

**T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**GAMA IŞIMASININ DOLGU MALZEMESİ TAKVİYELİ POLİETİLEN VE
POLİPROPİLENİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hasan Celal KILIÇ**

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KISMET**

TUNCELİ – 2017

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAMA İŞİMASININ DOLGU MALZEMESİ TAKVİYELİ POLİETİLEN VE
POLİPROPİLENİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hasan Celal KILIÇ
(142107103)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

TUNCELİ- 2017

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAMA İŞİMASININ DOLGU MALZEMESİ TAKVİYELİ POLİETİLEN VE
POLİPROPİLENİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİLERİ**

Hasan Celal KILIÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 17/03/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:..... Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KİSMET(Munzur Üniversitesi) DANIŞMAN	İmza:..... Prof. Dr. Sedat KOLUKISA(Munzur Üniversitesi) ÜYE	İmza:..... Prof. Dr. Aydın TURGUT (Bingöl Üniversitesi) ÜYE
--	--	--

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Numan YILDIRIM
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: MFTUB 014-09

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Bu çalışmada, elektrostatik toz boya takviyeli termoplastikler (polietilen ve polipropilen) den üretimi yapılmış standart deney örneklerinin mekanik özelliklerine gama ışımasının yaptığı etki araştırılmıştır. Matris maddesi polietilen ve polipropilen olan ve ağırlıkça %5, %10, %20, %30, % 40 ve %50 oranlarında elektrostatik toz boya atığı içeren bu numuneler yirmi dört saat boyunca 44 kGy'lık gama ışımasına maruz bırakılmışlardır. Işıma sonrasında numunelere mekanik testler uygulanarak üç nokta eğilme mukavemetleri, çekme mukavemetleri ve darbe dayanımlarındaki değişimler tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar gama ışımasına tabi tutulmamış numunelere ait sonuçlar ile karşılaştırılarak ışıma etkisi ile mekanik özelliklerin nasıl bir değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca gama ışımasının yarattığı etkinin net gözlemlenebilmesi yani matris maddesi ile dolgu maddesinin fiziksel olarak bağlanma mekanizmalarının ışımadan nasıl etkilendiğini anlayabilmek için numunelerin kesitleri elektron mikroskopunda incelenmiş ve bu görüntüler ışıma öncesine ait görüntüler ile mukayese edilmiştir.

Bu şekilde, gama ışımasının dolgu malzemesi elektrostatik toz boya atığı olan polietilen ve polipropilen kompozit numunelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkileri belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Termoplastik, Polipropilen, Polietilen, Elektrostatik Toz Boya Atık, Gama Işıması, Mekanik Özellikler.

ABSTRACT

Effect of Gama Radiation on Mechanical Properties and Physical Structure of Polyethylene and Polypropylen with Filler Material

In this study, changes at mechanical properties of standard test specimens produced of powder coating reinforced thermoplastics (polyethylene and polypropylene) due to gamma radiation are examined. These specimens whose matrix materials are polyethylene and polypropylene and include an amount of 5%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50% of electrostatic powder coating waste were exposed to 44 kGry gamma-radiation for twenty four hours. Mechanical tests applied to the specimens after radiation to obtain how tensile strengths, three-point bend strengths, and impact strengths of the samples are changed. The results of these were compared with the results of test which obtained from notgamma radiated samples to see effects of gamma radiation on mechanical characteristic of samples. Furthermore, to examine the effects of gamma radiation on physical connection mechanism between matrix material and filling material, section images of the sample under the electron microscope were taken and the results were compared to the results of mechanical tests applied to the samples that were not gamma-radiated.

In this way, the effects of gamma radiation on mechanical and physical properties of polypropylene and polyethylene as the powder coating waste filling materials were determined.

Keywords: Thermoplastic, Polipropylene, Polyethylene, Electrostatic Powder Coating Waste, Mechanical Properties, Gama Radiation.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmanın, planlanmasından sonuçlanmasına kadar ki tüm süreçte emeği geçen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KISMET'e ve katkılarından dolayı Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi ile Makine Mühendisliği Bölümüne ve benden her türlü maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen değerli aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Saygılarımla.
Hasan Celal KILIÇ
TUNCELİ-2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜRLER.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
RESİMLER LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. POLİMERLER.....	3
2.1. Polimerlerin Yapısı ve Tipik Özellikleri	4
2.2. Termosetler.....	5
2.3. Elastomerler.....	7
2.4. Termoplastikler	9
2.5. Poliolefinler	11
2.5.1. Polipropilen	11
2.5.1.1. Polipropilenin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları	13
2.5.2. Polietilen.....	15
2.5.2.1. Polietilenin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları	17
2.6. Poliolefinlerde Kullanılan Dolgu Maddeleri	18
2.6.1. Elektrostatik Toz Boya	20
3. GAMA İŞİMASI.....	22
4. MATERYAL VE YÖNTEM	23
4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	23
4.2. Gama İşİMASI.....	24
4.3. Mekanik Testler.....	25
4.3.1. Çekme Mukavemeti Testi	26
4.3.2. Eğilme Mukavemeti Testi	26
4.3.3. İzod Darbe Dayanımı Testi	27

4.4.	Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)	28
5.	BULGULAR	30
5.1.	Çekme Mukavemeti Sonuçları	30
5.2.	Eğilme Mukavemeti Sonuçları	35
5.3.	İzod Darbe Dayanımı Sonuçları	39
5.4.	Taramalı Elektron Mikroskobu Sonuçları	44
6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	46
	KAYNAKLAR	48
	EKLER	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
	ÖZGEÇMİŞ	57



SEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Bir etilen molekülü (Goodship, 2004).	4
Şekil 2.2. Polietilen molekülü (Goodship, 2004).	4
Şekil 2.3. Düz, dallanmış, çapraz bağlanmış polimer yapıları (Rees, 1995).....	5
Şekil 2.4. Termoplastik ve Termoset polimerlerin molekül zincirleri arasındaki farklar	6
Şekil 2.5. Polipropilen	11
Şekil 4.1. Standart deney örneği.....	23
Şekil 5.1. Dolgu malzemesi takviyeli polietilenin gama ışıması sonrasında ki çekme mukavemetinde meydana gelen değişim.	30
Şekil 5.2. Dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin gama ışıması sonrasında ki çekme mukavemetinde meydana gelen değişim.	32
Şekil 5.3. Gama Işımasına tabi tutulmuş %5 MAH içeren dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin çekme mukavemeti sonuçları.	33
Şekil 5.4. Dolgu malzemesi takviyeli polietilenin gama ışıması sonrasında üç nokta eğilme mukavemetindeki değişim.	35
Şekil 5.5. Dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin gama ışıması sonrasında üç nokta eğilme mukavemetindeki değişim.	37
Şekil 5.6. Gama Işımasına tabi tutulmuş %5 MAH içeren dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin eğilme mukavemeti sonuçları.....	38
Şekil 5.7. Dolgu malzemesi takviyeli polietilenin gama ışıması sonrasında izod darbe etkisi sonuçlarında ki değişim.	40
Şekil 5.8. Dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin gama ışıması sonrasında izod darbe etkisi sonuçlarındaki değişim.....	41
Şekil 5.9. Gama Işımasına tabi tutulmuş %5 MAH içeren polipropilen numuneler için izod darbe etkisi sonuçlarının değişimi.....	42

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Polimerlerin Sınıflandırılması (Akkurt, 1991).	3
Tablo 2.2. Bazı termoset plastiklerin özellikleri (Kundu ve ark., 2004).	7
Tablo 2.3. Sık kullanılan termoset malzemeler ve kullanım alanları	7
Tablo 2.4. Elastomerlerin bazı tipik özellikleri ve kullanım alanları (URL-2, 2009).	8
Tablo 2.5. Bazı termoplastiklerin özellikleri (Kundu ve ark., 2004).	10
Tablo 2.6. En çok kullanılan termoplastikler ve uygulama alanları (Goodship, 2004).	10
Tablo 2.7. Yüksek ve Alçak Yoğunluklu Polietilenin Bazı Özellikleri.....	16
Tablo 2.8. Toplam tüketim içerisindeki % oranları ile yaygın olarak kullanılan bazı dolgu maddeleri (XANTHOS, 2005).	19
Tablo 4.1. Gama ışımasına tabi tutulmuş standart çekme deney numunelerinin ağırlıkça içerdikleri polietilen ve dolgu malzemesi miktarları ile adetleri.	24
Tablo 4.2. Gama ışımasına tabi tutulmuş standart çekme deney numunelerinin ağırlıkça içerdikleri polipropilen ve dolgu malzemesi miktarları ile adetleri.....	24
Tablo 5.1. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polietilen numuneler için ortalama değerleri alınmış çekme mukavemeti sonuçları.	31
Tablo 5.2. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polipropilen numuneler için ortalama değerleri alınmış çekme mukavemeti sonuçları.	34
Tablo 5.3. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polietilen numuneler için ortalama değerleri alınmış eğilme mukavemeti sonuçları.	36
Tablo 5.4. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polipropilen numuneler için ortalama değerleri alınmış eğilme mukavemeti sonuçları.	39
Tablo 5.5. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polietilen numuneler için ortalama değerleri alınmış izod darbe dayanımı sonuçları.	41
Tablo 5.6. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polipropilen numuneler için ortalama değerleri alınmış izod darbe dayanımı sonuçları.	43
Ek Tablo 1. Polietilen çekme mukavemeti değerleri	52
Ek Tablo 2. Polipropilen çekme mukavemeti değerleri	52
Ek Tablo 3. Polietilen üç nokta eğilme mukavemet değerleri	53
Ek Tablo 4. Polipropilen üç nokta eğilme mukavemet değerleri	53
Ek Tablo 5. Polietilen izod darbe mukavemet değerleri	54
Ek Tablo 6. Polipropilen izod darbe mukavemet değerleri.....	54

RESİMLER LİSTESİ

Sayfa No

Resim 2.1. Polipropilenden imal edilmiş ürünler.....	12
Resim 2.2. Polietilenden imal edilmiş ürünler	16
Resim 4.1. Gama ışınlama odası ve oda içindeki ışınlama kutuları.....	25
Resim 4.2. Shimadzu ag-x 10 Ton Çekme Makinesi.....	26
Resim 4.3. "Werkstoffprüfmaschinen Marka" Darbe Test Cihazı.....	28
Resim 4.4. Jeol jsm 7000f field emission taramalı elektron mikroskobu	29
Resim 5.1. Gama ışımasına tabi tutulmuş (a) ve gama ışımasına tabi tutulmamış (Kısmet, 2012). (b) %10 dolgu malzemesi takviyeli polietilen numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri	44
Resim 5.2. Gama ışımasına tabi tutulmuş (a) ve gama ışımasına tabi tutulmamış (Kısmet, 2012). (b) %10 dolgu malzemesi takviyeli polipropilen numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri.....	44
EK Resim 1. Gama ışımasına tabi tutulmuş %30 dolgu malzemesi içeren polietilen numunelerin elektron mikroskop görüntüsü	55
EK Resim 2. Gama ışımasına tabi tutulmuş %40 dolgu malzemesi içeren polipropilen numunelerin elektron mikroskop görüntüsü	55
EK Resim 3. Gama ışımasına tabi tutulmuş %40 dolgu malzemesi + %55 polipropilen + %5 MAH içeren numunelerin elektron mikroskop görüntüsü	56

SEMBOLLER LİSTESİ

°C	: Santi grad derece
C	: Karbon
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
CH₂	: Metilen
cm	: Santimetre
Cosα	: Düşme açısı
Cosβ	: Yükselme açısı
E	: Enerji
Gr	: Gram
H	: Hidrojen
KC	: Kilokalori
Kg	: Kilogram
Kgm	: Kilogrammetre
KGy	: KiloGray
KJ	: Kilojoule
L	: Sarkaç uzunluğu
M	: Kg olarak sarkacın vurma çekici ağırlığı
m²	: Metrekare
mm	: Milimetre
N	: Azot
N	: Newton
O	: Oksijen

KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	:Amerikan Test ve Araçları Derneği
AYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
AYPE-L	: Düz Zincirli Düşük Yoğunluklu Polietilen
GPC	:Gel Permeation Chromotography
ISO	: Uluslar Arası Standartlar Teşkilatı
MAH	: Maleik anhidrit
MFI	: Melt Flow Index
MPa	: Mega Pascal
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PUR	: Poliüretan
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve teknolojiideki gelişmelere paralel olarak insan ihtiyaçları da artış göstermektedir. Üzerinde bulunduğumuz doğada var olan kaynakları, gelişen teknoloji ile beraber kullanarak bu artışa cevap verebilmek günümüzde çok büyük önem kazanmıştır. Böylelikle maliyeti az, üretimi basit ve ihtiyaçlarımıza cevap verebilecek ürünler geliştirilebilmektedir. Bu tür avantajlara sahip olmalarından dolayı polimerler ve polimer katkılı kompozitler sanayinin birçok alanında sıklıkla kullanılmaktadır.

Çok uzun yıllardır polimerler ihtiyaçlarımızı karşılamada önemli yere sahip alternatif malzemeler olarak değerlendirilmekte ve doğal olarak kullanım alanları da ihtiyaçlarımıza paralel olarak sürekli artış göstermektedir. Sağlık, iletişim, gıda, otomotiv, uzay-havacılık gibi hayatımızın her alanına girmiş olan polimerler, birçok alanda çoklukla kullanılmaktadır (Goodship, 2004; Micusik, 2006; Kijenska, 2010). Polimerler saf olarak üretimde kullanıldıkları gibi aynı zamanda dolgu (takviye) maddeleri ile beraber kullanılarak farklı kompozitler geliştirilmektedir. Böylelikle polimerlerden imal etmiş olduğumuz malzemelerin olumsuz (negatif) olan herhangi bir özelliğini pozitif yönden iyileştirme yapabilmemiz mümkün olmakla birlikte, aynı zamanda üretim kolaylaştırılarak maliyet azaltılabilmektedir. Otomotiv sanayinde polimerlerden üretilen parçaların ihtiyaca göre ısı, mekanik ya da farklı fiziksel özelliklerini iyileştirebilmek için kenevir, Hint keneviri, kendir ve keten gibi organik maddelerden yararlanılmaktadır (Micusik, 2006; Gysau, 2006; Kijenska, 2010; Amer, 2011). Diğer bir örnek olarak polimer malzeme içerikli yapıştırıcılar ile odun talaşları karıştırılarak preslenmesi neticesinde mobilya parçaları imal edilmektedir (Michaeli, 2006; Zou, 2008; Deng 2010; Kaiser 2011). Meydana gelen karışımlarda kompoziti oluşturan ana madde matris maddesi olarak adlandırılırken, bu matris maddesinin istenilen farklı bir özelliğini geliştirmek için kullanılan diğer elemanlar takviye veya dolgu maddesi olarak tanımlanırlar (Stoeckhert, 1998; Osman, 2004; Juhasz ve ark., 2004). Böylelikle meydana getirilen matris ve dolgu maddesi karışımların yeterince homojen bir yapı teşkil etmesi ve birbiri arasında meydana gelen fiziksel bağın mümkün olduğunca kuvvetli olması gerekmektedir. Homojenlik ve fiziksel etkileşim, başta mekanik ve ısı özellikleri olmak üzere üretilen kompozitin farklı birçok özelliğini doğrudan etkilemektedir (Nawang, 2001; Luo, 2013).

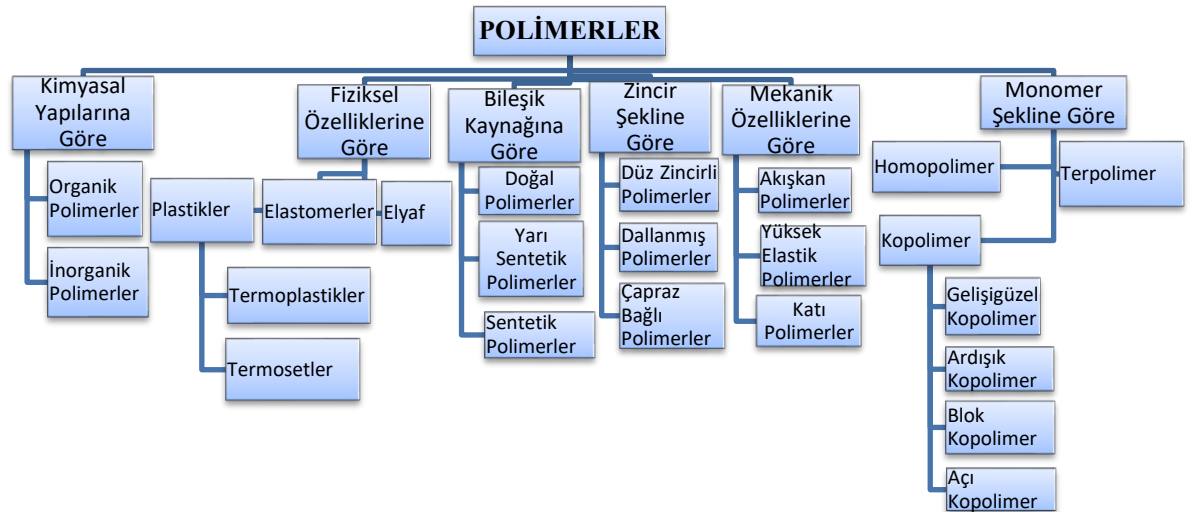
Bu çalışmada, elektrostatik toz boya atıkları ile polietilen ve polipropilen karışımlarından üretilmiş standart çekme deney örneklerinin gama ışımasına tabi tutulmaları neticesinde, mekanik ve fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenerek, ışıma öncesi mevcut olan mekanik ve fiziksel özelliklere ait sonuçlar ile mukayese edilmiştir. Bu şekilde, matris ve dolgu maddelerinin mekanik özellikleri üzerine gama ışımasının etkileri tespit edilmiştir.



2. POLİMERLER

Yunanca poli (çok) ve meros (parça) kelimelerinin birleştirilmesiyle polimer sözcüğü meydana gelmiştir. Polimerler, küçük mol kütleli aynı veya farklı tür monomer grupların benzer kovalent bağlarla bağlanarak oluşturduğu, büyük mol kütleli ve uzun zincirli bileşiklerdir. Organik ve inorganik polimerler olmak üzere bu bileşikler, kimyasal özelliklerine göre iki gruba ayrılırlar. En çok karbon olmak üzere organik polimerlerde hidrojen, oksijen, azot ve halojen atomlar bulunur. Polimer ana zinciri üzerinde olabilmesi için bir atomun, minimum iki değerlikli olması gerekmektedir. Bu sebepten ötürü hidrojen ve halojenlerin ana zincir üzerinde bulunması mümkün değildir. İkinci gereklilik ise ana zincir üzerinde olan atomlar arasındaki bağ enerjisinin belirli bir seviyede olması gerekmektedir. O-O bağ enerjisi 34 kcal/mol, C-C bağ enerjisi 80 kcal/mol, N-N bağ enerjisi 37 kcal/mol olduğu dikkat edilirse, organik polimerde neden birçok ana zincirin karbon atomlarından meydana geldiği daha iyi kavranabilir. Polimerler tablo 2.1’de kimyasal yapılarına, bileşik kaynağına, zincir ve monomer şekillerine, mekanik ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması yapılmıştır (Akkurt, 1991).

Tablo 2.1.Polimerlerin Sınıflandırılması (Akkurt, 1991).

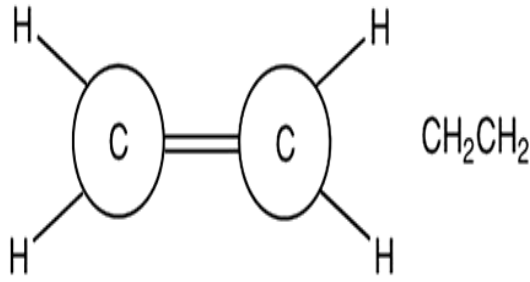


Birbirlerine göre molekül zincirlerinin dizilim şekli, plastiklerin fiziksel özelliklerini oluşturan en temel unsurdur. Bu sebepten dolayı amorf ve kristalin olmak üzere iki yapı mevcuttur. Bir yapıyı meydana getiren atomlar, moleküller veya iyonlar

periyodik olarak düzenlenmişse bu yapı bir kristal yapı olarak tanımlanır. Molekül zincirleri, amorf yapıda birbirlerine göre gelişigüzel bir tarzda bulunup bu yapıya sahip plastik malzemelerin büyük bir kısmında çekme kuvvetlerinin etkisi altında, molekül zincirleri çekme istikametinde bir yönlenme göstermektedirler. Bu hadiseye yönlenme özelliği denilmektedir ve bünyesinde bu özelliği barındıran amorf yapılar çok yüksek çekme mukavemetine sahiptirler (Akkurt, 1991).

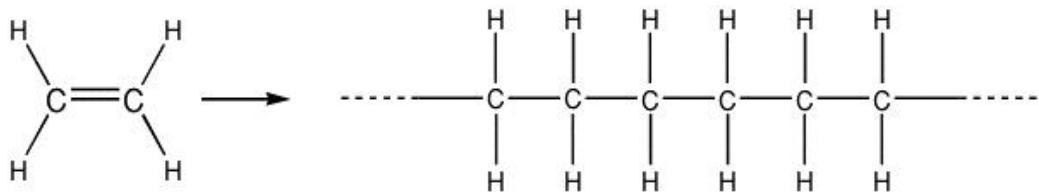
2.1. Polimerlerin Yapısı ve Tipik Özellikleri

Etilen en basit ve sıkça karşılaşılan bir monomer'dir ve kimyasal olarak iki karbon (C) atomu ve dört hidrojen (H) atomundan meydana gelen etilen şekil 2.1'de verilmiştir (Savaşçı ve ark., 1998; Goodship, 2004; Saçak, 2005).



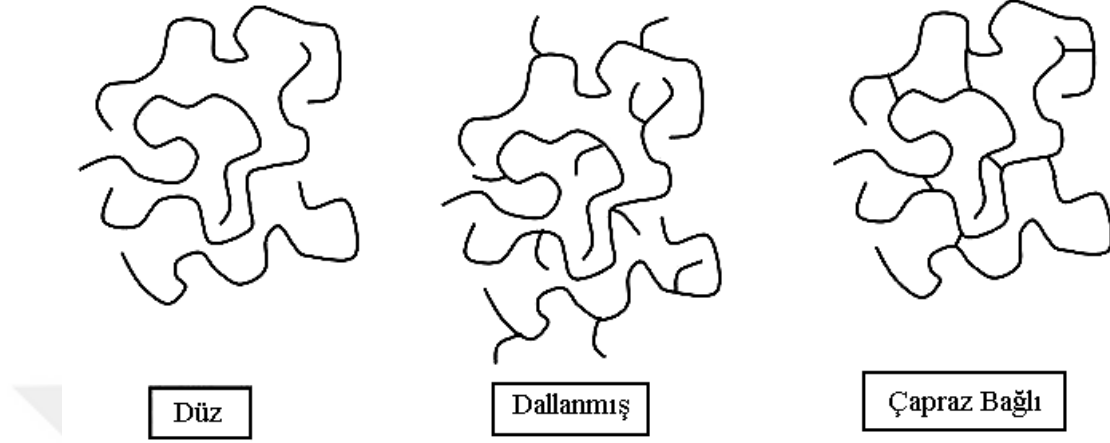
Şekil 2.1. Bir etilen molekülü (Goodship, 2004).

Etilen'deki karbon atomları arasında bulunan çift bağ, polietilenin oluşmasına izin vermektedir. Etilenin polimerizasyonu ile polietilenin üretim şekli gerçekleşir. Anyonik polimerizasyon, katyonik polimerizasyon, iyon koordinasyon polimerizasyonu ve radikal polimerizasyon yöntemleri ile polimerizasyon yöntemi olabilir. Polietilen üretimi bu metodların her birinin farklı şekillerde kullanılmasıyla sağlanır. Şekil 2.2'de polietilenin oluşum şekli verilmiştir (Goodship, 2004).



Şekil 2.2. Polietilen molekülü (Goodship, 2004).

Polimer zincirinin şekline göre polimerler düz (doğrusal), dallanmış veya çapraz bağlı olabildiği Şekil 2.3’de görülmektedir (Savaşçı ve ark., 1998).



Şekil 2.3.Düz, dallanmış, çapraz bağlanmış polimer yapıları (Rees, 1995).

Düşük yoğunluklu, düşük dayanımlı olmaları ve yüksek mekanik sönümlenme özellikleri polimerlerin karakteristik özellikleri arasında gösterilebilir. Genel olarak yüksek ve düşük sıcaklıklara maruz bırakıldıklarında iyi bir direnç gösteremediklerinden dolayı polimerler, oda sıcaklığında kullanılırlar. Termoset plastikler, elastomerler ve termoplastikler, moleküler yapı ve uygulanabilen süreç yöntemlerine göre üç ana sınıfa ayrılırlar (Savaşçı ve ark., 1998).

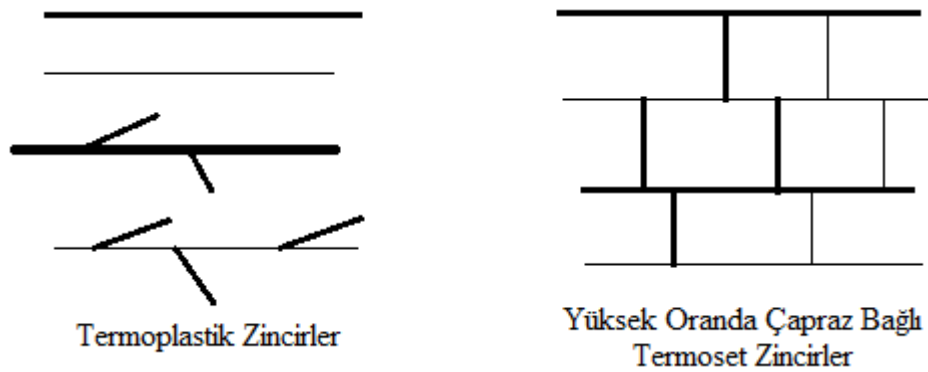
2.2. Termosetler

Termosetler kalıcı bir surette şekillendirilip kimyasal bir tepkime sonucu olarak sertleştirildikten sonra ısıtılıp tekrardan yumuşatılamaz ve şekillendirilemezler, fakat çok yüksek sıcaklıklara çıkılınca yapılarında bozunma meydana gelir. Bu sebepten dolayı kısmen polimerleşmiş durumda iken ısıtılarak kalıplanmaktadırlar. Kalıplama esnasında polimerleşme artarak plastik çapraz bağlanmaya geçmesinden dolayı akma özelliğini kaybetmesine neden olur. Bu bakımdan termoset plastikler için yeniden üretim süreci söz konusu değildir. Termoset malzemeler “**ısıl sert**” plastik olarak da isimlendirilirler. Bu şekilde yani ısıl sert olarak tanımlanmasının nedeni plastiğin kalıcı olarak şekillendirilebilmesi için çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç olması ve sertleştikten sonra da herhangi bir şekilde ısıyla sertliğinden taviz vermemesidir. Bu olaya rağmen termoset

plastikler içerisinde yalnızca oda sıcaklığındaki kimyasal tepkimeyle sertleşen veya olgunlaşan birçok plastik de mevcuttur. Bu termoset plastiklerde polimerizasyon işlemi, malzemeyi oluşturan monomerlerin bir araya getirildiği reaktörde başlar ve kalıplama işlemi esnasında son bulur (Enşici, 2004).

Hayatımızın bütün alanlarında kullandığımız termosetler; evde, otomobilde, bürolarda, fabrikalarda çokca tercih edilen bir malzeme konumundadır. Maliyetinin uygunluğu kullanımını arttıran en önemli faktördür. Tercih edilmesinin diğer etkenleri olarak da soğukta kırılman olmanması, yüzey parlaklığı ve sertliği, 300 °C'ye kadar sıcaklığa dayanımı, yüksek mekanik özellikler, yüksek elektrik izolasyonu, boyut sabitliği, yağ ve solventlere dayanıklılık, hava şartlarına dayanma ve yanmazlık gibi özellikler sıralanabilir (Megep, 2006).

Polimer zincirleri arasında termosetlerde, güçlü bağlar oluşmakta ve bunun sonucunda ise üç boyutlu ağ yapısı meydana gelmektedir. Bu ise termosetleri termoplastiklere göre daha dayanımlı ve rijit kılmaktadır. Termoplastikler gibi termosetlerinde üretimi polimerizasyon işlemi ile olup, genelde bu iki aşamalı bir süreçtir. Termoseti oluşturacak monomerler ilk aşama olarak bir araya getirilir. İkinci aşama ise üretim sürecinin içerdiği kalıpta meydana gelmesidir. Polimer zincirleri, yüksek basınç ve sıcaklıkta monomerlerin reaksiyona girmesiyle oluşur. Bu durumda polimer zincirlerinde reaksiyona girmemiş birimler mevcuttur. Basınç ve sıcaklık etkisine bağlı olarak polimer zincirleri arasında yan bağlar oluşur ve şekil 2.4'de gösterildiği gibi kalıplanmış bir termoseti oluşturan polimer zincirleri arasındaki ağ yapılarında bağlar meydana gelir (Saçak, 2006).



Şekil 2.4. Termoplastik ve Termoset polimerlerin molekül zincirleri arasındaki farklar

Termoset malzemeler ve ona ait bazı özellikler aşağıdaki tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Bazı termoset plastiklerin özellikleri (Kundu ve ark., 2004).

Malzeme	Özgöl Ağırlık Kg/cm^3	Çekme Muk. Mpa	Elastite Modülü Mpa	Erime sıcaklık (°C)
Fenolikler	1.27	35-60	2800-9200	40.5
Polyesterler	1.28	45-95	2100-4600	260
Epoksiler	1.25	28-90	2800-3500	150
Melaminler	1.50	35-70	7000-11200	345

Aşağıdaki tablo 2.3’de en sık tercih edilen termoset malzemeler ve kullanım alanları detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 2.3. Sık kullanılan termoset malzemeler ve kullanım alanları

Termoset Malzemeler	Uygulamalar
Epoksi	Yapıştırıcılar, elektrik yalıtımı
Melamin	Isı dayanımlı tabakalı yüzeyler, mutfak tezgahları
Fenoliks	Tava/tencere kulpu, ütüler, ekmek kızartma makineleri
Poliüretan (PUR)	Yalıtım ve döşemecilik için esnek veya rijit köpük
Doymamış polyester	Duvarlar, ekmek kızartma makinelerinin kenarları, uydu çanakları

2.3. Elastomerler

Çekme kuvvetine maruz bırakıldığında çok yüksek miktarda uzama gösteren ve kuvvetin kaldırılmasıyla hızlı bir şekilde ilk uzunluğuna dönen, çapraz bağlanmış kauçuğumsu polimerlere, veya başka bir deyişle kauçuğumsu ağ yapılara, elastomer denilir. Göstermiş olduğu yüksek elastikiyet cihetiyle bilimsel literatürlerde elastomer ismini almıştır. Molekül yapılarının içerdiği düşük çapraz-bağ yoğunluğuna sahip ağı yapı, elastomerlerin en önemli özelliğini teşkil ettirmektedir. Yüksek elastik şekil değiştirme özelliğine sahip olmalarının sebebi; polimer zincirlerinin birbirine zayıf çapraz bağlarla bağlanmasıdır. Elastomerlerde kuvvete maruz bırakılmadan önce polimer

zincirleri normal konuma sahip iken, kuvvetin uygulanmasından sonra zincirler kuvvet yönünde açılmasıyla malzeme elastik deformasyona uğrar. Kuvvetin kaldırılmasına paralel olarak polimer zincirleri tekrardan eski yapılarına geri dönerler. Kauçuk, en çok bilinen elastomer'dir. Elastomerlerin daha dayanımlı ve rijit bir yapıya sahip olabilmeleri çapraz bağların sayısının artırılmasına bağlıdır. En çok kullanılan ve bilinmekte olan elastomerler poliizopren (ya da doğal kauçuk), poliizobütilen, polibütadiyen ve poliüretandır. Elastomerler, istenilen özelliklere cevap verebilmeleri için yapılarında genellikle dolgu maddeleri içerirler. Tipik bazı elastomerler, özellikleri ve kullanım alanları Tablo 2.4'de verilmiştir (Saçak, 2006; URL-1, 2010).

Tablo 2.4. Elastomerlerin bazı tipik özellikleri ve kullanım alanları (URL-2, 2009).

Elastomer	Özellikler ve Kullanım Alanları
Stiren-bütadien kopolimerleri (Buna S ve SBR)	Kauçuklar ilk üretilen sentetiklerdir; doğal kauçuğa çok yakın özelliğe sahiptirler; genel amaçlı çokca kullanılan bir elastomerdir; ucuzdur ve iyi özelliklere sahiptir. Aktif kullanım alanı dış lastik üretimidir.
Polibütadien (PB)	Doğal kauçuğa çok benzeyen genel amaçlı bir elastomerdir.
Poliizopren (PI)	Sentetik kauçuk; özellikleri doğal kauçuğa çok benzerdir.
Akrilonitril ve Bütadien Kopolimerleri	Buna N, nitril elastomerleri (NBR); yağlara çok mukavimdir. Hortumlar, esnek kaplinler ve çamaşır makinesi parçaları üretimi tipik kullanım alanlarına örnektir.
Bütıl Kauçukları	İzobütilen ve izopren (%1-2) kopolimeridir; aşınmaya dayanıklıdır, dielektrik kuvveti yüksek, gaz geçirgenliği düşüktür; ağır-iş şartlarına ve yüksek sıcaklıklara uygundur.
Etilen Propilen Kauçukları (RPDM)	Güneş ışığı ve hava koşullarına karşı çok dayanıklıdır elektrik izolasyon malzemeleri, otomobil parçaları, hortum ve ayakkabı tipik kullanım alanlarıdır.
Üretan Elastomerler	Üretan bloklar ve polieter (veya poliester) karışımı olarak kullanılırlar. Üretan bloklar ısıya dayanıklılık ve malzemeye kuvvetlilik, poliester blokları ise elastiklik kazandırır. Yağlara dirençli, uzun ömürlü, sert ve kuvvetli elastomerlerdir. Uçak tekerleklerinden yastıklara kadar kullanım alanları geniştir.
Silikon Kauçukları	İnorganik polimerlerin organik türevleridir; örneğin dimetilsilandiöl polimerleri gibi. Çok geniş sıcaklık aralığında karalılık ve esnekliğini muhafaza eder. Tel ve kablo izolasyonu tipik kullanım alanlarına tel ve kablo izolasyonu örnek olarak verilebilir.

2.4. Termoplastikler

Termoplastikler sıcaklık etkisiyle yumuşayan ve basınç tesiriyle akan, şekillendirilebilen ve soğutulduğunda ise tekrar eski yapısı olan sert ve katı hale dönüşen plastiklerdir. Ayrıca tekrar tekrar ısıtılıp eritilen, plastik şekil verilebilen ve soğutulduğunda ise yeniden sertleşebilen malzemelerdir. Parçalara ayrıldıktan sonra tekrardan kullanılabilme özelliği vardır. Bu şekillendirme işlemi esnasında herhangi bir kimyasal değişime ve bozunuma uğramazlar (Enşici, 2004).

Termoplastiklerde, makromoleküller arasında kimyasal bağ bulunmamaktadır. Bu bağların olmaması termoplastiklerin birçok defa işlenebilmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca termoplastikler kimyasal çözücüler ile çözülebilmektedir.

Termoplastik malzemelerin mukavemeti, elastik modülü ve sünekliği sıcaklığa oranla farklılık gösterir. Sıcaklığın artış göstermesiyle, primer bağlar teker teker çözülmeye, molekül zincirleri parçalanmaya ve düşük moleküllü maddeler haline geçmeye başlar. Termosetlere oranla matris malzemesi olarak kullanımları daha pasif olmakla beraber yüksek kırılma tokluğu, hammaddenin saklama süresinin uzun olması, geri dönüşüm özelliği ve sertleşme prosesi için organik çözücülere gerek duyulmamasından ötürü güvenli çalışma zemin sağlaması gibi avantajları vardır. Buna benzer olarak şekillendirilen termoplastik parça, işlem sonrası ısıtılarak tekrardan şekillendirilebilir. Termoplastiklerde çarpma dayanımı ve yüksek sertlik gibi özellikler de mevcuttur. Termoplastik malzemelere ait bazı özellikler (malzeme özgül ağırlık, çekme mukavemeti, elastite modülü) Tablo 2.5’de verilmiştir (Saçak, 2006).

Tablo 2.5.Bazı termoplastiklerin özellikleri (Kundu ve ark., 2004).

Malzeme	Malzeme Özgöl Ağırlık gr/cm³	Çekme Muk. Mpa	Elastite Modülü Mpa	Erime sıcaklık (°C)
LDPE	0.92-0.93	7-17	105-280	100-120
HDPE	0.95-0.96	20-37	420-1260	125-135
PVC	1.50-1.58	40-60	2800-4200	180-200
PP	0.90-0.91	50-70	1120-1500	160-164
PS	1.08-1.10	35-68	2660-3150	240
ABS	1.05-1.07	42-50		105
PMMA	1.11-1.20	50-90	2450-3150	160
Politetrafloretillen (teflon)	2.1-2.3	17-28	420-560	260
Naylon 6.6	1.06-1.15	60-100	2000-3500	250
Sellülozikler	1.2-1.3	20-50		-

Günümüz dünyasında en çok üretimi yapılan ve birçok kullanım alanı bulunan termoplastiklere poliolefin gurubu; yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), alçak yoğunluklu polietilen (LDPE), polipropilen (PP), polikarbonat, polibütillen, poliüretan, selülozikler, ABS, poli(fenilen sülfid), poliakrilat ve naylon örnek olarak verilebilir. En çok kullanılan termoplastik ve kullanım alanları tablo olarak Tablo 2.6’da verilmiştir (Saçak, 2005; Saçak, 2006; Megep, 2006).

Tablo 2.6. En çok kullanılan termoplastikler ve uygulama alanları (Goodship, 2004).

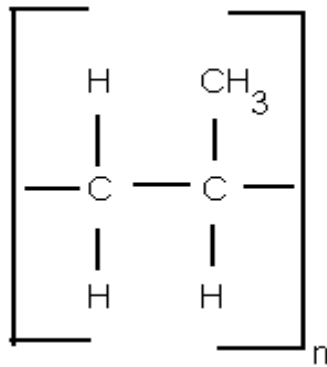
Termoplastik Malzemeler	Uygulamalar
Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)	Paketleme, borular, şişeler, kasalar, tanklar
Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)	Paketleme, oyuncaklar, sebze çantaları
Polipropilen (PP)	Halılar, şapkalar, yoğurt kapları, bavullar, kovalar, borular, batarya kılıfı
Polistiren (PS)	Yoğurt kapları, fast food köpük paketleri, kasetler, saydam parçalar
Polyamid (PA)	Dişliler, yataklar, cıvatalar, paten tekerleri,
Polietilen Terafitalat (PET)	Saydam karbonlu içecek şişeleri
Polivinil Klorür (PVC)	Borular, gıda paketleri, ayakkabılar, zemin

2.5. Poliolefinler

Bir İngiliz firması tarafından 1936 yılında, ilk alifatik poliolefin plastik olan polietilenin yapımı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Olefinler, bir ya da daha çok sayıda çifte bağ içeren hidrokarbonlardır ve etilen ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$), bu grubun en yalın üyesi konumundadır. Olefin, yaklaşık olarak 200°C 'de ve 1000 atmosfer basınç altında, $-\text{CH}_2-$ gruplarından oluşan yalın zincirler içeren polietilen molekülleri vererek polimerleşir. Piyasada en çok tercih edilen örnekleri; polipropilen (PP), polietilen (PE), polimetilpenten (PMP) ve polibüten-1 (PB-1)'dir (Cossee, 1964).

2.5.1. Polipropilen

Polipropilen, otomotiv sektöründe kullanılan parçalardan, tekstil ve yiyecek paketlemesine kadar günlük hayatımızda çok geniş kullanım alanına sahip olan termoplastik bir malzemedir. Monomer halde bulunan propilenin Şekil 2.5'de polimer hale getirilmesi ile meydana gelen polipropilen kimyasal solventlere (asit ve bazlar) karşı son derece dayanıklıdır. Polipropilen, propilenin polimerizasyonu sırasında metal alkil/metal tuzları tipi katalizörlerin bir stereospesifik etkisi olduğunu keşfetmesi sonucunda ilk olarak 1954 yılında G.Natta tarafından bulunmuştur (Roff, 1971).



Şekil 2.5. Polipropilen

Piyasada satış ağırlığı itibarıyla üçüncü en önemli plastik malzeme konumundadır ve petrokimyasal hammaddeden elde edildiğinden fiyat yönünden en uygun plastiklerden biridir. $165-177^\circ\text{C}$ arasında erime noktası olan polipropilen, biçim değişikliğine maruz

kalmadan 120°C’de kolaylıkla kullanılabilir. Polipropilen birçok ürün için dikkatleri üzerine toplayan özelliklere sahiptir. Bunlar içerisinde nem ve ısı direnci, iyi kimyasal, iyi yüzey sertliği, düşük yoğunluğu (0.900–0.910 g/cm³) ve boyutsal kararsızlığı gibi özellikler gösterilebilir. Monomerin ucuzluğu sebebiyle de kullanılan bir termoplastik malzeme olan polipropilen, mutfak aletleri, ev eşyaları, laboratuvar eşyaları, çeşitli şişeler ve paketlenme malzemesi gibi en önemli kullanım alanlarına sahiptir ve bu üretilen ürünlerden bazıları (su deposu, iplik, saklama kabı ve otomobil jantı) Resim 2.1’de verilmiştir (Smith, 1996).



Resim 2.1. Polipropilenden imal edilmiş ürünler

2.5.1.1. Polipropilenin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Polipropilen; maksimum 121 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda uzun bir zaman kullanılabilinen beyaz, yarı şeffaf ve katı bir termoplastiktir. 160 °C gibi bir erime noktasına sahip olan polipropilen malzemeler, kolay bir şekilde sterilize edilebilirler. Sıcak çözügenlerde çözünmemesine mukabil, soğuk organik çözügenlerde ise yumuşama gösterirler. Çok fazla bükülmelere maruz kaldığı halde yine de sertliğini muhafaza eder. Yapılarında ısı ve ışığa bağlı olarak kolayca bozulma meydana geldiğinden dolayı, antioksidantlarla beraber kullanılması gerekmektedir. Renklendirilmesinin kolay olmamasına rağmen elektriksel direnci iyi bir konumdadır. Diğer özellikleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- -9.4 °C'nin altındaki sıcaklıklarda kırılındır.
- Bakteriler ve mantarlara karşı yeterince dayanıklıdır.
- Geçirgenlik ve su absorpsiyonu düşüktür.
- 60 °C'ye kadar ki sıcaklıklarda bazlar ve asitlere karşı mukavimdir.
- Nitrik asit, sülfürik asit, klor ve diğer kuvvetli olan oksitleyiciler tarafından etkilenir (Chen ve ark., 2007).

Yakılabilme özelliğine sahip olmasına rağmen ağır yanmakta olan bir maddedir. Isı dayanımı standartlara uygun bir surette modifiye edildiğinde, iyileştirilebilme imkânı vardır. Kullanımı gıda tüzüğüne uygundur. Enjeksiyon veya şişirme ile kalıplanarak, metal kaplanarak ve ekstrüde edilerek kullanılabilir(Smith, 1996).

Polipropilenin bazı termoplastik malzemelere göre avantajları şu şekilde özetlenebilir (Abu Bakar ve ark., 2007):

- Darbeye karşı dayanımı iyidir.
- Spesifik ağırlığı en düşük polimerdir.
- Kimyasallara karşı mukavimdir.
- İyi şekil koruma özelliğine sahiptir.
- Çok az ısı geçirgenliği vardır.
- Elektrik geçirgenliği çok azdır.

Polipropilenin bazı termoplastik malzemelere göre dezavantajları şu şekilde özetlenebilir (Smith, 1996; Wang, 1996):

- Oksidasyona uğrama süreçleri hızlıdır.
- Düşük sıcaklıklarda kırılğan bir yapıdadır.

Polipropilen, bazı elastomerler ve dolgu maddeleri ile birlikte kullanılarak, polipropilen malzemelerin mekanik özellikleri iyileştirilir. Katkı maddelerinin kullanılmasıyla polipropilen filmlerinin elektriksel özellikleri de geliştirilebilir (Wang, 1996; Mohmeyer ve ark., 2007).

Polipropilenin dolgu maddeleri ve güçlendiriciler ile kullanılmasıyla birlikte, polipropilenin yüksek sıcaklıklarda ki kimyasal ve gerilim altında ki çatlama direnci artarak oda sıcaklığında daha iyi canlılık kazanmasına sebep olur. Polipropilenin 0 °C'nin altında artan gevrekliği dolgu maddelerinin kullanılmasıyla güçlendirilir (Gachter ve Müller, 1993).

Güçlendiricilerin kullanılmasıyla birlikte diğer termoplastik malzemelere benzer olarak, polipropilenin elastisite modülünde ve katılığında, bükülme-sürünme modülünde, sertliğinde, kopmada, gerilme direncinde, yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılığında, termal iletkenliğinde, yoğunluğu ve viskozitesinde artma meydana gelir. Diğer taraftan farklı olarak; çekmede, uzamada, darbe dayanımında, ısıl genişmesinde, eriyik akış indeksinde azalmalar olabilir (Gachter ve Müller, 1993; Kotek ve ar., 2004; Zhou ve Mallick, 2005; Othman ve ark., 2006).

Farklı katkı maddelerinin kullanılması ile birlikte polipropilenin uygulama alanları zenginleştirilebilir. Piyasada çok yaygın kullanım alanlarına sahip dolgu maddeleri talk, kalsiyum karbonat, magnezyum hidroksit ve cam küredir (Wang, 1996).

Polipropilen hafif bir malzeme olmasına rağmen, gerilme ve yüksek çalışma dayanımı gibi özelliklerinden ötürü çok geniş kullanım alanı vardır:

Ekstrüzyon ürünleri: Şerit, profil, levha, lifler, filament ve film imalatında; parlak, berrak ve sağlam olması gibi özelliklerden dolayı balık ağı, halı ve çuval yapımında, ambalaj için film, conta, keçe, paspas, halat gibi bir çok eşyanın üretiminde kullanılır.

Enjeksiyon kalıplama ürünleri: Enjeksiyon kalıplama metoduyla meydana gelen polipropilen homo ve kopolimerlerinden ev ve mutfak eşyaları, mekanik dayanım gerektiren parçalar, endüstriyel amaçlı komplike parçalar, otomotiv, optik ve elektrik malzemeleri, akü kutuları, seyahat ürünleri, kasalar, boru, konteynırlar ve gaz yağı bidonları üretilir.

Şişirme kalıplama ürünleri: Üfleme kalıplama yöntemiyle üretilen polipropilen, deterjan, şampuan ve gıda sektöründe kullanılır. Bu metodla imal edilen polipropilen şişe yapımında çok fazla kullanılmaktadır (Birlik, 1994; Smith, 1996).

Kolay işlenebilirliğine, iyi dizayn elastikiyetliğine ve estetik görünüşlerine bağlı olarak termoplastiklerin kullanımında her geçen gün artış beklenmektedir. Polipropilen önümüzdeki yıllarda da, iyi mekanik ve termal özelliklerinin kombinasyonuna sahip olmasından dolayı sektörün en çok kullanılan termoplastik reçinesi olma özelliğini sürdürecektir (URL-3, 2005).

2.5.2. Polietilen

Polietilen, uzun zincirli bir yapıya sahip makromoleküllü polimerdir ve etilen monomerinin polimerizasyonu sonrasında oluşur. Polietilen homopolimer sınıfına ait bir malzemedir. Alçak yoğunluklu polietilen olan AYPE tarihte ilk üretilen polietilendir (Ezdeşir ve ark., 1999).

II. dünya savaşı esnasında AYPE üretimi hızlandırılarak çeşitli alanlarda hammadde olarak kullanılmıştır. İlerleyen zamanlarda yeni bir katalizör olan Ziegler-Natta'nın kullanılması ile etilen monomeri daha düşük basınçta polimerizasyon işlemi uygulanmış ve yapısının daha düzenli olması sağlanmıştır. Bu sebeple yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve düz zincirli alçak yoğunluklu polietilen (AYPE-L) üretilenmiştir (Yaşar, 2001).

İlerleyen yıllarda, polietilen zincir boyları Metalosen adı ile adlandırılan katalizörlerin keşfedilmesiyle kolaylıkla kontrol edilebilir bir duruma gelmiştir ve eşit uzunlukta zincirleri olan polietilen üretilmiştir. Metalosen katalizörle polimer üretimi son zamanlarda gelişmiştir ve bu katalizör yardımıyla üretilen polietilenin fiziksel özellikleri diğer polietilenlere göre daha iyidir. Düşük basınç şartlarında ve yoğunluğu $0,94 \text{ gr/cm}^3$ olarak üretilen polietilenler, düz zincirli alçak yoğunluklu polietilen AYPE-L olarak isimlendirilir. AYPE ile AYPE-L' nin yoğunlukları aynı olmasına rağmen, AYPE-L'nin özellikleri AYPE 'den farklıdır. Tablo 2.7'de gösterildiği gibi AYPE-L'nin sahip olduğu fiziksel özellikler AYPE 'ye göre daha iyidir (Yaşar, 2001).

Tablo 2.7. Yüksek ve Alçak Yoğunluklu Polietilenin Bazı Özellikleri

	Düşük Yoğunluklu Polietilen	Çizgisel Düşük Yoğunluklu Polietilen	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
Yoğunluk (g/cm^3)	0.92-0.93	0.922-0.926	0.95-0.96
Çekme Dayanımı (Mpa)	6.2-17.2	12.4-20.0	20.0-37.2
Uzama (%)	550-600	600-800	20.120
Kristalinite (%)	65		95

Üretimi yapılmakta olan günümüz plastikleri içerisinde en fazla üretim değerine sahip olan polietilen toplam plastik üretimi içerisinde %40'ına sahiptir. Farklı metodlarla şekillendirilebilen polietilen, profil, levha, film v.b. ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Resim 2.2’de polietilenden üretilmiş ürünler (su boruları, hortumlar, poşetler ve kovalar) gösterilmiştir (Ezdeşir ve ark., 1999).



Resim 2.2. Polietilenden imal edilmiş ürünler

2.5.2.1. Polietilenin Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

Polietilenin genel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Hafiflik ve kullanım kolaylığı
- Dayanıklılık
- İyi kaynak özellikleri
- Esneklik
- Basınç altında ek yerlerinden çıkma ve kopma olmaması
- Sıfır korozyon
- Çatlamaya karşı direnç
- Kimyasal etkilere karşı direnç
- Dielektrik özellikleri bakımından üstünlük
- Düşük sürtünme
- Kolay işlenebilirlik (URL-4, 2006).

Polimer zincirindeki değişimler kristalliliğin derecesini belirler. AYPE-L ve YYPE molekül yapısı doğrusaldır ve dallanma çok az seviyededir. Dallanmanın yani değişimlerin az olduğu molekül sistemlerinde genellikle kristalinite daha fazladır. Polimer içindeki kristalliliğin artışına bağlı olarak mekanik ve kimyasal özelliklerde pozitif yönden iyileşme ve malzeme sertlik değerlerinde artış ve sıvı ile gazlara karşı dayanıklılık artar. Polimerlerin ortalama molekül ağırlığı, polimerlerin tanımlanmasında en önemli özelliktir. Ortalama molekül ağırlığı, yaklaşık olarak erime indeksiyle tespit edilir. Molekül ağırlığı erime indeksiyle ters orantılıdır. Yüksek molekül ağırlıklı polietilenlerin dayanıklılığı ve sertliği daha yüksek iken, erime akış indeksleri (MFI) daha düşüktür. Yüksek molekül ağırlığı düşük erime akış indeksi ile eşdeğer olduğu, genellikle bütün polimerler için geçerli olan bir kuraldır. Gel Permeation Chromotography (GPC) cihazı ile polimerlerin molekül ağırlıkları ölçülür(URL-4, 2006).

Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE) filmler şeffaf, parlak ve ucuz olup, kolay işlenebilme özelliği vardır. Filmlerin uygulama alanlarına; inşaat örtüsü, gıda paketlenme, çöp gübre torbaları, ziraat örtüleri, büzme ile sarma alanları vb. örnek olarak verilebilir. Kâğıdın yerini almakta olan Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE),gıda paketlenmesinde

sıklıkla kullanılmaktadır. Yine örnek olarak, sıvıların paketlenmesinde ve ağır hizmet torbaları üretiminde kullanılır. YYPE ve AYPE ekstrüzyon kalıplama alanında da çok geniş kullanım alanı vardır. YYPE, kasa, yer altı kanalları ve büyük boy eşya yapımında AYPE, esneklik, sertlik ve parlaklık istenen yerlerde kullanılırken YYPE ise, kasa, yer altı kanalları ve büyük boy eşya imalatında kullanılır. Ayrıca kumaş, kâğıt gibi yüzeylerin kaplanmasında kullanılır. Bu kaplama işlemi, yüzeyi sertleştirdiği gibi yüzeyin düzgün ve pürüzsüz olmasını sağlar ve dış etkenlere karşı direncini ve dayanıklılığını artırır (meyve suyu kutuları ve süt kapları). Bir başka yeni tüketim alanı da oto benzin depolarıdır. Hedeflenen bu maksat için yüksek molekül ağırlıklı yüksek yoğunluklu polietilen kullanılır (URL-4, 2006).

2.6. Poliolefinlerde Kullanılan Dolgu Maddeleri

Katı halde bulunan katkı maddeleri dolgu malzemesi olarak tanımlanır. Hacmini artırmak, mekanik, ısı ve diğer fiziksel özelliklerini olumlu yönden iyileştirmek için, polimerlerin içine ilave edilirler. Genellikle inorganik yapıda olup fakat az miktarda da olsa organik olanları da mevcuttur. Polimerlerin hacmini artırırken maliyeti ise azaltan inert dolgu maddeleridir. Belirli mekanik ve/veya fiziksel özelliklerde aktif dolgu maddeleri spesifik gelişmeler sağlarlar ve güçlendiriciler olarak tanımlanırlar. Bu tür malzemelerin artan kullanımı, dolgu maddeleri ve güçlendiricilerin önemini göstermektedir. Tablo 2.8’de toplam tüketim içerisindeki (%) oranları ile yaygın olarak kullanılan bazı dolgu maddeleri verilmiştir (Gachter ve Müller, 1993; Hohenberger, 2003).

Termoplastikler içerisine çeşitli dolgu maddeleri katılması ile farklı türlerde karışımlar oluşturularak kompozit malzemeler elde edilebilmektedir. Bu tür karışımlarda termoplastik malzeme matris malzeme olarak tanımlanırken, termoplastiğin farklı bir özelliğini geliştirmek için kullanılan malzemeler dolgu, takviye veya güçlendirici malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Bu şekilde termoplastik malzemelerin ısı, mekanik ve farklı birçok fiziksel özellikleri iyileştirilebilmekte ve maliyetleri düşürülerek daha ucuz, kolay işlenebilir ve uzun ömürlü malzemeler geliştirilebilmektedir (Hohenberger, 2003; Markarian, 2007).

Dolgu maddelerinin termoplastiklerde kullanılmaları, termoplastiklerin aşağıdaki özelliklerinin değişmesine yol açar:

- Büzülme azalır.

- Yüzey kalitesinde iyileşme ve sertlikte artış meydana gelir.
- Yoğunluk artar.
- Elastisite modülü, basma ve bükme direnci artar.
- Maliyet azalır.
- Fiziksel ve Mekanik özelliklerin ısıya bağımlılığı azalır (Kotek ve ark., 2004).

Tablo 2.8. Toplam tüketim içerisindeki % oranları ile yaygın olarak kullanılan bazı dolgu maddeleri (XANTHOS, 2005).

Dolgu Maddeleri	Toplam Tüketim içerisindeki oranı (%)
Karbonatlar (genellikle CaCO_3)	50-55
Silikatlar	
- Talk	5.0–6.0
-Mika	0.01–0.02
- Kaolin	2.0–3.0
-Asbest	5.0–6.0
- Çeşitli silikatlar	0.4–0.5
Karbon siyahı	0.6–0.8
Silisyum dioksit	2.5–3.5
Çeşitli mineraller	0.2–0.4
Organik dolgu maddeleri (odun talaşı, öğütülmüş fındık kabuğu vb.)	3.5–5.0
İçi dolu veya boş cam kürecikler	0.5–0.7
Cam elyaf	20.0–25.0

Z. Wang bazı elastomer ve dolgu maddeleri kullanarak polipropilenin mekanik özelliklerini iyileştirmeye çalışmıştır. Mineral ve polimer katkısıyla darbe özellikleri ve gerilim kuvvetleri değiştiği gözlemlenmiştir. Düşük moleküler kütleli polimerler, kullanılan dolguların dispersiyonuna yardım etmek ve yüzeyler arası yapışmayı geliştirmek için tercih edilmiştir. Kalsiyum karbonatın titan bağlama özelliği sayesinde polipropilen ile rahatlıkla karıştırılabilmesine imkan vermiştir (Wang, 1996).

Y. W. Leong ve çalışma arkadaşları polimer kompozitlerinin kararlılığını ve mekanik özelliklerini geliştirmek için kaolin, talk ve kalsiyum karbonatı tercih etmişlerdir. Bunu sağlamak için tek ve iki dolgu minerali içeren kompozitler oluşturmuşlardır. Talkın

katkısının Talk-kaolin ikili kompozitleri içinde kompozitin bükülme ve gerilme özelliklerinin geliştirilmesinde önemli bir yere sahip olduğu belirlenmiştir (Leong ve ark., 2006).

Patit P. Kundu ve arkadaşları polipropilen ve düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) içerisine ikili kalsit ve kalsit/zeolit dolgu maddeleri ekleyerek kompozitler hazırlamışlar ve oluşturdukları kompozit malzemelerin morfolojisini ve çekme özelliklerini test etmişlerdir. Dolgu ilavesinin gerilme direncini azalttığını ve polipropilenin hem de LLDPE'nin % uzama değerlerinin çok hızlı bir şekilde düştüğünü görmüşlerdir. Ayrıca, dolgu ilavesi polipropilen darbe dayanımını azaltırken, LLDPE'nin darbe dayanımını artırdığını tespit etmişlerdir (Kundu ve ark., 2004).

Yasin Kansu yapmış olduğu çalışmada ise talk, cam küre ve kalsiyum karbonat dolgulu polipropilen kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Talk eklenmesi ile erime akış özelliklerinde azalma, fakat cam küre ve kalsiyum karbonat ilavesi ile bu azalmanın meydana gelmediğini gözlemlemişlerdir. Dolgu maddesi eklenmesi ile kompozitlerin sertliklerinin ve yoğunluk değerlerinin yükseldiği, uzama değerlerinde azalmalar olduğu ve dolgu maddesi miktarına bağlı olarak üç farklı dolgu maddesinin de farklı fiziksel ve mekanik davranışlar sergilediği görülmüştür (Kansu, 2005).

Yılmaz Kısmet yapmış olduğu doktora tez çalışmasında sentetik bir ürün olan elektrostatik toz boya atık dolgulu polietilen ve polipropilen kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Elektrostatik toz baya atığı ilavesi ile, polietilen ve polipropilen numunelerin çekme gerilmesi oranlarında azalma meydana gelirken, üç nokta eğilme değerlerinde ise artış olduğunu gözlemlemiştir. Yine farklı bir mekanik test olan izod darbe dayanımı, artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak polietilen numunelerde artış gösterir iken, polipropilen takviyeli numunelerde ise azalma meydana geldiğini tespit etmiştir (Kısmet, 2012).

2.6.1. Elektrostatik Toz Boya

Metal ve metal olmayan yüzeylerin kaplamasında, elektrostatik toz boya malzemeleri özellikle termoset malzemeleri tercih edilmektedir. İçerisinde çözücü kimyasal olmadığından dolayı ıslak sıvı kaplama malzemelerine oranla daha fazla kullanılırlar. İstenilen incelikte yüzeyde uygulanabilmesinden ve çevreye zararlı

olmamasından dolayı daha fazla kullanım olanakları vardır. Bünyelerindeki reçine ile sertleştiricinin türüne göre toz boya kaplama malzemeleri adlandırılır ve sınıflandırılırlar. Toz boya kaplama malzemeleri sertleştiriciler, reçineler, pigmentler, dolgu malzemeleri ve additiflerden meydana gelmektedirler (Judith, 2003; Kısmet, 2012). Bu sınıflandırmalardan en aktif kullanılanlar; hibrid sistem yani epoksi-polyester, poliester ve poliüretan sistemdir (Nanetti, 2009).

Elektrostatik metodla kaplanacak olan yüzeylere toz boya kaplama malzemesi püskürtme tabancası ile püskürtülür. Toz boya kaplanacak topraklanmış malzeme yüzeyine tabanca içerisinde yüklü hale gelen toz boya partikülleri elektrostatik çekim kuvvetinden dolayı tutunur. Bu metodla arzu edilen incelikte çok karışık geometrik yüzeyler dahi kaplanabilmektedir. Uygulama esnasında % 30 ile %35 arasında meydana gelen kayıplar, parçacıkların kaplanacak malzemeye temas edememesinden kaynaklanmaktadır (Judith, 2003; Kısmet, 2012). Bu parçacıklar seri üretimin olduğu sistemlerde, tekrar kullanmak sureti ile kayıp %5 oranına kadar azaltılabilmektedir ve toz kaplama verimi artırılabilir. Fakat daha küçük ölçekli sistemlerin kullanıldığı yerlerde tekrar kullanım şansı yoktur ve verimlilik düşük seviyededir ve bu atıklar yakılmak sureti ile ortadan kaldırılmaktadır. Bu işlem ise ekstra depolama, nakliye ve yakma (min. 300 °C) masraflarını da beraberinde getirmektedir (Petermann, 1999; Goldschmidt ve Streitberger, 2002; Nanetti, 2004; Kısmet, 2012).

2006 yılında üretilen toz boya kaplama malzemesi 1,1 milyon ton iken bu oran artarak 2010 yılında ortalama 1,5 milyon tona yükselmiştir. Yapılan araştırma ve çalışmalarda dünyada yıllık yaklaşık 400 000 ton civarında oluşan elektrostatik toz boya atığının termoplastikler ile etkileşimi incelenmiş ve bu doğrultuda atık malzemenin termoplastiklerin mekanik (çekme, üç nokta eğilme ve darbe dayanımı) özelliklerini nasıl etkilediği grafiksel olarak ortaya konulmuştur (Kısmet, 2012).

3. GAMA IŞIMASI

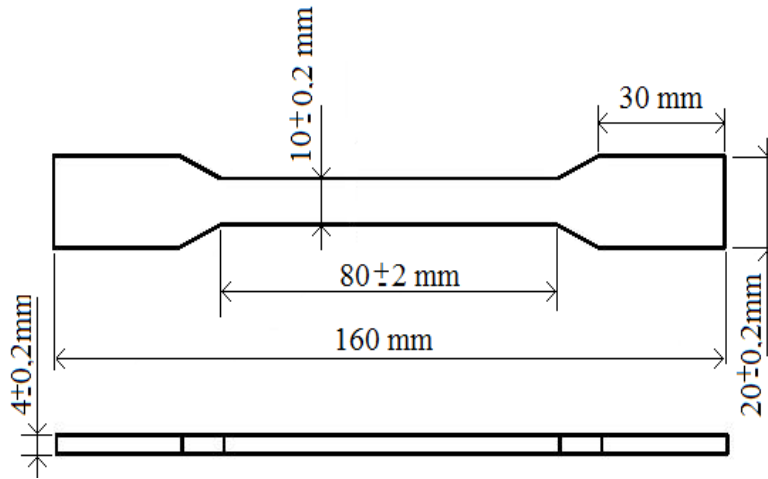
Polimer sanayinde, elektromanyetik bir ışıma olan gama ışıması aktif olmamakla birlikte kullanılan bir uygulamadır. Daha çok sağlık sektöründe gerek duyulan plastik malzemelerin sterilizasyonunda gama ışıması tercih edilmekte olup, bu işlem herhangi bir moleküler bozunma olmadan düşük dozlarda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca polimer kompozitlerin bağlanma mekanizmalarının kuvvetlendirilmesine yönelik uygulamalarda da gama ışıması kullanılmaktadır (Olguner ve Özer, 2000; Naki, 2003). Polimer kompozitlerin güçlendirme işlemi için sterilizasyon uygulamalarına kıyasla daha yüksek miktarlarda uygulanan gama ışıması ortalama 30 ila 150 kGy arasında tatbik edilmektedir (Amer, 2011). Böylelikle bozunuma uğramadan önce kompoziti oluşturan matris maddesi moleküler arası bağları güçlenmektedir. Molekül yapısı sebebi ile polietilen ve polipropilen, radikal ağ yapısına sahiptirler. Bu mekanizmaların uyarılarak ağ yapılarının kuvvetlendirilebilmesi için yaklaşık olarak 40 ila 100 kGy arasında gama ışımasına gereksinim vardır. Polimer malzemeler, ışımayı dışarı aksettirmeyerek kendi bünyelerinde absorbe ettikleri için yapılan gama ışımasının etkisi ile polietilen ve polipropilen kompozitlerin mekanik, ısı yada farklı fiziksel özellikleri yeterli seviyede geliştirilebilmektedir (Naki, 2003; Amer, 2011).

Bu tez çalışmasında, elektrostatik toz boya takviyeli termoplastiklerden (polietilen ve polipropilen) üretilmiş standart deney örneklerinin mekanik özelliklerine gama ışımasının etkisiyle meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Bu mekanik testler dahilinde numunelerin çekme gerilmeleri, üç nokta eğilme mukavemetleri ve darbe dayanımları incelenmiş olup ayrıca elektron mikroskopunda numunelerin kesit görüntüleri alınmış; sonuçlar Yılmaz Kısmet'in doktora tez çalışmasında yapmış olduğu, gama ışımasına maruz bırakılmamış numuneler için uygulanmış olan mekanik test değerleri ile mukayese edilmiştir. Bu şekilde, gama ışımasının dolgu malzemesi olan elektrostatik toz boya atığı ile güçlendirilmiş polietilen ve polipropilenin mekanik özellikleri üzerine etkileri tespit edilmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Ölçüleri Şekil 4.1'de verilen ve deneylerde kullanılan standart deney numunelerinin matris maddesi düşük yoğunluklu çizgisel polietilen (LLDPE) olup "Exxonmobile" firmasına aittir. Bir diğer matris malzemesi Polipropilen (PP) ise Sabic firmasına ait 579S kodlu üründür. Standart çekme numunelerinin dolgu maddesi ise hidroliz edilmiş poliesterepoaksi sistemine ait elektrostatik toz boya atığıdır. Ayrıca gama ışımasına tabi tutulan numunelerden ağırlıkça %40 ve %50 dolgu içeren standart çekme numunelerinin üretiminde bağlayıcı olarak ağırlıkça %5 oranında maleik anhidrit (MAH) kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Standart deney örneği.

Başlangıç olarak plastik enjeksiyon makinesi ile üretilen ve ağırlıkça %5, %10, %20, %30, %40 ve %50 elektrostatik toz boya atığı içeren polietilen ve polipropilen matrisli standart çekme deney numuneleri ile hiç toz boya atığı barındırmayan %100 polietilen ve polipropilenden üretilmiş deney numuneleri, Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de belirtildiği gibi sınıflandırılmıştır.

Tablo 4.1. Gama ışımasına tabi tutulmuş standart çekme deney numunelerinin ağırlıkça içerdikleri polietilen ve dolgu malzemesi miktarları ile adetleri.

Standart Çekme Deney Numuneleri	Miktar LLDPE [%]	Miktar Dolgu [%]	Adet
A	100	-	15
B	95	5	15
C	90	10	16
D	80	20	15
E	70	30	16

Tablo 4.2. Gama ışımasına tabi tutulmuş standart çekme deney numunelerinin ağırlıkça içerdikleri polipropilen ve dolgu malzemesi miktarları ile adetleri.

Standart Çekme Deney Numuneleri	Miktar PP [%]	Miktar Dolgu [%]	Miktar MAH [%]	Adet
A	100	-	-	15
B	90	10	-	16
C	80	20	-	15
D	70	30	-	15
E	60	40	-	16
F	50	50	-	15
G	55	40	%5	16
H	45	50	%5	15

4.2. Gama Işıması

Işınlama; polimer modifikasyonu, medikal cihaz ve aletlerin sterilizasyonu, gıda ambalajlarının sterilizasyonu, hayvan yemlerinin sterilizasyonu, özel ve hastane diyetlerinde yemeklerin sterilizasyonu, gıdaların ve baharatların pastörizasyonu gibi yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Kilcast, 1995).

Gıda ışınlama tesisleri için özel bir tasarım sistemi gerekmektedir. Dış kısmı mal kabul ve depolama birimleri oluştururken, diğer ikinci bölümü de taşıma sistemi oluşturmaktadır. Işınlama kaynağı ise kalın duvarlarla bölünmüş en iç kısımda bulunur ve kaynak, ışınlama işlemi gerçekleştirilene kadar su dolu bir havuzda bekletilir (Diehl, 1999).

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de belirtildiği gibi sınıflandırması yapılan standart deney numuneleri (toplamda 200 adet) 24 saat boyunca 44 kGy’lık gama ışınmasına tabi tutulmuşlardır. Bu işlem Ankara’da bulunan Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda (TAEK) gerçekleştirilmiş olup, Resim 4.1’de ilgili birimdeki ışınlama odası ve oda içindeki ışınlama maruz bırakılmış paketler görülmektedir.



Resim 4.1. Gama ışınlama odası ve oda içindeki ışınlama kutuları.

4.3. Mekanik Testler

Dolgu malzemesi ile güçlendirilmiş polietilen ve polipropilenin mekanik özellikleri üzerine gama ışınmasının etkilerinin belirlenebilmesi için öncelikle ışınlama maruz bırakılmış olan numuneler çalışma kapsamında analiz edildi. Yapılan bu analizler ile numunelerin çekme mukavemetleri, üç nokta eğilme mukavemetleri ve darbe dayanımları tespit edildi. Bu mekanik testler dışında bazı numunelerin kesitleri elektron mikroskobu altında incelenmiştir. Daha sonra bu sonuçlar ışınlama maruz bırakılmamış sonuçlar ile mukayese edilerek gama ışınmasının mekanik özellikler üzerine nasıl bir etki oluşturduğu belirlendi (Kısmet, 2012).

4.3.1. Çekme Mukavemeti Testi

Mühendislik malzemeleri rijit olmadığından kuvvet altında deforme olup, şekil ve boyut değişiklikleri gösterirler. Malzeme özelliklerini daha iyi tanımlayabilmek için mekanik testler yapılır. Bunlardan en önemlisi “çekme deneyidir. Çekme testi malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemek amacıyla yapılır.

Tablo 4.1 ve 4.2'de belirtilen herbir karışım oranından beşer adet numune kullanılmıştır. Bu numunelerin çekme testi, 2 N'luk ön kuvvet etkisi altında dakikada 50 mm hız ile ISO 527-1/-2 (ASTM D 638) standartlarına uygun bir biçimde Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Resim 4.2'deki Shimadzu ag-x 10 ton makinesi ile yapılmıştır.



Resim 4.2. Shimadzu ag-x 10 Ton Çekme Makinesi.

4.3.2. Eğilme Mukavemeti Testi

Üç nokta eğilme testi, malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile yapılır. Eğilme testi ile malzemenin eğilme momenti, elastisite modülü ve maksimum sehim miktarı belirlenir.

Çekme testine benzer şekilde Tablo 4.1 ve 4.2'de belirtilen karışım oranlarının herbirinden beşer adet numune eğilmeye tabi tutulmuştur. Bu numunelerin üç nokta eğilme testi, dakikada 10 mm'lik bir hız ile ISO 178 (ASTM D 790) standartlarına uygun bir şekilde Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Resim 4.2'deki Shimadzu ag-x 10 ton makinesi ile yapılarak elde edilmiştir.

4.3.3. İzod Darbe Dayanımı Testi

Belirli şartlar altında, elde edilen kompozit malzemelerin İzod Darbe Dayanımlarını belirlemek için darbe testleri gerçekleştirilmiştir.

Herbir karışım oranı için Tablo 4.1 ve 4.2'de ki numunelerden beşer adeti izod darbe dayanımı için kullanılmıştır. Bu analiz, Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Resim 4.3'deki darbe cihazı kullanılarak Şekil 4.1'de teknik ölçüleri verilen standart çekme deney numunelerinin yalnızca 80 ± 2 mm ile belirtilen bölümleri kullanılarak ISO 180 (ASTM D 256, ASTM D 4508) standartlarında yapılmıştır. İzod darbe mukavemet değerleri formül [1] kullanılarak Newton olarak hesaplanmış ve daha sonra kJ olarak ilgili grafiklerde verilmiştir.

$E = M \times L (\cos \beta - \cos \alpha)$ [1] E = Test numunesi tarafından kırılırken Joule cinsinden absorbe edilen enerji

M = Newton olarak sarkacın vurma çekici ağırlığı

L = Sarkaç uzunluğu

$\cos \beta$ = Yükselme açısı

$\cos \alpha$ = Düşme açısı



Resim 4.3. "Werkstoffprüfmaschinen Marka" Darbe Test Cihazı.

4.4. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)

Günümüzde birçok malzemenin nano boyuttaki yapısal karakterizasyonunu tanımlamak çok önemlidir. Bilindiği gibi nano ölçekteki yapılar, optik mikroskoplarla incelenemeyecek kadar küçük olduğundan, moleküler ve atomik boyutta yapılarının ve yüzeylerinin karakteristik özelliklerini görebilmek için uygun cihazlar kullanmak gerekmektedir. Taramalı elektron mikroskobu analizi, istenilen malzemelerin nano boyutta temel özelliklerini incelemek ile birlikte teknolojik uygulamalarda nano malzemelerin fonksiyonel ve teknik performanslarının araştırılması için kullanılan bir yöntemdir (Zhang, 2009).

Toplamda beş adet kullanılan numunelerin SEM görüntüleri, Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü laboratuvarında bulunan Resim 4.4'deki 'jeol jsm 7000f field emission' marka cihaz kullanılarak alınmıştır.



Resim 4.4. Jeol jsm 7000f field emission taramalı elektron mikroskobu

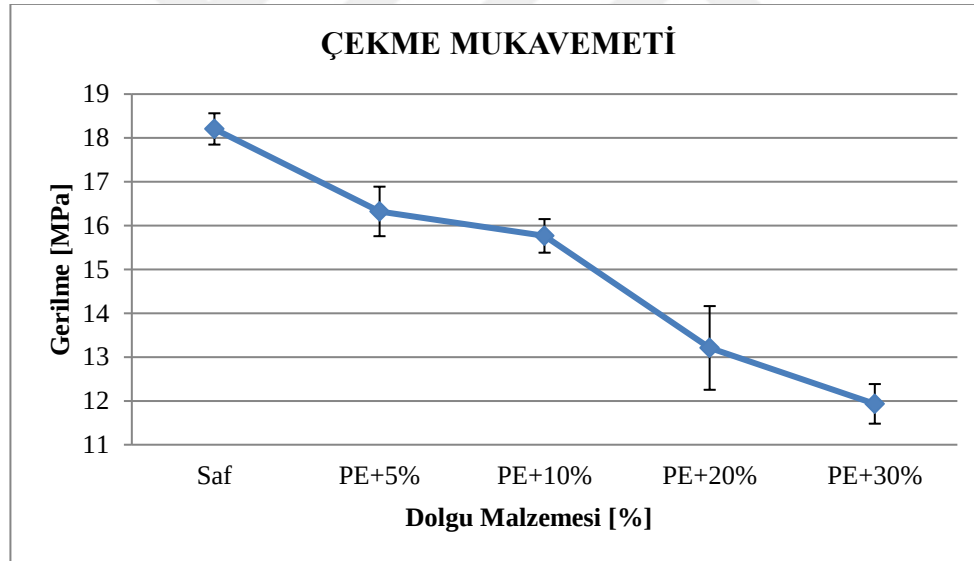
5. BULGULAR

5.1. Çekme Mukavemeti Sonuçları

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilen farklı karışım miktarlarındaki gama ışımasına maruz bırakılmış standart deney numuneleri için gerçekleştirilen çekme mukavemeti sonuçları aşağıda grafiklerle verilmiştir.

Polietilenin Çekme Mukavemeti Sonuçları:

Dolgu malzemesi takviyeli polietilen numunelerin gama ışıması sonrasında ki çekme mukavemetinde oluşan değişim Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1. Dolgu malzemesi takviyeli polietilenin gama ışıması sonrasında ki çekme mukavemetinde meydana gelen değişim.

Bu grafiğe göre, artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak gama ışımasına maruz bırakılmış polietilen numunelerin çekme mukavemet değerleri azalmıştır. Dolgu malzemesi içermeyen saf haldeki polietilen numunelerin çekme mukavemeti değeri yaklaşık olarak ortalama 18.2 MPa iken artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak bu değer azalmış ve %30 dolgu malzemesi içeren numunelerde bu değer ortalama 11.9 MPa olarak hesaplanmıştır. Numunelerin standart sapma aralığının en fazla %20 dolgu

malzemesi takviyeli numunelerde olduğu görülmektedir. Standart sapma aralığının fazla olmasının sebebi olarak, matris ve dolgu malzemesinin yeterince homojen bir karışım oluşturmaması gösterilebilir. Bu sonuçlar Kısmet 2012'de yer alan gama ışımasına tabi tutulmamış deney numuneleri için gerçekleştirilen çekme mukavemeti sonuçları ile Tablo 5.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu Tabloda sadece ortalama değerler yer almakta olup, numunelere ait standart sapma değerlerinin yer aldığı sonuçlar EK'ler kısmındadır.

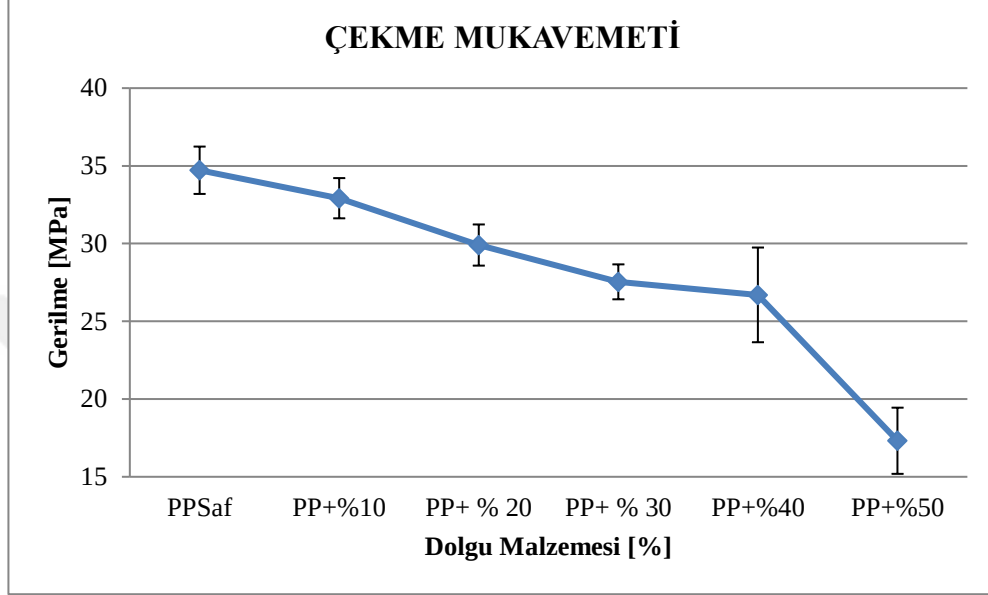
Tablo 5.1. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polietilen numuneler için ortalama değerleri alınmış çekme mukavemeti sonuçları.

Numuneler	Çekme Mukavemeti (MPa) (gama ışıması öncesi)	Çekme Mukavemeti (MPa) (gama ışıması sonrası)
LLDPE (Saf)	17.0	18.2
LLDPE+%5 Dolgu Malzemesi	15.2	16.3
LLDPE+%10 Dolgu Malzemesi	14.3	15.7
LLDPE+%20 Dolgu Malzemesi	11.5	13.2
LLDPE+%30 Dolgu Malzemesi	10.9	11.9

Yukarıdaki sonuçlara göre, gama ışıması sonrasında numunelerin çekme mukavemetlerinin iyileştiği görülmektedir. İçerisinde dolgu maddesi bulunmayan saf polietilenin çekme mukavemetinin gama ışımasından sonra 17 MPa'dan 18,2 MPa'a yükselmiştir. Benzer şekilde içerisinde %30 dolgu maddesi bulunan numunelerin çekme mukavemetleri 1.0 MPa artarak 10.9 MPa'dan 11.9 MPa değerine çıkmıştır. Yani gama ışımasına tabi tutulmuş numunelerin çekme mukavemeti dayanımları ışıma öncesi duruma göre yaklaşık %10 ila %20 oranında iyileşme göstermiştir. Ayrıca genel olarak bakıldığında, saf polietilen numuneler ile %30 dolgu içeren numunelerin çekme mukavemetlerinde meydana gelen fark ışıma öncesi ve ışıma sonrasında hemen hemen aynı kalmıştır. Çekme gerilmesinde oluşan bu değişim, gama ışımasına tabi tutulmamış numuneler için 6.1 MPa iken gama ışımasına tabi tutulmuş numuneler için ise 6.3 MPa olduğu tespit edilmiştir.

Polipropilenin Çekme Mukavemeti Sonuçları:

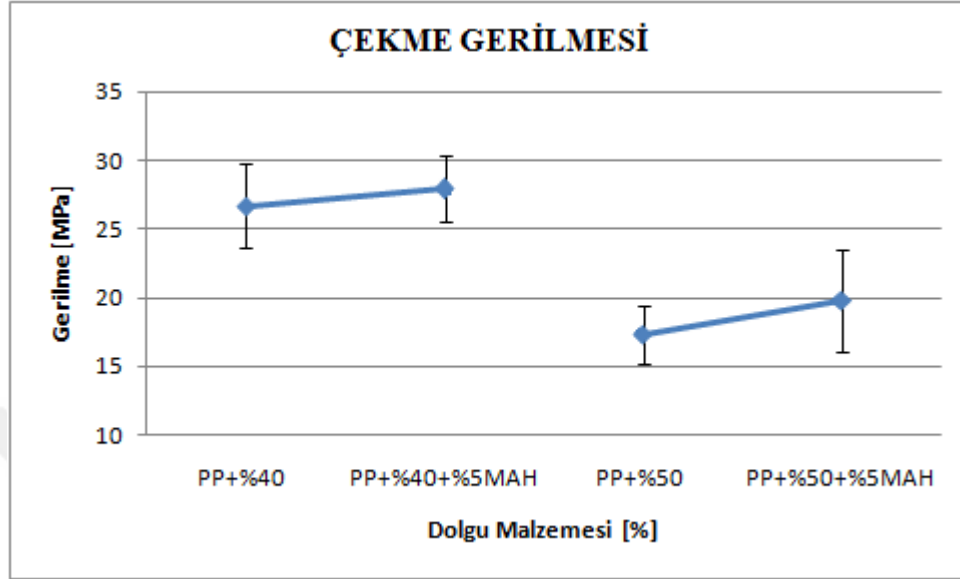
Gama ışımasına maruz bırakılmış dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin çekme mukavemetindeki değişim grafiksel olarak Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin gama ışıması sonrasında ki çekme mukavemetinde meydana gelen değişim.

Bu şekle göre, artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak gama ışımasına maruz bırakılmış polipropilen numunelerin çekme mukavemet değerleri azalmıştır. Dolgu malzemesi içermeyen saf haldeki polipropilen numunelerin çekme mukavemet değeri yaklaşık olarak 34.7 MPa iken artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak bu değer azalmış ve %50 dolgu malzemesi içeren numunelerde bu değer, ortalama 17.3 MPa olarak hesaplanmıştır. %40 ve %50 dolgu içeren numunelerde üretim esnasında yeterince homojenliğin sağlanamaması ve numunelerin içersinde hava boşluklarının oluşması nedeniyle standart sapma aralığının yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar Kısmet 2012’de yer alan gama ışımasına tabi tutulmamış numunelere ait çekme mukavemeti sonuçları ile mukayese edildiğinde gama ışıması ile numunelerin çekmeye karşı dayanımlarının artmış olduğu görülmekte olup, sonuçlar Tablo 5.2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.2'de belirtilen gama ışımasına tabi tutulmuş %5 MAH (maleikanhidrit) içeren "G" ve "H" numunelerine ait çekme mukavemeti sonuçları Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Gama Işımasına tabi tutulmuş %5 MAH içeren dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin çekme mukavemeti sonuçları.

Şekil 5.3'de verilen sonuçlara göre, gama ışımasına tabi tutulmuş aynı dolgu oranına sahip numunelerin çekme mukavemetlerinin MAH katkısı ile iyileştiği görülmektedir. %40 dolgu malzemesi takviyeli polipropilen matris numunelerinin çekme mukavemeti yaklaşık olarak 26.7 MPa iken aynı oranda dolgu ve %5 oranında MAH içeren polipropilen matrisli numunelerin çekme mukavemet değerleri yaklaşık 27.9 MPa olmuştur. Ve yine benzer şekilde %50 dolgu maddesi takviyeli polipropilen numunelerinin çekme mukavemeti yaklaşık 17,3 MPa iken aynı miktarda dolgu malzemesi ve %5 oranında MAH içeren polipropilen numunelerin çekme mukavemet değerleri yaklaşık olarak 19.8 MPa olmuştur.

Şekil 5.2 ve 5.3'de tespit edilen sonuçlar gama ışımasına tabi tutulmamış ve Kısmet 2012'de yer alan sonuçlar ile Tablo 5.2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Numunelere ait standart sapma değerlerinin yer aldığı Tablo EK'ler kısmında verilmiştir.

Tablo 5.2. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polipropilen numuneler için ortalama değerleri alınmış çekme mukavemeti sonuçları.

Numuneler	Çekme Mukavemeti (MPa) (gama ışıması öncesi)	Çekme Mukavemeti (MPa) (gama ışıması sonrası)
PP (Saf)	32.8	34.7
PP+%10 Dolgu Malzemesi	31.6	32.9
PP+%20 Dolgu Malzemesi	28.7	29.9
PP+%30 Dolgu Malzemesi	26.4	27.5
PP+%40 Dolgu Malzemesi	25.7	26.7
PP+%50 Dolgu Malzemesi	14.7	17.3
PP+%40 Dolgu Malzemesi+%5 MAH	26.7	27.9
PP+%50 Dolgu Malzemesi+%5 MAH	15.9	19.8

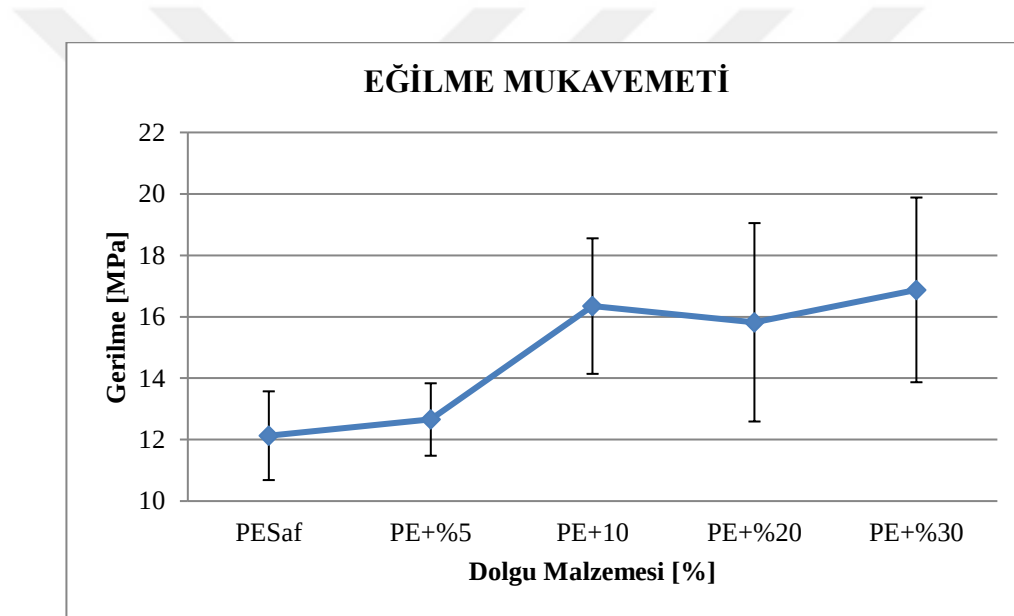
Tablo 5.2’de verilen sonuçlar mukayese edilirse, ışıma ile numunelerin çekme mukavemetlerinin arttığı görülmektedir. Dolgu maddesi içermeyen saf polipropilenin çekme mukavemeti 32.8 MPa’dan 34.7 MPa’a yükselmiştir. Benzer şekilde %50 dolgu malzemesi içeren polipropilen numunelerin çekme mukavemet değeri ise gama ışımasına bağlı olarak 3.4 MPa artarak 14.7 MPa’dan 17.3 MPa değerine ulaşmıştır. Ayrıca gama ışımasına tabi tutulmamış %40 dolgu malzemesi ve %5 MAH içeren polipropilen numunelerin çekme mukavemeti ışımadan sonra 26.7 MPa’dan 27.9 MPa’a değerine yükseldiği görülmektedir. %50 dolgu malzemesi ve %5 MAH içeren numunelerin çekme mukavemetleri ise ışıma sonrası 3.9 MPa artarak 15.9 MPa’dan 19.8 MPa değerine ulaşmıştır.

5.2. Eğilme Mukavemeti Sonuçları

Gama ışımasına tabi tutulmuş farklı karışım oranlarındaki standart deney numuneleri için gerçekleştirilen eğilme mukavemeti sonuçları, aşağıda grafiklerle verilmiştir.

Polietilenin Eğilme Mukavemeti Sonuçları:

Dolgu malzemesi takviyeli polietilenin gama ışıması sonrasında üç nokta eğilme mukavemetindeki değişim şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.4. Dolgu malzemesi takviyeli polietilenin gama ışıması sonrasında üç nokta eğilme mukavemetindeki değişim.

Yukarıdaki grafiğe göre, ışıma sonrasında numunelerin eğilme mukavemetlerinin, çekme gerilmelerinin aksine artan dolgu miktarı ile arttığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre dolgu malzemesi içermeyen polietilen numunelerin eğilme mukavemetleri ortalama 12.1 MPa iken bu değer, artan dolgu maddesi miktarına bağlı olarak artmış ve %30 takviyeli numunelerde yaklaşık olarak 16.9 MPa değerine ulaşmıştır. Numunelerin standart sapma aralığının en fazla %20 ve %30 dolgu malzemesi takviyeli numunelerde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar Tablo 5.3’de verilen Kısmet 2012’de yer alan gama ışımasına tabi tutulmamış polietilen numunelerin üç nokta eğilme mukavemeti sonuçları ile

karşılaştırılmıştır. Numunelere ait standart sapma değerlerinin yer aldığı Tablo EK'ler kısmında verilmiştir.

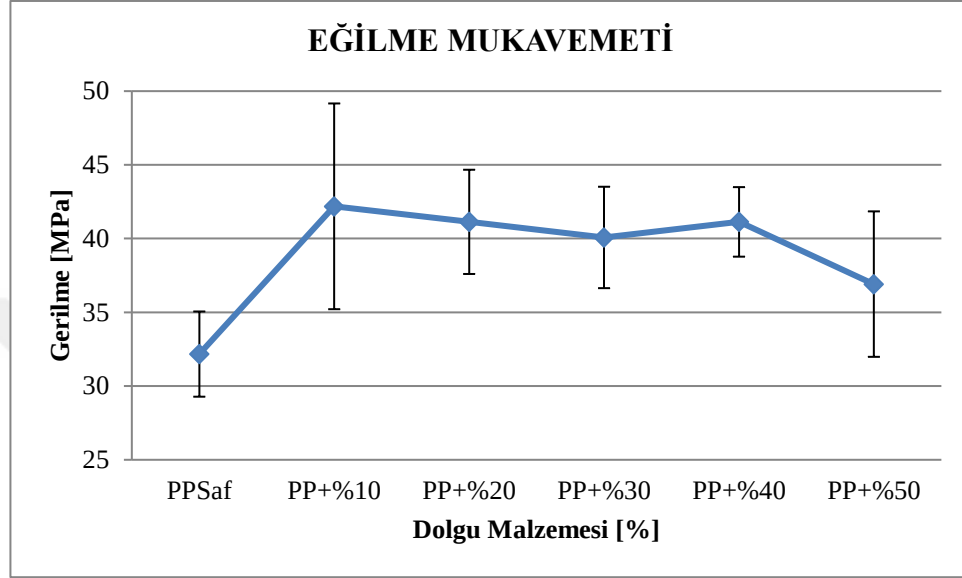
Tablo 5.3. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polietilen numuneler için ortalama değerleri alınmış üç nokta eğilme mukavemeti sonuçları.

Numuneler	Eğilme Mukaveti (MPa) (gama ışıması öncesi)	Eğilme Mukavemeti (MPa) (gama ışıması sonrası)
PE (Saf)	7.7	12.1
PE+%5 Dolgu Malzemesi	8.2	13.7
PE+%10 Dolgu Malzemesi	9.7	16.2
PE+%20 Dolgu Malzemesi	11.6	15.8
PE+%30 Dolgu Malzemesi	12.1	16.9

Tablo 5.3'te verilen sonuçlara göre, gama ışıması ile numunelerin eğilme mukavemetlerinin arttığı görülmektedir. Dolgu maddesi içermeyen polietilen numunelerinin gama ışıması ile düşey yönlü kuvvetlere karşı mukavemeti 7.7 MPa'dan 12.1 MPa'a değerine yükselmiş ve %30 oranında dolgu malzemesi içeren numunelerin ortalama eğilme mukavemet değeri ise yine gama ışımasına bağlı olarak 12.1 MPa'dan 16.9 MPa değerine yükselmiştir. Elde edilen bu sonuçlara bakarak matris ile dolgu maddesi arasındaki fiziksel yapının, gama ışımasından doğrudan etkilendiği ve bağlanma mekanizmasının güçlendiği görülmektedir. Bağlama mekanizmasının güçlenmesi ile numunelerin eğilme mukavemetleri yaklaşık olarak 3.2 ila 6.5 MPa arasında iyileşmiştir.

Polipropilenin Eğilme Mukavemeti Sonuçları:

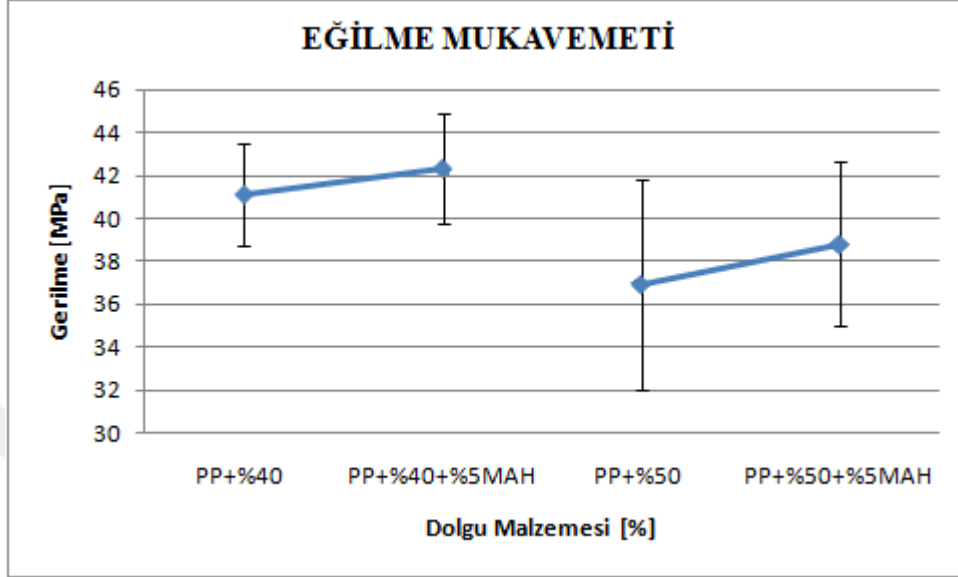
Şekil 5.5’de dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin gama ışıması sonrasında üç nokta eğilme mukavemetindeki değişim verilmiştir.



Şekil 5.5. Dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin gama ışıması sonrasında üç nokta eğilme mukavemetindeki değişim.

Bu grafiğe göre, artan dolgu maddesi miktarına bağlı olarak gama ışımasına tabi tutulmuş polipropilen numunelerin üç nokta eğilme mukavemet değerleri artmıştır. Dolgu malzemesi içermeyen saf polipropilen numunelerin eğilme mukavemet değerleri yaklaşık 32.1 MPa iken, dolgu malzemesi miktarının artmasına bağlı olarak polipropilen numunelerin eğilme mukavemet değerleri en fazla %10 dolgu oranında artış göstermiş ve bu değer 42.1 MPa olmuştur. Yine benzer olarak dolgu malzemesinin artışına bağlı olarak bu değişim farklılık göstermiş ve %50 dolgu takviyeli numunelerde ise bu değer azalma göstererek 36.9 MPa değerine gerilemiştir. Numunelerin standart sapma aralığının en fazla %10 dolgu malzemesi takviyeli numunelerde olduğu görülmektedir. Diğer numunelerde ise bu aralık farklılık göstermektedir. Bu sonuçlar ile Kısmet 2012’de ışımaya maruz bırakılmamış numunelere ait eğilme mukavemeti sonuçları Tablo 5.4’de karşılaştırılmıştır.

Gama ışımasına tabi tutulmuş %5 MAH (maleikanhidrit) içeren "G" ve "H" numunelerine ait eğilme mukavemeti sonuçları Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Gama Işımasına tabi tutulmuş %5 MAH içeren dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin eğilme mukavemeti sonuçları.

Yukarıda verilen sonuçlara göre gama ışımasına tabi tutulmuş aynı dolgu oranına sahip numunelerin maleikanhidrit (MAH) etkisi ile düşey yüklemelere karşı dayanımlarının iyileştiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre %40 dolgu maddesi içeren numunelerin eğilme gerilmeleri %5 MAH etkisi ile 41.1 MPa'dan 42.3 MPa'a değerine ulaşmıştır. Benzer şekilde %50 dolgu maddesi içeren numunelerin eğilme mukavemetleri de %5 MAH etkisi ile 36.9 MPa'dan 38.8 MPa değerine yükselmiştir.

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da elde edilen sonuçlar gama ışımasına tabi tutulmamış numunelere ait Kısmet 2012'de yer alan eğilme gerilmesi sonuçları ile mukayese edilmiş ve Tablo 5.4'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Numunelere ait standart sapma değerlerinin bulunduğu Tablo EK'ler kısmında yer almaktadır.

Tablo 5.4. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polipropilen numuneler için ortalama değerleri alınmış eğilme mukavemeti sonuçları.

Numuneler	Eğilme Mukavemeti (MPa) (gama ışıması öncesi)	Eğilme Mukavemeti (MPa) (gama ışıması sonrası)
PP (Saf)	31.0	32.1
PP+%10 Dolgu Malzemesi	39.0	42.1
PP+%20 Dolgu Malzemesi	40.5	41.1
PP+%30 Dolgu Malzemesi	38.1	40.0
PP+%40 Dolgu Malzemesi	36.1	41.1
PP+%50 Dolgu Malzemesi	31.3	36.9
PP+%40 Dolgu Malzemesi+%5 MAH	41.1	42.3
PP+%50 Dolgu Malzemesi+%5 MAH	36.9	38.8

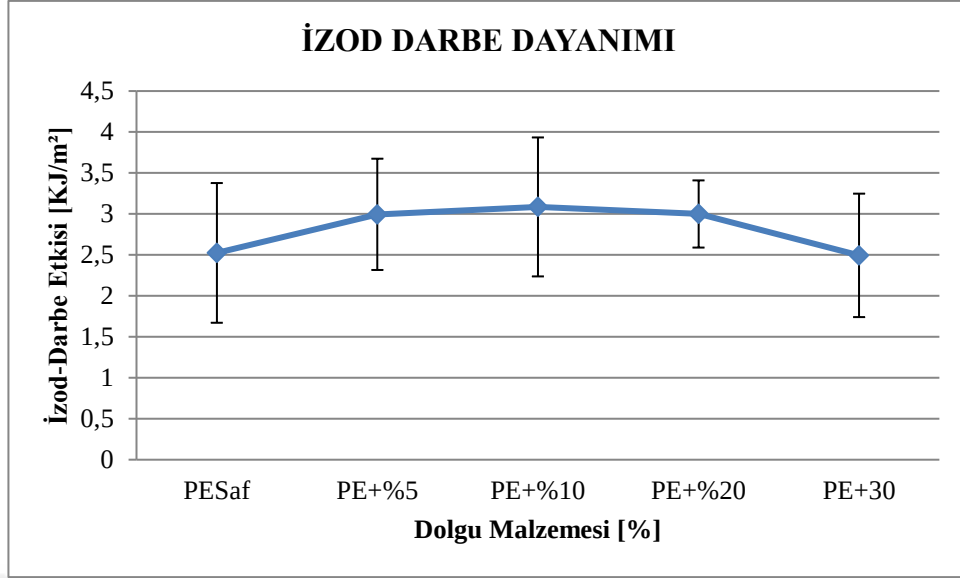
Yukarıda verilen sonuçlara göre, ışıma sonrası numunelerin düşey yüklemelere karşı dayanımının ışıma öncesi duruma göre iyileştiği görülmektedir. Saf polipropilenin eğilme mukavemeti ışıma sonrasında 31.0 MPa'dan 32.1 MPa'a yükselmiştir. Yine benzer olarak içerisinde %50 oranında dolgu malzemesi bulunan numunelerin eğilme mukavemeti, gama ışımasına bağlı olarak 5.6 MPa artarak 31.3 MPa'dan 36.9 MPa değerine ulaşmıştır. Ayrıca %40 dolgu malzemesi ve %5 MAH içeren polipropilen numunelerin eğilme mukavemeti, gama ışıması ile 41.1 MPa'dan 42.3 MPa'a ulaşmıştır, benzer şekilde %50 dolgu maddesi ve içerisinde %5 oranında MAH bulunan numunelerin eğilme mukavemeti, 1.9 MPa artarak 36.9 MPa'dan 38.8 MPa değerine yükselmiştir.

5.3. İzod Darbe Dayanımı Sonuçları

Farklı karışım oranlarında hazırlanan gama ışımasına maruz bırakılmış standart deney numuneleri için gerçekleştirilen izod darbe dayanımına ait sonuçlar, aşağıda grafiklerle verilmiştir.

Polietilenin Darbe Dayanımı Sonuçları:

Gama ışımasına maruz bırakılmış dolgu malzemesi takviyeli polietilen numunelerin izod darbe dayanımı deney sonuçları Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Dolgu malzemesi takviyeli polietilenin gama ışıması sonrasında izod darbe etkisi sonuçlarındaki değişim.

Dolgu malzemesi takviyeli polietilenin gama ışıması sonrasında izod darbe etkisi sonuçlarındaki değişime bakılırsa, dolgu malzemesi miktarının artışına bağlı olarak gama ışımasına bırakılmış polietilen numunelerin izod darbe dayanım değerleri artmıştır. Darbe mukavemeti gama ışımasının etkisi ile saf polietilen numunelerinde yaklaşık olarak 2,52 KJ/m² iken, artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak bu değer artmış ve dolgu malzemesinin %10 oranında ilave edilmesi ile 3,08 KJ/m² olmuştur. Fakat %30 oranında dolgu ilavesi ile birlikte bu değer azalarak yaklaşık olarak 2,48 KJ/m² kadar düşmüştür. malzemesi takviyeli numunelerde ciddi oranda azalarak yaklaşık olarak 0,4 MPa'a kadar düşmüştür. %20 dolgu malzemesi takviyeli numunelerin dışında diğer numunelerin, karışımlarının yeterince homojen olarak elde edilmediği grafikte oluşan standart sapma aralığından anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar Tablo 5.5'de verilen Kısmet 2012'de yer alan gama ışımasına maruz bırakılmamış polietilen numunelerin izod darbe dayanımı sonuçları ile mukayese edilmiştir. Bu Tabloda sadece ortalama değerler yer almakta olup, numunelere ait standart sapma değerlerinin yer aldığı sonuçlar EK'ler kısmında verilmiştir.

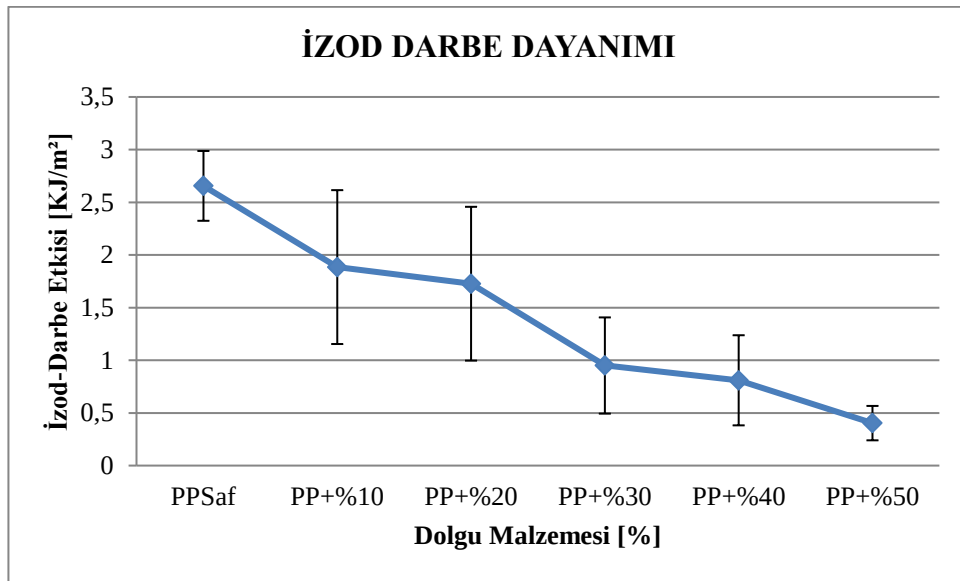
Tablo 5.5. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polietilen numuneler için ortalama değerleri alınmış izod darbe dayanımı sonuçları.

Numuneler	İzod Darbe Dayanımı (KJ/m ²) (gama ışıması öncesi)	İzod Darbe Dayanımı (KJ/m ²) (gama ışıması sonrası)
PE (Saf)	2.38	2.52
PE+%5 Dolgu Malzemesi	2.76	2.90
PE+%10 Dolgu Malzemesi	2.89	3.08
PE+%20 Dolgu Malzemesi	2.84	2.99
PE+%30 Dolgu Malzemesi	2.32	2.49

Yukarıdaki sonuçlara göre, gama ışımasının etkisi ile numunelerin darbe mukavemet değerleri artmıştır. Numunelerin darbe mukavemeti, gama ışıması uygulanmamış saf polietilen numunelerinde yaklaşık 2,38 KJ/m² iken bu değer gama ışımasının etkisi ile artarak 2,52 KJ/m² olmuştur. Benzer olarak içerisinde %30 oranında dolgu maddesi bulunan numunelerin izod darbe dayanımları, gama ışımasına bağlı olarak yaklaşık olarak 2,32 KJ/m²'den 2,49 KJ/m²'ye kadar artış göstermiştir.

Polipropilenin Darbe Dayanımı Sonuçları:

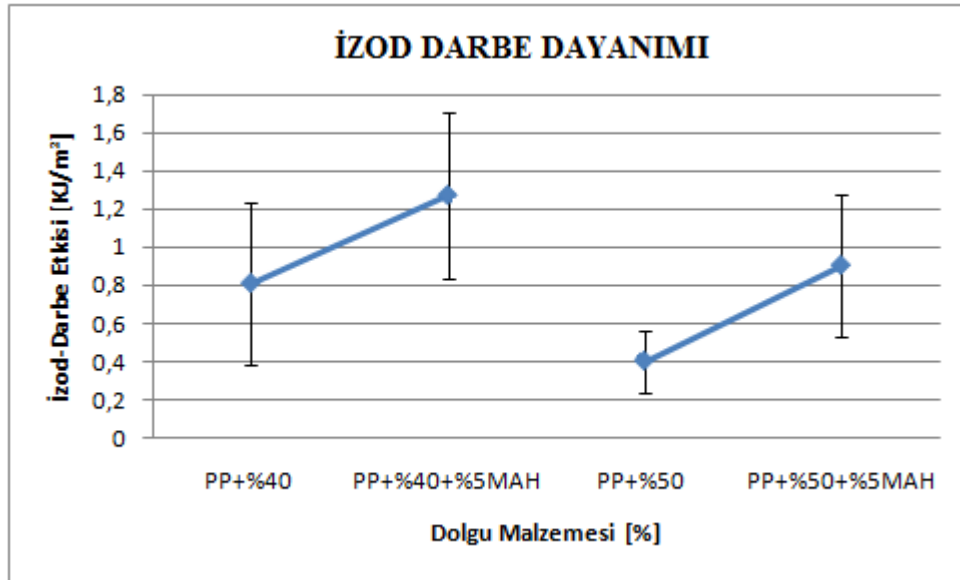
Şekil 5.8'de dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin gama ışıması sonrasında izod darbe etkisi sonuçlarındaki değişim grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.8. Dolgu malzemesi takviyeli polipropilenin gama ışıması sonrasında izod darbe etkisi sonuçlarındaki değişim.

Bu grafiğe göre, artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak gama ışımasına maruz bırakılmış dolgu maddesi takviyeli polipropilenin darbe mukavemet değerleri azalmıştır. Darbe mukavemeti saf polipropilen numunelerinde yaklaşık olarak 2,65 KJ/m² iken bu değer %50 dolgu malzemesi takviyeli numunelerde yaklaşık olarak 0,4 KJ/m²'ye kadar düşmüştür. Özellikle %10 ve %20 dolgu maddesi içeren numunelerde karışımın yeterince homojen olarak elde edilmediği grafikte oluşan standart sapma aralığından anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar ile Kısmet 2012'de yer alan gama ışımasına maruz bırakılmamış polipropilen deney numunelerinin darbe mukavemet değerleri Tablo 5.6'da verilerek kıyas edilmiştir.

Tablo 4.2'de belirtilen gama ışımasına tabi tutulmuş %5 MAH (maleikanhidrit) içeren "G" ve "H" numunelerine ait izod darbe dayanımı sonuçları Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Gama Işımasına tabi tutulmuş %5 MAH içeren polipropilen numuneler için izod darbe etkisi sonuçlarının değişimi.

Bu grafiğe göre, %40 ve %50 dolgu maddesi takviyeli polipropilen matris içerisine %5 oranında MAH ilave edildiğinde numunelerin izod darbe dayanımlarının arttığı görülmektedir. Bu artış %40 dolgu maddesi içeren numunelerde yaklaşık olarak 0.8 MPa'dan 1.27 MPa'a ulaşmıştır. %50 dolgu maddesi içeren numunelerde ise izod darbe dayanımları 0.5 MPa artarak 0.4 MPa'dan 0.9 MPa değerine yükselmiştir.

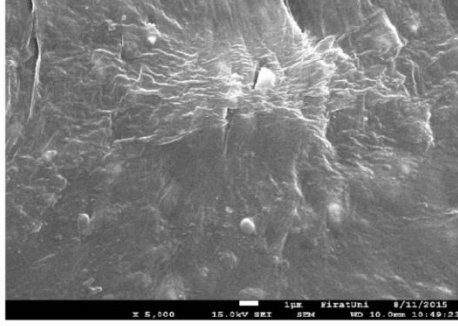
Şekil 5.8 ve 5.9'da tespit edilen sonuçlar gama ışımasına tabi tutulmamış ve Kısmet 2012'de yer alan sonuçlar ile Tablo 5.6'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 5.6. Gama ışımasına tabi tutulmuş ve ışımaya maruz bırakılmamış polipropilen numuneler için ortalama değerleri alınmış izod darbe dayanımı sonuçları.

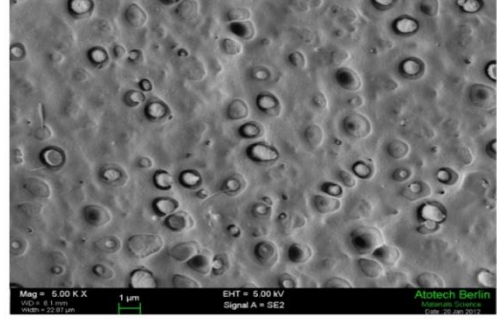
Numuneler	İzod Darbe Dayanımı (KJ/m ²) (gama ışıması öncesi)	İzod Darbe Dayanımı (KJ/m ²) (gama ışıması sonrası)
PP (Saf)	2.5	2.65
PP+%10 Dolgu Malzemesi	1.7	1.8
PP+%20 Dolgu Malzemesi	1.6	1.7
PP+%30 Dolgu Malzemesi	0.7	0.9
PP+%40 Dolgu Malzemesi	0.6	0.8
PP+%50 Dolgu Malzemesi	0.15	0.4
PP+%40 Dolgu Malzemesi+%5 MAH	0.9	1.27
PP+%50 Dolgu Malzemesi+%5 MAH	0.5	0.9

Yukarıda verilen sonuçlara göre, gama ışıması ile numunelerin izod darbe dayanım değerleri artmıştır. İçerisinde dolgu maddesi bulunmayan polipropilen numunelerin darbe dayanımı ışımanın etkisi ile 2.5 KJ/m²'den 2.65 KJ/m² değerine çıkmıştır. Yine benzer olarak içerisinde %50 oranında dolgu malzemesi bulunan numunelerin darbe dayanımı, 0.25 KJ/m² artarak 0.15 KJ/m²'den 0.4 KJ/m² değerine ulaşmıştır. Ayrıca gama ışıması uygulanmamış %40 dolgu malzemesi takviyeli ve %5 MAH içeren polipropilen numunelerin darbe dayanımları, yaklaşık olarak 0,9 KJ/m² iken bu değer ışıma ile 1,27 KJ/m²'ye kadar artmıştır, benzer şekilde %50 dolgu malzemesi ve içerisinde %5 oranında MAH bulunan numunelerin izod darbe dayanımları, gama ışımasına bağlı olarak yaklaşık 0,5 KJ/m²'den 0,9 KJ/m²'ye kadar yükselmiştir.

5.4. Taramalı Elektron Mikroskobu Sonuçları



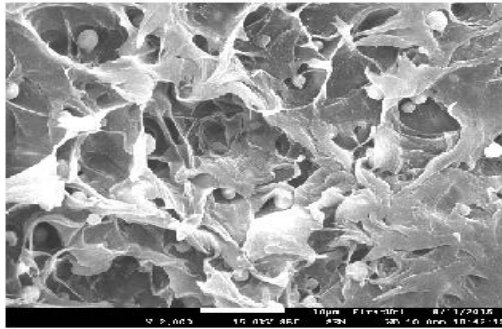
(a) Gama ışıması yapılmış



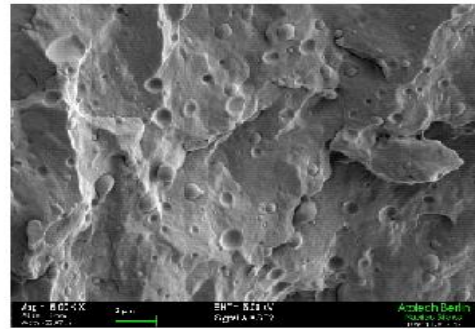
(b) Gama ışıması yapılmamış

Resim 5.1. Gama ışımasına tabi tutulmuş (a) ve gama ışımasına tabi tutulmamış (Kısmet, 2012). (b) %10 dolgu malzemesi takviyeli polietilen numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri

Resim 5.1'de %10 dolgu maddesi içeren gama ışımasına tabi tutulmuş ve gama ışımasına maruz bırakılmamış polietilen numunelerin elektron mikroskop görüntüleri yer almaktadır. Bu görüntüler mukayese edildiğinde gama ışımasının etkisi ile, dolgu malzemesi ile matris malzemesi arasındaki boşlukların ortadan kalkarak daha bütün bir yapının oluştuğu görülmektedir. Böylelikle, matris maddesi ile dolgu malzemesi arasındaki fiziksel yapı, gama ışımasından doğrudan etkilenmiş olup ve oluşan bağlanma mekanizmasının güçlendiği görülmüştür.



(a) Gama ışıması yapılmış



(b) Gama ışıması yapılmamış

Resim 5.2. Gama ışımasına tabi tutulmuş (a) ve gama ışımasına tabi tutulmamış (Kısmet, 2012). (b) %10 dolgu malzemesi takviyeli polipropilen numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri

Gama ışımasına tabi tutulmuş ve gama ışımasına maruz bırakılmamış %10 dolgu malzemesi içeren polipropilen numunelerin elektron mikroskop görüntüleri Resim 5.2'de

verilmiştir. Resim 5.1'e benzer olarak burada da gama ışımasının etkisi ile dolgu malzemesi ve matris malzemesi arasındaki boşluklu yapının ortadan kalktığı ve dolgu maddesinin polipropilen içerisinde daha güçlü bağ yapısı oluşturduğu görülmektedir. Böylelikle, matris maddesi ile dolgu malzemesi arasındaki fiziksel yapının, gama ışımasından doğrudan etkilenmiş olduğu ve buna bağlı olarak da oluşan bağlanma mekanizmasının güçlenmiş olduğu tespit edilmiştir. Diğer numunelere ait elektron mikroskop sonuçları Ek'ler kısmında verilmiştir.



6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Yapılan bu çalışma ile, matris malzemesi polietilen ve polipropilen olan elektrostatik toz boya atığı takviyeli kompozit malzemesinin mekanik özelliklerinin, gama ışımasına bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu değişimler aşağıda ifade edilmiştir:

- Gama ışımasına tabi tutulmuş elektrostatik toz boya atığı takviyeli polietilen ve polipropilen numunelerin çekme mukavemetlerinin, dolgu maddesi miktarının artışına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalmanın sebebi olarak; malzemenin kopan kesitlerinde gözlemlenen matris ile dolgu maddesi arasındaki hava boşlukları olduğu söylenebilir. Numune zayıf olan bu hava boşluklarının olduğu kesitlerden kopmuştur. Hava boşlukları, matris ile dolgu malzemesinin ekstrüzyonda yeteri kadar homojen karışmamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla karışım içerisindeki dolgu miktarı arttıkça elde edilen numunelerin kesitlerindeki hava boşlukları da çoğalmakta ve numune daha kolay kopmaktadır. Ayrıca matris ile dolgu malzemesi, elektron mikroskobu görüntülerinde de görüldüğü gibi çok güçlü bir bağ oluşturmamış ve dolgu maddesinin matris malzeme içerisindeki dağılımı çekme kuvvetine paralel bir şekilde olmuştur. Bu nedenle de numuneler dolgu maddesinin yoğun olduğu kesitlerde kolaylıkla kırılmıştır. Fakat bu yapı gama ışıması ile nispeten biraz daha iyileştirilmiş ve dolgu maddesi ile matris malzemesi arasındaki bağlanma mekanizması güçlenerek numunelerin çekme dayanımları artmıştır.
- Bir başka mekanik analiz olan eğilme mukavemeti sonuçlarına bakıldığında, çekme mukavemetinin aksine gama ışımasına tabi tutulmuş numunelerin içerdikleri artan dolgu miktarına bağlı olarak eğilme mukavemetlerinin arttığı görülmektedir. Üç nokta eğilme deneyinde numuneye uygulanan kuvvet hem numune kesitine hem de numune içerisinde dağılmış olan dolgu malzemesine dik doğrultudadır. Bu nedenle kuvvet etkisi ile oluşan enerjinin numuneyi terk edebilmesi için ya bu dolgu taneciklerini kırması ya da taneciklerin etrafından akıp numuneyi terk etmesi gerekmektedir. Dolayısıyla numune içerisinde dolgu miktarı arttıkça enerjinin, numuneyi kırarak terk etmesi zorlaşacak ve numune

daha mukavim bir yapı gösterecektir. Yine çekme gerilmesine benzer olarak gama ışımasına tabi tutulmuş numunelerin eğilme mukavemetleri, ışımaya maruz bırakılmamış numunelerin eğilme mukavemetlerine kıyaslandığında da önemli bir artış olduğu görülmektedir. Yani gama ışıması ile matris ve dolgu maddeleri arasındaki bağlanma mekanizması güçlenmiş ve numunelerin düşey yüklemelere karşı dayanımı artmıştır.

- İzod darbe dayanımına bakıldığında gama ışımasına maruz bırakılan polietilen numunelerin izod darbe dayanımları artan dolgu miktarına bağlı olarak artarken, polipropilen numunelerde ise önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun nedeni olarak, polipropilen polietilene göre daha gevrek bir malzeme olması ve elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde toz boyaların polietilen ile daha güçlü bağ yapısı oluşturduğu söylenebilir. Ayrıca hem polipropilen hem de polietilen numunelerin darbe dayanımları ışımaya tabi tutulmayan numunelerin izod darbe dayanımları ile mukayese edildiğinde artış göstermiştir ve darbeye karşı daha mukavim hale gelmişlerdir. Yani diğer iki mekanik analiz sonucunda da belirtildiği gibi gama ışıması ile matris ve dolgu malzemeleri arasındaki bağlanma mekanizması güçlenmiştir.
- Elektron mikroskobu görüntülerine göre gama ışımasının etkisi ile matris maddesi ile dolgu malzemesi arasındaki fiziksel yapı, gama ışımasından doğrudan etkilenmiş olup ve oluşan bağlanma mekanizmasının güçlenmiş olduğu tespit edilmiştir.
- Dolgu malzemesi takviyeli numunelerin içerisine maleikanhidrit (MAH) bağlayıcı elemanın ilave edilmesiyle numunelerin, mekanik özelliklerinde %10-20 oranında bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abu Bakar, M., B., Leong Y., W., Ariffin, A., Mohd. Ishak, Z., A.,** 2007. Mechanical, flow and morphological properties of talc- and kaolin-filled polypropylene hybrid composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 434-441.
- Akkurt S.,** 1991. Plastik Malzeme Bilgisi. Birsen Yayınevi, İstanbul, 7-25s.
- Amer, A.,** 2011. Untersuchungen zum materialverhalten von rapsstroh-polypropylen compounds, Berlin, 93s.
- Birlik, M.,** 1994. Petrokimya Özel İhtisas Komisyonu Raporu. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2367-ÖİK: 433, DPT Yayınları Ankara, 591-595s.
- Chen, H., Wang, M., Lin, Y., Chan, C-M., Wu, J.,** 2007. Morphology and mechanical property of binary and ternary polypropylene nanocomposites with nanoclay and CaCO₃ particles. *Journal of Applied Polymer Science*, 106, 3409-3416.
- 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.
- Diehl, J. F.,** 1999. Safety of Irradiated Foods(2nd ed.). CRC Press LLC, Boca Raton, USA,464s.
- Enşici, A.,** 2004. Polimer esaslı kompozit malzemeler ve ürün tasarımında kullanımları Raporu.<http://www.designophy.com>, 10 Şubat 2004.
- Ezdeşir A. , Erbay E. , Taşkiran İ. , Yağcı M. A. , Cöbek M. , Bilgiç T. ,** 1999. Polimerler I. PAGEV Yayınları, İstanbul , 17-167s.
- Gachter, R., Müller, H.,** 1993. Plastics Additives Handbook. Fourth edition, Hanser/Gardner Publications, 525-561s.
- Goldschmidt, A., Streitberger, H.J.,** 2002. BASF-Handbuch Lackiertechnik, Vincentz Verlag, Hannover, 840s.
- Goodship, V.,** 2004. Arburg Practical Guide to Injection Moulding. Smithers Rapra, Germany 1-65s.
- Gysau, D.,** 2006. Füllstoffe. Vincentz Network GmbH, Hannover, 209s.
- Hohenberger, W.,** 2003. Fillers and Reinforcements. Fifth edition, Plastics Additives Handbook, 901-948s.

- Judith, P.**, 2003. Industrielle Pulverbeschichtung. View & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 496Ss.
- 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.
- Kaiser, W.**, 2011. Polyolefine, kunststoffchemie für ingenieure. Carl Hanser Verlag, München, 235-272s.
- Kansu, Y.**, 2005. Cam küre, CaCO₃ ve talk dolgulu polipropilen hibrit kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 46-80s.
- Kismet, Y.**, 2012. Entwicklung eines Verfahrens für die Verwertung von Pulverlackrecyclaten, Universitätsverlag der TU Berlin, Endformat, Ges. für gute Druckerzeugnisse mbH, ISBN 978-3-7983-2479-4. Berlin, 164s.
- 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.
- Kilcast, D.** 1995. Food irradiation: Current problems and future potential. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 36 (3–4), 279-296.
- Kotek, J., Kelnar, I., Baldrian, J., Raab, M.**, 2004. Tensile behaviour of isotactic polypropylene modified by specific nucleation and active fillers. *European Polymer Journal*, 40, 679-684.
- Kundu, P., P., Biswas, J., Kim, H., Shim, S., E., Choe, S.**, 2004. Effect of calcite and calcite/zeolite hybrid fillers on LLDPE and PP composites. *Advances in Polymer Technology*, 23, 230-238.
- Leong, Y., W., Abu Bakar, M., B., Ishak, Z., A., M., Ariffin, A.**, 2006 Filler treatment effects on the weathering of talc-, CaCO₃- and kaolin-filled polypropylene hybrid composites. *Materials Science and Composites*, 13, 659-684.
- Leong, Y., W., Abu Bakar, M., B., Mohd. Ishak, Z., A., Ariffin, A., Pukanszky, B.**, 2004. Comprasion of the mechanical properties and interfacial interactions between talc, kaolin and calcium carbonate filled polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 3315-3326.

- Luo, X., Li, J., Feng, J., Xie, S., Lin, X.,** 2013. Evaluation of distillers grains as fillers for low density polyethylene: mechanical, reological and thermal characterization. *Composites Science and Technology*, 89.
- Markarian, J.,** 2007. Mineral modifiers fill the gap-keeping costs down without losing Quality. *Plastics Additives and Compounding*, 20-25s.
- MEGEP.,** 2006. Temel plastik enjeksiyon kalıpları 1. Makine Teknolojisi, Ankara, 1-4s.
- Michaeli, W.,** 2006. Einführung in die Kunststoffverarbeitung. Verarbeitungsverfahren für die kunststoffe, Wien, 231s.
- 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.
- Mohmeyer, N., Behrendt, N., Zhang, X., Smith, P., Altstadt, V., Sessler, G., M., Schmidt, H., W.,** 2007. Additives to improve the electret properties of isotactic Polypropylene. *Polymer*, 48, 1612-1619.
- Naki, N.,** 2003. Kozmetik ürünler ve kozmetik ürün hammaddelerinin gama radyasyonla dekontaminasyonu/sterilizasyonu üzerine çalışmalar. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 43s.
- Nanetti, P.,** 2004. Lack von A bis Z. Vincentz Network, Hannover, Germany, 221s.
- Nannetti, P.,** 2009. Lack für Einsteiger. Vincentz Network GmbH Co. KG, Hannover, 120s.
- 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.
- Olguner, G., Özer, A.Y.,** 2000. Radyasyonla sterilizasyon II: İlaçların radyasyonla sterilizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 25:53-73s.
- Othman, N., Ismail, H., Mariatti, M.,** 2006. Effects of compatibilisers on mechanical and thermal properties of bentonite filled polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 91, 1761-1774.
- Petermann, M.,** 1999. Herstellung von Pulverlacken durch Versprühen gashaltiger Schmelzen. Dissertation von der Technischen Fakultät der Universität ErlangenNürnberg, 743-746s.
- Rees, H.,** 1995. Mold Engineering. Hanser Publishers, 3-26s.

- Roff, W., J.**, 1971. Fibres, Plastics and Rubbers. First edition, *Butterworths Scientific Publications*, 10-11, 21-28.
- Saçak, M.**, 2005. Polimer Teknolojisi. Gazi Kitabevi, Ankara, 71-73s.
- Saçak, M.**, 2006. Polimer Kimyası. 3. Baskı, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 33-35s.
- Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., Akova, G.**, 1998. Plastikler ve Plastik Teknolojisi. Çantay Kitabevi, İstanbul, 1-25: 199-203s.
- Smith, William F.**, 1996. Material Science and Engineering çev. Kınıkoğlu, Nihat G., McGraw-Hill, 896s.
- Stoeckert, K., Woebcken, W.**, 1998. Kunststoffen. Kunststoff-Lexikon, Wien, 275s.
- URL-1**, 2010. <http://www.belgeler.com/blg/2i6l/termoplastik-polimerler>, Termosan Kimyevi Termoplastik polimerler. 10 Nisan 2010.
- URL-2**, 2009. <http://www.gulhankaucuk.com/page.php?ID=35>, Gülhan Kauçuk Kauçuk Ürün İmalatında Genel Bilgiler. 20 Mayıs 2009.
- URL-3**, 2005. <http://www.freedoniagroup.com/brochure/24xx/2489smwe.pdf>, Freedonia Group Inc., Principia Partners., New studies forecast US market growth for reinforced plastics, reinforcements and fillers. Additives for Polymer. 10 Ocak 2005.
- URL-4**, 2006. http://plan9.dpt.gov.tr/oik44_kimya/44KimyaSanayii_anarapor.pdf, Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu. 28 Haziran 2006.
- Wang, Z.**, 1996. Toughening and reinforcing of polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 60, 2239-2243.
- Xanthos, M.**, 2005. Functional Fillers for Plastics. Wiley-VCH, 531s.
- Yaşar H.**, 2001. Plastikler Dünyası. MMO Yayınları, Ankara, 2. Baskı, 3-89,97,107,112,115,116,118,119,121,123,125,127,131,132s.
- Zhang J.Z.**, 2009. Optical Properties and Spectroscopy of Nanomaterials. WorldScientific Publishing, USA, 383s.
- Zhou, Y., Mallick, P., K.**, 2005. Effects of melt temperature and hold pressure on the tensile and fatigue properties of an injection molded talc-filled polypropylene. *Polymer Engineering and Science*, 45, 755-763.

EKLER

EkTablo 1. Polietilen çekme mukavemeti değerleri

Sayı	PELLD+	PELLD+	PELLD+	PELLD+	PELLD+
SAF	SAF	5%	10%	20%	30%
1	18,632	16,172	15,466	14,675	12,262
2	18,364	15,745	15,524	13,327	11,437
3	17,832	17,267	16,184	12,265	12,262
4	18,364	16,172	15,466	12,448	11,437
5	17,832	16,258	16,184	13,327	12,262
Ortalama	18,20	16,33	15,77	13,20	11,93
[MPa]					
Standart-Sapma	0,357	0,564	0,383	0,954	0,451
[MPa]					

Ek Tablo 2. Polipropilen çekme mukavemeti değerleri

Sayı	PP+	PP+	PP+	PP+	PP+	PP+
SAF	10%	20%	30%	40%	50%	
1	33,369	32,742	30,346	28,565	29,681	19,648
2	36,974	31,675	31,675	27,875	23,595	15,762
3	33,369	34,254	28,584	26,348	26,952	15,762
4	34,465	31,675	30,346	28,565	29,681	19,648
5	35,412	34,254	28,584	26,348	23,595	15,762
Ortalama	34,717	32,923	29,907	27,540	26,708	17,316
[MPa]						
Standart-Sapma	1,522	1,293	1,324	1,124	3,046	2,128
[MPa]						

Ek Tablo 3. Polietilen üç nokta eğilme mukavemet değerleri

Sayı	PELLD+ SAF	PELLD+ 5%	PELLD+ 10%	PELLD+ 20%	PELLD+ 30%
1	13,183	13,183	15,820	18,457	18,457
2	13,183	13,183	15,820	18,457	15,820
3	10,546	13,183	13,183	15,820	21,093
4	13,183	13,183	18,457	15,820	13,183
5	10,546	10,546	18,457	10,546	15,820
Ortalama [MPa]	12,128	12,655	16,347	15,820	16,875
Standart- Sapma [MPa]	1,444	1,179	2,206	3,229	3,006

Ek Tablo 4. Polipropilen üç nokta eğilme mukavemet değerleri

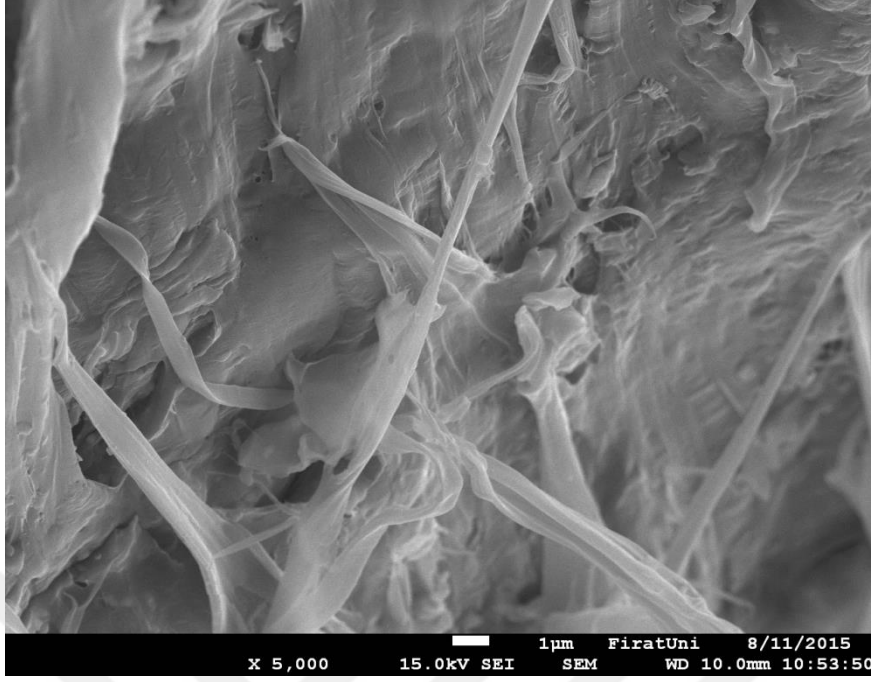
Sayı	PP+ SAF	PP+ 10%	PP+ 20%	PP+ 30%	PP+ 40%	PP+ 50%
1	34,277	52,734	39,550	42,187	39,550	31,640
2	29,003	39,550	44,824	44,824	42,187	34,277
3	34,277	39,553	39,550	36,914	44,824	42,187
4	34,277	34,277	44,824	39,550	39,550	34,277
5	29,003	44,824	36,914	36,914	39,550	42,187
Ortalama [MPa]	32,167	42,187	41,132	40,078	41,132	36,913
Standart- Sapma [MPa]	2,636	6,976	3,537	3,437	2,358	4,932

Ek Tablo 5.Polietilen izod darbe dayanımı değerleri

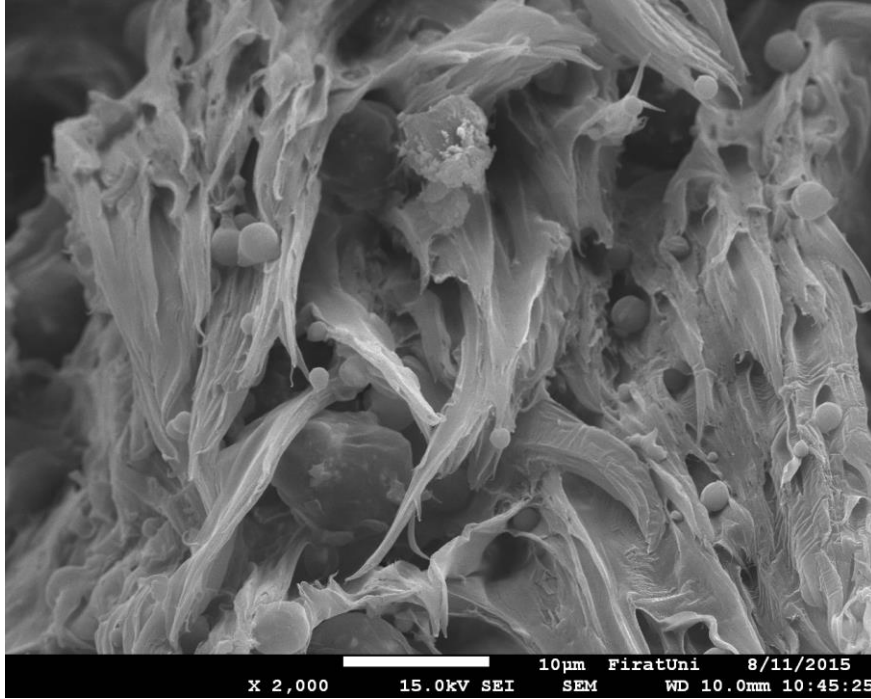
Sayı	PELLD+ SAF	PELLD+ 5%	PELLD+ 10%	PELLD+ 20%	PELLD+ 30%
1	4,003	2,364	4,003	2,554	3,383
2	1,945	3,122	2,694	3,253	1,945
3	2,364	4,003	2,364	3,383	1,945
4	1,945	2,364	4,003	2,554	3,253
5	2,364	3,122	2,364	3,253	1,945
Ortalama [KJ/m ²]	2,524	2,995	3,085	2,999	2,494
Standart- Sapma [KJ/m ²]	0,852	0,679	0,848	0,410	0,753

Ek Tablo 6. Polipropilen izod darbe dayanımı değerleri

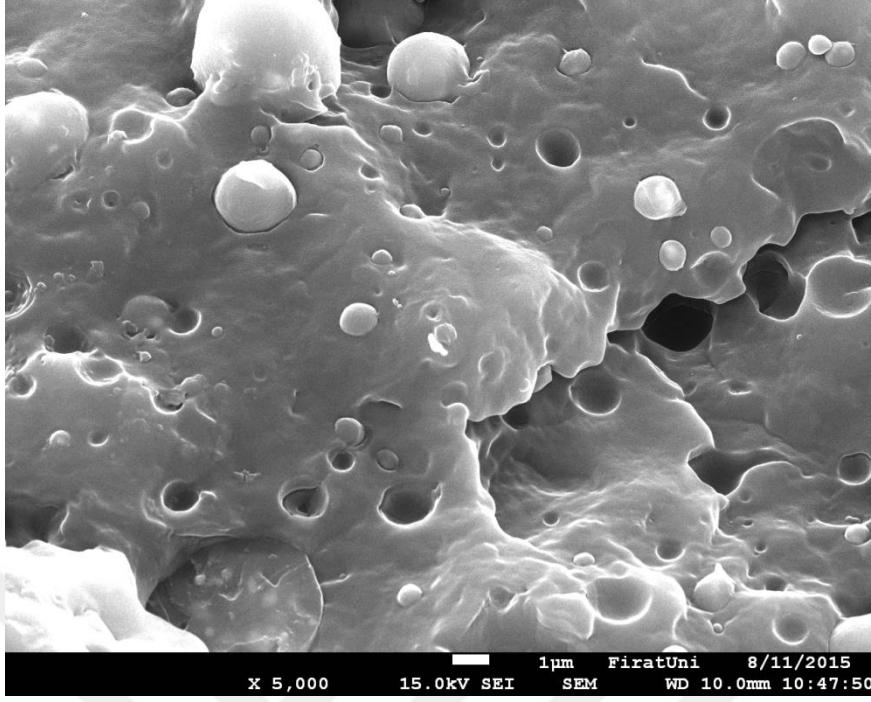
Sayı	PP+ SAF	PP+ 10%	PP+ 20%	PP+ 30%	PP+ 40%	PP+ 50%
1	2,953	2,005	2,984	1,316	1,215	0,284
2	2,302	2,984	1,215	1,316	0,354	0,582
3	2,953	2,005	1,215	0,452	0,582	0,284
4	2,302	1,215	1,610	0,452	0,582	0,582
5	2,768	1,215	1,610	1,215	1,316	0,582
Ortalama [KJ/m ²]	2,655	1,884	1,726	0,950	0,809	0,403
Standart- Sapma [KJ/m ²]	0,331	0,730	0,730	0,456	0,427	0,163



EK Resim 1. Gama ışımaya tabi tutulmuş %30 dolgu malzemesi içeren polietilen numunelerin elektron mikroskop görüntüsü



EK Resim 2. Gama ışımaya tabi tutulmuş %40 dolgu malzemesi içeren polipropilen numunelerin elektron mikroskop görüntüsü



EK Resim 3. Gama ışımaya tabi tutulmuş %40 dolgu malzemesi + %55 polipropilen + %5 MAH içeren numunelerin elektron mikroskop görüntüsü

ÖZGEÇMİŞ

1990’da Malatya’da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Malatya’da tamamladı. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2014 yılında Munzur Üniversitesi ile Erzurum Atatürk Üniversitesi arasında yapılan ortak yüksek lisans programı kapsamında Munzur Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başlamış olup halen devam etmektedir.

