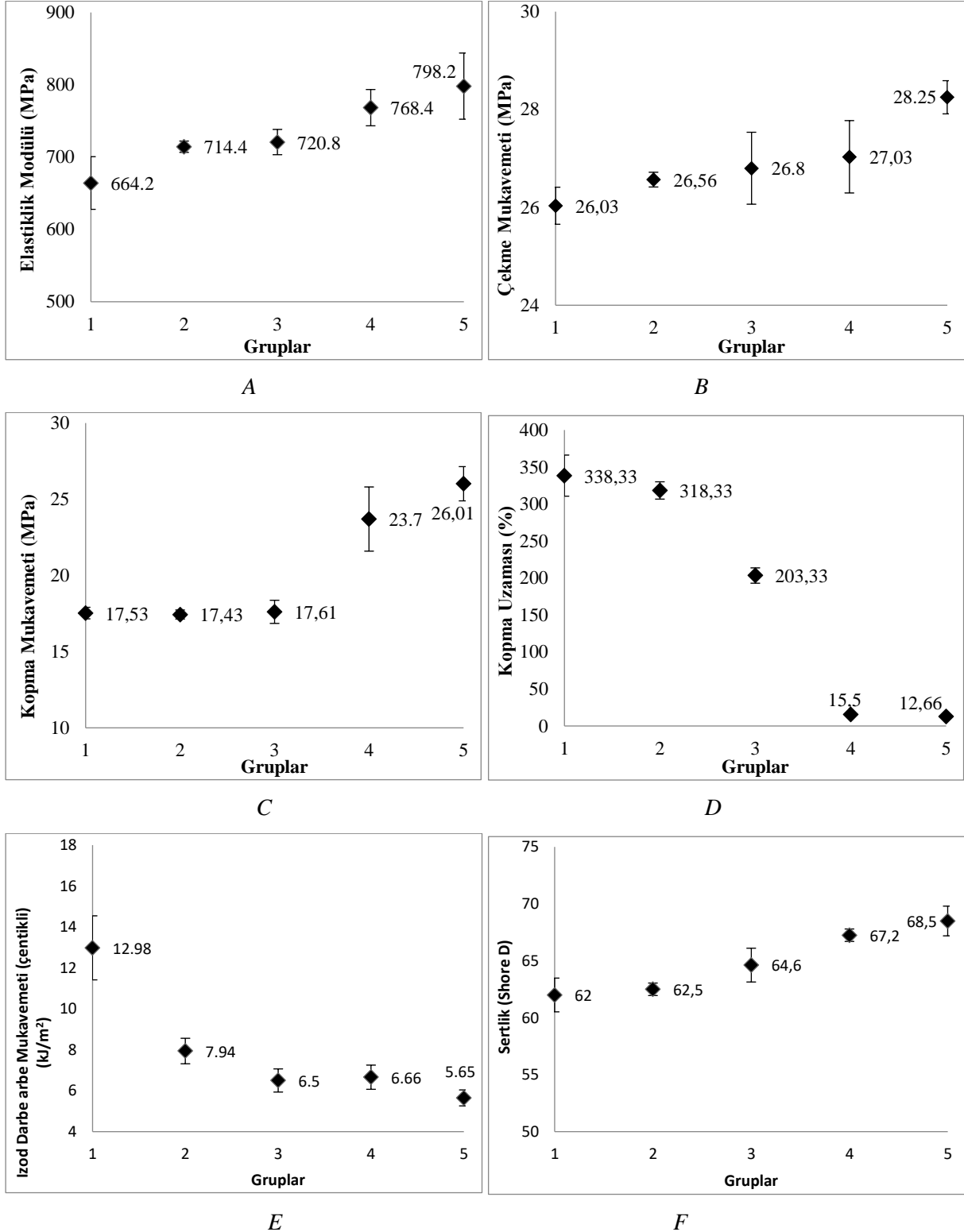
SEM

**Şekil 2.** HDPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan cihazlar

## 2. BULGULAR ve TARTIŞMA

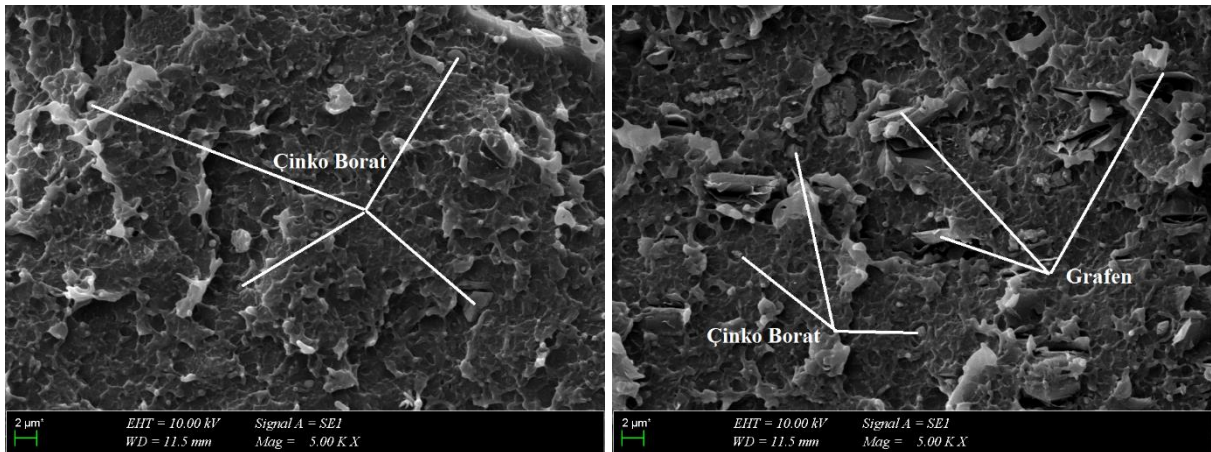
Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) içerisine çinko borat ve grafen katılmasıyla elde edilen polimer kompozitine yapılan çekme testi sonucu elde edilen elastiklik modülü değeri Şekil 3-A'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf HDPE'nin elastiklik modül değerinin 664.2 MPa olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %5 çinko borat ilavesi ile bu değerin 714.4 MPa'ya çıktığı görülmektedir. Kompozit içerisine %1-2-3 oranlarında grafen ilavesi bu değeri daha da artırmıştır. %3 grafen katıldığında değerin 798.2 MPa'ya kadar çıktığı görülmektedir. Saf HDPE'nin elastiklik modül değerini %3 grafen ilaveli grup ile kıyasladığımızda bu değerin %20.17 oranında arttığı tespit edilmiştir. Vijay ve arkadaşları PC-ABS polimer karışımının içerisine grafen katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir ve bu kompozitten üç boyutlu yazıcı için filament üretmişlerdir. Yapılan mekanik testler sonucunda grafen oranının artmasıyla elastiklik modül değerlerinin belirlemişlerdir [23]. Benzer sonuçları Burcu Saner Okan yüksek yoğunluklu polietilen/grafen oksit [24], Jian Wang ve arkadaşları polipropilen/grafen [25] ve Abdulaziz S. Alghamdi yüksek yoğunluklu polietilen/grafen'de bulmuşlardır [26]. Elastiklik modül değerinin artmasının sebebi literatürde polimere katılan partiküllerin matris tarafından sarılması ve yüzeyler arasında iyi bir uyum sağlaması ve bu sebeple gerilim transferinin artmasına sebep olmasından kaynaklandığı rapor edilmiştir [27-32]. Benzer durumun bu çalışmada da olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada grafen oranının ağırlıkça %1-2-3 seviyesinde tutulması yapılan literatür incelemeleri sonucudur. Birçok çalışmada bu oran ağırlıkça %1-5 mertebesinde [1, 33-35]. Şekil 2-B'ye bakıldığında yüksek yoğunluklu polietilen içerisine çinko borat ve grafen katılmasıyla elde edilen polimer kompozitinin çekme mukavemeti değeri görülmektedir. Grafik incelendiğinde saf HDPE'nin çekme mukavemeti değerinin 26.03 MPa olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %1-2-3 oranlarında grafen ilavesi bu değerin daha da arttığı anlaşılmaktadır. Örneğin %3 grafen katıldığında çekme mukavemeti değerin 28.25 MPa'ya çıktığı görülmektedir. Saf HDPE'nin çekme mukavemeti değerini %3 grafen ilaveli grup ile kıyasladığımızda bu değerin %8.52 oranında arttığı tespit edilmiştir. Jian Wang ve arkadaşları polipropilen içerisine grafen katarak elde ettikleri kompozitte grafen oranının artmasıyla çekme mukavemeti değerinin yükseldiğini belirlemişlerdir [25]. Shardul Atul Bhusari ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada HDPE/UHMWPE içerisine kattıkları grafen oksit oranının artmasıyla çekme mukavemeti ve elastiklik modül değerinin de arttığını tespit etmişlerdir [34]. Lütfiye Altay ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada HDPE içerisine grafit nano plaka takviyesiyle çekme mukavemeti değerinin arttığını rapor etmişlerdir [35]. Burcu Saner Okan HDPE içerisine değişik oranlarda çok katmanlı grafen oksit takviyesi yaparak bir polimer kompoziti üretmiş ve grafen oksit oranının artmasıyla çekme mukavemeti değerlerinin de arttığını belirlemiştir [24]. Sonuç olarak bu çalışmada çinko borat ve grafen YYPE matrisi tarafından sarılması ve yüzeyler arasında iyi bir uyum sağlaması nedeniyle çekme mukavemeti ve aşağıda açıklanan kopma mukavemeti değerlerini artırmıştır. Aynı zamanda kompozit içerisindeki çinko borat ve grafenin homojen olarak dağılması ve aglomerasyona uğramaması mekanik değerlerde artışa sebebiyet vermiştir. Literatürde de benzer sonuçlar mevcuttur [27-32]. Yüksek yoğunluklu polietilen içerisine çinko borat ve grafen katılmasıyla elde edilen polimer kompozitine yapılan çekme testi sonucu elde edilen kopma mukavemeti değeri Şekil 3-C' de verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf HDPE'nin kopma mukavemeti değerinin 17.53 MPa olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %5 çinko borat ve %1 grafen ilavesi ile bu değeri pek değiştirmemiştir. Fakat %2 ve

3 oranında grafen katıldığında değerinde artış tespit edilmiştir. %3 grafen ilavesinde maksimum kopma mukavemeti göstermiştir. Saf HDPE'nin kopma mukavemeti değerini %3 grafen ilaveli grup ile kıyasladığımızda bu değer %48.37 oranında artışı tespit edilmiştir. Şekil 2-D' ye bakıldığında yüksek yoğunluklu polietilen içerisine çinko borat ve grafen katılmasıyla elde edilen polimer kompozitinin kopma uzaması değeri görülmektedir. Grafik incelendiğinde saf HDPE'nin kopma uzaması değerinin %338.33 olduğu görülmektedir.



Şekil 3. HDPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin mekanik özelliklerinin grafiksel gösterimi

Çinko borat ilavesi bu değeri bir miktar düşürerek %318.33 seviyesine indirmiştir. Kompozit içerisine %1-2-3 oranlarında grafen ilavesi bu değer daha da azalmasına sebep vermiştir. Örneğin %3 grafen katıldığında kopma uzaması değerinin %12.66 seviyesine indiği görülmektedir. Saf HDPE'nin kopma uzaması değerini %3 grafen ilaveli grup ile kıyasladığımızda bu değer %96.25 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Vijay ve arkadaşlarının yapmış oldukları PC/ABS/grafen polimer kompozitinde grafen oranının artmasıyla %uzama değerinin düştüğünü belirlemişlerdir [23]. Jian Wang ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada da polipropilen içerisine grafen ilavesi ile % uzama değerinin düştüğünü belirlemişlerdir [25]. Bunlara ek olarak Abdulaziz S. Alghamdi yapmış olduğu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine grafen ilavesiyle %uzama değerlerinin düştüğünü belirlemiştir [26]. Burada YYPE içerisine katılan çinko borat ve grafen zincir hareketini engellediği için uzama değerinde düşme tespit edilmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen içerisine çinko borat ve grafen katılmasıyla elde edilen polimer kompozitine yapılan darbe testi sonucu elde edilen Izod çentikli darbe mukavemeti değeri Şekil 3-E'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf HDPE'nin darbe mukavemeti değerinin 12.98 kJ/m<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %5 çinko borat ilavesiyle bu değer 7.94 kJ/m<sup>2</sup> değerine düşmüştür. Kompozite grafen ilavesiyle bu değer bir miktar daha düşmüştür. %3 grafen ilavesinde değer 5.65 kJ/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Saf HDPE'nin darbe mukavemeti değerini %3 grafen ilaveli grup ile kıyasladığımızda değer % 56.47 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Vijay ve arkadaşlarının yapmış oldukları PC/ABS/grafen polimer kompozitinde grafen oranının artmasıyla Izod darbe mukavemeti değerinin arttığını belirlemişlerdir [23]. Şekil 2-F'ye bakıldığında yüksek yoğunluklu polietilen içerisine çinko borat ve grafen katılmasıyla elde edilen polimer kompozitinin Shore sertlik değeri görülmektedir. Grafik incelendiğinde saf HDPE'nin sertlik değerinin 62 Shore D olduğu görülmektedir. Çinko borat ilavesi bu değeri pek değiştirmemiştir. Kompozit içerisine grafen ilavesi sertlik değerinin atmasına sebebiyet vermiştir. Örneğin %3 grafen katıldığında sertlik değerinin 68.5 seviyesine yükseldiği görülmektedir. Saf HDPE'nin kopma sertlik değerini %3 grafen ilaveli grup ile kıyasladığımızda bu değer %10.48 oranında arttığı tespit edilmiştir. Lütfiye Altay ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada HDPE içerisine grafit nano plaka takviyesiyle mikro sertlik değerinin arttığını rapor etmişlerdir [35]. Şekil 4' de HDPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. SEM fotoğraflarına bakıldığında HDPE matrisi, çinko borat ve grafen partikülleri net olarak gözükmemektedir. Literatürdeki mikro yapı fotoğraflarında çinko borat partiküllerinin nispeten yuvarlak şekilde buna karşılık grafenlerin ise levha şeklinde olduğu anlaşılmıştır [27-32]. Bu bilgi doğrultusunda Şekil 4' de verilen fotoğraflardaki partiküller işaretlenmiştir. Çinko borat ve grafen partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı ve aglomerasyona uğramadığı görülmektedir. Kompozit içerisindeki çinko borat ve grafenin homojen olarak dağılması ve aglomerasyona uğramaması mekanik değerlerde artışa sebebiyet vermiştir. Vijay ve arkadaşları da benzer sonuçları bulmuşlardır [23].



Şekil 4. HDPE/ÇB/Grafen polimer kompozitinin mikroyapı fotoğrafları

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine çinko borat ve grafen eklenmiş ve kompozitin elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, kopma uzaması, sertlik ve Izod darbe mukavemeti değerleri belirlenmiştir. Bunlara ek olarak mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; HDPE/ÇB/grafen polimer kompozitinde çinko borat ve grafen ilavesi ile elastiklik modül değerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Elastiklik modül değerindeki yükselmenin ana sebebi mukavemetli bir malzeme olan grafenden kaynaklanmaktadır. Bir diğer sebep ise kompozit içerisinde nispeten rijit karakterde olan çinko borat ilavesidir. Buna ilaveten çekme mukavemeti ve kopma mukavemetindeki artışlar da bu sebeplerden kaynaklanmaktadır. Bu durum %uzama değerlerinde ise düşüşe neden olmuştur. Kompozit içerisine çinko borat ve grafen ilavesi malzemeyi rijitleştirdiğinden kopma uzama değerini düşürmüştür. Çinko borat ve grafen ilavesi elde edilen polimer kompozitinin sertlik değerini bir miktar artırmıştır. Dolayısıyla enerjiiyi fazla absorbe edemediğinden darbe mukavemeti değerinde düşüşe sebebiyet vermiştir. SEM analizi sonucu elde edilen mikroyapılar incelendiğinde çinko borat ve grafen partiküllerinin homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kaştan A., Yalçın Y., Talaş Ş., Nano katkıların polimerlerin sürtünme katsayısına etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi, 16 (2016) 231-243.
- [2] Das TK., Prusty S., Graphene-Based Polymer composites and their applications, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 52 (2013) 319-331.
- [3] Kovtyukhova NI., Ollivier PJ., Martin BR., Mallouk TE., Chizhik SA., Buzaneza EV., Gorchinskiy AD., Layer-by-layer assembly of ultrathin composite films, Chemistry of Materials, 11 (1999) 771-778.
- [4] Lerf A., He H., Forster M., Klinowski J., Structure of graphite oxide, The Journal of Physical Chemistry B, 102 (1998) 4477- 4482.
- [5] Zou L., Wang L., Wu Y., Ma C., Yu S., Liu X., Trends analysis of graphene research and development, Journal of Data and Information Science, 3 (2018) 82-100.
- [6] Kuila T., Bose S., Mishra AK., Khanra P., Kim NH., Lee JH., Chemical functionalization of graphene and its applications, Progress in Materials Science, 57 (2012) 1061-1105.
- [7] Ren Z., Lan Y., Wang Y., Aligned Carbon Nanotubes, Nano Science and Technology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Chapter 1: Introduction to Carbon (2013).
- [8] Istrate OM., Paton KR., Khan U., O'Neill A., Bell AP., Coleman JN., Reinforcement in melt-processed polymer-graphene composites at extremely low graphene loading level. Carbon, 78 (2014) 243-249.
- [9] El Achaby M., Arrakhiz FE., Vaudreuil S., El Kacem Quiss A., Bousmina M., Fassi-Fehri O., Mechanical, thermal, and rheological properties of graphene based polypropylene nanocomposites prepared by melt mixing, Polymer Composites, 33 No.5 (2012) 733-744.
- [10] Yan D., Zhang HB., Jia Y., Hu J., Qi XY., Zhang Z., Improved electrical conductivity of polyamide 12/graphene nanocomposites with maleated polyethylene-octane rubber prepared by melt compounding, ACS Applied Materials Interfaces, 4 No.9 (2012) 4740-4745.
- [11] Vasileiou AA., Kontopoulou M., Docoslis A., A noncovalent compatibilization approach to improve the filler dispersion and properties of polyethylene/graphene composites, ACS Applied Materials Interfaces, 6 No.3 (2014) 1916-1925.



- [12] Maio A., Fucarino R., Khatibi R., Rosselli S., Bruno M., Scaffaro R., A novel approach to prevent graphene oxide re-aggregation during the melt compounding with polymers, *Composite Science Technology*, 119 (2015) 131–137.
- [13] Chatterjee S., Nüesch F., Chu B., Crystalline and tensile properties of carbon nanotube and graphene reinforced polyamide 12 fibers, *Chemical Physics Letters*, 557 (2013) 92–96.
- [14] Araby S., Zaman I., Meng Q., Kawashima N., Michelmore A., Kuan HC., Melt compounding with graphene to develop functional, high-performance elastomers, *Nanotechnology*, 24 No.16 (2013) 165601.
- [15] Mahmoud WE., Morphology and physical properties of poly (ethylene oxide) loaded graphene nanocomposites prepared by two different techniques, *European Polymer Journal*, 47 No.8 (2011) 1534–1540.
- [16] Vallés C., Abdelkader AM., Young RJ., Kinloch IA., Few layer graphene–polypropylene nanocomposites: the role of flake diameter, *Faraday Discuss*, 173 (2014) 379–390.
- [17] Vallés C., Kinloch IA., Young RJ., Wilson NR., Rourke JP., Graphene oxide and base-washed graphene oxide as reinforcements in PMMA nanocomposites, *Composite Science Technology*, 88 (2013) 158–164.
- [18] Zhang HB., Zheng WG., Yan Q., Yang Y., Wang JW., Lu ZH., Electrically conductive polyethylene terephthalate/graphene nanocomposites prepared by melt compounding, *Polymer*, 51 No.5 (2010) 1191–1196.
- [19] Bao C., Song L., Xing W., Yuan B., Wilkie CA., Huang J., Preparation of graphene by pressurized oxidation and multiplex reduction and its polymer nanocomposites by masterbatch-based melt blending, *Journal of Materials Chemistry*, 22 No.13 (2012) 6088–6096.
- [20] El Achaby M., Arrakhiz F., Vaudreuil S., Essassi E., Qaiss A., Bousmina M., Preparation and characterization of melt-blended graphene nanosheets–poly (vinylidene fluoride) nanocomposites with enhanced properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 127 No.6 (2013) 4697–4707.
- [21] Kim H., Macosko CW., Processing-property relationships of polycarbonate/graphene composites, *Polymer*, 50 No.15 (2009) 3797–3809.
- [22] Jiang X., Drzal LT., Improving electrical conductivity and mechanical properties of high density polyethylene through incorporation of paraffin wax coated exfoliated graphene nanoplatelets and multi-wall carbon nano-tubes, *Composites A*, 42 No.11 (2011) 1840–1849.
- [23] Tambrallimath V., Keshavamurthy R., Bavan SD., Patil AY., Khan TMY., Badruddin IA., Kamangar S., Mechanical properties of PC-ABS-based graphene-reinforced polymer nanocomposites fabricated by FDM process, *Polymers*, 13 No.17 (2021) 2951.
- [24] Okan BS., Fabrication of multilayer graphene oxide-reinforced high density polyethylene nanocomposites with enhanced thermal and mechanical properties via thermokinetic mixing, *Turkish Journal of Chemistry*, 4 (2017) 381 – 390.
- [25] Wang J., Song F., Ding Y., Shao M., The incorporation of graphene to enhance mechanical properties of polypropylene self-reinforced polymer composites, *Materials and Design*, 195 (2020) 109073.
- [26] Alghamdi AS., Synthesis and mechanical characterization of high density polyethylene/graphene nanocomposites, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 8 No.2 (2018) 2814-2817.
- [27] Kim H, Abdala AA., Macosko, CW., Graphene/polymer nanocomposites. *Macromolecules*, 43, (2010), 6515-6530.

- [28] Liang J., Huang Y., Zhang L., Wang Y., Ma Y., Guo T., Chen Y., Molecular-level dispersion of graphene into poly(vinyl alcohol) and effective reinforcement of their nanocomposites, *Advanced Functional Materials* 19, (2009) 2297-2302.
- [29] Paul DR., Robeson, LM., Polymer nanotechnology: Nanocomposites. *Polymer* 49, (2008) 3187-3204.
- [30] Shen B., Zhai W., Tao M., Lu D., Zheng W., Chemical functionalization of graphene oxide toward the tailoring of the interface in polymer composites. *Composites Science and Technology* 77, (2013) 87-94.
- [31] Wang Y., Shi Z.X., Yin J., Kevlar oligomer functionalized graphene for polymer composites. *Polymer* 52, (2011) 3661-3670.
- [32] Schadler LS., Giannaris SC., Ajayan PM., Load transfer in carbon nanotube epoxy composites, *Applied Physics Letters* 73, (1998) 3842-3844.
- [33] Papageorgiou DG., Kinloch IA., Young RJ., Mechanical properties of graphene and graphene-based nanocomposites, *Progress in Materials Science*, 90 (2017), 75-127.
- [34] Bhusari SA., Sharma V., Bose S., Basu B., HDPE/UHMWPE hybrid nanocomposites with surface functionalized graphene oxide towards improved strength and cytocompatibility, *J.R.Soc. Interface* 16 (2019) 1-16.
- [35] Altay L., Atagür M., Erbektaş M., Sarıkanat M., Grafit nanoplaka takviyeli ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen tabanlı nano-kompozit malzeme geliştirilmesi ve karakterizasyonu, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Müh. Dergisi*, 21 No.62 (2019) 323-330.