

Atf İçin: Ulutaş, E. ve Taşdemir, M. (2024). Polipropilenin Mekanik Özelliklerine Muz ve Pirinç Kabuğu Tozlarının Etkilerinin İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 1310-1319.

To Cite: Ulutaş, E. & Taşdemir, M. (2024). Investigation of the Effects of Banana and Rice Husk Powders on the Mechanical Properties of Polypropylene. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(3), 1310-1319.

Polipropilenin Mekanik Özelliklerine Muz ve Pirinç Kabuğu Tozlarının Etkilerinin İncelenmesi

Elif ULUTAŞ^{1*}, Münir TAŞDEMİR¹

Öne Çıkanlar:

- Doğal katkı içeren kompozitler ekstrüzyonda hazırlandı.
- Takviye oranının mekanik özelliklere etkisi incelendi.
- MK/PK tozlarının matris içerisindeki davranışı mikroyapı analizi ile incelendi.

Anahtar Kelimeler:

- Polipropilen
- Kompozit
- Muz kabuğu
- Pirinç kabuğu
- Mekanik özellikler

ÖZET:

Üretimde doğal malzemelerin kullanımına büyük ilgi vardır ve bu durum ekolojik kaygılardan kaynaklanmaktadır. Atık değerlendirme ve iyi ekonomik getirilerin sağlanması, doğal kompozitlerin geliştirilmesindeki iki temel dayanaktır. Doğal dolgu malzemelerinin biyolojik olarak parçalanabilirliği, doğal elyaf takviyeli kompozitlerde kullanımlarının genişletilmesindeki faktörlerden biridir. Tasarım ve inşaat endüstrilerinin yanı sıra otomotiv, havacılık ve denizcilik gibi farklı uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılan doğal katkılı kompozitler, malzemeye geliştirilmiş mekanik ve tribolojik özellikler sunmaktadır. Doğal katkıların polimer üzerindeki mekanik etkilerin incelendiği çalışmada atık muz kabuğu tozu ve pirinç kabuğu tozu polipropilen içerisine farklı konsantrasyonlarda ilave edilmiştir. Kompoziti oluşturan bileşenlerin eriyik olarak karıştırılmasının ardından enjeksiyonda kalıplama yapılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla çekme, sertlik, Izod darbe mukavemeti, yoğunluk testleri yapılmış olup kompozitlerin mikroyapı incelemesi taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda polimere doğal katkı eklenmesi darbe özelliğinin, uzama miktarının ve kopma mukavemetinin bozulmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra takviye oranının artışıyla polimer kompozitlerin yoğunluğu, sertlik miktarı ve elastiklik modülü artış göstermiştir.

Investigation of the Effects of Banana and Rice Husk Powders on the Mechanical Properties of Polypropylene

Highlights:

- Composites containing natural additives were prepared by extrusion.
- The effect of reinforcement ratio on mechanical properties was examined.
- The behavior of MK/PK powders in the matrix was examined by microstructural analysis

Keywords:

- Polypropylene
- Composite
- Banana peel
- Rice husk
- Mechanical properties

ABSTRACT:

There is great interest in using natural materials in production, and this is due to ecological concerns. The two main pillars in developing natural composites are waste utilization and ensuring good economic returns. The biodegradability of natural fillers is one of the factors in expanding their use in natural fiber-reinforced composites. Naturally added composites, which are effectively used in different applications such as automotive, aviation, and maritime as well as design and construction industries, offer improved mechanical and tribological properties to the material. In the study where the mechanical effects of natural additives on the polymer were examined, waste banana peel powder and rice peel powder were added to polypropylene at different concentrations. After melt mixing of the components forming the composite, injection molding was performed. To determine the mechanical properties, tensile, hardness, Izod impact strength and density tests were carried out, and the microstructure examination of the composites was carried out with a scanning electron microscope. As a result of the studies, adding natural additives to the polymer caused the impact properties, elongation amount and tensile strength to deteriorate. In addition, with the increase in the reinforcement ratio, the density, hardness and elastic modulus of polymer composites increased.

¹ Elif ULUTAŞ ([Orcid ID: 0000-0001-7753-8878](https://orcid.org/0000-0001-7753-8878)), Münir TAŞDEMİR ([Orcid ID: 0000-0001-8635-7251](https://orcid.org/0000-0001-8635-7251)), Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Elif ULUTAŞ, e-mail: elif.ulutas@marmara.edu.tr

GİRİŞ

Geçtiğimiz yıllarda artan çevresel kaygılar ve yenilenebilir kaynaklara ilişkin farkındalık neticesinde, sorunlara uzun vadeli bir çözüm bulunması amacıyla; çevre dostu, sürdürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen yüksek performanslı sahip çeşitli biyo bazlı ürünlere olan talep artmaktadır. Bu talep doğrultusunda; doğal katkılar ve lifler mükemmel fizikokimyasal ve mekanik özelliklerinden dolayı kompozit endüstrisinde önemli bir yer tutmaktadır. Biyoyoumlu, çevre dostu ve yenilenebilir kaynaklardan üretilmeleri sebebiyle birçok uygulamada cam elyaf, karbon elyaf ve aramit elyaf gibi pahalı ve yenilenemeyen sentetik elyafların yerine yaygın olarak kullanılırlar (Syduzzaman ve ark., 2020; Asyraf ve ark., 2022; Taşgın ve Kandemir, 2023). Bununla birlikte 1930'lu yıllardan bu yana birçok uygulamada yer alan ve spesifik sertlik ve mukavemete sahip sentetik elyaflar cilt dostu olmaması ve yol açtığı çevresel dengesizlikler sebebiyle kullanımını her geçen gün azalmaktadır (Prakash ve ark., 2022). Farklı boyutlarda, şekillerde ve ağırlıklarda kullanılabilen doğal katkı malzemeleri kompozitlere daha az maliyet, düşük takım aşınması, birim hacim başına daha az yoğunluk ve arzu edilen mekanik mukavemet gibi özellikler kazandırması nedeniyle sentetik dolgular yerine kullanılmasında bilim insanları ve sanayiciler tarafından büyük ilgi görmektedir (Saba ve ark., 2014; Jagadeesh ve ark., 2022).

Biyokütleden, doğal kaynaklardan ve doğada mevcut olan gıda ürünlerinden elde edilen çok büyük miktardaki kalıntılar, birçok endüstriyel üniteye yenilenebilir enerji için uygun kaynaklar olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ekolojik güvenliğe yönelik artan ilgi ve daha yeşil bir toplum için yenilenebilir bileşenlerin kullanılması nedeniyle, doğal katkı ve liflerin dolgu maddesi/takviye olarak uygulanması önemli ölçüde iyileştirilmiştir (Altun ve ark., 2017; Güçlüer, 2020; Koruyucu ve Balaban, 2021). Bitkilerin yaprak, meyve kabukları, tohumları ve köklerinden elde edilen doğal elyaflar selüloz, lignin ve hemiselüloz yapıtaşlarından oluşmaktadır (Fuqua, Huo ve Ulven, 2012). Bu tip dolgular tarım alanındaki temel işlevlerini yerine getirdikten sonra atık oluşumuna sebep olmaktadır. Polimer matrislerde dolgu maddesi olarak kullanılmasıyla özellikler kenevir katkılı polimerler gibi yüksek mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilmektedir (Kalia ve ark., 2009; Sunmaz ve ark., 2023). Doğal elyafların termoplastiklere dahil edilmesi düşük yoğunluk, düşük maliyet, kolay temin edilebilme, yenilenebilirlik, hafiflik, atık değerlendirilmesi gibi iyileştirilmiş özellikler sunar (Mohammed ve ark., 2015). Özellikle otomobillerin iç kısımlarda yer alan gövde panelleri, konsollar, depolama aygıtları, bina ve endüstriyel paneller, bölme panelleri ve asma tavanlar gibi uygulamalar için uygun maliyetli alternatif bir malzeme olmaktadır (Karthi ve diğerleri, 2020). Doğal elyaf takviyeli polimer kompozitler, ahşap, metal ve çelik gibi diğer geleneksel yapı malzemelerine kıyasla gelişmiş modülleri ve hafiflikleri nedeniyle birçok araştırmacı tarafından geniş çapta araştırılmıştır. Literatürde polimerler üzerindeki etkisi incelenen doğal elyaflar ile ilgili pirinç kabuğu (PK), mısır koçanı, odun lifi, pamuk lifi, ayçiçeği çekirdeği kabuğu, muz kabuğu (MK) ve fındık kabuğu katkılı kompozitlere ait çalışmalar yer almaktadır (Mistik ve Merdan, 2011; Arjmandi ve ark., 2015; Adeniye ve ark., 2019; Barczewski ve ark., 2019; Demir ve Elmalı, 2020; Taşdemir ve Şen, 2022).

Kim ve arkadaşlarının ait bir çalışmada ayrı ayrı ağırlıkça %10, 20 ve 30 odun lifi ve pamuk lifi katkılı polipropilen (PP) matrisli kompozitlerin mekanik davranışı incelenmiştir. Her iki lif türü için çekme özelliklerinin karşılaştırıldığı bu çalışmada, odun lifi oranının artmasıyla çekme dayanımında azalma görülmüştür. Bunun aksine pamuk lifi oranının artmasıyla çekme dayanımında artış gözlenmiştir. Bu durum; pamuk liflerinin odun liflerine kıyasla birbiri içerisine geçmiş daha karmaşık bir yapıya sahip olması ile açıklanmıştır (Kim ve ark., 2008). Taşdemir ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, ağaç lifi takviyeli HDPE kompozitleri üretilmiş ve ara yüzey etkileşimini artırmak amacıyla maleik anhidrit kullanılmıştır. Ağaç lifi ilavesiyle sertlik ve elastiklik modülü artmıştır, bunun

aksine uzama miktarı çekme dayanımı azalma göstermiştir (Taşdemir ve ark., 2009). Shalwan ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada doğal elyaflarla takviyelendirilmiş polimer kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Doğal elyaflar polimerlerin sürtünme katsayısını artırdığından bunu önlemek amacıyla grafit dolgunun yağlayıcı özelliğinden faydalanılmıştır. Kompozitlerin performansını etkileyen en önemli faktör matris ve elyaf arasındaki bağlantının zayıflığıdır. Bu sebeple doğal elyaflara NaOH kimyasal işlemi uygulayarak ara yüzey yapışmasını artırmışlardır (Shalwan ve Yousif, 2013). Yapılan çalışma kapsamında atık değerlendirme ve polimere kazandırabileceği özellikler (hafiflik, maliyet, kolay işlenebilirlik, sürdürülebilirlik vb.) açısından doğal katkı malzemesi olarak PK ve MK tercih edilmiştir. Pirinç işleme esnasında pirinç tanelerinden ayrılan PK yüksek kullanılabilirliğe, tokluğa ve hava koşullarına karşı dirence sahiptir ve yalıtım malzemesi olarak kullanılma potansiyeli mevcuttur (Arjmandi ve ark., 2015). Buna ek olarak muz yetiştiriciliği sırasında atık ürün olarak oluşan kabuklar lif bakımından zengindir ve bu lifler endüstriyel uygulama ürünleri için de kullanılırken ortaya çıkan herhangi bir ek maliyetten yoksundur (Deepan ve ark., 2023). Bu deneysel çalışmada kurutulmuş MK ve PK, PP ile karıştırılarak bir polimer kompozit elde edilmiştir ve mekanik özelliklerin incelenmesi için kalıplanan numunelere çekme, sertlik, izod darbe mukavemeti ve yoğunluk testi uygulanmıştır. Bunlara ek olarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı analizleri ve elek analizi yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Kompozisyon ve malzemeler

Yapılan çalışma kapsamında hazırlanan PP/MK/PK polimer kompozitlerine ait karışım oranları Çizelge 1’de verilmiştir. Kompozit üretiminde matris malzemesi olarak kullanılan PP (Moplen EP 3307) Lyondell Basell tarafından temin edilmiştir ve polimerin yoğunluğu 0.9 g/cm^3 ve erime akış indeksi 15 g/10 dk (230 °C, 2.16 kg)’dır. Katkı malzemesi olarak kullanılan MK Granny’s Waffle’dan (Kadıköy-İstanbul) ve PK ise Trakya bölgesinden temin edilmiştir.

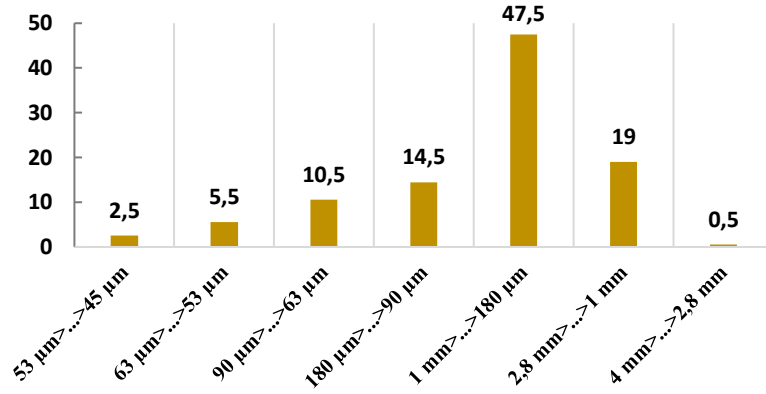
Çizelge 1. PP/MK/PK polimer kompozitlerinin karışım oranları

Gruplar	PP (% ağırlıkça)	MK/PK karışımı (% ağırlıkça 50:50)
1	100	-
2	90	10
3	80	20
4	70	30

Numune Hazırlama

Kompozit üretiminin ilk aşamasında atık MK su ile temizlenerek yüzeyindeki kirlere arındırılmıştır. Ardından MK, PK ve PP 24 saat boyunca 80 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur. MK ve PK bilyalı öğütücü yardımı ile toz haline getirilerek ağırlıkça eşit oranlarda karıştırılarak bir PK/MK karışım tozu hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımdan ağırlıkça %10, 20, 30 oranında PP içerisine ilave edilmiştir. MK/PK karışımının partikül boyut dağılımını gösteren elek analizi sonuçları Şekil 1’de verilmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan polimer-katki malzemesi karışımları çift vidalı bir ekstrüzyon makinesinde (Mikrosan Makine A.Ş., Türkiye) eriyik olarak harmanlanmıştır. Uygun akışın sağlanabilmesi için ekstrüzyon çalışma sıcaklığı 180-210 °C, basınç 50-55 bar ve vida dönme hızı 60 dev/dk olarak ayarlanmıştır. Elde edilen kompozit lifleri granül haline getirilerek 24 saat boyunca 105 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur. Mekanik incelemelerin yapılması için gerekli test numuneleri enjeksiyon makinesinde (Yonca Makine A.Ş., Türkiye) kalıplanmıştır. Enjeksiyon ocak sıcaklığı 180-210 °C, nozul sıcaklığı 220 °C ve enjeksiyon basıncı 800 bar olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1. Katkı malzemesi olarak kullanılan MK/PK karışımının partikül boyut dağılımı

Test Yöntemleri ve Mikroyapı İncelemesi

PP/MK/PK polimer kompozitlerinin elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, elastiklik modülü ve % uzama değerlerini belirlemek için yapılan çekme testleri ASTM D638 standardına uygun olarak 10 kN kapasiteli Zwick Z010 (Almanya) marka cihaz ile 50 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme tesine ait sonuçlar 6 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan sertlik testi Zwick marka bir D durometresi kullanılarak ASTM D2240 standardına uygun gerçekleştirilmiştir ve 8 adet ölçümün ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Ani yük altında numunelerin darbe mukavemetini belirlemek için Zwick B5113 marka cihaz kullanılmıştır ve darbe testi ASTM D256 standardına göre oda sıcaklığında ve çentikli olarak gerçekleştirilmiştir. Darbe testi sonuçları 6 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Yoğunluk testi ISO 2781 test standardına göre yapılmıştır ve 3 adet numuneye uygulama yapılarak sonuçlar hesaplanmıştır. PP/MK/PK polimer kompozitlerinin ara yüzey özelliklerini incelemek için FEI Sirion XL30 FEG (Hollanda) marka bir SEM kullanılmıştır. Görüntü alınmasından önce Polaron (İngiltere) marka cihaz ile darbe test numunelerinin kırık yüzeyleri altın-paladyum karışımı ile kaplanmıştır ve daha sonra 5 kV voltaj altında elektron mikroskobisi ile yüzeylerin fotoğrafları çekilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

PP/muz ve Pirinç Kabuğu Polimer Kompozitinin Mekanik Değerleri

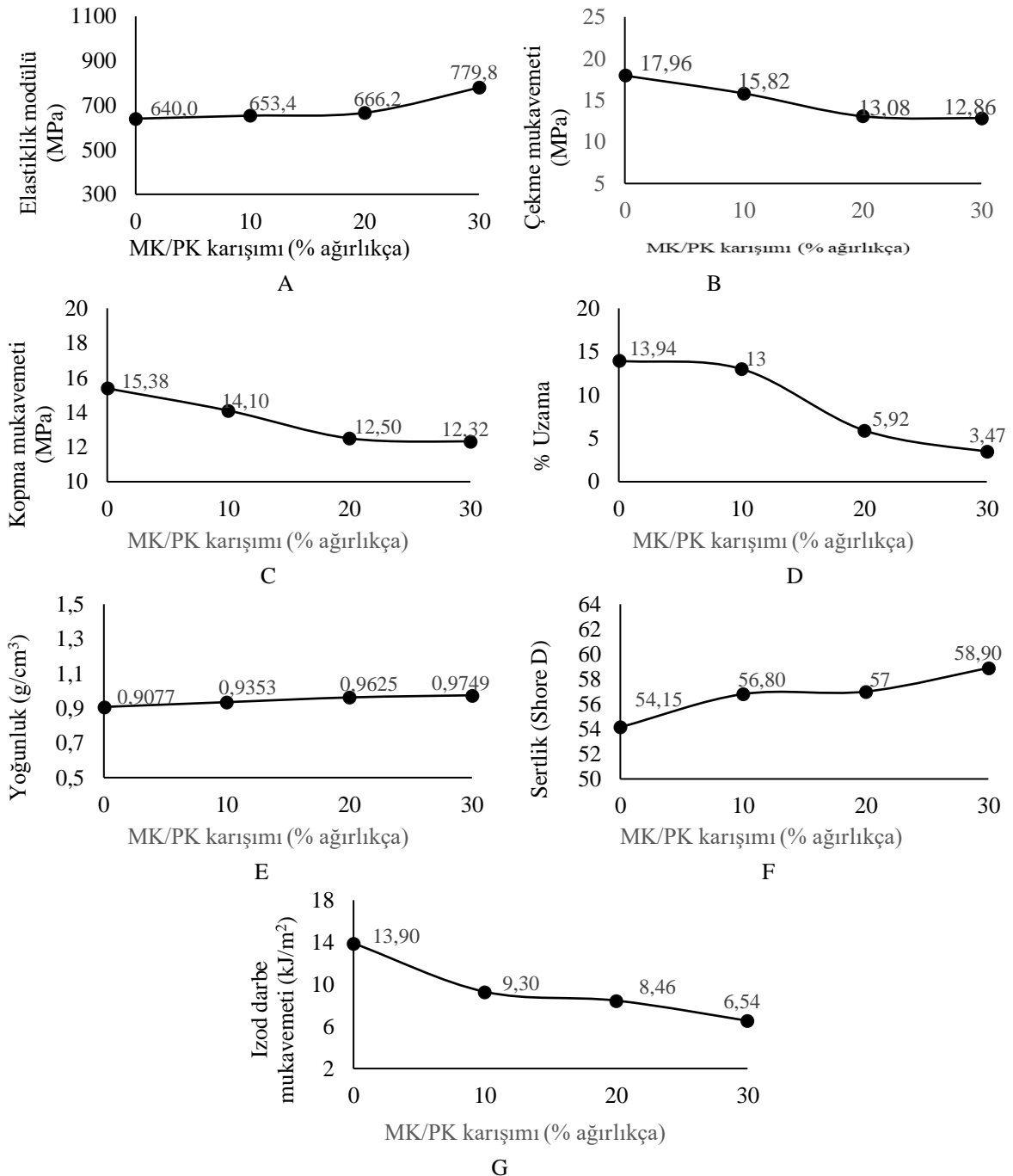
PP/MK/PK polimer kompozitlerinin mekanik değerlerindeki değişim Şekil 2'de verilmiştir. Kompozitlerin elastiklik modülü sonuçlarının yer aldığı Şekil 2A incelendiğinde MK/PK oranının artması ile elastiklik modül değerinin arttığı görülmektedir. Saf PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait elastiklik modül değerleri sırasıyla 640, 653.4, 666.2, 779.8 MPa olarak ölçülmüştür. En yüksek artışın %30 MK/PK karışımı ilavesinde olduğu görülmektedir. Saf PP, %30 MK/PK ilaveli grup ile karşılaştırıldığında elastiklik modül değerinin %21.8 oranında arttığı tespit edilmiştir. Ayrılmış ve arkadaşları ağırlıkça %40 oranında kayın ve çam ağacı tozlarını PP içerisine ilave ederek iki farklı kompozit malzeme üretmişlerdir. Her bir kompozit karışımı için ağırlıkça %3 oranında uyumlaştırıcı malzeme kullanmışlardır. Yapmış oldukları çekme testi sonucunda her iki katkı malzemesi için elastiklik modülü yaklaşık olarak %190 oranında artış göstermiştir (Ayrılmış ve ark., 2017). Kompozitlerin çekme mukavemeti sonuçlarının yer aldığı Şekil 2B incelendiğinde MK/PK oranının artması ile bu değer azaldığı görülmektedir. Saf PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait çekme mukavemeti değerleri sırasıyla 17.96, 15.82, 13.08, 12.86 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük çekme mukavemeti %30 MK/PK karışımı ilaveli numunelerde görülmektedir. Saf PP, %30 MK/PK ilaveli grup ile karşılaştırıldığında çekme mukavemeti değerinin %28,4 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Özsoy'a ait

ağırlıkça %6, 8, 10 oranında bambu lifinin epoksi üzerindeki mekanik etkilerinin incelendiği bir çalışmada çekme testi sonucunda benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Saf epoksiye kıyasla bambu konsantrasyonunun artmasıyla çekme dayanımı %54 oranında düşüş göstermiştir (Özsoy, 2015). Bunun aksine Ayrılmış ve Taşdemir doğal katkıların PP üzerinde etkisi incelediği çalışmada ağırlıkça %40 kayın ağacı tozunun çekme mukavemetini artırdığını rapor etmişlerdir. Bu artış PP ve kayın ağacı tozu arasındaki uyumlaştırmayı artırmak amacıyla maleik anhidrit graft polipropilen kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Ayrılmış ve ark., 2017). Kompozitlerin kopma mukavemeti sonuçlarının yer aldığı Şekil 2C incelendiğinde çekme mukavemeti ile benzer şekilde MK/PK oranının artması ile bu değer azaldığı görülmektedir. Saf PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait kopma mukavemeti değerleri sırasıyla 15.38, 14.1, 12.5, 12.32 MPa olarak ölçülmüştür. En yüksek kopma mukavemeti değerinin saf PP'ye ait olduğu görülmektedir. Saf PP, %30 MK/PK ilaveli grup ile karşılaştırıldığında kopma mukavemeti değerinin %19.9 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kompozitlerin % uzama sonuçlarının yer aldığı Şekil 2D incelendiğinde MK/PK oranının artması ile bu değer azaldığı görülmektedir. Saf PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait % uzama değerleri sırasıyla %13.94, %13, %5.92, %3.47 olarak ölçülmüştür. En düşük % uzama değeri %30 MK/PK karışımı ilaveli numunelerde görülmektedir. Saf PP %30 MK/PK ilaveli grup ile karşılaştırıldığında % uzama değerinin %75 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Taşdemir ve arkadaşlarına ait bir çalışmada enjeksiyon ile kalıpladıkları poliolefin ve odun lifi karışımının özellikleri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada matris olarak düşük yoğunluklu polietilen (AYPE) ve PP kullanılmıştır. Ağırlıkça %8-18-28 ve 38 oranında odun lifi ilave ederek yapmış oldukları çekme testi sonucunda her iki matris için de % uzama değerinin azaldığını gözlemlemişlerdir (Taşdemir ve ark, 2009). MK/PK oranının artmasıyla çekme özelliklerinde meydana gelen değişiklikler şu şekilde açıklanabilir: Saf PP'ye kıyasla üretilen kompozitlerin dayanımın ve uzamanın azalması bunun aksine elastiklik modülünün artması takviye sonucunda yapının gevrekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

Kompozitlerin yoğunluk değerlerinin yer aldığı Şekil 2E incelendiğinde MK/PK oranının artması ile bu değer arttığı görülmektedir. Saf PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait yoğunluk değerleri sırasıyla 0.9077, 0.9353, 0.9625, 0.9746 g/cm³ olarak ölçülmüştür. En yüksek yoğunluk %30 MK/PK karışımı ilaveli numunelerde görülmektedir. Saf PP %30 MK/PK ilaveli grup ile karşılaştırıldığında yoğunluğun %7,4 oranında arttığı tespit edilmiştir. Literatürde verilen değerler incelendiğinde genel olarak doğal katkı malzemelerinin (kenevir elyaf, muz elyaf, jüt elyaf, kenaf elyaf vb.) PP'ye kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmüştür (Kandemir ve ark., 2023). PP/MK/PK polimer kompozitlerinde yoğunluktaki artış doğal katkı malzemenin yoğunluğundan kaynaklanmaktadır (Muz: 1.35 g/cm³, PK: 1.19-0.98 g/cm³). Kompozitlerin sertlik değerlerinin yer aldığı Şekil 2F incelendiğinde MK/PK oranının artması ile bu değer arttığı görülmektedir. Saf PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait sertlik değerleri sırasıyla 54.15, 56.80, 57, 58.90 Shore D olarak ölçülmüştür. En yüksek sertlik %30 MK/PK karışımı ilaveli numunelerde görülmektedir. Saf PP %30 MK/PK ilaveli grup ile karşılaştırıldığında sertliğin %8.8 oranında arttığı tespit edilmiştir. Malzemelerin birim şekil değişiminin ölçüsü olan elastiklik modülü sertlik ile doğru orantılı olarak değişim göstermektedir. PP/MK/PK polimer kompozitlerin sertliğinde meydana gelen değişiklik elastiklik modülü sonuçları ile desteklenmektedir. Taşdemir ve Kaştan'a ait bir çalışmada ağırlıkça %5, 10, 15, 20 zeytin çekirdeği tozunun (ZÇT) doğal katkı olarak kullanıldığı bir çalışmada PP polimer kompozitlerin özellikleri incelenmiştir. ZÇT konsantrasyonunun artmasıyla kompozitlerin sertliğinde artış görülmüştür (Taşdemir ve Kaştan, 2022).

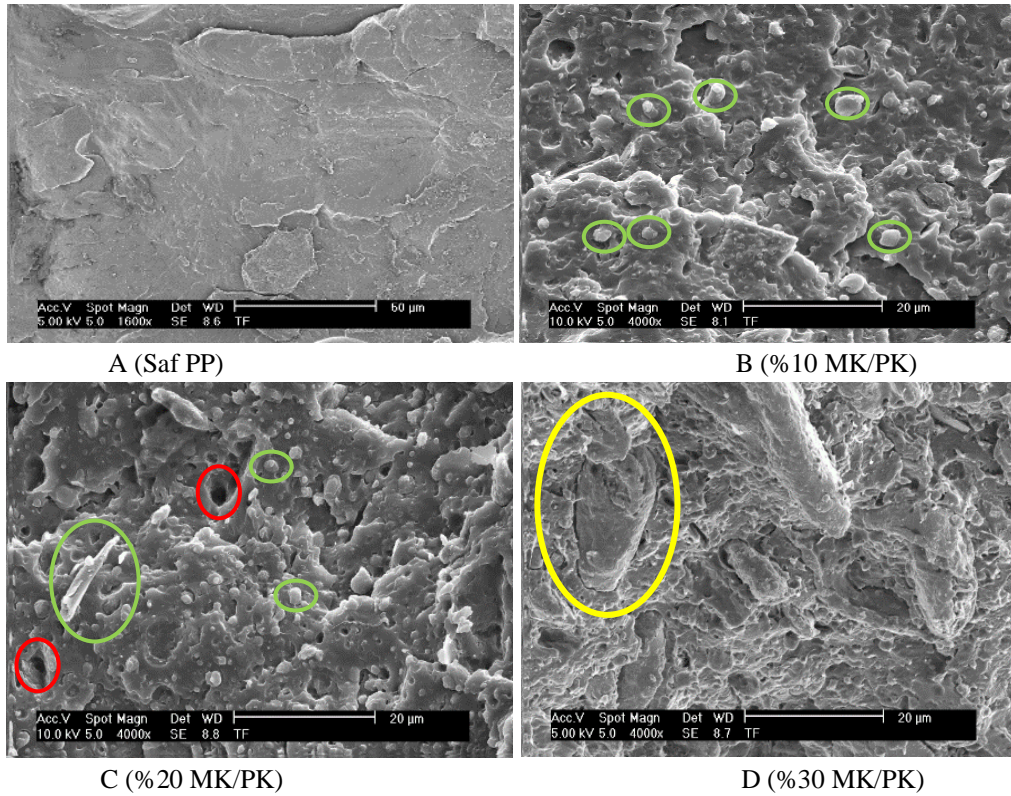
Kompozitlerin Izod darbe mukavemeti değerlerinin yer aldığı Şekil 2G incelendiğinde MK/PK oranının artması ile bu değer azaldığı görülmektedir. Saf PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli

kompozitlere ait Izod darbe mukavemeti değerleri sırasıyla 13,90, 9,30, 8,46, 6,54 kJ/m² olarak ölçülmüştür. En düşük Izod darbe mukavemeti %30 MK/PK karışımı ilaveli numunelerde görülmektedir. Saf PP %30 MK/PK ilaveli grup ile karşılaştırıldığında Izod darbe mukavemetinin %53 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Darbe testi sonuçları dolgu maddesinin dağılımı ve polimerin parçacıkları ıslatma yeteneğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Balasuriya ve Ye, 2001; Salasinska ve Ryszkowska, 2015; Sunmaz ve ark, 2023). Yapılan test sonucunda bu faktörlerin etkisi açıkça görülmektedir ki; MK/PK karışımı oranının artması, gözenekliliğin artmasına ve aglomerasyona neden olmuştur ve darbe özellikleri olumsuz etkilenmiştir. Test uygulama esnasında belirtilen sebepler neticesinde polimerde meydana gelen gerilmeler malzemede elastiklik ve sürekliliğin kaybolmasına yol açmıştır.



Şekil 2. PP/MK/PK polimer kompozitlerinin mekanik özellikleri

Şekil 3A saf PP ve Şekil 3B ağırlıkça %10 MK/PK karışımı içeren polimer kompozitin morfolojik yapısını göstermektedir. Ağırlıkça %20 oranında MK/PK karışımı içeren polimer kompozitlerin morfolojileri Şekil 3C’de verilmiştir. Kırmızı işaretli bölgede takviye elemanı matris içeresinden kolaylıkla ayrıldığı ve boşluk oluşturmuştur. Şekillerde bulunan yeşil bölgeler partikülleri göstermektedir. Şekil 3D’de ağırlıkça %30 MK/PK karışımı içeren polimer kompozite ait mikroyapı görüntülerinde sarı ile işaretli bölgede matris ve partikül arasında boşluklar açıkça görülmektedir. Matris-takviye arasında meydana gelen bu boşluk yapışmanın iyi olmamasından kaynaklanmaktadır. İç yapı kusurları gibi hareket eden bu boşluklar herhangi bir yük altında gerilme oluşturur. Takviye elemanı bu durumda görevini yapamaz ve matrise yük dağılımını gerçekleştiremez. Bunun sonucunda malzemede beklenenden daha erken kırılma görülür. Görsellerde parçacıkların şekil bakımından düzensiz olduğu anlaşılmaktadır, bu durum öğütme esnasında kabuk parçalarının kırılmasından kaynaklanmaktadır. Mekanik özelliklerde meydana gelen olumsuz değişiklikler SEM görüntüleri ile desteklenmektedir.



Şekil 3. PP/MK/PK polimer kompozitlerinin SEM fotoğrafları

SONUÇ

Bu çalışmada ucuz ve kolay işlenebilirliğe sahip PP'nin doğal katkı ilavesiyle mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Polimer kompozitlerin geliştirilmesinde bir diğer husus sentetik katkı maddesi kullanmadan atık geri kazanımının sağlanmasıdır. Ektrüzyon eriyik harmanlama metoduyla üretilen polimer kompozitlerin enjeksiyon kalıplama sonucunda; çekme, darbe, sertlik, yoğunluk özellikleri ve mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen kompozit yapıda mekanik özelliklerde bilhassa çekme ve darbe dayanımında düşüş görülürken, sertlik ve elastik modülünde ise artış tespit edilmiştir

Çalışmamızda; polimer kompozitlerin mekanik özellikleri, kullanılan katkının şekli ve matris-takviye ara yüzeyi yapışmasından büyük oranda etkilenmiştir. Parçacık boyutu ve şeklinin düzenli olmayışı mekanik özelliklerin olumsuz etkilenmesine yol açmıştır. Bu durum özellikle sertlik, darbe

mukavemeti ve çekme özelliklerinde etkisini göstermiştir. Matris-takviye arasındaki yapışmanın zayıflığı yük dağılımını etkilediğinden dolayı çekme özelliklerinde büyük rol oynamaktadır. Yapılan çekme testi sonucunda MK/PK karışımının ilavesiyle kopma ve çekme mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Ara yüzeyin zayıf olması uygulanan yükün homojen bir şekilde aktarılmasını önlemiştir ve bunun sonucunda uzama miktarı azalmıştır. Elastiklik modülü ile doğru orantılı değişim gösteren sertlik miktarı MK/PK oranının artmasıyla artış göstermiştir. Darbe testi bir malzemenin ani yük altında sergileyeceği davranışın belirlenmesinde kullanılır. Yapılan çalışmalar sonucunda beklendiği gibi MK/PK karışımının eklenmesi test edilen darbe özelliğinin saf PP'ye kıyasla bozulmasına neden olmuştur. Kompozitlerde bitkisel bazlı dolgu/katkı maddelerinin kullanımı düşük darbe dayanımına yol açmaktadır. Literatürde polimerlere kıyasla doğal katkıların genellikle daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu belirtilmiştir. MK/PK oranının artmasıyla polimer kompozitlerin yoğunluğu artmıştır.

Sonuç olarak MK/PK karışımı, kompozit plakaların mekanik özellikleri üzerinde değişikliklere sebep olmuştur. Doğal katkıları, sentetik katkılara kıyasla mekanik açıdan daha dezavantajlı olarak görülseler de maliyet, üretilebilirlik, atık geri kazanımı açısından daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Adeniyi, A. G., Ighalo, J. O. ve Onifade, D. V. (2019). Banana and plantain fiber-reinforced polymer composites. *Journal of Polymer Engineering*, 39(7), 597-611. doi:10.1515/polyeng-2019-0085
- Altun, M., Karteri, İ. ve Güneş, M. (2017). Grafen katkılı odun-plastik nanokompozitlerinin elektromanyetik özellikleri ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği karşılaştırmalı çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 38-38. doi:10.17780/ksujes.304082
- Arjmandi, R., Hassan, A., Majeed, K. ve Zakaria, Z. (2015). Rice husk filled polymer composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1-32. doi:10.1155/2015/501471
- Asyraf, M. R. M., Syamsir, A., Zahari, N. M., Supian, A. B. M., Ishak, M. R., Sapuan, S. M., Rashid, M. Z. A. (2022). Product development of natural fibre-composites for various applications: design for sustainability. *Polymers*, 14(5), 920. doi:10.3390/polym14050920
- Ayrılmış, N., Taşdemir, M. ve Akbulut, T. (2017). Water absorption and mechanical properties of PP/HIPS hybrid composites filled with wood flour. *Polymer Composites*, 38(5), 863-869. doi:10.1002/pc.23647
- Balasuriya, P. W. ve Ye, L. (2001). Mechanical properties of wood flake-polyethylene composites. Part I: effects of processing methods and matrix melt flow behaviour.
- Barczewski, M., Sałasińska, K. ve Szulc, J. (2019). Application of sunflower husk, hazelnut shell and walnut shell as waste agricultural fillers for epoxy-based composites: A study into mechanical behavior related to structural and rheological properties. *Polymer Testing*, 75, 1-11. doi:10.1016/j.polymertesting.2019.01.017
- Deepan, S., Jeyakumar, R., Mohankumar, V. ve Manojkumar, A. (2023). Influence of rice husk fillers on mechanical properties of banana/epoxy natural fiber hybrid composites. *Materials Today: Proceedings*, 74(4), 575-580.

- Demir, İ. ve Elmalı, M. (2020). Organik atıkların yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1303-1311. doi:10.21923/jesd.781554
- Fuqua, M. A., Huo, S. ve Ulven, C. A. (2012). Natural fiber reinforced composites. *Polymer Reviews*, 52(3), 259-320. doi:10.1080/15583724.2012.705409
- Güçlüer, K. (2020). Polimer katkılı harçların mekanik ve elektriksel özdirenç özelliklerinin araştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1649-1654. doi:10.17798/bitlisfen.660610
- Jagadeesh, P., Puttegowda, M., Thyavihalli Girijappa, Y. G., Rangappa, S. M. ve Siengchin, S. (2022). Effect of natural filler materials on fiber reinforced hybrid polymer composites: An Overview. *Journal of Natural Fibers*, 19(11), 4132-4147. doi:10.1080/15440478.2020.1854145
- Kalia, S., Kaith, B. S. ve Kaur, I. (2009). Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites—A review. *Polymer Engineering & Science*, 49(7), 1253-1272. doi:10.1002/pen.21328
- Kandemir, Y., Varol, T. ve Aslan, M. (2023). Silah gövdeleri için geliştirilen polimer kompozit malzemeler için çok kriterli karar verme yöntemleri ile doğal takviye malzemesinin seçimi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. doi:10.17714/gumusfenbil.1215620
- Karthi, N., Kumaresan, K., Sathish, S., Gokulkumar, S., Prabhu, L. ve Vigneshkumar, N. (2020). An overview: Natural fiber reinforced hybrid composites, chemical treatments and application areas. *Materials Today: Proceedings*, 27, 2828-2834. doi:10.1016/j.matpr.2020.01.011
- Kim, S.-J., Moon, J.-B., Kim, G.-H. ve Ha, C.-S. (2008). Mechanical properties of polypropylene/natural fiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber. *Polymer Testing*, 27(7), 801-806. doi:10.1016/j.polymertesting.2008.06.002
- Koruyucu, A. ve Balaban, F. Ç. (2021). Muz kabuğu ekstraktının pamuk ve pamuk-poliester karışımli kumaşlarda güç tutuşurluğa etkisinin incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 66-83.
- Mistik, S. İ. ve Merdan, N. (2011). Dokuma bazalt-cam ve fındık kabuğu takviyeli polimer kompozitlerinin eğilme dayanımı ve ısı geçirgenliklerinin incelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri*, 10(20), 119-126.
- Mohammed, L., Ansari, M. N. M., Pua, G., Jawaid, M. ve Islam, M. S. (2015). A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1-15. doi:10.1155/2015/243947
- Özsoy, N. (2015). *Polimer esashı fiber takviyeli kompozit malzemelerin tribolojik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi* (Doktora Tezi) Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Prakash, S. O., Sahu, P., Madhan, M. ve Johnson Santhosh, A. (2022). A review on natural fibre-reinforced biopolymer composites: properties and applications. *International Journal of Polymer Science*, 2022, 1-15. doi:10.1155/2022/7820731
- Saba, N., Tahir, P. ve Jawaid, M. (2014). A review on potentiality of nano filler/natural fiber filled polymer hybrid composites. *Polymers*, 6(8), 2247-2273. doi:10.3390/polym6082247
- Salasinska, K. ve Ryszkowska, J. (2015). The effect of filler chemical constitution and morphological properties on the mechanical properties of natural fiber composites. *Composite Interfaces*, 22(1), 39-50. doi:10.1080/15685543.2015.984521
- Shalwan, A. ve Yousif, B. F. (2013). In state of art: Mechanical and tribological behaviour of polymeric composites based on natural fibres. *Materials & Design*, 48, 14-24. doi:10.1016/j.matdes.2012.07.014

- Sunmaz, A. N., Doğan, U. ve İrez, A. B. (2023). Ayçiçeği kabuğu takviyeli biyo-epoksi matrisli çevreci ve maliyet etkin kompozitlerin geliştirilmesi ve mekanik karakterizasyonu. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 35(4), 494-503. doi:10.7240/jeps.1359961
- Syduzzaman, M., Al Faruque, M. A., Bilisik, K. ve Naebe, M. (2020). Plant-based natural fibre reinforced composites: a review on fabrication, properties and applications. *Coatings*, 10(10), 973. doi:10.3390/coatings10100973
- Taşdemir, M., Biltekin, H. ve Caneba, G. T. (2009). Preparation and characterization of LDPE and PP—Wood fiber composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 112(5), 3095-3102. doi:10.1002/app.29650
- Taşdemir, M. ve Kaştan, A. (2022). Zeytin çekirdeği tozu ilave edilmiş polipropilen kompozitinin mekanik özellikleri. *Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 36-49.
- Taşdemir, M. ve Şen, E. G. (2022). Polipropilen/üzüm sapı/çeltik polimer kompozitinin mekanik özelliklerinin atık cam elyaf ile geliştirilmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(1), 131-140. doi:10.7240/jeps.1041672
- Taşgın, Y. ve Kandemir, S. (2023). Doğal elyaf takviyeli (jüt-keten-kenevir) kompozit malzemelerin mekanik ve metalografik olarak incelenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(2), 240-249. doi:10.29132/ijpas.1371357.