



MUZ VE PİRİNÇ KABUĞU TOZLARININ POLİPROPİLENİN FİZİKSEL, TERMAL VE TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Elif ULUTAŞ^{1*}, Münir TAŞDEMİR¹

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Polipropilen, Polimer Kompozit, Muz Kabuğu, Pirinç Kabuğu, Organik Atık.</i>	Son yıllarda, geleneksel seramik, metal ve polimerlerin yerini alabilecek üstün özelliklere sahip ve ekonomik açıdan avantajlı malzemelere yönelik ilgi önemli ölçüde artmıştır. Bu durum, malzeme bilimi ve mühendisliği alanındaki araştırmacıların dikkatlerini kompozit malzemelere yönlendirmesine neden olmuştur. Özellikle çevre dostu ve sürdürülebilir özelliklere sahip biyo-bazlı kompozitler, bu alandaki çalışmaların odak noktası haline gelmiştir. Bu araştırma çalışmasında, toz formda kullanılan muz kabuğu (MK) ve pirinç kabuğu (PK) oranlarının polimer kompozitler üzerindeki fiziksel, termal ve tribolojik etkileri incelenmiştir. Polimer kompozit üretiminde, atık kazanımına katkıda bulunması amacıyla geri dönüştürülmüş polipropilen (R-PP) tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan deney sonuçları, organik atıkların R-PP'nin termal direncini artırdığını ortaya koymuştur. Ağırlıkça %30 konsantrasyonunda takviye ilavesiyle, ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT) ve vicat yumuşama sıcaklığı sırasıyla %5 ve %4 oranında artış göstermiştir. MK/PK oranının artması yoğunluğu artırırken, aşınma oranının da artmasına neden olmuştur. Organik katkı maddelerinin yapısındaki hidrofilik bölgelerin nem çekme özelliği nedeniyle, maksimum takviye oranıyla polimer kompozitlerin nem emme oranı %36 artmıştır.

THE EFFECT OF BANANA AND RICE HUSK POWDERS ON THE PHYSICAL, THERMAL, AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE

Keywords	Abstract
<i>Polypropylene, Polymer Composite, Banana Peel, Rice Husk, Natural Waste.</i>	In recent years, there has been a significant increase in interest in materials with superior properties and economic advantages that can replace traditional ceramics, metals, and polymers. This shift has led researchers in the field of materials science and engineering to focus on composite materials. Particularly, bio-based composites with environmentally friendly and sustainable attributes have become the focal point of studies in this domain. This research study investigated the effects of banana peel (BP) and rice husk (RH) powders, used in particulate form, on the physical, thermal, and tribological properties of polymer composites. Recycled polypropylene (R-PP) was chosen for the production of polymer composites due to its contribution to waste recovery. Experimental results indicated that organic waste materials enhance the thermal resistance of R-PP. With the addition of 30 wt% reinforcement, the heat deflection temperature (HDT) and Vicat softening temperature increased by 5% and 4%, respectively. An increase in the BP/RH ratio led to a higher density and an increase in wear rate. Due to the moisture-absorbing nature of the hydrophilic regions within the organic additives, the moisture absorption rate of the polymer composites increased by 36% at the maximum reinforcement level.

Alıntı / Cite

Ulutaş, E., Taşdemir, M., (2024). Muz ve Pirinç Kabuğu Tozlarının Polipropilenin Fiziksel, Termal ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(3), 466-475.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Ulutaş, 0000-0001-7753-8878
M. Taşdemir, 0000-0001-8635-7251

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.04.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	27.06.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.07.2024
Yayın Tarihi / Published Date	26.09.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: elif.ulutas@marmara.edu.tr , +90 535 025 0125

THE EFFECT OF BANANA AND RICE HUSK POWDERS ON THE PHYSICAL, THERMAL, AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE

Elif Ulutaş^{1†}, Münir Taşdemir¹

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

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

Purpose and Scope

Within the scope of the study, the usability of organic wastes in polymer composites and their effects on physical properties were examined. It is aimed to improve the physical properties of cheap and easily processable PP with natural additive reinforcement. Another issue in the development of polymer composites is the recovery of waste without using synthetic additives.

Design/methodology/approach

Thermoplastic composites containing various amounts of organic fillers are materials with a low environmental impact. It is of great interest because it does not adversely affect the environment when disposed of, is economically suitable, and has advanced features. The extrusion system is widely used in the processing of particle-reinforced polymer composites. R-PP/MK/PK polymer composites obtained within the scope of the study were produced in a twin-screw extrusion machine. Among the methods of shaping polymer composites, injection molding is a widely used. With this method, we can achieve high processing speeds and product efficiency. The molding process of polymer composites was carried out in an injection machine.

Findings

With the addition of MK/PK mixture, the thermal properties of polymer composites improved and the moisture absorption in the composite increased. While density increased with the addition of organic waste, MFI decreased. As a result of the wear rate determination at a 40 m wear distance, the wear rate also increased as the amount of reinforcement increased.

Research limitations/implications (if applicable)

This work provides an effective strategy to improve the thermal properties of R-PP/MK/PK polymer composites and offers a new perspective for the utilization of organic wastes such as banana peels and rice husks. At the same time, it is thought that increasing the efficiency between the filler and the polymer matrix will be effective in improving the physical properties. To establish new interactions at the interface, a suitable compatibilizer material should be preferred in future studies.

Originality

This study presents the effect of organic wastes in improving the properties of polymer composites. R-PP/MK/PK polymer composites have become a new perspective on the development of materials in terms of waste utilization and providing good economic returns.

[†] İlgili yazar / Corresponding author: elif.ulutas@marmara.edu.tr , +90 535 025 0125

1. Giriş (Introduction)

Hızla değişen dünyada artan malzeme kullanımı ve ekolojik değişiklikler, hammadde temini açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu durum, bilim insanları ve araştırmacıları biyolojik olarak parçalanabilen yeni malzemeler arayışına yönlendirmiştir (Rao vd., 2021). Çevre sorunları ve kaynak kıtlığı konusundaki artan farkındalık, biyo bazlı malzemelerin çeşitli uygulamalarda kullanımına olan ilgiyi artırmaktadır. Organik atık bileşenlerinin geri kazanımı ve ikincil kullanımına yönelik teşvikler, çevresel farkındalık, ekonomik faktörler ve küresel politikaların birleşimiyle desteklenmektedir (Väisänen vd., 2016).

Malzeme mühendisliği alanında doğal takviyeler, binlerce yıldır çeşitli uygulamalarda kullanılan önemli bir bileşen olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde bu takviyeler, özellikle polimer matrislerle birleştirilerek malzemelerin mekanik özelliklerini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kenevir, jüt, muz gibi bitkisel kökenli takviyeler, yenilenebilir kaynaklardan elde edilmeleri ve biyobozunabilir olmaları nedeniyle özellikle dikkat çekmektedir (Sakthivei ve Ramesh, 2013). Organik atıkların termoplastik veya termoset matrise dahil edilmesi, nihai ürünün fiyatının önemli ölçüde azaltılmasına ve mekanik, termo-mekanik, fiziksel ve termal özelliklerinin iyileştirilmesine olanak sağlar (Çavuş ve Mengeloğlu, 2017; Barczewski vd., 2019; Chun vd., 2020; Boran Torun, 2021; Dubey vd., 2021).

Literatürde, bitkilerin farklı bölgelerinden elde edilen dolgu maddelerinin araştırılması, malzeme bilimi ve mühendisliği alanında önemli bir araştırma konusu olarak yer almaktadır. Bu dolgu maddeleri genellikle bitkinin sapları, kabukları, yaprakları ve diğer odunlaşmış parçaları gibi çeşitli kaynaklardan elde edilmekte ve kullanılmaktadır (Pauksza, 2014; Kaymakçı vd., 2013; Büyükkaya, 2017; Arjmandi vd., 2015; Pradhan vd., 2020; Suhot vd., 2021; Laaziz vd., 2017). Takviye malzemesi seçimi, kullanılacak dolgu maddesinin yerel mevcudiyetine, atık yönetimi gereksinimlerine ve nihai ürünün özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Doğal takviyelerin etkinliği, sadece geometrisinden (örneğin, lif veya partikül formu) değil, aynı zamanda içerdikleri kimyasal bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Bu bileşenler arasında selüloz, hemiselüloz, lignin, nişasta, protein ve lipitler bulunmaktadır ve bu kimyasal bileşenler malzemenin mekanik, termal ve fiziksel özelliklerini belirlemede önemli rol oynamaktadır (Barczewski vd., 2019; Gholampour ve Özbakkaloğlu, 2020; Vigneshwaran vd., 2020). Polimerler üzerindeki etkilerinin araştırıldığı organik atıklara mısır koçanı, fındık kabuğu, pirinç kabuğu, odun lifi, pamuk lifi, ayçiçeği çekirdeği kabuğu, muz kabuğu örnek olarak verilebilir (Adeniye ve ark., 2019; Arjmandi ve ark., 2015; Barczewski ve ark., 2019; Demir ve Elmalı, 2020; Mistik ve Merdan, 2011; Taşdemir ve Şen, 2022). Pirinç kabuğu, pirincin toplam ağırlığının yaklaşık %20'sini oluşturur ve kimyasal bileşimi genellikle şu şekildedir: %50 selüloz, %25-30 lignin, %15-20 silika ve %10-15 nem içermektedir (Singh, 2018). Muz kabuğu ise kimyasal yapısında %60-65 selüloz, %6-19 hemiselüloz, %5-10 lignin içermektedir (Wijianto vd., 2019).

Salasinka ve Ryszkowska'ya ait bir çalışmada, ayçiçeği kabuğu ve fındık kabuğu tozlarının polietilenin (PE) çekme dayanımı, sertlik ve darbe özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Dolgu türünün etkisinin incelendiği çalışmada, fındık kabuğu içeren numunelerde daha yüksek darbe dayanımı görülürken, ayçiçeği kabuğu içeren kompozitlerde daha yüksek sertlik değerleri kaydedilmiştir. Fındık kabuğuna kıyasla ayçiçeği içeren kompozitlerde elastiklik modülü de daha yüksek oranda artış göstermiştir (Salasinka ve Ryszkowska, 2015).

Das ve arkadaşları, muz lifi takviyeli düşük yoğunluklu PE kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Deneysel analiz için farklı elyaf yüklemesine sahip numuneler (%50, 60, 70, 80 ve 90) üretilmiştir. Mekanik ve kimyasal olarak ekstrakte edilen muz lifi takviyeli polimer kompozitin eğilme ve çekme mukavemetinin, polimer içeriğinin belirli bir yüzdeye kadar artmasıyla arttığı, daha sonra kademeli olarak azaldığı bildirilmiştir. Kimyasal olarak ekstrakte edilmiş liflerden hazırlanan kompozitler, mekanik olarak ekstrakte edilmiş liflere sahip kompozitlere göre daha üstün özellikler sergilemiştir (Das vd., 2015).

Taşdemir ve Şen'e ait organik atık olarak üzüm sapının kullanıldığı bir çalışmada PP matrisli kompozitlerin özellikleri incelenmiştir. Enjeksiyon kalıplama ile ürettikleri kompozitlere yapılan testler sonucunda %20 oranında üzüm sapı ilavesini kompozitlerin nem emme oranını artırdığı görülmüştür. Aynı zamanda yapılan termal testler sonucunda HDT değeri yaklaşık olarak %34 oranında artış göstermiştir. Vicat yumuşama sıcaklığı değeri ise kayda değer bir artış göstermemiştir (Taşdemir ve Şen, 2022).

Girdis ve arkadaşlarına ait bir çalışmada; üç boyutlu (3D) yazıcıda kullanılabilecek yenilikçi bir mikro odun ürünü tasarlamak amacıyla fındık kabukları (%0, 19, 29) ve akrilonitril bütadien stiren (ABS) plastikleri çeşitli oranlarda karıştırılmış ve bağlayıcı bir ajan eklenerek filamentler üretilmiştir. Çekme testinin uygulandığı numunelerde %19 fındık kabuğu içeren ABS filamentleri, ticari Woodfill filamentlere göre %25 daha yüksek özgül çekme mukavemeti ve %60 daha fazla süneklik göstermiştir. Fındık kabuğu içeren filamentler, ticari ahşap dolgu malzemesinden %30'dan daha hafiftir. Ayrıca dolgu içeriğindeki yoğunlukta bir azalmaya yol açtığı aynı zamanda tüm örnekler için mukavemette bir azalmaya neden olduğu bulunmuştur (Girdis vd., 2017).

Hem hammadde olarak kullanılması hem de atık azaltma açısından birçok atık türünden organik kökenli, çevreye ve sağlığa zararı bulunmayan tarım atıklarının otomotiv, inşaat, gıda sektöründe kullanılabilirliği önem kazanmıştır (Demir ve Elmalı, 2020). Bu çalışmada organik kökenli atıkların polimer kompozitlerde kullanılabilirliği ve fiziksel özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı oranlarda kullanılan MK/PK karışımı tozları, R-PP matris içerisine ilave edilerek ekstrüzyon makinesinde polimer kompozitler üretilmiştir. Enjeksiyon makinesinde kalıplanan numunelerin HDT, vicat yumuşama sıcaklığı, erime akış indeksi (MFI), nem oranı, yoğunluk ve aşınma oranı gibi fiziksel özellikleri incelenmiştir. Organik kökenli atıkların üretim prosesinde önemli bir kullanım potansiyeli olduğu ve çeşitli çevre dostu yapı malzemelerinin üretilabileceği ortaya konmuştur.

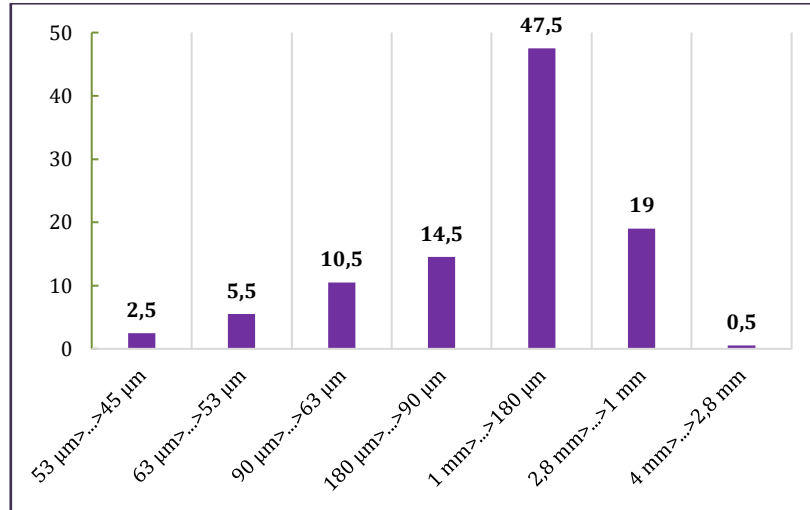
2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Yapılan çalışma kapsamında üretilen R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin bileşenlerine ait karışım oranları Tablo 1’de verilmiştir. Kompozit üretiminde matris malzeme olarak kullanılan R-PP Lyondell Basell firmasından tedarik edilmiş olup, polimerin yoğunluğu 0,90 g/cm³ ve HDT değeri 95 °C (0,45 MPa)’dir. Katkı malzemesi olarak kullanılan MK Granny’s Waffle’dan (Kadıköy-İstanbul) ve PK ise Trakya bölgesinden temin edilmiştir.

Tablo 1. R-PP/MK/PK polimer kompozitlerine ait karışım oranları (Mixing ratios of R-PP/MK/PK polymer composites)

GRUPLAR	R-PP (% Ağırlıkça)	MK/PK KARIŞIMI (% Ağırlıkça 50:50)
1	100	-
2	90	10
3	80	20
4	70	30

İlk olarak yüzeyinde bulunan kirlerin arındırılması amacıyla muz kabukları toz formuna getirilmeden önce temiz su ile yıkanmıştır. Ardından PK ile eşit miktarlarda karıştırılan MK bilyeli öğütücüde toz haline getirilmiştir. Karışımın partikül boyutlarına ait elek analizi sonuçları Şekil 1’de verilmiştir.



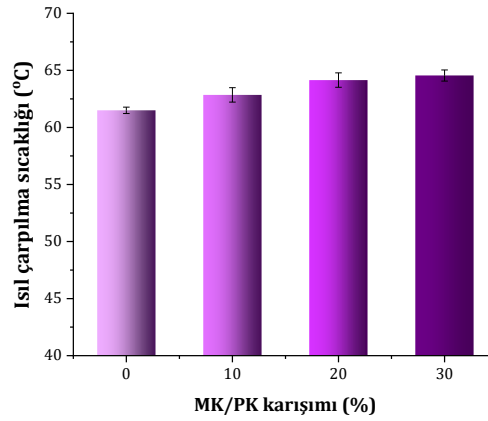
Şekil 1. MK/PK karışımı tozlarının elek analizi sonuçları (Sieve analysis results of MK/PK mixture powders)

Tablo 1’de belirtilen oranlarda hazırlanan karışımlar çift vidalı bir ekstrüzyon makinesinde (Yonca Makine, İstanbul) eriyik olarak karıştırılmıştır. Uygun eriyik akışın sağlanabilmesi için vida dönüş hızı 60 rpm ve çalışma sıcaklığı 180-210 °C olarak belirlenmiştir. Soğutma esnasında sudan geçirilen lifler kırıcı yardımı ile granül formuna getirilmiştir. Ardından granüller, yapısındaki nemi uzaklaştırmak amacıyla 105 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Test numunelerinin üretimi enjeksiyon makinesinde (Mikrosan Makine A.Ş., Türkiye) gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon çalışma şartları; 180-210 °C sıcaklık, 100-110 bar basınç olarak belirlenmiştir. R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin fiziksel özelliklerini incelemek için HDT, vicat yumuşama sıcaklığı, nem oranı tayini, yoğunluk, MFI, aşınma testleri yapılmıştır. Polimerlerin termal davranışını belirlemek için HDT ve vicat yumuşama sıcaklığı testleri sırasıyla ISO 75 ve ISO 307 standartlarına uygun olarak içerisinde silikon yağı bulunduran Devotrans marka test kabini gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk testi ISO 2781 test standardına göre yapılmıştır. ASTM D 6980 standardına göre Kern marka test cihazıyla yapılan nem oranı tayini ile numunelerin yapısında bulundurduğu nem miktarı belirlenmiştir. Aşınma testi; tambur dönme hızı 40 rpm olan Devotrans marka bir cihazda 40 m mesafede gerçekleştirilmiştir. Test esnasında numuneler 10 N yük uygulanmıştır. Takviye elemanının matris içerisindeki dağılımını incelemek için yapılan mikroyapı incelemesi

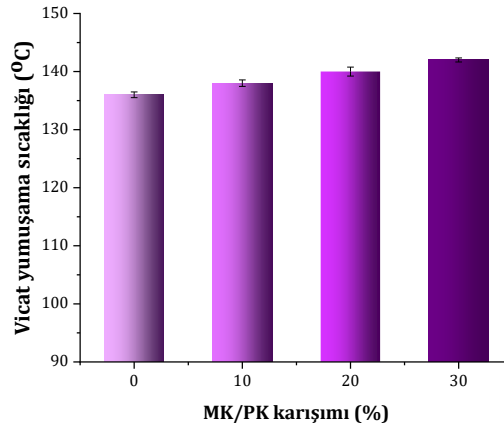
Polaron marka bir SEM cihazında gerçekleştirilmiştir. Görüntü alınmadan önce şarj yüklenmesini önlemek için numunelerin darbe testi sonrası kırık yüzeyleri altın/paladyum karışımı ile kaplanmıştır.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin termal davranışını incelemek için yapılan HDT ve vicat yumuşama sıcaklığı testlerine ait sonuçlar sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Benzer şekilde sonuçlanan testlerde MK/PK karışımı ilavesiyle polimer kompozitlerin termal özellikleri iyileşme göstermiştir. Ağırlıkça %100 R-PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait HDT değerleri sırasıyla 61,5, 62,85, 64,15, 64,55 °C olarak ölçülmüştür. Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri ise sırasıyla 136, 138, 140,142 °C olarak ölçülmüştür. Ağırlıkça %100 R-PP numuneleri ile kıyaslandığında %30 konsantrasyonunda takviye ilavesiyle HDT ve vicat yumuşama sıcaklığı sırasıyla %5 ve %4 oranında artış göstermiştir. Ramaraj'a ait bir çalışmada şeker kamışı ilaveli PP kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda ağırlıkça %0 ile %20 arasında şeker kamışı ilavesinin kompozitlerin HDT değerini 45,5 °C'den 65,5 °C'ye yükselttiği görülmüştür. Çalışmada; HDT'deki bu artışın polimer kompozitlerin modülündeki artıştan kaynaklandığı rapor edilmiştir (Ramaraj, 2007). Ayrıca Sahoo ve arkadaşları lignin bazlı biyobozunur polimerlerin özelliklerini inceledikleri çalışmada lignin içeriğinin artmasıyla HDT değerinin de arttığını gözlemlemişlerdir. Bu artış, saf polimerlere kıyasla biyo-kompozitlerin daha yüksek kristalline atfetmişlerdir (Sahoo vd., 2011).



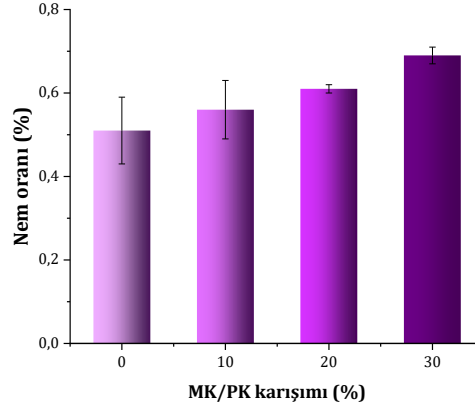
Şekil 2. R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin HDT değerleri (HDT values of R-PP/MK/PK polymer composites)



Şekil 3. R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin vicat yumuşama sıcaklığı değerleri (Vicat softening temperature values of R-PP/MK/PK polymer composites)

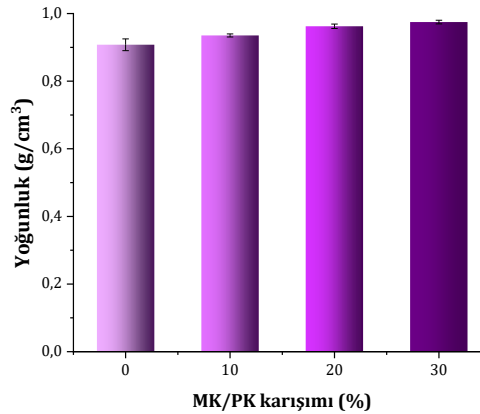
Şekil 4'te verilen nem oranı tayini sonuçları incelendiğinde MK/PK karışımı ilavesiyle polimer kompozitlerin nem çekmesinde düzenli bir artış görülmüştür. Ağırlıkça %100 R-PP numuneleri ile kıyaslandığında maksimum oranda takviye ilavesiyle nem oranı %36 artış göstermiştir. Bu durum organik katkıların hidrofilik bölgeler içermesiyle açıklanabilir. Lignoselülozik dolguların hidrofilik yapısı, numunelerin su emilimini ve nem çekme kapasitesini artırma eğilimindedir. Bu yapılarıdaki selüloz ve hemiselülozlar, bünyesinde çok sayıda polar hidroksil grubu barındırır ve bu serbest hidroksil grupları, su molekülleriyle hidrojen bağı oluşturma özelliğine sahiptir. Dolayısıyla organik katkıların polimerlere ilavesinde nem emiliminin artması beklenmektedir. Kompozitlere dolgu

eklenmesiyle kompozitin mikro yapısında oluşan parçacıklar ve gözenekli agregatların varlığı sebebiyle su/nem emilimi önemli ölçüde artış gösterir (Ayrılmış vd., 2013; Nik Yusuf vd., 2018). Arsene ve arkadaşları su emilimini azaltmak için yapmış oldukları çalışmada muz liflerinin yüzeyini silan ile kaplamıştır. Liflerin morfolojisi değiştikçe gözeneklilik ve boyut artış göstermiştir. Bunun sonucunda silan ilavesiyle su emilimi azalmıştır (Arsene vd., 2013).



Şekil 4. R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin nem oranı değerleri (Moisture content values of R-PP/MK/PK polymer composites)

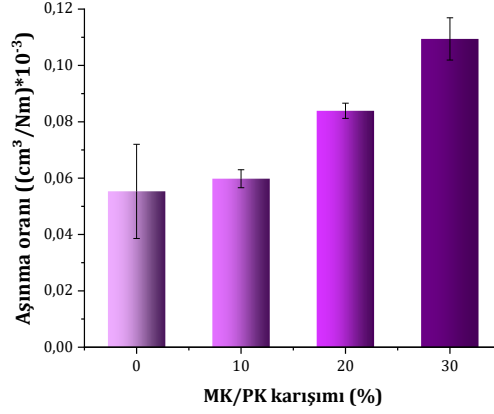
Kompozitlerin yoğunluk değerlerinin yer aldığı Şekil 5 incelendiğinde MK/PK oranının artması ile bu değer arttığı görülmektedir. Ağırlıkça %100 R-PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait yoğunluk değerleri sırasıyla 0,9077, 0,9353, 0,9625, 0,9746 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Ağırlıkça %100 R-PP numuneleri ile kıyaslandığında %30 konsantrasyonunda takviye ilavesiyle yoğunluk %7,4 oranında artış göstermiştir. 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 vd., 2023). R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinde yoğunluktaki artış doğal katkı malzemelerinin polimerlere kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olması ile açıklanabilir (Muz: 1,35 g/cm³).



Şekil 5. R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin yoğunluk değerleri (Density values of R-PP/MK/PK polymer composites)

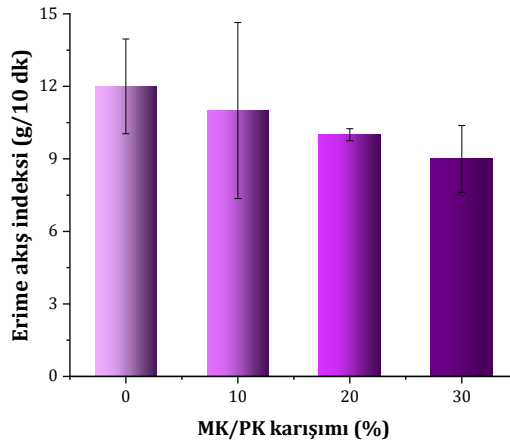
Endüstriyel ve imalat parçalarının çoğu, uygulama esnasında aşındırıcı gibi birçok tribolojik yüke maruz kalır. Bu nedenle malzemelerin tribolojik performansı, mekanik parçaların tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Polimerler doğal katkılar ile güçlendirilerek aşınma performansı artırılabilir fakat bu kompozitlerin tamamı için geçerli değildir (Shalwan ve Yousif, 2013). Yapılan çalışma kapsamında R-PP/MK/PK polimer kompozitlerine ait aşınma oranı Şekil 6'da verilmiştir. Ağırlıkça %100 R-PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait aşınma oranı değerleri sırasıyla 0,0553, 0,0598, 0,0839, 0,1094 cm³/Nm*10⁻³ olarak ölçülmüştür. R-PP içerisine MK/PK karışımı ilavesiyle polimer kompozitlerin aşınma oranının arttığı görülmektedir. Takviye içeriği arttıkça aşındırma esnasında yüzeyden kopan parça miktarı artış göstermiştir. Matris ve takviye arasındaki ara yüzey etkileşimi aşınma oranını etkileyen temel faktörlerden birisidir. Ara yüzey yapışmasının az olması; kayma esnasında partikülün çekilmesi ve yüzeyden koparak ayrılması ile sonuçlanır. Şahin ve arkadaşları polimer kompozitlerde aşınma direncini inceledikleri çalışmalarında; takviye parçacıklarının, matrisle iyi yapışması durumunda aşındırıcı yüzeye karşı daha yüksek aşınma direncine sahip olduğundan daha yüksek direnc

göstereceğini belirtmişlerdir (Şahin vd., 2024). Aşınma direnci üzerinde bir diğer önemli faktör kopma uzamasıdır. PP kırılmaya karşı daha fazla direnç sergiler ve dolayısıyla aşındırıcı koşullar altında gerilimi daha iyi karşılayabilir. Chand ve Dwivedi'ye ait bir çalışmada parçalara ayrılmış jüt lifleri kullanılarak sıkıştırma kalıplama ile PP polimer kompozitler üretilmiştir. Uyumlaştırıcı malzeme olarak maleik anhidrit aşıllı PP (MAPP) kullandıkları çalışma da işlem görmüş ve görmemiş kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan aşınma testleri sonucunda Saf PP'ye kıyasla tüm kompozitlerin aşınma oranının yüksek olduğu ve uyumlaştırıcı madde kullanılması ile aşınma oranında azalma görülmüştür. Aşınma miktarında; polimer kompozitlerin ara yüzey yapışmasının etkili olduğu rapor edilmiştir (Chand ve Dwivedi, 2006).



Şekil 6. R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin aşınma oranı değerleri (Wear rate values of R-PP/MK/PK polymer composites)

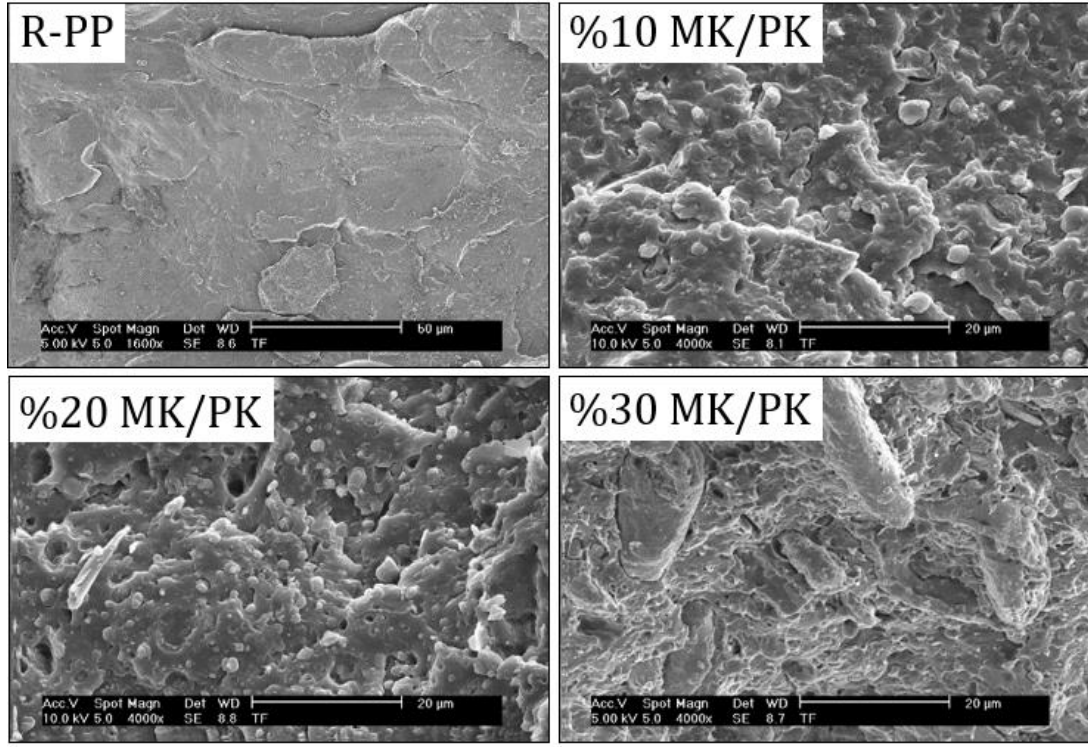
MK/PK konsantrasyonunun polimer kompozitlerin erime akış davranışı üzerindeki etkisi Şekil 7'de verilmiştir. Takviye elemanının eklenmesiyle MFI değerinin azaldığı görülmüştür. Ağırlıkça %100 R-PP, %10 %20 ve %30 MK/PK takviyeli kompozitlere ait MFI değerleri sırasıyla 12, 11, 10, 9 g/10 dk olarak ölçülmüştür. Ağırlıkça %100 R-PP numuneleri ile kıyaslandığında %30 konsantrasyonunda takviye içeren polimer kompozitlerin MFI değeri %24 azalmıştır. Kompozitlerin yapısındaki dağılmış parçacıkların varlığı akışı kısıtlamaktadır. Bu kısıtlama partikül miktarının artmasıyla artmaktadır. Rosa ve arkadaşları çalışmalarında pirinç kabuğu dolgu PP kompozitlerin özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında kullanılan dolgu miktarı %10, 20, 30, 40 olacak şekilde dört ayrı karışım hazırlanmıştır. Kompozitlerde polimer matrise kıyasla daha düşük MFI değerleri bulunmuştur. Aynı zamanda çalışma kapsamında uyumlaştırıcının akışa olan etkisi de araştırılmıştır. MAPP ilavesinin bu değerleri daha da düşürme eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Bu davranış, dolgu maddesi ile polimer matrisi arasında yeni etkileşimlerin kurulduğunu ve böylece PP zincirlerinin ve pirinç kabuğu parçacıklarının kaymasının azaldığını göstermektedir (Rosa vd., 2009).



Şekil 7. R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin MFI değerleri (MFI values of R-PP/MK/PK polymer composites)

Şekil 8'de çalışma kapsamında üretilen R-PP ve R-PP/MK/PK polimer kompozitlerine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Kompozit numunelerine ait görüntülerde oyuklar görülmektedir. Bu bölgelerde takviye elemanı matris içeresinden kolaylıkla ayrılarak boşluk oluşumuna sebebiyet vermiştir. Ağırlıkça %30 MK/PK karışımı içeren polimer kompozite ait mikroyapı görüntülerinde matris ve partikül arasında meydana gelen çatlaklar ve boşluklar

açıkça görülmektedir. Matris-takviye arasında meydana gelen bu boşluk yapışmanın iyi olmamasından kaynaklanmaktadır. İyapı 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.



Şekil 8. R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin SEM görüntüleri

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma, geri dönüşümlü polipropilen (R-PP) matrisine muz kabuğu (MK) ve pirinç kabuğu (PK) karışımının eklenmesinin polimer kompozitlerin termal özelliklerini iyileştirdiğini ve kompozitlerin nem emilimini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, organik atık ilavesiyle kompozitlerin yoğunluğunun arttığı ancak erime akış indeksi (MFI) değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Kompozitlerin aşınma direnci üzerine yapılan çalışmalar, takviye miktarının artmasıyla birlikte aşınma oranının da arttığını ortaya koymuştur.

Bu bulgular, R-PP/MK/PK polimer kompozitlerinin termal performansını artırmak için etkili bir strateji sunmakta ve organik atıkların endüstriyel uygulamalarda değerlendirilmesine yeni bir perspektif getirmektedir. MK ve PK karışımının polimer kompozit plakaların fiziksel özelliklerini nasıl etkilediği de çalışmanın önemli bir başka sonucudur. Doğal katkı maddelerinin, sentetik alternatiflere göre maliyet, üretilebilirlik ve atık geri kazanımı açısından avantajlı olduğu belirtilmektedir. Gelecekteki çalışmalar, kompozit malzemelerin ara yüzey özelliklerini iyileştirmek için uygun uyumlaştırıcı malzemelerin geliştirilmesine odaklanmalıdır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Adeniyi, A. G., Ighalo, J. O., 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
- Arjmandi, R., Hassan, A., Majeed, K., Zakaria, Z., 2015. Rice Husk Filled Polymer Composites *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1-32. doi: 10.1155/2015/501471.
- Arsene, MA., Bilba, K., Savastano Junior, H., Ghavami, K., 2013. Treatments of Non-Wood Plant Fibres Used As Reinforcement in Composite Materials. *Materials Research*, 16 (4), 903-923. doi: 10.1590/S1516-14392013005000084.
- Ayrılmış, N., Kaymakçı, A., Özdemir, F., 2013. Physical, Mechanical, and Thermal Properties of Polypropylene Composites Filled With Walnut Shell Flour. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18 (2), 908-914.

- Barczewski, M., Sałasińska, K., 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.
- Boran Torun, S., 2021. Bazı Çevresel Atıkların ve Doğal Liflerin Kompozitlerde Kullanılabilirliği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 126-133. doi: 10.17474/artvinofd.768285.
- Büyükkaya, K., 2017. Isırgan Lifi-Fındık Kabuğu Unu Dolgulu Hibrit Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5 (4), 133-144. doi: 10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.337247.
- Chand N., Dwivedi, UK., 2006. Effect of Coupling Agent on Abrasive Wear Behaviour of Chopped Jute Fibre-Reinforced Polypropylene Composites. *Wear*, 261 (10), 1057-1063. doi: 10.1016/j.wear.2006.01.039.
- Chun, KS., MAimunah, T., Yeng, CM., Yeow, TK., Kiat, OT., 2020. Properties of Corn Husk Fibre Reinforced Epoxy Composites Fabricated Using Vacuum-Assisted Resin Infusion. *Journal of Physical Science*, 31 (3), 17-31. doi: 10.21315/jps2020.31.3.2.
- Çavuş V., Mengeloğlu, F., 2017. The Effect of Lignocellulosic Filler Types And Concentrations on The Mechanical Properties of Wood Plastic Composites Produced With Polypropylene Having Various Melt Flowing Index (MFI). *Pamukkale Journal Of Engineering Science*, 23 (8), 994-999. doi: 10.5505/pajes.2017.80000.
- Das, H., Saikia, P., Kalita, D., 2015. Physico-Mechanical Properties of Banana Fiber Reinforced Polymer Composite as an Alternative Building Material. *Key Engineering Materials*, 650, 131-138. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.650.131.
- Demir, İ., Elmalı, M., 2020. Organik Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (4), 1303-1311. doi: 10.21923/jesd.781554.
- Gildis, J., Gaudion, L., Proust, G., Löschle, s., Dong, A., 2017. Rethinking Timber: Investigation into the Use of Waste Macadamia Nut Shells for Additive Manufacturing. *Journal of The Minerals, Metals&Materials Society*, 69, 575-579. <https://doi.org/10.1007/s11837-016-2213-6>.
- Gholampour, A., Özbakkaloğlu, T., 2020. A Review of Natural Fiber Composites: Properties, Modification and Processing Techniques, Characterization, Applications. *Journal of Material Science*, 55 (3), 829-892. doi: 10.1007/s10853-019-03990-y.
- Dubey, SC., Mishra, V., Sharma, A., 2021. A Review On Polymer Composite With Waste Material As Reinforcement. *Materials Today: Proceedings*, 47, 2846-2851. doi: 10.1016/j.matpr.2021.03.611.
- Kandemir, Y., Varol, T., Aslan, M., 2023. Silah Gövdeleri İçin Geliştirilen Polimer Kompozit Malzemeler İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Doğal Takviye Malzemesinin Seçimi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (4), 911-926. doi: 10.17714/gumusfenbil.1215620.
- Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., Özdemir, F., Güleç, T., 2013. Utilization of Sunflower Stalk in Manufacture of Thermoplastic Composite. *Journal of Polymer Environment*, 21 (4), 1135-1142. doi: 10.1007/s10924-012-0564-9.
- Laaziz, SA., Raji, M., Hilali, E., Essabir, H., Rodrigue, D., Bouhfid, R., Qaiss, A., 2017. Bio-Composites Based on Polylactic Acid And Argan Nut Shell: Production And Properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 30-42. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.05.184.
- Mistik, S. İ., Merdan, N., 2011. Doküma Bazalt-Cam ve Fındık Kabuğu Takviyeli Polimer Kompozitlerinin Eğilme Dayanımı ve Isı Geçirgenliklerinin İncelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri*, 10 (20), 119-126.
- Nik Yusuf NAA., Razab, MKAA., Abu Bakar, MB., Yen, KJ., Tung, CW., Ghani, RSM., Nordin, MN., 2018. Determination of Structural, Physical, and Thermal Properties of Biocomposite Thin Film From Waste Banana Peel. *Jurnal Teknologi*, 81 (1), 91-100. doi: 10.11113/jt.v81.12599.
- Pauksztta, D., Szostak, M., Rogacz, M., 2014. Mechanical Properties of Polypropylene Copolymers Composites Filled With Rapeseed Straw. *Polimery*, 59 (2), 165-169. doi: 10.14314/polimery.2014.165.
- Pradhan, P., Nanda, BP., Satapathy, A., 2020. Polyester Composites Filled With Walnut Shell Powder: Preparation and Thermal Characterization. *Polymer Composites*, 41 (8), 3294-3308. doi: 10.1002/pc.25620.
- Ramaraj, B., 2007. Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene/Sugarcane Bagasse Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 103 (6), 3827-3832. doi: 10.1002/app.25333.
- Rao, L., Makode, Y., Tiwari, A., Dubey, O., Sharma, S., Mishra, V., 2021. Review On Properties Of Banana Fiber Reinforced Polymer Composites. *Materials Today: Proceedings*, 47, 2825-2829, doi: 10.1016/j.matpr.2021.03.558.
- Rosa, SML., Nachtigall, SMB., Ferreira, CA., 2009. Thermal and Dynamic-Mechanical Characterization Of Rice-Husk Filled Polypropylene Composites. *Macromolecular Research*, 17 (1), 8-13. doi: 10.1007/BF03218594.
- Sahoo, S., Misra, M., Mohanty, A., (2011). Enhanced Properties of Lignin-Based Biodegradable Polymer Composites Using Injection Moulding Process. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42 (11), 1710-1718.
- Sakthivel, M., Ramesh, S., 2013. Mechanical Properties of Natural Fibre (Banana, Coir, Sisal) Polymer Composites. *Science Park*, 1 (1).
- Salasinska, K., 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., Yousif, BF., 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.
- Singh, B., 2018. Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete Characterisation, Properties and Applications *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*. 417-460. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00013-4>
- Suhot, MA., Hassan, MZ., Aziz, SA., Md Daud, MY., 2021. Recent Progress of Rice Husk Reinforced Polymer Composites: A Review. *Polymers*, 13 (15), 2391. doi: 10.3390/polym13152391.
- Şahin, AE., Fidan, S., Çetin, B., Sınmazçelik, T., 2024. Comparison of The Usage of Nut Shell, Walnut Shell, And Pistachio Shell As A Reinforcement Particle on The Mechanical And Wear Performance of Polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(16). <https://doi.org/10.1002/app.55248>

- Taşdemir, M., 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
- Väisänen, T., Haapala, A., Lappalainen, R., Tomppo, L., 2016. Utilization of Agricultural And Forest industry Waste And Residues In Natural Fiber-Polymer Composites: A Review. *Waste Management*, 54, 62-73. doi: 10.1016/j.wasman.2016.04.037.
- Vigneshwaran, S., Sundarakannan, R., John, KM., Johnson, R., Prasath, KA., Ajith, S., Arumugaprabu, V., Uthayakumar, M., 2020. Recent Advancement in The Natural Fiber Polymer Composites: A Comprehensive Review. *Journal of Cleaner Production*, 277. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124109.,
- Wijianto, W., Rijal, M.B., Adityarini, H., 2019. Effect of NaOH Concentration Treatment on Tensile Strength, Flexure Strength and Elasticity Modulus of Banana Fiber Reinforced Polyester Resin. *Materials Science Forum*, 961, 10-15.