

Gama Işımasının Polietilen ve Kurutulmuş Kolza Bitkisi Karışımlarından Üretilmiş Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Yılmaz Kısmet

Tunceli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli
Yazışmalardan sorumlu yazar: E-mail: ykismet@tunceli.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, kurutulmuş kolza bitkisi takviyeli polietilenden üretilmiş standart çekme deney numunelerinin mekanik özelliklerinin gama ışımaya bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Matris malzemesi alçak yoğunluklu polietilen olan ve içerisinde ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında kurutulmuş kolza içeren bu standart çekme deney numuneleri on iki saat boyunca 45 kGry'lık gama ışımaya tabi tutulmuşlardır. Bu şekilde matris malzeme ile dolgu malzemesinin fiziksel olarak bağlanma mekanizması güçlendirilmeye çalışılmış ve bu durum ışımaya sonrasında numunelere uygulanan mekanik testler ile tespit edilmiştir. Bu mekanik testler kapsamında numunelerin çekme gerilmeleri, üç nokta eğilme mukavemetleri ve darbe dayanımları incelenmiş; sonuçlar gama ışımaya tabi tutulmamış numuneler için gerçekleştirilmiş olan mekanik test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle, gama ışımaya tabi kurutulmuş kolza takviyeli polietilenin mekanik özellikleri üzerine etkileri tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Termoplastik, Polietilen, Kolza, Gama Işımaya, Mekanik Özellikler.

Effect of Gamma Radiation on Mechanical Properties of Composites Produced from the Mixture of Polyethylene and Dried Colza Plant

Abstract

In this study, changes in mechanical properties of the standard tensile experiment samples which are produced with dried colza plant consolidated polyethylene due to gamma radiation were examined. These standard tensile experiments samples whose matrix material is low density polyethylene and contain 10%, 20%, and 30% dried colza by weight, are exposed to 45 kGry gamma radiation for twelve hours. This wise, the physical mechanism of adhering between matrix and filling material is tried to strengthen and it is verified by applied mechanical tests to the samples after the gamma radiation. The mechanical tensile strength of the samples under test, three-point bending strength and impact strength were examined and the results are compared with the mechanical test results of the samples which are not exposed to the gamma radiation. This way, effects of the gamma radiation on the mechanical properties of the polyethylene with consolidation of dried colza plant are determined.

Keywords: Thermoplastic, Polyethylene, Colza, Gama Radiation, Mechanical Properties.

GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile

beraber ihtiyaçlarımız da artmakta ve bu artışa cevaben sürekli yeni teknikler

Araştırma/Research

kullanılarak alternatif malzemeler geliştirilmektedir. Bu noktada, yaşadığımız doğanın bize sunmuş olduğu kaynakları, gelişen teknolojiler ile birleştirerek ihtiyaçlarımıza cevap verecek doğrultuda kullanmak, günümüz dünyasında büyük önem kazanmıştır. Böylelikle üretimi kolay, maliyeti düşük ve ihtiyaçlarımızı karşılayabilecek ürünler geliştirilebilmektedir.

Organik ürünler ve bu ürünlerin atıkları çok uzun yıllardır polimerlerde dolgu malzemesi olarak kullanılmakta ve farklı kompozitler geliştirilmektedir. Bu şekilde polimerlerden ürettiğimiz malzemelerin, iyileştirilmesini istediğimiz herhangi bir özelliğini iyileştirebilmemiz mümkün olmakta, aynı zamanda üretim kolaylaştırılarak maliyeti azaltılabilmektedir. Örneğin, otomotiv sanayinde polimerlerden imal edilen parçaların ihtiyaca göre mekanik, ısı ya da farklı fiziksel özelliklerini iyileştirebilmek için keten, kendir, kenevir, Hint keneviri gibi organik maddeler kullanılmaktadır (Micusik ve ark., 2006; Gysau, 2006; Kijenska ve ark., 2010; Amer, 2011). Yine benzer olarak odun talaşlarının polimer malzeme içerikli yapıştırıcılar ile karıştırılıp preslenmesi sonucunda mobilya parçaları üretilmektedir (Michaeli, 2006; Zou ve ark., 2008; Deng ve ark., 2010; Kaiser, 2011). Elde edilen karışımlarda kompoziti oluşturan ana malzeme matris malzeme olarak tanımlanırken, bu matris malzemenin herhangi bir özelliğini iyileştirmek için kullanılan diğer eleman(lar) takviye veya dolgu malzemesi olarak adlandırılırlar (Stoeckhert ve Woebken, 1998; Osman ve ark., 2004; Juhasz ve ark., 2004). Bu şekilde oluşturulan matris ve dolgu malzemesi karışımların mümkün olduğunca homojen olması ve aralarında oluşan fiziksel bağın

yeterince güçlü olması şarttır. Bu homojenlik ve fiziksel etkileşim, üretilen kompozitin, başta mekanik ve ısı özellikleri olmak üzere farklı birçok özelliğini doğrudan etkilemektedir (Nawang ve ark., 2001; Luo ve ark., 2013). Bu çalışmada da, kurutulmuş kolza bitkisi atıkları ve polietilen karışımlarından oluşan standart çekme deney numunelerinin gama ışımaya maruz kalmaları sonucunda, mekanik özelliklerinin nasıl değiştiği tespit edilerek, ışımaya öncesi mevcut mekanik özelliklere ait sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle, matris ve dolgu malzemelerinin mekanik özellikleri üzerine gama ışımalarının etkileri belirlenmiştir.

Elektromanyetik bir ışımaya olan gama ışınları, polimer endüstrisinde yaygın olmasa da kullanılan bir uygulamadır. Özellikle tıp alanında ihtiyaç duyulan plastik ürünlerin sterilizasyonunda kullanılmaktadır (Olguner ve Özer, 2000; Naki, 2003). Moleküler bozunuma yol açmadan, düşük dozlarda gerçekleştirilen bu sterilizasyon işlemi dışında, polimer kompozitlerin bağlanma mekanizmalarının güçlendirilmesine yönelik çalışmalarda da kullanılmaktadır. Sterilizasyon işlemine göre daha yüksek dozajlarda gerçekleştirilen bu güçlendirme işlemi için yaklaşık olarak 30 ila 150 kGry arasında gama ışınları uygulanmalıdır (Amer, 2011). Bu şekilde kompoziti oluşturan matris malzeme, bozunuma uğramadan önce moleküler arası bağları güçlenmektedir. Polietilen molekül yapısı nedeni ile radikal ağlara sahiptir ve bu mekanizmanın uyarılarak ağ yapısının güçlendirilebilmesi için 50 ila 100 kGry gama ışınlarına ihtiyaç vardır. Polimer malzemeler, ışınmayı dışarı yansıtmayarak tamamen absorbe ettikleri için uygulanan gama ışınları ile

Araştırma/Research

polietilen kompozitlerin mekanik, ısı ya da fiziksel özellikleri istenilen ölçüde iyileştirilebilmektedir (Naki, 2003; Amer, 2011).

Türkiye'de rapiska adı ile bilinen kolza (kanola) bitkisi yemeklik yağ kalitesi yüksek, pancar ile lahanadan oluşan bir bitki çeşitidir. Biyodizel üretiminde de kullanılan kolza bitkisi ülkemizde yazlık ve kışlık olarak yetiştirilebilmektedir (Kijenska ve ark., 2010; Amer, 2011). 2002 yılı istatistiklerine göre Türkiye'de yalnızca 5500 dekarlık ekim alanında 1500 ton üretim miktarına sahip olan kolza bitkisinin, 2014 yılı verilerine göre ekim alanı artarak 268 298 dekara ve üretim miktarı da 100 000 ton civarına ulaşmıştır (TÜİK, 2014).

Kompozit malzeme üretiminde genellikle matris malzeme olarak yeralan polimerler, uzun yıllardır günlük ihtiyaçlarımızı karşılamada hayatımızın her alanına girmiş alternatif malzemelerdir. Kimyasal yapısında içerik olarak daha çok H₂, O₂, N₂ ve C gibi elementleri barındıran polimerler ve bu elementlerden oluşan aynı ya da farklı türden monomerlerin birbirlerine tekrar eklenerek oluşturdukları uzun zincirlerdir. Polimeri oluşturan bu uzun zincirler monomerlerin üç farklı şekilde sentezlenmesi ile elde edilirler: polimerizasyon, polikondenzasyon ve poliadisyon (Kaufer, 1981; Michaeli, 2006; Müller, 2009; Kısmet, 2012).

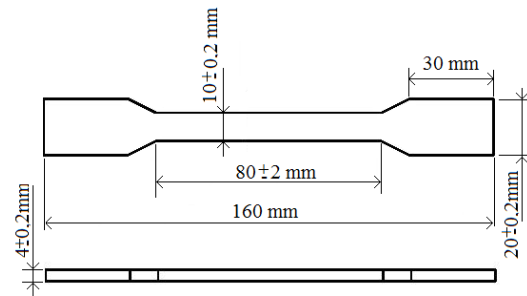
Endüstride bir çok alanda kolay işlenebilirliği, ucuzluğu, hafifliği vb. gibi birçok özelliğinden dolayı sıklıkla kullanılan polimerler fiziksel özelliklerine göre termoplastikler, duroplastikler (termosetler) ve elastomerler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Kaufer, 1978; Ravve, 2000; Kısmet, 2012). Termoplastikler düz veya dallanmış yapıdaki zincir molekülleridir. İkincil bağ kuvvetleri ile

bir araya geldikleri için tekrar tekrar eritilebilir, çözülebilir ve plastik olarak şekil verilebilir. Kristal ve amorf yapıda olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu çalışmada kullanılan standart çekme deney numunelerinin matris malzemesini oluşturan alçak yoğunluklu polietilen de, düşük erime sıcaklığı ve kimyasallara karşı yüksek direnç gibi özelliklere sahip olan kristal yapıdaki bir termoplastiktir (Schwarz, 2002; Eyerer ve ark., 2005).

Duroplastikler ya da en sık kullanım şekli ile termosetler çok güçlü bağ yapısına sahip molekül zincirlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle erimezler, çözünmezler, oda sıcaklığında katı ve sert yapıdadırlar. Örnek olarak, poliester reçine ve epoksi reçine verilebilir. Polimerlerin diğer bir grubunu ise lastik yapıda, akma özelliği olmayan elastomerler oluşturmaktadır (Hellerich, 2001; Eyerer ve ark., 2005; Michaeli, 2006; Kısmet, 2012).

MATERYAL ve YÖNTEM

Deneylerde kullanılan ve ölçüleri Şekil 1'de verilen standart çekme deney numunelerinin matris malzemesi "I22-19T" ürün numaralı alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), dolgu malzemesi ise kurutulmuş kolza bitkisidir.



Şekil 1. Standart çekme deney numunesi.

Öncelikle, plastik enjeksiyon makinesi ile üretilmiş ve ağırlıkça %10,

Araştırma/Research

%20 ve %30 kurutulmuş kolza barındıran polietilen matrisli standart çekme deney numuneleri ile hiç kolza içermeyen %100 polietilenden üretilmiş deney numuneleri, Tablo 1'de belirtildiği gibi sınıflandırılmıştır. Daha sonra sınıflandırması yapılan bu 120 adet standart çekme deney numunesi, Ankara'da bulunan Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda (TAEK) gama ışımaya maruz bırakılmıştır. 50 kGry'lık gama ışınması, numunelere 24 saat boyunca uygulanmıştır.

Gama ışımaya maruz bırakılan numuneler, yapılan sınıflandırma bozulmadan mekanik testlere tabi tutulmuşlardır. Mekanik testler kapsamında numunelerin çekme gerilmeleri, üç nokta eğilme mukavemetleri ve darbe dayanımları incelenmiştir. Herbir karışım oranı için gerçekleştirilen mekanik analizlerde toplamda 30 adet olmak üzere, herbir analiz için ise onar adet numune kullanılmıştır.

Tablo 1. Gama ışımaya maruz bırakılmış standart çekme deney numunelerinin içerdikleri matris malzeme ve dolgu malzemesi miktarları ile adetleri.

Standart Çekme Deneysel Numuneleri	Miktar AYPE (%)	Miktar Kolza (%)	Adet
A	100	-	30
B	90	10	30
C	80	20	30
D	70	30	30

Numunelerin çekme gerilmesi, ISO 527-1/-2 (ASTM D 638), üç nokta eğilme mukavemetleri ise ISO 178 (ASTM D 790) standartlarına uygun bir biçimde Şekil 2'deki Shimadzu ag-x 10 ton makinesi ile yapılmıştır. Darbe testleri ise "Zwick Marka 5102 Model"

cihaz kullanılarak Şekil 1'de teknik resmi görülen numunelerin sadece 80±2 mm ile belirtilen kısımları kullanılarak ISO 180 (ASTM D 256, ASTM D 4508) standartlarında gerçekleştirilmiştir (Müller, 2009; Kısmet, 2012).



Şekil 2. Shimadzu ag-x 10 Ton Çekme Makinesi.

BULGULAR ve TARTIŞMALAR

Mekanik Özellikler

Gama ışımaya tabi tutulmuş numunelerin mekanik analiz sonuçları, gama ışımaya tabi tutulmamış aynı standart çekme deney numuneleri için var olan mevcut sonuçlar ile mukayese edilmiştir. Bu şekilde gama ışımalarının polietilen ve kolza karışımından üretilmiş kompozitler üzerine etkileri yorumlanmıştır.

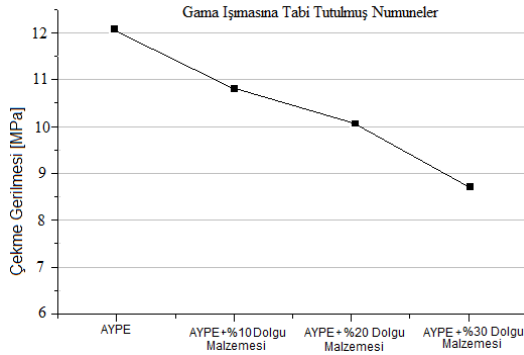
Çekme Testi

Tablo 1'de belirtilen farklı karışım oranlarındaki gama ışımaya maruz bırakılmış standart çekme deney

Araştırma/Research

numuneleri 2 N'luk ön kuvvet etkisi altında dakikada 50 mm hız ile çekmeye maruz bırakılmışlardır. Her bir karışım oranı için test edilen numunelere ait çekme gerilmesi sonuçları Şekil 3'teki grafikte verilmiştir.

Şekil 3'te verilen sonuçlara göre, gama ışımasına maruz bırakılmış standart çekme deney numunelerinin



Şekil 3. Gama Işımasına tabi tutulmuş numuneler için çekme gerilmesi sonuçlarının değişimi.

çekme gerilmesi değerleri, artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak azalmaktadır. Fakat bu sonuçlar gama ışımasına maruz bırakılmamış deney numuneleri için gerçekleştirilen çekme gerilmesi sonuçları ile kıyaslandığında gama ışıması ile numunelerin düşey yönlü kuvvetlere karşı daha mukavim oldukları anlaşılmaktadır ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de verilen bu sonuçlara göre dolgu malzemesi içermeyen polietilenin çekme gerilmesi gama ışıması sonrasında 10.8 MPa'dan 12.2 MPa'a yükselmiştir. Benzer şekilde %10 dolgu malzemesi içeren numunelerin çekme gerilmeleri 1.3 MPa artarak 9.6 MPa'dan 10.1 MPa'a değerine ulaşmıştır. %30 dolgu malzemesi içeren numunelerde de artış oranı 1.3 MPa iken en fazla artış %20 dolgu malzemesi içeren numunelerde görülmüştür. Bu numunelerde gama ışımasının etkisi ile

çekme gerilmesi dayanımı 1.7 MPa kadar artarak 8.4'ten 10.1 MPa'a ulaşmıştır. Yani gama ışıması ile güçlendirilen numunelerin çekme

Tablo 2. Gama ışımasına maruz bırakılmış ve ışımaya tabi tutulmamış numuneler için çekme gerilmesi sonuçları.

Numuneler	Çekme Gerilmesi (MPa) (gama ışıması öncesi)	Çekme Gerilmesi (MPa) (gama ışıması sonrası)
AYPE	10.8	12.2
AYPE+%10 Dolgu Malzemesi	9.6	10.9
AYPE+%20 Dolgu Malzemesi	8.4	10.1
AYPE+%30 Dolgu Malzemesi	7.6	8.9

gerilmesi dayanımları yaklaşık olarak %10 ila %20 oranında iyileştirilmiştir. Bu sonuçların dışında dikkat çeken bir diğer sonuç ise, dolgu malzemesi içermeyen numunelerin çekme gerilmeleri ile %30 dolgu içeren numunelerin çekme gerilmeleri arasındaki farkın, yani değişimin hem gama ışımasına tabi tutulmuş numunelerde hem de gama ışımasının uygulanmadığı numunelerde hemen hemen aynı kalmasıdır. Çekme gerilmesindeki bu değişim, gama ışımasına maruz bırakılmış numuneler için 3.2 MPa iken gama ışımasına maruz numuneler için ise 3.3 MPa olduğu görülmüştür.

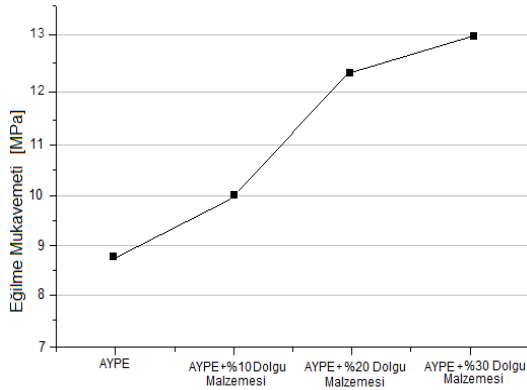
Eğilme Mukavemet Testi

Tablo 1'de verilen farklı karışım oranlarındaki gama ışımasına maruz bırakılmış standart çekme deney

Araştırma/Research

numuneleri, dakikada 10 mm'lik bir hız ile üç nokta eğilme mukavemeti testine tabi tutulmuşlardır. Şekil 4'te görüldüğü üzere numunelerin eğilme mukavemetleri, çekme gerilmelerinin aksine, artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak yükselmiştir.

Numunelerin eğilme mukavemetleri üzerine gama ışımasının etkilerini tam olarak görebilmemiz için Şekil 4'teki sonuçlar ile ışıma öncesi aynı numuneler için yapılmış eğilme mukavemeti sonuçları (Kısmet, 2012) Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 4. Gama ışımasına tabi tutulmuş numuneler için eğilme mukavemeti sonuçlarının değişimi.

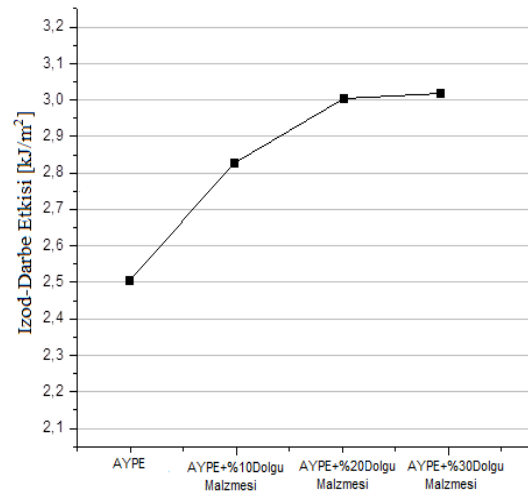
Tablo 3. Gama ışımasına maruz bırakılmış ve ışımaya tabi tutulmamış numuneler için eğilme mukavemeti sonuçları.

Numuneler	Eğilme Mukavemeti (MPa) (gama ışıması öncesi)	Eğilme Mukavemeti (MPa) (gama ışıması sonrası)
AYPE	7.6	8.8
AYPE+%10 Dolgu Malzemesi	9.3	10.0
AYPE+%20 Dolgu Malzemesi	11.4	12.3
AYPE+%30 Dolgu Malzemesi	12.2	13.0

Tablo 3'te verilen sonuçlara göre kolza bitkisi içermeyen alçak yoğunluklu polietilen numunelerinin düşey yönlü kuvvetlere karşı mukavemeti gama ışımasının etkisi ile 7.6 MPa'dan 8.8 MPa'a artmıştır. Benzer şekilde matris malzeme ile dolgu maddesi arasındaki fiziksel yapı, gama ışımasından doğrudan etkilenmiş ve oluşan bağlanma mekanizması güçlenmiştir. Dolayısıyla farklı oranlarda kolza bitkisi içeren kompozit numunelerin de gama ışıması sonrası, eğilmeye karşı dayanımları artmıştır. Bu iyileşme 0.7 ila 0.9 MPa arasında değişmektedir.

Darbe Etkisi

Gama ışımasına maruz bırakılmış standart çekme deney numunelerine ait izod darbe testi sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre numunelerin darbe dayanımları içerdikleri dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak artmaktadır. Numunelerin darbe dayanımları üzerine gama ışımasının olan etkilerini anlayabilmemiz için Tablo 4'te ışıma öncesi ve ışıma sonrası darbe dayanımlarına ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5. Gama ışımasına tabi tutulmuş

Araştırma/Research

numuneler için izod darbe etkisi sonuçlarındaki değişim.

Tablo 4'teki sonuçlara göre dolgu malzemesi içermeyen alçak yoğunluklu polietilenin izod darbe dayanımı, gama ışımasının etkisi ile 1.3 kJ m⁻² artarak 2.5 kJ m⁻² olmuştur. Benzer şekilde dolgu malzemesi içeren numunelerin izod darbe dayanımları, gama ışımasının etkisi ile artış göstermiş ve darbeye karşı daha mukavim hale gelmiştir. Bir diğer önemli nokta ise gama ışımasına maruz bırakılmamış numunelerin darbe dayanımları dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak artış göstermiş fakat bu artış %30 dolgu malzemesi içeren numunelere kadar devam etmiş ve sonra azalmaya başlamıştır. Fakat ışıma sonrası numunelerin darbe dayanımları sürekli bir artış göstermiş ve en yüksek darbe dayanımı 3.02 kJ m⁻² ile %30 dolgu malzemesi içeren numunelerde görülmüştür.

Tablo 4. Gama ışımasına maruz bırakılmış ve ışımaya tabi tutulmamış numuneler için İzod darbe dayanımı sonuçları.

Numuneler	İzod Darbe Dayanımı (kJ m ⁻²) (gama ışıması öncesi)	İzod Darbe Dayanımı (kJ m ⁻²) (gama ışıması sonrası)
AYPE	2.37	2.50
AYPE+%10 Dolgu Malzemesi	2.75	2.84
AYPE+%20 Dolgu Malzemesi	2.89	3.00
AYPE+%30 Dolgu Malzemesi	2.85	3.02

SONUÇ

Yapılan bu çalışma ile takviye malzemesi içermeyen polietilenin ve kurutulmuş kolza takviyeli polietilenin mekanik özelliklerinin, gama ışıması ile değişim gösterdiği tespit edilmiştir ve bu değişimler şu şekilde özetlenmiştir:

1) Gama ışımasına tabi tutulmuş saf polietilen ve dolgu malzemesi takviyeli polietilen numunelerinin çekme gerilmelerinin, ışımaya tabi tutulmamış numunelerin çekme dayanımlarına kıyasla iyileştiği ve yaklaşık %20 daha mukavim oldukları tespit edilmiştir.

2) Bir diğer mekanik analiz olan eğilme mukavemeti sonuçlarına bakıldığında, gama ışıması ile hem saf polietilen hem de dolgu malzemesi takviyeli polietilen numunelerinin eğilme mukavemetlerinin, ışımaya tabi tutulmamış numunelerin eğilme mukavemetlerine kıyasla arttığı görülmüştür. Böylelikle düşey yönlü yüklemelere karşı numuneler, gama ışıması etkisi ile daha mukavim hale gelmişlerdir.

3) Diğer mekanik özelliklere benzer şekilde, gama ışımasına tabi tutulan numunelerin izod darbe dayanımları, ışımaya maruz bırakılmayan numunelerin izod darbe dayanımlarına kıyasla yaklaşık olarak %7 artmış ve darbeye karşı daha mukavim hale gelmişlerdir.

Yukarıda belirtilen sonuçlar dikkate alındığında, gama ışıması ile polietilenin molekül yapısı ve polietilen ile dolgu malzemesi olarak kullanılmış olan kolza bikisinin fiziksel bağlanma mekanizması iyileştirilmiş ve ışıma öncesi duruma kıyasla mekanik açıdan daha mukavim numuneler elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Kısmet, Y., 2012. Entwicklung eines Verfahrens für die Verwertung von Pulverlackrecyclaten.

Araştırma/Research

- Universitätsverlag der TU Berlin, Endformat, Berlin.
- Müller, B., 2009.** Additive kompakt. Vicentz Network GmbH Co. KG, Hannover Germany.
- Käufer, H., 1978.** Arbeiten mit Kunststoffen Band-1 Aufbau und Eigenschaften. Springer-Verlag, Berlin.
- Käufer, H., 1981.** Arbeiten mit Kunststoffen Band-2 Verarbeitung. Springer-Verlag, Berlin.
- Olguner, G., Özer, A.Y., 2000.** Radyasyonla sterilizasyon II: İlaçların radyasyonla sterilizasyonu. Hacettepe Üniversitesi Ankara, 25:53-73.
- Naki, N., 2003.** Kozmetik ürünler ve kozmetik ürün hammaddelerinin gama radyasyonla dekontaminasyonu/sterilizasyonu üzerine çalışmalar. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 43s.
- Michaeli, W., 2006.** Verarbeitungsverfahren für die kunststoffe. Einführung in die Kunststoffverarbeitung, Wien.
- Ravve, A., 2000.** Principles of polymer chemistry. New York, Springer.
- Amer, A., 2011.** Untersuchungen zum materialverhalten von rapsstroh-polypropylen compounds, Berlin.
- Micusik, M., Omastova, M., Nogellova, Z., Fedorko, P., Olejinkova, K., Trchova, M., Chodak, I., 2006.** Effect of crosslinking on the properties of composites based on LDPE and conducting organic filler. European Polymer Journal, 42: 2379-2388.
- Kaiser, W., 2011** Polyolefine, kunststoffchemie für ingenieure. Carl Hanser Verlag, München.
- Gysau, D., 2006.** Füllstoffe. Vincentz Network GmbH, Hannover.
- Nawang, R., Danjaji I., Ishiaku, U, S., Ismail, H., Mohd Ishak, Z.A., 2001.** Mechanical properties of sago starch-filled linear low density polyethylene (LLDPE) composites. Polymer Testing, 20:167-172.
- Hellerich, W., Harsch, G., Haenle, S., 2001.** Werkstoffführer kunststoffe. Carl Hanser Verlag, Wien.
- Kijenska, M., Kowalska, E., Palys, B., Ryczkowski, J., 2010.** Degradability of composites of low density polyethylene/polypropylene blends filler with rape straw. Polymer Degradation and Stability, 95:536-542.
- Zou, P., Xiong, H., Tang, S., 2008.** Natural weathering of rape straw flour (RSF)/HDPE and nano-SiO₂/RSF/HDPE composites. Carbohydrate Polymers, 73:378-383.
- Deng, Y., Li, N., Wang, Y., Zhang, Z., Dang, Y., Liang, J., 2010.** Enhanced dielectric properties of low density polyethylene with bismuth sulfide used as inorganic filler. Materials Letters, 64:528-530.
- Osman, M, A., Atallah, A., Suter, U, W., 2004.** Influence of excessive filler coating on the tensile properties of LDPE-calcium carbonate composites. Polymer, 45:1177-1183.
- Stoeckert, K., Woebcken, W., 1998.** Kunststoffen. Kunststoff-Lexikon. Wien.
- Luo, X., Li, J., Feng, J., Xie, S., Lin, X., 2013.** Evaluation of distillers grains as fillers for low density polyethylene: mechanical, rheological and thermal characterization. Composites Science and Technology, 89.
- Eyerer, P., Elsner, P., Hirth, T., 2005.** Die kunststoffe und ihre eigenschaften. Springer-Verlag, Berlin.
- Juhasz, A, J., Best, S, M., Brooks, R., Kawashita, M., Miyata, N., Kokubo, T., Nakamura, T., Bonfield, W., 2004.** Mechanical properties of glass-ceramic A-W-polyethylene composites: effect of filler content and particle size. Biomaterials, 25:949-955.
- Schwarz, O., Ebeling, F., Ebeling, F., Hubert, H., Schirber H., Schlör, N., 2002.** Kunststoffkunde (Aufbau, Eigenschaften, Verarbeitung, Anwendung der Thermoplaste, Duroplaste, Elastomere). Vogel Verlag, Würzburg.