

# Isıl Yaşlandırmanın Yüksek Yoğunluklu Polietilen/Fındık Kabuğu Polimer Kompozitinin Mekanik Özelliklerine Etkisi

## Effect of Thermal Aging on the Mechanical Properties of High Density Polyethylene/Nut Shell Polymer Composite

Münir TAŞDEMİR 

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

### Öz

Selülozik bazlı doğal malzemeler uzun yıllardan beri plastiklerde güçlendirilme malzemesi olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar. Bu malzemelerin kullanılma nedenleri arasında maliyetlerinin düşük olması, yüksek fiziksel ve mekanik dirençe sahip olmaları sayılabilir. Öğütülmüş fındık kabuğu plastik kompozitlerde dolgu malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Türkiye’de fındık büyük ölçüde üretilmekte ve dünyada ilk sırada yer almaktadır ancak kabukları genellikle evlerde yakılarak ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Bu çalışmada, fındık kabuğu tozu oranının ve 100 °C’de ısıl yaşlandırma süresinin (0, 15 ve 30 gün) yüksek yoğunluklu polietilen kompozitinin mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. İlk olarak fındık kabukları halkalı öğürücüde öğütülmüştür. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında fındık kabuğu tozu yüksek yoğunluklu polietilene eklenerek çift vidalı ekstrüzyon makinesinde karıştırıldı. Daha sonra elde edilen kompozitten enjeksiyon makinesinde çekme, Izod darbe, sertlik ve yoğunluk test numunelere basılarak testler gerçekleştirildi. Yapılan testler sonucunda yüksek yoğunluklu polietilene fındık kabuğu tozunun ilavesiyle elastiklik modülü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, % uzama değeri, yoğunluk, sertlik ve Izod darbe dayanımı değerlerinin azaldığı görüldü. Ayrıca yüksek yoğunluklu polietilen/fındık kabuğu tozu polimer kompozitlerinin mekanik özellikleri (% uzama hariç), ısıl yaşlandırma süresinin (15 ve 30 gün) artmasıyla arttığı görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek yoğunluklu polietilen, fındık kabuğu tozu, mekanik özellikler, ısıl yaşlandırma.

### Abstract

Cellulosic-based natural materials have been widely used as a reinforcement material in plastics for many years. Among the reasons for using these materials are their low cost, high physical and mechanical resistance. Ground hazelnut shells are also used as filling material in plastic composites. Hazelnuts are produced on a large scale in Turkey and are in the first place in the world, but their shells are generally burned in homes and used for heating purposes.

In this study, the effects of additions of hazelnut shell powder content and thermal aging time (0, 15 and 30 days) on the mechanical properties of polyethylene composites were investigated. Nutshell powder, in four different concentrations (5, 10, 15 and 20 wt %) were added to HDPE to produce composites. The tensile, Izod impact, hardness, density tests were conducted on specimens produced by means of injection molding method. It was observed that, increasing the nutshell powder content in HDPE, values for elasticity modulus, yield strength, tensile strength at break, % elongation, density, hardness and Izod impact strength decreased. On the other hand, mechanical properties (except % elongation) of HDPE/nutshell powder polymer composites increased as the thermal aging time increases from 0 days to 30 days.

**Keywords:** High density polyethylene, hazel nutshell, powder, mechanical properties.

## I. GİRİŞ

Doğal lifler çok uzun zamandır polimerlerde takviye malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin ahşap

matrisli kompozitlerde farklı ağaç liflerinin yanı sıra şeker kamışı, mısır koçanı ve saman gibi selüloz atıkları da dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu dolgu maddelerinin diğer dolgu maddelerinden (talk, kalsiyum karbonat vb.) daha çok tercih edilmelerinin sebepleri arasında; ucuz olmaları, hafif olmaları, kolay temin edilmeleri, işlenmelerinin kolaylığı ve korozyona uğramamaları sayılabilir. Bunların dışında sentetik liflerle karşılaştırıldığında, doğal liflerin kullanımı, yenilenebilir yapıları, düşük ısıl iletkenlikleri, toksik olmamaları ve yüksek mekanik özellikleri nedeniyle son yıllarda kullanımı hızla artmaktadır [1-5]. Bir çok avantaja sahip olmalarına karşın dayanımlarının düşük olması, yüksek nem adsorpsiyonuna sahip olmaları ve sınırlı sıcaklıklarda kullanılmaları gibi çeşitli dezavantajları da vardır [3, 6]. Polimerlerde takviye ve dolgu malzemesi olarak kullanılan lignoselülozik malzemeler arasında; pamuk, buğday samanı, pirinç kabuğu, odun hamuru, jüt, kenevir, fındık kabuğu, hindistan cevizi, bamboo lifi, muz lifi ve odun lifi sayılabilir [3, 5, 7, 8].

Fındık kabukları, tarımsal yan ürünler olarak elde edilebilen yenilenebilir lignoselülozik malzemeler arasındadır. Genellikle kompostlar, malçlar, gübreler ve hayvan yemi gibi nispeten düşük değerli uygulamalarda kullanılırlar. Fındık kabuğunun polimerlerde kullanımının nedenleri arasında mineral dolgulara göre daha düşük özgül ağırlıklarının olması, sürdürülebilir olmaları, biyolojik olarak parçalanabilir olmaları ve toksit madde olmamaları sayılabilir. Yani bozduklarında çevre dostu malzemelerdir. Üreticiler ve tüketiciler açısından daha az risk taşır [9]. Türkiye, dünya fındık üretiminin yaklaşık %75'ini karşılayan en büyük üretici konumundadır. Türkiye'de TÜİK verilerine göre 2018 yılı itibarıyla fındık üretim miktarı 515 bin ton'dur. Türkiye ayrıca en büyük fındık ihracatçısıdır ve onu Almanya, İtalya, ABD, Fransa,

mekanik özellikleri (% uzama hariç), ısıl yaşlandırma süresinin (15 ve 30 gün) artmasıyla arttığı görüldü.

plastik kompozitler, otomotiv parçalarında, yer kaplamalarında, çit ve bank yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimer

Kanada, İspanya, Belçika, Polonya ve Hollanda izlemektedir. Türkiye'de yetişen fındık kabuğunun çoğu yakılmakta veya hasattan sonra tarım arazisine bırakılmaktadır [10,11]. Lignoselülozik bir malzeme olan fındık kabuğu %25-30 oranında selüloz ve hemiselülozdan ayrıca %30-40 oranında ise ligninden oluşmaktadır [12]. Kompozitler oluşturmak üzere otomotiv, inşaat ve diğer endüstrilerdeki uygulamalar için termoplastik matrislerle birleştirilebilir [13]. Raj ve arkadaşları [14] yüksek yoğunluklu polietilene, pıkan ceviz kabuğu ve fıstık kabuğu katarak bir polimer kompoziti elde etmişler ve özelliklerini incelemişlerdir.

Yüksek yoğunluklu polietilen, kendine özgü mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı yüksek tonajlı üretimi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Mühendislik polimerlerine kıyasla tokluğunun düşük olması, hava koşullarına dayanımının ve çatlama direncinin düşük olması nedenleriyle birçok alanda uygulaması sınırlandırılmıştır. Bu dezavantajlarını iyileştirmek için HDPE'ye dolgu ve takviye maddeleri katılarak güçlendirilmiştir [15].

Bu çalışmada, fındık kabuğu tozu oranının ve 100 °C'de ısıl yaşlandırma süresinin (0, 15 ve 30 gün) yüksek yoğunluklu polietilen kompozitinin mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında fındık kabuğu tozu yüksek yoğunluklu polietilene eklenerek çift vidalı ekstrüzyon makinesinde karıştırıldı. Daha sonra elde edilen kompozitten enjeksiyon makinesinde çekme, Izod darbe, sertlik ve yoğunluk test numunelere basılarak testler gerçekleştirildi. Yapılan testler sonucunda yüksek yoğunluklu polietilene fındık kabuğu tozunun ilavesiyle elastiklik modülü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, % uzama değeri, yoğunluk, sertlik ve Izod darbe dayanımı değerlerinin azaldığı görüldü. Ayrıca yüksek yoğunluklu polietilen/fındık kabuğu tozu polimer kompozitlerinin

## II. DENEYSEL

**2.1 Kompozisyon ve Malzemeler:** Farklı oranlarda beş grup hazırlandı. Elde edilen polimer kompozitinin karışım oranları Tablo 1'de verilmiştir. Burada kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen, Petilen YY (I 668 UV) ticari adıyla Petkim tarafından üretilen ürün olup; yoğunluğu 0,970 g/

cm<sup>3</sup>, erime akış indisi 5,2 g/10 dak. (190 °C-2,16 kg), akma mukavemeti 28,0 MPa ve çentikli Izod darbe mukavemeti ise 50 J/m'dir. Fındık kabuğu Rize-Türkiye'den temin edilmiştir. Fındık kabuğunun yoğunluğu 0,7240 g/cm<sup>3</sup>'tür.

**Tablo 1.** Polimer Kompozitinin Karışım Oranları

Gruplar	HDPE (%)	Fındık Kabuğu Tozu (%)
1 100 2 95	5	
3	90	10
4	85	15
5	80	20

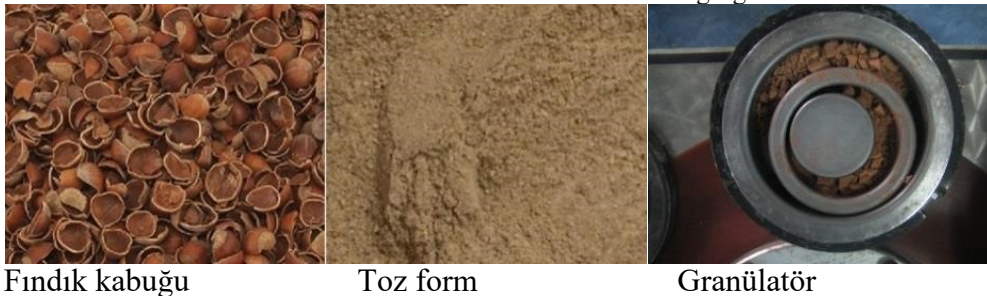
**2.2 Numune Hazırlama:** Fındıkkabukları Siemens simatic C7-621 kontrol sistemi cihazında toz şeklinde partiküller üretmek için kuru olarak öğütüldü. Öğütücü haznesine konulan fındıkkabukları cihazda 15 sn boyunca öğütüldü. Öğütme işlemi sonucunda elek analizi yapılarak fındıkkabuklarının boyutlarının 30 ila 90 mikron arasında olduğu tespit edildi. Bu boyut aralığının kullanılmasında özel bir sebep yoktur. Sadece öğütme işleme süresince yani 15 sn'de alınan toz boyutu aralığıdır. Toz hazırlama yöntemi Şekil 1'de verilmiştir. Fındıkkabuğu tozları, HDPE ile

**2.3. Karakterizasyon:** Her grup için beş adet numune test edildi ve beş ölçümün ortalamaları rapor edildi. Çekme testleri ASTM D638 standardına göre yapılmıştır. Çekme deneyi 50 mm/dak çekme hızında ve 10 kN yük kapasitesine sahip bir Zwick Z010 (Almanya) marka test cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Elastiklik modülü, akma mukavemeti, kopma mukavemeti ve % uzama değerleri, bu test yönteminden elde edildi. Sertlik testi, Zwick sertlik ölçüm cihazı ile ASTM D2240 yöntemine göre yapılmıştır. Darbe davranışını incelemek için Zwick B5113 darbe test cihazı ile ASTM D256 yöntemine göre oda sıcaklığında Izod darbe testi (çentikli) yapılmıştır. Yoğunluk tayini, ISO 2781 test standardına göre yapılmıştır. Kompozitlerin kırık yüzeyleri, Polaron SC 7620 (Gala Instrumente GmbH, Almanya) cihazı ile elektriksel yüklenmeyi önlemek için altın (Au) (%80)/paladyum (Pd) (%20) alaşımı ile yaklaşık 10 nm kalınlığında kaplandı. Hazırlanan numunelerin mikro yapıları, 20 kV voltaj altında JEOL-JSM 5910 LV (JEOL Ltd., Japonya) taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelendi.

karıştırılmadan önce Yamato ADP-31 (Yamato – VWR Scientific Products, Japonya) marka vakumlu bir fırında 105 °C'de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan tozlar ve HDPE granülleri LB-5601 (The Patterson-Kelley Co. Inc. ABD) marka katı karıştırıcısında 15 dakika süreyle karıştırıldı. Burada HDPE'nin ortalama granül boyutları ise çap: 2mm ve boy: 2mm'dir. Daha sonra Mikrosan (Mikrosan A.Ş. Türkiye) marka çift vidalı ekstrüder ile çeşitli oranlardaki HDPE/fındıkkabuğu polimer kompozitleri 25-30 bar basınçta ve 25 dev/dak dönüş hızında 190-220 °C arasındaki sıcaklıklarda eritilerek karışımları gerçekleştirildi. Polimer kompozitleri ekstrüzyondan sonra vakumlu fırında 80 °C'de 24 saat kurutuldu. Daha sonra, test numuneleri enjeksiyon sıcaklığı 190–220 °C, enjeksiyon basıncı 800– 1000 bar ve vida dönme hızı 25 dev/dak olan bir enjeksiyon kalıplama makinesinde basıldı. Isıl yaşlandırma Devotrans marka bir fırında ısıl yaşlandırma süresi 15 ve 30 gün ve ısıl yaşlandırma sıcaklığı ise 100 °C altında yapıldı. Literatürde incelendiğinde bu sıcaklık ve zaman içerinde ısıl yaşlandırma yapıldığına dair çalışmalar mevcuttur[16]. Bu değerlerin yüksek seçilmemesinin sebepleri arasında fındıkkabuklarının yüksek sıcaklıklarda ve sürelerde yanmamasını sağlamaktır.

### III. BULGULAR ve TARTIŞMA

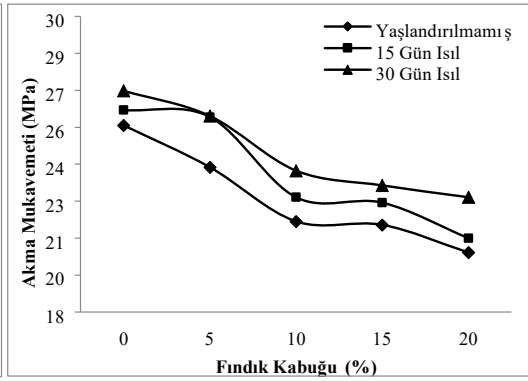
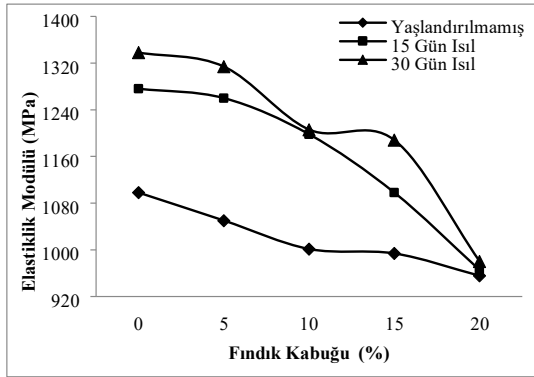
**3.1 HDPE/Fındık Kabuğu Tozu Polimer Kompozitinin Mekanik Özellikleri:** HDPE kompozitinde fındık kabuğu tozunun oranının ve ısıl yaşlandırma süresinin artışıyla elastiklik modül değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren grafik Şekil 2-A'da verilmiştir. HDPE polimerine fındık kabuğu tozlarının ilavesiyle kompozitin elastiklik modülünün azaldığı görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi dört farklı numunenin elastiklik modülü (ısıl yaşlandırma olmadan ağırlıkça % 5, 10, 15 ve 20 fındık kabuğu tozu katkılı) sırasıyla 1050, 1001, 994 ve 956 MPa olarak ölçülmüştür. Saf HDPE'nin elastiklik modül değeri ise 1099 MPa'dır. Saf HDPE'nin elastiklik modül değerini %20 fındık kabuğu tozu ilaveli grup ile karşılaştırdığımızda elastiklik modül değerinin %13 oranında azaldığı anlaşılmaktadır. 15 günlük ısıl yaşlandırma uygulanmış gruplarda elastiklik modül değerlerinin (fındık kabuğu tozu oranı %5, 10, 15 ve 20) sırasıyla 1260, 1198, 1098 ve 965 MPa olduğu ve saf HDPE'nin elastiklik modül değerinin ise 1276 MPa olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin elastiklik



Fındık kabuğu

Toz form

Granülatör



modül değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile karşılaştırdığımızda elastiklik modül değerinin %24 oranında azaldığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, 30 günlük ısıl yaşlandırmaya uygulanmış kompozitin elastiklik modül değerlerinin (fındık kabuğu tozu oranı %5, 10, 15 ve 20) sırasıyla 1314, 1206, 1188 ve 980 MPa olduğu ve saf HDPE'nin elastiklik modül değerinin ise 1338 MPa olduğu grafikte görülmektedir. Burada da saf HDPE'nin elastiklik modül değerini %20 fındık kabuğu tozu ilaveli grubun değeri ile karşılaştırdığımızda elastiklik modül değerinin %27 oranında azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak, ısıl yaşlandırma süresinin artmasıyla (15'den 30 güne çıkması) HDPE/fındık kabuğu tozu polimer kompozitlerinin elastiklik modül değerlerinin de arttığı görülmüştür. Ayrıca en yüksek elastiklik modül değerinin ise 1. Grup'ta olduğu (100 °C-30 gün) görülmektedir. Lignoselülozik bazlı olan fındık kabuğunun kullanım oranı arttıkça plastik oranı azalmakta bu durumda ise elastiklik modül değerlerinde düşüşe neden olduğu görülmektedir. Akbaş ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada değişik oranlardaki fındık kabuklarını polipropilen içerisine katarak bir polimer kompoziti üretmişlerdir. Elde ettikleri polimer kompozitinde fındık kabuğu oranının artmasıyla elastiklik modül değerinde bir düşmenin olduğunu belirlemişlerdir. Bunun da fındık kabuklarının lignoselülozik yapısından kaynaklandığını çalışmalarında rapor etmişlerdir [17].

HDPE kompozitinde fındık kabuğu tozu oranının ve ısıl yaşlandırma süresinin artışıyla akma mukavemeti değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren grafik Şekil 2-B'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi HDPE polimerine fındık kabuğu tozlarının ilavesiyle oluşturulan polimer kompozitinin akma mukavemeti değeri düşmüştür. Örneğin, ısıl yaşlandırma yapılmamış dört farklı polimer kompozit grubunun akma mukavemeti değerleri (%5, 10, 15 ve 20) sırasıyla 23,9 – 21,7 – 21,5 ve 20,4 MPa olarak ölçülmüştür. Saf HDPE'nin akma mukavemeti değeri ise 25,6 MPa'dır. Saf HDPE'nin akma mukavemeti değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile kıyasladığımızda bu değer

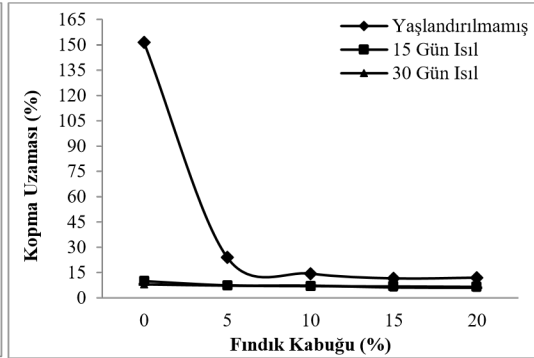
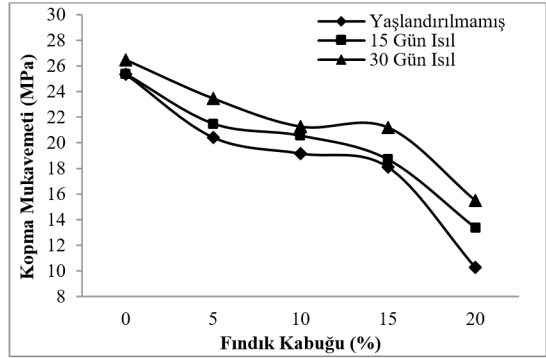
%20 oranında azaldığı görülmektedir. 15 gün ısıl yaşlandırma yapılmış gruplara baktığımızda ise bu değerlerin (%5, 10, 15 ve 20) sırasıyla 25,9 – 22,7 – 22,4 ve 21 MPa olduğu ve saf HDPE'nin akma mukavemeti değerinin ise 26,2 MPa olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin akma mukavemeti değerini % 20 fındık

kabuğu tozu katkılı grup ile kıyasladığımızda bu değer %20 oranında azaldığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan 30 günlük ısıl yaşlandırma yapılmış gruplara baktığımızda ise akma mukavemeti değerlerinin (%5, 10, 15 ve 20) sırasıyla 26 – 23,7 – 23,1 ve 22,7 MPa olduğu ve burada saf HDPE'nin akma mukavemeti değerinin ise 27 MPa olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin akma mukavemeti değerini %20 fındık kabuğu tozu ilaveli grubun değeri ile kıyasladığımızda bu değer %16 azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, HDPE/fındık kabuğu tozu katkılı kompozitlerin akma mukavemeti değerlerinin ısıl yaşlandırma süresinin artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Maksimum akma mukavemeti değerinin ise 1. Grup'ta olduğu (100 °C-30 gün) gözlenmiştir. Akbaş ve arkadaşlarının [17] yapmış oldukları çalışmada değişik oranlardaki fındık kabuklarını polipropilen içerisine katarak elde ettikleri polimer kompozitinde fındık kabuğu oranının artmasıyla çekme mukavemeti değerlerinde değeri bir düşmenin olduğunu belirlemişlerdir. Bunun da fındık kabuklarının lignoselülozik yapısından kaynaklandığını çalışmalarında rapor etmişlerdir. HDPE kompozitinde fındık kabuğu tozunun oranının ve ısıl yaşlandırma süresinin artışıyla kopma mukavemeti değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren grafik Şekil 2-C'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi HDPE polimerine fındık kabuğu tozlarının ilave edilmesiyle kopma mukavemeti değerleri düşmüştür. Örneğin, ısıl yaşlandırma yapılmamış gruplarda kopma mukavemeti değerleri (%5, 10, 15 ve 20 ceviz kabuğu tozuyla) sırasıyla 20,4 – 19,1 – 18,1 ve 10,2 MPa olarak ölçülmüştür. Saf HDPE'nin kopma mukavemeti değeri ise 25,4 MPa'dır. Saf HDPE'nin kopma

mukavemeti değerini %20 fındık kabuğu tozu katkı grup ile kıyasladığımızda bu değer %60 azaldığı tespit edilmiştir.

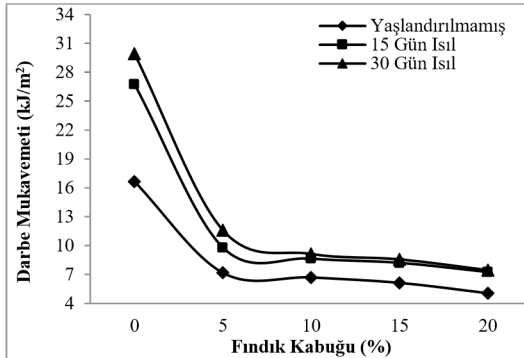
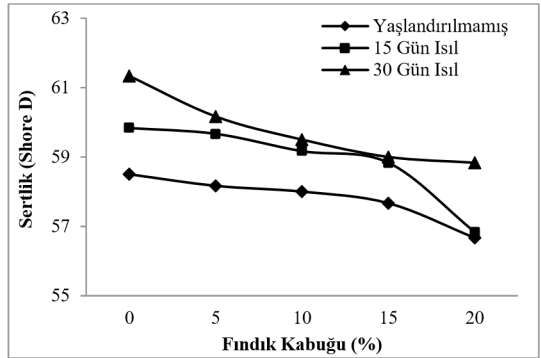
A

B



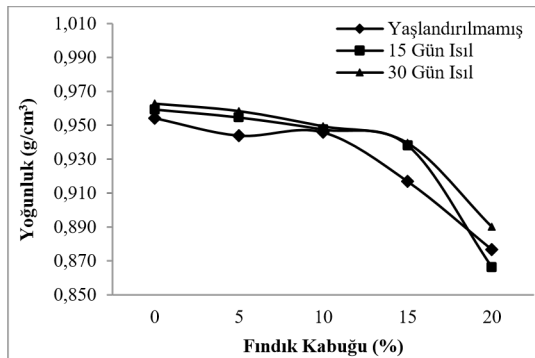
C

D



E

F



G

Şekil 2. HDPE/Fındık Kabuğu Tozu Polimer Kompozitinin Mekanik Özellikleri (100oC'de yaşlandırma)

Mengenoğlu ve Karakuş [18] yapmış oldukları bir çalışmada polimer kompoziti üretmek amacıyla okalıptüs tozu kullanmışlar ve okalıptüs tozunun oranının artmasıyla elde ettikleri polimer kompozitinin kopma mukavemet değerlerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Bu da bizim bulmuş

olduğumuz değerler ile bir paralellik göstermektedir. Tekrar Şekil 2.C'ye dönecek olursak, 15 günlük ısıl yaşlandırma yapılmış polimer kompozitlerinin kopma mukavemet değerlerinin (%5, 10, 15 ve 20) sırasıyla 21,5 – 20,6 – 18,7 ve 13,4 MPa olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin kopma

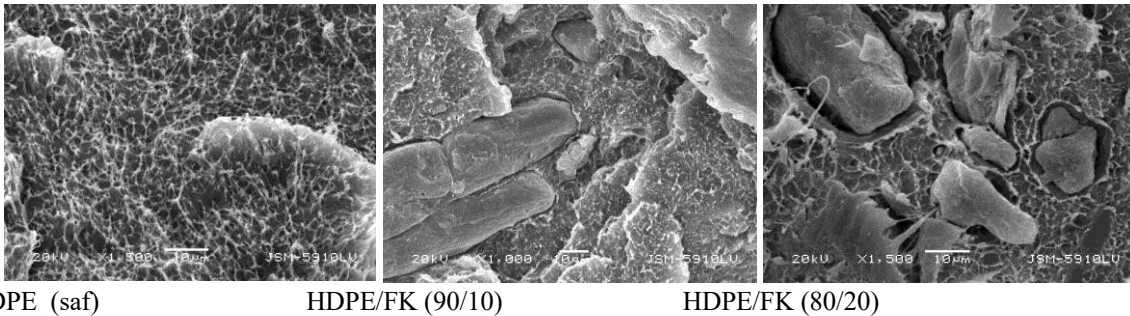
mukavemeti değeri ise 25,6 MPa'dır. Saf HDPE'nin kopma mukavemeti değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile kıyasladığımızda bu değer %47 oranında azaldığı görülmektedir. Diğer yandan 30 günlük ısıl yaşlandırma yapılan grupların kopma mukavemet değerlerine baktığımızda (%5, 10, 15 ve 20) bu değerlerin sırasıyla 23,5 – 21,2 – 21,2 ve 15,5 MPa olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin kopma mukavemeti değeri ise 26,5 MPa'dır. Saf HDPE'nin kopma mukavemeti değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile kıyasladığımızda kopma mukavemet değerinin %42 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak ısıl yaşlandırma süresinin artmasıyla HDPE/fındık kabuğu tozu polimer kompozitlerinin kopma mukavemet değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Maksimum kopma mukavemeti değerinin 1. Grup'ta olduğu (100 °C-30 gün) gözlemlendi. HDPE kompozitinde fındık kabuğu tozunun oranının ve ısıl yaşlandırma süresinin artışıyla % uzama değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren grafik Şekil 2-D'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi HDPE polimerine fındık kabuğu tozlarının ilave edilmesiyle % uzama değerleri düşmüştür. Örneğin, ısıl yaşlandırma yapılmamış gruplarda (%5, 10, 15 ve 20) % uzama değerleri sırasıyla %24 – 14 – 12 ve 11 olarak ölçülmüştür. Saf HDPE'nin % uzama değeri ise 151'dir. Saf HDPE'nin % uzama değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile kıyasladığımızda bu değer %93 oranında azaldığı görülmektedir. 15 gün ısıl yaşlandırma yapılmış gruplara baktığımızda % uzama değerlerinin sırasıyla 7 – 7 – 6,8 ve 6,6 olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin % uzama değeri ise 10'dur. Saf HDPE'nin % uzama değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile kıyasladığımızda bu değer %35 oranında azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan 30 günlük ısıl yaşlandırma yapılmış gruplardaki % uzama değerlerinin sırasıyla 7 – 7 – 5,8 ve 6,2 olduğu görülmektedir. Buradaki saf HDPE'nin % uzama değeri ise 8'dir. Saf HDPE'nin % uzama %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile kıyasladığımızda bu değer %25 oranında azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak, ısıl yaşlandırma süresi çıktıkça HDPE/fındık kabuğu tozu katkılı polimer kompozitinin % uzama değeri azalmıştır. Maksimum % uzama değeri ise 1. Grupta (24 °C-0 gün) gözlemlenmiştir. Bahar Korkmaz ve arkadaşları [19] HDPE polimeri içerisine enginar yaprağını toz haline getirerek bir polimer kompoziti elde etmişler ve enginar toz oranının artmasıyla kompozitin % uzama değerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Zilan Teke ve arkadaşlarının [20] yapmış oldukları bir çalışmada polipropilen içerisine selüloz bazlı portakal kabuğu tozları katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Çalışmada portakal kabuğu tozlarının oranının artmasıyla kompozitin % uzama değerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Başka bir

çalışmada Elif Ulutaş ve arkadaşları [21] geri dönüşümlü polipropilen içerisine pirinç kabuğu ilave ederek bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Elde ettikleri kompozitte pirinç kabuğu tozlarının oranının artmasıyla % uzama değerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Ayberk Aka ve arkadaşlarının [22] yapmış oldukları bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine karbonize edilmiş ve edilmemiş mısır püskülünü toz haline getirip katmışlardır. Elde ettikleri kompozitte mısır püskülü tozlarının oranının artmasıyla % uzama değerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Münir Taşdemir ise yapmış olduğu bir çalışmada polipropilen içerisine selüloz bazlı olan bir yosunu toz haline getirip katmış ve toz miktarının artmasıyla % uzama değerinin düştüğünü belirlemiştir [23]. HDPE kompozitinde fındık kabuğu tozunun oranının ve ısıl yaşlandırma süresinin artışıyla sertlik değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren grafik ise Şekil 2-E'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi HDPE polimerine fındık kabuğu tozlarının ilave edilmesiyle sertlik değerleri düşmüştür. Örneğin Isıl yaşlandırma yapılmamış gruplara baktığımızda (%5, 10, 15 ve 20) sertlik değerlerinin sırasıyla 58,2 – 58 – 57,6 ve 56,6 Shore D olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin sertlik değeri ise 58,5 Shore D'dir. Saf HDPE'nin sertlik değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile karşılaştırdığımızda bu değer %3 azaldığı görülmektedir. 15 günlük ısıl yaşlandırma yapılmış gruplara baktığımızda sertlik değerlerinin sırasıyla 59,7 – 59,1 – 58,8 ve 56,8 Shore D olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin sertliği ise 59,8 Shore D'dir. Saf HDPE'nin sertlik değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile kıyasladığımızda bu değer %5 oranında azaldığı görülmektedir. Diğer yandan 30 günlük ısıl yaşlandırma yapılmış grupların sertlik değerlerine baktığımızda bu değerlerin sırasıyla 60,1 – 59,5 – 59 ve 58,8 Shore D olduğu görülmekte. Saf HDPE'nin sertliği ise 61,3 Shore D'dir. Burada da saf HDPE'nin sertlik değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile kıyasladığımızda bu değer %5 oranında azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak, HDPE/Fındık kabuğu tozu polimer kompozitlerinin sertlik değerleri ısıl yaşlandırma süresinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Maksimum sertlik değeri ise 1. Grup'ta (100 °C-30 gün) gözlemlenmiştir. HDPE kompozitinde fındık kabuğu tozunun oranının ve ısıl yaşlandırma süresinin artışıyla Izod darbe mukavemeti değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren grafik Şekil 2-F'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi HDPE polimerine fındık kabuğu tozlarının ilave edilmesiyle Izod darbe mukavemeti değerleri düşmüştür. Örneğin ısıl yaşlandırma yapılmamış gruplara baktığımızda Izod darbe mukavemeti değerlerinin sırasıyla 7,2 – 6,7 – 6,1 ve 5,1 kJ/m<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin Izod darbe mukavemet değeri ise 16,7

$\text{kJ/m}^2$ 'dir. Saf HDPE'nin Izod darbe mukavemeti değerlerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile karşılaştırdığımızda bu değer %70 oranında azaldığı görülmektedir. Ayberk Aka ve arkadaşlarının [22] yapmış oldukları çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine karbonize edilmiş ve edilmemiş mısır püskülünü toz haline getirip katmışlardır. Elde ettikleri kompozitte mısır püskülü tozlarının oranının artmasıyla Izod darbe mukavemeti değerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Bu çalışmada matris yani HDPE ile fındık kabuğu tozlarının adhezyonunu arttırmak için bir uyumluluk maddesi kullanılmamıştır. 15 gün ısıtma yapılmış grupların Izod darbe mukavemeti değerlerine baktığımızda bu değerlerin sırasıyla 9,8 – 8,7 – 8,2 ve 7,3  $\text{kJ/m}^2$  olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin Izod darbe dayanımı 26,8  $\text{kJ/m}^2$ 'dir. Saf HDPE'nin Izod darbe mukavemeti değerlerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile karşılaştırdığımızda bu değer %73 oranında azaldığı görülmektedir. Diğer yandan 30 günlük ısıtma yapılmış grupların Izod darbe mukavemeti değerlerine baktığımızda bu değerlerin ise sırasıyla 11,6 – 9,1 – 8,6 ve 7,5  $\text{kJ/m}^2$  olduğu görülmektedir. Burada da saf HDPE'nin Izod darbe mukavemeti değerleri ise 29,9  $\text{kJ/m}^2$ 'dir. Saf HDPE'nin Izod darbe mukavemeti değerlerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile karşılaştırdığımızda bu değer %72 oranında azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak, HDPE/fındık kabuğu tozu katkılı polimer kompozitlerin Izod darbe mukavemeti değerleri ısıtma süresinin artışıyla artmıştır. Maksimum Izod darbe mukavemeti değerleri 1. Grup'ta (100 °C-30 gün) gözlemlenmiştir. HDPE kompozitinde fındık kabuğu tozunun oranının ve ısıtma süresinin artışıyla yoğunluk değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren grafik Şekil 2-G'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi HDPE polimerine fındık kabuğu tozlarının ilave edilmesiyle yoğunluk değerleri düşmüştür. Fındık kabuğunun

yoğunluğu  $0,7240 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Kompozitteki fındık kabuğu oranının artması yoğunluk değerlerinin düşmesini sağlamıştır. Örneğin ısıtma yapılmamış gruplara baktığımızda yoğunluk değerlerinin sırasıyla 0,943 – 0,9458 – 0,9169 ve  $0,8664 \text{ g/cm}^3$  olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin yoğunluğu ise  $0,9542 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Saf HDPE'nin yoğunluğunu %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile karşılaştırdığımızda bu değer %9 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 15 gün ısıtma yapılmış grupların yoğunluk değerlerine baktığımızda bu değerlerin sırasıyla 0,9546 – 0,9475 – 0,9382 ve  $0,8767 \text{ g/cm}^3$  olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin yoğunluğu ise  $0,9593 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Saf HDPE'nin yoğunluğunu %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile karşılaştırdığımızda bu değer %9 oranında azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan 30 günlük ısıtma yapılmış grupların yoğunluk değerlerine baktığımızda bu değerlerin sırasıyla 0,9584 – 0,9494 – 0,9396 ve  $0,8901 \text{ g/cm}^3$  olduğu görülmektedir. Saf HDPE'nin yoğunluğu ise  $0,9628 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Saf HDPE'nin yoğunluk değerini %20 fındık kabuğu tozu katkılı grup ile karşılaştırdığımızda bu değer %7,5 oranında azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak, HDPE/fındık kabuğu tozu polimer kompozitlerinin yoğunluk değerleri ısıtma süresinin artışıyla artmıştır. Maksimum yoğunluk değeri 1. Grup'ta (100 °C-30 gün) gözlemlenmiştir.

**3.2 HDPE/Fındık Kabuğu Tozu Polimer Kompozitinin Mikroyapı Özellikleri:** Saf HDPE, HDPE/fındık kabuğu tozu (90/10) ve HDPE/fındık kabuğu tozu (80/20) örneklerinin SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi matris ve fındık kabuğu tozları net olarak gözükmemektedir. Tozların matrise yapışma yeteneği ve homojen olarak dağılması herhangi bir polimer kompozitinin özelliklerini anlamada çok yardımcı olmaktadır. Şekil 3'ten de anlaşılacağı gibi, bazı fındık kabuğu



Şekil 3. HDPE/Fındık Kabuğu Tozu Polimer Kompozitinin mikroyapı fotoğrafları (0 gün – 24oC)

Endüstriyel bir atık olan fındık kabukları, HDPE kompozitlerde potansiyel bir dolgu malzemesi kullanılabilirler. Çünkü kompozitlerin mekanik

özelliklerine etkileri büyüktür. Bu nedenler, farklı fındık matrisli kabuğu oranı ve ısıtma sürelerinin HDPE/fındık olarak kabuğu tozu kompozitlerinin elastiklik modülü, akma

parçacıklarının matrise olan zayıf bağlanmalarından dolayı hafifçe dışarıya doğru çıktıkları görülmektedir. Bazılarının ise HDPE matrisinin içerisine gömülü oldukları görülmektedir. Bazı çalışmalarda yüksek oranlarda dolgu kullanımı ara yüzeyde daha az yapışmanın olduğunu ortaya koymaktadır. Bizim yapmış olduğumuz bu çalışmada herhangi bir arayüzey uyumluluk maddesi kullanılmamıştır. mukavemeti, kopma mukavemeti, % uzama miktarı, Izod darbe dayanımı, yoğunluk, sertlik ve morfolojik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

HDPE/fındık kabuğu toz kompozitlerin elastiklik modülü, akma mukavemeti, kopma mukavemeti, % uzama değeri, Izod darbe dayanımı, yoğunluğu ve sertliği fındık tozunun oranının artmasıyla azalmıştır. Diğer taraftan, HDPE/fındık kabuğu toz polimer kompozitlerinin mekanik özellikleri (% uzama hariç) ısıl yaşlandırma süresinin artmasıyla artışı tespit edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje no: FEN-C-YLP-100719-0252

## KAYNAKLAR

- [1] Eichhorn, S.J., Dufresne, A., Aranguren, M., Marcovich, N.E., Capadona, J.R., and Rowan, S.J., (2010). Review: Current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites *J. Mat. Sci.*, 45(1), 1-33.
- [2] Kızıldağ, A., Nazari, B., Gardner, D.J., and Bousfield, D.W. (2013). Polyamide 6-cellulose composites: Effect of cellulose composition on melt rheology and crystallization behavior, *Polym. Eng. Sci.*, 54(4) 739-746.
- [3] Peng, Y., Liu, R., Cao, J., and Chen, Y. (2014). Effects of UV weathering on surface properties of polypropylene composites reinforced with wood flour, lignin, and cellulose, *Appl. Surf. Sci.* 317, 385-392.
- [4] Ifuku, S., and Yano, H. (2015). Effect of a silane coupling agent on the mechanical properties of a microfibrillated cellulose composite, *Int. J. Biol. Macromol.*, 74, 428-432.
- [5] Zulkifli, N.I., Samat, N., Anuar, H., and Zainuddin, N. (2015). Mechanical properties and failure modes of recycled polypropylene/microcrystalline cellulose composites, *Mater. Des.* 69, 114-123.
- [6] Spoljaric, S., Genovese, A., and Shanks, R.A. (2009). State of the art manufacturing and engineering of nanocellulose: A review of available data and industrial applications, *Compos. Part A-Appl. Sci.* 40 (6-7), 791-799.
- [7] Dönmez, C.A., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F., (2011). Tea mill waste fibers filled thermoplastic composites: the effects of plastic type and fiber loading, *J. Reinf. Plast. Compos.* 30(10), 833-844.
- [8] Dong, C., Davies, I.J., (2012). Flexural properties of macadamia nutshell particle reinforced polyester composites, *Compos. Part B-Eng.* (43), 2751-2756.
- [9] Sutivisedsak, N., Cheng, H.N., Burks, C.S., Johnson, J.A., Siegel, J.P., Civerolo, E.L., Biswas, A., (2012). Use of nutshells as fillers in polymer composites, *J polymer Environ.* 20:305-314.
- [10] Candemir, M., Özcan, M., Günes, M., Deliktaş, E., (2011). Technical efficiency and total factor productivity growth in the hazelnut agricultural sales cooperatives unions in Turkey. *Math. Comp. Appl.*, 16(1), 66-76.
- [11] Copur, Y., Güler, C., Akgül, M., Taşcıoğlu, C., (2007). Some chemical properties of hazelnut husk and its suitability for particleboard production, *Build. Environ.* 42 (7), 2568-2572.
- [12] Idi, A., Mohammad, S.E., (2011). Bioethanol from second generation feedstock (lignocellulose biomass), *Interdiscip. J. Contemp. Res. Bus.* 3(8), 919-935.
- [13] Aziz, S.H., Ansell, M.P., (2004). Green composites, Polymer composites and the environment, woodhead pub. Cambridge, UK, pp 154-180.
- [14] Raj RG., Kokta BV, Nizio JD (1992). Studies on mechanical properties of polyethylene-organic fiber composites. I. Nut shell flour, *J Appl poly sci.* 45 (1):91.
- [15] Yerleşen, U., Taşdemir, M., (2015). Effect of zinc oxide and zinc borate on mechanical properties of high density polyethylene, *Romanian J. of Materials*, 45 (3), 240-243.
- [16] Taşdemir, M., (2021). Effects of thermal aging on physical and wear properties of high-density polyethylene/hazelnut shell polymer composite, *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 33(2): 329336.
- [17] Akbaş, S., Güleç, T., Tufan, M., Taşcıoğlu, C., Peker, H., (2008). Fındık kabuklarının polipropilen kompozit üretiminde değerlendirilmesi, artvin Çoruh Üni. Orman Fakültesi dergisi, cilt:14, sayı:1, sayfa. 50-56.
- [18] Mengenoğlu, F., Karakuş, K., (2008). Thermal degradation, mechanical properties and morphology of wheat straw flour filled recycled thermoplastic composites, *Sensors* 8(1), 500519.
- [19] Korkmaz, B., Özhan, A., Peksanlı, A., Tepeyurt, G.N., Taşdemir, M., (2018). Investigation on physical and mechanical properties of high density polyethylene/artichoke leaf powder polymer composites, *International conference on physical chemistry and functional materials*, Fırat university, Elazığ/Turkey, pp:136-140, june 10-21
- [20] Teke, Z., Sirtıkara, M., Şahin, K.A., Taşdemir, M., (2019). The investigation of the effects of carbonized and uncarbonized orange peel powder on the mechanical properties of polypropylene, *The international conference on materials*



*science, Mechanical and automotive engineering and technology*, 21-23 Jun Kapadokya/Nevşehir/Turkey

- [21] Ulutaş, E., Taşdemir, M., Koçak, E.D., (2019). Investigation of mechanical properties of recycled polypropylene/rice husk polymer composites, *The international conference on materials science, Mechanical and automotive engineering and technology*, 21-23 Jun Kapadokya/Nevşehir/Turkey
- [22] Aka, A., Tekerek, A.Y., Güler, G., Taşdemir, M., (2019). High density polyethylene/uncarbonized and carbonized waste corn husk polymer composites: physical and wear behaviors 35<sup>th</sup> *International conference of the polymer processing society (PPS-35)* 26 – 30 May Radisson blu resort & Spa, Çeşme-İzmir/Turkey
- [23] Taşdemir, M., (2019). Mechanical properties of polypropylene biocomposites with sea weeds, *Nanomaterials science and engineering*, vol 1, no. 1 pp. 22-29