

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



MUZ LİFİ TAKVİYELİ POLİOLEFİNLERİN MEKANİK, TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Çetin AŞAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİMDALİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

TUNCELİ – 2021

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MUZ LİFİ TAKVİYELİ POLİOLEFİNLERİN MEKANİK, TERMAL VE
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Çetin AŞAM
(190020014)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

TUNCELİ – 2021

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MUZ LİFİ TAKVİYELİ POLİOLEFİNLERİN MEKANİK, TERMAL VE
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Çetin AŞAM
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 10/06/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza	İmza	İmza
Doç. Dr. Yılmaz KİSMET (Munzur Üniversitesi)	Dr. Öğr. Üyesi Akar DOĞAN (Munzur Üniversitesi)	Dr. Öğr. Üyesi Kerem ALTUN (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü)
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

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

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

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.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANEMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmaz üzere tüm aşmalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde ‘intihal içermediğini ’beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanmadı durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanmadı durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Çetin AŞAM

Danışman
Doç. Dr. Yılmaz KISMET

TEŐEKKÖRLER

Yol göstericiliği ve yardımlarıyla yüksek lisans tezimin sağlıklı bir Şekilde tamamlanmasını adına çokça emeği geĀen çok değerli danışman hocam Sayın DoĀ. Dr. Yılmaz Kısmet'e sonsuz teŐekkÖrlerimi bir borĀ bilirim.

ĀalıŐmalarım boyunca bana hiĀ desteğini esirgemeyen varlığı varlığım olduğu çok değerli ailem ve sÜreĀte bana yardımlarını esirgemeyen yakın dostlarıma çok teŐekkÖrlerimi sunarım.

Āetin AŞAM
TUNCELİ-2021



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VII
RESİMLER LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
ÖZET	XI
ABSTRACT.....	XII
1. GİRİŞ	1
2. POLİMER BİLİMİ.....	2
2.1. Polimerlerin Sınıflandırılması.....	3
2.1.1. Polimerlerin fiziksel yapılarına göre sınıflandırılması.....	3
2.2. Polimerlerin Sentezi.....	5
3. TERMOPLASTİKLER.....	7
3.1. Termoplastiklerin Morfolojiye Göre Çeşitleri	7
3.1.1. Amorf yapılı termoplastikler.....	8
3.1.2. Kristal yapılı termoplastikler	8
3.1.3. Yarı kristal yapılı termoplastikler	9
3.2. Termoplastiklerin Üretim Yöntemleri	9
3.3. Poliolfenler Grubu	15
3.3.1. Polipropilen (pp)	16
3.3.2. Polietilen (pe)	17
4. TERMOPLASTİKLERDE KULLANILAN DOLGU MADDELERİ	19
4.1. Termoplastiklerde Kullanılan İnorganik Dolgu Maddeleri	19
4.2. Termoplastiklerde Kullanılan Organik Dolgu Maddeleri.....	20
4.3. Muz Lifi	22
5. METARYAL VE YÖNTEM.....	25
5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	25
5.2. Ekstrüzyon ile Homojen Karışım Oluşturma.....	26
5.3. Plastik Enjeksiyon ile Numune Üretilmesi	28
5.4. Üretilen Numuneler için Gerçekleştirilen Analizler	29
5.4.1. Erime akış indeksi (mfi) testleri.....	29
5.4.2. Çekme Testi	31
5.4.3. Üç Nokta Eğilme Testi.....	32
5.4.4. Taramalı elektron mikroskobu (sem).....	33
5.4.5. Termogravimetrik analiz yöntemi (tga).....	34
6. BULGULAR.....	35
6.1. Erime Akış İndeksi (MFI) Test Sonuçları	35
6.2. Çekme Mukavemeti Sonuçları.....	36
6.3. Eğilme Mukavemeti Sonuçları	38
6.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları.....	39
6.5. Termogravimetrik (TGA/DTA) Sonuçları.....	41
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
8. KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	

EKLER



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Etilen molekülü ve polietilen moleküllerinin gösterim şeması	2
Şekil 2.2. Polimerlerin sınıflandırılması	3
Şekil 2.3. Termoplastik elastomerin yük altında moleküler değişimi	5
Şekil 2.4. Polimerleşme reaksiyonları	5
Şekil 3.1. Amorf yapılı termoplastik görünümü	8
Şekil 3.2. Kristal yapılı termoplastik görünümü	9
Şekil 3.3. Yarı kristal yapılı termoplastik görünümü	9
Şekil 3.4. Film ve levha üretiminde kullanılan kalıp çeşitleri	11
Şekil 3.5. Yarı kalıplı ekstrüzyon yöntemi	12
Şekil 3.6. Üfleli film ekstrüzyonu üretim yöntemi ve şematik gösterimi	12
Şekil 3.7. Kalenderleme üretim yöntemi ve şematik gösterimi	13
Şekil 3.8. Etilen polimerizasyonu sonucu polietilen oluşması	15
Şekil 5.1. Standart deney örneği	25
Şekil 6.1. Muz lifi takviyeli polietilenin çekme mukavemetindeki değişim grafiği	37
Şekil 6.2. Muz lifi takviyeli polietilenin üç nokta mukavemeti değişim grafiği	39
Şekil 6.3. Alçak yoğunluklu saf polietilenin TGA/DTA değişimi grafiği	41
Şekil 6.4. %5 muz lifi katkılı polietilenin TGA/DTA değişim grafiği	41
Şekil 6.5. %15 muz lifi katkılı polietilenin TGA/DTA değişim grafiği	42
Ek Şekil 1. Saf Pe 1. Numune çekme testi sonucu	48
Ek Şekil 2. Saf Pe 2. Numune çekme testi sonucu	49
Ek Şekil 3. Saf Pe 3. Numune çekme testi sonucu	50
Ek Şekil 4. Saf Pe 4. Numune çekme testi sonucu	51
Ek Şekil 5. Saf Pe 5. Numune çekme testi sonucu	52
Ek Şekil 6. %5 muz lifi + Pe 1. Numune çekme testi sonucu	53
Ek Şekil 7. %5 muz lifi + Pe 2. Numune çekme testi sonucu	54
Ek Şekil 8. %5 muz lifi + Pe 3. Numune çekme testi sonucu	55
Ek Şekil 9. %5 muz lifi + Pe 4. Numune çekme testi sonucu	56
Ek Şekil 10. %5 muz lifi + Pe 5. Numune çekme testi sonucu	57
Ek Şekil 11. %10 muz lifi + Pe 1. Numune çekme testi sonucu	58
Ek Şekil 12. %10 muz lifi + Pe 2. Numune çekme testi sonucu	59
Ek Şekil 13. %10 muz lifi + Pe 3. Numune çekme testi sonucu	60
Ek Şekil 14. %10 muz lifi + Pe 4. Numune çekme testi sonucu	61
Ek Şekil 15. %10 muz lifi + Pe 5. Numune çekme testi sonucu	62
Ek Şekil 16. %15 muz lifi + Pe 1. Numune çekme testi sonucu	63
Ek Şekil 17. %15 muz lifi + Pe 2. Numune çekme testi sonucu	64
Ek Şekil 18. %15 muz lifi + Pe 3. Numune çekme testi sonucu	65
Ek Şekil 19. %15 muz lifi + Pe 4. Numune çekme testi sonucu	66
Ek Şekil 20. %15 muz lifi + Pe 5. Numune çekme testi sonucu	67
Ek Şekil 21. Saf Pe 1. Numune üç nokta eğme testi sonucu	68
Ek Şekil 22. Saf Pe 2. Numune üç nokta eğme testi sonucu	69
Ek Şekil 23. Saf Pe 3. Numune üç nokta eğme testi sonucu	70
Ek Şekil 24. Saf Pe 4. Numune üç nokta eğme testi sonucu	71
Ek Şekil 25. Saf Pe 5. Numune üç nokta eğme testi sonucu	72
Ek Şekil 26. %5 muz lifi + Pe 1. Numune üç nokta eğme testi sonucu	73
Ek Şekil 27. %5 muz lifi + Pe 2. Numune üç nokta eğme testi sonucu	74
Ek Şekil 28. %5 muz lifi + Pe 3. Numune üç nokta eğme testi sonucu	75

Ek Şekil 29. %5 muz lifi + Pe 3. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	76
Ek Şekil 30. %5 muz lifi + Pe 5. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	77
Ek Şekil 31. %10 muz lifi + Pe 1. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	78
Ek Şekil 32. %10 muz lifi + Pe 2. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	79
Ek Şekil 33. %10 muz lifi + Pe 3. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	80
Ek Şekil 34. %10 muz lifi + Pe 4. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	81
Ek Şekil 35. %10 muz lifi + Pe 5. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	82
Ek Şekil 36. %15 muz lifi + Pe 1. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	83
Ek Şekil 37. %15 muz lifi + Pe 2. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	84
Ek Şekil 38. %15 muz lifi + Pe 3. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	85
Ek Şekil 39. %15 muz lifi + Pe 4. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	86
Ek Şekil 40. %15 muz lifi + Pe 5. Numune üç nokta eğme testi sonucu.....	87



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Termostlerin, termoplastiklere göre dezavantajları.....	4
Tablo 2.2. Bazı termoplastiklerin özellikleri.....	7
Tablo 3.1. Polipropilene ait teknik özellikleri.....	17
Tablo 3.2. AYPE ile YYPE'nin bazı teknik özellikleri.....	18
Tablo 4.1. Termoplastiklerde kullanılan inrganik dolgu maddeleri ve oranları.....	20
Tablo 4.2. Termoplastiklerde kullanılan organik dolgu maddeleri ve oranları.....	22
Tablo 5.1. Alçak yoğunluklu polietilen I22-19T ile polipropilen MH180-EH341 malzemesine ait MFR ile yoğunluk değerleri.....	25
Tablo 5.2. Saf polietilen ile farklı oranlarda muz lifi karışımı polietilene ait enjeksiyon cihazındaki basınç ve sıcaklık değerleri.....	28
Tablo 5.3. Üretilen deney numunelerinin ağırlıkça muz lifi içeren adetleri.....	29
Tablo 6.1. AYPE I22-19T malzemesine ait MFR yoğunluk değerleri.....	35
Tablo 6.2. Polietilen çekme mukavemet değerleri.....	37
Tablo 6.3. Polietilen üç nokta eğilme mukavemet değerleri.....	38
Ek Tablo 5.1. Polietilen muz lifi karışımının plastik enjeksiyon makine verileri.....	88

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. Ekstrüzyon üretim hattı.....	10
Resim 3.2. PP PS ABS kullanılarak levha üretim hattı.....	11
Resim 3.3. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş farklı çapta olan atık su boruları.....	13
Resim 3.4. Plastik Enjeksiyon Üretim Hattı.....	14
Resim 3.5. Enjeksiyon yöntemi ile üretilen oturaklar.....	15
Resim 3.6. Polietilen polimerlerden üretilmiş farklı boyut ve çapta boru türleri.....	17
Resim 4.1. Liflerin ayrıştırılması ile kenevir muz bitkisinin işlemden geçirilmesi.....	23
Resim 5.1. Doğal muz lifi dolgu maddesinin öğütülme işlemi.....	26
Resim 5.2. Polietilen muz lifi karışımının ekstrüzyon makinasından geçirilmesi.....	27
Resim 5.3. Ekstrüzyon makinasından çıkan polietilen muz lifi karışımın kırıcıdan geçirilerek granül haline gelmesi.....	27
Resim 5.4. Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarı Ekin 100 orion plastik enjeksiyon makinesi.....	28
Resim 5.5. JPT EQUIPMANT marka XLR-400 model melt flow indexer cihazı.....	31
Resim 5.6. Çekme testine tabi tutulan polietilen ve muz lifi takviyeli standart çekme numunesi.....	32
Resim 5.7. Üç nokta eğilmeye maruz polietilen ve muz lifi takviyeli standart çekme numunesi.....	33
Resim 5.8. HITACHI SU 3500 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	34
Resim 6.1. Numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri.....	40
Resim 6.1. Çekme deneyi sonucunda kopan kesitlerin elektron mikroskobu görüntüleri.....	40

SEMBOLLER LİSTESİ

Σ	: Gerilme
ϵ	: Birim şekil değiştirme
E	: Elastize Modülü
N	: Newton
σ_c	: Çekme Dayanımı
σ_{ak}	: Akma Dayanımı
Mpa	: Mega Paskal
Tm	: Erime sıcaklığı
Tg	: Camı geçiş sıcaklığı
°C	: santigrat derece
gr	: gram
cm ³	: santimetre küp
mm ²	: milimetre kare

KISALTMALAR LİSTESİ

MA	: Molekül Ağırlığı
MFI	: Erime Akış İndeksi
PD	: Polimerleşme Derecesi
PVC	: Polivinilklorür
PET	: Polietilen tetraftalat
ABS	: Akrilonitril Butadien Stiren
PA	: Poliamid
PB	: Polibütadien
PA 66	: Poliamid 66
PPA	: Poliftalamid
PP	: Polipropilen
PI	: Poliizopren
PS	: Polistren
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
AYPE	: Alçak yoğunluklu Polietilen
YYPE	: Yüksek yoğunluklu Polietilen
PMMA	: Polimetilmetaktilat
POM	: Polioksimetelin
TPU	: Termoplastik Poliüretan
TGA	: Termogravimetrik Analiz
DTA	: Difarensiyel Termal Analiz
SAN	: Sert, rijit ve şeffaf plastik
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

ÖZET

Polimerler günlük yaşantımızda önemli bir yer tutmaktadır. Zaman içerisinde polimer bilimi alanında sağlanan gelişmelerle birlikte, ileri teknolojiye yönelik, nitelikli, üstün özelliklere sahip malzemeler geliştirilmiştir. Bu gelişmeler polimer matrisli kompozitlerin yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Ergime sıcaklıklarının diğer malzeme gruplarına göre düşük olması polimer malzemelerinin işlenebilirliği açısından önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Birçok üretim tekniği kullanılarak polimer ve polimer matrisli kompozitler üretilmekte olup, sıklıkla ısı ve basınç yardımıyla yeni malzeme üretimin teknikleri tercih edilmektedir. Bu yöntemler içerisinde “ısı ile şekillendirme yöntemi” geniş bir uygulama alanına sahiptir. Otomotiv, elektrik, elektronik, sağlık ve özellikle ambalaj sektöründe çok sık kullanılan bir üretim metodudur.

Bu çalışmada, önemli bir polimer çeşiti olan termoplastiklerin en yaygın kullanımına sahip poliolefinler grubunun iki üyesi polietilen ve polipropilen matris malzeme olarak kullanılmıştır. Bu matris malzemelere ağırlıkça farklı oranlarda organik muz lifi takviye edilerek standart çekme numuneleri üretilmiş ve üretilen bu numunelerin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri incelenmiştir

Anahtar Kelime: Poliolefinler , Polietilen , Organik muz lifi , Mekanik özellikler , Termal özellikler , Morfolojik özellikler.

ABSTRACT

Investigation of Mechanical Thermal and Morphological Properties of Banana Fiber Reinforced Polyolefins

Polymers have an important place in our daily life. With the developments in the field of polymer science over time, high quality materials with superior properties have been developed for advanced technology. These developments have allowed the widespread use of polymer matrix composites.

The fact that the melting temperatures are lower than other material groups provides important conveniences in terms of the machinability of polymer materials. Polymer and polymer matrix composites are produced using many production techniques and new material production techniques are often preferred with the help of heat and pressure. Among these methods, “heat forming method” has a wide application area. It is a production method that is frequently used in the automotive, electrical electronics, health and packaging sectors.

In this study, two members of the polyolefins group, which has the most common use of thermoplastics, an important polymer type, were used as matrix materials, polyethylene and polypropylene. Standard tensile samples were produced by reinforcing these matrix materials with organic banana fiber in different weight ratios and the mechanical, thermal and morphological properties of these samples were investigated.

Keywords: Polyolefins , Polyethylene , Organic banana fiber , Mechanical features , Thermal features , Morphological features .

1. GİRİŞ

İnsanoğlu doğası gereği gemişten gnmze srekli merak etmiş, hep bir araştırma içerisinde bulunmuş ve bu araştırma sonuçları ile yetinmeyerek sürekli her konuda kendisini geliştirmiştir. İşte bu gelişim doğrultusunda ihtiyaç gereksinimlerini gidermeye çalışmıştır. Bunu yaparken de özellikle doğanın kendisine sunmuş olduğu yenilebilir ham maddeleri kullanmayı öncelikle tercih etmiştir. Bu ham maddeler organik ve inorganik yapıda olup gelişen teknoloji ile ihtiyaa yönelik nitelikli ürünler geliştirilmiştir.

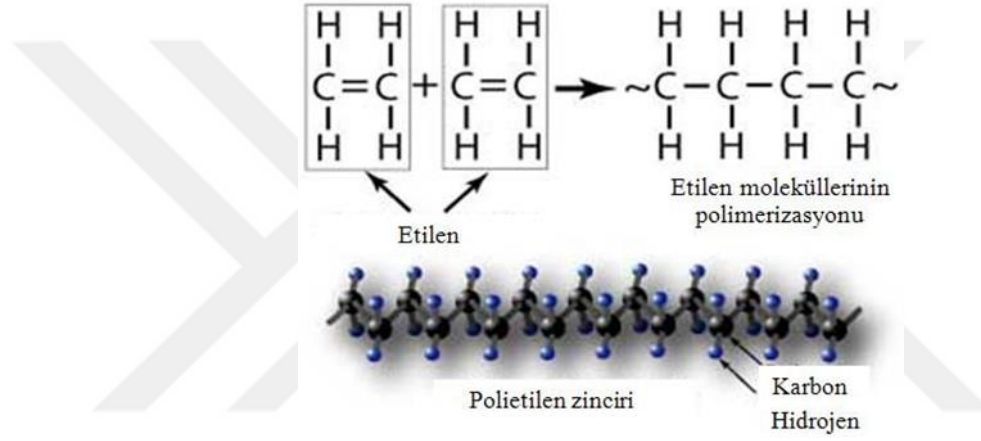
İşte bu gelişim ve değişim doğrultusunda önceleri doğal olarak kullanılan polimerler yapay olarak da elde edilebilmiş ve üretim kolaylığı, düşük maliyet ve kolay bulunabilme gibi özellikleri nedeniyle her alanda kullanılır olmuştur. Gelişime açık olan bu polimer endüstrisinde de yine birçok organik ve inorganik dolgu maddeleri kullanılarak kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Bu sayede polimerin zayıf olan herhangi bir özelliği kullanılan organik ya da inorganik dolgu ile iyileştirilmiştir.

Polimer malzemelerde pamuk, nişasta selüloz, doğal kauçuk gibi birçok organik madde kullanılır (Gchter, R., 1987). Kullanılan organik maddelerden biri de muz bitkisidir. Muz bitkisi son derece kuvvetli bir lif yapısına sahiptir. Ayrıca bu bitkinin yüksek nem emebilme özelliği vardır, hafiftir ve biyolojik olarak parçalanabilir (URL-1, 2006).

Bu tez çalışmasında, ağrılıka farklı oranlarda muz lifi takviyeli poliolefilerin grubunda yer alan polietilen ve polipropilenin belirli sıcaklık ve ağrılık etkisi altında akış analizleri yapılmış ve karışımların kütlesel ve hacimsel eriyik akış indeksleri çıkarılmıştır. Bu analizler neticesinde olumlu akışkanlık özelliği gösteren muz lifi takviyeli polietilen karışımlarından standart çekme deney numuneleri üretilmiş ve bu numunelerin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Polietilen içerisinde artan muz lifi miktarına bağlı olarak incelenen bu özelliklerin nasıl bir değişim gösterdiği grafiklerle verilerek tartışılmıştır.

2. POLİMER BİLİMİ

Polimerler çok sayıda monomerin birbirine kovalent bağlar ile bağlanmasından oluşan moleküllerdir. Şekil 2.1’de etilen moleküllerinin birbirine bağlanması sonucu oluşan polietilen moleküllerini görmekteyiz (Askeland, 1994). Üretimlerinin kolay ve maliyetlerinin ucuz olması nedeniyle polimerler günümüzde birçok sektörde (otomotiv, havacılık, endüstri, uzay teknolojisi... vb.) ve yine günlük hayatta kullanılan birçok üründe (ev gereçleri, spor malzemeleri, gıda ambalajları... vb.) tercih edilmektedir (Akkurt, 1991; Ravve, 2012).



Şekil 2.1. Etilen molekülü ve polietilen moleküllerinin gösterim şeması (Askeland, 1994)

Polimerler, sıvı halde iken polimer zincirindeki ”mer” sayısı azdır, ”mer” sayı arttıkça yoğunluğun ve viskozitenin artmasına bağlı olarak akışkan zinciri iki merden oluşur ve polimer molekülün en küçüğü meydana gelmektedir. Polimerleri zincirlerindeki ”mer” sayısının az olması bu polimere farklı bir isim kazandırır. Bu şekildeki polimerlere ”oligomer” denir. Polimer zincirlerindeki ”mer” sayısının sayıca çok yüksek olması durumuna ise ”makromolekül” denir (Yaşar H., 2002).

Polimerlerin moleküler yapısı, uzun zincirli ve büyük molekül ağırlıklı şekildedir. Polimerlerin bu şekilde oluşmasının polimerlerin özelliklerine etki durumunun tartışılabilmesi için polimerlerde ”molekül ağırlığı” ve ”polimerleşme derecesi” kavramlarından bahsetmek gerekmektedir. Polimerleşme derecesi; bir polimer molekülündeki tekrarlayan ”mer” ’lerin sayısını tayin etmektir. Aşağıda gösterilen formül- (1) molekül ağırlığı ile monomer arasındaki ilişki durumunu göstermektedir (Yaşar H., 2001).

$$(MA)_P = (MA)_M \times (PD)$$

Formül (1)

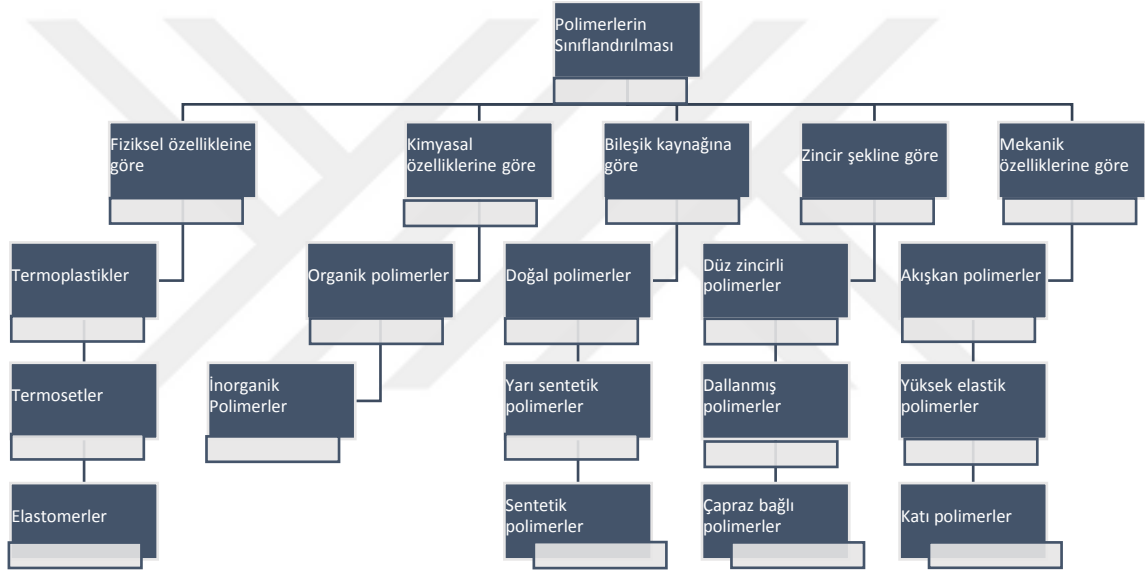
$(MA)_P$ = Polimerin molekül ağırlığı

$(MA)_M$ = Monomerin molekül ağırlığı

PD= Polimerleşme derecesi

2.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerler; fiziksel özelliklerine, kimyasal özelliklerine, bileşik kaynağına, zincir şekline ve mekanik özelliklerine göre Şekil 2.2'deki gibi beş ana sınıfa ayrılırlar (Akkurt, 1991).



Şekil 2.2. Polimerlerin sınıflandırılması (Akkurt, 1991)

2.1.1. Polimerlerin fiziksel yapılarına göre sınıflandırılması

Polimerler fiziksel yapılarına göre üç ana gruba ayrılırlar, bunlar; termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir.

Termoplastikler: İnsanlık tarihi süresince plastik kelimesinin karşılığı olmuştur. Termoplastikler, polimerler grubu içerisinde en yaygın kullanım alanına sahiptir. Kimyasal yapı olarak termoplastikler, çapraz bağ içermeyip yalnız dallanmış ve lineer monomer zincirlerinden oluşmuşlardır. Isının etkisi ile erir ve şekillenebilirler. Bu işlemi defalarca yapmak mümkündür. Termoplastikler kendi içerisinde oluşturmuş olduğu bağlarının zayıf olmasından ötürü kolayca şekil değiştirebilme özelliğine sahiptirler. Oda sıcaklığında genel olarak katı halde bulunurlar (Saçak, 1998).

Termoplastikler fiziksel özelliklerine göre kristal/yarı kristal ve amorf karakterde olabilirler(Saçak, 1998).

Termosetler: bu polimerler zincirleri arasında yoğun çapraz bağ içerir ve bunun sonucunda üç boyutlu ağ yapısı oluştururlar. Termosetler, termoplastikler gibi dallanmış yapı veya lineer zincirler içermezler bu durum termosetleri termoplastiklere göre daha dayanıklı ve rijit yapar.

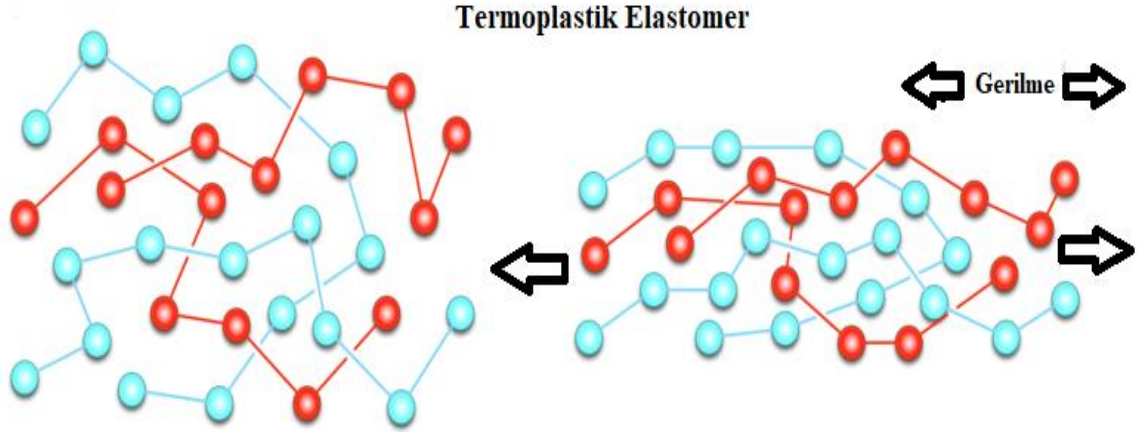
Günlük yaşantımızda birçok alanlarında kullanılan termosetler; evde, araçlarda, iş yerlerinde, endüstrinin birçok alanında sıklıkla tercih edilen bir polimer türüdür. Özellikle maliyetinin ucuz oluşu kullanımını arttıran en önemli faktörlerdendir. Bunun dışında soğuğa karşı kırılma eğilimlidirler, sert ve yüzeyleri parlak, 300 °C'ye kadar dayanıklı, mekanik özellikleri iyi, yalıtkan, boyutları sabit, yağ ve çözücülere karşı dayanıklı ve yine olumsuz hava koşullarına karşı dayanıklı olmaları gibi özellikleri diğer tercih nedenleri arasındadır (Megep, 2006). Bütün bu iyi özelliklere karşın termoplastik polimerlere göre dezavantajları vardır. Dezavantajlar Tablo 2.1'de verildiği gibidir (Mazumdar, 2001).

Tablo 2.1. Termosetlerin, termoplastiklere göre dezavantajları (Mazumdar, 2001)

Termoplastikler	Termosetler
Çözücü dirençleri yüksektir	Çözücü dirençleri kötüdür.
Sıcaklık ve basınç altında yumuşak hale gelir ve tamir edilebilir.	Düşük gerilimlerde dahi kopma gerçekleşir.
Tekrar işlenebilme özelliğine sahiptir.	Tekrardan işlenemezler
Uzunca bir süre bekletebilenler.	Düşük raf ömürlerine sahiptirler

Elastomerler: Endüstride daha çok kauçuk olarak bilinen elastomerler sünek ve elastik yapıda malzemelerdir. Mekanik özellikler bakımından iyi olan elastomerler bu özellikler bakımından mühendislik malzemeleri açısından geniş yer bulmaktadırlar. Elastomer malzemeler çekme kuvvetine maruz bırakıldığında çok yüksek miktarda uzama gerçekleşir ve üzerindeki kuvvetin kaldırılmasıyla hızlı bir şekilde ilk uzunluğuna dönerler. Polimer zincirlerde düşük çapraz-bağ yoğunluğuna sahip ağsı yapı, elastomerlerin en önemli özelliğini gösterir. Elastomerlerin üzerine binen çekme etkisi, mikroskobik seviyede polimer zincirlerinin birbirileri üzerinden kayması neticesinde Şekil 2.3'deki gibi yer değiştirir. Yalnız elastomerin içinde bulunan çapraz bağlar kalıcı

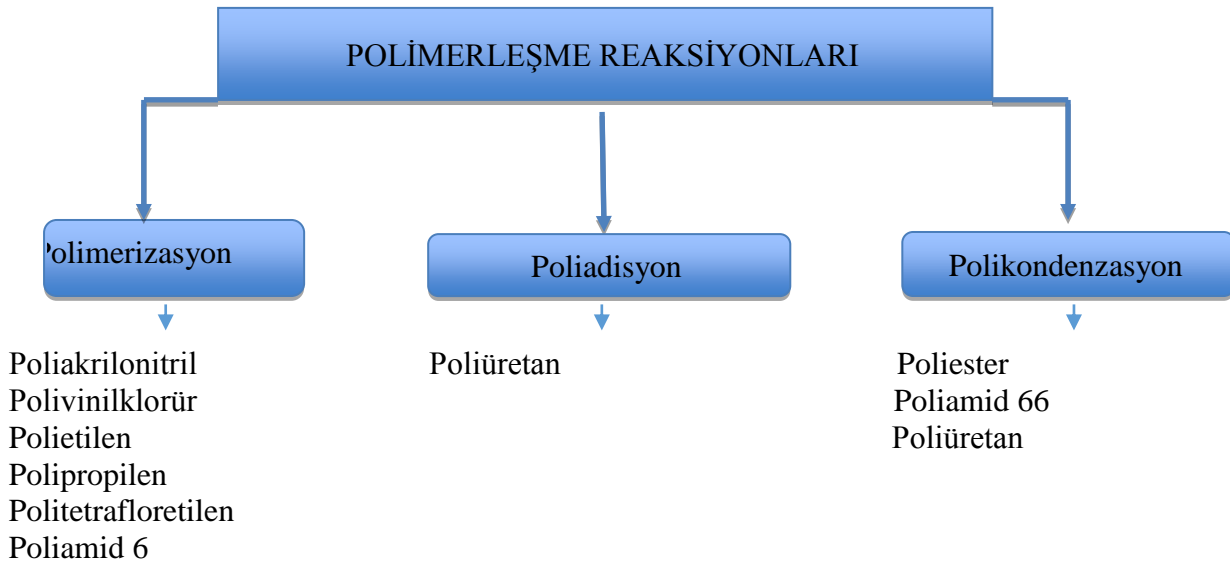
deformasyon oluşumunu engeller ve malzeme üzerindeki yük etkisi ortadan kalkınca eski haline döner. Elastomerin zincir yapısındaki çapraz bağ oluşumu sonrası erime gerçekleşmez (Saçak, 1998).



Şekil 2.3. Termoplastik elastomerin yük altında moleküler değişimi (Saçak, 1998)

2.2. Polimerlerin Sentezi

Polimerlerin üretimi Şekil 2.4’de gösterildiği gibi polimerizasyon, poliadisyon ve polikondenzasyon olarak üç temel kimyasal reaksiyon unsuruna dayanır (Saçak, 2006).



Şekil 2.4. Polimerleşme Reaksiyonları (Saçak, 2006)

Polimerizasyon: Monomerde bulunmayan aktif merkezlerin oluşturulmasıyla gerçekleşen bir reaksiyon türüdür. Oluşan aktif merkezlerden, monomerlerin birleşmesi ile

polimerler elde edilir. Örneğin: poliesterler, poliamidler ve poliüretanlar polimerizasyon ile sentezlenir (URL-2, 2016).

Poliadisyon: Çift bağ içeren moleküle başka bir molekülün dâhil edilmesi durumunda gerçekleşen polimerleşme reaksiyonlarıdır. Poliüretan vb. elyafın üretildiği polimerlerin elde edilmesinde kullanılır (URL-2, 2016).

Polikondenzasyon: Monomerlerin en az iki reaktif grubundan oluşan ve bunu sonucunda molekül ağırlığı küçük bileşiğin (su, amonyak vb.) açığa çıktığı reaksiyon türüdür. Poliester, poliamid 6.6, poliüretan vb. elyafların elde edilmesinde kullanılmaktadırlar (URL-2, 2016).



3. TERMOPLASTİKLER

Polimerlerin en önemli gurubunu termoplastikler oluşturmaktadır. Termoplastikler, sıcaklığın etkisiyle yumuşar ve kolayca şekillendirilebilirler. Bu polimerler, içine dökülen kalıbın şeklini alırlar ve şekillendirildikten sonra tekrar tekrar eritilerek işlenebilmek özelliklerine sahip malzemelerdir. Termoplastikleri cazip hale getiren durumların başında maliyetleri oldukça düşük ve piyasada kolayca ulaşılabilen malzeme olmasıdır (Maraşoğlu, 1986). Bazı termoplastiklerin özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir (Kundu ve ark., 2004).

Tablo 3.1. Bazı termoplastiklerin özellikleri (Kundu ve ark., 2004)

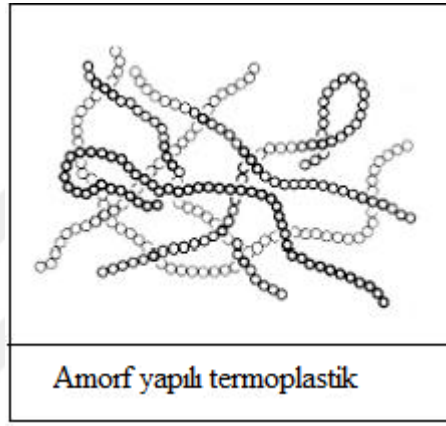
Polimer	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	Erime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü MPa	Çekme Mukavemet MPa	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Polietilen	-70 /-60	105/130	105/280	7/17	0.92/0.93
Polipropilen	-20/5	160	1220/1500	50/70	0.90/0.91
Poli (metiltakrilat)	85/110	130/140	2450/3150	50/90	1.11/1.20
Polistren	70/100	240	2660/3150	35/68	1.08/1.10
Poli(vinilklorür)	75/105	100/260	2800/4200	40/60	1.50/1.58

3.1. Termoplastiklerin Morfolojiye Göre Çeşitleri

Çoğu polimerlerin mekanik özellikleri, farklı mekanik testler kullanılarak sıcaklığa bağlı olarak incelenmektedir. Gözlenen özelliklerin çoğunun polimerin amorf veya kristalin yapıda olması ile önemli oranda tespit edilebildiğini göstermektedir. Kristalin oranı termoplastik malzemeler için önemli faktörlerdendir. Moleküler arası etkileşim yarı kristalin zincir yapısında oldukça güçlü dizilimde iken bunun tam tersi amorf termoplastiklerde karmaşık bir yapıdadır. Amorf polimerlerde genel olarak elastisite modülü sıcaklık arttıkça azalmakta ve belli bir sıcaklığın üzerinde ise keskin bir şekilde azalmaktadır. Bu sıcaklığa camsı geçiş sıcaklığı (T_g) denilmektedir. PE ve PP gibi kısmi kristalin polimerlerde ise malzemenin amorf ve kristalin gibi iki fazlı özelliğinden dolayı özelliklerin yorumlanması oldukça zor olabilmektedir (Akyüz, 1999).

3.1.1. Amorf yapılı termoplastikler

Bu termoplastikler görsel olarak bakıldığında Şekil 3.1’de görüldüğü üzere molekül zincirleri iç içe girmiş yün yumak halindedir. Moleküller arasında herhangi bir çapraz bağ oluşumu veya bir kristalleşme yoktur. Molekül zincirleri kendi içinde rastgele dizilim oluşturur ve bundan kaynaklı olarak malzeme fiziksel olarak cama benzer ve şeffaftır. Amorf yapıdaki termoplastiklerin molekül zincirlerinde çekme kuvveti etkisi altında, çekme yönüne doğru bir hareket gözlemlenir. Bu sebepten ötürü amorf yapıya sahip polimerlerin çekme mukavemeti yüksektir (Akyüz, 1999).

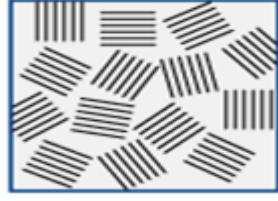


Şekil 3.1. Amorf yapılı termoplastik görünümü (Mazumdar, 2001)

Amorf yapıdaki polimerlere polimetilmetakrilat (PMMA), polistiren (PS), akrilonitrilbütadienstirel (ABS), polikarbonat (PC), ve polivinilklorür (PVC) örnek gösterilebilir (URL-3, 2016).

3.1.2. Kristal yapılı termoplastikler

Bu termoplastiklerde polimer zincirin tamamı ya da belirli bir bölümü kristalin haldedir. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi molekül zincirleri birbirlerine göre üç boyutlu düzeni andıran bir yapı oluşturmuştur. Kristalin yapı belli bir sıcaklığa kadar getirilen erimiş haldeki polimer soğutulması işlemi ile elde edilir. Kristalin yapının meydana gelmesi molekülün zincir şekline (dallanmış, doğrusal veya çapraz bağlı) ve moleküler çekim kuvvetine bağlıdır (Akyüz, 1999).



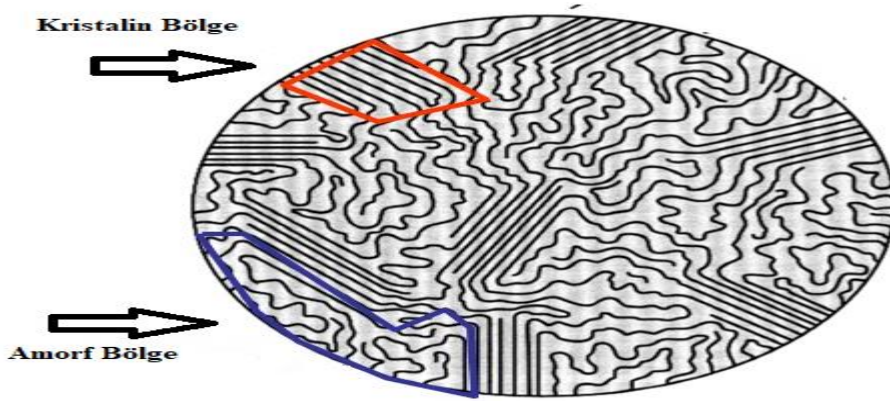
Şekil 3.2. Kristal yapılı termoplastik görünümü (Mazlumdar, 2001)

3.1.3. Yarı kristal yapılı termoplastikler

Birçok polimer türü şekil 3.3’de görüldüğü üzere kristal düzeninde ve viskozitesi çok yüksek yani amorf yapının karışımı durumundadır. Bu durumda yarı kristal yapıdaki termoplastiklerde amorf ve kristal bölgeler bir arada bulunmaktadır (URL-3, 2016).

Yarı kristalin yapıda bulunan termoplastiklerin mukavemet dayanım ve sıcaklık dirençleri oldukça azdır, kimyasal dirençleri son derece iyidir. Bu polimerlerin nem emilim durumu ise yok denilecek kadar az olup elektriksel özellikleri çok iyi ve maliyetleri düşüktür.

Yarı kristal yapıdaki polimerlere; polietilen (PE), polipropilen (PP), poliamid (PA), ve polietilen teraftalat (PET) örnek gösterebiliriz (URL-3, 2016).



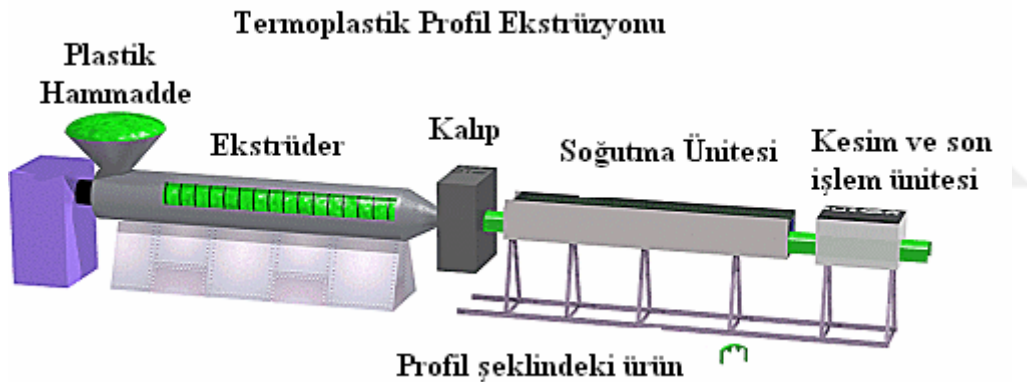
Şekil 3.3. Yarı kristal yapılı termoplastik görünümü (URL-3, 2016)

3.2. Termoplastiklerin Üretim Yöntemleri

Termoplastik malzemelerin üretim yöntemleri olarak en çok karşılaşılan uygulamalar; plastik enjeksiyon ile kalıplama ve ekstrüzyon makineleri ile tel çekme, boru

çekme, profil çekme, poşet, streç film üretimi vb. şeklindedir. Bu üretim yöntemlerinin yanı sıra ısı-kalıplama, ısı-kaynak ve blow-molding gibi yöntemler sanayi kuruluşlarında rastlanabilecek diğer yöntemler olarak sayabiliriz (Schwartz, 1992).

Ekstrüzyon Yöntemi: Plastik malzemeye dolgu malzemesi takviye edilmesi ile homojen karışım sağlayabilmek için kullanılan üretim türüdür. Resim 3.1’de görülen ekstrüzyon üretim hattında kapalı bir bölümde bulunan malzeme sürtünmeden kaynaklı bir kuvvet ile bir kalıp açıklığından akışa zorlanır, bu esnada malzemeye kalıp boşluğunun şeklinde sabit kesitte daimi bir ürün meydana gelir (Schwartz, 1992). Ekstrüzyon üretim yöntemi kullanılarak termoplastik malzemelerden profil, boru, levha, film vb. ürünlerin üretilmesi mümkündür. Ekstrüzyon ile üretimde ham madde olarak farklı birçok termoplastik kullanılabilir; polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), poliamid, vb. örnekler verilebilir (Schwartz, 1992).

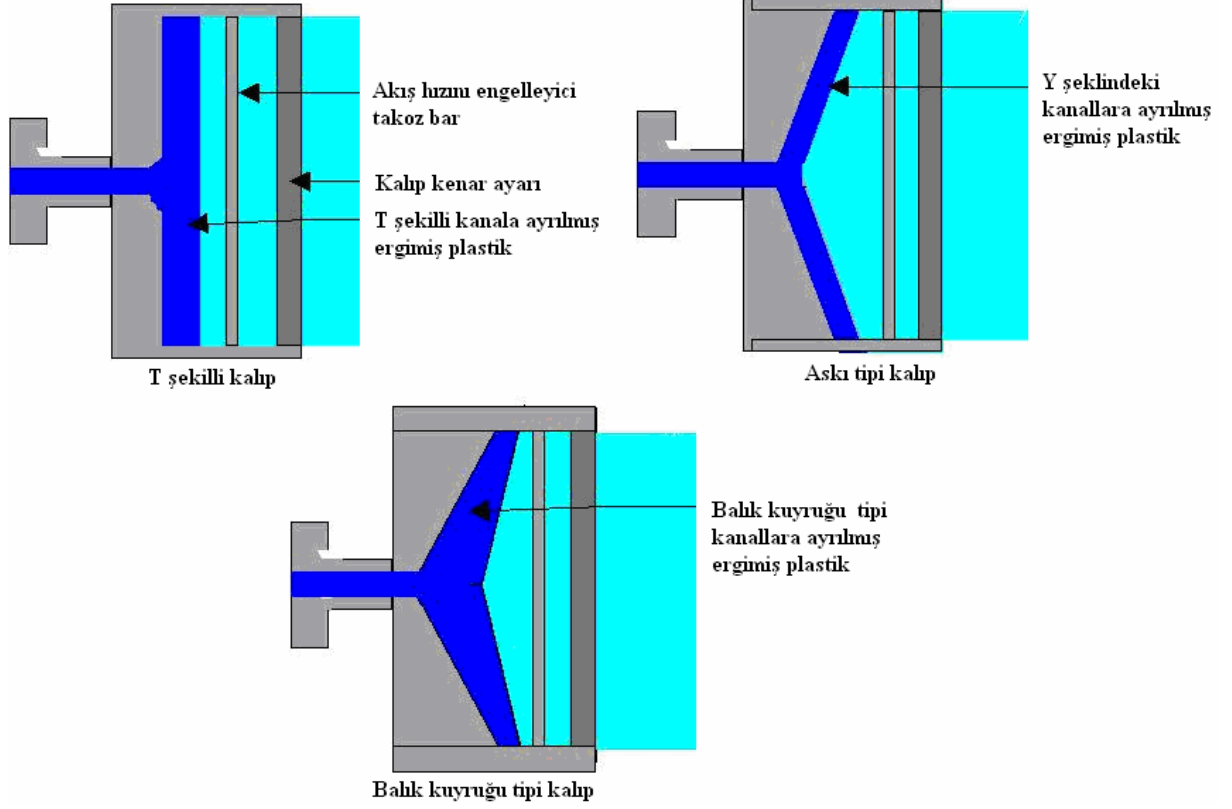


Resim 3.1 Ekstrüzyon üretim hattı (Schwartz, 1992)

Ekstrüzyon ile üretimde ekstrüzyon çıkışına bağlanan kalıp ve devamında ki niteye göre farklı ürünler elde dilmektedir. Ekstrüzyon kalıbının en büyük dezavantajı maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Ayrıca ekstrüzyon kalıplarının tasarlanması tecrübe gerektiren hassas bir işlemdir. Ekstrüzyon ile üretim yöntemiyle genelde sadece termoplastik malzemelerin işlenmesi tercih edilmektedir (Turaçlı, 2003).

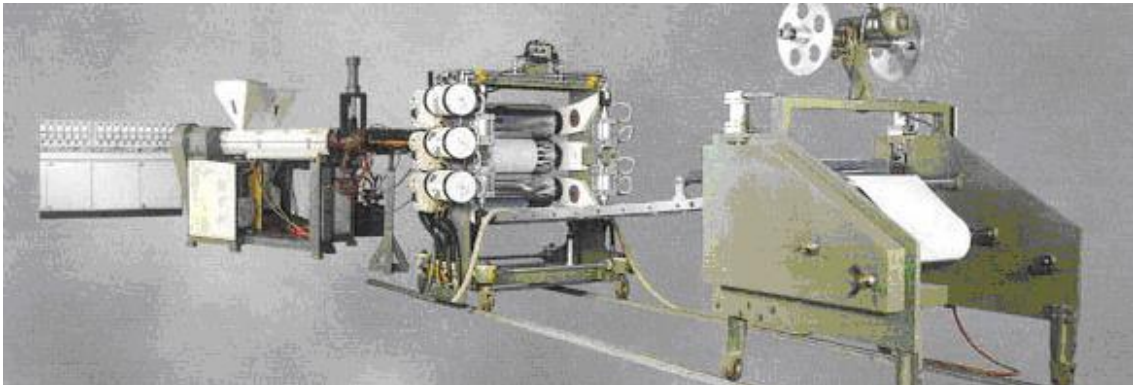
Bir ekstrüzyon kalıbı tasarımında üretilmesi istenilen malzemenin çeşidi, ısı etkiler, mekanik etkiler ve diğer karakteristik etkiler ekstrüzyon işlemi dâhilinde göz önünde bulunularak kalıp tasarım aşamaları gerçekleştirilmelidir. Şekil 3.4’de üretim aşaması tamamlanan ekstrüzyon kalıplarıyla farklı birçok çeşitte malzemelerin üretimi gerçekleştirilebilir. Farklı geometrik yapıya sahip olan ürünler için yine farklı tasarımda olan

kalıplara ihtiyaç duyulur. Film veya levha üretiminde tasarlanmış kalıp türlerine askı tipi, T tipi ve balık kuyruğu gibi kalıp çeşitleri örnek gösterilebilir (Turaçlı, 2003).



Şekil 3.4. Film ve Levha üretiminde kullanılan kalıp çeşitleri (Turaçlı H., 2003)

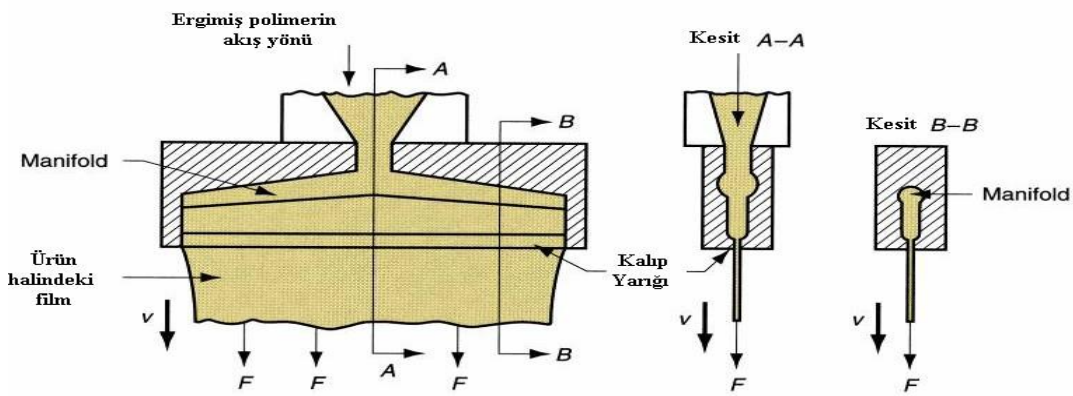
Kalınlıkları 0.5 ile 12.5 mm aralığında değişen ürünler ‘plastik yassı levha’ olarak isimlendirilir. Düzlemsel ürünlerin imalatında ve termoforming yarı mamul imalatında plastik yassı levha kullanılır. Yassı malzemenin kalınlığı 0.5 mm’nin altında üretilen ürünler “film” olarak isimlendirilir. Film malzeme ile üretilen malzemelere; çöp poşetleri, alışveriş poşetleri ve paketleme malzemelerinde kullanılan naylonlar örnek gösterilebilir Resim 3.2. Levha ve film üretim hattı gösterilmiştir (Turaçlı , 2003).



Resim 3.2. PP, PS, ABS kullanılarak levha üretim hattı (Turaçlı H., 2003)

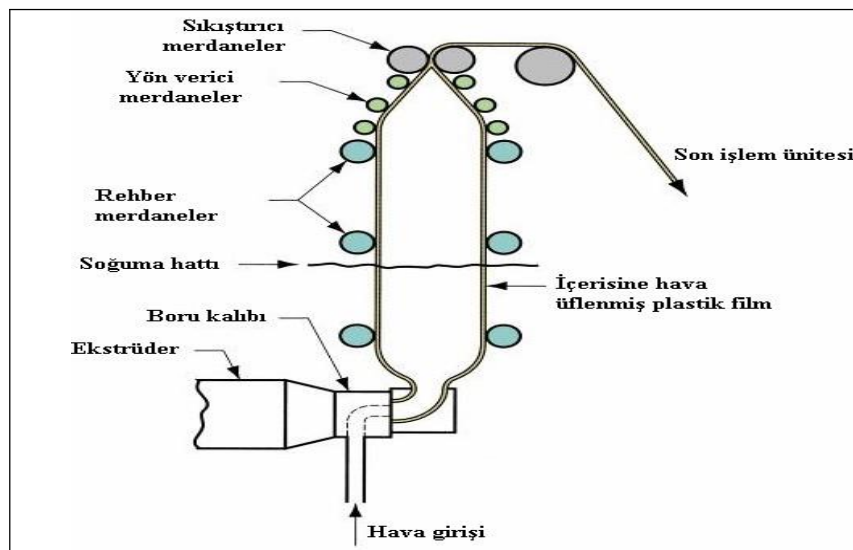
Termoplastiklerden genellikle ekstrüzyon üretim hattı kullanılarak levha ya da film malzemelerin üretimleri sağlanabilir. En sık kullanılan üretim yöntemleri; Şekil 3.5’de yarı kalıplı ekstrüzyon, Şekil 3.6 üflemlı film ekstrüzyon ve Şekil 3.7 haddeleme yöntemleridir (Groover M. P., 2002).

Yarı kalıplı ekstrüzyon metoduyla, levha ve filmler ince bir yarık içeren kalıp yardımıyla üretilir. Yarık genişliği 3 mm’ye kadar artabildiği gibi yarık darlığı 0.4 mm kadar dar olabilir (Groover M. P., 2002).



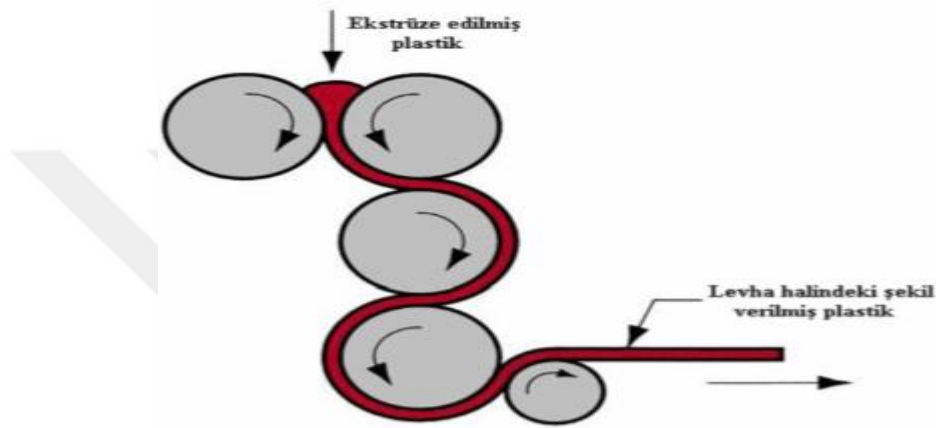
Şekil 3.5. Yarı kalıplı ekstrüzyon yöntemi (Groover M. P., 2002)

Şekil 3.6’da üfleme ve ekstrüzyon yöntemi birleştirilmesi ile oluşan şişirmeli film ekstrüzyon yöntemi görülmektedir. Bu yöntem ile alışveriş poşetleri üretilmektedir (Groover M. P., 2002).



Şekil 3.6. Üflemlı film ekstrüzyonu üretim yöntemi ve şematik gösterilimi (Groover M. P., 2002)

Şekil 3.4’de kalenderleme ile üretimde malzeme önce ekstrüze edilir ve belirli bir sıcaklıkta merdanelerden geçirilir. Bu şekilde malzemede arzulanan kalınlıklar sağlanır. Bu üretim yöntemi oldukça maliyetlidir buna nazaran üretimdeki hız oldukça yüksek seviyededir. PVC bu yöntemde en çok kullanılan polimerdir. Bu teknik ile üretilen ürünlere örnek olarak duş perdeleri, havuz kaplamaları, şişme bot ve birçok oyuncak türü gibi ürünler gösterilebilir(Groover M. P., 2002).



Şekil 3.7. Kalenderleme üretim yöntemi ve şematik gösterimi (Groover M. P., 2002)

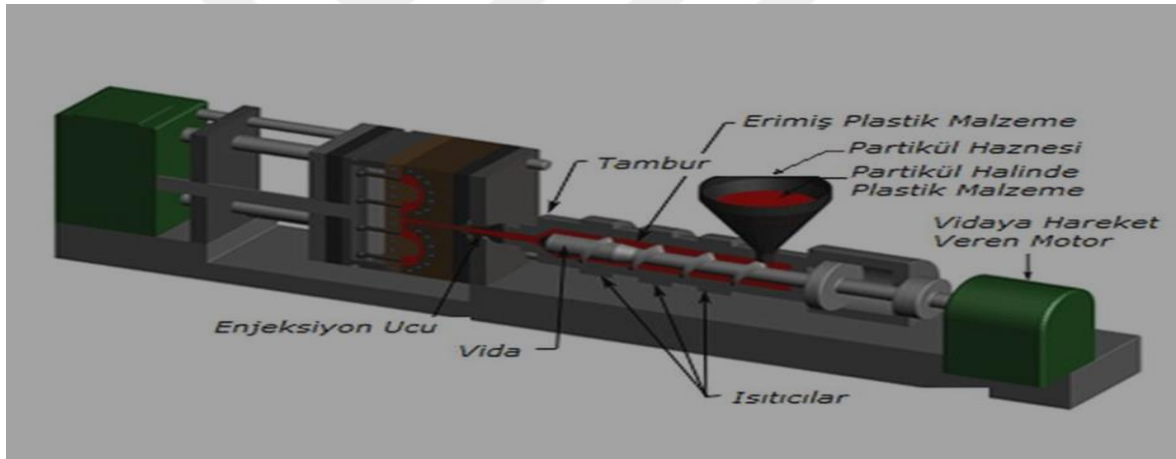
Resim 3.3’de görüleceği üzere plastik ekstrüzyon yöntemi ile farklı çapta şekillere sahip boru üretimi gerçekleştirilmektedir (Groover M. P., 2002).



Resim 3.3. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş farklı çapta olan atık su boruları (Groover M. P., 2002)

Plastik Enjeksiyon Yöntemi: Geometrisi karmaşık ve büyük hacimli parçaların üretilmesinde plastik enjeksiyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu makinalarda seri bir şekilde yüksek miktarlarda ürün elde edilebilir. Tek veya birden fazla kalıp kullanımı ile takviyeli veya takviyesiz plastik ürünlerin eğriltilmesi ve yüksek basınçlar uygulanarak son ürün elde edilmektedir. Bu şekilde birçok değişik termoplastik malzemeden farklı mekanik, kimyasal ve ısı özelliklere sahip ürünler üretilebilmektedir(Turaçlı H., 2003).

Enjeksiyon yöntemi ile dolgu madde katkılı ürün elde etmek de mümkündür. Plastik enjeksiyon makinasında kullanılacak matris malzemesine dolgu malzemeleri besleme ünitesinden direk ilave edilebileceği gibi ayrı ayrı besleme ünitelerinden matris malzeme ile plastik granülleri takviye işlemleri yapabilmek mümkündür. Plastik enjeksiyonunda ki basınç değeri malzemenin özelliğine göre 200MPa kadar değişebilir (Turaçlı H. , 2003). Plastik enjeksiyon hattının genel olarak şekli Resim 3.4’de görüldüğü gibidir (Turaçlı H., 1999).



Resim 3.4. Plastik Enjeksiyon Üretim Hattı (Turaçlı. H., 1999)

Plastik enjeksiyon ile üretimde saf ya da dolgu takviyeli termoplastik malzeme besleme ünitesinde alınarak enjeksiyon ünitesine iletilir. Enjeksiyon ünitesinin ilk kısmı ekstrüzyon makinasında olduğu gibi bir vidaya ve ısıtıcı bölmelere sahiptir. İçeri alınan malzeme burada önce vidanın kendi ekseninde dönmesi ile eriyik hale getirilerek viskoz bir yapıya geçer ve vidanın ucunda birikir. Daha sonra vidanın doğrusal hareketi ile kalıba püskürtülür. Bu püskürtme esnasında vidanın uyguladığı ilk basınç ile malzeme kalıba doldurulur. Devamında uygulanan ikincil basınç ile malzemenin kalıp içerisinde bütün noktalara ulaşması sağlanır. Son olarak ütüleme basıncı kalıp içerisinde ki malzemeye uygulanır ve malzemenin kalıp içerisinde düzgün bir yüzeyde olması sağlanır.

Bu işlemler sonunda malzeme kalıp içerisinde belirli bir süre soğumaya bırakılır ve akabinde kalıp açılarak nihai ürün elde edilir. Bu yöntem ile Resim 3.5’de görüldüğü üzere oturak gibi geometrisi karmaşık farklı boyutlarda plastik ürünlerin üretilmesi mümkündür (Turaçlı H., 1999).

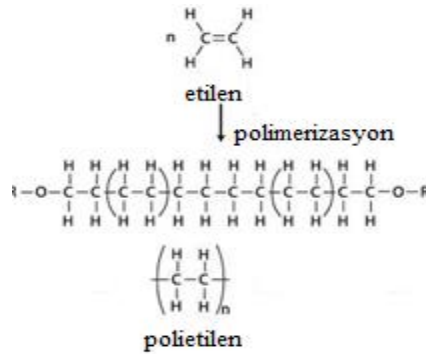


Resim 3.5. Enjeksiyon yöntemi ile üretilen oturaklar (Turaçlı H. , 1999)

3.3. Poliolenler Grubu

Bildiğimiz gibi monomerler bir katalizör kullanılarak bir araya gelirler ve uzun zincirleri yani polimerleri oluştururlar. Poliolefinlerde bu şekilde elde edilen önemli bir termoplastik polimer grubudur (URL-4, 2018).

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. Etilen, Şekil 3.8’de yaklaşık olarak 1000 atmosfer basınç da ve 200°C ’de, $-\text{CH}_2-$ gruplarından oluşan yalın zincirler içeren polietilen molekülleri vererek polimerleşir. Poliolefinlerin en önemlileri; polipropilen (PP) ve polietilen (PE) dir (Cristian H., 2017).



Şekil 3.8. Etilenin polimerizasyon sonucu polietilen oluşması (Cristian H., 2017).

Poliolefinler, zar ekstrüzyonu veya film ekstrüzyonu olmak üzere iki şekilde işlenebilen termoplastiklerdir. Zar ekstrüzyonu esnasında polimer malzeme, eriyik hale gelene kadar ısıtılır ve daha sonra sıkıştırılır. Dökülen kalın plaka, lifler veya ince zar elde edilir. Zarın kalınlığı, hafif gıda ambalajlarından tarımsal kullanıma uygun daha ağır zarlara kadar çeşitli ürünleri elde edecek şekilde ayarlanabilir (URL-4, 2018).

3.3.1. Polipropilen (PP)

Polipropilen monomeri olefin tesisleri ve petrol rafinelerinden çıkan gaz ile üretilmektedir ve 2001 senesinde tüm dünya genelinde yaklaşık 45 milyar kg üretilmiştir. Günümüzde borular, bagajlar, mikro dalga fırına dayanıklı kaplar, medikal ambalajlar, yoğur kapları ve bahçe mobilyaları gibi polipropilenden üretilen ürünler ile hayatımızın birçok yerinde karşılaşmaktayız (URL-4, 2018).

Polipropilen grubu içerisinde, yüksek mukavemeti ve düşük yoğunluğu ile ön plana çıkan izotaktik polipropilen en çok tercih edilen polimerdir (Tripathi D., 2002). Düşük yoğunluklu olefin sınıfında yer alan sert bir plastik olan polipropilen elektriksel ve kimyasal özellikleri oldukça iyidir. Mekanik özelliği 0°C'nin altında kötüleştiği için kullanımı çok fazla tercih edilmemektedir. Polipropilenin erime sıcaklığı yaklaşık olarak 160 °C olup 0°C ile 100 °C dereceleri arasında kullanılabilir (Tripathi D., 2002).

Polipropilen, oldukça düşük maliyetli, darbe dayanımı iyi ve yorulmaya karşı dirençlidir. Elektriksel yalıtım yapabilmekte ayrıca sürünme katsayısı düşüktür. Birçok kimyasal maddeye karşı direnci iyi olduğundan çürümez ve paslanma olmaz (Tripathi D. , 2002). Tablo 3.1'de polipropilene ait fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Alçak yoğunluklu polietilen 130 °C ile 350 °C sıcaklık ve 1200-300 atm basınç altında etilen monomerinin, organik peroksitler ile polimerizasyonu ile elde edilir. Proses uygulamasında yüksek basınç ile birlikte oksijen katalizörü kullanılır (Vasile, C., Pascu, M., 2005).

Yüksek yoğunluklu polietilen 70 °C ile 80 °C sıcaklıkta ve 10-20 atm basınç altında üretimi gerçekleşmektedir. Katalizör olarak titanyum tetraklorür (Ziegler-Natta katalizörü) ve organometalik katalizörleri kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen genel olarak düşük basınçlar kullanılır ve prosese komonomer olarak etilen beslemesi yapılır(Vasile, C., Pascu, M., 2005). Alçak yoğunluklu polietilen ile yüksek yoğunluklu polietilenin teknik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. AYPE ile YYPE’nin bazı teknik özellikleri (Vasile C., 2000)

Polietilen		
Alçak Yoğunluklu Polietilen	Değer	Birim
Yoğunluk	0.91-0.93	g/cm ³
Elastik Modülü	0.1-0.26	GPa
Erime Noktası	98-120	°C
Dayanıklılık	4.1-1.6	MPa
Yüksek Yoğunluklu Polietilen		
Yoğunluk	0.94-0.97	g/cm ³
Elastik Modülü	0.41-1.24	GPa
Erime Noktası	127-137	°C
Dayanıklılık	21-38	MPa

Polietilenler termal özellik olarak, ortalama çalışma sıcaklıkları -18°C ile 90°C arasındadır. Dolayısıyla düşük sıcaklıklarda kırılma risk durumu olmadan kullanılabilirler. Bu özelliklerinden ötürü eksi derecelerde kullanılması gereken malzemelerde tercih edilirler. Bu duruma örnek olarak sıkıştırılmış havanın taşınması ve buz çözücü alanlardaki boru işlerinde kullanımları verilebilir (Vasile C., 2000).

Polietilen dahil diğer tüm polimerlerin termal özellikleri, polimerlerin türüne, kristalliğine, moleküler ağırlığına, yoğunluğuna ve dallanma içerip içermediğine bağlıdır (Vasile C., 2000).

4. TERMOPLASTİKLERDE KULLANILAN DOLGU MADDELERİ

Termoplastikler saf durumda iken çoğu zaman kullanıldıkları alanlar veya yere göre istenilen morfolojik, mekanik veya ısıl değerleri yeterli olmayabilir. Morfolojik, mekanik ve ısıl özelliklerini iyileştirmek adına termoplastik malzemelere organik ve inorganik dolgu takviye edilebilmektedir.

4.1. Termoplastiklerde Kullanılan İnorganik Dolgu Maddeleri

Dolgu maddeleri inorganik ya da organik yapıda bulunurlar. Bu dolgu maddeleri etkisiz ve aktif olarak farklı roller üstlenmektedirler. Etkisiz dolgu maddeleri genellikle matris malzemenin yoğunluğunu arttırmada ve üretim maliyetini düşürmede kullanılmaktadır. Aktif dolgu maddeleri ise takviye dolgu maddeleri olarak da bilinmektedirler ve bunlar matris malzemenin mekanik, termal ya da fiziksel özelliklere önemli ölçüde katkı sağlayabilmektedirler (Gächter, 1987).

Başlıca inorganik dolgu maddeleri şöyledir;

Kalsiyum Karbonat: Polyester reçine sistemleriyle birlikte en çok kullanılan dolgu maddesidir. Doğada tebeşir, kireç taşı ve mermer şeklinde bulunur ve çok az miktarda başka mineralleri de içerebilir (Gächter, 1987).

Talk: Doğada $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ formülüne sahip su içeren bir bileşik halinde magnezyum silikat olarak bulunur. Talk; lifli, lamelar, iğnesel ve plaka şeklinde olmak üzere dört farklı parçacık şekline sahiptir fakat ticari olarak yalnızca lamelar yapılı talkın kullanımı yaygındır (Wypych, 2000).

Kaolen: granit ve feldsparın bozulması sonucu oluşan bir üründür. Yeryüzünde çok fazla bulunur fakat saflığı düşüktür. Genel olarak “Çin Kili” adı ile bilinir. Bu birincil ve ikincil kaolenitleri içerir. Lamelar yapısı vardır. Birincil kaolenitler uzunluklarının kalınlığına oranlarında 10:1 gibi bir değere sahip olurlar ve kalan lamelar yapı ise hekzagonaldır (Wypych, 2000).

Kaolen, lastik endüstrisinde karbon siyahından sonra en önemli ikinci dolgu maddesidir. Lastik kimyasında kaolenin “sert” veya “yumuşak” olması, son ürünün yüksek veya düşük modüle sahip olmasına göre ayırt edilebilir (Wypych, 2000).

Tablo 4.1. Termoplastiklerde kullanılan inorganik dolgu maddeleri ve oranları (Gächter, 1987)

Dolgu Maddesi/ Takviye	1980 (1000 t)	1985 (1000 t)	1990 (1000 t)	Yıllık Büyüme Hızı % (1980- 1990)
Karbonatlar	1100	1780	2900	10.2
Talk	110	180	300	10
Asbest	235	300	365	4.5
Kaolen	164	905	130	5.5
Mika	0.5	0.5	0.6	3
Diğer	8	13	21	10

Tablo 4.1’de termoplastik malzemelerde çok sık kullanılan bazı inorganik maddelerin yıllara göre ağırlıkça değişim oranları verilmiştir (Wypych, 2000).

4.2. Termoplastiklerde Kullanılan Organik Dolgu Maddeleri

Termoplastiklerde kullanılan organik takviye malzemeleri elyaf (fiber) ve dolgu (filler) dolgu şeklindedir. Bu iki malzeme grubu arasında katkı sağladığı matris malzemesinde farklı mukavemetlerde kazanım sağlayabilir. Elyaf takviye sistemi genellikle plastiklerin çekme, darbe ve ısıl mukavemet gibi sıralanan özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılır. Elyaf takviye malzemelerinin plastiklerin kuvvetlendirilmesinde kullanımı pahalı bir uygulamadır. Dolayısıyla iyileştirme derecesi, malzemenin fiyat artışıyla orantılı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Dolgu takviye sistemi ise genellikle plastiklerin maliyetini düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Ancak mika, kil, CaCO₃ gibi mineral dolgu maddeleri, oluşan malzemenin ısıl iletkenliğini artırır, soğutma sırasında şekil değiştirmeleri azaltır, kalıplama zamanını düşürür. Aynı zamanda dolgu malzemelerinin kullanımı, oluşan malzemenin mekanik özelliklerinden çekme dayanımında azalmaya neden olabilir. Bu azalma dolgu miktarının artması ile artar. Bu nedenle plastiklerin mekanik özelliklerini iyileştirme amacıyla daha ziyade elyaf takviye sistemi kullanılır. Takviye edici elyaf sistemi ile dolgu takviye sistemi arasındaki ikinci fark, takviye malzemesi, kullanılan matris malzemesinin türüne ve yapısına bağlıdır. Takviye elemanı olarak genellikle cam karbon ve aramid gibi bileşikler kullanılmaktadır (Akkurt, 1991).

Elyafın takviye malzemesi olarak kullanılmasında üç önemli olgu göz önünde bulundurulmalıdır (Akkurt, 1991).

- Elyafın iyi yüzey karakteristiklerine sahip olması
- Matris ile elyafın temas yüzeyinde herhangi bir kimyasal reaksiyonun meydana gelmemesi
- Elyafın matris malzemesi tarafından iyi ısıtılması

Başlıca organik dolgu maddeleri Tablo 4.2'deki gibidir.

Kolza Bitkisi: İçerik olarak %40-50 yağ ve %15-24 protein oranı bulunan önemli yağ bitkilerden biridir. Kolza yağında oleik ve linoleik asit miktarı yüksek değerlerde bulunur. Kolza yağının metanol ile reaksiyonundan sonra biyodizel yakıt elde edilir. Küspesi içeriği %38-40 oranında protein ile hayvan beslemesinde önemli yer bulmaktadır. (Akkurt, 1991).

Deniz Yosunu: Okyanuslarda, denizlerde ve tatlı sularda bulunan canlılardır. Kırmızı yeşil ve kahverengi görünümünde olan su bitkisidir.

Su yosunları, yiyecek olarak tercih edilmesinin yanı sıra gübre olarak kullanımları da sağlanır. Deniz yosunu gübresinde karbonhidratlar ve proteinler bulunur. Yapısında bulunan en önemli maddeler ; alginik asit, vitaminler, oksinler, giberilin ve antibiyotikler bulunur (Akkurt, 1991).

Hint Kenevir: Kimyasal bileşimini rezin, az miktarda uçucu yağ içerir. Hammadde kaynağı olarak kullanılan lifler, kaba dokumacılıkta (çuval, halat çanta, ağ yapımı gibi) kullanılır. Lifleri dayanıklı ve oldukça uzundur. Liflerde lignin maddesi biriktiğinde esneklik özellikleri azalmaktadır (Akkurt, 1991).

Keten: Boyları ortalama 15-60 cm civarındadır. Tohumlu ve lifli yetiştirilen bitkinin doğal ve kültür formları bulunur. Yapraksız sapsız, grimsi- yeşil renkli, dik veya yatık gövde üzerinde sıralanmıştır. Ketenin kimyasal yapısı; %80 selüloz, %3 pekin ve %10 su bulunur. (Akkurt, 1991).

Kendir: Ortalama boyları 50cm den 3 metreye kadar uzayabilir. Kendir bitkisinin gövde kısmı dik ve içi bostur. Lifleri oldukça dayanıklı ve uzundur. Liflerinde liginin maddesi esneklik özelliği kazandırır. Bu lifler , yüksek dayanımlı yük taşınması gereken asansör halatları gibi uygulamalarda sıklıkla kullanılır (Akkurt, 1991).

Jüt: Kaba, güçlü iplikler halinde bükülebilen uzun, yumuşak, parlak bir sak liftir. jüt lifleri esas olarak selüloz ve liginin bitki materyallerinden oluşur (Akkurt, 1991).

Tablo 4.2. Termoplastiklerde kullanılan organik dolgu maddeleri ve oranları (Gächter, 1987)

Dolgu Maddesi/ Takviye	1980 (1000 t)	1985 (1000 t)	1990 (1000 t)	Yıllık Büyüme Hızı % (1980- 1990)
Organik dolgu maddeler (kolza, deniz yosunu, keten kenevir, muz lifivb.)	105	140	157	6
Cam Elyafı	455	670	980	8
Cam Küreleri	7	15	31	15.7
Karbon fiberler, aramid fiberler, tüy vb.)	1.2	2.5	5.5	16

4.3. Muz Lifi

Muz bitkisinin tüm çeşitleri bol miktarda lif içerir. Bu lifler meyve hasat edildikten sonra elde edilmektedir ve sak lifleri grubunda yer almaktadır. Bu bitki dünyanın orta kuşak bölgesinde yer alan birçok yerinde yetişmekte olup ana vatanı Madagaskar adasıdır (URL-1, 2006)

Muz lifi yapma yöntemi bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Bunlar arasında en revaçta olanı Japonya'da ve Nepal'de uygulananıdır (URL-1, 2006).

Japonya yöntemi: Muzun Japonya'da kullanımı 13. asra uzanmaktadır. Japon muz lifi yapım yönteminde hemen bitkinin yetiştirilme anından itibaren dikkat gösterilmektedir. Muz bitkisinin yaprakları ve sürgünleri yumuşaklıklarının temin edilmesi için belirli aralıklar bulunmaktadır. Hasat edilen sürgünler önce iplik üretimi için liflerin hazırlanması amacıyla potas kostik ya da sut kostik çözeltisi içerisinde kaynatılır. Bu muz sürgünleri değişen derecelerde yumuşaklığa sahip lifleri açığa çıkarırlar, ayrıca bunlara özel amaçlarda kullanılabilen farklı niteliklerdeki iplikler de ortaya çıkar. Sürgünlerin en dış kısmındaki lifler en kaba olanlarıdır. Bu sebepten onlar masa örtüleri gibi ev döşemelerinde uygulanır. Geleneksel Japon giysileri kimono ve kamişimo yapımında yaygın olarak kullanılan yumuşak lifleri veren kısım ise en içteki kısımdır. Muz kumaşı yapım yöntemi fazlasıyla uzun bir yöntemdir ve tüm adımları ile uygulanır (URL-1, 2006).

Nepal yöntemi: Muz bitkisinin sürgünlerinin yerine (yalancı) gövdesi hasat edilir. Bu yalancı gövdelerin küçük parçaları, liflerin mekanik olarak çıkartılacağı bir yumuşatma sürecinden geçirilir ve daha sonra ağartılarak kurutulurlar. Bu şekilde elde edilen lif, muz ipeği lifi ipliği olarak adından söz ettiren ipeğe benzer görünüme sahiptir. Bu lif, çoğunlukla Nepalli kadınlar tarafından arıtılır, işlenir ve çile haline getirilir. Resim 4.1. Sadece, muz bitkisinin yaşlı kabuğu veya çürüyen dış tabakaları hasat edilirler ve doğal sürecin hızlandırılması için, suyun içerisinde bekletilirler. Klorofilin tamamı eridiğinde, geride, sadece, selüloz lifleri kalır. İplik halinde bükülmeye uygun hale gelebilmeleri için hamur halinde sıkıştırılırlar. İplik, daha sonra, elle boyanır. Bunların ipeğe benzeyen yüksek dokusal nitelikleri bulunmaktadır ve buna bağlı olarak, en üst nitelikli halıların yapımında kullanılmaktadır. Bu geleneksel halılar, yine, Nepalli kadınlar tarafından elle dokunan yöntemler ile dokunmaktadır (URL-1, 2006).



Resim 4.1. Liflerin ayrıştırılması ile kenevir muz bitkinin işlemden geçirilmesi(URL-1, 2006)

Muz lifi doğal bir sak lifidir. Fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında kendisinin iyi nitelikte bir lif yapan pek çok başka özelliği bulunmaktadır (URL-1, 2006).

- Muz lifinin görünümü bambu lifi ile rami lifine benzer ancak zarafeti ve bükülebilirliği diğer ikisinden daha iyidir.
- Muz lifinin kimyasal bileşimi seküloz, hemiselüloz ve lignindir
- Son derece kuvvetli bir liftir
- Hafiftir

- ıkartma ve bükme yöntemine göre bir miktar parlak görünüme sahiptir
- Yüksek nem emme niteliğine sahiptir
- Biyolojik olarak parçalanabilir ve çevreye olumsuz etkisi yoktur
- Ortalama inceliğı 2.400 nanometre (nm) dir
- Bilezikli eğirme, açık uçlu eğirme, sak lifi eğirme ve yarı kamgarn eğirme dâhil hemen hemen tüm eğirme yöntemleri ile bükülebilir.

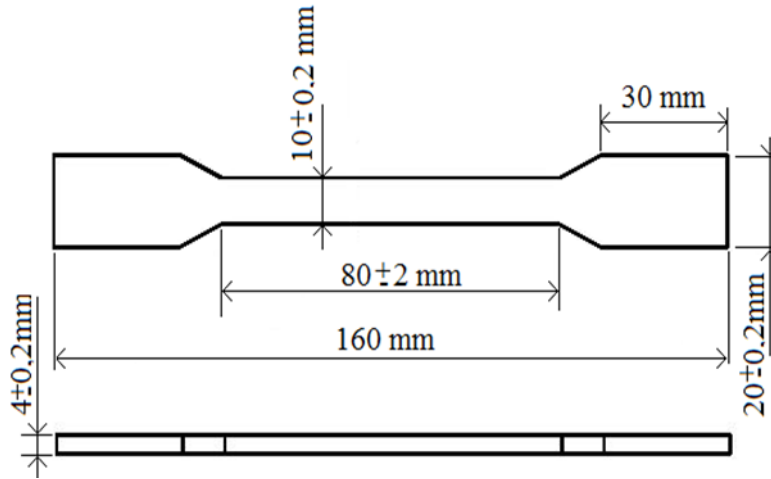
Bu çalışmada, muz lifleri ağırlıkça farklı oranlarda alçak yoğunluklu polietilende (AYPE) takviye elemanı olarak kullanıldı ve bu şekilde numuneler üretildi. Üretilen numunelerin mekanik ve termal özellikleri araştırıldı ve ayrıca numunelerin morfolojik yapıları incelendi.



5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Poliolifenler grubundan olan polipropilen polimeri deneyde kullanacağımız dolgu maddesi organik muz lifi ile yapılan karışımı, 190 °C ve 2,160 kg yük altında MFI (akışkanlık indeksi) testinde homojen karışım sağlamayıp akma gösterememiştir. Bu sebepten ötürü IMF testi polipropilen için başarısız olmuştur. Poliolefinler grubunun bir diğer üyesi olan alçak yoğunluklu polietilen ise polipropilen polimerinin aksine IMF testlerini başarılı ile geçerek organik muz lifi ile homojen karışımlar sağlayabilmiş ve Ölçüleri Şekil 5.1’de verilen standart deney numunesi üretilmiştir.



Şekil 5.1. Standart deney örneği

Petkim Petrokimya Holding A.Ş firmasına ait olan polietilen ile polipropilen ait teknik katalog bilgisi Tablo 5.1 de ki gibidir (URL-5, 2006).

Tablo 5.1 Alçak Yoğunluklu Polietilen I22-19T ile polipropilen MH180-EH341 malzemesine ait MFR ile yoğunluk değerleri(URL-5, 2006)

Polietilen I22-19T	Birimi	Değeri	Metodu
Erime Akış Hızı (MFR) (2160 gr, 190 °C)	gr/10 dak.	17-19	ASTM D-1238
Yoğunluk 23 °C	gr/cm ³	0,917-0,921	ASTM D-1505
Polipropilen MH180-EH341			
Erime Akış Hızı (MFR) (2160 gr, 230 °C)	gr/10 dak.	1.7-34	ASTM D-1238
Yoğunluk 23 °C	gr/cm ³	0,905	ASTM D-1505

5.2. Ekstrüzyon ile Homojen Karşım Oluşturma

Tez çalışması kapsamında öncelikli olarak dolgu malzemesi olarak kullanılacak muz liflerinin ince tanelere ayırarak toz şeklinde tane boyutlarına getirilene kadar öğütülme işlemi yapıldı. Öğütme işlemi Resim 5.1’de Munzur Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği laboratuvarında bulunan öğütücü makinesi ile yapılmıştır. Öğütülmüş muz lifleri numunelerin üretimine geçilmeden önce ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranları içeren alçak yoğunluklu polietilen ile muz lifi karışımından 5 er gram hazırlanarak MFI (erime akış indeksi) testi yapılmıştır. Buradan çıkan sonuca göre Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Polimer Teknolojileri laboratuvarında bulunan üç bölge ısıtmaya sahip Resim 5.2’de tek vidalı ekstrüzyon makinası geçirilerek malzemenin homojen karışım olması sağlanmıştır. Ekstrüzyon makinasının çıkış kısmında bulunan silindirik kesite sahip kalıptan akan yaklaşık 3 mm çapındaki malzeme bir su havuzuna daldırılarak soğutulup ve daha sonra kırıcıdan geçirilerek Resim 5.3’de gösterilen 2-3 mm büyüklüğünde granül haline getirilmiştir.



Resim 5.1. Doğal muz lifi dolgu maddesinin öğütülme işlemi



Resim 5.2. Polietilen muz lifi karışımının ekstrüzyon makinasından geçirilmesi

Muz lifi ile alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) homojen yapıda karışım sağlayabilmek için Munzur üniversitesi makine mühendisliği polimer teknolojisi laboratuvarında bulunan tek vidalı plastik ekstrüzyon makinesinde işlem gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon makinesinde muz lifi ile alçak yoğunluklu polietilen makineyi besleme ünitesinden 10 gram şeklinde boşaltılmıştır. 140 ile 160 °C ye ayarlanmış ısıtıcılar ve dönen mil sayesinde malzeme ekstrüzyon makinesi içinde karışım homojen bir hal alır ve kesintisiz ve sürekli akış gösteren silindirik boru şekline gelir. Plastik ekstrüzyon makinasından çıkan homojen yapılı düşük yoğunluklu polietilen muz lifi karışımı Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Resim 5.3’de kırıcı sayesinde küçük granül hale getirilmiştir.



Resim 5.3. Ekstrüzyon makinasından çıkan polietilen muz lifi karışımının kırıcıdan geçirilerek granül haline gelmesi

5.3. Plastik Enjeksiyon ile Numune Üretilmesi

Granül haline gelen yaklaşık 1 kg'lık içerisinde ağırlıkça %5, %10, %15 muz lifi katkılı düşük yoğunluklu polietilen (AYPE) son işlem olarak deney numunesinin şeklini almak üzere Munzur üniversitesi Makine Mühendisliği Polimer Teknolojileri laboratuvarında bulunan Resim 5.4'de 100 Ton mengene kapama kuvvetine sahip plastik enjeksiyon makinası ile kalıplara basılımı sağlanmıştır.



Resim 5.4. Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarı Ekin 100 Orion plastik enjeksiyon makinesi

Plastik enjeksiyon sonucu üretilen deney numunesinin kalıptan düzgün ve hatasız bir şekilde çıkması esastır, bunu sağlamak için plastik enjeksiyon doğru bir şekilde veri girişi sağlamak gerekir. Plastik enjeksiyon makinasına girmiş saf alçak yoğunluklu polietilen ile farklı oranlarda muz lifi karışımı alçak yoğunluklu polietilene ait basınç ve sıcaklık değerleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Saf polietilen ile farklı oranlarda muz lifi karışımı polietilene ait enjeksiyon cihazındaki basınç ve sıcaklık değerleri.

Karışım Oranı	1. Basınç (Bar)	2. Basınç (Bar)	Ütuleme Basıncı (Bar)	Sıcaklıklar (°C)
Saf AYPE	30	50	50	169
%5 Dolgu	50	60	55	170
%10 Dolgu	50	70	55	172
%15 Dolgu	60	80	55	180

Tablo 5.2’de anlatıldığı bütün işlemlerin ardından üretilen numunelerin ağırlıkça yüzde oranı ve adedi Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Üretilen deney numunelerinin ağırlıkça muz lifi içeren adetleri

Standart Çekme Deney Numuneleri	Miktar AYPE [%]	Muz Lifi [%]	Adet
A	100	-	15
B	95	5	12
C	90	10	14
D	85	15	11

5.4. Üretilen Numuneler için Gerçekleştirilen Analizler

Muz lifi dolgu maddesi ile güçlendirilmiş alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) numuneleri eriyik akış endeksi (MFI) değerleri saptanmış, çekme mukavemetleri ve üç nokta eğilme mukavemetleri testleri gerçekleştirilmiştir. Eğilme ve çekme testler Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan “Shimadzu ag-x 10” çekme cihazı kullanılarak DIN EN ISO 178 normlarına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu mekanik testler dışında %5 ve %15 oranında muz lifi içeren numunelerden kesitler alınarak Munzur Üniversitesi Kimya Mühendisliği laboratuvarında bulunan azot gazı soğutmalı “DTG 60” Termogravimetrik analiz cihazında numunelere ait ısı analizler yapılmıştır. Ayrıca üretilen %5 ve %15 oranında muz lifi içeren numunelerden kesitler alınarak matris ve dolgunun bağlanma mekanizmasının tespiti için Munzur Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan “Hitachi su3500” marka taramalı elektron mikroskobu ile çıkan görüntüler yorumlanmıştır.

5.4.1. Erime Akış İndeksi (MFI) Testleri

Erime akış indeksi deneyi plastiğin ergimiş haldeki viskozitesinin ölçülmesi deneyidir(Savaşçı ve diğ., 2002). Bir termoplastik malzemenin eriyik akış hızı testi; uzunluğu ve çapı belli olan belirli sıcaklık ve basınç altında kalıptan geçen bu geçiş esnasında numunenin kütle akış hızını (MFR) ile hacimsel akış hızını (MVR) tayin eden

testlerdir. Genel olarak ifade edilirse, plastik hammaddesi üreten ve işleyen firmaların, üretimlerinin üniform olmasını kontrol edebilmek amacıyla faydalı bir deney olarak tanımlanır (Savaşçı ve diğ., 2002).

Bu çalışmadaki akışkanlık testleri Munzur Üniversitesindeki Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Resim 5.5'deki JPT EQUIPMANT marka XRL-400 Melt Flow Index cihazında ASTM D1238 (ISO 1133) normlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu standartlara göre deney parametreleri polietilen için sıcaklık 190 °C ve ağırlık 2,16 kg ve polipropilen için ise 230 °C ve 5 kg olarak alınmıştır. Bu deney için öncelikle cihazın ısıtma bölgesi test edilecek olan matris malzeme uygun olacak şekilde ısıtılır. Daha sonra deney için hazırlanmış olan yaklaşık 10 gram'lık malzeme bir huni kullanılarak cihazın ısıtma bölgesine dökülür ve bir piston kullanılarak sıkıştırılır. Test edilecek olan malzeme bir süre bu şekilde ısıtma bölgesinde bekletilir ve yeterli sıcaklığa ulaşması sağlanır. Bu aşamadan sonra pistonun üzerine ağırlık konularak malzemenin cihazın ısıtma bölgesinin altında bulunan ince silindirik kesitten akması sağlanır. Bu şekilde malzeme akışa zorlanan malzeme belirli periyotlarda ($10s < t < 20s$) silindirik kesitin altında bulunan bir makas vasıtası ile kesilir. Deney sonuna kadar kesilerek elde edilen bu parçaların ağırlıkları ölçülerek ortalama ağırlık belirlenir ve bu belirlenen değer cihazın dijital kısmına girilir. Bu şekilde uygulama sıcaklığı ağırlık ve zaman bağlı olarak malzemenin eriyik akış indeksi hem kütleli hem de hacimsel olarak cihaz tarafından hesaplanır. Bu deney neticesinde aynı zamanda malzeme yoğunlukları da belirlenir. Elde edilen bu sonuçlar neticesinde test edilen bu matris dolgu karışımlarının ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon makinalarında hangi sıcaklık aralığında nasıl bir akış gösterebilecekleri ön görülebilmektedir.



Resim 5.5. JPT EQUIPMANT marka XLR-400 model melt flow indexer cihazı

5.4.2. Çekme Testi

Malzeme özelliklerini daha iyi anlayabilmek için mekanik testlere ihtiyacımız vardır. Bu testlerden en önemlisi çekme deneyidir. Bu deneyde: Deney numunesi, sabit hızda, uzunlamasına dikey eksen boyunca parça kesitine aksenal kuvvet uygulanarak kopma gerçekleşene kadar veyahut gerilme (yük) ve gerinim (boyut değişimi) değeri önceden belirlenmiş bir değere kadar çekilir. Bu işlem esnasında numunenin mukavemeti yük ve uzama değerleri ölçülür. Çekme testinin en önemli amacı plastik malzemenin statik yük altında elastik ve plastik davranışlarını tayin etmektir(Kayalı ve ark., 1996).

Tablo 5.2’de belirtilen her bir karışımın oranında beşer adet numune alınmıştır. Çekme testi 2 N’luk ön yükleme ve 50 mm/dakika. hız ile ISO 527-1/-2 (ASTM D 638) standartlarına uygun bir biçimde Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Resim 5.6’daki Shimadzu ag-x 10 ton makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu deney neticesinde numuneler içerisinde artan dolgu miktarına bağlı olarak aksenal yöndeki gerilme durumu ve numunelerin çekme dayanımları tespit edilerek grafiklerle verilmiştir.



Resim 5.6. Çekme testine tabi tutulan polietilen ve muz lifi takviyeli standart çekme numunesi.

5.4.3. Üç Nokta Eğilme Testi

Üç nokta eğilme testinin amacı, malzemenin düşey yüklemelere karşı dayanımını belirlemektir. Eğme deneyinde deney yapılacak numuneye kuvvet uygulandığında numune kesitinin bir kısmına basma gerilmesi, kesitin kalan kısmında çekme gerilmesi meydana gelmesi malzemenin eğilme halinde olduğunu gösterir. Gerçekleştirilen bu test ile malzemelere ait maksimum sehim miktarı, eğilme momenti ve elastisite modülü gibi değerler belirlenebilir (Kayalı ve ark., 1996).

Çekme testinde de olduğu gibi Tablo 5.2 de belirtilen karışım oranlarının her birinden beşer adet numuneye eğilme testi yapılmıştır. Bu numunelerin üç nokta eğilme testi, 10mm/dakika bir hız ve 6 mm maksimum sehim oluşacak biçimde DIN EN ISO 178 standartlarına uygun olarak Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Resim 5.7'de ki Shimadzu ag-x 10 ton makinesinde yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu analiz ile artan dolgu miktarına bağlı olarak numunelerin eğilme

dayanımlarının ne şekilde bir değişim gösterdiği belirlenmiş ve sonuçlar grafikler ile verilerek yorumlanmıştır.



Resim 5.7. Üç nokta eğilmeye maruz polietilen ve muz lifi takviyeli standart çekme numunesi.

5.4.4. Taramalı elektron mikroskobu (sem)

İleri teknolojiye hizmet eden birçok malzemenin nano boyutta fiziksel olarak karakterize edilmesi çok önemlidir. Bunun için atomik ve moleküler boyut yapılarının ve yüzey karakteristik özelliklerini gözlemleyebilmek adına uygun cihazlar kullanmak gerekmektedir. Taramalı elektron mikroskobu analizi, istenilen malzemenin nano boyutta temel özelliklerini araştırmak ile birçok teknolojik uygulamalarda nano boyutlu malzemelerinin gerek fonksiyonel gerekse teknik performanslarının araştırılması için kullanılan yöntemdir. Bu yöntem ile parça kesitine elektron gönderilerek yüksek kalite ve çözünürlükte görüntü alınmasına olanak sağlar (Zhang, 2009).

SEM, sanayi ve endüstri kuruluşlarının Ar-Ge bölümlerinde, üniversitelerin malzeme laboratuvarlarında, biyolojik araştırmalarda ve kriminal uygulamalar gibi birçok alanda kullanılır (Zhang, 2009).

Doğal muz lifi takviyeli alçak yoğunluklu polietilenden üretilen standart çekme numunelerinin kesitleri Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde bulunan resim 5.8'deki HITACHI marka SU 3500 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Bu şekilde matris ve dolgu maddesi arasında ki bağlanma mekanizmalarının ne şekilde gerçekleştiği ve matris içerisinde artan dolgu oranına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiği belirlenmiştir.



Resim 5.8. HITACHI SU 3500 Marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

5.4.5. Termogravimetrik analiz yöntemi (tga)

TGA/DTA eş zamanlı gerçekleşen tekniktir. Numunede gerçekleşecek ağırlık değişimi ve referans ile arasındaki sıcaklık farkı kontrollü bir sıcaklık programı yöntemi ile ölçülür. Bir malzemede sıcaklık artışı ile beraber malzeme içerisinde meydana gelen gravimetrik ve termik değişimleri ile birlikte kullanılır. Malzeme bünyesinde meydana gelen kütle kayıpları (TG), ekzotermik veya endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri diferansiyel termal analiz (DTA) cihazları ile tespit edilir. DTA ile malzemelerin erime, kaynama, parçalanma noktalarını yüksek bir doğrulukla tayin edilebilir. Ayrıca kristalleşme faz değişimleri hakkında bilgi sahibi olmamıza yardımcı olur (URL-6, 1991).

Bu çalışmada numunelerin TGA/DTA analizleri Munzur Üniversitesi Kimya Mühendisliği laboratuvarında “DTG 60” marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde saf polietilen ve dolgu takviyeli polietilen numunelerin sıcaklık artışına bağlı olarak kütle kayıpları tespit edilmiştir.. Numuneler oda sıcaklığından 600 °C’ye kadar dakikada 10 K lik ısı artışı olacak şekilde ısıtılmışlardır. Deney azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir.

6. BULGULAR

6.1. Erime Akış İndeksi (MFI) Test Sonuçları

Gerçekleştirilen MFI deneyi neticesinde polietilen için elde edilen değerler Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6.1 Alçak Yoğunluklu Polietilen I22-19T malzemesine ait MFR ile yoğunluk değerleri(URL-7,2006)

Polietilen I22-19T	Birimi	Değeri	Metodu
Erime Akış Hızı (MFR) (2160 gr, 190 °C)	gr/10 dak.	17-19	ASTM D-1238
Yoğunluk 23 °C	gr/cm ³	0,917-0,921	ASTM D-1505

- %95 AYPE , %5 Muz lifi 10 gr karşım için MFI hesaplamaları

Test sonucu çıkan 6 adet parçanın ortalama ağırlık değeri alınıp bu değeri cihaza veri girişi yapılarak MFR, MVR ve yoğunluk değerleri alınır, verilerin sonuçları aşağıdaki gibidir;

Ortalama ağırlık = 0.237 gr

MFR = 9.48 gr/10 dak.

MVR= 9,77 cm³/10 dak.

Yoğunluk = 0,97 gr/ cm³

- %90 AYPE , %10 Muz lifi 10 gr karşım için MFI hesaplamaları

Test sonucu elde edilen 6 adet parçanın ortalama ağırlık değeri alınarak bu değeri cihaza girilerek MFR, MVR ve yoğunluk değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

Ortalama ağırlık = 0.164 gr

MFR = 6.56 gr/10 dak.

MVR= 6,01cm³/10 dak.

Yoğunluk = 1,09 gr/ cm³

- %85 AYPE , %15 Muz lifi 10 gr karşım için MFI hesaplamaları

Test sonucu çıkan 12 adet parçanın ortalama ağırlık değeri alınıp bu değeri cihaza veri girişi yapılarak MFR, MVR ve yoğunluk değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

Ortalama ağırlık = 0.133 gr

MFR = 5.32gr/10 dak.

MVR= 4,54 cm³/10 dak.

Yoğunluk = 1,17 gr/ cm³

Elde edilen sonuçlar neticesinde artan dolgu miktarına bağlı olarak polietilenin kütleli ve hacimsel akışkanlık indeksleri azalmıştır. Saf polietilenin kütleli akış indeksi 18,2 g/cm³ iken bu değer ağırlıkça %15 dolgu içeren polietilen karışımlarında 5,32 g/cm³ değerine kadar gerilemiştir. Dolayısıyla artan muz lifi takviyesi ile saf polietilene kıyasla önemli bir azalma meydana gelmiştir. Muz lifleri polietilende daha yoğun bir malzeme olduğu (yaklaşık olarak 1,35 g/cm³) için artan dolgu miktarına bağlı olarak karışımların yoğunlukları artmıştır.

Tez kapsamında çalışılması planlanan bir başka poliolefin olan polipropilen ile gerçekleştirilen eriyik akış analizleri başarısız olduğu için PP matrisli malzemeler üretilmemiştir. PP içerisine karıştırılan muz lifleri akışkanlığı olumsuz etkilemiş ve malzeme akmamıştır.

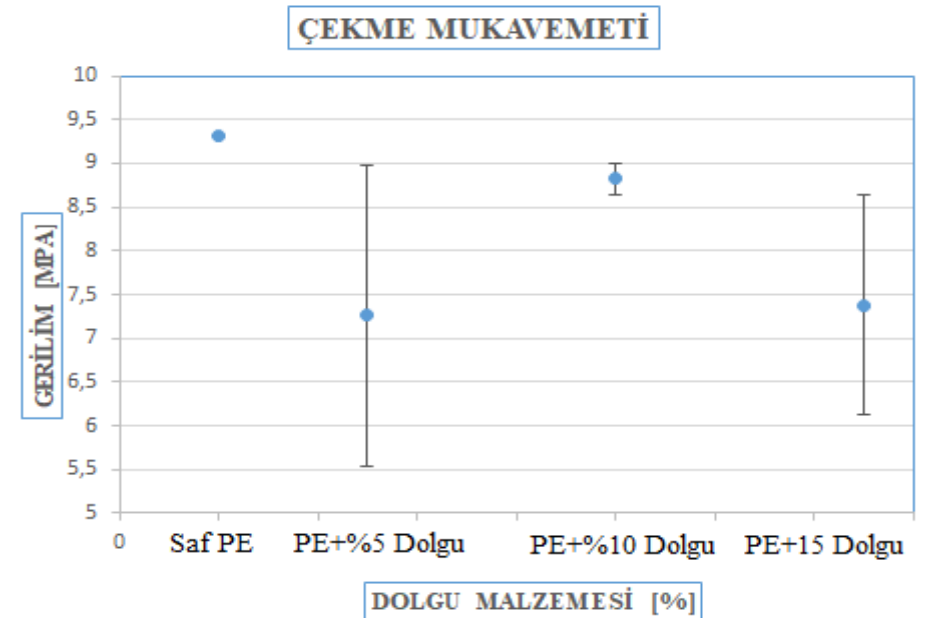
6.2. Çekme Mukavemeti Sonuçları

Tablo 5.2’de belirtilen her bir karışımın oranında beşer adet numune alınıp çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi ile ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Doğal muz lifi dolgu malzemesi takviyeli polietilenin çekme mukavemeti sonucu çıkan değerleri ve bu değerlerin ortalaması ile standart sapma değerleri Tablo 6.2’de gösterilmiş olup çıkan verilerin değişim grafiği ise Şekil 6.1’de görülmektedir.

Tablo 6.2. Polietilen çekme mukavemeti değerleri

Sayı	AYPE saf	AYPE+ %5 Dolgu	AYPE+ %10 Dolgu	AYPE+ %15 Dolgu	
1	9,3	7,7	8,2	8,0	
2	9,3	7,5	8,1	5,6	
3	9,3	8,7	8,5	8,1	
4	9,3	4,2	8,0	8,6	
5	9,3	7,9	8,2	8,6	
Ortalama		9,3	7,2	8,2	7,8
Standart Sapma		0,004	1,7	0,1	1,2



Şekil 6.1. Muz lifi takviyeli polietilen numunelerin çekme mukavemetindeki değişim grafiği

Şekil 6.1'deki grafiğe göre artan muz lifi dolgu maddesine bağlı olarak polietilen numunelerinin çekme mukavemetleri saf polietilene göre bir miktar azalış göstermiştir. Doğal muz lifi takviyesi içermeyen saf haldeki polietilenin numunelerinin çekme mukavemet değeri 9.3 MPa iken ağırlıkça %5 muz lifi takviyeli polietilende bu değer düşüş gösterip 7.2 MPa olmuştur. Ağırlıkça %10 muz lifi takviyeli polietilende ise bir miktar artış göstererek 8.2 MPa olarak belirlenmiştir. Son olarak ağırlıkça %15 muz lifi takviyeli polietilenin çekme dayanımına baktığımızda tekrar bir düşüş olduğu görülmekte

ve gerilme 7.8 MPa olmaktadır.

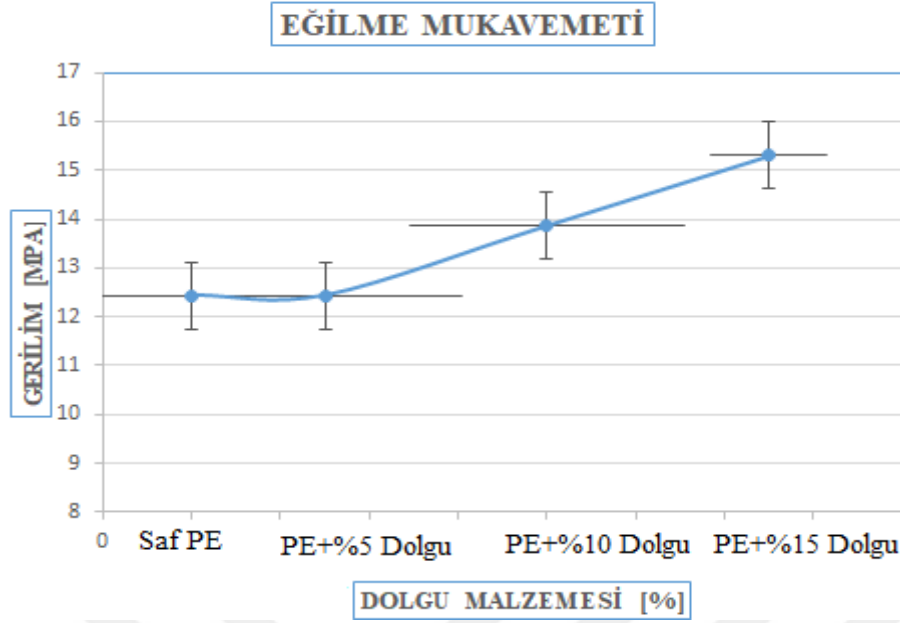
Numunelerin standart sapma aralığı en fazla %5 muz lifi katkılı malzemede ve ikinci olarak %15 muz lifi katkılı malzemelerde olduğu görünmektedir. Standart sapma aralığının oldukça yüksek çıkmasının sebebini polietilen ile doğal muz lifi malzemesinin yeterince homojen bir karışım sağlamaması ve numunelerin içerisinde oluşan hava boşluklarına bağlayabiliriz. Çekme testine ait gerilme-gerinim grafikleri ve diğer değerler ekler kısmında verilmiştir.

6.3. Eğilme Mukavemeti Sonuçları

Doğal muz lifi dolgu malzemesi takviyeli polietilen numunelerin üç nokta eğilme mukavemeti sonuçları standart sapma değerleri ile birlikte Tablo 6.3’de gösterilmiş olup çıkan verilerin değişim grafiği ise Şekil 6.2’ de görülmektedir.

Tablo 6.3. Polietilen üç nokta eğilme mukavemeti değerleri

Sayı	AYPE saf	AYPE+ %5 Dolgu	AYPE+ %10 Dolgu	AYPE+ %15 Dolgu	
1	11,9	9,5	14,3	14,3	
2	16,7	9,5	9,5	16,7	
3	9,5	16,7	16,7	14,3	
4	14,3	11,9	16,7	16,7	
5	9,5	14,3	11,9	14,3	
Ortalama		12,4	12,4	13,8	15,3
Standart Sapma		3,1	3,1	3,1	1,3

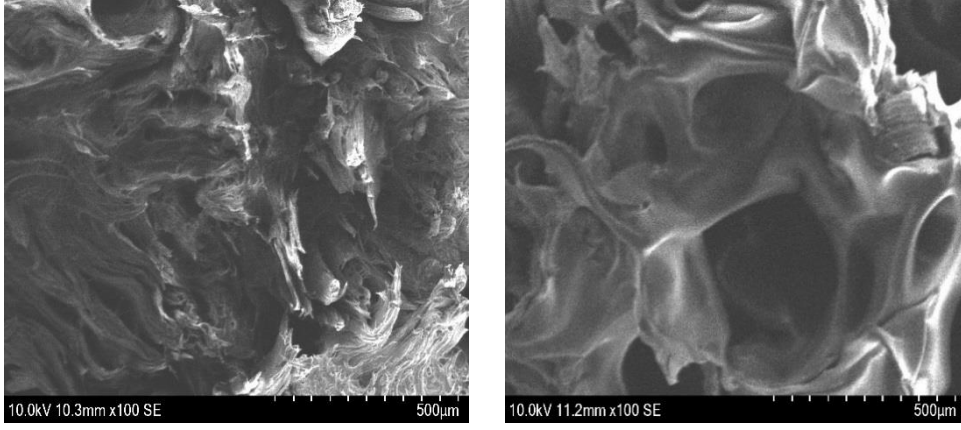


Şekil 6.2. Muz lifi takviyeli polietilenin üç nokta mukavemeti değişim grafiği

Şekil 6.2'deki grafiğe göre, numunelerin eğilme mukavemetleri çekme gerilmesine nazaran artan doğal katkı miktarı ile birlikte artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Yukarıda elde edilen sonuçlara göre doğal muz lifi katkı maddesi içermeyen polietilen numuneler ile ağırlıkça %5 muz lifi içeren polietilen numunelerin eğilme mukavemet değerlerinin aynı çıktığı görülmüş ve ortalama olarak 12.4 MPa tespit edilmiştir. Ağırlıkça %10 muz lifi içeren polietilen numunelerin üç nokta eğilme mukavemet değeri ortalama 13.8 MPa ve ağırlıkça %15 muz lifi içeren polietilen numunelerin üç nokta eğilme mukavemet değeri ise ortalama 15.3 MPa değerine ulaşmıştır. Üç nokta eğilme testine ait diğer bütün sonuçlar ekler kısmında verilmiştir

6.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

Munzur Üniversitesi Metalurji Malzeme Bölümü laboratuvarında HITACHI SU 3500 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak numunelerin kesit görüntüleri incelenmiştir. Bu sonuçlarına göre Resim 6.1 ile Resim 6.2'deki görüntüler elde edilmiştir.

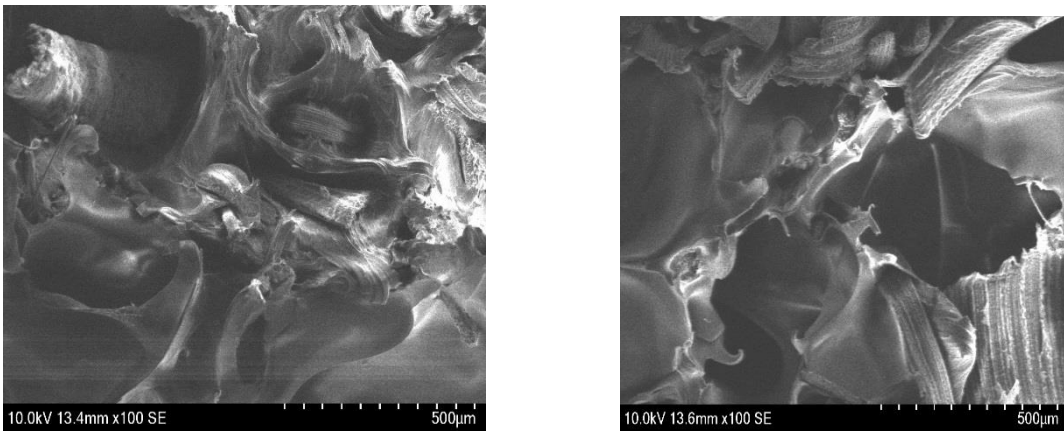


(a) %5 muz lifi takviyeli numune kesiti (b) %15 muz lifi takviyeli numune kesiti

Resim 6.1. Numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri

Resim 6.1.(a)'da ağırlıkça %5 muz lifi takviyeli numuneye kesit görüntüsü (b) de ağırlıkça %15 muz lifi takviyeli deney numunesinin kesit görüntüsü yer almaktadır. Her iki resimde organik muz lifinin polietilene nüfus ettiği görülmektedir. Lifli yapı ağırlıkça %5 dolgu takviyeli numuneye ait kesit görüntüsünde net olarak görülmektedir. Fakat ağırlıkça %15 dolgu içeren numunenin kırılması işleminde kesitin plastik deformasyona uğradığı kesit yüzeyinin bozulduğu anlaşılmaktadır.

Resim 6.2'de ağırlıkça %5 ile %15 organik muz lifi katkılı polietilen numunelerinin çekme deneyi sonucu kopan kesitlerinden alınan elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Kopan kesitte dolgu matris malzemenin bağlanma mekanizmasının çok güçlü olmadığı ve aralarında boşluklu yapının olduğu görülmektedir.

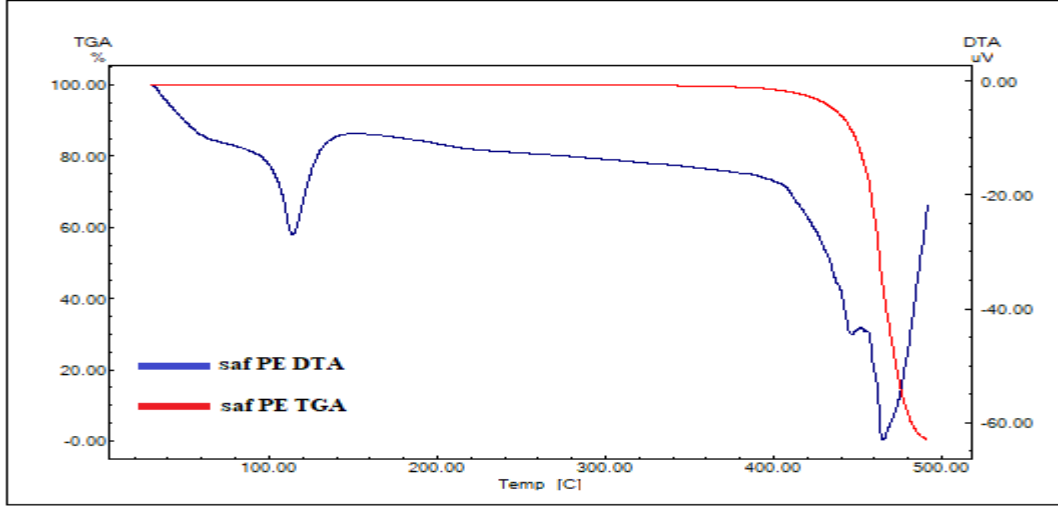


(a) %5 muz lifi takviyeli çekme numune kesiti (b) %15 muz lifi takviyeli çekme numune kesiti

Resim 6.2. Çekme deneyi sonucunda kopan kesitlerin elektron mikroskobu görüntüleri

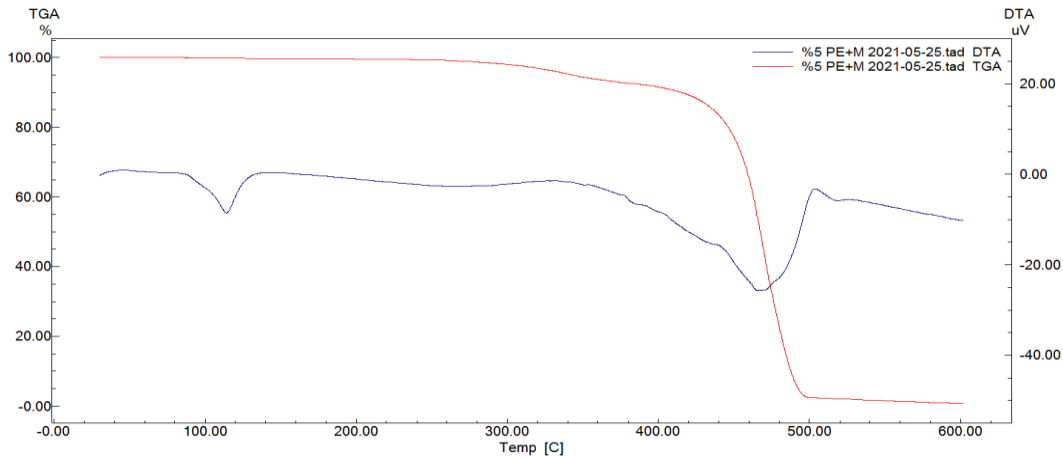
6.5. Termogravimetrik (TGA/ DTA) Sonuçları

Saf polietilen ve ağırlıkça %5 ve %15 dolgu takviyeli polietilen numunelerde sıcaklık artışına bağlı olarak meydana gelen kütle kayıplarına ait grafikler aşağıda verilmiştir.



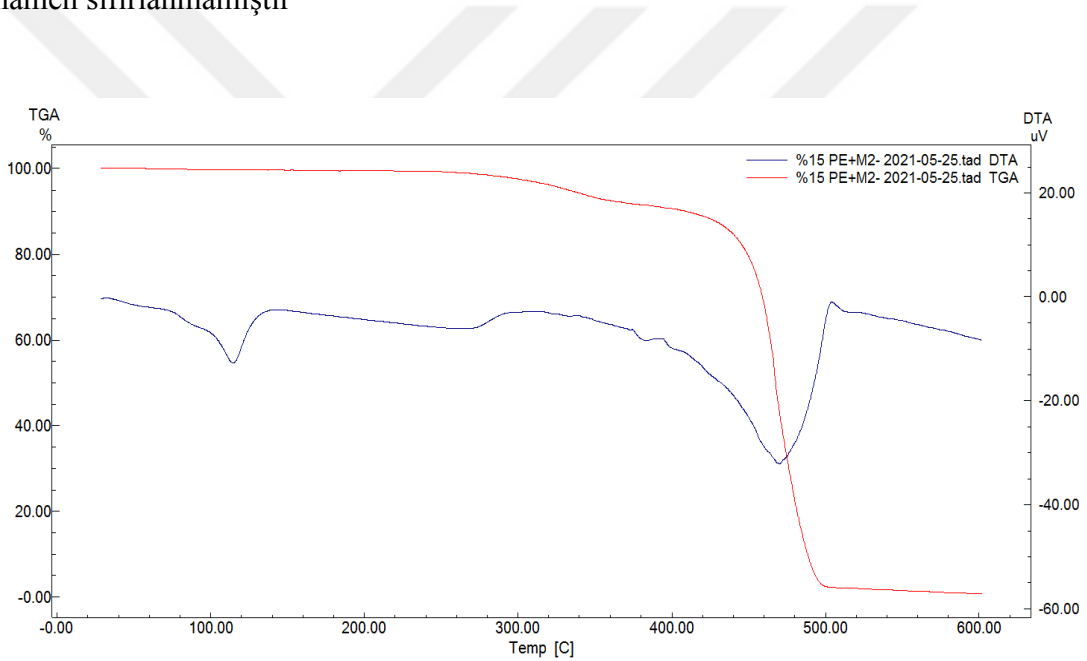
Şekil 6.3. Alçak yoğunluklu saf polietilenin TGA/DTA değişim grafiği

Şekil 6.3’de saf polietilenin oda sıcaklığı ile 500 °C arasında ki kütle kayıpları görülmektedir. Grafikteki DTA eğrisinden malzemenin faz değiştirdiği ve yaklaşık 110 °C bir endotermik pik yaparak eriyik hale geldiği görülmektedir. Malzemede yaklaşık olarak 400 °C’ye kadar herhangi bir değişim olmamıştır. Eriyik haldeki saf polietilen 400 °C’nin üzerinde ortamdan ısı çekerek yanmaya başlamıştır. Yaklaşık olarak 500 °C’de malzeme tamamen yanarak buharlaşmış ve kütlesi sıfırlanmıştır.



Şekil 6.4. %5 muz lifi katkılı polietilenin TGA/DTA değişim grafiği

Şekil 6.4’de %5 dolgu takviyeli polietilenin numuneye ait TGA/DTA grafiği görünmektedir. Saf polietilende olduğu gibi burada da malzeme yaklaşık olarak 110 C’de bir endotermik pik yaparak viskoz hale gelmiştir. Devam eden ısı artışına bağlı olarak yaklaşık 360 °C ila 380 °C’de küçük bir endotermik pik görülmekte olup bu an itibari ile polietilen içerisinde ki dolgu yani muz liflerinin yanmaya başladığı sıcaklık olarak değerlendirilmektedir. Literatürde de benzer şekilde muz liflerinin 340 ila 360 °C sıcaklık aralığında faz değiştirdiği bilinmektedir. Saf polietilende olduğu gibi burada da polietilen matris 400 C’nin üzerinde yanmaya başlamıştır. Yanma işlemi neticesinde polietilen tamamen buharlaşarak ortamdaki uzaklaşırken muz lifinin bir miktar külü kalmış ve kütle tamamen sıfırlanmamıştır



Şekil 6.5. %15 muz lifi katkıli polietilenin TGA/DTA değişimi grafiği

Şekil 6.5’de ağırlıkça %15 dolgu takviyeli polietilen numuneye ait TGA/DTA grafiği görünmektedir. Hem saf polietilen hem de ağırlıkça %5 dolgu takviyeli polietilen numunelerde olduğu gibi burada da polietilenin yaklaşık olarak 110 °C’de faz değiştirerek pik yaptığı görülmektedir. Burada da dolgu maddesinin yaklaşık olarak 360 C’de ve polietilenin 400 C’nin üzerinde yanmaya başladığı tespit edilmiştir. Yanma neticesinde kütle tamamen sıfırlanmamış olup çok az miktarda da olsa kül oluşmuştur.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu çalışmamda doğal muz lifi dolgu maddesini poliolefinler grubundan alçak yoğunluklu polietilen ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında karıştırılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Benzer çalışmalar polipropilen ile de yapılmak istenmesine rağmen polipropilen ile muz lifi karışımlarının eriyik akış analizleri (MFI) gerçekleştirilemediği için vaz geçilmiştir. Eriyik akış analizlerinin gerçekleştirilememesi karışımların viskoz hale gelemediğini yani bu karışımların ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon ile üretimlerinin yapılamayacağını bir göstergesidir. Polietilen ve muz lifi takviyeli numunelere ait analiz sonuçları şu şekildedir;

- Poliolefinler grubunun en temel iki üyesi olan polietilen ve polipropilenin muz lifi katkısı viskoz davranışlarında ki değişimler eriyik akış indeksi ile tespit edilmiştir. Yapılan bu analizler neticesinde polipropilenin akışkanlığının ciddi anlamda olumsuz etkilendiği belirlenmiş olup muz lifi takviyesi neticesinde polipropilende akış gözlemlenmemiş karışım cihazın içinde akmadan kalmıştır. Polietilende ise viskoz yapı elde edilmiş olup artan dolgu miktarıyla polietilenin akışkanlığı azalmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon ile kalıplama aşamaları için önemli referanslar olmuştur.
- Ağırlıkça %5, %10 ve %15 muz lifi dolgu takviyeli polietilen numunelerin çekme mukavemetlerinde çok radikal olmamakla birlikte bir miktar azalma meydana gelmiştir.. Bu azalma nedeni olarak, malzemenin kopan kesit parçalarında gözlemlenen matris ve dolgu maddesi arasındaki hava boşlukları olduğunu söyleyebiliriz. Numune genel olarak zayıf olan bu bölgelerden kopmuşlardır.
- Numunelerin üç nokta eğilme mukavemeti ise çekme gerilmesinin aksine artan dolgu miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Numunenin asal eksenine dik doğrultuda uygulanan kuvvet neticesinde parçaya iletilen enerjinin parçayı terk edebilmesi için bağlayıcı ve dayanıklı bir dolgu olan muz lifi taneciklerini ya kırması ya da etrafından akarak numuneyi terk etmesi gerekmektedir. Bu nedenle saf malzemeye göre dolgu takviyelilerde kuvvet neticesinde oluşan enerjinin numuneyi terk etmesi daha zor olmakta ve bu da numunelerin düşey yüklemelere karşı dayanımlarını arttırmaktadır.

- Matris malzemesi ile dolgu malzemelerin, elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde matris malzeme ile dolgu maddesi arasında bağlanma mekanizmasının yeterince oluşmadı yani aralarında boşlukların olduğu görülmektedir.
- Gerçekleştirilen TGA/DTA analizleri ise dolgu takviyeli polietilen numunelerinin sıcaklık artışı neticesinde kütlelerinin sıfırlanmadığını göstermiştir. Dolayısıyla muz lifi yanma neticesinde geriye bir miktar kül bırakmıştır.

Öneriler;

- Çok daha homojen karışım elde edilebilmesi için tek vida ekstrüder yerine çift vida ekstrüder kullanılabilir.
- Matris ile dolgu maddesinin bağlanma mekanizmasının iyileştirilebilmesi için bağlayıcı özelliklere sahip aditifler kullanılabilir. Bunlar termoplastik elastomerler olabilir (Geniomer, Elastolan).
- Benzer şekilde matris ile dolgu arasında ki bağlanma mekanizmasını iyileştirme ve dolayısıyla numunelerin mekanik özelliklerini arttırabilmek için numuneler gama ışımaya maruz bırakılabilirler. Gama ışınması ile matris malzeme kısmen bozuluma uğrayacak ve dolgu maddesi ile fiziksel teması artabilecektir.

8. KAYNAKLAR

- Akkurt, S.**, 1991. Plastik malzeme bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 7s.
- Akyüz, Ö.F.**, 1999. Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş. PAGEV yayınları, İstanbul, (41-55, 59-89, 102-106)
- Askeland, D.R.**, 1994. *The science and engineering of materials*, PWS Publishing company, Toronto
- Cristian, H.**, 2017. W. Michaeli, einföhrung in die kunststoffverarbeitung, verarbeitungsverfahren für die kunststoffe, Carl hanser verlag, München
- Gächter, R ., Müller, H.**, 1987. Plastics additives, 2nd edition, hanser publishers, Munich.
- Groover, M. P.**, 2002. Fundamentals of modern manufacturing , John wiley & Sons, Inc. , second edition
- Kayalı, E.S., Ensari, C.**, 1996. Metalik Malzemelerin Mekanik deneyleri, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, ofset atölyesi, İstanbul
- Kundu, 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.
- Maraşoğlu, M.**, 1986. Plastik malzemeler, arpaş matbaacılık, İstanbul.
- Mazumdar, S.K.**, 2001. Composites manufacturing, materials, product and process engineering, crc press.
- Megep.**, 2006. Temel plastik enjeksiyon kalıpları 1. Makine teknolojisi, Ankara, 1-4s.
- Ravve, A.**, 2012. Principles of polymer chemistry, third ed., Springer, New York.
- Saçak, M.**, 1998. Polimer kimyasına giriş, A.Ü.F.F. döner sermaye işletmesi yayınları, No:50 Ankara
- Saçak, M.**, 2006. Polimer kimyası. 3. Baskı, *Gazi kitapevi*, Ankara, 33-35s.
- Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., Akovalı, G.**, 1998. Plastikler ve plastik teknolojisi. Çantay kitabevi, İstanbul, 1-25: 199-203s.
- Schwartz M.**, 1992. “*Composite materials handbook*” second edition, Mcraw- hill internation editions, USA, chapter 1(1.1-1.35), chapter 2(2.53),
- Türk Standardı, TS 1323**, 1995. “Plastikler-Termoplastikler - kütleşel erime akış hızı (MFR) ve hacimsel erime akış hızı (MVR)’nın tayini”

- Tripathi, D.**, 2002. Practical guide to polypropylene, first edition, rapra technology limited, 211-234, ISBN 1-85967-282-0.
- Turaçlı, H.**, 1999. “Enjeksiyon hataları ve çözümleri” , PAGEV yayınları, İstanbul, 2. baskı, (9-15) (55-69, 72-173) (34-38) (7-83)
- Turaçlı, H.**, 2003. “Ekstrüzyon teknolojisine giriş” , PAGEV yayınları, İstanbul, 2.baskı, (7-83)
- URL-1**, 2006. <https://tekstilbilgi.net/ban-muz-lifi.html>, Türkiye tekstil bilgi kaynağı. 4 Şubat 2021
- URL-2**, 2016. <https://tekstilbilgi.net/filament-iplik-uretimi.html>, Türkiye tekstil bilgi kaynağı 25 Nisan 2021
- URL-3**, 2016. <http://fforklift.blogspot.com/2016/12/polimerlerde-cams-gecis-scaklg-tg-ve.html> ,termoplastiklerin morfolojiye göre çeşitleri 22 Aralık 2020
- URL-4**, 2018. <https://pagev.org/poliiolefinler>, PAGEV Türk plastik sanayicileri araştırma geliştirme ve eğitim vakfı 5 Şubat 2021
- URL-5**, 2008. <https://www.vestagrup.com/tr/urunler/hdpe-sistemler-tr>, Polietilen türü plastik boru türleri 5 Mayıs 2021
- URL-6**, 1991. <https://artmer.beun.edu.tr/termogravimetrik-ve-diferansiyel-termal-analiz-cihaz-tga-dta.html>_Termogrametrik ve diferansiyel termal analiz yöntemi 25 Mart 2021
- URL-7**, 2006. http://www.b2bpolymers.com/TDS/Petkim_I22-19T.pdf, Petkim Petrokimya Holding A.Ş Özel PolietilenI22-19T Tablo verileri. 13 Nisan 2021
- Vasile, C.**, 2000. Handbook of polyolefins, second edition, Marcel – Dekker Inc., 211-234, ISBN 0-8247-8603-3.
- Vasile, C., Pascu, M.**, 2005. Practical guide to polyethylene, first edition, rapra technology limited, 211-234, ISBN 1-85957-493-9.
- Wypych., George.**, 2000. Handbook of fillers 2nd edition, chemtec publishing, New York,
- Yaşar, H.**, 2001. “Plastikler dünyası”, MMO yayınları, Ankara, 2. baskı,
- Zhang, J.Z.**, 2009. Optical properties and spectroscopy of nanomaterials.