

Gama Işımasının Kolza Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemenin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Akar Doğan^{1*}, Yılmaz Kısmet²

¹ Munzur Üniversitesi, Nadir Toprak Elementleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Tunceli, Türkiye

² Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Tunceli, Türkiye

*akardogan@munzur.edu.tr , ykismet@munzur.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 16.09.2021, Makale kabul tarihi: 01.11.2021

Öz

Bu çalışmada, kurutulmuş ve toz haline getirilmiş kolza bitkisi takviyeli polipropilen matrisli kompozit malzemenin, çekme, üç nokta eğilme ve Izod darbe mukavemetleri gibi mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Öncelikle matris malzemesi polipropilen olan ve ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranında kolza içeren numuneler ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon teknikleri kullanılarak üretilmiştir. Üretilen malzemelerin bir kısmı gama ışımaya tabi tutularak matris ve dolgu malzemesi arasındaki fiziksel bağlanma mekanizması güçlendirilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda ışımaya öncesi ve ışımaya sonrası numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimler araştırıldı. Yapılan testler sonucunda, çekme ve Izod darbe mukavemetleri, takviye olarak kullanılan kolza miktarının artması ile düştüğü, eğilme mukavemetinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Gama ışımaya maruz bırakılan numunelerin çekme, eğilme ve Izod darbe mukavemetlerinde gama ışımaya maruz bırakılmamış numunelere göre artış meydana geldiği tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Gama ışımaya, kolza, mekanik özellikler, polipropilen

Effect of Gamma Radiation on Mechanical Properties of Rape Reinforced Polypropylene Composite Material

Abstract

In this research, the mechanical properties of the dried and powdered rape reinforced polypropylene matrix composite material such as tensile, three-point bending and Izod impact strengths were experimentally investigated. Initially, samples whose matrix material was polypropylene and containing 5%, 10% and 20% by weight rape were produced using extrusion and plastic injection techniques. Some of the samples produced were exposed to gamma irradiation to strengthen the physical bonding mechanism between the matrix and the filling material. In this direction, the changes in the mechanical properties of the samples before and after gamma irradiation were investigated. As a result of the tests, it was observed that the tensile and Izod impact strengths decreased with the increase in the amount of rape used as reinforcement, while the bending strength increased slightly. It was determined that the tensile, bending and Izod impact strengths of the samples exposed to gamma irradiation increased compared to the samples that were not exposed to gamma irradiation.

Keywords: Gamma radiation, rape, mechanical properties, polypropylene

GİRİŞ

Kompozit malzemeler sahip oldukları yüksek mukavemet ağırlık oranları gibi özellikler sayesinde günümüzde birçok uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır (Doğan ve Arman, 2018; Madenci ve Ozutok, 2020; Madenci ve ark., 2020). Polimer kompozitlerde takviye elemanı sentetik ve doğal lifler olarak kategorize edilebilir. Sentetik liflerden bazıları cam, karbon, bazalt ve Kevlar'dır (Kısmet ve Doğan, 2021). Sentetik lifler sahip oldukları iyi mekanik

özellikler nedeniyle on yıllardır sıklıkla kullanılmaktadır (Özkılıç ve ark., 2020; Madenci ve ark., 2020). Bununla birlikte, kompozit malzemeye duyulan ihtiyacın artması ile özellikle karbon ve cam elyaf gibi sentetik liflerin yüksek maliyetleri nedeniyle günümüzde pek çok bilim insanı ve araştırmacı, çevreye olan zararı azaltmak ve maliyetleri düşürmek için cam ve karbon elyaf gibi sentetik takviye elemanlarının yerine, doğal liflerin

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.996361

kullanımını araştırarak hem ucuz hemde çevre dostu ürünler yapmaya büyük ilgi göstermişlerdir. Ayrıca, sürdürülebilir olmayan ürünleri sürdürülebilir ürünlerle değiştirilmesi büyük bir ihtiyaç ve gerekliliktir (Jariwala ve Jain, 2019; Singh ve ark., 2020; Kandas ve Özdemir, 2021). Bu sebeplerden dolayı doğal elyaf takviyeli polimer kompozit malzemeler üzerine birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Muz lifi (Kenned ve ark., 2020), hindistan cevizi lifi (Widnyanave ark, 2020), bambu (Aruchamy ve ark., 2020), jüt (Ovalı ve Sancak, 2020) ve keten (Wang ve ark., 2020) en çok tercih edilen doğal lifler olarak sıralanabilir.

Doğal liflerin en büyük dezavantajı, polimer malzemeler ile bir araya geldiğinde düşük ara yüzey yapışmalarına sahip olmalarıdır. Araştırmacılar, bu ara yüzey yapışma mukavemetini arttırmak için çeşitli yöntemler denemiştir. Bu yöntemler fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılabilir. Bununla birlikte fiziksel yöntemler pahalı oldukları için kimyasal yöntemler daha sık kullanılmaktadır (Vigneshwaran ve ark., 2020). Bu kimyasal yöntemlerin en çok kullanılanları ise alkali (Fiore ve ark., 2015; Alothman ve ark., 2020), Silan (Girones ve ark., 2007; Agrebi ve ark., 2020) ve asetilasyon (Simimol ve ark., 2020; Zaman ve ark., 2021) iyileştirilmesidir. Fiziksel iyileştirme yöntemlerine ise yüzey enerjisini arttıran ve doğal liflerin yüzeyini oksitleyen ve dolayısıyla hidrofilik lifler ile hidrofobik matris arasındaki uyumluluğu iyileştiren Korona yöntemi (Sreekala ve ark., 2000) ile zayıf bir şekilde bağlanmış yüzey katmanlarını kaldırarak ve yeni fonksiyonel gruplar oluşturarak liflerin yüzey özelliklerini değiştirmek için kullanılan plazma yöntemi (Koohestani ve ark., 2018) örnek olarak gösterilebilir.

Bu çalışmada ise literatürde yeteri kadar araştırılmamış olan kolza bitkisinin önemli bir ticari termoplastik olan polipropilende (PP) takviye elemanı olarak kullanılması incelenmiştir. Kurutulmuş ve toz haline getirilmiş kolza bitkisi ile güçlendirilmiş polipropilen kompozit numunelerin mekanik özellikleri incelenmiş ve ağırlıkça farklı oranlarda kolza takviyesi ile bu polipropilen numunelerinin çekme, üç nokta eğilme ve izod darbe mukavemetlerinde ki değişimler grafiklerle verilerek tartışılmıştır. Ayrıca, bu malzemeler gama ışınına maruz bırakılarak, ışımanın matris ve takviye elemanı üzerindeki etkileride incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda gama ışıması ile ağırlıkça farklı oranda

kolza içeren tüm numunelerin mekanik özelliklerinde iyileşme gözlenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada matris malzemesi olarak önemli bir ticari termoplastik olan polipropilen malzemesi kullanılmıştır. PETOPLN EH102 kodlu polipropilen malzemesi PETKİM (Türkiye) şirketinden temin edilmiştir. Takviye elemanı olarak ise öğütülerek küçük parçalar haline getirilmiş kurutulmuş kolza bitkisi kullanılmıştır. Güneş ışığında iki hafta boyunca kurutulan kolza bitkisi daha sonra öğütülmüştür. Öğütülen kolza bitkisinin boyutlarının birbirine yakın olması için önce 1 mm'lik elekten daha sonra 0.6 mm elekten geçirilmiştir ve elekte kalan malzemeler kullanılmıştır. Matris malzemesine ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında kolza takviye edilerek farklı oranlara sahip karışımlar elde edilmiştir. Malzemelerin öncelikle eriyik akış indeksleri (MFI) belirlenmiştir. MFI testleri Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan "JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model" MFI eriyik akış cihazı kullanılarak ASTM D1238 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu standartlar çerçevesinde polipropilen için 230/2.16 değerleri yani 2.16 kg ağırlık ve 230 °C sıcaklık kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de farklı oranlardaki kolza takviyeli polipropilen kompozit malzemesine ait eriyik akış indeksleri verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere kolza katkısının artışı ile eriyik akış indeksinde düşüş meydana gelmiştir. Saf polipropilen malzemesinin eriyik akış indeksi 10.67 gr/10 dakika iken bu değer %20 kolza takviyeli polipropilen malzemesinde 6.71 gr/10 dakika olarak ölçülmüştür. Malzemenin eriyik akış indeks değerleri ile matrise eklenecek maksimum takviye miktarı hakkında bilgi elde edilmiştir. Ağırlıkça %20 kolza takviyesinin üzerindeki malzemelerde eriyik akış indeksi oldukça düşmektedir. Bu nedenle ağırlıkça daha yüksek takviye malzemesine sahip kompozit malzemeler üretilmemiştir. Ayrıca MFI testi ile ekstrüzyon ve enjeksiyon makinelerinde kullanılacak parametreler hakkında, özellikle sıcaklık ile ilgili ön bilgiler belirlemiştir. Eriyik akış indeksleri belirlendikten sonra bu karışımlar önce bir mikserde mekanik olarak karıştırılmış, ardından homojen bir karışım elde etmek için tek vidalı bir ekstrüzyon makinesine dökülerek plastik şerit elde edilmiştir. Bu homojenleştirme işlemi için 150 ila 170 ° C'de farklı

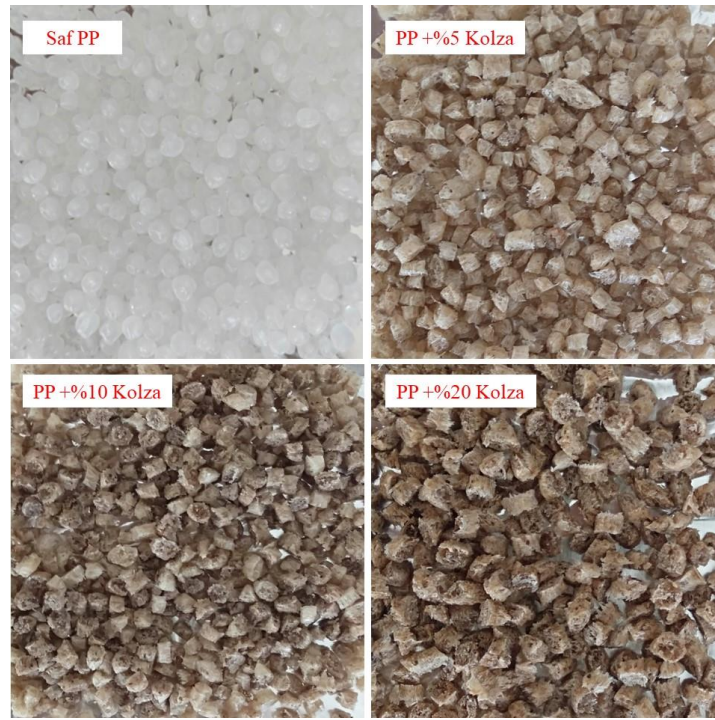
Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.996361

sıcaklıklara sahip üç bölge ve bir kalıp ısıtmalı ekstrüzyon kullanılmıştır. Ekstrüder çıkışında 4 mm çapındaki silindirik kesitten akan erimiş şerit halindeki karışım soğutma havuzuna daldırıldıktan hemen sonra bir konveyör bant vasıtasıyla kırıcıya gönderilmiştir. Malzeme kırıcıdan geçirilerek 3 ila 5

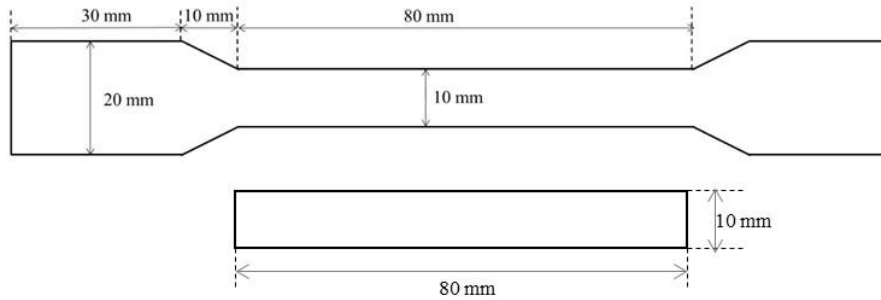
mm boyutlarında granüller elde edilmiştir. Şekil 1’de saf ve farklı oranlarda kolza takviyeli polipropilen granülleri verilmiştir. Daha sonra bu granüller plastik enjeksiyon makinasına (EKİN 100 Ton) dökülerek Şekil 2’de boyutları verilen standart test numuneleri üretilmiştir.

Tablo 1. Farklı miktarda kolza malzemesi takviyeli PP Kompozit malzemesine ait eriyik akış indeksi

	Saf PP	PP+%5Kolza	PP+%10Kolza	PP+%20Kolza
MFI (gr/10dak.)	10.67	9.48	7.97	6.71



Şekil 1. Farklı oranlarda kolza takviyeli PP granüller



Şekil 2. Standart çekme ve üç-nokta eğilme test numunelerinin şematik olarak gösterimi

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.996361

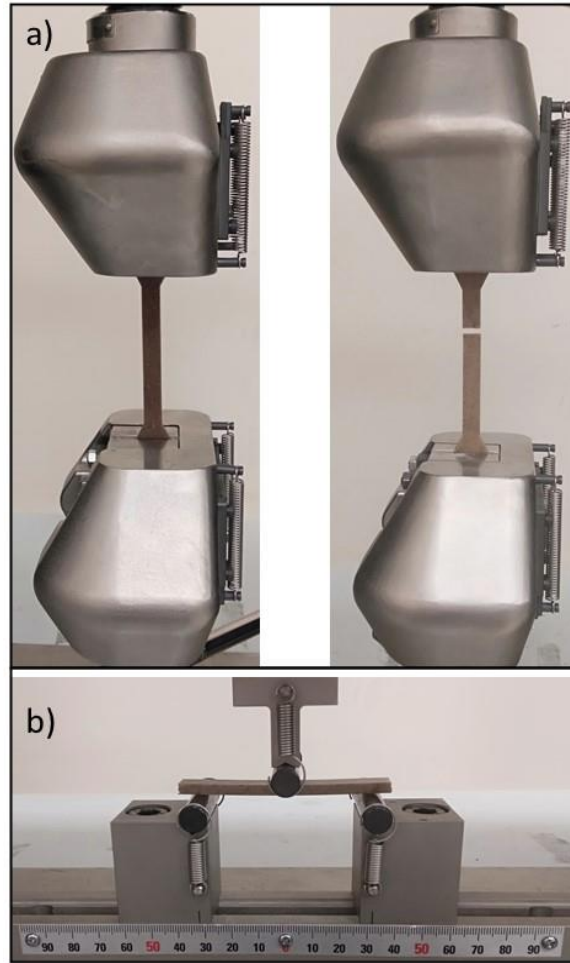
Gama ışınması etkisinin incelenmesi için, üretilen test numuneleri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nda (TAEK) 24 saat boyunca 45 kGry gama ışınmasına maruz bırakılmıştır. Polipropilen ve kolza takviyesi ile oluşturulan kompozitlerin mekanik özelliklerindeki değişimler hem takviye elamanının oranına hem de gama ışınmasının etkisine bağlı olarak incelenmiştir. Bu mekanik özellikler kapsamında gerçekleştirilen çekme ve üç nokta eğilme testleri Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde bulunan ve 100 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu AG-IC test cihazında yapılmıştır. Şekil 3a' da çekme testi öncesi ve sonrası test düzeneği ile çekme numunesi verilmiştir. Çekme testleri EN ISO 527 standardına uygun olarak 50 mm/dakika hız altında gerçekleştirilmiştir. Üç nokta eğilme testleri ise EN ISO 178 test standardına göre yapılmış ve test

hızı 10 mm/dakika olarak seçilmiştir. Üç nokta eğilme düzeneği Şekil 3b'de gösterilmiştir. Burada destekler arası mesafe 64 mm, destek çapları ise 10 mm'dir. Eğilme mukavemeti (σ_b) Denklem 1 yardımı ile bulunmuştur.

$$\sigma_b = \frac{3FL}{2bt^2} \quad (1)$$

Burada F kuvvet, L destekler arası mesafe, b numune genişliği, t ise numune kalınlığıdır.

Bu testler sonucunda malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri elde edilmiştir. Malzemelerin Izod darbe mukavemetlerini belirlemek için, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde bulunan Ceast Fractovis Plus test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3. Çekme testi ve eğilme testi düzenekleri

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.996361

TARTIŞMA VE SONUÇ

Ağırlıkça farklı oranlarda kolza takviyesine sahip polipropilen malzemelerinin ve aynı zamanda bu malzemelerin gama ışımasına tabi tutulma durumlarına bağlı olarak elde edilen mekanik özelliklerine ait değişimler aşağıda sunulmuştur.

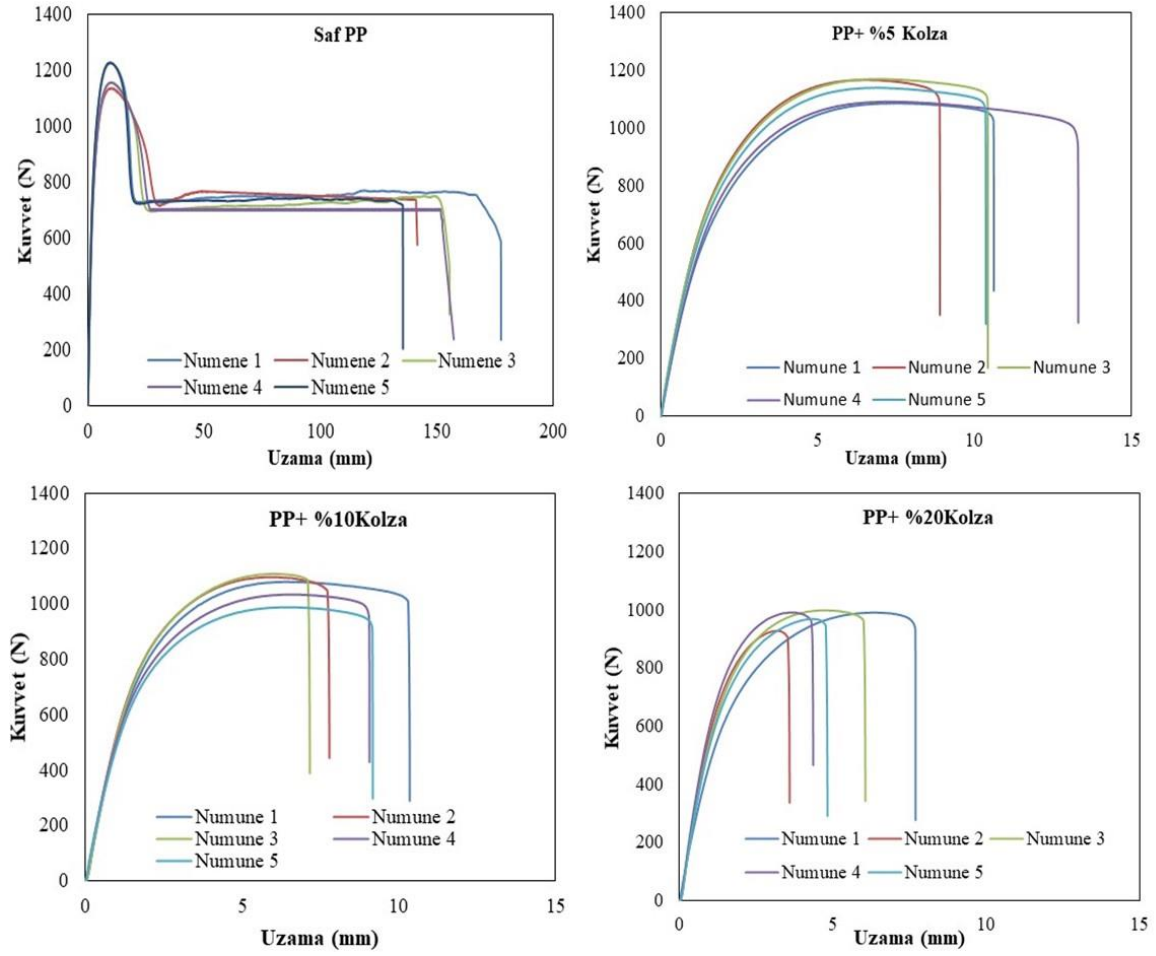
Saf polipropilen ve kolza takviyeli malzemelerin çekme testi sırasında elde edilen kuvvet-uzama eğrileri Şekil 4’de verilmiştir. Her bir malzeme için testler beş kez tekrarlanmıştır ve ortalama değerler alınarak standart sapmaları ile birlikte grafiklerde sunulmuştur. Şekilde görüldüğü üzere malzemelerin uzama değerlerinde dramatik bir düşüş meydana gelmiştir. Takviyeli malzeme saf malzemeye oranla daha gevrek bir duruma gelmiştir. Saf polipropilen malzemesinin ortalama uzama değeri 150 mm civarında iken bu değer %20 kolza takviyeli propilen malzemesinde 6 mm’ye kadar düşmüştür. Saf polipropilen malzemesi maksimum kuvvete ulaştıktan sonra bir miktar düşmüş ve daha sonra sabit kuvvet altında uzadıktan sonra kopmuştur. Bununla birlikte kolza takviyeli malzemelerde kuvvet maksimum değere ulaştıktan bir müddet sonra kopma meydana gelmiştir. Çekme testi sonucunda hasara uğramış malzemelerin görüntüleri şekil 5’de verilmiştir. Yukarıda bahsedilen, katkı malzemesi ile birlikte malzemenin gevrek hale gelmesi şekilde açıkça görülmektedir.

Ağırlıkça farklı oranda kolza takviye edilen polipropilen matrisli kompozitlerin gama ışıması öncesi ve sonrası çekme mukavemeti değerleri Şekil 6a’da verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere, kolza takviyesi miktarının artışı ile, malzemenin çekme mukavemetinde düşüş eğilimi vardır. Saf polipropilen malzemesinin çekme mukavemeti 30.2 MPa iken %5, %10 ve %20 kolza takviyeli polipropilen kompozit malzemelerinin çekme mukavemetleri sırası ile 28.60 MPa, 25.10 MPa ve 23.70 MPa olarak belirlenmiştir. Gama ışımasına maruz bırakılan aynı karışım oranlarına sahip numunelerin ise çekme mukavemetinde ışıma etkisi ile artış meydana gelmiştir. Saf polipropilen malzemesinin çekme mukavemeti 31.80 MPa olarak ölçülmüş, bu da yaklaşık %5 artışa denk gelmektedir. Bununla birlikte, %5, %10 ve %20 kolza takviyeli polipropilen kompozit numunelerin çekme

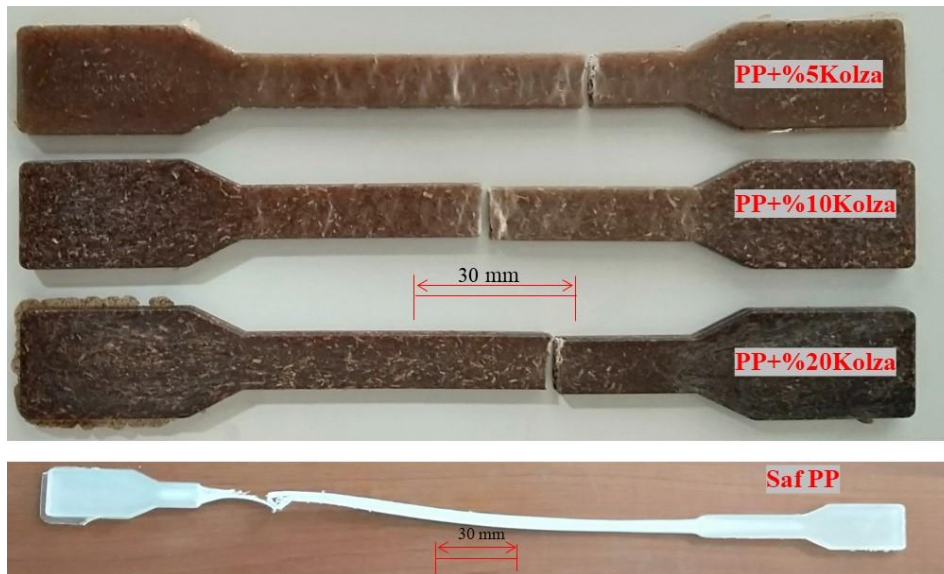
mukavemetleri gama ışıması sonrası sırasıyla 30.60 MPa, 28.20 MPa ve 26.70 MPa olmuştur. Gama ışıması etkisi ile %5 kolza takviyeli malzemenin çekme mukavemeti %7 oranında artarken, %10 ve %20 kolza takviyeli malzemelerin çekme mukavemetinde ise yaklaşık %12 oranında bir artış meydana gelmiştir. Çekme mukavemetindeki bu düşüş benzer şekilde, Yetkin ve Çolak (2020) tarafında sunulan grafit katkılı polipropilen kompozit malzede görülmüştür. Bu düşüşün sebebi, katkı malzemesi ile polimer matris arasında oluşan zayıf arayüzey yapışması olabileceğini sunmuşlardır. Ayrıca, kolza katkı malzemesinin heterojen dağılması ve kolza malzemesinin mekanik özelliklerinin polipropilen malzemesinden düşük olma olasılığında bu düşüşe sebep olan etkenler arasındadır. .

Şekil 6b’de ağırlıkça farklı oranlarda kolza miktarına sahip numunelere ait üç nokta eğilme mukavemetlerinin değişimi verilmiştir. Çekme mukavemetinin aksine, eğilme mukavemetinde %5 kolza takviyeli malzeme bir miktar düşüş gözlenmiş ancak %10 ve %20 kolza takviyeli malzemelerde eğilme mukavemeti yükselmiştir. Saf polipropilen malzemesinin eğilme mukavemeti 43.10 MPa iken, %5 kolza miktarına sahip malzemenin eğilme mukavemeti bir miktar azalarak 42.70 MPa olmuştur. Bununla birlikte, kolza miktarı %10 ve %20 olan malzemelerin eğilme mukavemeti artarak sırasıyla 43.50 MPa ve 44.20 MPa olarak ölçülmüştür. Ancak şekilde de açıkça görüleceği üzere standart sapma değerleride yükselmiştir. Kolza malzemesinin homojen bir şekilde dağılmaması ve arayüzey yapışmasının düşük olması buna neden olarak gösterilebilir. Çekme mukavemetine benzer şekilde gama ışıması ile tüm numunelerin eğilme mukavemetleri aynı malzemelere göre yükselmiştir. Özellikle, %10 kolza takviyeli numunelerin eğilme mukavemeti %11 artarak 48.50 MPa olarak belirlenmiştir. Gama ışıması sonrası, Saf PP, ağırlıkça %5 ve %20 kolza katkılı numunelerin eğilme mukavemetleri sırasıyla 46.10 MPa, 46.30 MPa ve 47.20 MPa olarak ölçülmüştür. Ayrıca şekilde de görüldüğü üzere, malzemelerin standart sapmalarında da gama ışıması sonrası düşüş meydana gelmiştir.

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.996361

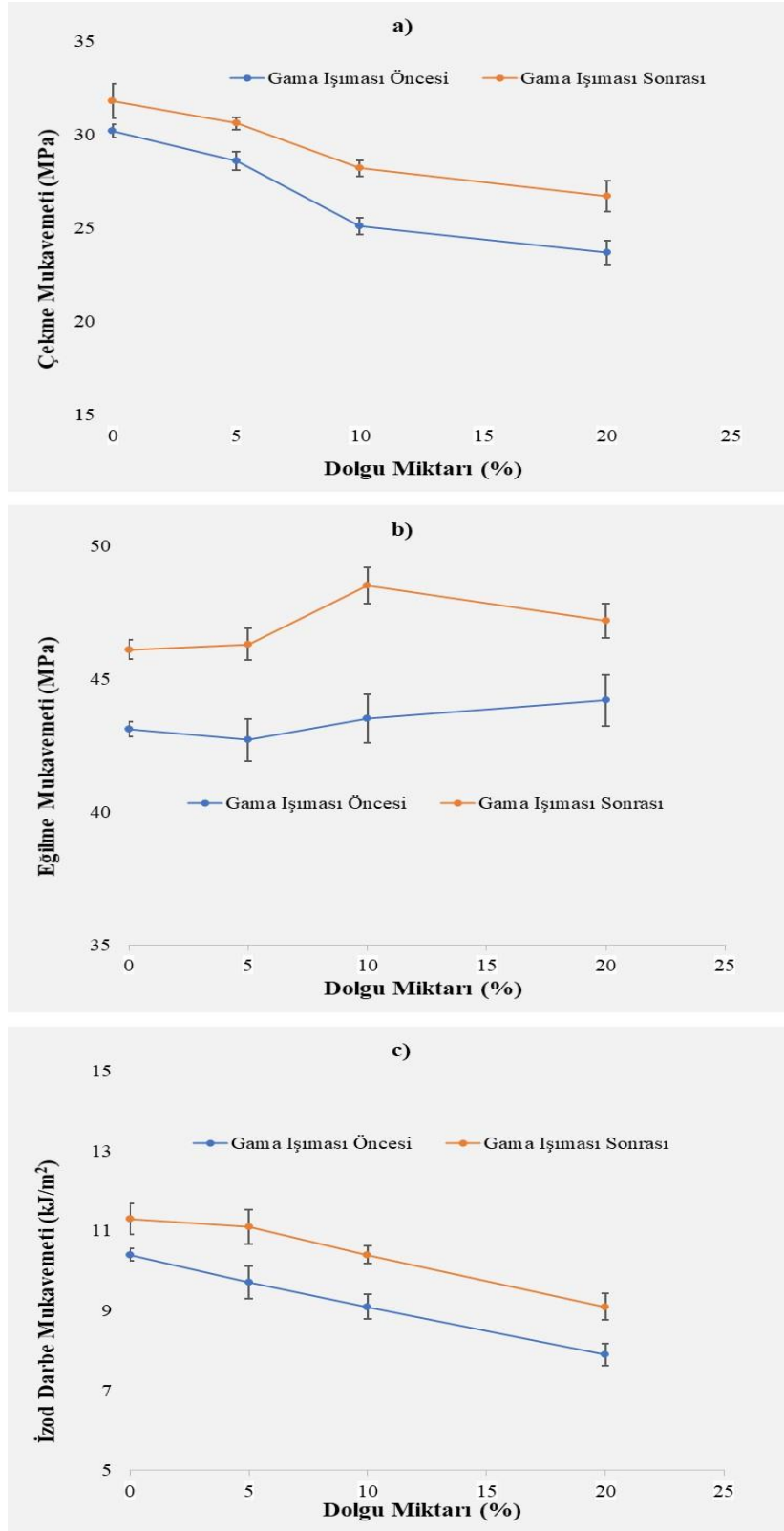


Şekil 4. Çekme testi sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrileri

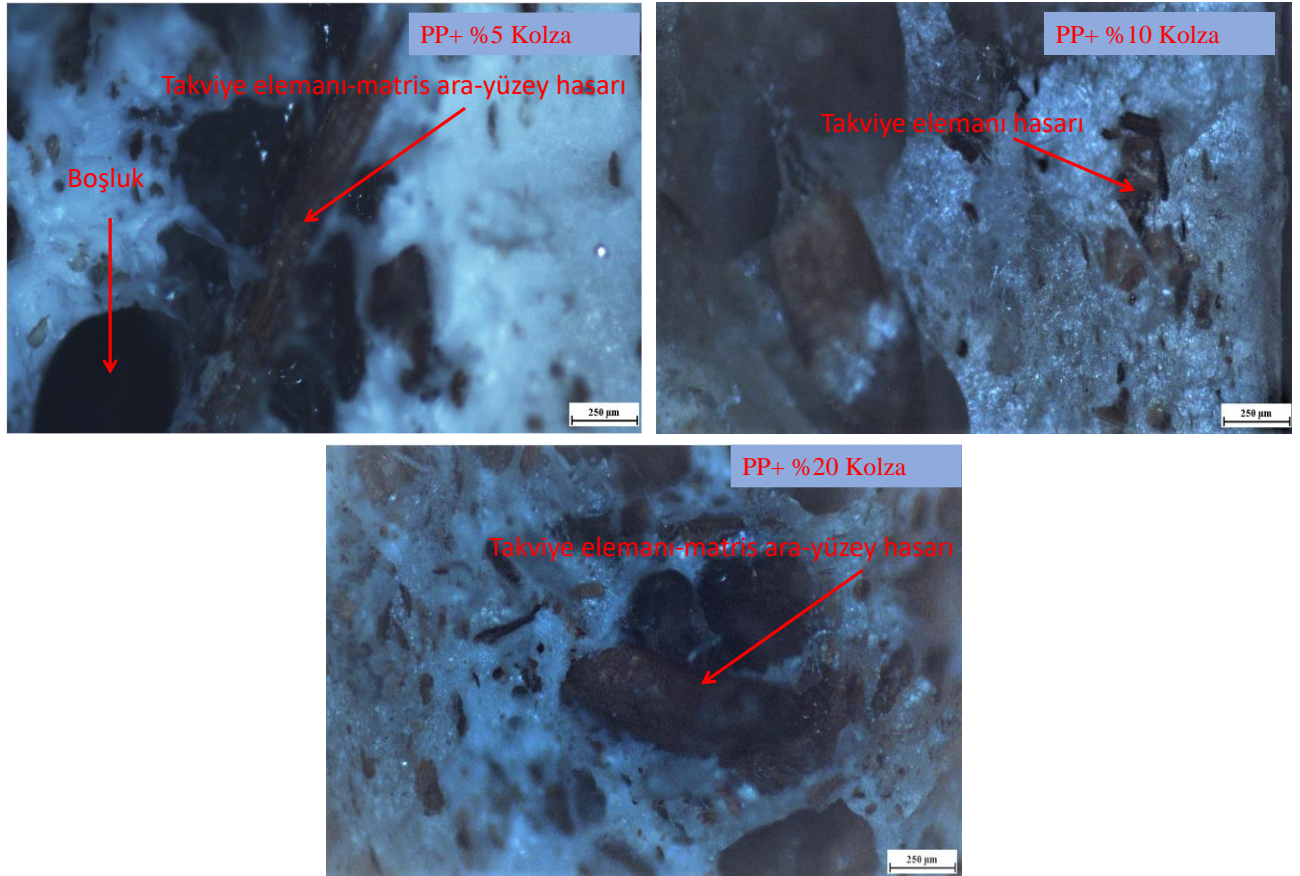


Şekil 5. Çekme testi sonucunda malzemelerde oluşan hasar görüntüleri

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.996361



Şekil 6. Gama ışıması öncesi ve sonrası kolza takviyeli PP numunelerinin a) çekme b) eğilme c) izod darbe mukavemetindeki değişim



Şekil 7. Hasara uğramış malzemelerin kesitlerinin mikroskobik görüntüleri

Şekil 6c'de ise izod darbe mukavemetinin kolza takviyesi miktarı ve gama ışıması ile değişimi gösteren grafikler verilmiştir. Şekilde açıkça görüleceği üzere takviye malzemesinin artışı ile izod mukavemetinde azalış meydana gelmiştir. Saf polipropilen malzemesinin izod darbe mukavemeti 10.40 kJ/m^2 iken bu değer ağırlıkça %5, %10 ve %20 kolza takviyeli malzemeler için sırasıyla 9.7 kJ/m^2 ; 9.1 kJ/m^2 ve 7.9 kJ/m^2 olarak ölçülmüştür. Gama ışımasına maruz kalan numunelerin izod darbe mukavemetinde artış meydana gelmiştir. Saf PP ve ağırlıkça %5, %10 ve %20 kolza takviyeli PP numunelerin izod darbe mukavemetleri gama ışıması sonrası sırasıyla 11.30 kJ/m^2 , 11.10 kJ/m^2 , 10.40 kJ/m^2 ve 9.10 kJ/m^2 olarak ölçülmüştür. Gama ışıması sonrası izod darbe mukavemetinde saf polipropilen de yaklaşık %8.6 artış olurken, kolza takviyeli malzemelerde gama ışıması sonrası izod darbe mukavemetinde %15'e yakın artış meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Çekme testi sonucunda hasara uğramış kolza takviyeli polipropilen malzemelerinin kestlerinin mikroskobik görüntüleri NIKON marka ECLIPSE MA100 optik mikroskobu kullanılarak Şekil 7'de verilmiştir. Şekildedeki görüleceği üzere, takviye elemanı hasarı ve takviye elemanı ile matris arasındaki ara-yüzey hasarları ana hasar modlarıdır. Ayrıca homojen bir dağılım olmadığından dolayı meydana gelen boşluklarda mevcuttur. Bu boşluklarda malzemenin mukavemetinde düşüşe neden olacaktır.

DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada ağırlıkça farklı oranlarda kolza takviyeli polipropilenin mekanik özelliklerindeki değişimler hem kolza oranına bağlı olarak hem de gama ışıması etkisine bağlı olarak araştırılmıştır. Polipropilen içerisinde ağırlıkça artan kolza miktarına bağlı olarak numunelerin çekme ve izod darbe dayanımlarının azaldığı tespit edildi. Bununla birlikte üç nokta eğilme testleri neticesinde ise

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.996361

polipropilen içerisinde artan kolza miktarı ile numunelerin eğilme mukavemetinde artış görülmüştür. Ayrıca Gama ışınlarına maruz bırakılan malzemelerin mekanik özellikleri iyileşmede çekme ve izod darbe mukavemetlerinin yine kolza takviyesinin artması ile düştüğü gözlenmiştir. Bu düşüşün önlemek için kolza malzemesine alkali iyileştirme gibi yüzey iyileştirme yöntemleri uygulanarak polipropilen ile kolza arasındaki arayüzey yapışma mukavemeti artırılabilir. Ayrıca çift vidalı ekstruder kullanılarak daha homojen bir yapı elde edilebilir. Böylece mekanik özellikler iyileştirilebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar/Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Agrebi F., Hammami H., Asim M., Jawaid M., Kallel A. (2020). Impact of silane treatment on the dielectric properties of pineapple leaf/kenaf fiber reinforced phenolic composites. *Journal of Composite Materials*, 54 (7), 937-946.
- Alothman O.Y., Alrashed M.M., Anis A., Naveen J., Jawaid M. (2020). Characterization of date palm fiber-reinforced different polypropylene matrices. *Polymers*, 12 (3), 597.
- Aruchamy K., Subramani S.P., Palaniappan S.K., Sethuraman , Kaliyannan G.V. (2020). Study on mechanical characteristics of woven cotton/bamboo hybrid reinforced composite laminates. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (1), 718-726.
- Dogan A., Arman Y. (2018). The effect of hygrothermal aging on the glass and carbon reinforced epoxy composites for different stacking sequences. *Mechanics*, 24 (1), 19-25.
- Fiore V., Di Bella G., Valenza A. (2015). The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites. *Composites Part B: Engineering*, 68, 14-21.
- Girones J., Méndez J.A., Boufi S., Vilaseca F., Mutjé P. (2007). Effect of silane coupling agents on the properties of pine fibers/polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 103 (6), 3706-3717.
- Jariwala H., Jain P. (2019). A review on mechanical behavior of natural fiber reinforced polymer composites and its applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 38 (10), 441-453.
- Kandas, H., Özdemir O. (2021). Çam ve Meşe Palamudu Tozu Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23 (67), 147-155.
- Kenned J.J., Sankaranarayanan K., Binoj J.S., Chelliah S.K. (2020). Thermo-mechanical and morphological characterization of needle punched non-woven banana fiber reinforced polymer composites. *Composites Science and Technology*, 185, 107890.
- Kısmet Y., Dogan A. (2021). Characterization of the mechanical and thermal properties of rape short natural-fiber reinforced thermoplastic composites. *Iran Polym Journal* <https://doi.org/10.1007/s13726-021-00988-9>
- Koohestani B., Darban A.K., Mokhtari P., Yilmaz E. & Dazereshtki, E. (2019). Comparison of different natural fiber treatments: a literature review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), 629-642.
- Madenci E., Ozutok A. (2020). Variational approximate for high order bending analysis of laminated composite plates. *Structural Engineering and Mechanics*, 73(1), 97-108.
- Madenci E., Özkılıç Y.O., Gemi L. (2020). Theoretical investigation on static analysis of pultruded GFRP composite beams. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(3), 483-490.
- Madenci E., Özkılıç Y.O., Gemi, L. (2020). Experimental and theoretical investigation on flexure performance of pultruded GFRP composite beams with damage analyses. *Composite Structures*, 242, 112162.
- Ovalı S., Sancak E., (2020). Investigation of mechanical properties of jute fiber reinforced low density polyethylene composites. *Journal of Natural Fibers*, 1-18.
- Özkılıç Y.O., Madenci E., Gemi L. (2020). Tensile and compressive behaviors of the pultruded GFRP lamina. *Turkish Journal of Engineering*, 4(4), 169-175.
- Simimol A.S., Sebastian S., Ravindranath D.A., Jacob A. (2020). Enhancement of Physical, Mechanical and Morphological Properties of Coir by Mercerization and Acetylation. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5, 530-535.

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.996361

- Singh Y., Singh J., Sharma S., Lam T.D., Nguyen D.N. (2020). Fabrication and characterization of coir/carbon-fiber reinforced epoxy based hybrid composite for helmet shells and sports-good applications: influence of fiber surface modifications on the mechanical, thermal and morphological properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (6), 15593-15603.
- Sreekala M.S., Kumaran M.G., Joseph S., Jacob M., Thomas S. (2000). Oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites: influence of fibre surface modifications on the mechanical performance. *Applied Composite Materials*, 7(5), 295-329.
- Vigneshwaran S., Sundarakannan R., John K.M., Johnson R.D.J., Prasath K.A., Ajith S., Arumugaprabu V., Uthayakumar M. (2020). Recent advancement in the natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 227, 124109.
- Wang A., Wang X., Xian G. (2020). Mechanical, low-velocity impact, and hydrothermal aging properties of flax/carbon hybrid composite plates. *Polymer Testing*, 90, 106759.
- Widnyana A., Rian G., Surata W., Nindhia T.G.D. (2020). Tensile Properties of coconut Coir single fiber with alkali treatment and reinforcement effect on unsaturated polyester polymer. *Materials Today: Proceedings*, 22, 300-305.
- Yetkin S., Çolak M. (2020). Grafit katkı polipropilen kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(2), 649-658.
- Zaman H.U., Khan R.A. (2021). Acetylation used for natural fiber/polymer composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34 (1), 3-23.