

# Polipropilen+%20 Kenevir Takviyeli / Çörek Otu / Maleik Anhidrit Aşılı Polipropilen Polimer Kompozitinin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Doğa KELEŞ<sup>1</sup>  Duygu BALCI<sup>1</sup>  Elif ULUTAŞ<sup>1\*</sup>  Münir TAŞDEMİR<sup>1</sup> 

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

## Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 28/01/2024  
Düzeltilme: 03/05/2024  
Kabul: 17/07/2024

## Anahtar Kelimeler

Polipropilen  
Çörek otu  
Kenevir  
Polimer kompozitler  
Fiziksel özellikler

## Article Info

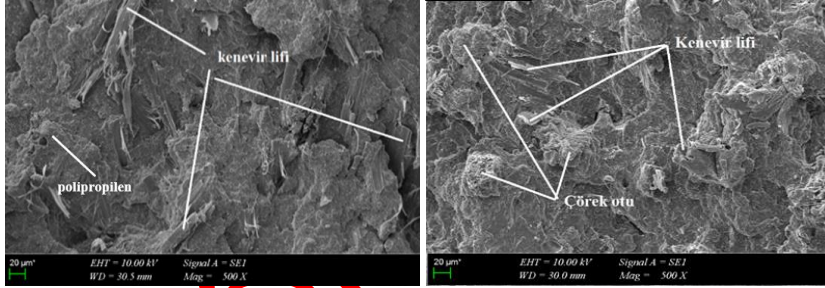
Research article  
Received: 28/01/2024  
Revision: 03/05/2024  
Accepted: 17/07/2024

## Keywords

Polypropylene  
Black cumin  
Hemp  
Polymer composites  
Physical properties

## Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada, kenevir lifi ve çörek otu ilavesiyle elde edilen PP polimer kompozitlerinin fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Özellikle uyumlaştırıcı olarak kullanılan MAPP oranlarının değişimi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması, polimer kompozitlerin performans optimizasyonu açısından önemli bulgular sunmaktadır. / In this study, the physical properties of PP polymer composites produced with the addition of hemp fibers and black cumin have been investigated. In particular, the comparison of results obtained with varying ratios of MAPP (maleic anhydride grafted polypropylene) used as a compatibilizer provides significant findings for the performance optimization of polymer composites.



Resim A/Figure A: PP polimer kompozitlerinin mikroyapı fotoğrafları / Microstructure photographs of PP polymer composites

## Önemli noktalar (Highlights)

- Termal Özelliklerin İyileştirilmesi / Improvement of Thermal Properties
- Yoğunluk ve Hafiflik / Density and Lightness
- Sürdürülebilir Takviye Malzemesi / Sustainable Reinforcement Material

**Amaç (Aim):** Bu çalışmada, selüloz esaslı takviyeler içeren PP polimer kompozitlerinin fiziksel özelliklerini incelenmiştir. PP+%20 kenevir içerisine %20 çörek otu ve %5, 10, 15 oranlarında MAPP ilave edilmiştir. Kompozitlerin yoğunluk, HDT, vicat yumuşama sıcaklığı, nem oranı, EAİ ve mikroyapı özellikleri test edilmiştir. / In this study, the physical properties of PP polymer composites containing cellulose-based reinforcements were examined. 20% black cumin and 5, 10, 15% MAPP were added to PP+20% hemp. The composites were tested for density, HDT, Vicat softening temperature, moisture content, MFI, and microstructure properties.

**Özgünlük (Originality):** Bu çalışmanın özgünlüğü, çörek otu patiküllerinin PP+%20 kenevir matrisi içindeki dağılımı ve arayüzey yapışmasının detaylı incelenmesinde yatmaktadır. / The originality of this study lies in its detailed examination of the distribution and interfacial adhesion of black cumin particles within a PP+20% hemp matrix.

**Bulgular (Results):** HDT ve Vicat yumuşama sıcaklıkları, çörek otu ve MAPP miktarının artmasıyla artmıştır. Yoğunluk, çörek otu eklenmesiyle artarken, MAPP eklenmesiyle azalmıştır. Nem oranı, çörek otu ilavesiyle artmış, MAPP ile azalmıştır. EAİ, çörek otu ve MAPP eklenmesiyle artmış ve SEM görüntülerinde yüzeyde deformasyon görülmemiştir. / Both HDT and Vicat softening temperatures increased with higher amounts of black cumin and MAPP. The density increased with black cumin addition but decreased with MAPP addition. The moisture content rose with black cumin and decreased with MAPP. MFI increased with the addition of both black cumin and MAPP. SEM images revealed no surface deformation, indicating good dispersion and adhesion of black cumin and hemp fibers within the matrix.

**Sonuç (Conclusion):** Kenevir lifi ve çörek otu ilaveli PP polimer kompozitler üzerindeki uyumlaştırıcı malzemenin etkilerini inceleyen çalışma, kompozitlerin fiziksel özelliklerinde önemli iyileşmeler sağladığını ortaya koymuştur. / The study examining the effects of compatibilizer materials on PP polymer composites with hemp fibers and black cumin has demonstrated significant improvements in the physical properties of the composites.



## Polipropilen+%20 Kenevir Takviyeli / Çörek Otu / Maleik Anhidrit Aşılı Polipropilen Polimer Kompozitinin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Doğa KELEŞ<sup>1</sup> Duygu BALCI<sup>1</sup> Elif ULUTAŞ<sup>1\*</sup> Münir TAŞDEMİR<sup>1</sup>

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

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 28/01/2024  
Düzeltilme: 03/05/2024  
Kabul: 17/07/2024

### Anahtar Kelimeler

Polipropilen,  
Çörek otu,  
Kenevir,  
Polimer kompozitler,  
Fiziksel özellikler.

### Öz

Polimer sektöründe, doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevre kirliliğinin artması ve artan ham madde miktarları günümüz dünyasının temel problemleridir. Yüksek potansiyel ve özelliklere sahip olmalarına rağmen polimerler doğal bir süreçle kolayca yok edilememeleri ve petrol kaynakları gibi tükenir kaynaklardan elde edilmeleri nedeniyle çevresel kirliliğe sebep olmakta ve sürdürülebilirlik açısından çeşitli sorunlar yaratmaktadır. Bu durum bilim insanlarını, polimerlerin olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması ve sürdürülebilirliğin artırılması için yeni arayışlara teşvik etmektedir. Polimerlere doğal lif takviyesiyle çevre dostu, düşük maliyetli, işlenmesi kolay ve yüksek mekanik özelliklere sahip malzemeler üretilmesi, bu yeni arayışta önemli bir rol oynamaktadır. Doğal lif kaynaklarından özellikle kenevir bitkisi, sürdürülebilir ve yenilenebilir doğası ile birlikte üstün performans özellikleri sayesinde endüstriyel ve ekonomik açıdan önemli bir malzeme olarak öne çıkmakta ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır. Yapılan çalışmada, doğal lif kaynağı olan çörek otunun ve maleik anhidrit aşılı polipropilenin (MAPP), ağırlıkça %20 kenevir takviyeli polipropilen (PP+%20 kenevir) polimer kompozitlerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her grup için ağırlıkça %20 oranında öğütülmüş çörek otu kullanılmıştır. Bileşenlerin arayüzey etkileşimini sağlamak için sırasıyla ağırlıkça %5, 10, 15 oranlarında MAPP ilave edilmiştir ve elde edilen polimer kompozitler, ekstrüderde eriyik haline getirilmiştir. Ardından polimer kompozitler granüle edilerek standartlara uygun ölçülerde enjeksiyon makinesinde kalıplanmıştır. Yapılan test sonuçlarında çörek otu ve MAPP'nin; yoğunluk, nem oranı tayini, erime akış indeksi (EAI), ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklığı değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca çörek otu, kenevir ve MAPP'nin PP matrisi içerisindeki dağılımı ve arayüzey etkileşimleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlemlenmiştir.

## Investigation of Physical Properties of 20% Hemp Reinforced Polypropylene/Black Cumin/Maleic Anhydride Grafted Polypropylene Polymer Composite

### Article Info

Research article  
Received: 28/01/2024  
Revision: 03/05/2024  
Accepted: 17/07/2024

### Keywords

Polypropylene,  
Black cumin,  
Hemp,  
Polymer composites,  
Physical properties.

### Abstract

In the polymer sector, the rapid depletion of natural resources, increasing environmental pollution, and rising amounts of raw materials are fundamental problems in today's world. Despite their high potential and properties, polymers contribute to environmental pollution and pose various challenges for sustainability due to their inability to be easily biodegraded through natural processes and being derived from finite sources like petroleum. This situation encourages scientists to explore new avenues for reducing the negative environmental impacts of polymers and enhancing sustainability. The production of environmentally friendly, low-cost, easily processed, and high-mechanical-performance materials with natural fiber reinforcement plays a significant role in this new quest. Among natural fiber sources, hemp stands out as an industrially and economically important material due to its sustainable and renewable nature, coupled with superior performance characteristics, contributing to sustainability goals. This study investigates the effects of the addition of black cumin and maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the physical properties of polypropylene composites reinforced with 20% hemp by weight (PP+20% hemp). Ground black cumin is used at a weight percentage of 20 for each group. To ensure interfacial interaction between the components, MAPP is added in weight percentages of 5, 10, and 15, and the resulting polymer composites are melt-extruded. Subsequently, the polymer composites are pelletized and molded in accordance with standards using an injection machine. The test results examine the effects of black cumin and MAPP on density, moisture content determination, melt flow index (MFI), heat deflection temperature (HDT), and Vicat softening temperature values. Additionally, the distribution of black cumin, hemp, and MAPP within the PP matrix, as well as interfacial interactions, is observed using scanning electron microscopy (SEM).

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Polimerler; hafif, ekonomik, yüksek mekanik özelliklere sahip, kolayca şekillendirilebilen, dekoratif, kimyasala ve korozyona dayanıklı malzemelerdir. Bunun yanı sıra doğada bozunma süreleri uzun olup genellikle petrokimyasal kaynaklardan türetilirler [1,2]. Polimer ham maddeleri ve polimer tabanlı malzemeler, imalat endüstrisinde önemli bir rol oynamakla birlikte, plastik kirliliğine bağlı olarak çevresel sorunlara neden olmaktadır. Aynı zamanda sınırlı fosil kaynaklarının tükenmesi ve petrol fiyatlarındaki artış yenilikçi bir çözüm arayışını hızlandırmaktadır [3]. Plastik sektörünü olumsuz etkileyen bu durumlar, plastik üreticilerini sürdürülebilir üretim hedefine yönlendirmiş, çevre dostu üretim teknolojilerinin geliştirilmesine öncülük etmiş etmiştir. Bu bağlamda, çevre dostu ve sürdürülebilir kompozit malzemelerde bitkisel liflerin kullanımına olan küresel ilgi önemli ölçüde artmaktadır [3-5]. Doğal liflerin biyolojik olarak parçalanabilir oluşu ve takviye elemanı olarak kullanılmasıyla birlikte kompozite kazandırdığı düşük maliyet, düşük yoğunluk, yüksek sertlik ve mukavemet gibi özellikler artan ilginin temel sebepleridir [6,7].

Bitki lifleri, selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi bileşenlerden oluşan lignoselülozik yapılar içerir. Genel olarak; selüloz içeriği, liflerin özelliklerini yönlendirmede en büyük rolü oynar ve lifler, kompozit içinde takviye olarak kullanıldığında kiralite, biyobozunma, yüksek fonksiyonellik ve hidrofilitik gibi faktörlerin performansını belirler [8,9]. Selüloz temelli bir bitki olan çörek otu, Ranunculaceae (Düğünçiçeğigiller) familyasına ait *Nigella sativa* türüdür ve Türkiye’de bitki çeşitliliği bakımından oldukça zengindir. Siyah tohum, siyah kimyon veya bereket tanesi olarak bilinir ve bitkinin ince otsu dallarının tepesindeki kapsüllerin içinde bulunur [10,11]. Doğal lif kaynakları arasında yer alan kenevir liflerinin, yenilenebilir ve sürdürülebilir olmasının yanı sıra güçlü ve sert lif yapısı, kompozit malzemelerde etkili bir takviye malzemesi olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Kenevir bitkisinin saplarında bulunan lifler, cam liflerine benzer bir sertliğe sahiptir. Kenevir lifleri sahip olduğu bu özellikleriyle, çevre dostu ve dayanıklı malzemelere olan talebin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır [5,6]. Ayrıca kenevir lifi kompozitleri, cam lifi takviyeli kompozitlere kıyasla düşük yoğunluk, daha düşük maliyet, daha az makine donanımı yıpranması,

üretim sırasında daha az enerji gereksinimi ve daha az sağlık ve güvenlik riski gibi bir dizi avantajlara sahiptir [12,13].

Doğal lifler ve polimer matris arasındaki arayüzey etkileşimini iyileştirmeyi amaçlayan maleik anhidrit (MA), diğer uyumlaştırma işlemlerinin aksine genellikle poliolefinlerden (PE ve PP gibi) oluşan polimer matrisle değil sadece doğal fiberle de reaksiyona girebilir. MA, fiberin amorf bölgesindeki hidroksil grupları ile reaksiyona girerek onları uzaklaştırır. Fiberin hidrofilitik karakteri azaldığında; su emilimi azalır ve kompozitlerin özelliklerinde gelişmeler görülür [14-16]. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; az miktarlarda MAPP kullanımı (%0-10), özellikle PP esaslı kenevir kompozitlerinde liflerin yüzey enerjisini modülasyon yoluyla artırarak, kenevir liflerinin polimer matrise karşı kullanılabilirliğini artırmıştır. Bunun sonucunda, kenevir liflerinin hidrofilitik karakterini azaltarak fiberlerle matris arasındaki yapışmayı artırmıştır [17]. Doğal lifler arasında ortalama bir yoğunluğa sahip olan çörek otunun, düşük yoğunluklu PP matris içerisinde kullanılması ile elde edilen kompozit çalışmalarında ise yoğunluğun arttığı ve uyumlaştırıcı ilavesiyle ise yoğunluğun azaldığı görülmüştür [18,19]. Atıkların değerlendirilmesi konusunda yapılan bir çalışmada [20]; PP matris içerisine takviye olarak %10, 20, 30 ve 40 oranlarında selüloz, tahta talaşı ve buğday samanı, uyumlaştırıcı olarak %0-5 aralığında silan ve MAPP ilave edilmiştir. Numuneler, 3x1,75x0,1 cm<sup>3</sup> ölçülerinde kesilerek 70 °C’de 24 saat kurutulmuştur ve 25 °C’de statik damıtılmış su banyosuna 24 saat boyunca batırılarak su emilimi gözlemlenmiştir. Kâğıt mendil ile silinen numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür. Selüloz miktarının artmasıyla su absorpsiyonunun doğrusal bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ulutaş ve arkadaşlarının çalışmasında [21]; geri dönüşümlü PP içerisine %5, 10, 20, 30 oranlarında pirinç kabağı ilave edilmiştir ve arayüzey etkileşimini iyileştirmek için %5 oranında MAPP kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, pirinç kabağı oranındaki artış ile erime akış indeksi düşmüştür ve nem değerleri, HDT ve vicat yumuşama sıcaklığı artış göstermiştir. Taşdemir ve Kaştan’a ait bir çalışmada [22], toz haline getirilmiş selüloz esaslı zeytin çekirdeği tozları (ZÇT) %5, 10, 15 ve 20 oranlarında, PP matris içerisine ilave edilerek elde edilen kompozitin fiziksel özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada her grupta arayüzey uyumunu

sağlamak için %5 oranında MAPP kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre; ZÇT oranının artmasıyla HDT, vicat yumuşama sıcaklığı ve nem oranının arttığı görülmüştür. Kompozitlerin erime akış indeksi ise, %5 ZÇT ilavesiyle artmış, fakat ZÇT oranının daha da artmasıyla azalmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı selüloz esaslı takviyeler içeren PP polimer kompozitlerinin fiziksel özellikleri incelenmesidir. Yapılan çalışma kapsamında, PP+%20 kenevir içerisine, %20 oranında çörek otu ve bileşenleri uyumlaştırmak amacıyla %5, 10, 15 oranlarında MAPP ilave edilmiştir. Ekstrüzyonda eriyik harmanlama yöntemi ile polimer kompozitler üretilmiştir. Kompozitlerin yoğunluk, HDT, vicat yumuşama sıcaklığı, nem oranı tayini ve ergime akış indeksi özelliklerini incelemek için test numuneleri enjeksiyon makinesinde kalıplanmıştır. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu ile çörek otu ve kenevir partiküllerinin matris içerisindeki dağılımı ve matris-takviye elemanı arasındaki arayüzey yapışması incelenmiştir. Bu çalışma, selüloz esaslı takviyeler ile PP polimer kompozitlerinin özelliklerini araştıran diğer çalışmalarla benzerlikler taşımaktadır. Ancak, çörek otu partiküllerinin kullanımı ve bu partiküllerin matris içindeki dağılımının yanı sıra matris-takviye arayüzey yapışmasının detaylı incelenmesi, bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farklı ve yenilikçi yönlerini oluşturmaktadır. Özellikle MAPP oranlarının değişimi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması, polimer kompozitlerin

performans optimizasyonu açısından önemli bulgular sunmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın özgün yönleri, biyokompozit malzemelerin geliştirilmesinde yeni yaklaşımlar sunarak literatüre katkı sağlamaktadır.

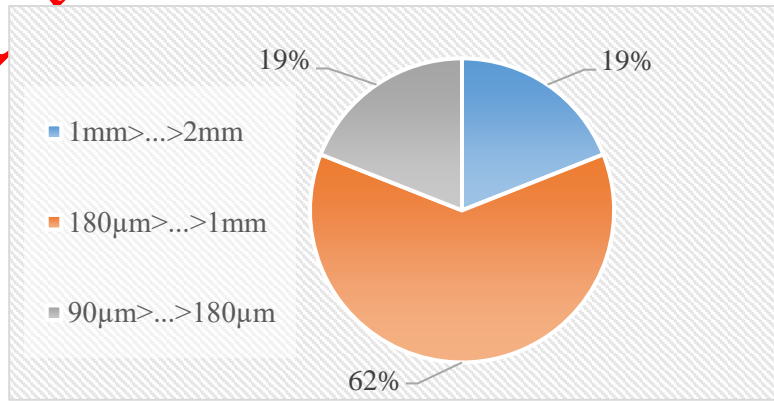
## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. Kullanılan Malzemeler (Used Materials)

Yapılan çalışmada matris malzemesi olarak Automotive Performance Materials tarafından temin edilen REFINE PF3 434A ticari isimli ağırlıkça %20 kenevir takviyeli PP kullanılmıştır. PP'ye ait bazı özellikler; yoğunluğu  $0,98 \text{ g/cm}^3$ , EAİ değeri ( $190 \text{ }^\circ\text{C}/5 \text{ kg}$ )  $11,6 \text{ g/10dk}$ , ısıl çarpılma sıcaklığı HDT-A ve HDT-B olmak üzere sırasıyla  $72 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $137 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak verilmiştir. Kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan çörek otunu ( $2,35\text{-}2,85 \text{ g/cm}^3$ ) toz haline getirmek için Siemens Simatic C7-621 kontrol sistemi cihazı ile kuru öğütme yapılmıştır [23]. Çörek otu partiküllerinin tane boyutu dağılımı Retsch AS 200 marka test cihazı ile 15 dk boyunca sabit hızda titreşime maruz bırakılarak incelenmiştir ve elek analizi sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Matris ve takviye elemanı arasındaki arayüzey bağlanmasını artırmak için uyumlaştırıcı olarak  $0,9 \text{ g/cm}^3$  yoğunluklu Bondyram® 1001CN ticari isimli MAPP kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 1. Çörek otu elek analizi cihazı (a) ve sonuçları (b) (%ağırlıkça) (Black cumin sieve analysis device (a) and results (b) (% by weight))

## 2.2. Numune Hazırlama ve Karakterizasyon

(Sample Preparation and Characterization)

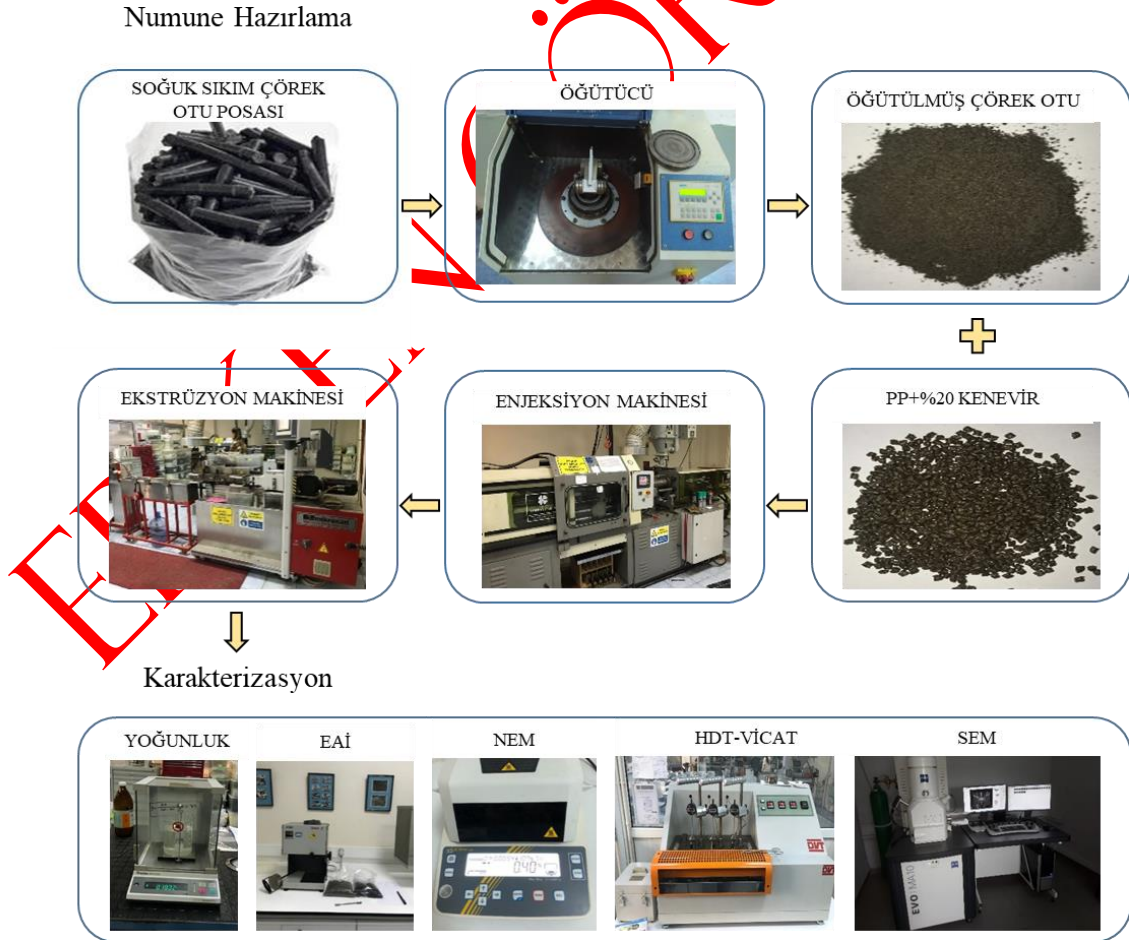
Yapılan çalışma kapsamında beş farklı oranda hazırlanan polimer kompozitlere ait karışım oranları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Polipropilen kompozitlerinin karışım oranları (% ağırlıkça) (Mixing ratios of polypropylene composites (% by weight))

Polimer Kompozitinin Karışım Oranları			
Gruplar	PP+%20 Kenevir	Çörek Otu (%)	MAPP (%)
1.Grup	100	-	-
2.Grup	80	20	-
3.Grup	75	20	5
4.Grup	70	20	10
5.Grup	65	20	15

İlk olarak polimer kompoziti oluşturan bileşenler bünyesinde bulundukları nemi uzaklaştırmak için Yamato ADP-31 (Yamato/VWR Scientific

Products, Japonya) marka vakumlu fırında 105 °C sıcaklıkta 24 saat kurutulmuştur. Ardından bileşenlerin ilk karıştırma işlemi Patterson marka karıştırıcıda yapılmıştır. Homojen bir karışım elde etmek amacıyla PP Mikrosan marka çift vidalı ekstrüderde (co-rotate) eriyik olarak harmanlanmıştır. Soğutma işlemi için su tankından geçirilen polimer kompozitler, kırıcı yardımıyla granül formuna getirilmiştir ve yapısındaki nemi uzaklaştırmak için 24 saat botunca etüvde yeniden kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kompozitlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için; standartlara uygun test numuneleri enjeksiyon makinesinde kalıplanmıştır. Daha iyi bir eriyik akış için polimer kompozit üretiminde kullanılan ekstrüzyon makinesi çalışma şartları; proses sıcaklığı 180-230 °C ve vida hızı 35 dev/dk olarak belirlenmiştir. Uygulanan parametrelerle, saatte bir kilogram kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon makinesi çalışma şartları ise; proses sıcaklığı 180-230 °C, basınç 800 bar ve enjeksiyon süresi 12 sn olarak belirlenmiştir. Ayrıca makine kapama tonajı 110-120 ton ve kalıp baskı miktarı 225 g'dır.



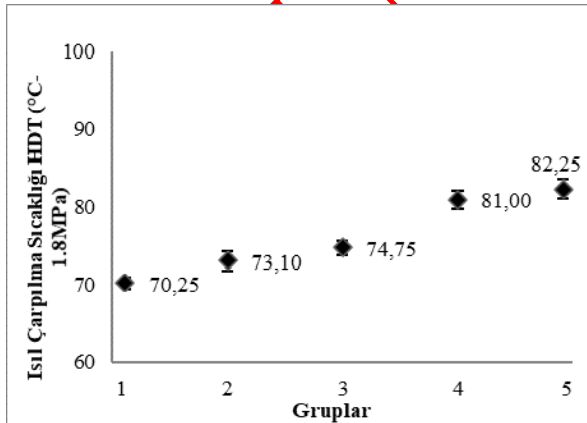
**Şekil 2.** PP+%20 kenevir/çörek otu/MAPP polimer kompozitinin üretim aşamaları ve kullanılan cihazlar (Production stages of PP+20% hemp/black cumin/MAPP polymer composite and devices used)

Eriyik haldeki plastik malzemenin akış hızını belirleyen EAİ testleri ISO 1133 standardına uygun olarak Zwick marka 4100 model test cihazında, 230 °C’de ve 2,16 kg yük altında yapılmıştır. Malzemelerin yoğunluğu ISO 2781 standardına uygun olarak Precisa 205A SCS marka test cihazında iki adet numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Nem tayini, ASTM D 6980 standardına uygun olarak Kern marka test cihazında 3 adet numunenin ortalaması alınarak yapılmıştır. Polimer kompozitin termal özelliklerini incelemek için HDT ve vicat yumuşama sıcaklığı testleri sırasıyla ISO 75 ve ISO306 standartlarına uygun olarak Devotrans marka test cihazında üç adet numunenin ortalaması alınarak yapılmıştır. Kenevir ve çörek otunun matris içerisindeki dağılımı ve mikroyapı incelemesi, Zeiss EVO MA 10 marka SEM cihazı ile darbe testi numunelerinin kırık yüzeyleri kullanılarak yapılmıştır. Elektriksel yüklenmeyi önlemek amacıyla numune yüzeyleri 20 Å kalınlığında altın-paladyum (Au) karışımı ile Polaron SC7640 marka yüksek çözünürlüklü püskürtmeli kaplayıcı (İngiltere) kullanılarak kaplanmıştır.

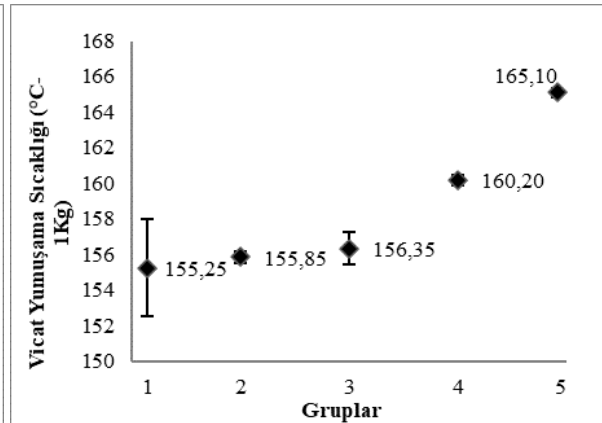
### 3.BULGULAR (RESULTS)

Çörek otu ve MAPP ilavesi ile polimer kompozitlerin termal davranışlarını incelemek için yapılan HDT ve vicat yumuşama sıcaklığı testlerine ait sonuçlar sırasıyla Şekil 3(a) ve 3(b) de verilmiştir. Yapılan test sonuçlarında benzer şekilde çörek otu ve MAPP miktarının artması ile HDT ve

vicat değerleri artış göstermiştir. PP+%20 kenevir matrisi içerisine ağırlıkça %20 oranında çörek otu ilave edilmesiyle HDT değeri %4,1 oranında artmıştır. En düşük HDT değeri 1. Grup polimer kompozitlerine ait iken, en yüksek değer %20 çörek otu ve %15 MAPP ilavesiyle 5. Gruba aittir. Bu gruplar kıyaslandığında HDT değerinde %17,1’lik bir artış gözlemlenmiştir. Şekil 3(b) incelendiğinde, benzer olarak PP+%20 kenevir matrisi içerisine ağırlıkça %20 oranında çörek otu eklendiğinde, vicat yumuşama sıcaklığı %0,4 oranında artmıştır. En yüksek değerlerin %20 çörek otu ve %15 MAPP oranlarıyla 5. Grup numunelerine ait olduğu tespit edilmiştir ve 1. Grup numunelerine kıyasla vicat değeri %6 oranında artmıştır. Ulutaş ve arkadaşlarına ait çalışmada [21], farklı oranlarda pirinç kabuğunun geri dönüşümlü PP matrisine ilavesi ile birlikte HDT ve vicat değerleri benzer olarak artış göstermiştir. Taşdemir ve Kaştan’a ait bir çalışmada [22], selüloz esaslı zeytin çekirdeği tozları (ZCT) farklı oranlarda PP matrisine eklenmiştir ve her grup için arayüzey uyumunu sağlamak amacıyla %5 oranında MAPP kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre, ZCT oranının artmasıyla HDT ve vicat yumuşama sıcaklığı benzer bir artış göstermiştir. Taşdemir’e ait başka bir çalışmada [24], zeytin çekirdeği ve badem kabuk tozu, dört farklı konsantrasyonda ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 oranlarında PP’ye eklenerek kompozitler üretilmiştir. Test sonuçlarına göre vicat yumuşama sıcaklığının her iki dolgu türünde de yaklaşık 10 °C arttığı belirlenmiştir.

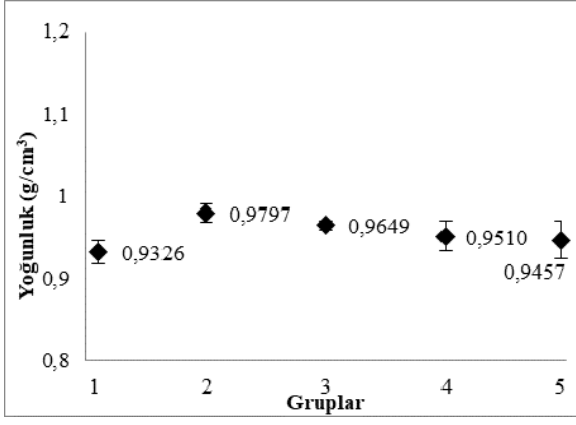


(a)

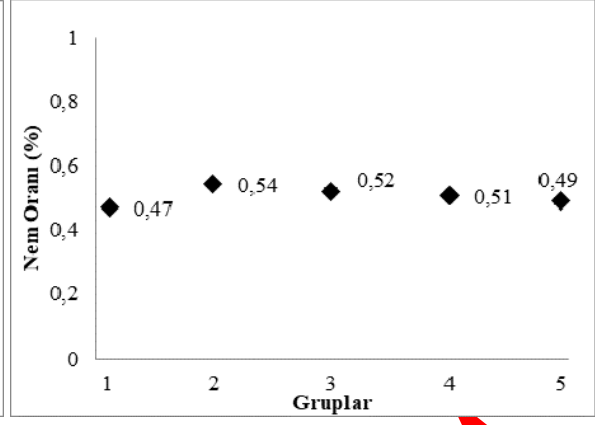


(b)

Şekil 3. PP+%20 kenevir/çörek otu/MAPP polimer kompozitinin fiziksel özellikleri (Physical properties of PP+20% hemp/black cumin/MAPP polymer composite)



(c)

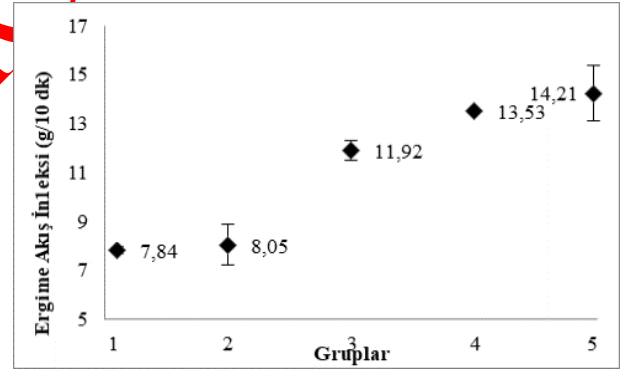


(d)

Şekil 3. Devamı (Continue)

Şekil 3(c)'de verilen yoğunluk değerleri incelendiğinde, en düşük yoğunluk değeri 1. Grup numunelerine ait olduğu rapor edilmiştir ve 0,9326 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. En yüksek yoğunluğun ölçüldüğü 2. Grup numunelerinde, %20 oranında çörek otu ilavesiyle bu değer %5,05 oranında bir artış göstermiştir. Karışıma ağırlıkça %5 MAPP ilavesi ile yoğunluk değeri %1,5 azalma göstermiştir. MAPP değeri %15'e çıkarıldığında ise yoğunluk değeri, %5 MAPP ilaveli gruba kıyasla %2 oranında azalmıştır. Sonuç olarak çörek otu eklenmesi ile yoğunluk değerleri artarken, MAPP miktarının artmasıyla değerlerde azalma gözlemlenmiştir. Literatürde yer alan benzer çalışmalarda selüloz esaslı takviyelerin etkisiyle yoğunluk artmıştır ve uyumlaştırıcı ilavesiyle ise azalma gözlemlenmiştir [18,19]. Şekil 3(d)'de verilen nem tayini sonuçları incelendiğinde, yoğunluk testi ile benzer değişiklikler tespit edilmiştir. Çörek otu ilavesiyle numunelerin nem çekme yüzdeleri artış göstermiştir, bunun aksine uyumlaştırıcı oranının artmasına bağlı olarak nem oranları azalmıştır. En düşük nem oranına sahip 1. Grup numunelerine kıyasla, çörek otu eklenmesiyle bu değerde %15 oranında bir artış görülmektedir. Uyumlaştırıcı içeren gruplarda ise, maksimum oranda MAPP eklenmesi nem değerlerini %5,8 oranında düşürmüştür. Dairi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [25]; ilk aşamada PP ve geri dönüşümlü polietilen tereftalat (PET), PET'in erime sıcaklığında karıştırılmıştır. Ardından odunu hazırlanan karışıma ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranında eklenerek PP'nin işleme sıcaklığında ekstrüderde eriyik hale getirilmiştir. Kompozit bileşiklerin arayüzey etkileşimini sağlamak amacıyla ağırlıkça %10 MAPP kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre su emme miktarı, odun ununun ilavesiyle artış göstermiştir. Akbaş ve

arkadaşlarının çalışmasında [26]; değirmen yardımıyla un haline getirilen fındık kabukları, PP matris içerisine ağırlıkça %30, 50 ve 50 konsantrasyonlarında ilave edilmiştir. Yapılan testlere göre, lignoselülozik bir malzeme olan fındık kabuğu miktarının artmasıyla su emme miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Stokke ve Gardner'ın yaptığı çalışmada [27], kompozit malzemelerde bulunan hidrofilik yapıdaki odunsu materyalin oranının artmasıyla, su emme oranının önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir.

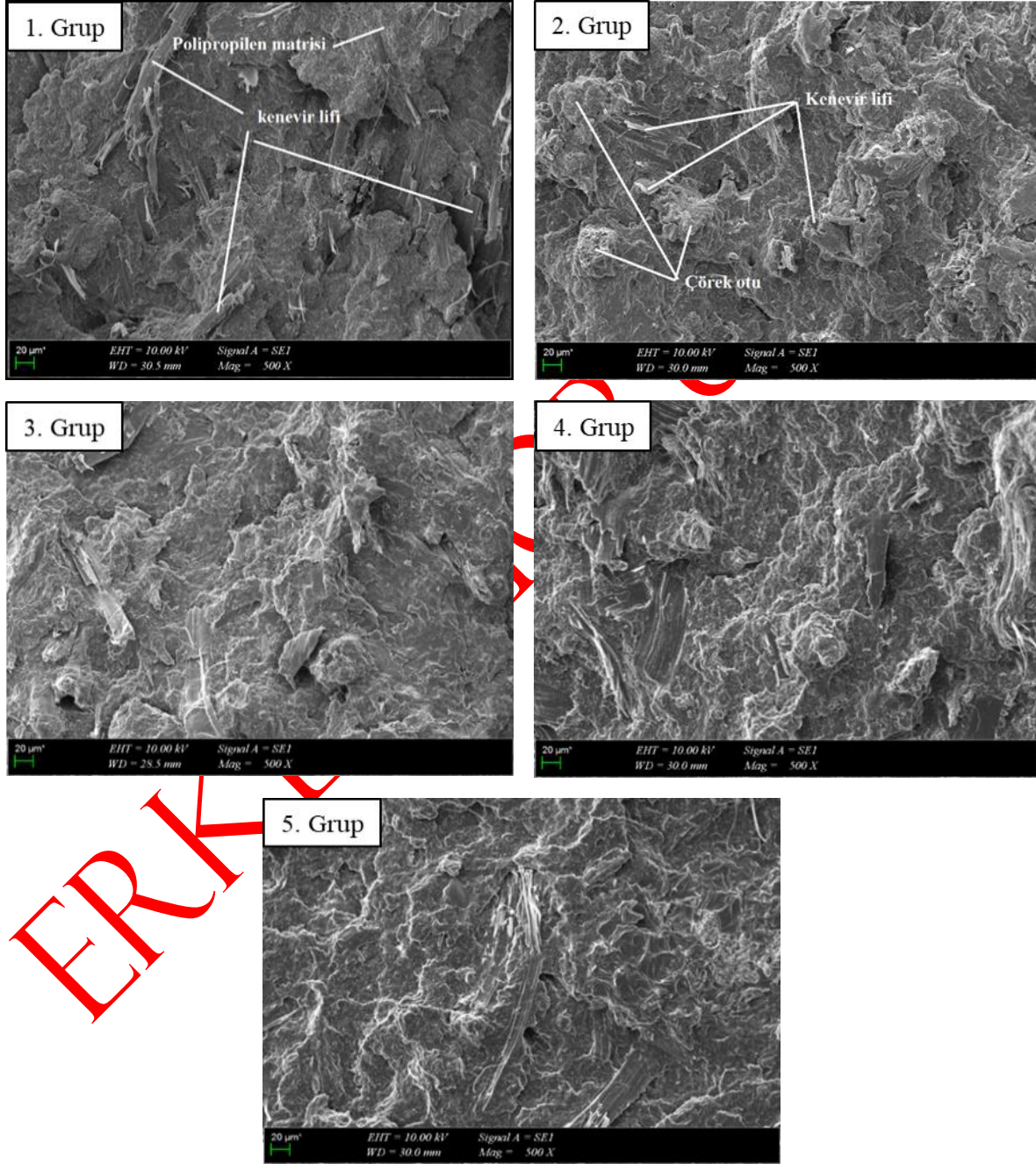


Şekil 4. PP+%20 kenevir/çörek otu/MAPP polimer kompozitinin EAİ değerleri (MFI values of PP+20% hemp/black cumin/MAPP polymer composite)

Gerçekleştirilen ölçümlere göre çörek otu ve MAPP ilavesiyle erime akış indeksi değerlerinin arttığı Şekil 4'te açıkça görülmektedir. Polimer kompozitlere ağırlıkça %20 çörek otu eklenmesiyle %2,7 oranında bir artış görülmüştür ve ardından ağırlıkça %5 MAPP ilavesi EAİ değerini %48 oranında artırmıştır. EAİ test sonuçlarında MAPP ilavesinin %5'ten %15'e artırılması ile %19,2 oranında bir artış olduğu belirlenmiştir. Polimerin EAİ'si ne kadar büyük olursa viskozitenin o kadar düşük olacağı bilinmektedir. MAPP ilavesi ile EAİ'deki artışın ana sebebi, yüksek EAİ'ye sahip MAPP'nin yağlayıcı etkisidir; ayrıca literatürde

MAPP'nin polimere kıyasla düşük viskoziteli olduğu rapor edilmiştir. Böylece MAPP ilavesi makromoleküler zincirin hareketliliğini artırarak EAİ artışına sebep olabilir [28, 29]. Literatürdeki bazı çalışmalarda, selüloz esaslı takviye malzemesi eklendiğinde EAİ değerlerinin azaldığı rapor edilmiştir. Örneğin, Taşdemir ve Kaştan'ın yapmış olduğu bir çalışmada [22]; selüloz esaslı bir malzeme olan zeytin çekirdeği tozunun ilavesiyle

EAİ'de azalma meydana gelmiştir. Benzer şekilde, Ulutaş ve arkadaşlarının çalışmasında da [21]; lignoselüloz esaslı pirinç kabuğu miktarının artmasıyla EAİ değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların aksine EAİ değerindeki artış çörek otunun boyutlarından kaynaklanmaktadır. Partükül boyutunun küçük olması kaydırıcı bir etki yaptığından EAİ değeri artar. Benzer boyutta doğal takviyelerin kullanıldığı çalışmalarda takviye oranı artışıyla EAİ oranının arttığı görülmüştür [30].



Şekil 5. PP+%20 kenefir/çörek otu/MAPP polimer kompozitinin SEM görüntüleri (SEM images of PP+20% hemp/black cumin/MAPP polymer composite)

Yapılan çalışmalarda polimer kompozitlere ait numunelerin kırık yüzeylerinden 500x büyütmede incelenen SEM görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir.

Uyumlaştırıcı içermeyen 1. ve 2. Grup numunelerine ait mikrograflar incelendiğinde kenefir liflerinin dağılımı açıkça görülmektedir.



MAPP eklenmesi ile lifler, takviye ve matris arasında uyumu artırdığından arayüzey daha güçlü bir bağ sağlanmıştır. Kompozitlere ait numune yüzeylerinin hiçbirinde hava kabarcığı veya çatlak tespit edilmemiştir. Aynı zamanda genel olarak bu çalışmada hazırlanan kompozitlerin SEM görüntülerine bakıldığında matrise çörek otu partiküllerinin eklenmesinin yüzeyde bir deformasyona neden olmadığı görülmüştür. Bu sonuç, çörek otu ve kenevir lifinin matris içerisinde iyi dağıldığını ve iyi yapıştığını göstermektedir. Dairi ve arkadaşlarının çalışmasına bakıldığında [25]; %10, 20 ve 30 konsantrasyonlarında odun unu içeren uyumsuz polimer kompozitlerinde büyük çatlaklar gözlemlenmiştir. Ayrıca, sayısız lif çekme ve delikler de gözlemlenmiştir. Bu da odun unu ve PP/r-PET karışımı arasındaki arayüzey bağlanmasının zayıf olduğunu gösterir. MAPP konsantrasyonunun %10 olduğu durumda, uyumlu kompozitlerin morfolojisi ise homojen görünmektedir. Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan [31] çalışmada, polipropilen/mikro kristalin selüloz polimer kompozitlerinde polipropilen ile selüloz arasındaki yapışmanın artırılması amacıyla kompozite MAPP ve metil akrilik asit glisidil ester aşılı polipropilen (PP-g-GMA) katılmıştır. Gümüş ve arkadaşları [32], dört farklı konsantrasyonda (%5, 10, 15 ve 20) zeytin çekirdeği tozları ile doldurulmuş PP kompozitleri üretmiş ve arayüzey etkileşimini sağlamak amacıyla maleik anhidrit kullanmışlardır. SEM analizine göre zeytin çekirdeği tozlarının PP matrisine eklenmesinin yüzeyde bir deformasyona neden olmadığını ve matris ile dolgu arasında iyi bir yapışma olduğunu sonuçlandırmışlardır.

#### 4.SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Uyumlaştırıcı malzemenin doğal lif takviyeli polimer kompozitler üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla kompozitlere yapılan fiziksel incelemeler sonucunda malzemenin EAİ, Vicat yumuşama noktası, HDT, nem içeriği, yoğunluk değerleri tespit edilmiştir ve aynı zamanda kompozitlerin morfolojik incelemesi yapılmıştır. Bulguların incelenmesinden önce, homojen bir karışım için kompoziti oluşturan bileşenler 180-210 °C çalışma sıcaklığı aralığında ekstrüzyon makinesinde karıştırılmıştır. Uygun eriyik akışın sağlanması için test numunelerinin hazırlanması sırasında enjeksiyon kalıplama sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı sırasıyla 230 °C ve 800 bar olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre; çörek otu ve

MAPP ile güçlendirilmiş kompozitlerin fiziksel özellikleri, çörek otu takviyesiz ve uyumlaştırıcı içermeyen kompozitlere kıyasla önemli bir iyileşme göstermiştir.

- Kompozitlerin termal davranışı çoğu uygulama alanı için oldukça önemlidir. Bu nedenle kompozitlerin ısıl özellikleri HDT ve vicat yumuşama sıcaklığı testleri kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, çörek otu partiküllerinin ve MAPP'nin, PP+%20 kenevir kompozitlerinin termal özelliklerini iyileştirdiğini ve matrisi yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı hale getirdiğini açıkça göstermektedir.
- Çörek otu PP matrise kıyasla nispeten daha yüksek yoğunluğa sahip olduğundan dolayı kompozitlerin yoğunluğunu artırmıştır. Bunun aksine MAPP daha düşük yoğunluğa sahip olduğu için uyumlaştırıcı ilavesi polimer kompozitlerin yoğunluğunu düşürmüştür. Kullanım yeri açısından ele alındığında özellikle hafif ve yüksek mukavemetli malzemelerin talep edildiği üretim sektörlerine alternatif bir malzeme olmuştur.
- Selüloz bazlı malzemelerin bünyelerinde nem tutma özelliğine sahip olduğu bilinmektedir. Nem tayini sonuçlarına göre; çörek otu içeren kompozitlerin yapılarında daha fazla nem bulunmaktadır. MAPP ilavesiyle matris ile dolgu arasında iyi bir yapışma sağlanmıştır. Bunun sonucunda yüzeyi PP ile kaplanan çörek otu partiküllerinin bünyesine su çekmesi engellenmiştir ve uyumlaştırıcı oranının artmasıyla nem oranı düşüş göstermiştir.
- Fiziksel özelliklerdeki iyileşmeler; MAPP eklenmesi ile lifler, takviye ve matris arasında daha güçlü bir bağ sağlandığını kanıtlamaktadır. Yapılan SEM incelemelerinde numune yüzeylerinin hiçbirinde deformasyon, hava kabarcığı veya çatlak tespit edilmemiştir. Bu sonuç, çörek otu ve kenevir lifinin matris içerisinde iyi dağıldığını ve iyi yapıştığını göstermektedir.
- Çörek otu partiküllerinin PP bazlı kompozitlerde sürdürülebilir bir takviye malzemesi olduğunu ve üretilen kompozitlerin zemin döşemeleri, mobilyalar ve park bankları gibi kullanım alanları için uygunluğunu ortaya koymaktadır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, 'TÜBİTAK-2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Desteği Programı' kapsamında 1919B012310333 proje numarasıyla desteklenmiştir.

This study was supported by the project number 1919B012310333 within the scope of 'TÜBİTAK–2209-A University Students Research Projects Support Program'.

#### 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)

**Doğa KELEŞ:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve maklenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

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

**Duygu BALCI:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve maklenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She 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.

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

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

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### REFERENCES (KAYNAKLAR)

[1] Maddah, H. A., Polypropylene as a promising plastic, A review. Am. J. Polym. Sci, 6(1), 1-11, (2016).

[2] Hamamcı, B., Yeşil kompozitlerde biyopolimerlerin kullanımının önemi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 8(1), 12-24, (2018)

[3] Wang, Z., Ganewatta, M. S., & Tang, C., Sustainable polymers from biomass: Bridging chemistry with materials and processing. Progress in Polymer Science, 101, 10119, (2020).

[4] Güngör, A., The effect of Cumin Black (Nigella Sativa L.) as bio-based filler on chemical, rheological and mechanical properties of epdm composites. Turkish Journal of Engineering, 7(4), 279-285, (2023).

[5] Mohammed, M., Jawad, A., Mohammed, A. M., Olewi, J. K., Adam, T., Osman, A. F., Dahham, O. S., Betar, B. O., Gopinath, S., & Jaafar, M., Challenges and advancement in water absorption of natural fiber-reinforced polymer composites, Polymer Testing, 124, (2023). <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108083>

[6] Demirbek, D., & Bulut, M. O. Kenevir liflerinin eldesi, özellikleri ve kompozit uygulama alanları, Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences, 4(2), 176-191, (2021).

[7] Akhil, U. V., Radhika, N., Saleh, B., Krishna, S. A., Noble, N., & Rajeshkumar, L., A comprehensive review on plant-based natural fiber reinforced polymer composites: Fabrication, properties, and applications, Polymer Composites, 44(5), 2598-2633, (2023).

[8] Yoruç, A. B. H., & Uğraşkan, V., Yeşil Polimerler ve Uygulamaları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(1), 318-337, (2017).

[9] Fuqua, M. A., Huo, S., & Ulven, C. A., Natural fiber reinforced composites. Polymer reviews, 52(3), 259-320, (2012).

[10] Bacak Güllü, E., & Avcı, G., Timokinon: Nigella Sativa'nın Biyoaktif Komponenti, (2013).

[11] Solati, Z., Baharin, B. S., & Bagheri, H., Antioxidant property, thymoquinone content and chemical characteristics of different extracts from Nigella sativa L. seeds. Journal of the American Oil Chemists' Society, 91, 295-300, (2014).

- [12] Wambua P, Ivens J, Verpoest I. "Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics?". *Composites Science and Technology*, 63(9), 1259-1264, (2003).
- [13] Joshi S V., Drzal LT, Mohanty AK, Arora S. "Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 371-376, (2004).
- [14] Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M., Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in polymer science*, 37(11), 1552-1596, (2012).
- [15] Mishra, S., Naik, J. B., & Patil, Y. P., The compatibilising effect of maleic anhydride on swelling and mechanical properties of plant-fiber-reinforced novolac composites. *Composites Science and Technology*, 60(9), 1729-1735, (2000).
- [16] Tanasă, F., Zănoagă, M., Teacă, C. A., Nechifor, M., & Shahzad, A., Modified hemp fibers intended for fiber-reinforced polymer composites used in structural applications—A review. I. Methods of modification. *Polymer Composites*, 41(1), 5-31, (2020).
- [17] Sullins, T., Pillay, S., Komus, A., & Ning, H., Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments. *Composites Part B: Engineering*, 114, 15-22, (2017).
- [18] Şahin, A. Ş., & Sayer, S., Doğal lif takviyesinin poliolenin bazı hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(4), 605-612, (2020).
- [19] Özgan, A. O., & Özdemir, F., Yumurta kabuğunun odun plastik kompozit üretiminde kullanımı. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 308-318, (2021).
- [20] Atikler, U., (2004), Preparation and characterization of polypropylene-cellulose composites, Izmir Institute of Technology, Turkey.
- [21] Ulutaş, E., Taşdemir, Münir & Koçak, Emine, Geri dönüşümlü polipropilen/pirinç kabuğu polimer kompozitinin fiziksel özelliklerinin incelenmesi, (2019).
- [22] Taşdemir, Münir, & Kaştan, A., Zeytin çekirdeği tozu ilave edilmiş polipropilen kompozitinin aşınma ve fiziksel özellikleri. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 568-576, (2021).
- [23] Al-Mahasneh, M. A., Ababneh, H. A. & Rababah, T., Some engineering and thermal properties of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1047-1052, (2008).
- [24] Taşdemir, M., Effects of olive pit and almond shell powder on polypropylene. *Key Engineering Materials*, 733, 65-68, (2017).
- [25] Dairi, B., Djidjelli, H., Boukerrou, A., Migneault, S., & Koubaa, A., Morphological, mechanical, and physical properties of composites made with wood flour-reinforced polypropylene/recycled poly (ethylene terephthalate) blends. *Polymer Composites*, 38(8), 1749-1755, (2017).
- [26] Akbaş, S., Güleç, T., Tufan, M., Taşçoğlu, C., & Peker, H., Fındık kabuklarının polipropilen esaslı polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi, (2013).
- [27] Stokke, D. D., & Gardner, D. J., Fundamental aspects of wood as a component of thermoplastic composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 9(2), 96-104, (2003).
- [28] Li, R., Güneşi, B., Dang, L., Tavası, T., Xu, J., Xu, Ş., Effect of the melt flow index of compatibilizer on the melt processing and properties of highly filled magnesium hydroxide/linear low density polyethylene composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 140(36), (2023). <https://doi.org/10.1002/app.54371>
- [29] Sanadi, A. R., & Stelte, W., Effect of the characteristics of maleic anhydride-grafted polypropylene (mapp) compatibilizer on the properties of highly filled (85%) kenaf-polypropylene composites, *Materials Research*, 26, (2023). <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2022-0428>
- [30] Shaharudin, M. I., Baba, N. B., Mohd, A., Mohammed, R. M., Sidik, M., An Experimental investigation on melt flow index and water absorption of rhips/abs/kenaf composite, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 108, 103-113, (2023).

[31] Xiuju, Z., Juncai, S., Huajun, Y., Zhidan, L., & Shaozao, T.. Mechanical properties, morphology, thermal performance, crystallization behavior, and kinetics of PP/microcrystal cellulose composites compatibilized by two different compatibilizers. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 24(6), 735-754, (2011).

[32] Gümüş, B. E., Yağcı, Ö., Erdoğan, D. C., & Taşdemir, M.. Dynamical mechanical properties of polypropylene composites filled with olive pit particles. *J. Test. Eval*, 47(4), (2019).

ERKEN GÖRÜNÜM