



## Fabrication and characterization of conductive, flexible polymer composites from carbonized pistachio shell wastes

Mukaddes Şevval Çetin<sup>1,2</sup> , Aybüke Sultan Demirel<sup>1,2</sup> , Ozan Toprakçı<sup>1,2</sup> , Hatice Aylin Karahan Toprakçı<sup>1,2\*</sup> 

<sup>1</sup>Department of Polymer Materials Engineering, Faculty of Engineering, Yalova University, 77200 Yalova, Turkey

<sup>2</sup>Yalova University Institute of Graduate Studies, Yalova University, 77200 Yalova, Turkey

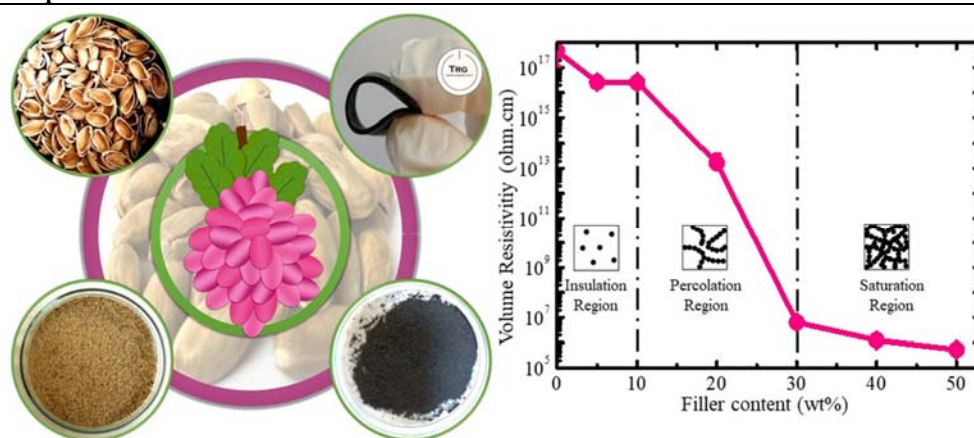
### Highlights:

- Carbonization of the pistachio shell wastes
- Production of the flexible, electrically conductive polymer composites
- Effect of filler ratio on electrical conductivity and mechanical properties of the flexible composites

### Keywords:

- Pistachio shell wastes
- Carbonization
- Thermoplastic elastomers
- Flexible electronics
- Electrically conductive polymer composites

### Graphical/Tabular Abstract



**Figure A.** Flexible, electrically conductive polymer composite production from carbonized pistachio shell wastes

**Purpose:** The main purpose of the study was to carbonize the pistachio shell wastes and fabricate flexible electrically conductive polymer composites from carbonized pistachio shells.

### Theory and Methods:

In order to obtain electrically conductive material pistachio shell wastes were carbonized. Solution casting and compression molding methods were used for fabrication of the composite films. Electrical, morphological, and mechanical properties of the electrically conductive polymer composites were investigated.

### Results:

Percolation region was determined between around 10-30 wt% filler loading. Morphological analysis results showed that the lower ratios of filler dispersed homogenously in the matrix. Both tensile strength and tensile strain values of composites decreased with the addition of the filler material, while elastic modulus of the composites were improved up to 30 wt% loading.

### Conclusion:

In this study sustainable, feasible, flexible, conductive polymer composites were developed. As known, the ratio of the pistachio shell is around 45-50 wt% of the total weight. Average annual production capacity of pistachio is around 60000-70000 tonnes in Turkey. When the average carbonization yield is assumed to be around 27-28 %, annually 16200-18900 tonnes of conductive fillers can be fabricated in Turkey. By this way, shell wastes can be evaluated and high added value fillers can be obtained. This study is of significance for sustainable engineering applications not only pistachio shell wastes are sustainable sources but also process is easy and affordable.

### Article Info:

Research Article  
Received: 12.01.2021  
Accepted: 02.08.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.859140

### Correspondence:

Author: Hatice Aylin  
Karahan Toprakçı  
e-mail:  
aylin.toprakci@yalova.edu.tr  
phone: +90 226 815 5408



## Karbonize edilmiş Antep fıstığı kabuk atıklarından iletken, esnek polimer kompozit üretimi ve karakterizasyonu

Mukaddes Şevval Çetin<sup>1,2</sup>, Aybüke Sultan Demirel<sup>1,2</sup>, Ozan Toprakçı<sup>1,2</sup>, Hatice Aylin Karahan Toprakçı<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü, 77200, Yalova, Türkiye

<sup>2</sup>Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 77200, Yalova, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Antep fıstığı kabuğu atıklarının karbonizasyonu
- Esnek, elektriksel iletken polimer kompozit üretimi
- Dolgu miktarının, kompozitlerin morfolojik, elektriksel ve mekanik özelliklerine etkisi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 12.01.2021

Kabul: 02.08.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.859140

### Anahtar Kelimeler:

Antep fıstığı,  
karbonizasyon,  
termoplastik elastomerler,  
esnek elektronikler,  
elektriksel iletken polimer  
kompozitler

### ÖZ

Bu çalışmada, karbonize edilmiş antep fıstığı kabuğu atığı içeren esnek iletken polimer kompozitler üretilmiştir. Antep fıstığı kabuk atıkları iletken karbon yapısının elde edilmesinde kullanılmıştır. Bu amaçla, karbonize edilmiş antep fıstığı kabuk atıkları ve poli[stiren-b-(etilen-ko-butilen)-b-stiren] matris kullanılarak esnek, iletken kompozitler üretilmiştir. Numuneler önce çözeltiden dökme yöntemine göre hazırlanmış, çözgenin uzaklaştırılmasından sonra sıcak presleme ile homojen film formuna getirilmiştir. Kompozit filmlere, ağırlıkça %5-50 arasında değişen oranlarda dolgu maddesi ilave edilmiştir. Numunelerin hacimsel özdirenç değerleri belirlenmiş ve perkolasyon eğrisi çizilmiştir. Perkolasyon bölgesi %10-30 olarak belirlenmiştir. Elektriksel karakterizasyonun yanında, morfolojik ve mekanik karakterizasyon da gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, hem morfolojik hem de mekanik özelliklerin yüksek dolgu konsantrasyonlarında kötüleştiği görülmüştür.

## Fabrication and characterization of conductive, flexible polymer composites from carbonized pistachio shell wastes

### H I G H L I G H T S

- Carbonization of the pistachio shell wastes
- Production of the flexible, electrically conductive polymer composites
- Effect of filler ratio on morphological, electrical conductivity and mechanical properties of the composites

### Article Info

Research Article

Received: 12.01.2021

Accepted: 02.08.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.859140

### Keywords:

Pistachio shell,  
carbonization,  
thermoplastic elastomers,  
flexible electronics,  
electrically conductive  
polymer composites

### ABSTRACT

In this study, carbonized pistachio shell wastes filled flexible conductive polymer composites were fabricated. Pistachio shell wastes were used to fabricate conductive carbon structure. For this aim, pistachio shell wastes were carbonized and flexible conductive composites were fabricated by using poly[styrene-b-(ethylene-co-butylene)-b-styrene] matrix. Solvent casting and compression molding were used for production of composite films. Composite films were prepared at different filler loading between 5-50 wt%. Volume resistivity of the samples were determined and percolation graph was drawn. Percolation region was determined around 10-30 wt% filler loading. In addition to electrical characterization, morphological and mechanical characterization were also carried out. According to outcomes, at higher filler loading both morphology and mechanical properties became worse.

\*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : sevalcetin1040@gmail.com, aybukem.03@hotmail.com, ozan.toprakci@yalova.edu.tr, \*aylin.toprakci@yalova.edu.tr / Tel: +90 226 815 5408

## 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Esnek elektronikler, elektronik işlev gösteren, hafif, uygulanan kuvvet karşısında deforme olup, bükülebilir, boyut değiştirebilir ve uygulanan kuvvet kaldırıldığında belirli süre sonunda eski haline dönebilir malzemelerdir. Son yıllarda özellikle mobil ve giyilebilir elektroniklere olan ihtiyacın artması ile bu alanda yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır. İletken polimer ve iletken polimer kompozitlerden üretilen, transistörler, sensörler, aktüatörler, piller şu anda yaygın olarak araştırılan ve endüstriyel aşamada olan bazı esnek elektroniklerdendir. Bunlardan iletken kompozitler birçok endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İletken polimer kompozitler elektriksel olarak yalıtkan özellik gösteren polimer matris, elektriksel olarak iletken olan dolgu malzemesinin ilave edilmesi ile elde edilmektedir. Bu elektroniklerden beklenen en önemli özellikler yüksek rezilyans ve çevre koşullarına karşı dayanım göstermeleridir. Bilindiği gibi rezilyans malzemenin deforme olduktan sonra eski haline dönebilme kabiliyetidir [1, 2]. Termoplastik, termoset polimerler ve elastomerler iletken kompozit üretiminde kullanılsa da termoplastik elastomerler göstermiş oldukları yüksek rezilyans sayesinde bu alanda gelecek vaat eden polimerlerdendir. Termoplastik elastomerler (TPE), hem termoplastik hem de elastomer gibi davranan polimerlerdir. Termoplastik faz ve elastomerik faz olmak üzere temelde iki faza sahip olan bu polimerler genellikle blok kopolimer yapısındadır. Yapısında bulunan blokların sert segmentleri termoplastik, yumuşak segmentleri ise elastomerik bir yapıdadır. TPE'ler blokların yapısına göre sınıflandırılmaktadır. Stiren esaslı TPE'ler, hem geleneksel termoplastikler gibi ısıl işleme şekillendirilebilmekte hem de elastomerler gibi yüksek uzama göstermektedir. Bunun yanında farklı blok oranlarında üretilebildikleri için, farklı mekanik özellikler sergilemekte bu yüzden endüstride birçok farklı uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Stiren esaslı polimerlerden poli[stiren-b-(etilen-ko-butilen)-b-stiren] (SEBS) yüksek rezilyans ve çevre koşullarına karşı gösterdiği dayanımdan dolayı esnek elektronikler için önemli bir polimerdir [3, 4]. İletken kompozit üretiminde dolgu malzemesi olarak karbon (nano) lifleri, karbon siyahı, karbon nanotüp, grafen, grafit gibi genellikle karbon esaslı malzemeler veya bakır, alüminyum, çinko, nikel, gibi metal parçacıkları kullanılabilir [1, 2, 5]. Bu malzemelerin yanında düşük maliyet, sürdürülebilirlik, biyoyumlu olma gibi özelliklerinden dolayı karbon içeren tüm polimerik ve biyokütle atıkları karbonize edilerek iletken dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Genellikle azot atmosferinde yakılarak karbon esaslı iletken dolgu malzemesi haline getirilen doğal malzemelerin bazıları şunlardır; kenevir [6], manyok bitkisi kabuğu [7], luffa bitkisi [8, 9], bambu [10] ve ağaç lifleri [11].

Yenilebilir kabuklu bir meyve olan antep fıstığı (*Pistacia vera*), uzunluğu 10 metreye ulaşan antep fıstığı ağaçlarında yetişmektedir [12]. Binlerce yıldır İran, Amerika Birleşik Devletleri, Suriye ve Çin gibi ülkelerde yetiştirildiği bilinen

antep fıstığı Türkiye'de Gaziantep, Şanlıurfa ve Siirt illerinde yetiştirilmektedir [13-15]. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün verilerine göre 2018 yılında antep fıstığı üreten 20 ülkede yaklaşık olarak 1375 kiloton civarında üretim gerçekleşmiştir [16-18]. En yüksek miktarda antep fıstığı üreten ilk 5 ülke şu şekildedir: İran (551 kiloton), Amerika Birleşik Devletleri (447 kiloton), Türkiye (240 kiloton), Çin (74 kiloton) ve Suriye (28 kiloton) [18]. Türkiye 2017 yılında 78 kiloton antep fıstığı üretirken 2018 yılında yaklaşık üç kat daha fazla üretim yapmıştır ve antep fıstığı üretiminde dünya üçüncüsüdür. Antep fıstığı iki dış kabuk, meyve ve meyveyi saran bir iç kabuktan oluşmaktadır. Toplanıp kurutulduktan sonra dış kısmındaki pembemsi kabuk uzaklaştırılmaktadır. Tükettiğimiz antep fıstığı genellikle sert dış kabuk, meyve ve meyveyi saran iç kabuktan oluşmaktadır. İyi bir besin ve yağ kaynağı olan, meyvesi çoğunlukla kuruyemiş olarak, dondurmalarda, tatlılarda, şekerlerde, atıştırmalıklarda ve yemeklerde lezzet vermesi için tüketilen antep fıstığının üretim süreci sürdürülebilir ve ekonomik olması açısından önemlidir [19, 20].

Sürdürülebilirlik bilindiği gibi, var olanı devam ettirebilme sürecidir. Antep fıstığının sürdürülebilirlik kapsamına sadece üretimi değil, tüketim sonunda atıkların değerlendirilmesi de dahil edilmelidir. Ekonomik açıdan önemli bir zirai ürün olan antep fıstığının meyvesi tüketilmekte kabukları ise kalmaktadır. Her ne kadar biyobozunur bir atık olsa da yakılıp enerji eldesi dışında başka ürünlerin üretilmesi amacıyla kullanılması önemli bir getiri kaynağı olabilecektir. Bu yüzden ağırlıkça %42-47 selüloz, % 25-27 hemiselüloz, % 13-14 lignin ve % 6 diğer maddelerden (vaks, kül, ekstrakte edilebilir maddeler vb.) oluşan ve antep fıstığının % 45-50'sini oluşturan sert dış kabuğun [21] değerlendirilmesi de sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Literatür incelendiğinde antep fıstığının sert dış kabuğunun polimer kompozit üretiminde veya aktif karbon formunda farklı uygulamalar için kullanıldığı görülmektedir.

Antep fıstığının kabuk atıklarından yapılan kompozitlerde hem termoplastik hem de termoset polimerler kullanılmıştır. Termoplastik polimer olarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) [22, 23], termoset olarak da doymamış polyester [19] ve epoksi reçineler [24] kullanılmıştır. Balasundar ve arkadaşları antep fıstığı kabuğu tozunun biyodolgu olarak biyokompozitlerde olası kullanım alanlarını araştırmıştır. Bu amaçla antep fıstığı kabuğu tozunun morfolojik, elementel, ısıl ve yüzey analizi gerçekleştirilmiştir. Çevre dostu ürünlerde dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [25]. Alsaadi ve arkadaşlarının çalışmasında antep fıstığı kabukları öğütülerek 5µm'den daha küçük boyuta sahip parçacıklar elde edilmiş ve polyester matris ağırlıkça % 5-25 oranlarında karıştırılmış, kompozitlerin morfolojik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Morfolojik analiz sonucunda ağırlıkça % 10 konsantrasyonun üzerine çıkıldığında aglomeratların oluştuğu bildirilmiştir. Kompozitlerin kopma mukavemetinin de ağırlıkça % 10

dolgu miktarından sonra düştüğü rapor edilmiştir. [19]. Al-Obaid ve arkadaşlarının çalışmasında ise üç farklı parçacık boyutunda antep fıstığı kabuğu ve epoksi reçineden kompozitler üretilmiş ve mekanik özellikler incelenmiştir. % 5-15 antep fıstığı içeren kompozitlerin mekanik özelliklerinin birbirinden farklı olduğu bulunmuş ve en yüksek kopma mukavemeti değerine parçacık boyutu en düşük olan antep fıstığı kabuğu tozunun ağırlıkça % 5 oranında ulaşılmıştır [24]. Abedeni ve ekibi YYPE, antep fıstığı kabuğu tozu, nanokil ve farklı UV stabilizatörleri ile kompozitler hazırlamış ve bunların mekanik ve yaşlanma özelliklerini incelemişlerdir. Antep fıstığı kabuğu tozu, nanokil içeren YYPE kompozitlerin su emme direncinin arttığı bildirilmiştir [23]. Aynı ekibin yaptığı bir diğer çalışmada ise, antep fıstığı kabuğu içeren YYPE kompozitlere nanokil ekleyerek malzemelerin dış koşullara dayanımının artırıldığı bildirilmiştir [22].

Antep fıstığı kullanılarak elde edilen aktif karbon ile yapılan çalışmalara bakıldığında ise, moleküler elek [26], elektrokemilüminesans [27] enerji depolama [28, 29] adsorbsiyon [30] ve su arıtma [31, 32] uygulamaları karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmaların birçoğunda karbonize edilen antep fıstığı kabukları aktive edilmiş ve bazı durumlarda fonksiyonelleştirilmiştir. Özetlemek gerekirse literatürde karbonize antep fıstığı kabuğunun polimer kompozitlerde kullanımına ve dolayısıyla elektriksel özelliklerinin incelenmesine rastlanmamıştır.

Bu çalışmada doğal ve sürdürülebilir malzemelerden biri olan ve Gaziantep yöresine ait antep fıstığı kabuk atıkları karbonize edilerek elektriksel iletkenlik gösteren dolgu malzemesi elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen karbon esaslı dolgu malzemesi, poli[stiren-b-(etilen-ko-butilen)-b-stiren] matrisine eklenerek esnek ve elektriksel olarak iletken polimer kompozitler literatürde ilk kez üretilmiştir. Numuneler önce çözeltiden dökme yöntemine göre hazırlanmış, çözgenin uzaklaştırılmasından sonra sıcak presleme ile homojen film formuna getirilmiştir. Üretilen kompozitlerin morfolojik, elektriksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

## 2.MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Malzemeler (Materials)

Çalışmada 19/81 stiren/etilen-bütülen oranına sahip poli[stiren-b-(etilen-ko-bütülen)-b-stiren] (SEBS) termoplastik elastomeri matris olarak kullanılmıştır (Kraton, G1643). Malzemenin 200°C ve 5 kg yük altındaki eriyik akış

indeksi 75 g/10 dk'dır. Toluen çözgen olarak kullanılmıştır (Merck, CAS No: 108-88-3). Gaziantep yöresine ait antep fıstıkları Yalova'da bulunan yerel bir marketten satın alınmıştır.

### 2.1.1. Antep fıstığı kabuklarının karbonizasyon için hazırlanması

(Preparation of pistachio shells for carbonization)

İlk olarak antep fıstıkları dış kabuklarından ayrılarak iç meyvesi çıkarılmıştır. Meyve/kabuk oranı ağırlıkça yaklaşık olarak 55/45 olarak belirlenmiştir. Fıstıkların kabuklarının uzunluk ve genişlikleri OEM KMP150 dijital kumpas kullanılarak ölçülmüştür. Ortalama uzunluk 18,67 mm, ortalama genişlik 9,75 mm'dir. Kabukların ortalama uzunluk/genişlik oranı 1,90 olarak bulunmuştur. Yıkama adımında 100 g antep fıstığına 800 mL saf su eklenmiş ve 10 dakika boyunca ultrasonik karıştırıcıda (Wisd, WUC-A03H) bırakılmıştır. Eklenen saf suyun rengi berraklaşana kadar su değiştirilmiş, yıkama işlemine devam edilmiş ve bunun sonunda antep fıstığı kabukları süzülümüştür. Fazla suyu süzülen kabuklar bez yardımıyla kurutulmuş ve tartılmıştır. Kalan suyun uzaklaşması için kabuklar 45°C'de etüvde 6 saat boyunca kurutulmuştur. Bunun ardından 80 °C'de vakum etüvünde (Wisd, WOV-20) 12 saat tutulmuştur. 6-10. saatler arasında ağırlığı ölçülmüştür. 10. saatte ağırlık değişimi gözlenmemiş ve numuneler 12. saat sonunda etüvden çıkarılmıştır. Nemi uzaklaştırılan kabuklar öğütücüde (LAVION Hububat Öğütücü HC-100) 12 kez 10'ar saniye boyunca öğütülmüştür (Öğütücünün aşırı ısınmasından dolayı işlem kesikli bir şekilde yapılmıştır.) ve ardından Şekil 1'deki gibi karbonizasyona hazır hale getirilmiştir.

### 2.1.2. Antep fıstığı kabuklarının karbonizasyonu ve yapısal analizi

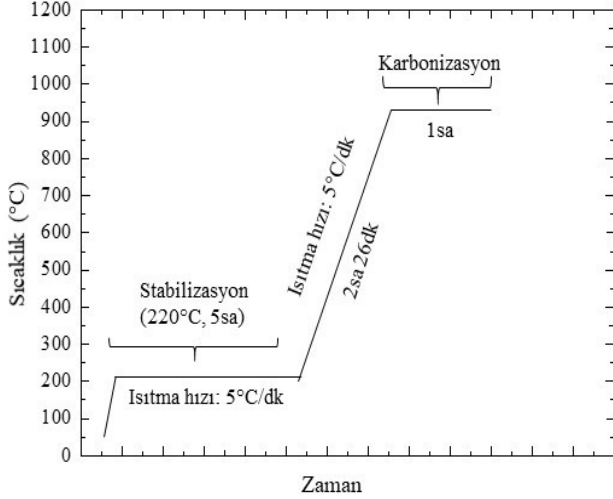
(Carbonization of pistachio shells and structural analysis)

Antep fıstığı kabuklarının karbonizasyon işlemi stabilizasyon ve karbonizasyon olmak üzere iki adımda tüp fırın (MTI, OTF-1200X) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Stabilizasyon adımı 25°C 'den başlamıştır ve sıcaklık 220°C ye ulaşana kadar 5°C /dk ile artırılmıştır. Numunenin stabilizasyon adımı 220°C 'de 5 saat bekletilmesi ile tamamlanmıştır. Kabuklar bu adımın ardından 900°C 'de 60 dakika boyunca azot atmosferi altında ısıtılma maruz bırakılmış ve karbonize edilmiş antep fıstığı kabuğu (KAFK) elde edilmiştir (Şekil 2). Karbon verimi % 27,6 olarak hesaplanmıştır. Karbonizasyon adımından sonra havan kullanılarak öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Homojen bir



Şekil 1. Antep fıstığı kabuk atıklarının karbonizasyona hazırlanması (Preparation of the pistachio shell wastes for carbonization)

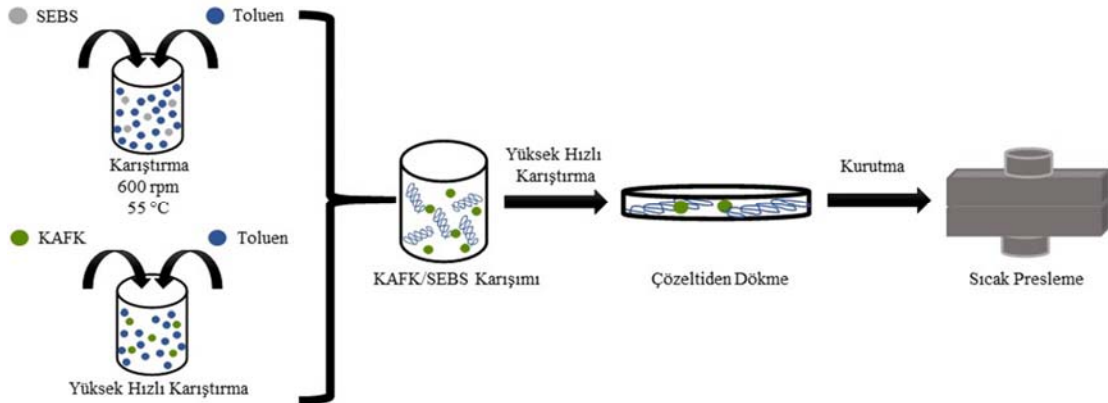
malzeme elde etmek için her seferinde havanın içine 1 g numune koyulmuş ve 5 dakika boyunca Şekil 3’de gösterildiği gibi öğütülmüştür. Öğütme işleminin ardından KAFK, 25 mesh olan elek kullanılarak elenmiş ve eleğin altında kalan malzeme kullanılmıştır. KAFK’ın ve kompozitin yapısal karakterizasyonu için X-ışını kırınımı (XRD) analizi yapılmıştır. Ölçümler Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı’nda 5-80° aralığında 2°C /dk hızında 0,013° çözünürlükte Panalytical Empyrian cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Antep fıstığı kabuklarının karbonizasyon işlemi (Carbonization process of the pistachio shell wastes)



Şekil 3. Antep fıstığı kabuklarının karbonizasyon öncesi ve sonrasındaki görünüşleri (The digital images of the pistachio shell wastes before/after carbonization)



Şekil 4. KAFK/SEBS kompozitlerinin üretim aşamaları (Fabrication steps of KAFK/SEBS composites)

### 2.1.3. Kompozit filmlerin üretimi (Fabrication of the composite films)

Elektriksel iletken kompozitlerin hazırlanma aşaması beş adımdan oluşmaktadır (Şekil 4). İlk adımda 1:4 oranındaki SEBS/toluen çözeltisi 55°C’de homojen, şeffaf çözelti elde edilene kadar manyetik karıştırıcıda (Wisd, MSH-20A, Daihan) 600 rpm’de karıştırılmıştır. İkinci adımda dolgu malzemesine çözen eklenerek yüksek kayma hızına sahip karıştırıcı (Kurabo, Mazerustar-KK250) ile karıştırılmıştır. Üçüncü adımda elde edilen dolgu malzemesi/çözen karışımına polimer çözeltisi eklenerek tekrar karıştırılmıştır. Daha sonra elde edilen karışım, petri kabına dökülerek etüvde 12 saat boyunca 40°C’de çözenin uzaklaştırılması için bırakılmıştır. Son adımda ise kompozitler sıcak presleme yöntemi ile homojen bir film haline getirilmiştir. Teflon kaplı metal tabakalar arasında yerleştirilen kompozitler 180°C’de 4 MPa’da 10 saniye ardından 2 MPa’da 15 saniye ve basınçsız olarak 3 dakika boyunca preslenmiştir. Üç aşamada gerçekleştirilen sıcak presleme işlemini takiben kompozitler 2 dakika boyunca soğuk mermer plakaların arasında soğutulmuştur. Üretilen kompozitlerin dolgu konsantrasyonu ağırlıkça % 0, 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 olarak belirlenmiştir (Tablo 1).

### 2.2. Malzemelerin karakterizasyonu (Characterization of the materials)

Antep fıstığı kabuk atıklarının % karbon verimi şu şekilde hesaplanmıştır (Eş. 1):

**Tablo 1.** Kompozit filmlerin bileşimi, kalınlığı, hacimsel öz direnç ve standart sapma (SS) değerleri  
(Composition, thickness, volume resistivity and standart deviation values of the composite films)

Numune Kodu	KAFK Miktarı (ağırlıkça %)	Polimer Miktarı (ağırlıkça %)	Hacimsel Öz direnç (ohm.cm)/SS	Normalize Edilmiş Öz direnç ( $\rho_0/\rho$ )
KAFK-0	0	100	4,64E+17/3,52E+17	1
KAFK-5	5	95	2,67E+16/5,80E+15	1,74E+1
KAFK-10	10	90	2,57E+16/1,05E+16	1,81E+1
KAFK-20	20	80	1,66E+13/2,02E+13	2,80E+4
KAFK-30	30	70	6,36E+06/3,42E+05	7,30E+10
KAFK-40	40	60	1,25E+06/1,64E+04	3,71E+11
KAFK-50	50	50	5,28E+05/5,83E+03	8,78E+11

$$\% \text{ Karbon verimi} = (A_2/A_1) * 100 \quad (1)$$

$A_1$ : Öğütülmüş antep fıstığı kabuklarının ağırlığı ve  $A_2$ : Karbonize antep fıstığı kabuğunun ağırlığı.

KAFK dolgusunun parçacık boyutu için ışık mikroskobu (Amscope, B120C-E1) kullanılmıştır. Kompozitlerin morfolojik analizi alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ile 30 kV hızlandırma voltajı altında yapılmıştır. Analiz öncesinde kompozitler Au/Pd alaşımı ile 3-6 nm kaplanmıştır. Kompozit filmlerin kalınlıkları dijital kalınlık ölçer (Asimeto) kullanılarak ölçülmüştür ve tüm numuneler için ortalama kalınlık değeri 0,8-1 mm arasında bulunmuştur. Numunelerin hacimsel öz direnci ASTM D257 standardı göz önünde bulundurularak elektrometre (Keithley 6517B) ve test kiti (Keithley 8009) kullanılarak ölçülmüştür. Perkolasyon davranışının daha kolay bir şekilde anlaşılabilmesi için, normalize edilmiş hacimsel öz direnç değerleri hesaplanmıştır. Bunun için katkı içermeyen SEBS filmin öz direnç değeri ( $\rho_0$ ) numunenin öz direnç değerine bölünmüştür ( $\rho_0/\rho$ ). Normalize edilmiş öz direnç değerinin artması öz direncin azaldığını, iletkenliğin artmasını göstermektedir.

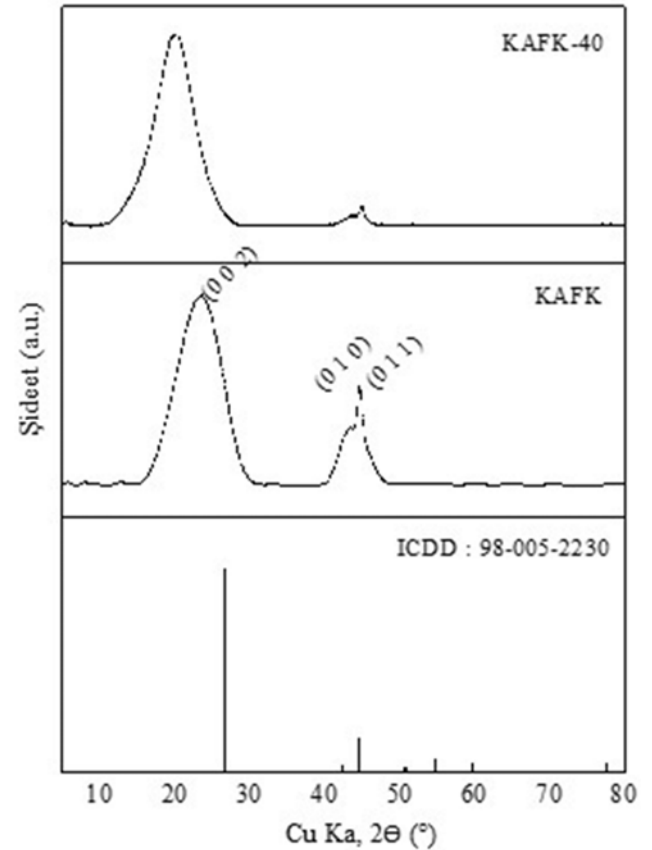
Numunelerin mekanik analizi için universal çekme cihazı (Devotrans, DVT GPU/RD) kullanılmıştır. Test hızı 100 mm/dk olarak belirlenmiştir ve numuneler 15 mm x 5 mm (uzunluk x genişlik) boyutlarında kesilmiştir. Ortalama kalınlığın belirlenmesi için numunenin 10 farklı bölgesinden dijital kalınlık ölçer kullanılarak ölçüm alınmıştır. Her bir numune için 3 test yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Mikroyapısal ve morfolojik analiz (Microstructural and morphological analysis)

KAFK ve kompozitin mikroyapısının karakterizasyonu için XRD analizi kullanılmıştır. Şekil 5'te KAFK ve KAFK-40 ve numunelerine ait XRD desenleri görülmektedir. Referans olarak ICDD numarası 98-005-2230'a ait desen kullanılmıştır [33]. Şekil 5'deki KAFK'ye ait desen incelendiğinde, sırasıyla (0 0 2), (0 1 0) ve (0 1 1) nanografitik kristal düzlemlerine ait 23,8°, 43,6° ve 45,4° de üç adet geniş pikler gözlenmektedir. (0 0 2) düzlemindeki pik KAFK-40'da daha düşük 2 $\theta$  açılara (~20°) kaymıştır.

(0 0 2) düzleminin, düzlemler arası boşluğunu ( $d_{002}$ ) hesaplamak için Bragg denklemi kullanılmıştır. Buna göre, KAFK için  $d_{002}$  değeri yaklaşık olarak 0.377 nm bulunmuştur. Bu değer grafit için literatürde verilen  $d_{002}$  değerinden (0.3354 nm) daha yüksek bir değerdir. Bu da KAFK mikroyapısının psödo-grafitik bir yapıda olduğunu göstermektedir [34, 35].



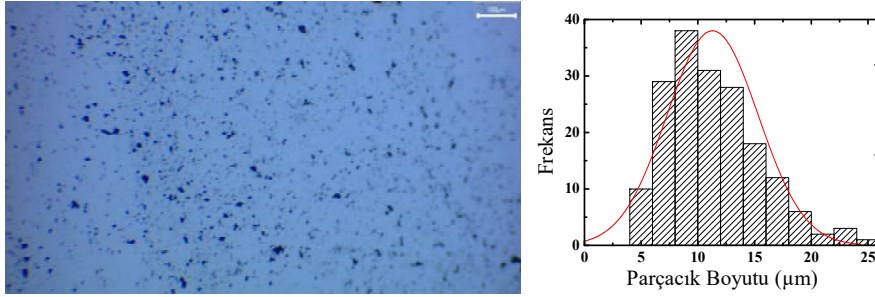
**Şekil 5.** KAFK-40, KAFK ve referans numunelerinin XRD analizi (XRD analysis of KAFK-40, KAFK and reference samples)

Ortalama parçacık boyutu, ışık mikroskobu ile ölçülmüştür. Ölçümden önce 0,1 g KAFK dolgusuna 3 g toluen ilave edilmiş, şişe içinde 3 dk ultrasonik karıştırıcıda bekletilmiştir. Homojen bir şekilde dağılan karışımdan 3-4 damla alınmış ve boyut analizi yapılmıştır. Her bir parçacığın dikey ve yatay uzunluklarının ölçümü toplanmış,

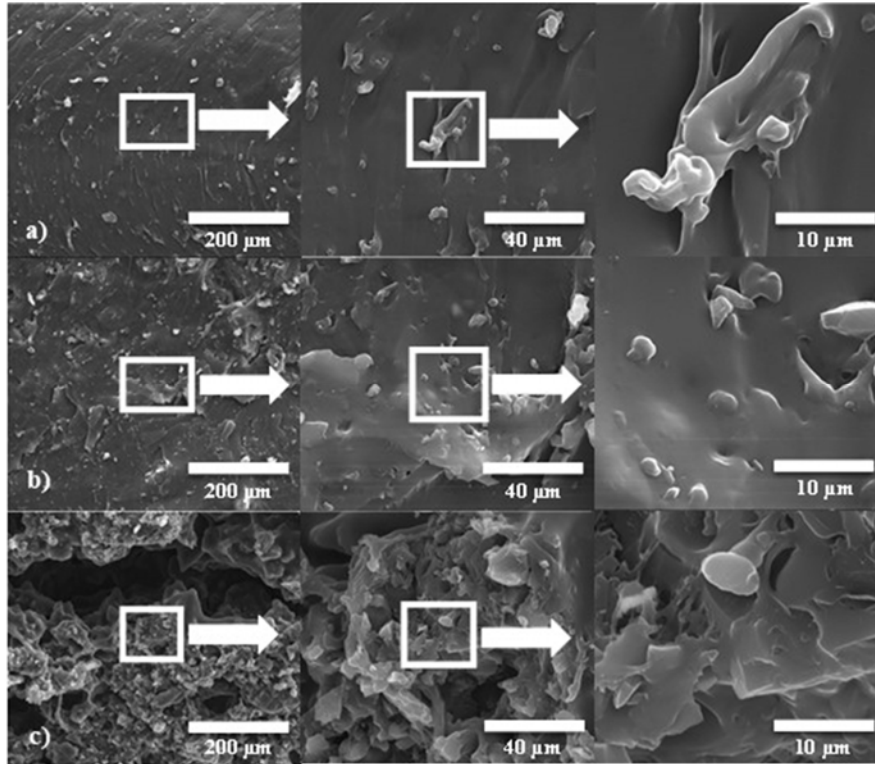
ikiye bölünmüş ve bir parçacığın ortalama boyutu belirlenmiştir. Işık mikroskobundan elde edilen görüntüleri göre, KAFK'nın ortalama parçacık boyutu yaklaşık 12-13  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Şekil 6'da hem ışık mikroskobunun görüntüsü hem de bu görüntünün parçacık dağılım histogramı verilmiştir. Histogramdan da açık bir şekilde görüldüğü gibi, parçacık boyutu ağırlıklı olarak 5-25  $\mu\text{m}$  arasındadır.

Kompozitlerin morfolojik özelliklerini incelemek amacıyla KAFK-5, KAFK-20 ve KAFK-50 numunelerinin enine kesitleri kullanılmıştır. Bu numunelerin FESEM görüntüleri Şekil 7'de verilmektedir. Morfolojik analizde, dolgunun SEBS içindeki dağılımı, oryantasyonu, dolgu maddesi ile polimer ara yüzey özellikleri, polimer matrisin morfolojisi ve iletken ağın oluşumu incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı iletken kompozit üretimi olduğu için, yalıtkan

bölgeden, perkolasyon bölgesinden ve doyma bölgesinden numuneler seçilmiştir. Çözeltiden dökme yönteminden sonra, numuneler kurutulmuş ve sıcak presle film haline getirilmiştir. Verilen işlem koşulları (180°C 'de 4 MPa'da 10 saniye ardından 2 MPa'da 15 saniye ve basınçsız olarak 3 dakika) altında polimer tamamen erimiş ve düzgün bir film elde edilmiştir. Şekil 7a-c'de verilen kompozit görüntülerinde koyu gri-siyah olarak görünen kısım polimer, beyaz açık renkli ve polimer matrisin çıkıntılar şeklinde görünen geometrik şekiller de KAFK dolgusudur. 10  $\mu\text{m}$  skala ile gösterilen görüntülerde KAFK dolgular, çember içinde gösterilmiştir. KAFK dolgusunun matris içinde dağılımı konsantrasyona bağlı olarak değişmiştir. Düşük KAFK konsantrasyonunda (% 5 KAFK) dolgular matris içinde birbirinden uzak ve homojen bir şekilde, belirli bir oryantasyon olmadan dağılmışlardır. % 20 KAFK konsantrasyonunda ise, dolgular birbirine yaklaşmış ve



Şekil 6. KAFK parçacıklarının parçacık boyut dağılım histogramı, skala 100  $\mu\text{m}$   
(Particle size distribution histogram of the KAFK particles, scale 100  $\mu\text{m}$ )



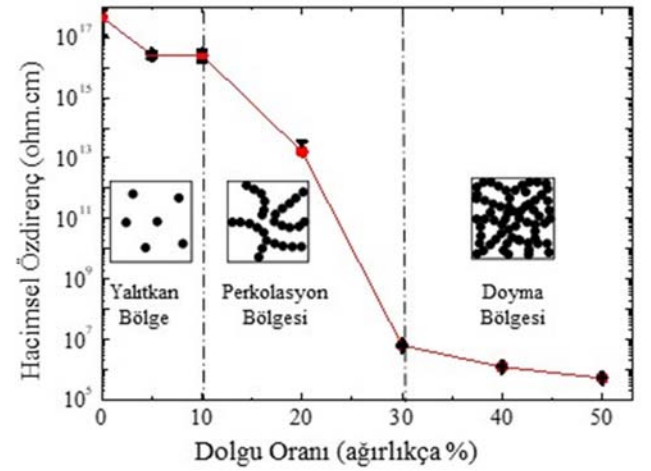
Şekil 7. a) KAFK-5, b) KAFK-20 ve c) KAFK-50 filmlerinin alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu görüntüleri  
(Field emission scanning electron microscopy images of KAFK-5, KAFK-20 ve KAFK-50 films).

homojen bir şekilde dağılım göstermiştir. % 50 KAFK konsantrasyonunda ise, aglomeratlar ve gözenekler oluşmuştur. Dolgu miktarının artması ile bu faza ait toplam yüzey alanı artmakta dolayısıyla dolgu tarafından absorbe edilen çözgen miktarı artmaktadır. Kurutma sırasında, dolgu-polimer arayüzeyinden ayrılan çözgen miktarı arttığı için buharlaşan çözgen daha fazla hacim kaplamaktadır. Buharlaşma sırasında bölgesel gaz basıncının artması ile gözenekli bir morfoloji oluşmuştur. Bu gözeneklere rağmen, iletken ağ oluşumu gerçekleşmiştir (Şekil 7c).

### 3.2. Elektriksel analiz (Electrical analysis)

Kompozitlerin elektriksel özelliklerini ve perkolasyon davranışını belirlemek amacıyla hacimsel öz direnç değerleri dolgu madde miktarına bağlı olarak incelenmiştir. Bilindiği gibi, konjüge çift bağ içeren iletken polimerler dışındaki polimerler elektriksel olarak yalıtkan malzemelerdir. Polimerlerin elektriksel açıdan iletken hale getirilmeleri için, iletken bir fazla karıştırılmaları ve polimer matrisin içinde iletken bir ağı oluşturulması gerekmektedir. Bu ağ yapısı da iletken dolgu malzemeleri veya konjüge çift bağ içeren iletken bir polimerle karıştırılmaları sonucu elde edilmektedir. Kullanılan polimer ile iletken malzemenin özelliklerine, konsantrasyonuna ve proses koşullarına göre kompozitin öz direnç/iletkenlik değerleri değişebilmektedir. Genellikle iletken fazın artması ile öz direnç düşmekte, iletkenlik artmaktadır [1, 2, 36]. Perkolasyon teorisine göre, iletken polimer kompozit eldesinde üç temel bölge karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgeler yalıtkan bölge, perkolasyon bölgesi ve doyma (saturasyon) bölgesi olarak adlandırılmaktadır (Şekil 8). Yalıtkan bölgede iletken faz, ağ oluşturamadığından öz direnç değerlerinde önemli bir değişim olmamaktadır. Perkolasyon bölgesinde dolgu konsantrasyonunun artması ile, iletken faz, matrisin içinde iletken bir ağ oluşturmakta ve öz dirençte önemli derecede bir düşüş gözlenmektedir. Doyma bölgesinde ise, iletken fazın konsantrasyonu artırılrsa bile, öz direnç değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemektedir. Şekil 8'de KAFK/SEBS kompozitlerinin perkolasyon davranışı verilmektedir. KAFK/SEBS kompozitleri klasik perkolasyon davranışı göstermiştir. % 0-10 KAFK/SEBS kompozitleri yalıtkan bölgede yer almaktadır. Tablo 1'de verilen normalize edilmiş hacimsel öz direnç ( $\rho_0/\rho$ ) değerlerinden de görüldüğü gibi % 10'luk dolgu ilavesi ile meydana gelen değişim katkısız polimerin  $1,81E+01$  katı kadardır. Bu bölgede dolgu maddeleri birbirlerine yakın olmadıkları için, iletken bir ağ oluşumu söz konusu değildir. Bu durum FESEM görüntülerinden de açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 7b). % 5 KAFK içeren kompozitlerde iletken ağ henüz oluşmamıştır. % 10-30 arasında ise hacimsel öz dirençte önemli bir düşme, iletkenlikte artış meydana gelmiştir. Tablo 1'deki  $\rho_0/\rho$  değerleri katkısız polimere kıyasla % 20 ve % 30 KAFK içeren SEBS kompozitler için sırasıyla  $2,8E+4$  ve  $7,30E+10$  kat kadardır. Bu bölge perkolasyon bölgesi olarak adlandırılmaktadır ve iletken ağı oluştuğu, öz dirençte meydana gelen düşüşten anlaşılmaktadır. Bu durum FESEM görüntülerinden de açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 7a, b). % 5 KAFK içeren kompozitlerde iletken dolguların

arasındaki mesafe fazla iken, % 20 KAFK içeren kompozitlerde iletken ağ oluşumu net bir şekilde gözlenmektedir. Grafik dikkatli bir şekilde incelendiğinde % 30-40 arasında öz dirençte önemli bir değişim meydana gelmemiştir. Tablo 1'deki  $\rho_0/\rho$  değerleri % 40 ve % 50 KAFK içeren SEBS kompozitler için sırasıyla  $3,71E+11$  ve  $8,78E+11$ 'dir. Yani bu numunelerin öz direnç değerleri birbirine yakındır ve bu durum saturasyon bölgesine geçildiğini göstermektedir. Yani belirli bir dolgu konsantrasyonundan sonra, ilave edilen iletken dolgular kompozitin iletkenliğini önemli bir boyutta değiştirmemiştir. FESEM görüntülerinden de açık bir şekilde görüldüğü gibi doyma bölgesine ulaşıldığı görülmektedir. % 50 KAFK içeren kompozitte dolgular birbirine çok yakındır (Şekil 7c).



Şekil 8. KAFK/SEBS kompozitlerinin perkolasyon grafiği (Percolation graph of the KAFK/SEBS composites)

### 3.3. Mekanik analiz (Mechanical analysis)

Kompozitlerin elektriksel özelliklerinin yanında mekanik özellikleri de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2 ile Şekil 9 ve 10'da verilmektedir. Şekil 8'de verilen gerilim-uzama eğrilerinden de anlaşılacağı üzere, SEBS klasik TPE özelliği göstermiştir ve yaklaşık olarak 7,67 MPa kopma dayanımı, % 700 civarında bir kopma uzama değerine sahiptir. Termoplastik ve termoset polimerlerle kıyaslandığında oldukça yüksek kopma uzaması, yapısında bulunan yumuşak (EB) ve sert (S) segmentlerden kaynaklanmaktadır. Bu yapı sayesinde malzemenin deformasyon altında göstermiş olduğu rezilyans ve uygulanan kuvvetin yapı içinde dağıtılabileceği kapasitesi de yüksektir. Yapıya KAFK ilavesi sonunda hem kopma mukavemeti hem de kopma uzaması değerlerinde düşme meydana gelirken, elastik modülde artış gözlenmiştir. Kopma mukavemet değerleri % 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 KAFK içeren kompozitler için sırasıyla şu şekildedir: 3,76, 3,05, 3,06, 2,26, 1,62 ve 1,39 MPa (Tablo 2). Bu sonuçlar Şekil 9'dan da açık bir şekilde görülebilmektedir. Mekanik özelliklerden yük taşıma kapasitesindeki azalma, kompozite uygulanan kuvvetin matristen dolgu malzemesine aktarılamamasından yani dolgu-matris arayüzeyinin ideal bir şekilde olmamasından kaynaklanmaktadır. İletken dolgu



**Tablo 2.** SEBS ve KAFK/SEBS kompozit filmlerin mekanik özellikleri (\*SS:Standart Sapma)  
(Mechanical properties of SEBS and KAFK/SEBS composite films (\*SD:Standart Deviation))

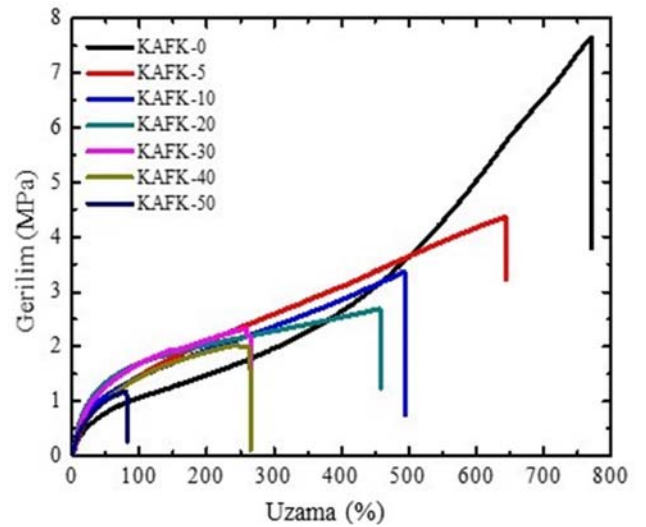
Numune Kodu	Kopma Mukavemeti (MPa)/SS	Kopma Mukavemetindeki Değişim (%)	Kopma Uzaması (mm/mm)/SS	Kopma Uzamadaki Değişim (%)	Elastik Modül (MPa)/SS	Elastik Modüldeki Değişim (%)
KAFK-0	7,33/0,56		7,26/0,36		1,94/0,40	
KAFK-5	3,76/0,84	-48,69	6,05/0,54	-17,01	2,41/0,31	24,07
KAFK-10	3,05/0,44	-58,44	4,48/0,64	-38,53	2,60/0,01	33,87
KAFK-20	3,06/0,51	-58,30	5,28/0,99	-27,58	2,61/0,34	34,47
KAFK-30	2,26/0,11	-69,13	2,58/0,10	-64,64	2,93/0,06	50,84
KAFK-40	1,62/0,47	-77,88	1,64/1,02	-77,52	2,75/0,97	41,50
KAFK-50	1,39/0,31	-81,03	0,90/0,11	-87,66	2,69/0,50	38,50

ilavesiyle, kompozitler elektriksel iletkenlik kazanırken, mekanik açıdan zayıflamaktadır. Dolgu konsantrasyonu arttıkça, mekanik dayanım daha yüksek oranda düşmüştür. Bu durum FESEM görüntüleri ile desteklenmektedir. Şekil 7c’den de anlaşıldığı gibi, gözenekli bir morfoloji elde edilmiştir ve matris-dolgu arayüzeyinden kuvvet iletimi etkin bir şekilde gerçekleştirilememiştir.

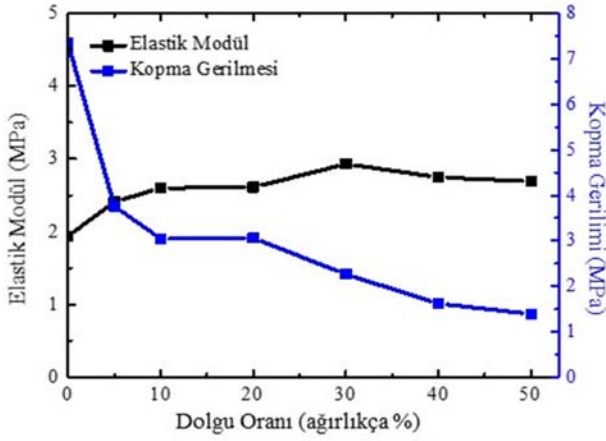
Kompozitlerin ortalama kopma dayanımı ve elastik modül değerlerindeki değişim değerleri Şekil 10’da verilmektedir. Dolgu madde miktarı arttıkça meydana gelen düşüş artmaktadır. Bunun temel sebebi, yüksek konsantrasyonlarda arayüzey özelliklerinin ideal olmamasının yanında KAFK dolgularının aglomerat ve gözenekler oluşturmasıdır.

FESEM görüntülerinden de açık bir şekilde görüldüğü gibi, konsantrasyon arttıkça, aglomerat boyutları da artmaktadır. Aglomeratlar dolgu malzemelerinin arasındaki ikincil etkileşimlerin artması sonucu oluşmaktadır ve polimer matrisin dolgunun tüm yüzeyini homojen bir şekilde kaplamasına engel olmaktadır. Gözenekler ise, uygulanan yükün etkin bir şekilde transfer edilmesini engellemektedir. Yapılan çalışmada yüksek kayma hızına sahip karıştırıcı kullanılmış olsa da özellikle yüksek dolgu konsantrasyonuna sahip karışımlar (% 40-50) petri kaplarına döküldüğünde çözeltinin buharlaşması sırasında KAFK parçacıklarının birbirine yaklaştıkları gözlenmiştir. Bu, elektriksel iletkenlik için istenilen, mekanik özellikler için ise istenilmeyen bir durumdur. Kompozitlerin kopma uzama değerleri incelendiğinde KAFK konsantrasyonunun artması ile azalma meydana geldiği görülmektedir. Kopma uzama değerleri % 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 KAFK içeren kompozitler için sırasıyla şu şekildedir : % 605, 448, 528, 258, 164 ve 90. Kopma dayanımları azalan kompozitler, uygulanan kuvvete dayanamadıkları için, daha düşük deformasyon oranlarında kopmaktadır. Bu değerler termoplastik ve termoset polimerler kompozitlerden daha yüksektir. Bu da üretilen kompozitlerin göreceli olarak iyi olduğunu göstermektedir. Kompozitlerin ortalama elastik modül değerleri % 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 KAFK içeren numuneler için sırasıyla şu

şekildedir: 2,41, 2,60, 2,61, 2,93, 2,75 ve 2,69 MPa. Tüm kompozitlerin modül değerleri SEBS filminkinden yüksektir. Bilindiği gibi, KAFK katı bir malzemedir ve SEBS’e nazaran daha yüksek modüle sahiptir. Düşük modüllü bir malzeme ile yüksek modüllü bir malzemeden kompozit üretildiğinde modülün artması beklenen bir durumdur. Şekil 10’dan da görüldüğü gibi, konsantrasyonun artmasıyla % 5-30 KAFK içeren kompozitlerde elastik modül artmış, % 40 ve 50 KAFK içeren kompozitlerde ise azalmıştır. Bunun temel sebebi daha önce de belirtildiği gibi, bu konsantrasyonlarda gözlenen aglomerat ve gözenek oluşma eğilimidir. Literatürde daha önce KAFK/SEBS kompozitlerine ilişkin yapılmış bir çalışma bulunmadığı için, elektriksel karakterizasyonda olduğu gibi elde edilen sonuçlar grafit içeren kompozitlerle kıyaslandığında elde edilen mekanik özelliklerin grafitin, polimerin özelliklerine ve üretim yöntemine göre değiştiği ve genellikle dolgu konsantrasyonunun artması ile mekanik özelliklerde gerileme gözlenmiştir [37, 38].



**Şekil 9.** SEBS ve KAFK/SEBS kompozit filmlerin gerilim-uzama eğrileri  
(Stress-strain curves of SEBS and KAFK/SEBS composites films)



**Şekil 10.** SEBS ve KAFK/SEBS kompozit filmlerinin dolgu miktarına bağlı olarak elde edilen elastik modül ve kopma gerilmesi eğrileri  
(Elastic modulus and tensile strength curves of SEBS and KAFK/SEBS composites films as a function of filler ratios)

## SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada antep fıstığının kabuk atıkları karbonize edilmiş ve elektriksel iletken dolgu maddesi üretilmiştir. Bu dolgu elektriksel olarak yalıtkan termoplastik elastomer olan SEBS matrise farklı oranlarda katılarak kompozit filmler üretilmiş ve kompozitin morfolojik, elektriksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerin perkolasyon davranışları incelenmiş; % 10 dolgu konsantrasyonuna kadar yalıtkan bölge, % 10-30 aralığında perkolasyon bölgesi ve % 30-50 aralığında ise doyma bölgesi gözlenmiştir. Kompozitlerin mekanik özellikleri incelendiğinde dolgu malzemesinin konsantrasyona bağlı olmaksızın mekanik özelliklerde (kopma mukavemeti ve kopma uzaması) gerilemeye sebep olduğu gözlenmiştir. Polimerin yapısına kendisinden daha yüksek elastik modüle sahip olan katı dolgu malzemesi katılması ile belirli bir konsantrasyona kadar elastik modül değerlerinde artış meydana gelmiştir. Daha yüksek dolgu miktarlarında ise FESEM görüntülerinden aglomerasyonların oluştuğu, polimerin dolgu malzemesini tam olarak ısıtamadığı görülmüştür; bunların sonucunda elastik modülde azalma gözlenmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmada elektriksel iletkenlik gereken uygulamalarda doğal, sürdürülebilir ve ekonomik bir malzeme olan antep fıstığının kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Her yıl üretiminde dalgalanmalar gözlenirse de, son 10 yıl üretim istatistikleri dikkate alındığında ve bir adet antep fıstığının % 45-50'sinin sert kabuk olduğu düşünüldüğünde, ülkemizde yıllık ortalama 60000-70000 ton atık kabuk ortaya çıkmaktadır. Yaptığımız çalışmada karbonizasyon verimi % 27,6 olarak belirlenmiştir. Bu durumda atık antep fıstığı kabuklarından yılda yaklaşık 16200-18900 ton iletken karbon üretimi mümkün olabilecektir. Böylelikle antep fıstığının atık kabuğu karbonizasyon sonucunda katma değeri artırılmış iletken dolgu maddesine dönüşmüş ve birçok sektörde kullanılabilir forma getirilmiş olacaktır.

Antep fıstığının sürdürülebilir bir kaynak olmasının yanı sıra karbonizasyon işleminin kolay ve çok maliyetli olmayan bir proses olması, bu çalışmayı sürdürülebilir mühendislik uygulamaları açısından dikkat çekici kılmaktadır. Bunun yanında elde edilen malzemenin boyutlarının öğütme işlemleri ile hedeflenen boyutlara getirilmesi de malzemenin kullanım alanlarını artıracaktır. Buna örnek olarak polimerik sensörler, lityum-iyon pilleri verilebilir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma 2020 yılı 2. Dönem Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2209-A Üniversite Öğrencileri Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Malzeme alımı ve/veya analizlerin bir kısmı TÜBİTAK, bir kısmı Toprakci Research Group, bir kısmı da Yalova Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı Araştırma ve Uygulama Merkezi desteğiyle gerçekleştirilmiştir. TÜBİTAK'a, Yalova Üniversitesi'ne ve bu iki kurumun değerli çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Toprakci H.A.K., Kalanadhabhatla S.K., Spontak R.J., Ghosh T.K., Polymer nanocomposites containing carbon nanofibers as soft printable sensors exhibiting strain-reversible piezoresistivity, *Advanced Functional Materials*, 23 (44), 5536-5542, 2013.
2. Turgut A., Tuhin M.O., Toprakci O., Pasquinelli M.A., Spontak R.J., Toprakci H.A.K., Thermoplastic elastomer systems containing carbon nanofibers as soft piezoresistive sensors, *ACS Omega*, 3 (10), 12648-12657, 2018.
3. Drobny J.G., *Handbook of thermoplastic elastomers*, Elsevier, 2014.
4. Bhowmick A.K., Stephens H., *Handbook of elastomers*, CRC Press, Boca Raton, 2000.
5. Huang Y., Kormakov S., He X., Gao X., Zheng X., Liu Y., Sun J., Wu D., Conductive polymer composites from renewable resources: an overview of preparation, properties, and applications, *Polymers*, 11 (2), 187, 2019.
6. Toprakci O., Toprakci H.A.K., Anode Performance of sustainable, hemp-derived, flexible, binder-free, carbon fabrics in lithium-ion batteries, *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8 (1), 28-32, 2020.
7. Ugbesia S., Ekebafe L.O., Ayo M., Effect of carbonization temperature of filler on the tensile properties of natural rubber compounds filled with cassava (manihot esculenta) peel carbon, *Turkish Journal of Science Technology*, 6 (2), 75-80, 2011.
8. Li S., Liu D., Li W., Sui G., Strong and heat-resistant SiC-coated carbonized natural loofah sponge for electromagnetic interference shielding, *ACS Sustainable Chemistry Engineering*, 8 (1), 435-444, 2019.
9. Li S., Li W., Nie J., Liu D., Sui G., Synergistic effect of graphene nanoplate and carbonized loofah fiber on the

- electromagnetic shielding effectiveness of PEEK-based composites, *Carbon*, 143, 154-161, 2019.
10. Li S., Li X., Chen C., Wang H., Deng Q., Gong M., Li D., Development of electrically conductive nano bamboo charcoal/ultra-high molecular weight polyethylene composites with a segregated network, *Composites Science Technology*, 132, 31-37, 2016.
  11. Hanif M.P.M., Jalilah A.J., Anisah M.F.H., Tilagavathy A., Chitosan/Polyethylene Oxide (PEO) filled carbonized wood fiber conductive composite film, *Materials Science Forum*, 1010, 638-644, 2020.
  12. Watson R.R., Preedy V.R., *Bioactive foods in promoting health: fruits and vegetables*, Academic Press, 2009.
  13. Gezginç Y., Duman A.D., Antep fıstığı işleme tekniği ve muhafazasının kalite üzerine etkisi, *Gıda The Journal of Food* 29, 373-378, 2004.
  14. Aydogdu M.H., Şahin Z., Sevinç M.R., Cançelik M., Doğan H.P., Küçük N., Analysis of recent trends in pistachio (*pistacia vera l.*) production in Turkey, *International Journal of Humanities and Social Science Invention*, 9 (3), 40-46, 2020.
  15. Dönmez İ.E., Selçuk S., Sargın S., Özdeveci H., Kestane, fındık ve antepfıstığı meyve kabuklarının kimyasal yapısı, *Turkish Journal of Forestry*, 17 (2), 174-177, 2016.
  16. Apaydin-Varol E., Pütün E., Pütün A.E., Slow pyrolysis of pistachio shell, *Fuel*, 86 (12), 1892-1899, 2007.
  17. Kashaninejad M., Mortazavi A., Safekordi A., Tabil L.G., Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera L.*) nut and its kernel, *Journal of Food Engineering*, 72 (1), 30-38, 2006.
  18. Food and Agriculture Organization, Top 10 Country Production of Pistachio, [http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity), Erişim tarihi Aralık 21, 2020.
  19. Alsaadi M., Erklığ A., Albu-khaleefah K., Effect of pistachio shell particle content on the mechanical properties of polymer composite, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43 (9), 4689-4696, 2018.
  20. Al-Khayri J.M., Jain S.M., Johnson D.V., *Advances in plant breeding strategies: Nut and beverage crops*, 4, Springer, 2019.
  21. Yeganeh M.M., Kaghazchi T., Soleimani M., Effect of raw materials on properties of activated carbons, *Chemical Engineering & Technology*, 29 (10), 1247-1251, 2006.
  22. Najafabadi M.A.A., Khorasani S.N., Esfahani J.M., High density polyethylene/pistachio shell flour/nanoclay composites - effect of accelerated weathering conditions on mechanical properties, relative brightness and total colour change, *Polymers and Polymer Composites*, 25 (4), 299-308, 2017.
  23. Najafabadi M.A.A., Khorasani S.N., Esfahani J.M., Water absorption behaviour and mechanical properties of high density polyethylene/pistachio shell flour nanocomposites in presence of two different UV stabilizers, *Polymers and Polymer Composites*, 22 (4), 409-416, 2014.
  24. Al-Obaidi A. J., Ahmed S.J., Abbas A.T., Investigation the mechanical properties of epoxy polymer by adding natural materials, *Journal of Engineering Science and Technology*, 15 (4), 2544--2558, 2020.
  25. Balasundar P., Narayanasamy P., Senthil S., Abdullah Al-Dhabi N., Prithivirajan R., Shyam Kumar R., Ramkumar T., Subrahmanya Bhat K., Physico-chemical study of pistachio (*Pistacia vera*) nutshell particles as a bio-filler for eco-friendly composites, *Materials Research Express*, 6 (10), 105339, 2019.
  26. Küçük İ., Önal Y., Akmil Başar C., The production and characterization of activated carbon using pistachio shell through carbonization and CO<sub>2</sub> activation, *Journal of the Turkish Chemical Society Section B: Chemical Engineering*, 2 (1), 35-44, 2019.
  27. Noman M., Sanginario A., Jagadale P., Tagliaferro A., Demarchi D., Activated carbonized pistachio nut shells for electrochemiluminescence detection, *Journal of Applied Electrochemistry*, 45 (6), 585-590, 2015.
  28. Elanthamilan E., Rajkumar S., Merlin J.P., Jona D.S., Monisha K., Meena B.C., Effect of decorating cobalt ferrite spinel structures on pistachio vera shell-derived activated carbon on energy storage applications, *Electrochimica Acta*, 359, 136953, 2020.
  29. Benítez A., Morales J., Caballero Á., Pistachio shell-derived carbon activated with phosphoric acid: a more efficient procedure to improve the performance of Li-S batteries, *Nanomaterials*, 10 (5), 840, 2020.
  30. Lua A.C., Yang T., Theoretical and experimental SO<sub>2</sub> adsorption onto pistachio-nut-shell activated carbon for a fixed-bed column, *Chemical Engineering Journal*, 155 (1), 175-183, 2009.
  31. Vijayalakshmi P., Bala V.S.S., Thiruvengadaravi K.V., Panneerselvam P., Palanichamy M., Sivanesan S., Removal of acid violet 17 from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from pistachio nut shell, *Separation Science and Technology*, 46 (1), 155-163, 2010.
  32. Attia A.A., Girgis B.S., Khedr S.A., Capacity of activated carbon derived from pistachio shells by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> in the removal of dyes and phenolics, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 78 (6), 611-619, 2003.
  33. Hofmann U.H., Wilm D., Über die kristallstruktur von kohlenstoff, *Zeitschrift für Elektrochemie und angewandte physikalische Chemie*, 42 (7B), 504-522, 1936.
  34. Xu S.D., Zhao Y., Liu, Ren X., Chen L., Shi W., Wang X., Zhang D., Curly hard carbon derived from pistachio shells as high-performance anode materials for sodium-ion batteries, *J Mater Sci*, 53, 12334-12351, 2018.
  35. Lua A.C., Yang T., Effect of activation temperature on the textural and chemical properties of potassium hydroxide activated carbon prepared from pistachio-nut shell, *Journal of Colloid and Interface Science*, 274 (2), 594-601, 2004.
  36. Anaklı D., Çetinkaya S., Karakışla M., Sacak M., Synthesis and characterization of conductive poly(o-anisidine)/talc composite, *Journal of the Faculty of*

- Engineering and Architecture of Gazi University, 33 (2), 403-412, 2018.
37. Radzuan N.A.M., Sulong A.B., Sahari J., A review of electrical conductivity models for conductive polymer composite, International Journal of Hydrogen Energy, 42 (14), 9262-9273, 2017.
38. Sengupta R., Bhattacharyaa M, Bandyopadhyay S., Bhowmicka A.K., A review on the mechanical and electrical properties of graphite and modified graphite reinforced polymer composites, Progress in Polymer Science, 36 (5), 638-670, 2011.