



Investigation of morphological, mechanical and thermal properties of (PP) polypropylene based composites prepared with apricot kernel shell

Hüseyin Çağdaş Aslan*

Central Research Laboratory Research and Application Center, Yalova University, 77200, Yalova, Türkiye

Highlights:

- PP based composite production from apricot kernel shells
- Waste reducing and sustainability
- Compatibility effect in wood-based materials

Keywords:

- Polypropylene
- Apricot kernel shell
- Wood composites
- Sustainable materials
- Morphology

Article Info:

Research Article
Received: 30.07.2024
Accepted: 23.11.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1524814

Acknowledgement:

Thanks to Tersun Apricot Kernel Industry and Tisan Engineering Plastics companies for their grants in material supplying, and Ahmet Buğra Demir and Emir Karaman for their assistance in preparing the composites.

Correspondence:

Author: Hüseyin Çağdaş Aslan
e-mail: hcagdas.aslan@yalova.edu.tr
phone: +90 226 817 78 01

Graphical/Tabular Abstract

This study examines the morphological, mechanical, and thermal properties of apricot kernel shell (AKS) /polypropylene (PP) composites. The composites were prepared using varying quantities of AKS and maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) as a compatibilizer via a twin-screw extruder. Scanning electron microscopy (SEM) analysis demonstrated a uniform distribution of AKS within the PP matrix. Mechanical tests indicated that an elevated AKS content reduced tensile strength and elongation at break. However, adding MAPP enhances these properties, as illustrated in Figure A. Differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetric analysis (TGA) revealed that AKS increases the crystallization temperatures and retarded the thermal degradation in composites.

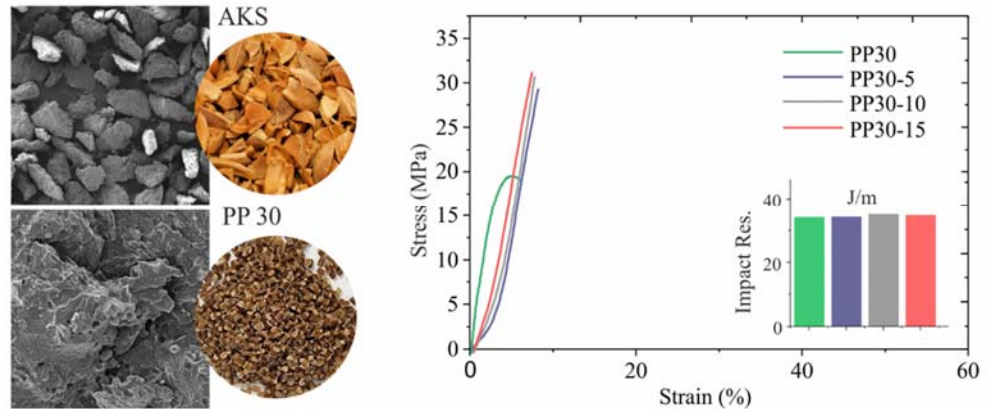


Figure A. SEM images and selected properties of selected samples

Purpose: This study aims to develop PP-based composite materials utilizing AKS and to comprehensively analyze their morphological, mechanical, and thermal properties. The primary objective is to create environmentally sustainable strong composite materials, thereby contributing to the reduction of plastic waste and exploring the potential of apricot kernel shells for use in polymer composites.

Theory and Methods: The composites were prepared by mixing various proportions of AKS, PP, and MAPP, followed by twin screw extrusion and injection molding to produce test specimens, which were then analyzed for their morphological, mechanical, and thermal properties. The analyses, including SEM, DSC, and TGA were conducted to assess the feasibility and advantages of using AKS in PP composites for reducing plastic waste and wood.

Results: The results showed that incorporating 30% AKS into the PP matrix decreased tensile strength by up to 35% and elongation at the break by up to 80%, while the use of MAPP as a compatibilizer improved tensile strength to 30.70 MPa. Additionally, the thermal analysis indicated that AKS increased the crystallization temperature by up to 3°C and retarded the thermal degradation in composites.

Conclusion: The incorporation of apricot kernel shell (AKS) into polypropylene (PP) matrices, particularly with the use of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) compatibilizer, enhances the mechanical properties of the composites, demonstrating significant potential for reducing plastic waste and improving material performance.



Kayısı çekirdeği kabuğu ile hazırlanan polipropilen (PP) esaslı kompozitlerin morfolojik, mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi

Hüseyin Çağdaş Aslan*

Yalova Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi, 77200, Yalova, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Kayısı çekirdeği kabuklarından PP bazlı kompozit üretimi
- Atık azaltma ve sürdürülebilir kompozit üretimi
- Ahşap esaslı kompozitlerde uyumlaştırıcının etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 30.07.2024

Kabul: 23.11.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1524814

Anahtar Kelimeler:

Polipropilen,
kayısı çekirdeği kabuğu,
ahşap kompozitler,
sürdürülebilir malzemeler,
morfoloji

ÖZ

Bu çalışmada, kayısı çekirdeği kabuğu (KB) / polipropilen (PP) kompozitlerinin morfolojik, mekanik ve termal özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kompozitler, çift vidalı bir ekstrüder kullanılarak, farklı oranlardaki kayısı çekirdeği kabuğu (KB) ve maleik anhidrit aşılansız polipropilen (MAPP) ile hazırlanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), PP matrisi içerisinde KB'nin homojen bir şekilde dağıldığını göstermiştir. Mekanik testler, KB içeriğinin artmasının çekme mukavemeti ve kopma uzamasında azalmaya neden olduğunu, ancak MAPP eklenmesiyle bu özelliklerin iyileştiğini ortaya koymuştur. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termogravimetrik analiz (TGA) sonuçlarına göre, KB'nin kristallenme sıcaklıklarını artırdığı ve kompozitlerin termal bozunmasını geciktirdiği belirlenmiştir. Bu bulgular, KB'nin sürdürülebilir bir dolgu malzemesi olarak PP esaslı kompozitlerde etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Investigation of morphological, mechanical and thermal properties of (PP) polypropylene based composites prepared with apricot kernel shell

H I G H L I G H T S

- PP based composite production from apricot kernel shells
- Waste reducing and sustainability
- Compatibility effect in wood-based materials

Article Info

Research Article

Received: 30.07.2024

Accepted: 23.11.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1524814

Keywords:

Polypropylene,
apricot kernel shell,
wood composites,
sustainable materials,
morphology

ABSTRACT

This study provides a detailed investigation into the morphological, mechanical, and thermal properties of apricot kernel shell (AKS) / polypropylene (PP) composites. The composites were produced using a twin-screw extruder with various ratios of apricot kernel shell (AKS) and maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) as a compatibilizer. Scanning electron microscopy (SEM) revealed a homogeneous dispersion of AKS within the PP matrix. Mechanical tests demonstrated that increasing AKS content decreased tensile strength and elongation at break. However, the addition of MAPP significantly improved these properties. Differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetric analysis (TGA) results showed that AKS increases the crystallization temperatures and delays the thermal degradation of the composites. These findings suggest that AKS can serve as a sustainable filler material in PP-based composites, offering potential benefits for eco-friendly material production.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *hcagdas.aslan@yalova.edu.tr / Tel: +90 226 817 78 01

1. Giriş (Introduction)

Plastikler, kolay şekillendirilebilme, enerji ve işleme maliyetlerinin düşük olması gibi üstün özellikleri nedeniyle günümüzde sıklıkla kullanılan malzemeler haline gelmiştir. Hemen her alanda plastik malzemeler kendilerine yer bulmaktadır. Yıllık plastik kullanım miktarları milyar ton ile ifade edilmektedir. 2023 yılında yalnız Türkiye’de üretilen plastik mamul miktarı 10,9 milyon ton civarındadır [1].

Plastik malzemelerin kullanımındaki artışın bir sonucu olarak da atık problemleri ortaya çıkmakta ve bu problemin çözümü için farklı birçok yöntem önerilmektedir. Bu çözüm yöntemlerinden biri plastik malzemelerin doğa kaynaklı malzemeler ile bir arada kullanılarak, plastiklerin kullanım miktarlarının, dolayısıyla da atık miktarının azaltılmasıdır [2].

Kayısı bitkisi, anavatamı Orta Asya, Çin ve İran olan ve dünyada her yıl yaklaşık 3,5 milyon ton üretilen önemli bir besin kaynağıdır. Farklı iklim koşullarında yetişebilen kayısı meyvesinin özellikle Akdeniz ülkelerinde bol miktarda yetiştirildiği, bununla birlikte bazı Avrupa ülkeleri ile, Özbekistan, İran ve Cezayir’de de önemli bir tarım ürünü olduğu bilinmektedir. Ülkemiz ise dünya kayısı üretiminin yaklaşık olarak %25’ini tek başına karşılamaktadır. Kuru kayısı üretiminde ise dünya üretiminin yarısından fazlasını yaklaşık 20000 ağaçlık önemli bir üretim kapasitesi ile, Türkiye karşılamaktadır [3].

Kuru kayısı üretiminin bir sonucu olarak da kayısı meyvesinin çekirdekleri besin, çekirdeğin kabukları (KB) ise tarımsal atık olarak ortaya çıkmaktadır. Kayısı çekirdeğinin kabukları lignin (%25–35), selüloz (%26–40) ve hemiselüloz (%20–24) yapısındadır ve antioksidatif içeriğinin de yüksek olduğu raporlanmaktadır. Lignin, KB’de yapısal sağlamlığı artırarak biyolojik ve termal dayanıklılık sağlar. Selüloz ve hemiselüloz içeriği ise KB’ye esneklik kazandırır [4, 5]. Ligno-selüloz yapıdaki KB’lerin büyük çoğunluğu yakacak olarak değerlendirilmekte, bir kısmı da öğütülerek aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Aşındırıcı etkileri nedeniyle kumlama, temizleme ve parlatma gibi yüzey işlemlerinde ve kozmetik uygulamalarda deri yenileme (peeling) işlemlerinde kullanılmaktadır [6–8]. Öğütme sonucu yapılan elemeyen ayrılan en küçük tanecik boyutlu kısımlar ise KB unu haline gelmektedir. Ancak kendine önemli bir kullanım alanı bulamadığından atık olarak bertaraf edilme ihtiyacı doğmaktadır.

KB’nin enerji eldesi ve kozmetik uygulamalar dışında değerlendirildiği çalışmalarda; KB, aktif karbon üretiminde kullanılmış ve boya gideriminde etkili sonuçlar raporlanmıştır [9]. Bir başka çalışmada beton bileşimindeki agrega yerine kullanılarak mekanik ve yalıtım özellikleri incelenmiş, üretilen malzemenin ısı ve ses yalıtımı için kullanılabilceği raporlanmıştır [10]. Fındık, antep fıstığı ve kayısı çekirdeği kabuklarının termoset kompozit üretiminde kullanıldığı bir çalışmada ise, poliester bazlı kompozitlerde çekme dayanımının olumsuz etkilendiği ancak, az miktarda kullanıldığında eğme ve basma dayanımını güçlendirdiği rapor edilmiştir [11]. Başka bir çalışmada rijit poliüretan köpük eldesi için, KB sülfürik asit varlığında gliserol ve polioller ile muamele edilerek kullanılmış ve özellikleri incelenerek, ticari ürüne benzer özellikte poliüretan köpük üretimi gerçekleştirilmiştir [12]. Epoksi reçinenin kullanıldığı bir çalışmada ise yüzey modifikasyonu gerçekleştirilmiş KB ve modifiye edilmemiş KB farklı oranlarda reçine ile kürlenerek özellikleri incelenmiş, elde edilen malzemenin ahşaba alternatif bir malzeme olarak bazı uygulamalarda kullanılabilceği raporlanmıştır [13]. Fenolik reçine ile KB kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada ise elde edilen ürünlerin iyi bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilceği aktarılmıştır [14]. Başka bir çalışmada ise KB’nin korozif etkilerinden

faydalanılmak üzere polyester esaslı zımpara yapımında kullanılmış ve etkili sonuçlar elde edilmiştir [15]. Çözültiden dökme yöntemi ile nişasta esaslı biyo-bozunur film üretiminde takviyelendirici olarak KB ve ceviz kabuğu kullanılan başka bir çalışmada ise mekanik özelliklerde önemli ölçüde iyileşme raporlanmıştır [16].

KB’ye benzer şekilde; Ceviz, Antep Fıstığı ve Fındık Kabuğu başta olmak üzere farklı tarımsal atıkların polimer esaslı alternatif malzeme üretiminde kullanılabilirliğinin incelendiği birçok çalışma mevcuttur. Bununla birlikte jüt, keten, kenevir, bambu, hububat sapları gibi geleneksel tarımsal kaynağın da hem termoset hem de termoplastikler ile kullanıldığı kompozit malzemeler ve elde edilen ürünler endüstriyel olarak önemli bir tüketim kaynağıdır [17]. Ahşap esaslı termoplastik kompozitler, çevre ve maliyet kaygıları nedeniyle günümüzde otomotivden beyaz eşyaya kadar birçok alanda kendine yer bulan, masif ağaç ve ahşap malzemelere alternatif olarak kullanımı giderek artan malzemelerdir [18]. Birçok tarımsal kaynaklı geleneksel malzemenin termoplastik kompozit üretiminde kullanılabilirliği araştırmacıların ilgisini çekmiş olmasına karşın KB’nin bu alanda kullanıldığı araştırmalar oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmada, dünya genelinde yüksek tüketimiyle öne çıkan Polipropilen (PP), matris olarak seçilerek, KB ununun termoplastik kompozitlerin üretiminde kullanılabilirliğini mekanik, termal ve morfolojik özellikler açısından incelemek amaçlanmıştır. Polipropilen dünya plastik malzeme tüketiminde ikinci sırada yer alan, genel özellikleri itibarıyla düşük maliyeti, yüksek kimyasal dayanımı, iyi mekanik özellikleri ile ön plana çıkan ve otomotivden tekstile kadar geniş bir yelpazede kullanılan bir termoplastiktir [19-21]. Yarı kristal bir polimer olan PP, düşük erime sıcaklığı ve kolay işlenebilirliği nedeniyle birçok bilimsel çalışmada da sıklıkla kullanılmaktadır, özellikle termoplastik kompozitlerde kullanımı ise giderek hız kazanmaktadır [22]. Bu çalışmada da farklı oranlardaki KB kullanılarak eriyik işleme yöntemiyle polipropilen-kayısı çekirdeği kabuğu (PPKB) kompozitleri hazırlanmış, hazırlanan kompozitlerin morfolojik, mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir.

2. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

2.1. Malzemeler (Materials)

Örneklerin hazırlanması için kullanılan MH418 kodlu polipropilen (PP), Petkim Petrokimya (İzmir, Türkiye) firmasından, uyumlaştırıcı olarak kullanılan Olebond 7401 CH kodlu maleik anhidrit aşılantısı polipropilen (MAPP), Tisan Mühendislik Plastikleri (İstanbul, Türkiye) firmasından alındı. Öğütülmüş kayısı çekirdekleri, Tersun Kayısı Çekirdeği Sanayii (Malatya, Türkiye) tarafından hibe edildi. Yüzey ıslatma için eser miktarda kullanılan gliserin, Zag Kimya Limited Şirketi’nden (İstanbul, Türkiye) satın alındı. Kullanılan bütün malzemeler temin edildiği haliyle kullanıldı.

2.2. Kompozitlerin Hazırlanması (Preparation of the Composites)

KB ve PP kompozitlerinin hazırlanması için 18 mm vida çapına sahip eş yönlü çift vidalı ekstrüder (Polartek, Türkiye) kullanıldı. Besleme yapılmadan önce, KB taneciklerinin PP granülleri üzerine yapışmasının sağlanması ve bu sayede tek adımda homojen beslemenin sürekli yapılabilmesi amacıyla PP granülleri oda sıcaklığında eser miktarda gliserin (%0,15-0,25) ile mekanik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Gliserin miktarının artırılması plastikleştirici etki yaparak mekanik özellikleri etkileyeceğinden, amaca uygun en küçük miktar kullanıldı. Hazırlanan polimer kompozitlere ait içerikler Tablo 1’de verilmiştir. Uyumlaştırıcı içermeyen kompozit örnekleri PPX olarak ve uyumlaştırıcı içerenler ise PPX-Y şeklinde adlandırılmıştır. X kompozit içerisindeki

ağırlıkça % KB içeriğini ve Y kompozitteki phr cinsinden uyumlaştırıcı miktarını temsil etmektedir.

Ön karışım haline getirilen örnekler 300 rpm vida hızında, sıcaklık dağılımı, girişten çıkışa sırasıyla 50°C, 160°C, 170°C ve 175°C olacak şekilde ekstrüdere beslendi. Ekstrüder çıkışında filament halde şekillendirilen kompozitler hava soğutmalı konveyör bant yardımıyla soğutulduktan sonra granül formunda kırıldı. Elde edilen granüller desikatörde bekletilerek olası nemlenmenin önüne geçildi.

Tablo 1. Hazırlanan kompozitlerin içerikleri (Contents of composites)

Örnek Adı	PP %	KB %	MAPP phr
PP0	100	0	0
PP10	90	10	0
PP20	80	20	0
PP30	70	30	0
PP30-5	70	30	5
PP30-10	70	30	10
PP30-15	70	30	15

2.3. Test Numunelerinin Hazırlanması (Preparation of the Test Specimens)

Granül haldeki kompozit örnekleri ile mekanik testler ve morfolojik görüntülemelerde kullanılmak üzere ENGEL Spex Victory 80 (Schwertberg, Avusturya) marka ve model plastik enjeksiyon makinesi kullanılarak standart çekme (ISO527) ve darbe (ISO180) numuneleri üretildi. Enjeksiyon kalıplama parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Enjeksiyon kalıplamada kullanılan parametreler (Injection molding parameters)

Parametre	Değer
Kapama Gücü	450 kN
Enjeksiyon Hızı	65 mm/s
Mal Alma Hızı	1 m/s
Ütuleme Basıncı	40 bar
Ütuleme Süresi	15 s
Soğutma Süresi	10 s
Toplam Çevrim Süresi	30 s
Kovan Sıcaklıkları	190-210 °C
Nozzle Sıcaklığı	220 °C

3. Karakterizasyonlar (Characterizations)

KB ve diğer bileşenlerin PP matrisindeki mekanik etkilerinin araştırılması için hazırlanan kompozitlere, oda sıcaklığında çekme ve darbe testleri uygulandı. Çekme testleri için, evrensel test cihazı (Zwick, 20 kN) kullanılarak 170 mm uzunluk, 10 mm genişlik ve 4 mm kalınlığa sahip numuneler kullanıldı. Uygulanan çekme testinin hızı sabit 50 mm/dk, çene açıklığı 109,3 mm’dir. Darbe testleri ise, 82 mm uzunluk, 10 mm genişlik ve 4 mm kalınlığındaki numuneler üzerine 2 mm derinliğinde çentik açılarak, 5 Joule darbe enerjisine sahip çekiç ile darbe test cihazı (AHP, Impact Tester) kullanılarak yapıldı. Verilen sonuçlar 5 farklı örneğin ölçüm sonucunun ortalamasıdır.

Kompozitlerin ısı geçiş sıcaklıkları ve polipropilenin kristalizasyon derecelerinin tespiti için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) (TA Instruments, DSC 25) kullanılarak 10°C/dk sabit ısıtma ve 10°C/dk sabit soğutma hızında -60 °C ile 250 °C sıcaklık aralığında ve inert azot gazı atmosferinde analiz gerçekleştirildi. Analizden elde edilen erime (T_m) ve kristallenme (T_c) sıcaklık değerleri en yüksek pik

değerlerinden tespit edildi. Örneklerin kristallenme dereceleri (X_c), erime piklerinden elde edilen erime entalpi (ΔH_f) kullanılarak Eş.1’e göre hesaplandı.

$$X_c = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_{f0}} \times \frac{1}{w} \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikteki ΔH_f PP’nin erime entalpi, ΔH_{f0} PP’nin tamamen kristalin (%100) durumdaki erime entalpi, w örnekteki PP miktarının ağırlık oranıdır. PP için ΔH_{f0} değeri 207 j/g olarak alınmıştır [23].

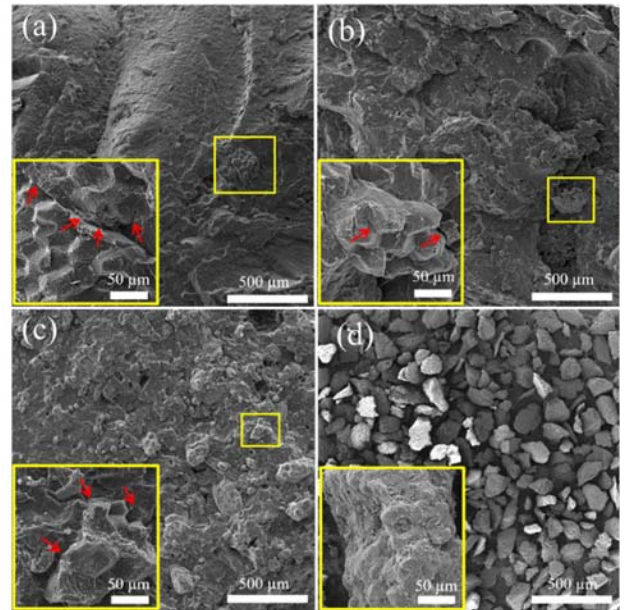
KB dolgusunun polipropilenin ısı kararlılığı üzerine etkileri ve bununla birlikte kompozitlerin işleme sıcaklığındaki bozunma davranışlarının tespiti için Termal Gravimetrik Analizör (Seiko, TG/DTA 6300) kullanılarak azot atmosferinde, oda sıcaklığından 500°C’ye kadar 10 °C/dk ısıtma hızında termal analiz uygulandı. Ayrıca KB’nin termal özelliklerinin incelenmesi için ise oda sıcaklığından 500°C’ye kadar 10 °C/dk ısıtma hızında termal analiz uygulandı.

Örneklerin morfolojik incelemesi için sıvı azot ile soğutma yapılan örnekler gelişigüzel kırıldı. Elde edilen kırık yüzeylere Au kaplanarak iletken hale getirildi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) (FEI Inc., Inspect S50) kullanılarak görüntüleme yapıldı. KB ve kompozitlerin yapı analizleri PerkinElmer marka, FT-IR Spectrum 100 model cihaz kullanılarak 4000 cm⁻¹ ile 400 cm⁻¹ dalga boyu arasında oda sıcaklığında gerçekleştirildi.

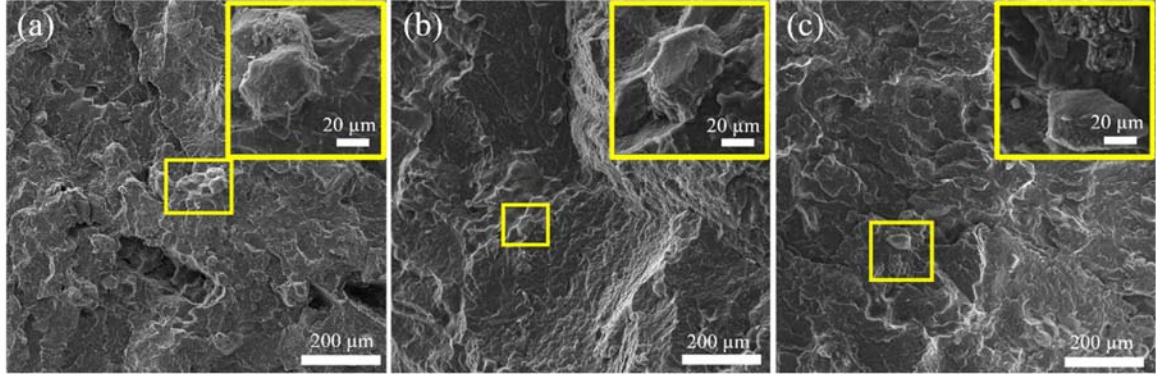
4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

4.1. Morfolojik Özellikler (Morphological Properties)

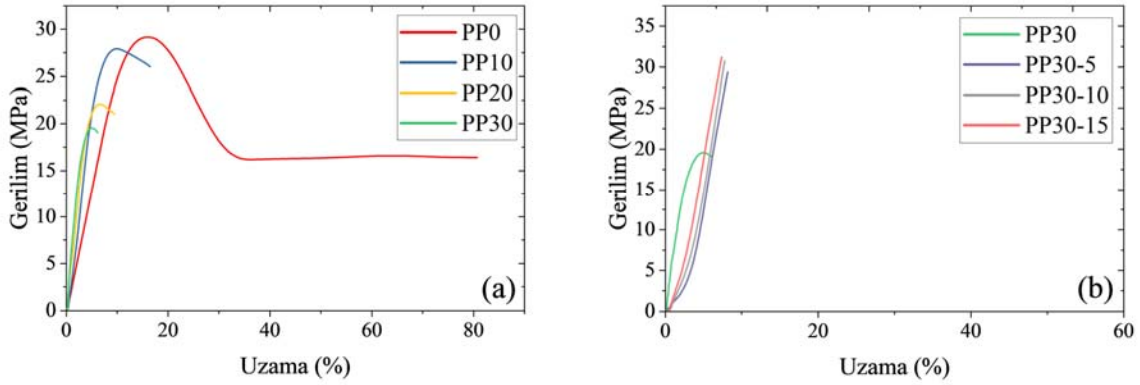
Şekil 1d’de KB dolgusuna ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri yer almaktadır. Görüntülerde KB taneciklerinin belirli bir geometriye sahip olmadığı ancak genelinin yassı formda olduğu görülmekte olup, ortalama tanecik boyununun 150 µm civarında olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte tanecik yüzeylerinin pürüzlü olduğu ve yüzey alanının yüksek olduğu görülmektedir. Uyumlaştırıcı içermeyen PP10, PP20 ve PP30 kompozitlerine ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 1a, Şekil 1b ve Şekil 1c’de verilmiştir.



Şekil 1. (a) PP10, (b) PP20, (c) PP30 ve (d) KB’nin SEM görüntüleri (SEM images of PP10 (a), PP20 (b), PP30 (c) and KB)



Şekil 2. (a) PP30-5, (b) PP30-10 ve (c) PP30-15 kompozitlerinin SEM görüntüleri (SEM images of (a) PP30-5, (b) PP30-10 and (c) PP30-15 composites)



Şekil 3. (a) Uyumlaştırıcı kullanılmayan ve (b) uyumlaştırıcı kullanılan PP-KB kompozitlerinin gerilim-uzama eğrileri (Strain-stress curves of composites)

Görüntüler incelendiğinde KB oranının artmasına karşılık kümelenmenin (agregasyonun) görülmediği ve KB dolgusunun PP matris içerisinde homojen dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Ancak, yüksek büyütme görüntülerde, dolgu ve polimer matris arasında, düşük ara yüzey etkileşimlerden kaynaklı olduğu düşünülen boşlukların yer aldığı, bununla birlikte dolgu yüzeylerinin oldukça temiz görüldüğü ve KB dolgusunun matristen çıkarak ayrılma (pull-out) eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Tanecik yüzey alanının görece yüksek olmasına karşın polimer matrisin eriyik işleme sırasında KB yüzeyini kaplamadığı görülmektedir. KB yüzeylerinde polimer kalıntılarının olmaması, bir başka anlatımla KB yüzeyinin ıslanmaması, PP ile KB dolgu uyumsuzluğunun bir sonucu olarak düşünülmektedir.

Şekil 2’de ağırlıkça %30 KB ve farklı oranlarda MAPP uyumlaştırıcısı içeren örnekler için SEM görüntüleri yer almaktadır. 5, 10 ve 15 phr MAPP ile uyumlaştırılan örnekler için görüntüler sırasıyla Şekil 2a, Şekil 2b ve Şekil 2c’de verilmiştir. Görüntülerde KB taneciklerinin yüzeyleri, uyumlaştırıcı olmayan örneklerle kıyasla daha pürüzsüz bir görünüm sergilemektedir. Bu durumun, KB taneciklerinin PP matrisi ile kaplanması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Uyumlaştırıcı varlığında, homojen dağılımın devam ettiği ve yüzeyden ayrılma eğiliminin azaldığı, KB-PP arasında boşlukların görülmediği, dolayısıyla taneciklerin yüzeye daha güçlü bir şekilde tutunduğu gözlemlenmiştir. Uyumlaştırıcıdaki hidrofilik anhidrit gruplarının KB’nin selüloz yapısındaki -OH grupları ile kurduğu kovalent etkileşimlerin, KB yüzeyinin PP ile kaplanmasını ve bunun da KB tanecikleri ile PP matrisini birbirine daha iyi tutunmasını sağladığı düşünülmektedir [22, 23].

4.2. Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)

Uyumlaştırıcı kullanılmadan hazırlanan KB takviyeli PP kompozitlerinin çekme testleri sonucunda elde edilen veriler, standart sapma değerleriyle birlikte Tablo 3’te ve gerilim-uzama eğrileri Şekil 3a’da verilmiştir. Hesaplanan standart sapma miktarlarının mekanik test sonuçları ile elde edilen genel kanıya etki edebilecek bir değerde olmadığı ve görece düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, içerikten bağımsız olarak değerlendirildiğinde, test edilen 5 farklı test parçasının da benzer sonuçlar verdiğini, kompozitlerin ekstrüzyon ve enjeksiyon işlemleri sırasında özdeş (uniform) olarak üretildiğini kanıtlar niteliktedir. Ahşap-polimer sistemlerinde genel kanıya göre, kullanılan ahşap türünden bağımsız olarak, polimer matris içindeki miktarın artışına paralel oranda malzemenin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde azalma meydana gelmektedir [17,24] Hidrofilik olan ligno-selülozik malzemeler ile hidrofobik olan polimer matris arasındaki zayıf arayüzey gerilimi, KB miktarının artmasıyla daha da zayıflayacağından çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinin de azalması beklenir [25]. Katkısız polipropilenin (PP0) çekme dayanımı 30 MPa ve elastik modülü 480 MPa civarında olmasına karşın bu değerler uyumlaştırıcı olmayan örneklerde KB’nin malzemeyi sertleştirmesinin bir sonucu olarak elastik modülde artışa ve çekme dayanımlarında ise azalmaya neden olmuştur, kompozit örneklerinin tamamı plastik bölgeden hemen sonra kırılmış ve düşük uzama göstermiştir. Selüloz esaslı malzemeler ile ilgili önceki çalışmalarda da ahşabın sahip olduğu yüksek elastik modül nedeniyle, termoplastiklerle birlikte kullanıldığında düşük uzama ve elastik modül artışı raporlanmıştır [26]. Özellikle ağırlıkça %30 KB (PP30) ile hazırlanan örneğin çekme dayanımında katkısız

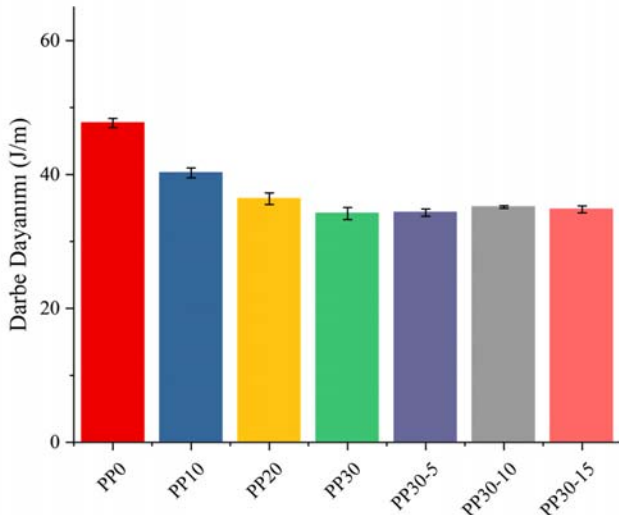
Tablo 3: Kompozitlerin mekanik test sonuçları (Mechanical test results of composites)

Örnek Adı	Çekme Dayanımı MPa	Elastik Modül MPa	Kopmadaki Uzama %	Darbe Dayanımı J/m
PP0	31,19 ± 0,61	479,26 ± 14,30	86,37 ± 2,05	47,71 ± 0,68
PP10	27,73 ± 0,53	522,15 ± 10,60	16,95 ± 2,08	40,24 ± 0,74
PP20	22,32 ± 0,57	536,62 ± 9,52	13,10 ± 0,27	36,38 ± 0,86
PP30	20,32 ± 0,63	566,59 ± 37,11	8,26 ± 0,18	34,16 ± 0,90
PP30-5	27,08 ± 0,49	547,01 ± 26,41	6,91 ± 1,02	34,31 ± 0,54
PP30-10	30,70 ± 0,32	547,66 ± 32,09	7,50 ± 0,68	35,14 ± 0,20
PP30-15	30,59 ± 0,55	535,67 ± 40,74	7,18 ± 0,71	34,79 ± 0,52

PP'ye (PP0) oranla %35'lere varan bir azalma ve elastik modülünde ise %15 civarında bir artış gözlemlenmektedir.

%30 KB içerikli PP30 örneği için farklı miktarlarda kullanılan uyumlaştırıcının etkileri incelendiğinde ise; örneklerin çekme dayanımlarında dikkate değer artış görülmektedir. Özellikle 10 ve 15 phr MAPP kullanılan örneklerde (PP30-10 ve PP30-15) elde edilen çekme dayanımı değerleri katkısız PP (PP0) düzeyine kadar ilerlemiştir. Bununla birlikte elastik modüllerde de aynı KB oranına sahip uyumlaştırıcısız örneğe (PP30) oranla, ortalama %3 oranında bir azalma eğilimi görülmektedir. Burada uyumlaştırıcı ile malzemenin daha kırılğan hale geçtiği ve çekme yükü altında daha az uzama göstererek koptuğu anlaşılmaktadır. MAPP'nin, KB ile PP arasındaki kovalent etkileşimleri arttırmasının sonucunda arayüzeylerdeki güçlü bağlanma ile çekme dayanımını olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir [27, 28].

Şekil 4'te verilen darbe direnci değerlerine bakıldığında ise saf PP'ye %10 KB eklenmesi ile darbe mukavemetinde %15 oranında bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu azalma uyumlaştırıcı olmayan örneklerde KB miktarının artışı ile doğrusal olarak devam etmektedir. Malzemenin darbe dayanımındaki bu doğrusal değişikliklerin, polimer-KB uyumsuzluğunun bir sonucu olarak zayıf arayüzey yapışması nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Aynı zamanda KB taneciklerinin sertliği, PP'nin moleküler hareketliliğini kısıtladığı için, polimer zincirlerinin yönlenebilmesi de mekanik özelliklerdeki bu düşüşü açıklar niteliktedir [29].



Şekil 4. Örneklerin darbe dayanımları (Impact resistances of samples)

Genel olarak MAPP, çekme mukavemetine olumlu etki etmesine karşılık, darbe mukavemetinde anlamlı bir değişikliğe katkı sunmamıştır. MAPP varlığında en yüksek darbe direnci 10 phr kullanıldığında elde edilmiş ancak sadece %3 oranında bir iyileştirme

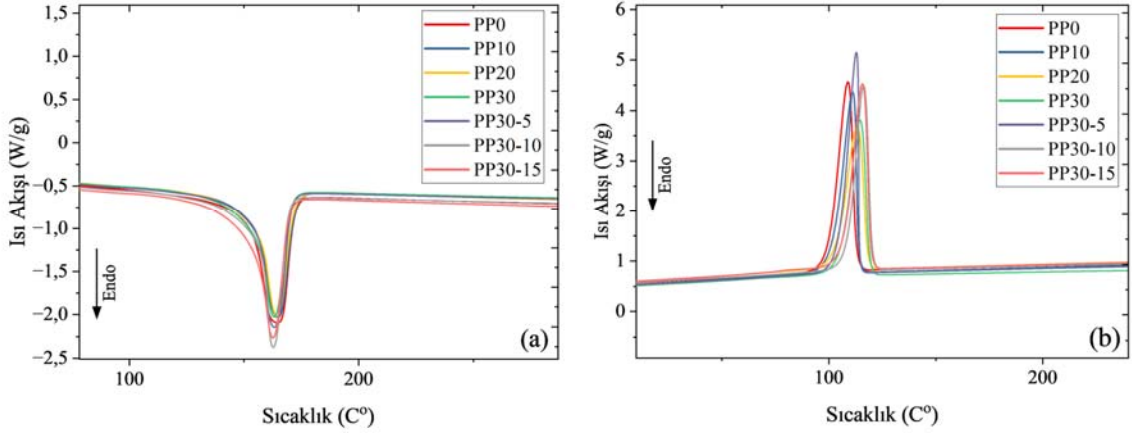
sağlamıştır. Ahşap takviyeli termoplastik kompozitler ile ilgili yapılan birçok çalışma, darbe direncinin ahşap dolgusu ile azaldığını raporlamaktadır [30]. Bu durum sadece ahşap malzemelerde değil, mineral, toz haldeki katkıları, kalsit vb. gibi parçacık dolgululu çoğu kompozit ya da polimer karışımında da karşımıza çıkmaktadır [31, 32]. Parçacık dolgululu sistemlerde matristen daha sert olan her parçacığın, yeni bir çatlak oluşumuna yol açtığına inanılmaktadır [33]. KB ile yapılan kompozit örneklerinin darbe direncindeki düşüşün de bu durumla ilgili olduğu düşünülmektedir.

4.3. Termal Özellikler (Thermal Properties)

Kompozitlere uygulanan DSC analizi sonucu elde edilen veriler Tablo 4'te ve DSC termogramları Şekil 5'te verilmiştir. Endotermik termogramlar, KB varlığının PP matrisin erime sıcaklıkları üzerinde büyük bir etkisinin olmadığını ve kompozitlerin T_m sıcaklıklarının saf PP ile neredeyse aynı olduğunu göstermektedir. Tespit edilen 165 °C civarındaki erime sıcaklığı, önceki çalışmalar ve üretici verileri ile de örtüşmektedir [34, 35]. Kristalizasyon sıcaklıklarının KB miktarındaki artış ile arttığı görülmektedir. Ligno-selülozik [36] yapıda olan KB, PP'nin kristallenme süreçlerini hızlandırıyor olabilir, bu da polimerin daha düşük sıcaklıklarda daha hızlı kristallenmesine neden olur. Nitekim kompozitler ile ilgili önceki çalışmalarda kullanılan dolgunun çekirdekleştirici ajan gibi davranması sonucu yüksek sıcaklıklarda daha kolay kristallenme sağlayabileceği raporlanmıştır [22].

Ancak, erime entalpileri ve bu entalpiler kullanılarak hesaplanan polipropilenin kristalizasyon derecesi değerlerinde KB miktarı arttıkça ters orantılı olarak azalmalar görülmektedir. Erime entalpileri kullanılarak Eş. 1'e göre hesaplanan kristallenme derecelerine bakıldığında; KB miktarı arttıkça X_c değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Burada KB'nin PP'deki zincir hareketlerini engellemesi sonucu kristalizasyonu azalttığı düşünülmektedir. Ancak uyumlaştırıcı ile bu değerde iyileşme gözlenmiştir. Burada KB'nin miktarındaki artışa paralel olarak, kristalizasyonu engellemesi ancak uyumlaştırıcı ile elde edilen yüksek arayüzey etkileşiminin sonucu olarak kristalizasyona katkı sağladığı düşünülmektedir [27].

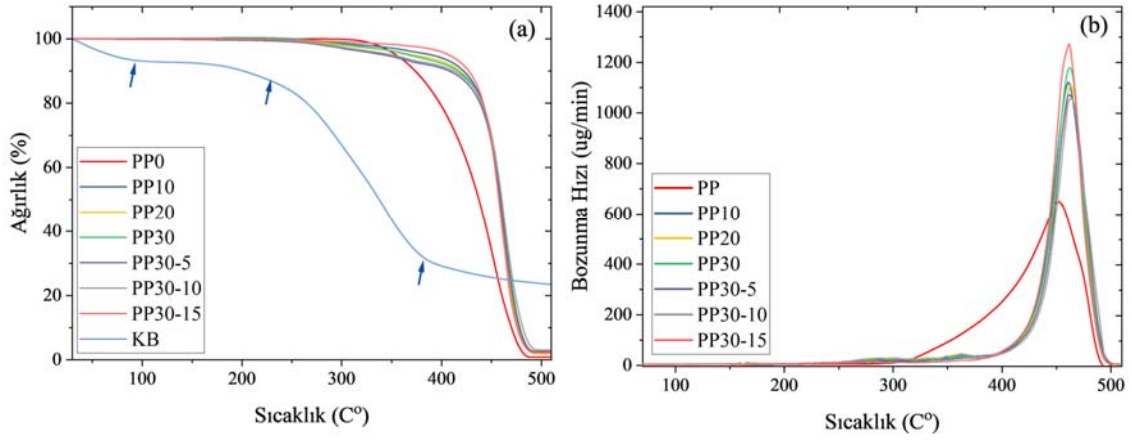
Kompozitlerin termal bozunma davranışlarının tespiti amacıyla uygulanan termo-gravimetrik analiz sonuçları Tablo 5'de ve elde edilen eğriler, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ağırlık kaybı, Şekil 6a'da ve bu kaybın anlık hızı Şekil 6b'de verilmiştir. PP'nin ve hazırlanan kompozitlerin tek aşamalı bozunma davranışı sergiledikleri görülmektedir. PP'nin kütle kaybı 323°C'de başlamış ve 488°C'de tamamlanmıştır, bu değerler önceki çalışmalar ile uyumludur [37,38]. KB'nin TGA termogramında ise üç aşamalı bir bozunma görünmektedir. Bu aşamalar mavi renkteki oklar ile işaretlenmiştir. 100 °C'de tamamlanan ve yaklaşık %8'lik kısmın bozunduğu ilk aşama nem varlığına atfedilmiştir [39]. 230 °C ile 370 °C arasındaki ikinci aşamada %70 bozunma gerçekleşmiştir ve bu aşama selüloz, hemi-selüloz bozunma sıcaklığıdır [39, 40]. 400 °C ve sonrasındaki kısım ise lignin, diğer bileşenler ve kül ile ilişkilendirilmektedir [41].



Şekil 5. Örneklerin erime (a) ve kristallenme (b) termogramları (Melting (a) and crystallization (b) thermograms of samples)

Tablo 4. Örneklerin DSC Analizi Sonuçları (DSC results of samples)

Örnek Adı	$T_{m,peak}$ °C	$T_{c,peak}$ °C	ΔH_m J/g	X_c %
PP0	164.67	112.71	101.39	48.98
PP10	164.82	111.14	80.98	43.47
PP20	163.64	112.85	69.12	41.74
PP30	164.41	113.14	58.81	40.58
PP30-5	163.75	114.52	62.78	42.72
PP30-10	164.10	115.69	65.51	43.96
PP30-15	163.64	116.23	67.87	44.92



Şekil 6. (a) Sıcaklık-Ağırlık ve (b) Sıcaklık-Bozunma Hızı Grafikleri (Temperature-Weight (a) and Temperature-Degradation Rate (b) Graphs of Samples)

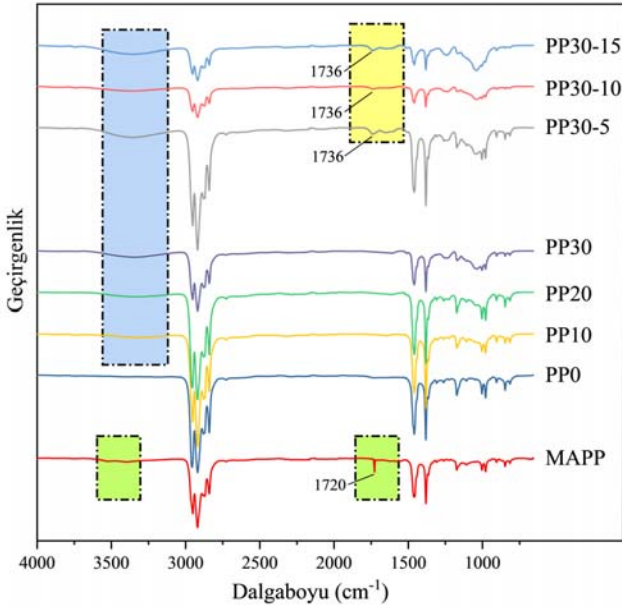
Tablo 5. Kompozitlerin TGA Analizi Sonuçları (TGA results of composites)

Örnek Adı	$T_{d,başl}$ °C	$T_{d,5}$ °C	$T_{d,50}$ °C	$T_{d,maks}$ °C
PP0	323	354	437	488
PP10	297	371	458	491
PP20	286	370	458	492
PP30	282	366	459	491
PP30-5	254	341	459	492
PP30-10	265	349	460	487
PP30-15	275	407	457	494

KB'nin sisteme eklenmesi ile bozunma başlangıç sıcaklıklarının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. KB'deki selülozun bozunma başlangıç sıcaklığının düşük olması nedeniyle, kompozitlerin de PP'ye oranla daha düşük sıcaklıklarda bozunmaya başladıkları düşünülmektedir [22]. Bozunma hızı/sıcaklık eğrileri incelendiğinde ise; katkısız PP'nin, bozunmanın başlama ile bitişi arasındaki sıcaklık aralığına yayılan, yavaş bir bozunma sergilediği ancak KB'nin eklenmesi ile yanmanın daha yüksek sıcaklıkta ancak hızlı bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Başka bir anlatım ile kompozit örneklerinin bozunmasının KB dolgusu ile geciktirildiği söylenebilir, nitekim Şekil 6b'deki eğriler de bunu desteklemektedir. PP'nin bozunması sırasında ortaya çıkan uçucu bileşenlerin kompozitteki doğal lifler sayesinde adsorbe edilebileceği ve bu sayede kompozitin termal kararlılığında iyileşme sağlandığı önceki çalışmalarda rapor edilmiştir [22, 42].

4.4. FTIR Spektroskopik Özellikler (FTIR Spectroscopic Properties)

Şekil 7'de örneklerin FTIR spektrumları verilmiştir. 1375 cm^{-1} ve 1451 cm^{-1} dalga boylarındaki güçlü bantlar PP'nin karakteristik (C-H) titreşim pikleridir [43, 44]. Katkısız PP'de (PP0) görünmeyen ancak MA aşılınmış örnekte (MAPP) gözlenen ve spektrumda yeşil renkte taranan 1700-1750 cm^{-1} dalga boyu arasındaki bantlar maleik anhidrit yapısındaki karbonil grubuna atfedilmektedir [44]. 1720 cm^{-1} dalga boyundaki pik ve 3500 cm^{-1} dalga boyundaki titreşimlerin de MA'daki -OH ve C=O gruplarından kaynaklandığı rapor edilmiştir [44, 45]. PP matrisine KB'nin eklenmesi ile spektrumda mavi ile taranan bölgede gözlenen 3300-3700 cm^{-1} dalga boyundaki hidroksil (-OH) gerilme bandındaki yoğunluk artışının KB'nin odunsu yapısı nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir [46]. MAPP kullanılan kompozitlerde, 1600-1800 cm^{-1} aralığında piklerin ahşap liflerinin hidroksil grupları ile uyumlaştırıcının anhidrit fonksiyonallitesi arasındaki esterleşme reaksiyonu ile ilişkilendirilmektedir [47].



Şekil 7. Örneklerin FTIR Spektrumları (FTIR Spectrums of samples)

Kompozitlere MAPP'nin eklenmesi ile; spektrumda sarı renkle taranan bölgede 1736 cm^{-1} dalga boyunda belirgin pikler görülmektedir. Uyumlaştırıcı olmayan örneklerde karşımıza çıkmayan bu pikler KB'nin hidroksil grubu ile MAPP'nin anhidriti arasındaki esterleşme reaksiyonuna işaret etmektedir [48, 49]. FTIR ile elde edilen sonuçlar, MAPP varlığında, KB ile matris arasındaki

etkileşimlerin ve yeni fonksiyonel grupların oluşumlarını açıklar niteliktedir.

5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, kayısı çekirdeği kabuğu kullanılarak polipropilen esaslı kompozit malzemeler üretilmiş ve bu kompozitlerin morfolojik, mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, KB'nin PP matrisi içinde homojen dağılımının sağlandığını ve uyumlaştırıcı kullanımıyla da arayüzey etkileşiminin artırılarak mekanik özelliklerde iyileşmeler sağlanabileceğini göstermiştir. KB oranının %30'a çıkarılması, çekme dayanımında %35'e varan bir azalma ve elastik modülde %15 civarında bir artış sağlamıştır. Uyumlaştırıcı ile (MAPP), %30 KB içeren kompozitlerin çekme dayanımını 30,70 MPa (PP30-10) ve 30,59 MPa (PP30-15) değerlerine kadar artmıştır. Bu değer, katkısız PP'nin (PP0) tespit edilen çekme dayanımına oldukça yakındır. DSC sonuçları, KB kullanımının kompozitlerin erime sıcaklıkları üzerinde büyük bir etkisinin olmadığını, ancak erime entalpilerinin ve kristalizasyon oranlarının azaldığını göstermiştir. Aynı zamanda uyumlaştırıcı kullanımı ile kristallenme oranı artmıştır. PP30 örneğinde kristalizasyon derecesi %40,58 olarak bulunmuş, MAPP katkısı ile bu değer %44,92'ye (PP30-15) kadar yükselmiştir. TGA analizleri, KB katkısının bozunma başlangıç sıcaklıklarını düşürdüğünü, ancak kompozitlerin termal kararlılığını artırdığını ortaya koymuştur. Katkısız PP'nin kütle kaybı 323°C'de başlarken, KB katkılı kompozitlerde bu sıcaklık 282°C'ye kadar düşmüştür. Bu bulgular ile; kayısı çekirdeği kabuğunun çevresel açıdan sürdürülebilir bir dolgu / takviye malzemesi olarak termoplastik kompozitlerde kullanılabileceği düşünülmektedir. Özellikle son yıllarda mimaride ve yapı sektöründe sıklıkla kullanılan ahşap levhaların yerini alan termoplastik esaslı kompozit levhaların üretiminde KB'nin kullanılması ile hem plastik hem de ağaç tüketimi azaltılabilir. Böylelikle KB'unu için de yeni bir kullanım alanı ortaya çıkacaktır. Aynı zamanda otomotiv iç döşemeleri, kapı ve tavan panelleri gibi yüksek mukavemet istenmeyen ancak sürdürülebilirliğin ön planda olduğu uygulamalarda da kullanılabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Malzeme teminindeki hibeleri nedeniyle Tersun Kayısı Çekirdeği Sanayii (Malatya, Türkiye) ve Tisan Mühendislik Plastikleri (İstanbul, Türkiye) şirketlerine ve kompozitlerin hazırlanmasındaki yardımları nedeniyle Ahmet Buğra Demir ve Emir Karaman'a teşekkür ederim.

Kaynaklar (References)

1. PAGEV. Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2023. [https://pagev.org/upload/files/Plastik Sektör Raporu 2023.pdf](https://pagev.org/upload/files/Plastik%20Sektör%20Raporu%202023.pdf). Yayın tarihi 2024. Erişim tarihi Şubat 25, 2024.
2. Aslan H.Ç., Kaya M.A., Production of thermoplastic starch for polymer blending and determination of morphological, thermal, and rheological properties of thermoplastic starch/polyethylene blends, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 38 (3), 1547–1560, 2023.
3. Hasdemir M., Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. Kayısı Ürün Raporu 2023. <https://arastirma.tarimormn.gov.tr/teppe/Belgeler/PDF%20Ürün%20Raporları/2023%20Ürün%20Raporları/Kayısı%20Ürün%20Raporu%202023-377%20TEPGE.pdf>. Yayın tarihi Mayıs, 2024. Erişim tarihi Şubat 25, 2024.
4. Cañellas J., Femenia A., Rosselló C., Soler L., Chemical composition of the shell of apricot seeds, J Sci Food Agric, 59 (2), 269–271, 1992.
5. Aljoumaa K., Tabeikh H., Abboudi M., Characterization of apricot kernel shells (Prunus armeniaca) by FTIR spectroscopy, DSC and TGA, Journal of the Indian Academy of Wood Science, 14 (2), 127–132, 2017.

6. Wu F., Yu Q., Liu C., Brouwers H.J.H., Wang L., Effect of surface treatment of apricot shell on the performance of lightweight bio-concrete, *Constr Build Mater*, 229, 116859-116869, 2019.
7. Yıldız S., Emiroğlu M., Atalar O., Apricot pip shells used as aggregate replacement, *Journal of Civil Engineering and Management*, 18 (3), 318-322, 2012.
8. Bahçe H.T., Temiz Ş., Vakum İnfüzyon Metoduyla Üretilen Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozu Katkılı Tabakalı Kompozitlerin Mukayese Edilmesi, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 125-146, 2019.
9. Adhami S., Ghorbanpoor H., Azak B., Kapucu S., Nurbas M., Avcı H., A Novel Approach for Water Treatment by Using Activated Carbon : Apricot Kernel Shell, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(1), 1-7, 2018.
10. Temiz H., Maras M.M., Kantarcı F., Polimer Katkılı Kompozitlerin Mekanik ve Yalıtım Özelliklerinin İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (2), 1394-1406, 2020.
11. Çelik Y.H., Yalcın R., Topkaya T., Başaran E., Kilickap E., Characterization of Hazelnut, Pistachio, and Apricot Kernel Shell Particles and Analysis of Their Composite Properties, *Journal of Natural Fibers*, 18 (7), 1054-1068, 2021.
12. Fidan M.S., Ertaş M., Bio-based Rigid Polyurethane Foam Prepared from Apricot Stone Shell-based Polyol for Thermal Insulation Application - Part 2: Morphological, Mechanical, and Thermal Properties, *Bioresources*, 15 (3), 6080-6094, 2020.
13. Oral I., Kocaman S., Ahmetli G., Characterization of unmodified and modified apricot kernel shell/epoxy resin biocomposites by ultrasonic wave velocities, *Polymer Bulletin*, 80 (5), 5529-5552, 2023.
14. Koç V., Sancar İ., Baran M.F., Taştan M.A., Kayısı Çekirdeği Kabukları Kullanılarak Yalıtım Amaçlı Kompozit Malzeme Üretilmesi, *Journal of Agricultural Machinery Science*, 11 (4), 309-314, 2015.
15. Bahçe E., Demirel M.H., Köytepe S., Seçkin T., Production of abrasive apricot kernel shell powder/boron nitride/polyester composites for cleaning of paint and corrosion on metal surfaces, *Polym Compos*, 41 (2), 544-555, 2020.
16. Ali A., Ali S., Yu L., Liu H., Khalid S., Hussain A. et al., Preparation and characterization of starch-based composite films reinforced by apricot and walnut shells, *J Appl Polym Sci*, 136 (38), 47978, 2019.
17. Väisänen T., Haapala A., Lappalainen R., Tomppo L., Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review, *Waste Management*, 54, 62-73, 2016.
18. Rowell R.M., *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, First Edition, CRC Press, A.B.D., 2005.
19. Kosovalı Çavuş F., Özcanlı Y., Beken M., The effect of PET additive on mechanical and morphological properties of PP, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 319-326, 2019.
20. Kasgöz A., Compatibilization of polyoxymethylene (POM)/polypropylene (PP) blends and investigation of mechanical, rheological and solid-state creep properties, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (4), 2225-2238, 2020.
21. Dányádi L., Renner K., Szabó Z., Nagy G., Móczó J., Pukánszky B., Wood flour filled PP composites: adhesion, deformation, failure, *Polym Adv Technol*, 17 (11-12), 967-974, 2006.
22. Jalae A., Trotman K., French V., Raghunath S., Brito dos Santos F., Foster E.J., Improved thermomechanical and rheological properties of polypropylene composites with thermomechanical pulp for injection molding, *Polym Compos*, 45, 12782-12795, 2024.
23. Jose S., Aprem A.S., Francis B., Chandy M.C., Werner P., Alstaedt V. et al., Phase morphology, crystallisation behaviour and mechanical properties of isotactic polypropylene/high density polyethylene blends, *Eur Polym J*, 40 (9), 2105-2115, 2004.
24. Baig M., Almeshari B., Aabid A., Junaedi H., Almajid A., The effect of maleic anhydride grafted polypropylene addition on the degradation in the mechanical properties of the PP/wood composites, *Heliyon*, 10 (9), e30510, 2024.
25. Ashori A., Nourbakhsh A., Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials, *Waste Management*, 29 (4), 1291-1295, 2009.
26. Zárate-Pérez C., Ramirez-Aguilar R., Franco-Urquiza E.A., Sánchez-Alvarado C., The Role of Coupling Agents in the Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene/Wood Flour Composites, *Macromol*, 3 (1), 65-78, 2023.
27. Nayak S.K., Mohanty S., Sisal Glass Fiber Reinforced PP Hybrid Composites: Effect of MAPP on the Dynamic Mechanical and Thermal Properties, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (10), 1551-1568, 2010.
28. Hristov V., Vasileva S., Dynamic mechanical and thermal properties of modified poly(propylene) wood fiber composites, *Macromol Mater Eng*, 288 (10), 798-806, 2003.
29. Wang Y., Shi Y., Shao W., Ren Y., Dong W., Zhang F. et al., Crystallization, Structures, and Properties of Different Polyolefins with Similar Grafting Degree of Maleic Anhydride, *Polymers* 2020, 12 (3), 675-688, 2020.
30. Várdai R., Lummerstorfer T., Pretschuh C., Jerabek M., Gahleitner M., Pukánszky B. et al., Impact modification of PP/wood composites: A new approach using hybrid fibers, *Express Polym Lett*, 13 (3), 223-234, 2019.
31. Keledi G., Sudar A., Burgstaller Ch., Renner K., Moczo J., Pukánszky B., Tensile and impact properties of three-component PP/wood/elastomer composites, *Express Polym Lett*, 6 (3), 224-236, 2012.
32. Butylina S., Martikka O., Kärki T., Properties of Wood Fibre-Polypropylene Composites: Effect of Wood Fibre Source, *Applied Composite Materials*, 18 (2), 101-111, 2011.
33. Mareri P., Bastide S., Binda N., Crespy A., Mechanical behaviour of polypropylene composites containing fine mineral filler: Effect of filler surface treatment, *Compos Sci Technol*, 58 (5), 747-752, 1998.
34. Ndiaye D., Tidjani A., Effects of coupling agents on thermal behavior and mechanical properties of wood flour/polypropylene composites, *J Compos Mater*, 46 (24), 3067-3075, 2012.
35. PETKİM. Technical Data Sheet - Petoplen MH418 Polypropylene. <https://app.petkim.com.tr/QDMSFiles/File.ashx?fn=PPU-CST-TDS-0061&l=en&f=urunler>. Yayın tarihi Ocak 12, 2023. Erişim tarihi Şubat 25, 2024.
36. Ali S., Masud T., Abbasi K.S., Physico-chemical characteristics of apricot (*Prunus armeniaca* L.) grown in Northern Areas of Pakistan, *Sci Hortic*, 130 (2), 386-392, 2011.
37. Park H.J., Heo H.S., Yoo K.S., Yim J.H., Sohn J.M., Jeong K.E. et al., Thermal degradation of plywood with block polypropylene in TG and batch reactor system, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 17 (3), 549-553, 2011.
38. Supan K.E., Robert C., Miller M.J., Warrender J.M., Bartolucci S.F., Thermal degradation of MWCNT/polypropylene nanocomposites: A comparison of TGA and laser pulse heating, *Polym Degrad Stab*, 141, 41-44, 2017.
39. Poletto M., Zattera A.J., Forte M.M.C., Santana R.M.C., Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size, *Bioresour Technol*, 109, 148-153, 2012.
40. Demiral İ., Kul Ş.Ç., Pyrolysis of apricot kernel shell in a fixed-bed reactor: Characterization of bio-oil and char, *J Anal Appl Pyrolysis*, 107, 17-24, 2014.
41. Qaiss A., Bouhfid R., Essabir H., Characterization and Use of Coir, Almond, Apricot, Argan, Shells, and Wood as Reinforcement in the Polymeric Matrix in Order to Valorize These Products, *Agricultural Biomass Based Potential Materials*. Hakeem, K. R., Jawaid, M., Y. Alothman, O., Springer International Publishing, 305-339, 2015.
42. Islam M., Sharif A., Hussain M., Hassan I., Synergic effect of recycled cotton fabric and wood saw dust reinforced biodegradable polypropylene composites, *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 54 (1), 21-30, 2019.
43. Abd Rahman N., Hassan A., Heidarian J., Effect of compatibiliser on the properties of polypropylene/glass fibre/nanoclay composites, *Polimeros*, 28 (2), 103-111, 2018.
44. Liu Y., Fang Y., Qian J., Liu Z., Yang B., Wang X., Bio-inspired polydopamine functionalization of carbon fiber for improving the interfacial adhesion of polypropylene composites, *RSC Adv*, 5 (130), 107652-107661, 2015.
45. Zhu L., Cao J., Wang Y., Liu R., Zhao G., Effect of MAPP on interfacial compatibility of wood flour/polypropylene composite evaluated with dielectric approach, *Polym Compos*, 35 (3), 489-494, 2014.
46. Ermeidan M.A., Aykanat O., Altın Y., Preparation and characterization of hybrid PLA biocomposites reinforced by wood and silane treated basalt fibers or compatibilized by maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP), *Polym Compos*, 45 (11), 9831-9844, 2024.
47. Dos Santos L.P., Trombetta E., Flores-Sahagun T.S., Satyanarayana K.G., Effect of domestic compatibilizer on the performance of

- polypropylene-sawdust composites, *Journal of Composite Materials*, 50 (10), 1353–1365, 2015.
48. Sanadi A.R., Guna V., Hoysal R. V., Krishna A., Deepika S., Mohan C.B. et al., MAPP Compatibilized Recycled Woodchips Reinforced Polypropylene Composites with Exceptionally High Strength and Stability, *Waste Biomass Valorization*, 15 (1), 301–312, 2024.
49. Zhou X., Yu Y., Lin Q., Chen L., Effects of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the physico-mechanical properties and rheological behavior of bamboo powder-polypropylene foamed composites, *Bioresources*, 8 (4), 6263–6279, 2013.