

# Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)/Atık Üre Formaldehit Polimer Karışımlarının Mekanik Özellikleri

## Mechanical Properties of HDPE/Waste Urea Formaldehyde Polymer Blends

Münir TAŞDEMİR 

*Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye*

### Öz

Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisine ağırlıkça % 5, 10, 20 ve % 30 oranlarında öğütülmüş üre formaldehit tozu katılmış ve ekstrüde edilmiştir. Daha sonra elde edilen karışımlar kurutulmuş ve enjeksiyon makinesinde test numuneleri basılmıştır. Test numunelerine çekme, sertlik, darbe ve yoğunluk testleri yapılmıştır. Dolayısıyla polimer karışımında üre formaldehit toz oranının artmasıyla elastiklik modül değeri, kopma mukavemeti, akma mukavemeti, % uzama miktarı, sertlik değeri ve yoğunluk değerlerinin nasıl değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca üre formaldehit partiküllerinin yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde nasıl dağıldığını belirlemek için SEM mikroyapı fotoğrafları çekilerek mikroyapı analizleri yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yüksek Yoğunluklu Polietilen, Üre Formaldehit, Mekanik Özellikler, Polimer Karışımı

### Abstract

In this study, high density polyethylene matrix contributes to ground urea formaldehyde powder is handled as 0, 5, 10, 20 and 30 wt% ratio will be mixed in the extruder. The mixtures obtained were then dried and test samples were molded in the injection machine. Mechanical and morphological tests will be applied such as elasticity modulus, yield strength, tensile strength at break, % elongation, Izod impact strength, hardness and density. Also, SEM examination will be conducted to evaluate the microstructure of urea formaldehyde particles as well as material distribution in these experiments.

**Keywords:** High Density Polyethylene, Urea Formaldehyde, Mechanical Properties, Polymer Blends.

## I. GİRİŞ

Polimer karışımları son yıllarda yoğun olarak incelenmektedir. Bazı polimer karışımlarında sertlik ve tokluk arasında iyi bir dengenin kurulması istenir. Çoğu sentetik polimerlerde sertlik ani bir yüklemde kırılma ve çatlak büyümesi ile karakterize edilir. Bundan dolayı kırılma malzemeleri sağlamlaştırmak için birçok araştırma yapılmaktadır [1]. Polimer karışımlarının kullanımındaki artışın sebebi esas olarak polimer karışımındaki matrisin özelliklerini başka bir ürün ekleyerek iyileştirmekten kaynaklanmaktadır. Polimer karışımlarının özellikleri doğrudan mikro yapıları ile ilgilidir [2]. Geri dönüştürülmüş plastik potansiyel olarak en ucuz polimer malzemelerdir. Ancak geri dönüştürülen plastikler genel olarak yeterli düzeyde performans göstermemektedir. Polimer matrisine bir miktar ilave madde katılımı ve bunların bir bağlayıcı ile adezyonunun gerçekleştirilmesi ve dolayısıyla üstün mekanik özelliklere sahip bir ürün geliştirme fikri yaygın bir uygulamadır [3]. Polimer kullanımı atık miktarının artmasına ve küresel olarak ciddi bir çevreyi kirletme sorunu haline gelmesine ve aynı zamanda petrol kaynaklarının tükenmesine sebebiyet vermektedir. Birçok uygulamada termoset plastikler çapraz bağlı yapıda ve yüksek yoğunluklu olmaları nedeniyle uzun süreli kullanım için tercih edilen malzemelerdir. Fakat doğada zor bozundukları için de geri dönüşümlerinin sağlanması gerekmektedir. Üre formadehit gibi termoset polimerlerinin geri dönüşümü teknolojik zorluğu nedeniyle çözülmesi gereken acil sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda kullanımı artan termoset karışımları ve kompozit üretimi, atık malzeme miktarını büyük ölçüde artırmıştır [4]. Yüksek yoğunluklu polietilen

(HDPE) kendine özgü mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı yüksek tonajlı üretim ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendislik polimerlerine kıyasla düşük tokluğu, hava koşullarına dayanıklılığı ve çevresel stres çatlama direnci nedeniyle, birçok alanda uygulaması sınırlandırılmıştır. Bu dezavantajlarını iyileştirmek için HDPE'ye dolgu maddeleri katılarak güçlendirilmeleri sağlanmıştır [5-7]. Üre formaldehit (ÜF), toplam termoset reçine üretiminin yaklaşık % 15'ini oluşturur. Şu anda, ana uygulamalarından biri elektrikli ekipman, yemek takımı, düğmeler, kozmetik kapaklar ve şişeler dahil olmak üzere kalıplanmış ürünlerdir. Üre formaldehitin ısısal, kimyasal ve mekanik kararlılığının iyi olması büyük bir avantajdır fakat geri dönüşümü de zor bir plastiktir [8].

Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen matrisle ağırlıkça % 5, 10, 20 ve % 30 oranlarında öğütülmüş üre formaldehit tozu katılarak ekstrüde edilmiştir. Daha sonra elde edilen polimer karışımları kurutulmuş ve enjeksiyon makinesinde standartlara uygun olarak test numuneleri basılmıştır. Test numunelerine çekme, darbe, sertlik ve yoğunluk gibi testler uygulanmış olup üre formaldehit tozlarının matris içerisindeki oranının artmasıyla elde edilen polimer kompozitinin elastiklik modülü, kopma mukavemeti, sertlik ve yoğunluk değerlerinde artışın olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık üre formaldehit tozlarının oranının artışıyla da kopma uzaması, akma mukavemeti ve darbe mukavemeti değerlerinde düşme gözlemlenmiştir. Ayrıca üre formaldehit partiküllerinin yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde homojen dağıldıkları SEM mikroyapı fotoğrafları çekilerek belirlenmiştir.

## II. DENEYSEL

### 2.1 Kompozisyon ve Malzemeler

Üre formaldehit tozu oranının değişmesiyle beş farklı polimer karışımı hazırlanmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilen/üre formaldehit polimer karışımının karışım oranları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** HDPE/Atık üre formaldehit polimer karışımının ağırlıkça karışım oranları

| Gruplar | Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) (Ağ.%) | Atık üre formaldehit (ÜF) (Ağ. %) |
|---------|--|-----------------------------------|
| 1       | 100  | -                                 |
| 2       | 90   | 5                                 |
| 3       | 85   | 10                                |
| 4       | 75   | 20                                |
| 5       | 65   | 30                                |

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) (I-668 UV) Petkim'den (İzmir/ Türkiye) temin edilmiştir. Bu malzemenin

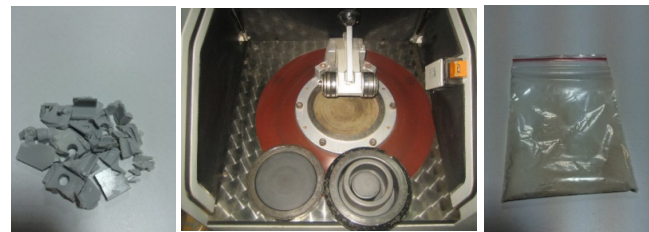
yoğunluğu 0,97 g/cm<sup>3</sup> olup erime akış indisi ise 5,2 g/10 dak'dır (190°C–2.16 kg). Bunlara ek olarak akma mukavemeti 28 MPa olup çentikli Izod darbe mukavemeti ise oda sıcaklığında 12 kJ/m<sup>2</sup>'dir. Atık üre formaldehit ise Şekil 1'de resmi de verilen parçalardan toz haline getirilmiş olup Viko-Panasonic Co. (İstanbul Türkiye) firmasından temin edilmiştir.

### 2.2 Numune Hazırlama

Atık üre formaldehit parçaları Siemens simatic C7-621 marka öğütücüde öğütülerek toz haline getirilmiştir. Yapılan elek analizi sonuçlarına göre bu partiküllerin boyut dağılımı 10–80µm aralığında olduğu belirlenmiştir. Daha sonra atık üre formaldehit tozları HDPE ile karışım öncesinde 24 saat boyunca 105 °C'de Yamato ADP-31 (Yamato/VWR Scientific Products, Japan) marka vakumlu fırında kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında yüksek yoğunluklu polietilen ve üre formaldehit tozları Patterson LB-5601 marka katı karıştırma cihazında (The Patterson-Kelley Co., Inc. east Stroudsburg – USA) 20 dakika boyunca karıştırılmıştır. Değişik oranlardaki HDPE/ÜF karışımları daha sonra ekstrüzyon makinasında eriyik olarak karıştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Mikrosan marka (Mikrosan A.Ş. Kocaeli – Türkiye) çift vidalı bir makine kullanılmıştır. Burada kullanılan ekstrüzyon sıcaklığı 190-220 °C, ekstrüzyon basıncı 25-35 bar ve vida dönme hızı ise 20 dev/dak'dır. Ekstrüzyon işlemi sonrasında numuneler tekrar 24 saat boyunca 105 °C'de fırında kurutulmuştur. Kurutma sonrasında test numuneleri enjeksiyon makinasında basılmıştır. Tablo 2'de enjeksiyon ve ekstrüzyon işlem parametreleri verilmiştir.

**Tablo 2.** HDPE/Atık üre formaldehit polimer karışımının enjeksiyon ve ekstrüzyon işlem parametreleri

| İşlem                      | Ekstrüzyon | Enjeksiyon |
|----------------------------|------------|------------|
| Sıcaklık (°C)              | 190–220    | 190–220    |
| Basınc (bar)               | 25-35      | 110–130    |
| Kalıpta bekleme süresi (s) | -          | 20         |
| Vida hızı (dev/dak)        | 20         | 20         |
| Kalıp sıcaklığı (°C)       | -          | 40         |



Atık ÜF

Öğütme

Toz ÜF

**Şekil 1.** Atık üre formaldehit toz yapım aşamaları

### 2.3. Karakterizasyon

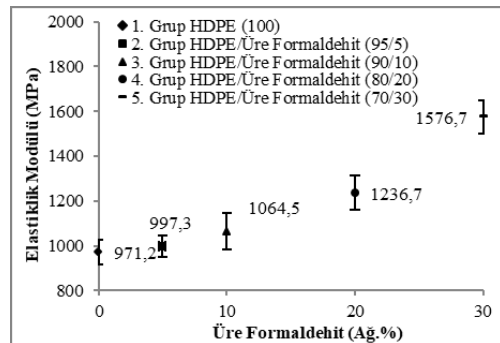
Elde edilen polimer kompozitinin çekme testleri ASTM D638 standardına göre yapılmıştır. 10 kN kapasiteli Zwick Z010 (Almanya) marka çekme test cihazı kullanılmış olup çekme hızı 50 mm/dak'dır. Dolayısıyla çekme testi ile elastiklik modülü, kopma mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Yedi adet numune test edilmiş aritmetik ortalamaları alınmıştır. Burada ortalamayı etkileyecek en yüksek ve en düşük değerler hesaba katılmamıştır. Sertlik testleri ASTM D2240 test standardına göre Zwick marka durometer sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. 10 ölçüm alınmış olup ortalamaları verilmiştir. Izod darbe testi ASTM D256 standardına göre oda sıcaklığında yapılmıştır. Zwick B5113 marka darbe test cihazı kullanılmış olup yedi adet numune test edilmiş ve ortalamaları verilmiştir. Yoğunluk deneyi ISO 2781 standardına göre yapılmıştır. SEM mikroyapı fotoğraflarının çekimi için darbe testi kırık yüzeyleri 20 Å kalınlığında altın/paladyum alaşımıyla elektron şarj oluşumunu engellemek için Polaron SC7640 marka (İngiltere) cihaz ile kaplanmıştır. Kaplama sonrasında kırık yüzeyler FEI Sirion XL30 FEG (Hollanda) taramalı elektron mikroskobu ile 5 ve 20 kV altında incelenmiştir.

## III. BULGULAR ve TARTIŞMA

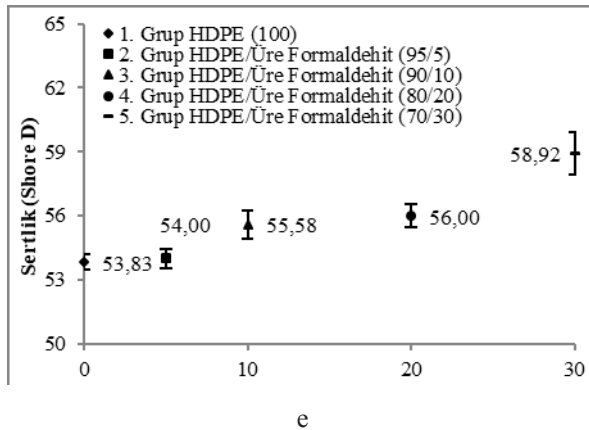
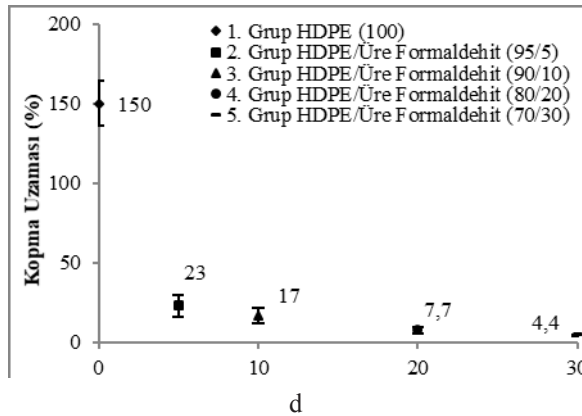
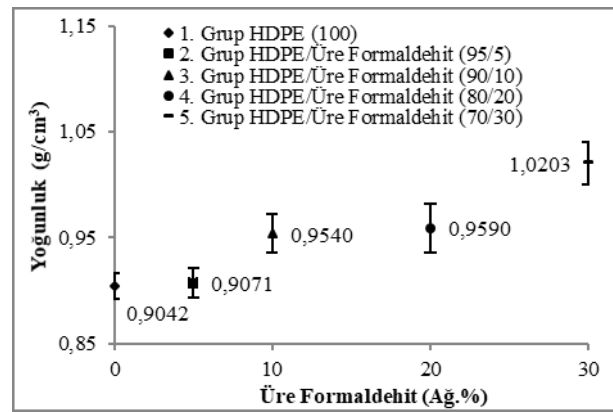
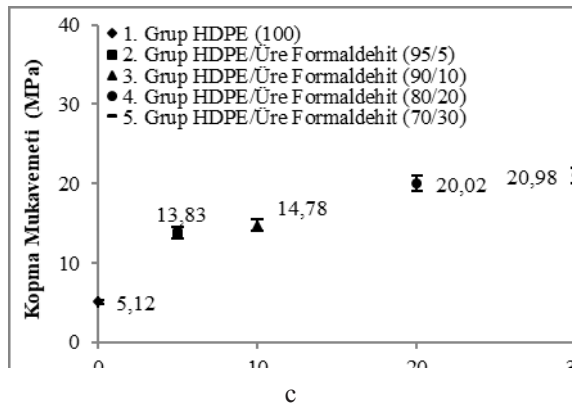
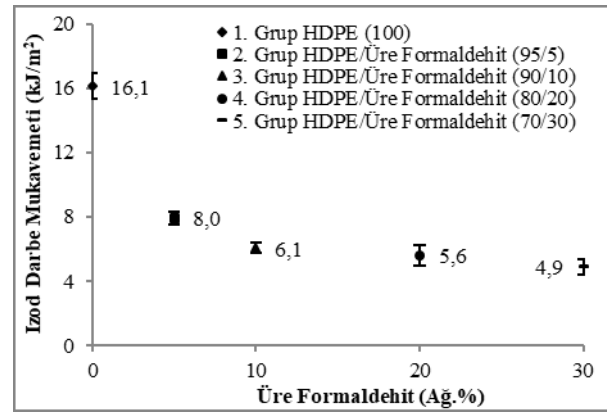
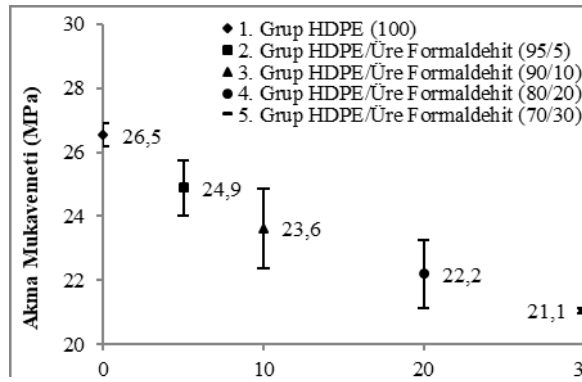
### 3.1 HDPE/ÜF Polimer Karışımının Mekanik Özellikleri

Yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisine üre formaldehit tozlarının ilavesiyle elde edilen polimer karışımının elastiklik modül değerindeki değişimi gösteren grafik Şekil 2a'da verilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı gibi üre formaldehit toz oranının artmasıyla polimer karışımının elastiklik modül değerinin arttığı görülmektedir. En yüksek elastiklik modül değeri %30 üre formaldehit tozu katkılı grupta elde edilmiştir. Bu değer saf yüksek yoğunluklu polietilenin elastiklik modül değeri ile kıyaslandığında %62 oranında bir artışın olduğu görülmüştür. E Levin ve arkadaşların yapmış oldukları bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilene üre formaldehit ilavesiyle elde ettikleri polimer karışımında üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla elastiklik modül değerinin de arttığını tespit etmişlerdir. Bu sonuç burada yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir [8]. Şekil 2b'de ise üre formaldehit toz oranının artışıyla akma mukavemetindeki değişim gözükmektedir. Burada ise yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisine üre formaldehit tozunun katılmasıyla akma mukavemet değerinin düştüğü görülmektedir. En düşük değerin %30 üre formaldehit ilaveli grupta olduğu tespit edilmiştir. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin akma mukavemet değeri ile kıyaslandığında yaklaşık olarak % 20 oranında bir düşüşün olduğu görülmektedir. Şekil 2c'ye bakıldığında üre formaldehit tozunun artmasıyla kopma mukavemetindeki değişim

gözükmektedir. Burada ise yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla kopma mukavemet değerinde bir artışın olduğu görülmektedir. En yüksek kopma mukavemet değerinin %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu belirlenmiştir. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin kopma mukavemet değeri ile kıyaslandığında yaklaşık %310 oranında artığı görülmektedir. Kopma mukavemet değerinin artmasının sebepleri arasında üre formaldehit tozlarının matris içerisinde homojen olarak dağılması sayılabilir. Şekil 2d'ye bakıldığında üre formaldehit tozlarının matris içerisinde oranının artmasıyla % uzama değerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi üre formaldehit toz oranlarının artmasıyla birlikte polimer karışımının % uzama değerinde bir düşüş gözükmektedir. En fazla düşüşün %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu tespit edilmiştir. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin % uzama değeri ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %97 oranında bir düşüşün olduğu görülmektedir. E Levin ve arkadaşların yapmış oldukları bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilene üre formaldehit ilavesiyle elde ettikleri polimer karışımında üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla % uzama değerinin düştüğünü tespit etmişlerdir. Bu sonuç burada yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir [8]. Şekil 2e'ye bakıldığında üre formaldehit tozunun matris içerisinde oranının artmasıyla sertlik değerlerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Yüksek yoğunluklu polietilen içerisinde üre formaldehit tozlarının oranının artmasıyla sertlik değerlerinde bir artışın olduğu tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değerinin ise %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu görülmektedir. Saf yüksek yoğunluklu polietilen sertlik değerini bununla kıyaslandığında bu değerin %9 oranında arttığı gözükmektedir. Şekil 2f'de ise üre formaldehit tozlarının artışıyla polimer karışımının Izod darbe değerlerindeki değişim gözükmektedir. Burada ise matris içerisinde üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla bir düşüşün olduğu görülmektedir. En fazla düşüşün %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu şekilden anlaşılmaktadır. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin Izod darbe mukavemeti değeri ile kıyaslandığında yaklaşık %70 oranında düştüğü görülmektedir.



a



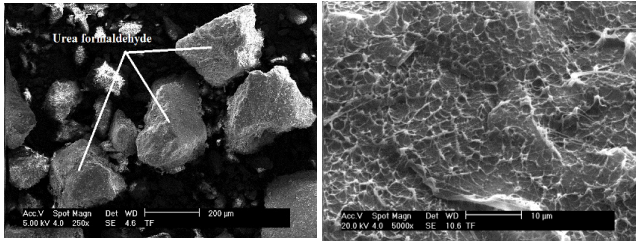
Şekil 2. HDPE/ÜF polimer karışımının mekanik özellikleri

Şekil 2g'ye bakıldığında ise üre formaldehit tozlarının oranlarının artmasıyla polimer karışımının yoğunluğunun nasıl değiştiği görülmektedir. Burada ise üre formaldehit toz oranının artmasıyla polimer karışımının yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek yoğunluk değeri %30 üre formaldehit katkılı grupta olduğu tespit edilmiştir. Bu değeri saf yüksek yoğunluklu polietilenin yoğunluk değeri ile kıyaslandığında bu değer yaklaşık %13 oranında arttığı görülmektedir.

### 3.2 HDPE/ÜF Polimer Karışımının Mikroyapı Özellikleri

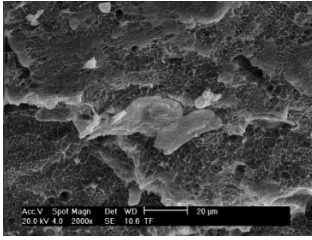
Yüksek yoğunluklu polietilen içerisindeki üre formaldehit tozlarının dağılımını belirlemek için taramalı elektron mikroskopisi ile kırık yüzey fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 3'de de görüldüğü gibi yüksek yoğunluklu polietilen matrisi ve üre formaldehit tozları açık bir şekilde gözükmemektedir. Fotoğraflardan da anlaşıldığı gibi üre formaldehit partikülleri yüksek yoğunluklu polietilen matrisi içerisinde homojen bir şekilde dağılmıştır.



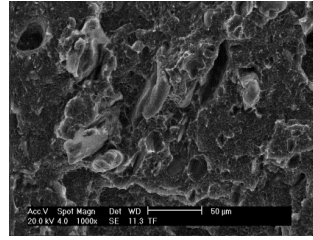


Üre formaldehit tozu

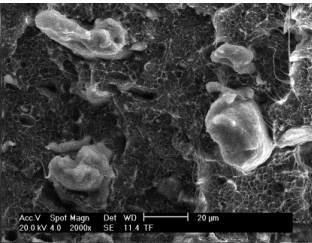
1. Grup (Saf HDPE)



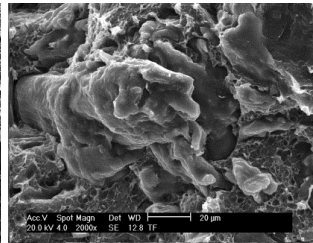
2. Grup HDPE/ÜF (95/5)



3. Grup HDPE/ÜF (90/10)



4. Grup HDPE/ÜF (80/20)



5. Grup HDPE/ÜF (70/30)

Şekil 3. HDPE/ÜF polimer karışımının SEM ile çekilmiş mikroyapı fotoğrafları

Sonuç olarak bu çalışmada atık üre formaldehitin yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde oranının artmasıyla elastik modülü değeri, akma ve kopma mukavemet değerleri, % uzama, sertlik, Izod darbe dayanımı ve yoğunluğu gibi mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda, yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisinde üre formaldehit tozunun artmasıyla birlikte elastiklik modül değeri, kopma mukavemet değeri, sertlik ve yoğunluk değerlerinin kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık matris içerisinde atık üre formaldehit

oranının artmasıyla akma mukavemeti değeri, % uzama ve Izod darbe dayanım değerlerinde ise bir düşüş gözlemlenmiştir. Mikro yapı fotoğraflarından ise üre formaldehit tozlarının HDPE matris içerisinde homojen olarak dağıldıkları belirlenmiştir. Burada üre formaldehit tozlarının kullanımı aynı zamanda atık olan bu ürünün yeniden neredeyse sıfır maliyette değerlendirilmesini sağlamaktadır. Diğer katkı malzemelerine kıyasla elde edilen karışımın maliyetini de düşürmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: FEN-C-YLP-091.116.0497).

## KAYNAKLAR

- [1] Tasdemir, M., Karatop, S., (2006). Effect of styrene-isopren-styrene addition on the recycled polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene polymer blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 101, 559-566,
- [2] Liu, Z., Wang, J., Dai, X., Han B., , Dong, Z., G, Yang, Zhang, X., Xu (2002). Synthesis of composites of silicone rubber and polystyrene using supercritical CO<sub>2</sub> as a swelling agent. *J. Mater. Chem.*, 12, 2688.
- [3] Tasdemir, M., Miskioglu, I., (2016). Friction and wear behaviors of HIPS/SBS polymer blends *Int. J. of Mat. And Manufacturing*, Vol. 4/2, 95-99.
- [4] Thomas, R., Vijayan, P., Thomas, S., (2011). Recent Developments in Polymer Recycling, 121-153.
- [5] Wang Y, Shi J, Han L, Xiang, F (2009). Crystallization and mechanical properties of T-ZnOw/HDPE composites, *Mater Sci Eng A* , 501, 220-228.
- [6] Rothern RN (1995). Particulate-Filled Polymer Composites; Longman Scientific and Technical: Harlow.
- [7] Rothern RN (1999). Mineral Fillers in Thermoplastics: Filler Manufacture and Characterisation, *Mineral Fillers in Thermoplastics* 139, 67-107.
- [8] Evelin, D. B., Chris, C. W., Montgomery, T. S., (2000). Mechanical properties of blends of HDPE and recycled urea formaldehyde resin, *Journal of Applied Polymer Science*, 77, 3220-3227.