KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİETİLEN VE TERMOPLASTİK NİŞASTA KARIŞIMLARINA FARKLI UYUMLAŞTIRICILARIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

BARIŞ ÖNER

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİETİLEN VE TERMOPLASTİK NİŞASTA KARISIMLARINA FARKLI UYUMLAŞTIRICILARIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Barış Öner

Doç. Dr. Ayşe Aytaç
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kodal
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Serkan Emik
Jüri Üyesi, İstanbul Universitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 10.07.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Geri dönüştürülmüş polietilen ve termoplastik nişasta karışımlarına farklı uyumlaştırıcıların etkilerinin incelenmesi” isimli bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışma doğa dostu iki üretim şekli olan geri dönüşüm ve biyobozunurluğu bir araya getirip çöp poşeti olarak kullanılabilir bir malzeme reçetesi geliştirmeyi amaçlamıştır.

Öncelikle Yüksek Lisans Danışmanım Doç. Dr. Ayşe AYTAÇ’a eşsiz kişiliği, tükenmeyen sabrı ve mükemmel akademik desteğiyle bana bu çalışmayı yapmamı sağladığı için teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın yapılmasına verdiği destekten ötürü teknik müdürüm Dr. Tolga Gökkurt’a çok teşekkür ederim. Kendisini akıl hocam olarak adlandırmaktan onur duymakla birlikte, beraber çalıştığımız süre içerisinde bana verdiği bilgilerin bundan sonrası içinde bana yol göstermeye devam edeceğini bildiğim için mutluluk duymaktayım.

Son olarak bana bu güne kadar desteklerini hiç esirgememiş olan ve desteklemeye devam eden canım aileme çok teşekkür ederim.

Temmuz – 2018 Barış ÖNER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
GİRİŞ 1
1.GENEL BİLGİLER 3
1.1.Polimerlerin Geri Kazanımı 3
1.1.1. Atık yönetimi 3
1.1.2. Avrupa birliğinde atık yönetimi 5
1.1.3. Atık yönetimi yöntemleri 8
1.1.4. Geri dönüşüm adımları ve plastik atıklar 10
1.1.5. Türkiye de polietilen kullanımı 14
1.1.6. Plastiklerin geri dönüşümü / işleme 16
1.2.Biyobozunurluk 20
1.2.1. Biyobozunma 21
2.TEORİK BİLGİ 23
2.1.Termoplastik Nişasta 23
2.2.Polietilen 24
2.3.TPN/PE Karışımları 25
2.4.Uyumluluk ve Uyumlaştırıcılar 26
2.4.1. Uyumlaştırıcılar 26
2.5.Kullanılan Üretim Teknikleri 27
2.5.1. Ektrüzyon 27
2.5.1. Enjeksiyon kalıplama 28
2.6.Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri 29
2.6.1. Diferansiyel taramalı spektrometre (DSC) 29
2.6.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) 30
2.6.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 30
2.6.4. Çekme deneyi 31
2.6.5. Darbe deneyi 32
2.7.Literatür Araştırması 34
3.MALZEME VE YÖNTEM 38
3.1.Malzemeler 38
3.2.Yöntem 39
3.2.1. Numune hazırlama 39
3.2.2. Numunelerin adlandırılması 40
3.2.2. Örneklerin üretilmesi(Ekstrüzyon) 41
3.2.2. Karakterizasyon 42
4.BULGULAR VE TARTIŞMA 47
4.1.En Uygun TPS Miktarının Belirlenmesi 47
4.2.Uyumlaştırıcı türlerinin çekme dayanımına etkisi 50
4.3.Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) 53

4.4.Termal özelliklerin incelenmesi 52
4.5.Moleküler yapının incelenmesi 53
4.6.Reometre ile kompleks viskozite analizi 53
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 55
KAYNAKLAR 57
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 61
ÖZGEÇMİŞ 62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Avrupa Birliği 2005-2015 arası kişi başına düşen evsel atık miktarlarındaki değişimler 7
Şekil 1.2. Geri dönüşüm adımları 10
Şekil 1.3. Plastik atıklar 12
Şekil 1.4. 2011-2016 yılları arasında polietilen türlerine bağlı olarak ortalama kullanım oranları 15
Şekil 1.5. Üretim yöntemlerine göre polietilen kullanımları 15
Şekil 1.6. Plastik atıkların kullanım süreci 18
Şekil 1.7. Geri dönüşüm tesisi üretim hattı 20
Şekil 2.1. Nişastanın plastikleştirilmesi işlemi 24
Şekil 2.2. Ektrüzyon makinasının bölümleri 27
Şekil 2.3. Vidaların dönüş yönleri ve malzeme üzerine etkileri 28
Şekil 2.4. Enjeksiyon makinasının çalışma aşamaları 28
Şekil 2.5. DSC cihazı şematik gösterimi 28
Şekil 2.6. SEM cihazı mekanizması 33
Şekil 2.7. Gerilim-gerinme grafiği 33
Şekil 2.8. Çentikli izod darbe deneyi 33
Şekil 2.9. Çentikli charpy darbe deneyi 33
Şekil 3.1. Örnek gruplarının kodlanması 40
Şekil 3.2. Po-Ex ektrüzyon makinası 41
Şekil 3.3. Arburg enjeksiyon makinası 42
Şekil 3.4. TA DSC test cihazı 43
Şekil 3.5. Bruker alpha FTIR test cihazı 44
Şekil 3.6. Lloyd universal test cihazı 45
Şekil 3.7. Ceast darbe test cihazı ve çentik açma makinesi 46
Şekil 4.1. Artan TPS miktarlarına göre kopma dayanımı grafiği 48
Şekil 4.2. Artan TPS miktarlarının incelendiği kopmada uzama grafiği 49
Şekil 4.3. Artan TPS miktarlarının incelendiği darbe dayanımı grafiği 50
Şekil 4.4. Farklı uyumlaştırıcı türlerinin denendiği çekme dayanımı grafiği 51
Şekil 4.5. Farklı uyumlaştırıcı türlerinin denendiği kopmada uzama grafiği 52
Şekil 4.6. Farklı uyumlaştırıcı türlerinin denendiği darbe dayanımı grafiği 53
Şekil 4.7. SEM fotoğrafları 54
Şekil 4.8. FTIR spektrumları 55

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Bazı Avrupa Birliği ülkelerinin ve Türkiye'nin 1995-2015 kişi başı oluşan evsel atık verileri 7
Tablo 1.2. Petkim polietilen üretimi (1000 Ton) ve toplam PE içindeki yüzdeleri 14
Tablo 1.3. Biyobozunur polimer çeşitleri ve özellikleri 22
Tablo 3.1 Malzeme listesi 38
Tablo 3.2. Artan TPN oranları ve PEgMAH ile hazırlanan karışım oranları 39
Tablo 3.2. Farklı uyumlaştırıcıların etkisinin incelenmesi için hazırlanan karışım oranları 38
Tablo 4.1. DSC sonuçları 54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

d	: density (yoğunluk), (g/cm³)
Tc	: Kristallenme sıcaklığı, (°C)
Tm	: Erime sıcaklığı, (°C)
Tg	: Camsı geçiş sıcaklığı, (°C)
ΔHc	: Kristalizasyon entalpisi, (J/g)
ΔHf	: Saf polimer için erime entalpisi, (J/g)
ΔHm	: Erime entalpisi, (J/g)
% Xc	: Kristalinite değeri, (%)

Kısaltmalar

DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
EAA	: Etilen Akrilik Asit Kopolimeri
EPMgMAH	: Maleik Aşılı Etilen Propilen Monomeri
EVOH	: Polietilen-co-Vinil Alkol
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
ISO	: International Organization for Standardization
LDPE	: Low Density Polyetylene
MAH	: Maleik Anhidrat
MAH-g-EPM	: Maleic Anhydride Grafted Etylene Propylene Monomer
MAH-g-PE	: Maleic Anhydride Grafted Low Density Polyethylene
MFI	: Erime Akış İndeksi/Melt Flow İndex
NIR	: Yakın Kızılötesi Algılama
PA	: Poliamid
PEgMAH	: Maleik Anhidrit Aşılı Polietlilen
PEMAH	: Etilen Maleik Anhidrit Kopolimeri
PET	: Poli(Etilen Teraftalat)
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
POM	: Polioksi Metilen
PVC	: Polivinil Klorür
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TPN	: Termoplastik Nişasta
TPS	: Thermoplastic Starch (Termoplastik Nişasta)
XRD	: X Işını Klistografisi

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ POLİETİLEN VE TERMOPLASTİK NİŞASTA KARISIMLARINA FARKLI UYUMLAŞTIRICILARIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Son yıllarda artan plastik kullanımı ve bu kullanım sonucunda oluşan aşırı plastik atık miktarları, hem endüstriyel hem de akademik alanda bu atıkların azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılmasını gerektirmiştir. Atık problemini azaltmak için petrol bazlı polimerlerin kullanımının azaltılıp, yerine biyobozunur polimerlerin kullanımını sağlamaya yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Çöp poşetleri doğada diğer atıklara karışmış halde bulunurlar ve ayıklanmaları tehlikeli, kirli ve geri kazanımı düşüktür. Bu nedenle, amacı atıkları tutmak olan ve doğaya atıldığında toplanması zor olan bu malzemenin saf polimer yerine geri kazanılmış ve biyobozunurluk özelliği sağlanmış bir malzemeden yapılması hem doğa hem de üreticinin maliyetini düşürmesi açısından uygun görülmüş ve bu tezin nihai amacı olarak düşünülmüştür. Çalışma kapsamında ülkemizde üretimi yapılabilen termoplastik nişasta(TPN) biyobozunur malzeme, ana matris olarak da geri dönüştürülmüş alçak yoğunluklu polietilen(LDPE) seçilmiştir. Literatür incelendiğinde LDPE/TPN karışımlarının uyumsuz oldukları ve bu uyumsuzluğu gidermek için farklı uyumlaştırıcıların etkilerinin incelendiği görülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında da üç farklı uyumlaştırıcının LDPE/TPN karışımları üzerine etkileri incelenmiştir. Bunun için maleik anhidrit aşılı polietilen(PEgMAH), polietilen maleik anhidrit kopolimeri (PEMAH) ve maleik aşılanmış etilen propilen monomeri (EPMgMAH) uyumlaştırıcı olarak seçilmiştir. Karışımların, çekme ve darbe testleri ile mekanik özellikleri, FTIR ile kimyasal etkileşimi, DSC ile ısıl özellikleri. Reometre ile viskozite değişimi ve SEM analizleri ile de uyumlaştırıcıların karışım içinde dağılımı incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde PEgMAH ve EPMgMAH'ın LDPE/TPN karışımı için uyumlaştırıcı olarak kullanılabileceği ve karışımın kopmada uzama değerlerini iyileştirdiği görülmüştür. Sonuç olarak geri kazanılmış polietilen ve termoplastik nişasta karışımlarından uyumlaştırıcı kullanılarak biyobozunur çöp poşeti üretiminde kullanılabilecek bir karışım elde edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyobozunurluk, Geri dönüşüm, Polietilen, Termoplastik Nişasta, Uyumluluk.

STUDIES ON COMPATIBILIZATION OF RECYCLED POLYETHYLENE/ THERMOPLASTIC STARCH BLENDS BY USING DIFFERENT COMPATIBILIZERS

ABSTRACT

In recent years plastic usage increased globally and various academic research conducted to tackle increasing waste problem. In order to decrease this waste problem, researchers focused on the usage of biodegradable polymers instead of the oil based polymers. Biodegradable polymers can degrade in a short time and can rejoin the life cycle of the earth. But, they cannot be used by themselves, in order to use them, they must be mixed with oil-based polymers. The blends are often not compatible with each other. They need a compatibilizer to reach desired properties. Garbage bag wastes are hard to collect, sometimes toxic and don't have enough value. Producing garbage bags with recycled biopolymers supports low cost and environment materials. For this study, thermoplastic starch is chosen as biodegradable polymer and low density polyethylene as main matrix. TPS/LDPE blends are immiscible. Three different compatibilizer was chosen for this study: maleic anhydride grafted ethylene propylene monomer (MAH-g-EPM), maleic anhydride grafted low density polyethylene (MAH-g-LDPE), polyethylene maleic anhydride copolymer(PEMAH). Mechanical, rheological and structural properties of the blends were tested. When the results are examined, it can be seen that PEgMAH and EPMgMAH can be used as compatibilizer for the LDPE/TPN blends. Besides, it was seen that the elongation at break values of the blends were improved by this type compatibilisers. As a result, a blend can be obtained which can be used in the production of biodegradable garbage bags by using a compatibilizer from a mixture of recycled polyethylene and thermoplastic starch.

Keywords: Biodegradable, Recycling, Polyetylene, Thermoplastic Starch, TPS, Compatibility**.**

GİRİŞ

Son yıllarda, artan plastik kullanımı doğaya karışan ve kolay bozunmayan atık miktarını oldukça fazla artırmıştır. Bu artış sonucu ortaya çıkan atıklar, çevreyi ciddi oranda kirletmekte, insan ve hayvan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Artan atık oranını azaltabilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin içerisinde en etkili olarak kabul edilen geri dönüşüm tekniği ile milyonlarca ton atık geri dönüştürülmekte ve tekrardan kullanıma kazandırılmaktadır. Diğer bir yöntem ise petrol temelli polimerlerin kullanımının azaltılıp yerlerine doğaya zararsız ve kolay şekilde karışabilecek biyobozunur polimerlerin kullanımıdır.

Geri dönüşüm yöntemleri hem ekonomik oluşu hem de istihdam olanağı sağladığı için farklı ülkeler tarafından desteklenmekte ve teşvik edilmektedir. Geri dönüşüm ile elde edilen son ürünlerin kalitesi, kullanılan atık kalitesine ve işleme tekniklerine göre değişmekle birlikte birinci kalite polimerlere yakın özellikler elde edilebilmektedirler. Bu konuda, toplanan atıkların doğru yöntemler ile ayrıştırılmaları ve konusunda uzman çalışanlar tarafından işlenmeleri önem arz etmektedir.

Biyobozunur polimerler yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklardan elde edilirler. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen polimerler hem ekonomik oluşları hem de petrole bağımlılığı azalttıkları için tercih edilmektedirler.

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında öncelikle artan oranlarda termoplastik nişasta, geri dönüştürülmüş polietilen yapısına eklenmiş ve en uygun termoplastik nişasta oranı tayin edilmiştir. Daha sonrada seçilen karışıma üç farklı uyumlaştırıcı eklenerek, uyumlaştırıcı etkisi incelenmiştir. Örnekler, ektrüzyon yöntemiyle elde edilmiş ve enjeksiyon kalıplama yöntemiyle kalıplanmıştır. Üretilen örneklere, ısıl, reolojik, mekanik, morfolojik ve yapısal testler uygulanarak örnekler karakterize edilmiştir.

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde atık yönetimi ve biyobozunurluk hakkında temel bilgiler verilmiştir.

Geri dönüşümün nasıl yapıldığı çeşitleri ve biyobozunur polimerler ile ilgili bilgiler bu kısımda anlatılmıştır. İkinci bölümde kullanılan malzemeler, üretim ve test yöntemleri tanıtılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan malzemelerin elde edildiği firmalar ve tez aşamasında kullanılan yöntemlerin çalışma koşulları verilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu tezin amacı evsel atıklardan ayrıştırılması zor olan ve genellikle tüm atıklarla birlikte yere gömülen çöp poşetlerinin geri dönüştürülmüş polietilen ve termoplastik nişasta'dan oluşan bir karışım ile üretilmesini sağlayabilmek için en uygun reçeteyi geliştirebilmektir. Bu amaçla geri dönüştürülmüş polietilen ve termoplastik nişasta arasında oluşan uyumsuzluğu giderebilmek için karışıma üç farklı uyumlaştırıcı eklenmiş ve mekanik, ısıl, morfolojik, yapısal ve reolojik testler uygulanarak örnekler karakterize edilmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Polimerlerin Geri Kazanımı

1.1.1. Atık yönetimi

Son zamanlarda gelişen teknolojik ürünlerin kullanımı ile birlikte günlük yaşantımızda çok miktarda evsel atık ortaya çıkmaktadır. Evsel atıklar, zehir içermeyen, endüstriyel, madensel ve kanalizasyon atıklarını içermeyen atıklar olarak tanımlanabilir. Bu evsel atıkların yönetimi için aşağıda verilen konular detaylı olarak ele alınmalıdır;

- Evlerde geri dönüşüm bilinci yaratılarak, çöp olarak görülen bazı malzemelere farklı gözle yaklaşılması,
- Başkaları tarafından değerli bir malzeme olarak görülen ve bizlerin çöp olarak kabul ettiği, bazı atıkların farkına varılması ve çöplerden ayıklanması,
- Bir malzeme çöpe ayrılmadan önce kullanım ömrünün artırılması ya da farklı bir yolla kullanımının sağlanması,
- Daha iyi tasarımlar ile aşırı malzeme kullanımını azaltarak çöpe giden malzeme miktarının azaltılması [1],

Atık yönetiminin temelini "atık yönetimi hiyerarşisi" ve "üretici sorumluluğu" ilkeleri oluşturmaktadır. Atık yönetimi hiyerarşik sıralamasında birincil önceliği, atıkların üretim aşamasında önlenmesi, atık miktarının ve tehlikelilik düzeyinin azaltılması oluşturmaktadır. Atıkların yeniden kullanım, geri dönüşüm ve enerji elde edilmesi yoluyla geri kazanılması ikinci sırada, geri kazanım olanağı olmayan atıkların çevreye zarar verilmeksizin yakılması ya da güvenli depolanması da son sırada tercih edilmelidir. Geri kazanım, oluşumu kaynakta önlenemeyen veya yeniden kullanılamayan atıklara uygulanan bir yöntemdir. Atık yönetimi hiyerarşisi; atık önleme ve yönetimine ilişkin mevzuat ve politikalarda şu şekilde ifade edilmektedir:

- Önleme
- Yeniden kullanım
- Geri dönüşüm
- Geri kazanım (Kompost üretimi, enerji kazanımı gibi)
- Bertaraf (Depolama/Yakma) [1].

Şemsiye bir kavram olan atık yönetiminin yukarıda sayılan bileşenlerinden sadece biri olan geri dönüşüm, yarattığı ekonomik etkileri ile ön plana çıkmaktadır. Geri dönüşüm konusunda diğer önemli bir kavram ise üretici sorumluluğu ilkesidir ve bu kavram atıklardan kaynaklanan her tür maliyetin atık üreticileri (üretici, tüketici gibi) tarafından karşılanmasını öngörmektedir. Bu yaklaşım "kirleten öder" prensibinin bir yansımasıdır. Atık yönetimine ilişkin diğer ilkelerden bazıları ise kendine yeterlilik, uygun teknolojilerin seçilmesi ve kullanılması ve atıkların kaynağına mümkün olan en yakın alanda bertaraf edilmesidir. 12 gelişmiş ülke uygulamalarına bakıldığında, atıkların %35-45 civarındaki kısmı hariç, kalan kısmının tümüyle geri dönüştürülerek ekonomiye kazandırıldığı görülmektedir. Örneğin, ülkemizle paralel olarak AB'de hammadde ihtiyacının artışı ve AB'nin hammadde ithalat bağımlılığı göz önüne alındığında geri dönüşümün rolü daha çok ön plana çıkmaktadır. Avrupa ekonomisi yüksek düzeyde kaynak tüketimine dayanmakta olup 2020'ye yönelik tahminler AB'de kaynak kullanımının artmaya devam edeceğini göstermektedir. Avrupa'nın kaynak tüketimini belirleyen başlıca unsurlar ekonomik büyüme, teknolojik gelişmeler ve değişen tüketim ve üretim alışkanlıklarıdır. AB'de kullanılan kaynakların yaklaşık üçte biri atığa ve emisyona dönüşmektedir. Kaynak kullanımı dünyanın diğer bölgelerinde de artmaya devam etmektedir. Bu durum ürün ve hizmet tüketiminin artmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek kaynak tüketimi dünyanın tüm bölgelerinde çevre üzerinde baskı oluşturmaktadır. Bu baskılar arasında yenilenebilir olmayan kaynakların tükenmesi, yenilenebilir kaynakların yoğun kullanımı, ulaşım ve madencilik faaliyetlerine bağlı olarak su, hava ve toprağa yüksek emisyon yayılması ve ekosistemleri negatif etkileyen yüksek atık üretimi bulunmaktadır. Geri dönüştürülmüş maddelerin hammadde ihtiyacının tamamını karşılaması ve hammadde talebini çözmesi mümkün değildir. Fakat gelişen geri dönüşüm pazarı ve ekonomik ve çevresel etkileri göz önüne alındığında geri dönüşümün yeşil ekonomide önemli bir rol oynadığı ortaya çıkmaktadır. Geri dönüşümün yeşil ekonomideki yeri ve AB'nin

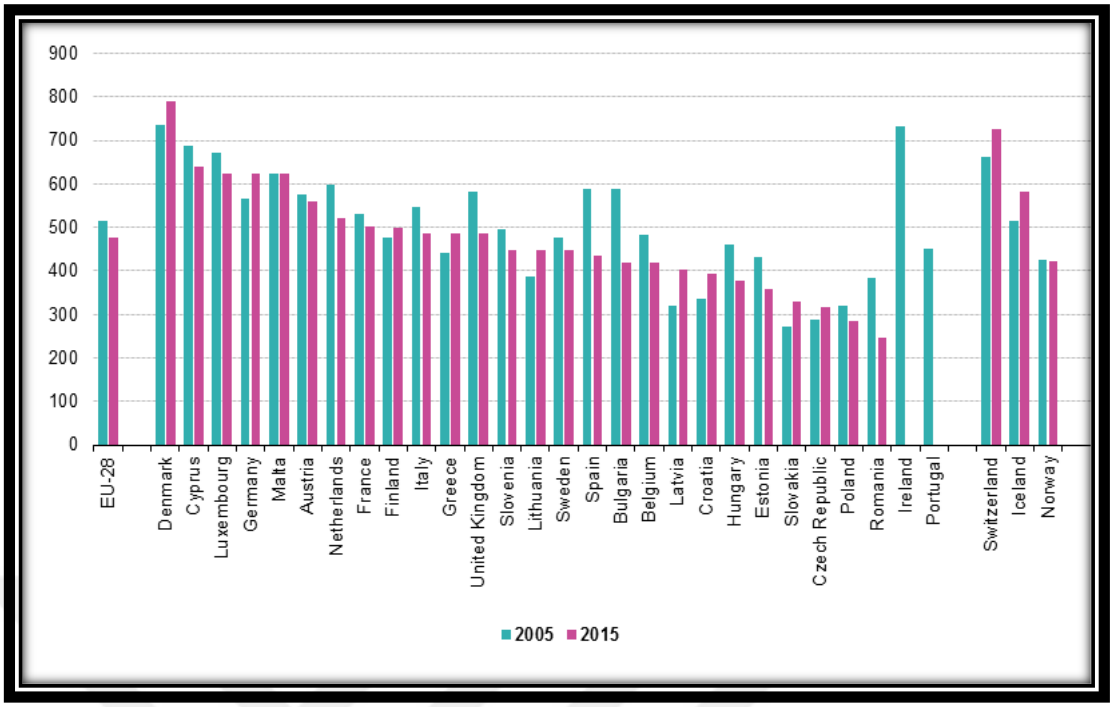
geri dönüşüm ile elde ettiği ekonomik faydalara ilişkin temel bulgular şunlardır: Geri dönüşümden elde edilen gelirler giderek artmaktadır. Gelişen Asya ekonomisi ve AB direktifleri Avrupa'da geri dönüşümü artırmaktadır. Geri dönüşüm yakma veya depolamaya göre daha fazla istihdam oluşturmaktadır. Geri dönüşüm, ekonominin gereksinim duyduğu kaynak ihtiyacının büyük kısmını karşılayabilir ve böylelikle kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltır. Sonuç olarak giderek artan oranda sınır ötesi atık ticareti yapılmakta, bunun çoğu geri dönüşümde veya enerji geri kazanımında kullanılmaktadır. Dünyanın birçok bölgesinde geri dönüşüme yönelik çeşitli politika, proje, teknoloji, program ve strateji geliştirilmekte ve uygulanmaktadır [2].

1.1.2. Avrupa birliğinde atık yönetimi

Avrupa Birliği İstatistik Kuruluşu Eurostat'ın verilerine göre AB 27 ülkelerinde 2008'de üretilen 2,5 milyar ton atığın yaklaşık yarısı, düzenli depolama sahalarına dökülmüştür. Diğer yarısı geri kazanılmış, geri dönüştürülmüş, yeniden kullanılmış veya yakılmıştır. Bu bağlamda iyi bir atık yönetiminin, çevre üzerindeki etkileri azalttığı ve ekonomik fırsatlar sunduğu söylenebilir. AB'de üretilen yaklaşık 2.5 milyar ton atığın 1.150 milyon tonunu temel geri dönüştürülebilenler (kâğıt ve karton, plastik, demir ve çelik, alüminyum, bakır ve nikel, değerli metaller, diğer metaller, cam, elektronik atıklar, inşaat ve yıkıntı atıkları) oluşturmaktadır. Bu miktarın 680 milyon tonu geri dönüştürülmektedir. 1.150 milyon ton atık miktarından inşaat ve yıkıntı atıklarının miktarı çıkarıldığında geriye 230 milyon ton atık kalmaktadır. Bunun ise 130 milyon tonu geri dönüştürülmektedir. Bu maddelerin geri dönüştürülmesiyle elde edilen gelir miktarı 2004-2008 arasında iki katına çıkarak 60,3 milyar avro olmuştur. 2000 yılından itibaren AB dışına ihraç edilen geri dönüştürülebilen maddelerde artış görülmektedir. 2008 yılında krizin başlaması ile durağanlaşacağı düşünülen sektör krizde daha da ön plana çıkmış ve güçlenmiştir. Şu anda kağıt, plastik, metal atıklarında ihracat hacmi, AB içi ticaret hacminden daha büyüktür [2]. Şekil 1.1.'de bazı AB ülkelerinin ve Türkiye'nin kişi başına düşen evsel atık miktarını göstermiştir. Tablo 1.1'de ise 1995-2015 arasındaki oluşan evsel atık verileri gösterilmiştir. Şekil 1.1.'de 2015 verileri incelendiğinde ülkeler arasında büyük farklılık gözlenmektedir. Danimarka kişi başına 789 kg atık çıkartırken, Çek Cumhuriyeti 316 kg atık ortaya çıkarmıştır. Bu değişiklik yaşam şartlarının ve ekonominin farklı olmasının yanı sıra atıkların toplanış şeklindeki farklılıklardan da

kaynaklanabilir. Tablo 1.1'de 1995-2015 yılları arası incelendiğinde oluşturulan evsel atıklar yaşam şartlarının değişmesi ve teknoloji ile artış göstermiştir. En büyük artış %51 ile Danimarka'da görülmüştür. Onu %36 ile Malta izlemektedir. Diğer ülkeler ise sırasıyla Avusturya, İsviçre şeklinde gitmektedir [3].

Kişi başına oluşan atık miktarı artsa bile 1995-2015 yılları arasında toprak altında depolanan atık miktarı azalmıştır. 1996'te depolanan atık miktarı 144 milyon tondan 2015'te 61 milyon tona düşmüştür. Buda %58'lik bir azalış demektir. 2005-2015 yılları arasında toprak altında depolanan atıklar her yıl %8.2'lik bir azalış göstermiştir. Bunun bir sebebi olarak Avrupa Birliğinin yürüttüğü paketleme malzemesi olarak kullanılan market poşetlerinin geri kazanılması ya da kullanımının azaltılması politikaları gösterilebilir. Bundan farklı olarak depolamaya giden atıklardan, biyobozunur olanların oranının azaltılması yönündeki politikalar da etkili olmuştur. Gübrelene bilinecek ya da kompostlanacak malzemelerin önceden ayrılması ve bunların gübre yapımında kullanılması depolanan atık miktarını azaltmıştır. Belirlenen politikalar sonucunda geri dönüştürülen malzeme miktarı 1995'e göre %11'den %29'a yükselmiştir. Kompostlanan malzeme miktarı da %5.4'ten %45'lere kadar yükselmiştir. Atıkların yakılıp enerjiye dönüştürülme oranları da düzenli olarak artmıştır. 2015 itibari ile %100 artış yaparak kişi başına 67 kg'dan 127 kg'a çıkmıştır [3].



Şekil 1.1. Avrupa Birliği 2005-2015 arası kişi başına düşen evsel atık miktarlarındaki değişimler (kg) [3]

Tablo 1.1. Bazı Avrupa Birliği ülkelerinin ve Türkiye'nin 1995-2015 kişi başı oluşan evsel atık verileri kg

	1995	2000	2005	2010	2015	1995-2015 % değişim
Bulgaristan	694	612	588	554	419	-39,6
Çek Cumhuriyeti	302	335	289	318	316	4,6
Danimarka	521	664	736		789	51,4
Almanya	623	642		602	632	1,4
Yunanistan	303	412	442	532	488	61
İspanya	505	653	588	510	456	-9,7
Fransa	475	514	530	534	517	8,8
İtalya	454	509	546	547	486	7
Kıbrıs	595	628	688	689	638	7,2
Macaristan	460	446	461	403	377	-18
Hollanda	539	598	599	571	523	-2,9
Avusturya	437	580	575	562	560	28,1
Litvanya	426	365	387	404	448	5,1
Malta	387	533	623	601	606	36,1
Birleşik Krallık	498	577	581	509	483	-3
Norveç	624	613	426	469	421	-32,5
İsviçre	600	656	661	708	725	17,2
Türkiye	441	465	458	407	400	-9,2

1.1.3. Atık yönetimi yöntemleri

1.1.3.1. Depolama

Evsel atıklar ile ilgilenirken en yaygın kullanılan yöntem depolamadır. Atıklar plastik içerikleri ile birlikte toprak altına gömülmeleri suretiyle dolgu şeklinde işlenirler. Bu yöntem çevre kirliliği açısından en tehlikeli olan yöntemdir. Değerli atıkların kaybı, uzun süre bozulmayan atıkların ekosisteme kötü etkisi ve bu depolama alanlarının büyük alan kaplayıp uygun yer bulunmasındaki zorluklar depolamayı çevre açısından en istenmeyen yöntem haline getirmiştir [4].

1.1.3.2. Birincil geri dönüşüm

Fabrikaların üretim esnasında özellikle plastik ürünlerin üretimi sırasında ortaya çıkan hurdaları ya da hatalı üretimden meydana gelen ürünleri kendi içlerinde geri dönüştürerek tekrar kullanılmalarına birincil geri dönüşüm denir. Birincil geri dönüşüm plastik hurdaların mekanik parçalayıcı bıçaklar yardımıyla ya da mekanik öğütücüler yardımıyla küçük parçalar halini getirilerek, yeniden üretim süreçlerinde kullanım şeklidir. Eğer üreticilerin bu şekilde geri dönüşüm mekanizmaları bulunmuyor ise farklı firmalardan ücret karşılığı hizmet alarak kendi hurdalarını fason bir şekilde geri dönüşümünü yaptırarak, tekrar kendi üretim süreçlerinde kullanabilirler. Birincil geri dönüşümde en çok karşılaşılan problemler [5];

- Geri dönüşüm işleminin bazen üretilen malzeme üzerindeki olumsuz mekanik, kimyasal, görsel ve işleme özellikleri meydana getirmesi
- Geri dönüştürülen malzemelerin sıklıkla kirli oluşu
- Film ve köpük formundaki atıkların çok fazla alan işgal etmesi

Ayrıca yüksek sıcaklıkta işleme malzeme yapısında çapraz bağların oluşmasına sebep olabilmektedir [6].

1.1.3.3. İkincil geri dönüşüm

Belediye atık geri dönüşüm tesislerinde ayıklanan evsel atıklar türlerine göre farklı gruplara ayrılır. Metal, plastik, organik olarak ayrılan atıklar farklı şekillerde gruplandırılarak geri dönüşümleri yapılır. Ayıklanmış olan plastik atıklar değişik yöntemler ile (yoğunluk farkı, göz ile, elektrostatik ile vb.) ayrıştırılarak geri dönüşüm

tesislerine gönderilir ya da geri dönüşüm tesislerinde ayrılmak üzere toplu halde gönderilir ve ayrıştırma işlemi orada yapılır. Ayrıştırılan polimerler daha sonra türlerine göre ektrüderlerden geçirilirler ve geri dönüşümleri sağlanmış olur [1].
Daha iyi ikincil dönüşüm kalitesi elde edebilmek için kullanıla bilinecek bir kaç yöntem vardır [7];

- Gelişmiş geri dönüşüm cihazlarının kullanımı
- Karışık plastiklerin kimyasal modifikasyonu
- Geri dönüştürülmüş plastik malzemelerin dolgu malzemesi olarak kullanımı.

1.1.3.4. Kimyasal geri dönüşüm

Kimyasal geri dönüşüm polimer atıkların kimyasal yöntemlerle çözülerek, monomerler haline getirilmesi ve sonra tekrardan polimerleştirme tepkimesi gerçekleştirilerek saf hammadde şekline getirilmesi tekniğidir. Bu teknik PET ve Poliamid gibi kondenzasyon polimerizasyonu ile üretilen polimerler için kullanılmaktadır. Polietilen ve polipropilen gibi poliolefinler için bu teknik mümkün değildir. Poliolefinler için piroliz tekniği ile biyoyakıt üretimi daha uygundur [1].

1.1.3.5. Yakma

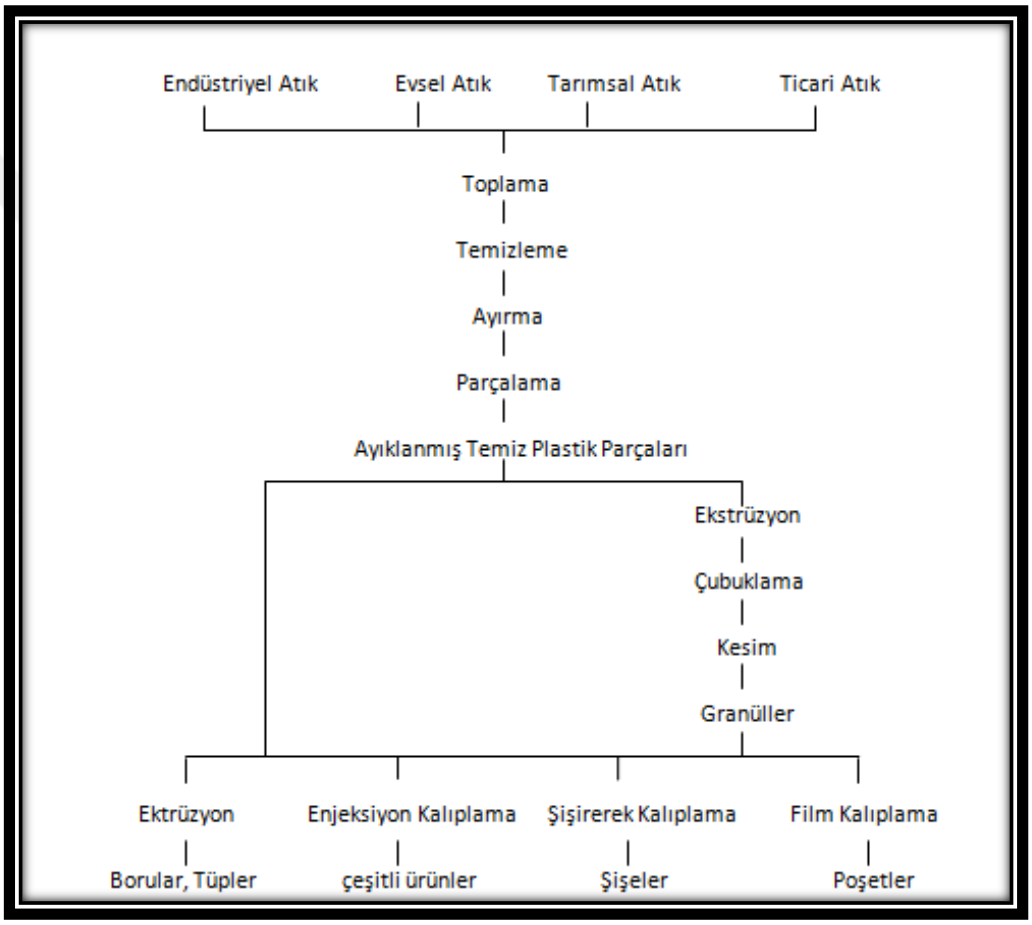
Evsel atıkların yakılarak oluşan ısıl enerjiden faydalanılması diğer bir geri kazanım tekniğidir. Bu teknik enerji üretimi ve evsel atık hacminin düşürülmesi açısından tercih edilir. Birçok Avrupa ülkesi bu yöntemi aktif olarak kullanmaktadır. Ancak bu yöntem ile ilgili önemli çevresel endişeler bulunmaktadır. İyi ayrıştırılmamış ve içeriğinde polivinil klorür (PVC) bulunan atıklar yanma sırasında ortama klorlu gazlar çıkarabilmektedir. Zehirli olan bu ve bunun gibi gazlar sebebiyle çoğu kişi evlerinin yakınında bu tesisin bulunmasını istemediğinden yakma tekniğini kullanmak isteyen ülkeler tesis kurabilecek yer temininde zorluklar yaşamaktadır [1].

1.1.3.6. Bozunma (degredation) ve kompostlama

Sentetik polimerler yapısal olarak doğada bozunamazlar ancak bazı mikro organizmalar yardımıyla bazı biopolimerlerin yapısal bozunması mümkündür [1].

1.1.4. Geri dönüşüm adımları ve plastik atıklar

Plastiklerin kullanımı günlük yaşamda hemen hemen her alanda günden güne giderek artmaktadır ve bu kullanımın doğal sonucu olarak oluşan atıklar günlük hayatımıza ve çevreye olumsuz sonuçlar yaratmaktadır. Oluşan bu atıkların yönetimi bir önceki bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Atıkların oluşumunun önlenmesi, yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım, depolama, yakma atık yönetiminin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 1.2. Geri dönüşüm adımları [8]

Günümüzde karlılık ve kolaylık açısından en sık tercih edilen geri kazanım yöntemleri olarak geri dönüşüm ve yakma kullanılmaktadır. Ancak bazı plastik atıkları yakmanın çevreye olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Yakma sonucu oluşan küllerde kurşun ve kadmiyum birikebilir. Enerji verimliliği açısından yakma çok da etkin bir yöntem değildir.

Bu tür olumsuz sonuçları engellemek için geri dönüşüm ideal yöntemdir. Fosil yakıtlar ile üretilen birinci kalite hammadde üretimini azaltmamızı sağlar. Ayrıca geri dönüşüm ile hammadde üretmek birinci kalite hammadde üretmekten daha az maliyetli olduğu için daha ekonomik olmaktadır. Eğer doğru olarak yapılırsa çoğu alanda birinci kalite hammaddelerin yerini alabilecek yeterli özelliklere sahip malzeme elde edilebilinir. Geri dönüşüm adımları Şekil 1.2.'de verilmiştir.

Geri Dönüşüm, genel olarak 4 adımdan oluşur.

- Toplama
- Ayırma
- İşleme
- Pazarlama

Geri dönüştürülmüş plastiklerin kalitesini artırmak için, farklı türde polimerler birbirlerinden ayrılmalıdır. Çok fazla farklı türden oluşan plastiklerden yapılmış bir geri dönüşümün kalitesi hiç kullanılmamış plastiklere kıyasla çok düşüktür. Bu sebeple kullanıcı memnuniyeti açısından iyi bir ayrışım yönteminin kullanılması gereklidir [9].

1.1.4.1. Plastik atıkların sınıflandırılması ve türleri

Ömrünü tamamlamış ve bertaraf edilmesi gereken atıklar ve fabrika üretim artıklarına (Şekil 1.3.) endüstriyel atık denir. Bu atıkların bir kısmını plastik atıklar oluşturur. Plastik atıklar iki gruptan oluşur; Evsel atıklar ve endüstriyel plastik atıklar. Dünya'da evsel atık miktarları incelendiğinde plastik atıklarının büyük bir bölümünü 5 tür plastik oluşturur. Bu türler, polietilen (alçak ve yüksek yoğunluklu olmak üzere iki türü vardır(AYPE, YYPE)), polipropilen(PP), polisitiren(PS), polietilen tereftalat(PET) ve polivinil klorür(PVC)'dür. PET ve PVC aynı zamanda polioksi metilen(POM) mühendislik plastiği olarak kabul edilir [10].

Endüstriyel atıklar (ya da birincil atıklar) büyük plastik işleme tesislerinden yada paketleme kuruluşlarından elde edilir. Endüstriyel atıklar genellikle iyi özelliklere sahiptir ve geri dönüşüm işlemi temiz bir şekilde gerçekleştirilebilir. Miktar konusunda plastikten plastiğe değişmek kaydıyla bazen sıkıntılar yaşanabilir. Ancak

bu da artan kullanım ve tüketim sayesinde artış göstermektedir. Evsel atıklar mahallelerden, sokaklardan, geri dönüşüm toplama noktalarından ve çöp alanlarından elde edilir. Asya ülkelerinde ev sahiplerinin iş birliğiyle ya da sokaktan basit seviyede ayrıştırılmış olarak toplanabilmektedir.



Şekil 1.3. Plastik atıklar

1.1.4.2. Toplama ve ayrıştırma

Geri dönüştürülecek polietilen geri dönüşüm tesislerine iki şekilde gelebilir. Bunlar, fabrika atıkları ya da ev atıkları şeklindedir. İki yöntemde de karışım genellikle %5 PP ve bazı inorganik malzemeler içerir. Bu polietilenler işlenerek tekrar kullanılabilir. Daha sonra da granül haline getirilirler. Saf polietilen içerisine karıştırılarak yada kendi başına olacak şekilde kullanılmak üzere diğer işleme tesislerine gönderilirler.

Karışık plastik atıkları fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak çeşitli yöntemlerle ayrıştırılabilir ancak bazı yöntemlerin kendileri içinde sınırlamaları mevcuttur. Ayrıştırma için kullanılan yöntemler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Yerçekimi ayrıştırması: Bu yöntem plastik türlerine ve yoğunluklarına göre ayrışım yapar. Ancak bu yöntem birbirine yakın yoğunluğa sahip plastikleri(PVC, PET, POM karışımları vb. gibi) ayrıştırmada yetersizdir.

Sürtünme ile Ayrıştırma: Bu yöntemde malzemelerin dielektrik katsayıları farkından yararlanılır. Farklı statik elektrik yükleri yüklenen parçalar farklı güçlerle çekilirler ve böylece ayrıştırma işlemi sağlanır.

Hikrosiklon ve santrüfüj: Bu yöntemde yine yoğunluk farklarının kullanıldığı bir yöntemdir [11].

Yakın kızılötesi algılama (NIR): plastiklerin içerdiği bağların incelenerek monomer yapılarına göre malzemelerin ayrıştırılmasını sağlar. En etkili yöntem olduğu söylenebilir [12].

El ile ayrıştırma da ayrıştırma yöntemleri arasında sayılabilir. Ancak çok fazla işçilik gerektirmesi ve ayrıştıran işçinin zehirlenme olasılığı bulunması, nedeniyle çok fazla tercih edilmemelidir [10].

Geri dönüşüm süreçlerindeki en büyük problem polimerlerin moleküler seviyede uyumsuz oluşları, farklı üretim yöntemleri ve koşulları gerektirmeleridir. Plastik iyi ayrıştırılmadığında geri dönüşüm süreci çok zorlu olmaktadır. Daha temiz ve daha az türde polimer içerdiğinde daha az mekanik müdahale gerekir ve üretilen ürünün özellikleri istenilen düzeyde olur.

Bu sebeple ayrıştırma ile geri dönüşüm süreci ekonomik hale getirilir ve geri dönüşüm yapılan malzemenin özellikleri iyileştirilir. İlk aşamalarda plastiklerin ayrıştırılması en etkin uygulamayı oluşturur. Renklerine ve türlerine göre malzemelerin gruplandırılmasını sağlar. Karışık renklerin olduğu bir polimer karışımından ancak siyah renkli ürünler elde edile bilinir. Renklerine göre daha iyi ayrıştırma yapıldığında seçenekler artmaktadır. Ayrıştırma sürecinde ilk olarak lifler plastiklerden ayrılır, sonra filmler en son çapaklar türlerine göre ayrıştırılır. Otomatik ayrıştırma yöntemleri giderek yaygınlaşmakta ve en çok kullanılan yöntem NIR yöntemi olmaktadır. Etkili ayrıştırma ve gruplama kaliteli geri dönüşüm ürünleri üretilmesini sağlar. Geri

dönüşümün değerini artırarak, geri dönüşüm sektörü için ayrıştırma yöntemlerinin daha etkili ve uygulana bilinir olmasını sağlar [8].

1.1.5. Türkiye de polietilen kullanımı

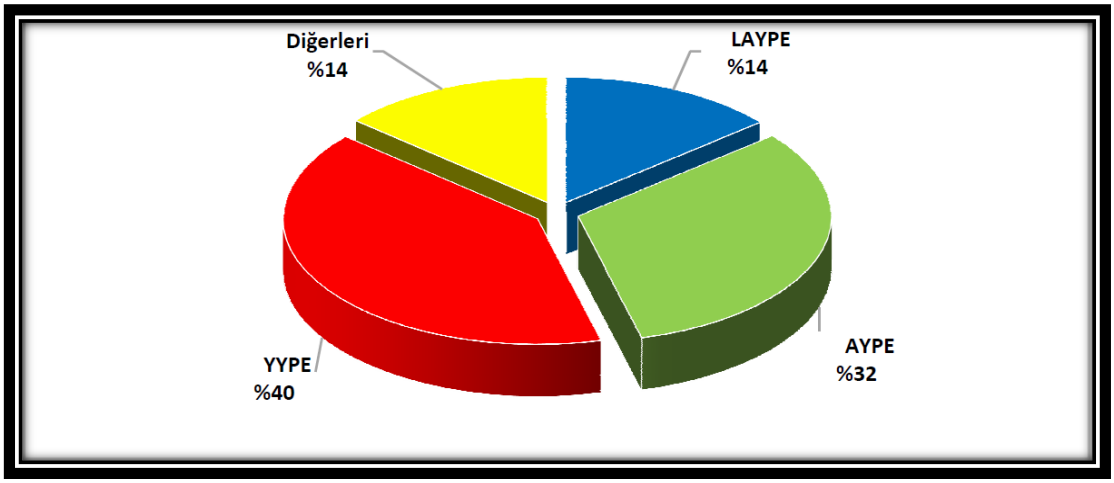
Türkiye'de polietilen üretimi yapan tek firma PETKİM'dir. PETKİM'de yılda toplam 446.000 ton üretim yapılmaktadır. Bunun %78,4'ü AYPE ve AYPE-T (alçak yoğunluklu polietilen-tübüler) ve %21.6'sı YYPE'dir. PETKİM'in ürettiği polietilenlerin başlıca kullanım alanlarını ağır hizmet torbası, sera örtüsü, ambalaj filmi, kablo kılıfı, ev eşyası, oyuncak, boru, hortum, tüp, şişe, kumaş ve metal kaplamaları, rotasyonlar ve kalıplama maddeleri oluşturmaktadır [13].

PETKİM'de 2011-2016 yılları arasında üretilen polietilen cinsleri miktarları ve toplam PE içindeki yüzdeleri Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Petkim polietilen üretimi (1000 Ton) ve toplam PE içindeki yüzdeleri [13]

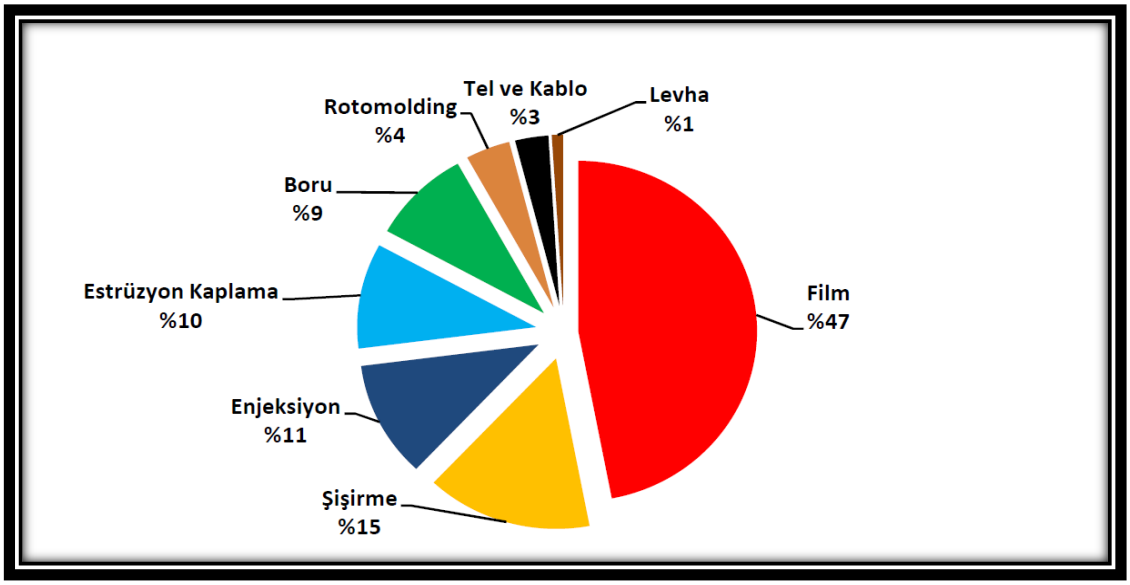
	1000 Ton				Toplam PE içindeki payı(%)		
	AYPE	AYPE-T	YYPE	TOPLAM	AYPE	AYPE-T	YYPE
2011	189	106	90	385	49	28	23
2012	156	140	87	383	41	37	23
2013	148	121	85	354	42	34	24
2014	133	143	79	355	37	40	22
2015	133	143	79	355	37	40	22
2016/T	133	143	79	355	37	40	22

Türkiye'de polietilen tüketimi son yıllardaki endüstriyel ve ekonomik büyümeye bağlı olarak büyük bir artış göstermiştir. Şekil 1.4.'de polietilenin türlerine bağlı olarak ortalama kullanım alanları verilmiştir. 2011 yılında, 1 milyon 544 bin ton olan polietilen tüketimi, 2016 yılında 2 milyon 39 bin tona çıkmıştır. Türkiye'de 2011-2016 döneminde polietilen kullanımının ortalama %40'ının YYPE, %32'sini AYPE, %14'ünü LAYPE, %14'ünü ise diğer polietilen türleri oluşturmaktadır [13].



Şekil 1.4. 2011-2016 yılları arasında polietilen türlerine bağlı olarak ortalama kullanım oranları [13]

Türkiye'de üretim yöntemlerine göre polietilen kullanımları Şekil 1.5.'de verilmiştir, Grafiğe göre üretim yöntemlerine göre polietilen kullanımında %47 ile film üretimi en büyük payı oluşturmaktadır. Onu şişirme yöntemi %15 ile takip etmektedir. Enjeksiyon %11 ile üçüncü. Diğer üretim yöntemleri de sırası ile %10 ektrüzyon kaplama, %9 boru üretimi, %4 rotomolding, %3 tel – kablo, %1 ile levha üretimidir [13].



Şekil 1.5. Üretim yöntemlerine göre polietilen kullanımları

1.1.6. Plastiklerin geri dönüşümü / işleme

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan plastikler termoplastiklerdir. Termoplastikler eritilebilir ve yeniden şekillendirilebilir polimerlerdir. Termosetler ise ağır kimyasal bozunma yöntemleri kullanılmadıkça eritilemezler. Bu sebeple termosetlerin geri dönüşümü oldukça sınırlıdır.

Çoğu termoplastik teorik olarak geri dönüştürülebilir. Literatürde yapılan çalışmalar göstermiştir ki, piyasaya sürülen plastikler birçok işlemden geçmesine ve yaşlanmasına rağmen önemli özelliklerini korumaktadır. Bu da çoğu termoplastik üreticisinin ürünlerinin geri dönüştürülebilir olmasını sağlamıştır. Ancak bu durumun gerçeğe dönüştürülebilmesi için bazı kriterlerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Geri dönüşüm için uygulana bilinir bir yöntemin olması ve ürünün ikinci hayatı için kullanılabilir uygulamaları olması gerekmektedir.

Geri dönüşüm yöntemleri karlılıklarına göre değerlendirilirler. Geri dönüşümün karlı olması için büyük miktarlarda yapılması gerekir. Bir plastiğin geri dönüşümünün karlı olması için uygun miktarda atığının olması şarttır. Bu karlılığı sağlayabilmek için ayrıştırma yapmadan malzemeyi direk olarak geri dönüşüm işleminde kullanmak bir yöntemdir. Karışık bir şekilde işleme alınan bu plastikler ayrıştırma olmadığı için saf malzemelere kıyasla oldukça değerleri düşüktür. Bu şekilde karışık malzemelerle üretilen ve sonuç ürünün özelliklerinin iyi olmadığı geri dönüşüme “down-cycling” denir [1]. Down –cycling’e “upcyling” alternatif bir yöntem olarak gösterilir.

“Upcyling” yönteminde değeri düşük olan bir malzemenin farklı yöntemler kullanılarak daha değerli bir ürün haline getirilmesi amaçlanır. Bu yöntemde değerli bir katkı kullanılarak saf ürüne yakın özellikler gösteren kaliteli bir geri dönüşüm ürünü üretilmektedir. Çoğu plastik atık yeterli özellikleri gösteremediği ya da yeterli karlılığı sağlamadığı için geri dönüştürülmeden bertaraf edilmektedir. Upcycling geri dönüşüm oranlarının artırılabilmesi için önemli bir yöntemdir [14].

1.1.6.1. Kimyasal geri dönüşüm

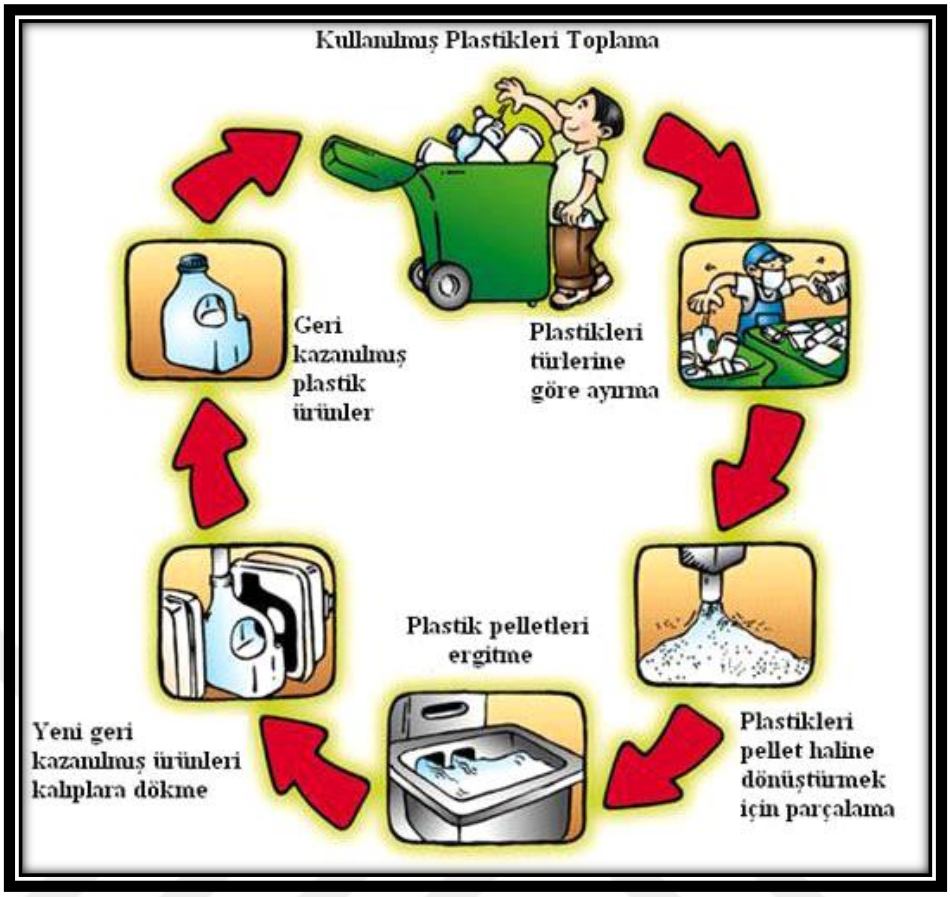
Bu geri dönüşüm yönteminde plastikler kimyasal tepkime ile monomer formuna getirilir ve sonrasında bu monomerlerden tekrar polimerizasyon teknikleri

uygulanarak yeni kaliteli plastikler elde edile bilinir. Bu yöntem mekanik işleme yöntemleriyle tamamlanabilir [10].

Polimerik malzemelerin düşük molekül ağırlıklı karışımlara dönüştürülerek bozulması işlemine hammadde geri dönüşümü ya da kimyasal geri dönüşüm denir. Kimyasal geri dönüşümdeki ana amaç malzemelerin monomerlere dönüştürülmesi ve normal kimyasal yöntemler ile saflaştırılıp daha sonra tekrar polimerizasyon gerçekleştirilmesidir. Bu yöntemde saf ürüne yakın kalitede polimerler elde edilebilinir. Bu yöntem kondenzasyon polimerizasyonu ile elde edilebilen polimerler (PET ve poliamidler) için uygundur. Poliolefinlerde monomer üretim verimi düşüktür ancak kimyasal geri dönüşüm yöntemi olarak poliolefinlerde proliz ve biyoyakıt üretimi yöntemleri kullanılabilir [10].
Kimyasal geri dönüşüm yönteminin uygulanabilmesi için yüksek yatırım ve uzman personel gereklidir. Bu sebeple çok az şirket bu yöntemleri kullanmaktadır. Polimerleri monomerlere parçalamak için kullanılan yöntemler glikoliz, piroliz, hidroliz, hidrojenasyon, gazlaştırma ve metanoliz olarak sıralanabilir [10].

1.1.6.2 Mekanik geri dönüşüm

Mekanik geri dönüşüm, atıkların üretim şekillerine göre çapak ve granüllere dönüştürüldüğü bir fiziksel üretim yöntemidir. En iyi şekli atıkların tek tür polimer içerdiği durumda ektrüzyon süreci ile yapılır. Süreç genellikle kirleticilerin temizlenmesi, parçalama, yıkama, kurutma ve eritmeden meydana gelir [15]. Şekil 1.6.'da plastik atıkların geri dönüşüm süreçleri gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Plastik atıkların kullanım süreci

Mekanik geri dönüşüm birincil ve ikincil geri dönüşümün ikisini de kapsar. Fabrikaların üretim hatlarından çıkan atıklar birincil geri dönüşümde kullanılır. Bunlar üretim esnasında oluşan hatalı ürünler, fazla üretilen ve artık kullanılmayacak ürünler vb. şeklinde olabilir. Birincil geri dönüşüm için kullanılacak makine elemanları sadece parçalayıcı karıştırıcı ve ektrüderdir. Kirletici(contaminant) miktarı neredeyse hiç olmadığı için yıkama ve kurutma adımlarına gerek yoktur. İkincil geri dönüşümde kullanılmış atıklardan yeni ürünler elde edildiği için asıl geri dönüşüm olarak nitelendirilebilir [10].

İlk işleme: Plastik toplandığında ilk önce yıkanması ve gruplanması gerekmektedir. Bu işlemler için gerekli olan parametreler hurdanın işleneceği makina boyutlarına ve son ürün özelliklerine göre değişebilir. Ancak en basiti el ile yıkama ve belli gruplara ayırmadır. Daha güçlü, karmaşık yıkama makinaları ve solar kurutma büyük ölçekli üretimlerde kullanılabilir. Plastiklerin gruplanması, plastik türüne göre (termoplastik

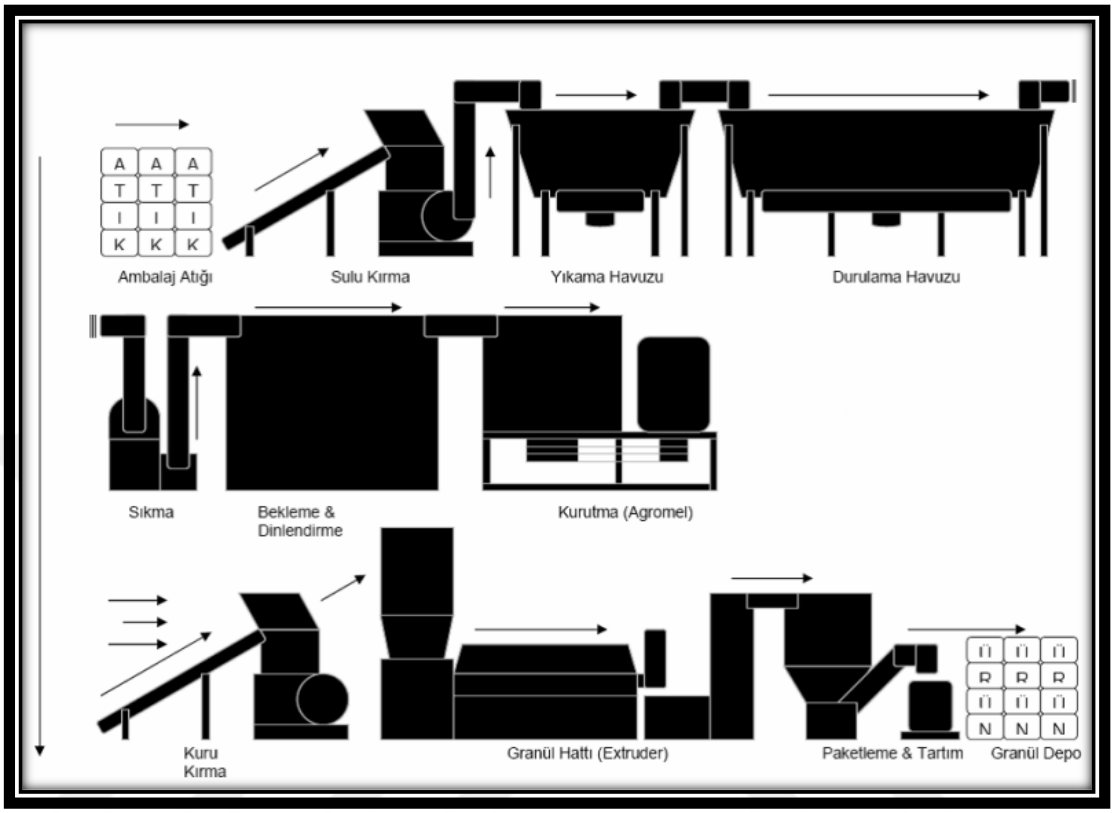
ya da termoset), ürünün cinsine göre (yoğurt kovaları, meşrubat şişeleri, elektronik vb.), ya da renklerine göre vb. şeklinde olabilir.

Parçalama teknikleri: Parçalama birçok nedenden ötürü olmazsa olmaz bir adımdır. Parça boyutlarını kullanılacak makinaların alabileceği boyutlara küçültmek ya da sonraki üretimlerde kullanılacak malzemelerin kolay depolanabilmeleri ve istiflenebilmeleri için gereklidir. Birçok farklı parçalama tekniği bulunmaktadır. İlk önce büyük boyutlardaki hurdaların kesilmesi gerekmektedir. Bu yöntemde bıçak testere makas vb. gibi aletler kullanılabilir. Parçalama küçük parçalara ayırma işlemidir. Bunlara çapak da denilir. Parçalayıcılar dönen bıçakların olduğu ve elektrik motorları ile çalışan ve küçük bir toplama kabini barındıran makinalardır. Malzemeler bantlar yardımıyla parçalayıcıya üstten beslenir. Elde edilen malzemeler değişik boyutlarda olan çapaklardır ve bu boyutlarda kolayca ektrüderde işlenebilirler. Topaklaşma (aglomeration) genellikle ektrüderden bir önceki adımdır ve malzemenin eritilip hızlı bir şekilde soğutulup sonra tekrar parçalanarak makinaya besleyen bir sistemdir. Burada elde edilen malzemeler düzensiz topaklardır. Ancak aglemerasyon malzemenin homojen olması için gereken önemli adımlardan biridir.

Sonraki işleme adımları: Ektrüzyon ve granülleştirme'dir. Ektrüzyon tekrar elde edilen polimerin homojen bir şekilde eritilip karıştırılarak daha sonraki adımda şekillendirilmesi için uygun ürün elde etme işlemidir. Toplanan polimer çapakları ektrüdere beslenir ve ısıtılarak polimer ve basınç yardımıyla bir kalıptan geçirilerek spagetti makarna formuna getirilir. Bu form daha sonra su banyosundan geçirilerek soğutulur ve kesici vasıtasıyla granüllere dönüştürülür. Bu granüller daha sonra geri dönüşüm polimer hammaddesi olarak adlandırılır ve özelliklerine göre farklı işleme teknikleriyle istenen son ürün formuna dönüştürülür (İplik, enjeksiyon ürünleri, borular vb.) [16].

Plastiklerin geri dönüşümü dendiğinde neredeyse her zaman akla mekanik geri dönüşüm gelir. Mekanik geri dönüşüm, fiziksel yöntemleri (parçalama, yıkama, kurutma, eritme) kullanarak malzemenin tekrar kullanıma sunulmasıdır. Bu yöntemin verimi kabaca %60'lardadır. Kalan %40'lık bölüm geri dönüştürülemez ve yan ürün olarak gruplanarak diğer enerji dönüşümü tesislerine ve son olarak da depolama

tesislerine gönderilir. Eğer toplama ve ayırma yöntemleri gelişir ise mekanik geri dönüşümde de verimlilik artacaktır [8].



Şekil 1.7. Geri dönüşüm tesisi üretim hattı

1.2. Biyobozunurluk

Biyolojik bozunma, hücre zarı içerisine mikro organizmalar tarafından parçalanacak moleküllerin alınması ya da mikro organizmaların hücre dışı enzimleri salgılaması durumudur. Polimer molekülleri hücrelerin zarlarına alabilecekleri boyutun çok üzerindedirler, bu nedenle küçültülmeleri gerekir. Hücre dışına salgılanan salgıların boyutu polimer zincirlerinin arasına girebilecek kadar küçük olmadığı için yüzeyde kalırlar bu sebeple bozunma yüzeyde başlar. Biyobozunmanın ilk başlangıcına depolimerizasyon denir, enzimlerin katalizlenmesi sonucu polimer zincirler parçalanarak daha küçük boyutlara indirgenirler. Depolimerizasyona ek olarak oksidasyon, ısı ile bozunma, hidroliz, fotodegredasyon da biyobozunmaya yardımcı olur [17].

Biyobozunmayı etkileyen faktörler arasında çevresel faktörler büyük önem arzetmektedir. Bu faktörler sıcaklık, nem, oksijen, pH,su vb'dir. Çevresel faktörler

polimerin bozunmasından daha çok ortamda bulunan mikro organizmaların gelişmesinde önemli rol oynarlar.

1.2.1. Biyobozunma

Biyobozunma olayına etki eden diğer önemli faktörler ise polimerin kristalinitesi, molekül ağırlığı, polimer zincirindeki kimyasal bağlar, sarkaç gruplar, bu grupların pozisyonları ve kimyasal aktiviteleri gibi yapısal ve kimyasal özellikleridir [18].

Biyobozunma her ortamda her an gerçekleşmez. Biyobozunmanın oluşması için gerekli bazı etkenlerin ortamda olması şarttır. Mikro organizma varlığı, hayat koşullarının bu mikro organizmaların çoğalabilmesi için en uygun seviyede olması gerekmektedir [18].

Biyobozunur polimerleri genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

- Nişasta ve selüloz gibi tamamen bitkisel kaynaklardan elde edilen polimerler,
- Mikrobiyal üretim yöntemiyle elde edilen doğal biyobozunur polimerler,
- Bitkisel kaynaklardan elde edilen monomerlerden kimyasal sentez yoluyla elde edilen polimerler,
- Fosil kaynaklardan elde edilen ara ürünlerden elde edilen polimerler [17,18,19].

Biyobozunur polimerler biyolojik yapının enzimler yardımıyla CO_2, su ve biyolojik küçük parçalara bozunması işlemidir. Yeterince zaman geçtiğinde ve gerekli ortam koşulları oluştuğunda (su, toprak, hava ortamı) biyobozunma gerçekleşir. Daha geniş bir perspektiften bakıldığında biyobozunur polimerler sürdürülebilir polimerlerin bir parçasıdır. Sürdürülebilirlik, yenilenebilir kaynaklardan üretilen polimerlerdir. Bu yenilenebilir kaynaklar kullanılarak üretilen polimerlerin üretim esnasında ya da kullanımı esnasında çevreye zararları çok azdır.

Biyobozunur polimerler iki gruba ayrılabilir. Yenilenebilir ve yenilenemeyen biyobozunur polimerler. Yenilenebilir olanlar doğadan bitkiler aracılığıyla elde edilen polimerlerdir. Yenilenemeyenler ise petrol bazlı olan biyobozunur polimerlerdir. Tablo 1.3.'de biyobozunur polimer türleri kullanım alanları, üstünlükleri ve eksiklikleri ile verilmiştir. Tablo 1.3.'de görüldüğü gibi oldukça farklı türde biyobozunur polimer türleri bulunmaktadır. Bu durum farklı türde polimerlerin

geliştirilmesinin yanı sıra bu polimerlerin farklı uygulamalarla kullanım alanlarının çeşitlendirilmesini sağlar [20].

Tablo 1.3. Biyobozunur polimer çeşitleri ve özellikleri [20]

Polimerler	Kaynak	Avantaj	Dezavantaj	Potansiyel Uygulamalar
Nişasta	Yenilenebilir	Düşük fiyat, Hızlı biyo bozunurluk	Düşük Mekanik özellikler	Köpükler, Film ve poşetler, Kalıplama
Polihidroksialkanatlar(PHA)	Yenilenebilir	Hızlı biyo bozunurluk, Su Kararlılığı	Yüksek Maliyet	Kalıplama
Selüloz ve Selüloz Asetatlar	Yenilenebilir	Yüksek Dayanım, Su Kararlılığı	İşlemesi zor, Çok düşük biyobozunurluk	Kompozitler, Fiber Levha
Trigliserit Yağ Bazlı Polimerler	Yenilenebilir	Yüksek Dayanım	Düşük biyobozunurluk, Kırılgan	Kompositler, Uyumlaştırıcılar
Lignin polimerler	Yenilenebilir	Yüksek Dayanım	Düşük biyobozunurluk, Kırılgan	Kompositler, Uyumlaştırıcılar
Jelatin Polimerler	Yenilenebilir	Yüksek Dayanım	İşlemeye uygun olmayan yapı	Filmler
Polilaktik asit(PLA)	Yenilenebilir Ve yenilenemeyen	Yüksek Dayanım	Kırılgan	Enjeksiyon kalıplama, Fiberler
Poliglikolik asit(PGA)	Yenilenemeyen	Yüksek Dayanım	Kırılgan, Suda çözünme	Fiberler
Polikaprolakton(PCL)	Yenilenemeyen	Su Kararlılığı Hidroliz olabilme	Düşük Tm	Kompost Poşetleri Soğuk paketleme
Polivinil Alkol(PVOH)	Yenilenemeyen	İyi bariyer özelliği	Düşük biyobozunurluk, Suda çözünme	
Sentetik Polyesterler	Yenilenemeyen	Yüksek Dayanım, İyi işlenebilirlik	Yüksek Maliyet	Filmler, Kalıplama

2. TEORİK BİLGİ

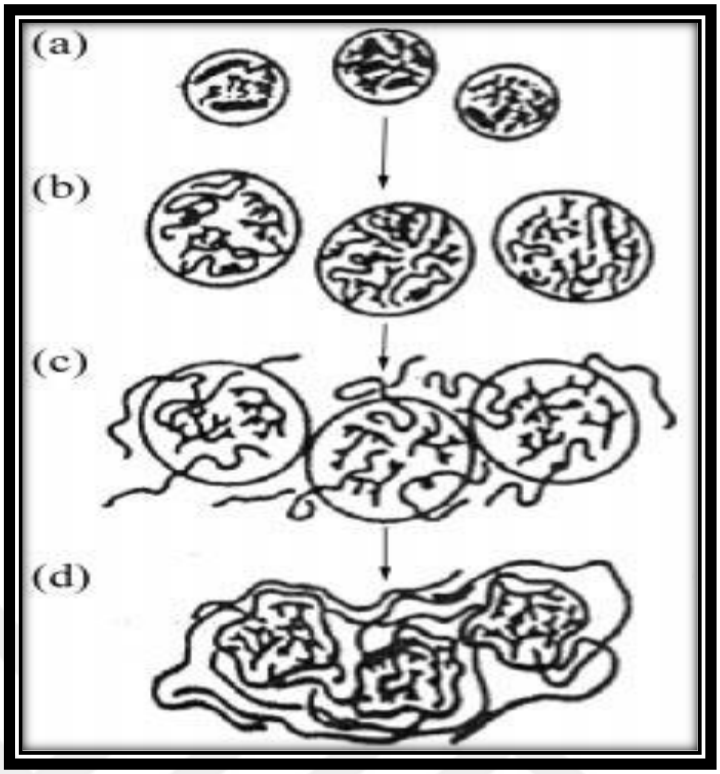
2.1. Termoplastik Nişasta

Nişasta fotosentez ile besin üreten besinlerin tohumlarında ve köklerinde depo malzemesi olarak kullandığı bir polisakkarittir. Nişasta tanesi iki adet polisakkarit olan amiloz ve amilopektinden, az miktarda lipid ve proteinlerden oluşur. Farklı kaynaklardan gelen nişastalar farklı özelliklere sahiptirler. Tanecik boyutu, amiloz ve amilopektin oranları, çapları, şekillerine göre farklılıklar gösterebilmektedir [21].

Termoplastik nişasta(TPN) basitçe nişastanın plastikleştirilmesi ile oluşur. İşlem kolaylığı ve eritilip şekil alabilme özelliklerinin kazandırılabilmesi için nişastaya plastikleştiriciler eklenip ısıl işlemden geçirilir. TPN ısı ve basınç yardımıyla ektrüderde kristal yapının parçalanıp amorf bir faza dönüştürülmesi ile elde edilir. TPN üretimi genellikle geri dönüşümü olmayan bir ısıl jelleşme sürecidir. Nişasta jelleşmesi moleküler yapının bozulması demektir, genellikle nişasta ve su etkileşimden etkilenmektedir. Çoğu nişasta jelleşmesi su varlığında ısıtma ile oluşur. Bu süreçte nişastaya farklı katkılarda ilave edilebilir. Nişastanın jelatinleşme mekanizmasını anlamak ve nişastanın karakteristik özelliklerinin bu işlemi nasıl etkilediğini bilmek plastik süreci esnasında daha iyi özellik ve yapı kontrolü sağlanmasını sağlar.
Nişastanın jelleştirilmesi işlemi başlıca şu aşamaları içerir [20];

- Kristalizasyondaki düşüş,
- Nişastanın değişim gösterdiğini ispatlayan ısıda yükselme
- Nişasta taneciklerinin su alarak şişmesi
- Lineer moleküllerin(amiloz) parçalanmış granüllerden dışarı taşması

Şekil 2.1.'de nişastanın plastikleştirme işlemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Nişastanın plastikleştirilmesi işlemi [20]

Şekil 2.1.'de amiloz ve amilopektinden oluşan saf nişasta taneleri gösterilmiştir (a), Su ilavesi ile kristallerin parçalanışı ve helezonların bozunması (b), Isı ve daha fazla su ilavesi daha fazla granüllerin şişmesi ve amilozların dışarı taşması (c), granüllerin tamamen yok oluşu ve amilopektinlerin amilozlardan oluşan matris içerisinde yer aldıkları son durum (d).

2.2. Polietilen

Polietilen yoğunluğuna göre sınıflandırılır. Yoğunluğu 0,80-0,95 g/cm^3 aralığında değişmektedir. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE veya HDPE) ziegler natta veya kompleks oksit katalizörleri ile düşük basınç polimerizasyonu yöntemi ile üretilir. Yoğunluğu 0,95 g/cm^3 erime noktası 130/135 ^{0}C'dir. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE veya LDPE), geleneksel olarak yüksek basınçla üretilir. Yoğunluğu 0,92 g/cm^3, erime noktası 115 ^{0}C'dir. Dallı yapısından dolayı YYPE'ne kıyasla düşük kristalinite değeri gösterir [22].

Doğrusal düşük yoğunluklu polietlilen (LAYPD veya LLDPE), etilenin; büten hekzen otken veya 4-metil penten ile düşük basınçla kopolimerleşmesi ile elde edilir. Genel özellikleri AYPE'ye göre çok iyidir. Polietilenin tüm özellikleri karışımla

ayarlanabilir. Pratik olarak poliolefin sistemleri çok düşük yüzeyler arası gerilme değerine sahip olmaları nedeniyle uyumludurlar. Vinil, akrilik ve hatta CO_2 komonomerleri de polietileni modifiye etmek için kullanılırlar. Ancak kristalleşme ve erime sıcaklığı nedeniyle bir takım kısıtlamalar mevcuttur. Polietilenler; akışkanlık, darbe direnci gibi özellikleri iyileştirdiklerinden karışım bileşeni olarak sıklıkla kullanılırlar. Maliyet-fiyat azalması ve hacim-fiyat iyileştirilmeleri de bir diğer üstünlükleridir [22].

PE karışımlarının en önemli uygulama alanlarından biri ambalaj sektörüdür. Oksijen ve su buharı gibi gazlara karşı engelleyici etki ve sulu ortamlarda kimyasal direnç gösterir. Polietilenin birçok polimer ile karışımı daha önceden çalışılmıştır. PE/PS, PE/PP, PE/PA ve PE/Poliester bunlara örnek olarak verilebilir [22].

Genel olarak polietilen, uygun fiyatı, birden fazla yöntemle işlenebilen, farklı yoğunluklarda üretilebilen, kimyasal dayanıklılığı yüksek bir polimerdir. Bu artılarından dolayı polietilen kullanımı birçok sektör tarafından tercih edilir. Bu sektörler arasında başlıca, ev eşyaları, oyuncak, boru, tüp, şişe, hortum vb. malzemelerin yapımı, kablo kaplama, kumaş ve metallerin kaplaması sayılabilir. Sektörde en çok kullanıldığı alan ise film üretimidir. Sera örtüleri, çöp poşetleri, alış-veriş torbaları, ambalaj filmleri polietilenden yapılır [23].

2.3. TPN/PE Karışımları

Polietilen en yaygın kullanılan polimerlerden biridir. Özellikleri ambalaj sektörü için oldukça iyidir. Bu sebeple dünya çapında binlerce ton PE hurdası geri dönüştürülmektedir. En yaygın kullanım alanları boru üretiminde darbe artırıcı olarak karışım yapımında vb. Bu tez çalışmasında çöp poşeti üretimi için geri kazanılmış polietilen seçilmiş ve özellikleri oldukça uygun olduğu için biyobozunur çöp poşeti üretimi için mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Termoplastik nişasta genel anlamda düşük mekanik özellikler sergilemektedir. Neme karşı aşırı duyarlı oluşu ve ısıl bozunmasının yüksek oluşu kendi başına üretimde kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle sentetik polimerlerle karıştırılarak kullanımı daha yaygın ve kullanışlı bir yöntemdir. Düşük maliyetli oluşu da dolgu maddesi olarak kullanıldığında üstünlük sağlamaktadır.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, TPN ve PE karışımlarının uyumsuz olduğu görülür. PE molekülleri apolar, TPN polar olduğu için ara yüzey uyumsuzluğu oluşmaktadır. Bu olumsuzluğun önüne geçebilmek için farklı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan en yaygın olanları, nişastayı modifiye etmek ya da uygun bir uyumlaştırıcı kullanmaktır. Farklı uyumlaştırıcılar TPN/PE karışımları ile denenmiş ve uyumlaştırıcıların karışımın mekanik özelliklerini artırmada başarılı oldukları görülmüştür.

2.4. Uyumluluk ve Uyumlaştırıcılar

Polimerlerin büyük çoğunluğu aralarında özel etkileşimler bulunmadığı sürece birbirleriyle uyumlu değillerdir.

Polimerlerin özellikleri kopolimerizasyon sırasında bir kaç farklı monomer kullanılarak bir aşamaya kadar değiştirile bilmektedir. Bu yöntemle monomerler moleküler seviyede birbirlerine tutunabilmekte ve karıştırılabilmektedir. Ancak bu yöntem ile çok büyük miktarlarda üretimin yapılması zorunludur. Daha küçük miktarlarda üretim için homo polimerlerin eritme ve karıştırma şeklinde üretimlerinin yapılması daha uygundur. Ancak bu yöntemin en temel eksikliği uyumsuzluk sorunudur. Uyumlaştırıcılar özel bir tür polimer katkısıdır. Bazı katkılar kullanım sırasında görevlerini yerine getirmektedirler, anti blok ve anti fog ajanları gibi. Ancak uyumlaştırıcılar üretim esnasında yapıya eklenerek eritme aşamasında görevlerini yerlerine getirirler [24].

2.4.1. Uyumlaştırıcılar

Bir uyumlaştırıcının uyumlaştırıcı olarak adlandırılabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunlar;

- Yeterli ara yüz gerilimi
- Etkili ve kolay karışabilme
- Ana polimerde bulunan fonksiyonel grupları barındırma
- Üretim esnasında hızlı tepkime verebilme.

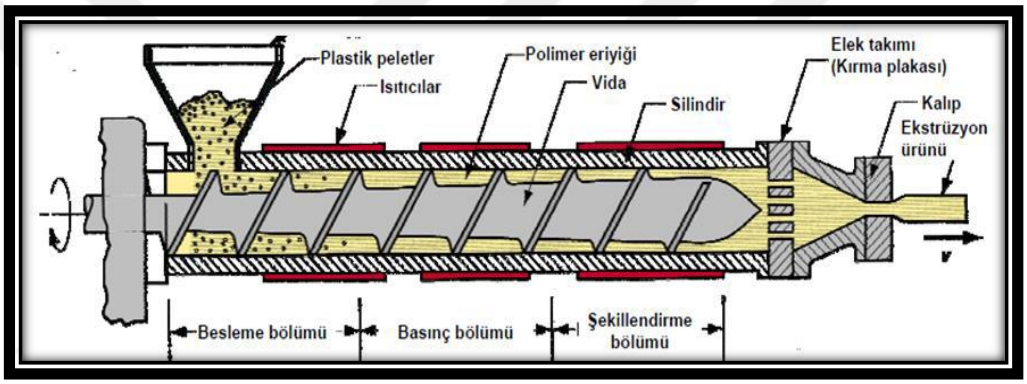
Termodinamik uyumluluk ile teknolojik uyumluluk arasında fark bulunmaktadır. Uyumlaştırıcılar ile termodinamik bağ bulunmayan polimerler uyumlaştırıldıklarında

termodinamik bağ bulunan polimerler gibi iyi karışmış sayılmazlar. Bu karışım yöntemine teknolojik uyumluluk denir. Bunun anlamı karışım kullanılabilecek uygun özellikler gösterebilir hale gelmiştir denilebilir. Teknolojik uyumluluk sağlayabilmek için fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılabilir [24].

2.5. Kullanılan Üretim Teknikleri

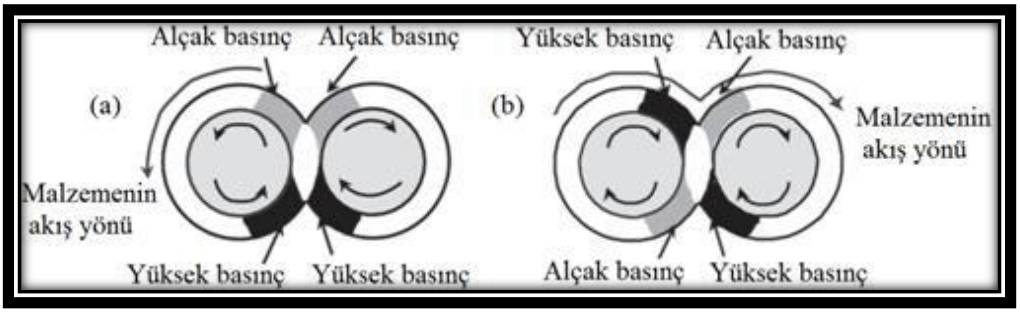
2.5.1. Ektrüzyon

Ektrüzyon vida ve ısıtıcılar yardımıyla polimerik malzemenin eritilerek basınç yardımıyla granül ya da plaka formuna dönüştürülmesini sağlayan bir cihazdır. Şekil 2.2'de bir ektrüzyon makinasının bölümleri gösterilmiştir [25].



Şekil 2.2. Ektrüzyon makinasının bölümleri

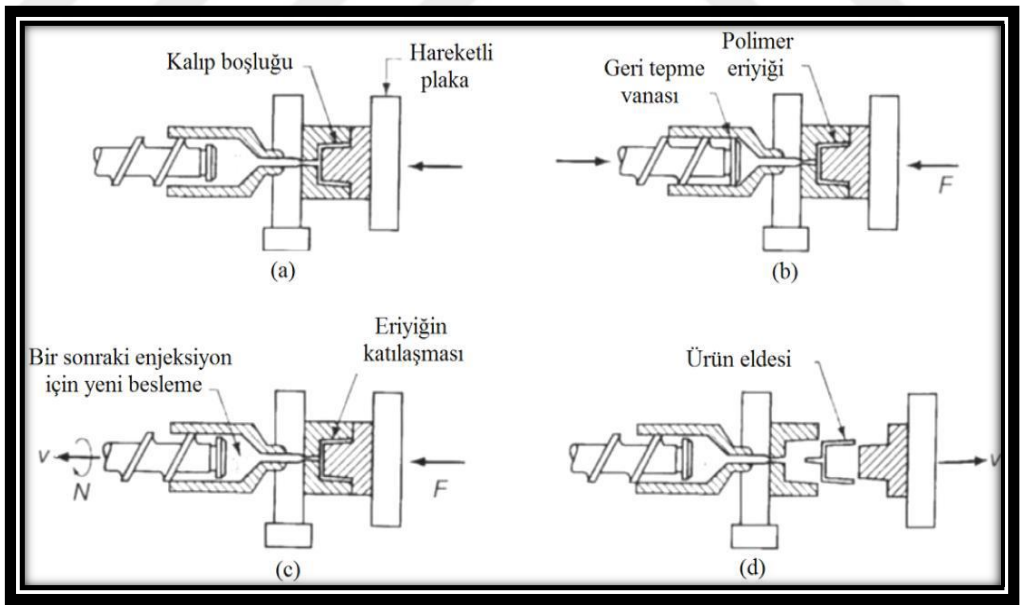
Vida dizilimi üretilecek malzemenin homojen olması için önemli bir parametredir. Kayma gerilmesi oluşturacak bölgeler malzemelerin çeşidine göre artırılıp azaltılabilmektedir. Çift vidalı ve tek vidalı olan türleri mevcuttur. Geri dönüşüm ektrüderleri tek vidalıdır. Çift vidalı ektrüderde vidaların birbirleri ile aynı yönde ya da zıt yönde dönmesi malzeme üzerine uygulanan kayma gerilmesini ve basıncı direk olarak etkilediği için önemli bir faktördür. Şekil 2.3'de vidaların dönüş yönleri ve malzeme üzerine etkileri belirtilmiştir [25].



Şekil 2.3. Vidaların dönüş yönleri ve malzeme üzerine etkileri

2.5.1. Enjeksiyon kalıplama

Enjeksiyon kalıplama süreci eritilen malzemenin vida ve basınç yardımıyla son ürün olarak belirlenen kalıbın içine doldurulması ve kontrollü olarak soğutulmasıyla kalıbın şeklini alması işlemidir [28]. Enjeksiyon makinası üç ana bölümden oluşur; kalıp, kalıp kontrol ünitesi, enjeksiyon ünitesi. Şekil 2.4.'de enjeksiyon makinasının çalışma adımları gösterilmiştir. İşlem malzemenin besleyiciye eklenmesi ile başlar. Besleyiciden vidaya aktarılan malzeme burada eritilip(a) kalıbın içine basınç ile doldurulur(b). Kalıbın içinde bir süre bekletilen malzeme(c) kalıptan alınarak son ürün olarak kullanılır(d).



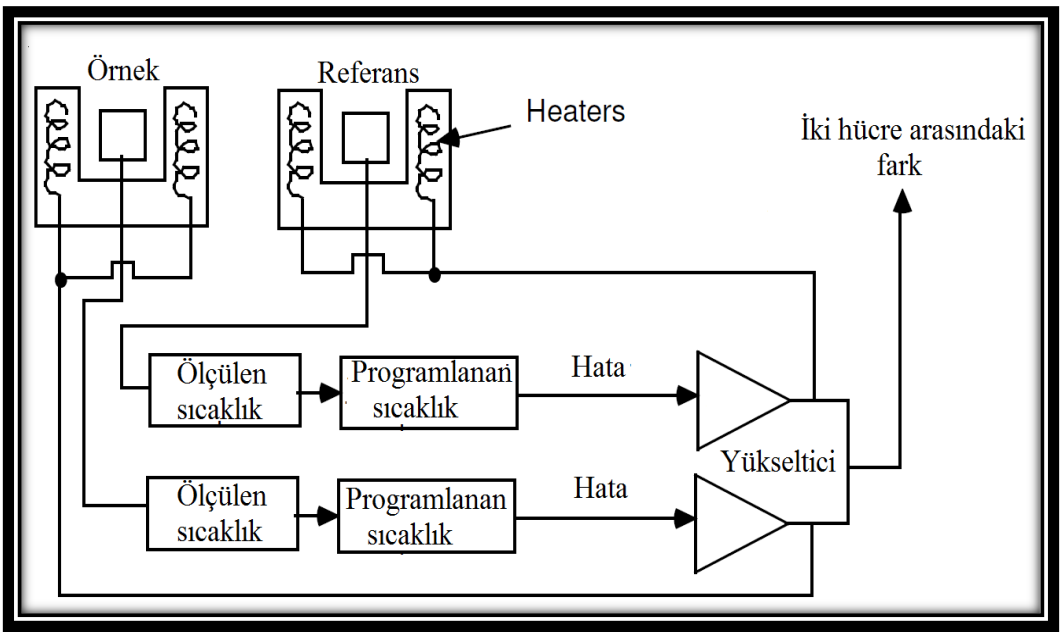
Şekil 2.4. Enjeksiyon makinasının çalışma aşamaları

2.6. Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri

2.6.1. Diferansiyel taramalı spektrometre (DSC)

DSC cihazı malzemelerin ısı kapasitelerini, erime, camsı geçiş ve kristalizasyon sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan bir ısıl analiz cihazıdır. Çalışma prensibi kontrollü ısıtma ve soğutma yapılarak malzemelerin aynı sıcaklıkta tutulması için gerekli olan enerji değerinin zaman ve sıcaklığa göre kaydedilmesi esasına dayanır.

DSC testi belirlenen ısıtma ya da soğutma yöntemlerine göre yapılır. Numune gözünde 2 adet hazne bulunur. Biri referans DSC kabı diğeri numune kabı içindir. Polimerik malzemeler için alüminyum kroze kullanılır. Belirlenen yönteme göre krozeler ısıtılır ya da soğutulur. İki krozenin aynı sıcaklıkta kalabilmesi için anlık müdahaleler yapılır. Krozeler arasında erime ya da kristalizasyon geçişlerinden dolayı ısı farkı oluşması durumunda ısısı düşen krozeye ısı verilir. Eğer ısı farkı pozitif ise oluşan reaksiyon endotermiktir ve bu durumda örnek numunesi ısıtılır. Oluşan ısı farkı negatif ise referans krozesi ısıtılır. Bu durumda oluşan reaksiyon ekzotermiktir. Bu değişimler ve yapılan müdahaleler grafiğe işlenerek DSC eğrisi oluşturulur. DSC eğrisinden camsı geçiş sıcaklığı (Tg), erime sıcaklığı (Tm), kristalizasyon sıcaklığı (Tc), Isı kapasitesi (Cp),kristalizasyon derecesi (%Xc) belirlenebilir. Şekil 2.5.'de DSC cihazı şematik olarak gösterilmiştir [29].



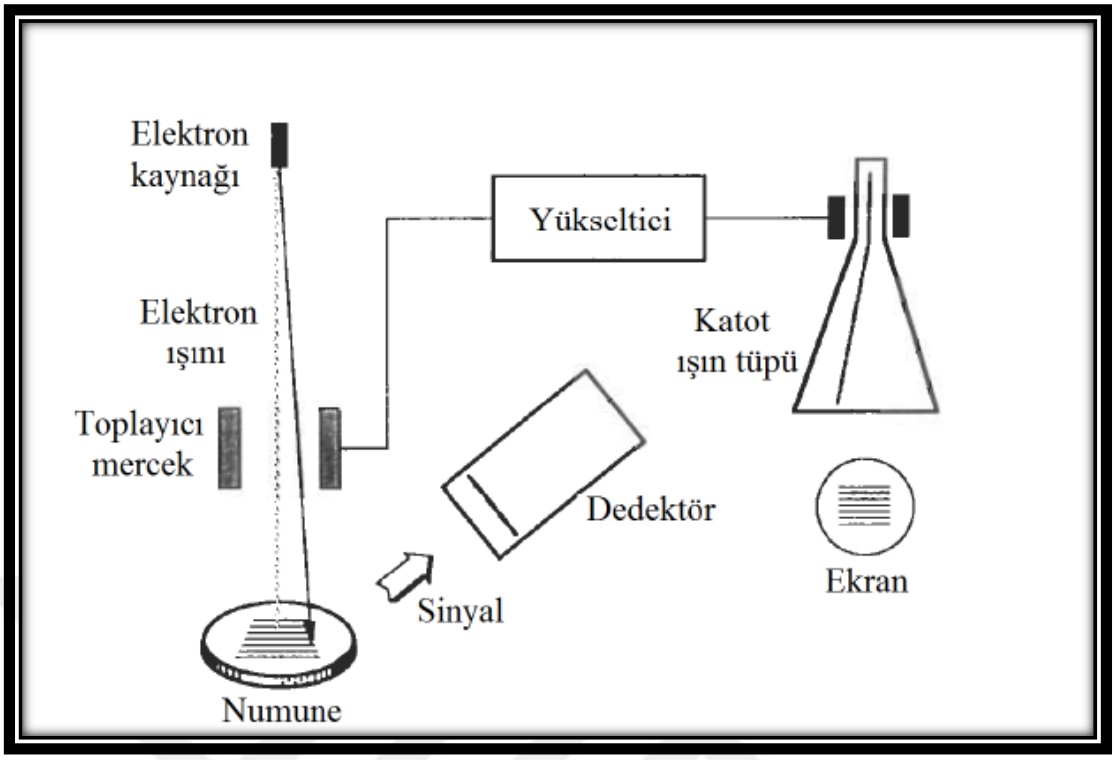
Şekil 2.5. DSC cihazı şematik gösterimi [27]

2.6.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Polimer yapısındaki moleküller sürekli hareket halindedir ve titreşirler. Bu molekülleri incelemek için FTIR cihazı yardımı ile malzeme içerisinden farklı frekanslarda ışık geçirilir ve ancak geçen ışığın frekansı moleküllerin titreşim frekansı ile aynı olursa ışık emilir. Malzeme içerisinden geçen ve emilmeyen frekanslar incelenerek malzemenin yapısına ve hangi kimyasal bağları oluşturduğu konusunda yorum yapılabilir. Bu yöntem ile malzeme türüne bazı geri dönüşüm fabrikalarında hızlı bir şekilde karar verilebilmektedir. Tek başına yeterli olmayan, bu yöntem hızlı olması sebebiyle tercih edilmektedir [27].

2.6.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Test edilecek yüzeyden elektron geçirilmesi ile örneklerin yüksek çözünürlüklü fotoğraflarının çekilebildiği bir yöntemdir. SEM cihazı ile görüntü alınabilmesi için parçanın elektriği iletmesi gerekmektedir. Elektriği iletmeyen malzemelerin yüzeyi iletken metallerle kaplanarak cihaza yerleştirilir. Altın ve paladyum en çok kullanılan metallerdendir. SEM cihazı uyumlaştırıcıların etkisini görebilmek için kullanılan etkili yöntemlerden biridir. SEM cihazı numune yüzeyine yüksek voltaj ile hız kazandırılmış elektronların gönderilmesi numune üzerindeki atomlarda yaptığı etkilerin uygun algılayıcı yardımıyla incelenmesi esası ile çalışır. SEM cihazı başlıca elektron kaynağı, numune haznesi ve algılayıcıdan oluşur [30]. SEM cihazı mekanizması Şekil 2.6.'da verilmiştir.

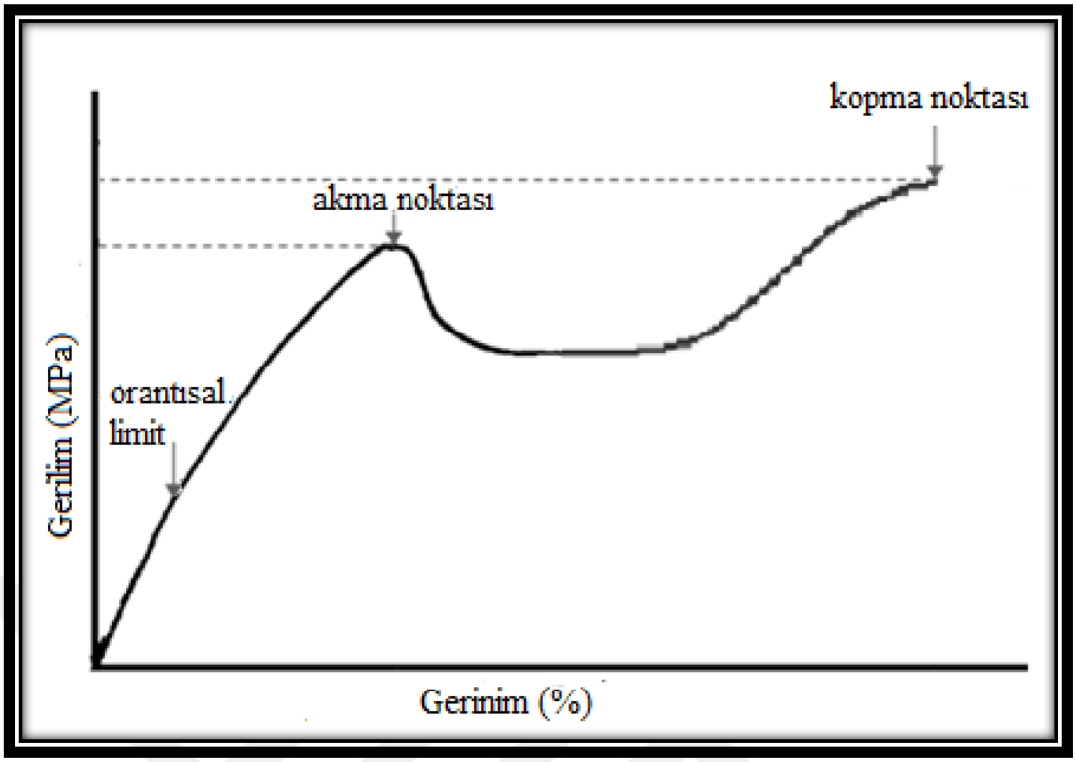


Şekil 2.6. SEM cihazı mekanizması [27]

2.6.4. Çekme deneyi

Çekme testi, malzemelerin sabit çekme deformasyonu altında sergilediği direncin deformasyon miktarına karşı değişiminin belirlendiği bir statik mekanik testtir. Malzemelere uygulanan test gerçek hayat koşullarında karşılaşacağı gerilmelere uygun olup olmadığının belirlenmesi amacı ile yapılır [31, 32].

Çekme testinin başlıca uygulanma amacı malzemenin gerilme altındaki plastik ve elastik davranışlarının incelenmesidir. Bunun için belirlenen standartlara göre hazırlanan numuneler çekme test cihazının çenelerine bağlanarak standartlardaki koşullara göre teste tabi tutulur. Çekme testi cihazı çenelerinde malzemeye uygulanan kuvveti ve malzemenin uygulanan kuvvete karşı gösterdiği direnci ölçen algılayıcı birimler bulunur. Deney esnasında bir çene sabit tutulurken diğer çene hareketli olarak numuneyi çeker. Bu kuvvete karşılık olarak malzemede oluşan uzamalar kaydedilir. Şekil 2.7'de tipik bir gerilim-gerinme grafiği verilmiştir. Bu grafik çekme cihazı tarafından oluşturulur ve bu grafik sayesinde malzemenin çekme dayanımı, akma dayanımı, kopmada uzama, akmada uzama gibi değerleri belirlenebilir [31].



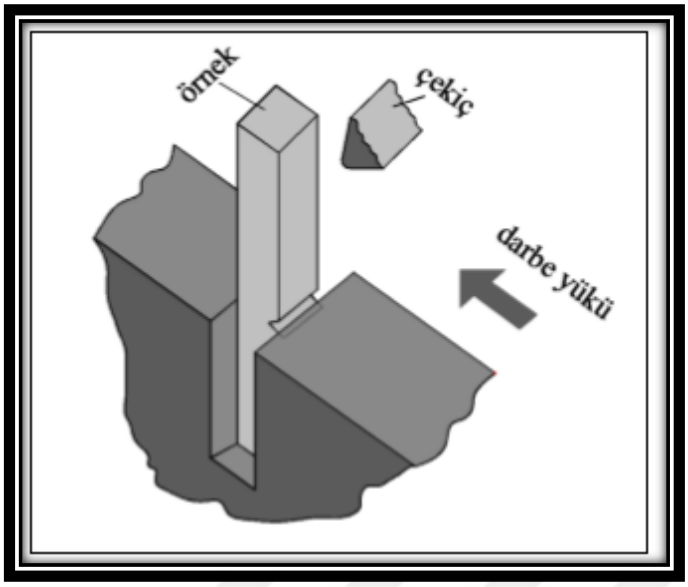
Şekil 2.7. Gerilim-gerinme grafiği [32]

2.6.5. Darbe deneyi

Darbe testi malzemelerin kırılmaya karşı gösterdikleri dayanımın ölçülmesi için kullanılır. Darbe dayanım değerleri bu test ile elde edilir. Darbe dayanım değeri ise malzemenin kırılması için gerekli olan enerji değeridir [33].

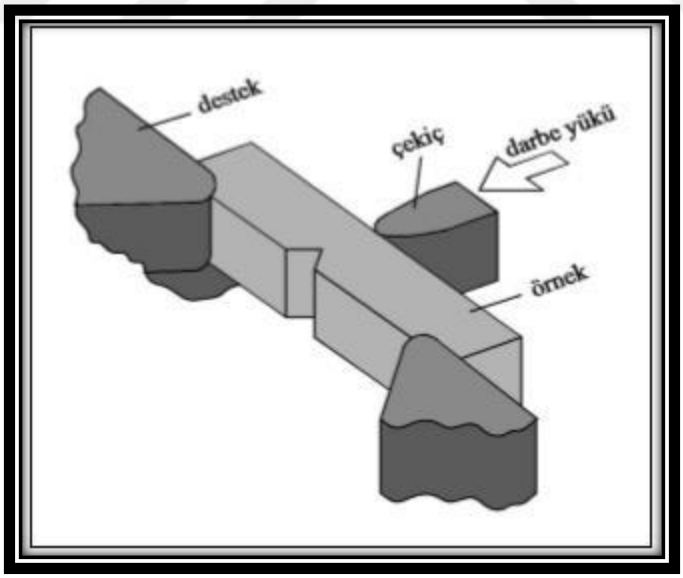
Sarkaçlı darbe testi en çok kullanılan test yöntemidir. İzod ve charpy olmak üzere iki çeşit sarkaçlı darbe testi bulunur. Bu yöntemleri birbirinden ayıran en önemli özellik test numunesinin cihaza bağlanış şeklidir. İzod test yönteminde malzeme dik bağlanır. Charpy test yönteminde ise malzeme yatay konumda bağlanır. Her iki testin çentikli ve çentiksiz olmak üzere iki türü bulunmaktadır [33].

İzod darbe testinde cihaz Şekil 2.8'de görüldüğü gibi dik konumda bağlanır. Üstten serbest bırakılan çekiç örneğe çarparak kırılmasını sağlar. Kırılma sonucunda çekice karşı uygulanan kuvvet cihaz tarafından belirlenerek malzemenin darbe dayanımı hesaplanmış olur. Test numunesi uygulanacak standartlara göre hazırlanır [34].



Şekil 2.8. Çentikli izod darbe deneyi [34]

Charpy darbe deneyinde izod darbe testinden farklı olarak cihaza yatay konumda bağlanır. Ayrıca çekicin çubuğa temas ettiği nokta izod darbe testine göre farklılık göstermektedir. Şekil 2.9'da görüleceği gibi cihaza bağlanan numune standartlara göre hazırlanarak teste tabi tutulur [34].



Şekil 2.9. Çentikli charpy darbe deneyi [34]

2.6.7 Reolojik analiz

Reoloji, stres altındaki malzemenin deforme olmasının nedenlerini araştıran bir bilim dalıdır. Üretim aşamasında veya eriyik fazda kullanılan maddelerin akış özelliklerinin

incelenmesinde ve maddelerin karıştırılmasında da reolojinin büyük önemi bulunmaktadır.

Dinamik reoloji ölçümünde, malzemeye belirli bir frekans aralığında devamlı olarak artıp azalan gerinim uygulanır ve en yüksek gerilim değeri ile gerinim ve gerilme arasındaki faz farklılığı ölçülür. Burada malzeme elastik, viskoz veya viskoelastik olmak üzere üç farklı davranış sergileyebilir. İdeal elastik bir malzemede, oluşan gerilme gerinim ile doğru orantılıdır ve gerilme ve gerinim sinyalleri aynı fazdadır. İdeal bir elastik malzemenin davranışı Hooke Kanunu ile temsil edilir. İdeal viskoz bir malzemede ise, gerilme ile gerinim hızı doğru orantılıdır ve gerilme ile gerinim arasında 90 derecelik bir faz farklılığı vardır. İdeal viskoz bir malzemenin davranışı Newton Kanunu ile temsil edilir. Viskoelastik malzemede gerilme ve gerinim arasındaki faz farklılığı elastik (0º) ve viskoz (90º) davranışların arasında bir değer alır.

Reoloji analizleri sonucunda malzemenin depolama modülü (E'), kayıp modülü (E'') ve kompleks modül (E*) verileri bulunabilir. Depolama ya da depo modülü (elastik gerilmenin gerinime oranı) bir malzemenin aldığı enerjiyi elastik olarak depolayabildiğini gösterir. Kayıp modülü (viskoz gerilmenin gerinime oranı) bir malzemenin aldığı enerjiyi harcamasını temsil eder. Kompleks modül ise bir malzemenin deformasyona karşı gösterdiği toplam dayanıklılığını temsil eder[35].

2.7. Literatür Araştırması

LDPE/TPN karışımlarının uyumluluk özellikleri ve davranışlarının belirlenebilmesi için literatür ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve araştırılmıştır.

Bikiaris ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada plastikleştirilmiş nişasta ve polietilen karışımlarına PE-g-MAH eklenmiş ve PE-g-MAH'ın uyumlaştırıcı olarak karışımdaki etkileri incelenmiştir. Uyumlaştırıcı içermeyen karışımlarında hazırlandığı çalışmada uyumluluğun oluşup oluşmadığını görebilmek için mekanik testler ve SEM analizi kullanılmıştır. Ayrıca biyobozunurluğun etkilenip etkilenmediğini görebilmek için biyobozunurluk testi yapılmıştır. SEM fotoğrafları incelendiğinde PE-g-MAH'in yapı içerisinde iyi dağıldığı, nişasta ve polietilen arasında güçlü bir yapışma kuvveti oluşturduğu belirlenmiştir. Mekanik özelliklerde de uyumluluk arttığı için artış gözlenmiştir. Uyumlaştırıcı eklenmemiş örneklerle

karşılaştırma yapıldığında, biyobozunurluk özellikleri ile bir diğer çalışmaları arasında önemli bir farkın olmadığı anlaşılmıştır [36].

Bikiaris ve arkadaşları etilen akrilik asit kopolimeri (EAA) ve plastikleştirilmiş nişastanın polietilenin termooksidatif bozunmasına etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda EAA'nın uyumlaştırıcı olarak LDPE/nişasta karışımlarına özellikleri etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Ancak EAA'nın uyumlaştırıcı olarak etkin olabilmesi için çok yüksek yükleme oranlarında eklenmesi gerektiği belirtilmiş ve bunun biyobozunurluğu negatif yönde etkilediği belirtilmiştir [37].

Sailaja ve arkadaşı poli/etilen-co-vinil alkol'ün (EVOH) LDPE/TPS karışımlarında uyumlaştırıcı olarak kullanımını incelemişlerdir. Çalışmada çekme ve darbe dayanımları incelenmiş ve morfolojik inceleme yapılmıştır. İncelemeler sonucunda EVOH'un uyumlaştırıcı olarak etkin olduğu, çekme ve darbe sonuçlarındaki iyileşmelerle kanıtlanmıştır. Karışım morfolojiside uyumlaşmayı destekleyen sonuçlar vermiştir. Ancak, EVOH'un aşırı hidrofilik oluşu nedeniyle nişasta ile birlikte üretimde kullanılmasının bazı kısıtlamalara yol açacağı belirtilmiştir [38].

Wang shujun ve arkadaşları LDPE /TPS karışımlarının uyumlaştırılması üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmanın asıl hedef maleik kullanarak, tek adımda ektrüzyonda reaktif uyumlaştırma yöntemini kullanmaktır. Maleik aşılanmış polietilen kullanmak yerine tek adımda ektrüzyon esnasında yapıya maleik ekleyerek maliyetten tasarruf etmeyi amaçlamışlar ve daha iyi uyumluluk elde edebilmeyi planlamışlardır. Çalışmada yapılan FTIR sonuçları incelendiğinde, MAH'ın uyumlaştırıcı özellikleri etkilediği görülmüştür. Bu çalışmada PE-g-MAH'in EAA ve EVOH'dan daha etkili bir uyumlaştırıcı olduğu belirtilmiştir [39]. Tez çalışması kapsamında seçilen uyumlaştıcılardan biri bu nedenle PE-g-MAH olmuştur.

Anderson M. Peres ve arkadaşları TPS/LDPE karışımlarını birden fazla üretimden geçirerek malzeme yapısındaki oluşan değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada 5 ve 10 kez ektrüzyondan sonra mekanik özelliklerde çok önemli değişikliklerin olmadığı bildirilmiştir. Bu da LDPE/TPS bileşiklerinin üretim kayıplarının tekrar işlenebileceği ve üretime dahil edilebileceği anlamına gelmektedir. LDPE/TPS karışımlarının maliyet açısından uygunluğuna farklı bir kanıt teşkil etmektedir [40].

Maryam arkadaşları LLDPE/LDPE/TPS karışımlarına nanokil katkısını ekleyerek nanokilin etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca karışım içinde maleik aşılanmış polietilen uyumlaştırıcı olarak kullanılmıştır. Karışım içine %1-5 arsında farklı oranlarda nanokil eklenmiştir. X-ray test yöntemi ve TEM analiziyle karışımdaki killerin plakalarının ayrıldığı görülmüştür. Ancak bazı tek plakalı ayrışmış yapılarda tespit edilmiştir. SEM fotoğrafları incelendiğinde, TPS tane boyutlarının düştüğü görülmüştür. Nanokil miktarı arttıkça mekanik özelliklerde artış görülmüştür. Ayrıca nanokil içeren karışımlardan çekilen film numuneleri optik testlerden başarıyla geçmiştir [41].

Nattaporn ve arkadaşları LLDPE/TPN karışımlarına sterik asit aşılı maleik anhidriti ekleyerek reolojik, ısıl ve mekanik özellikleri incelemeyi amaçlamışlardır. Karışımları çift vidalı ektrüderde hazırlayarak test etmişler ve çekme dayanımlarında, UV emilim özelliklerinde ve kayma incelmesi özelliklerinde azalış ayrıca oksijen geçirgenliğinde azalış görmüşlerdir. Sonuç olarak sterik asit aşılı maleik anhidritin uyumlaştırıcı olarak çalışabileceği anlaşılmıştır [42].

Nattaporn ve arkadaşları LLDPE/TPN karışımlarına sterik asit aşılı maleik anhidriti ekleyerek yapının morfolojik özelliklerini görmeyi amaçlamışlardır. Bir önceki çalışmalarının devamı olarak morfolojik özellikleri incelemeyi amaçlamışlardır. Yapılan testler sonucunda ara yüz yapışmasının artığı gözlenmiştir. Maleik anhidrit aşılı sterik asidin %1 yükleme oranında etkin uyumlaştırıcı olarak çalıştığı gözlenmiştir [43].

Andréa ve arkadaşları PP/TPN karışımlarında karboksilik asitlerin uyumlaştırıcı olarak etkinliklerini incelemişlerdir. 3 farklı karboksilik asidin denendiği çalışmada tek kullanımlık ürünlerin üretimi amaçlanmıştır. Maleik anhidrit aşılı polipropilen ise karşılaştırma için kullanılmıştır. Mekanik özellikler ve SEM fotoğrafları incelendiğinde karboksilik asitlerin uyumlaştırıcı olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır [44].

Xianhong ve arkadaşları farklı uyumlaştırıcıların nişasta/polipropilen karışımlarının mekanik ve ısıl özelliklerine etkisini incelemişlerdir. (3-Aminopropil) triethoxysilan (KH550), metakriloksi propil trimetoksil silan (KH570) ve gliserin uyumlaştırıcı olarak nişastaya işlenmiştir. İşlenmiş nişasta ve polipropilen çift vidalı ektrüderde

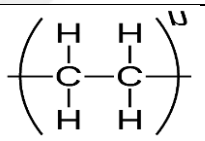
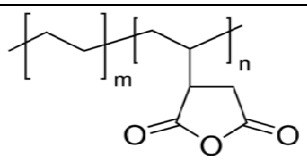
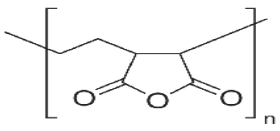
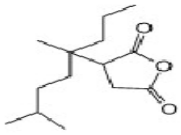
karışım haline getirilmiştir. Mekanik özelliklerde artış uyumlaştırıcı miktarının artırılmasıyla hızlanmıştır. En iyi sonucun %1 yükleme ile KH570'in verdiği görülmüştür [45].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

Tez çalışmasında kullanılan malzemelerin kimyasal yapıları ve temin edildikleri firmalar Tablo 3.1. ‘de verilmiştir.

Tablo 3.1. Malzeme listesi

Malzeme İsmi ve Temin Edilen Firma	Teknik Özellikler	Kimyasal yapı
rLDPE Polipro Plastik	d = 0,92 MFI = 8.1 g/10 dk (190 °C, 5 kg)	
TPN Sunar Mısır	 Gliserin oranı = % 28	
PEgMAH Polyram	d = 0,91 g/cm³ MAH oranı = %~1 MFI = 6.5 g/10 dk (190 °C, 10 kg)	
PEMAH Kemiropa	Mn = 27000 Mw = 65000	
EPMgMAH Lanxess	Mooney Viskozite = 20-29 MAH oranı = % 0.8	

3.2. Yöntem

3.2.1. Numune hazırlama

Çalışmanın ilk aşamasında farklı uyumlaştırıcıların etkilerinin incelenebilmesi için en uygun TPN oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle rLDPE'e %10,%20,%30,%40 ve %50 olacak şekilde TPN eklenmiştir. Daha sonra literatürde en yaygın olarak kullanılan uyumlaştırıcı ilk aşamada %5 ve %10 oranlarında rLDPE/TPN karışımlarına ilave edilmiştir. Tablo 3.2.'de çalışmanın ilk aşamasında hazırlanan karışımlar ve PEgMAH'ın uyumlaştırıcı olarak eklendiği bileşimlerin karışım oranları gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Artan TPN oranları ve PEgMAH ile hazırlanan karışım oranları

	rLDPE	**TPN**	**PEgMAH**
rPE	100	-	
rPE/10T	90	10	
rPE/20T	80	20	
rPE/30T	70	30	
rPE/40T	60	40	
rPE/50T	50	50	
rPE/10T/5P	85	10	5
rPE/20T/5P	75	20	5
rPE/30T/5P	65	30	5
rPE/40T/5P	55	40	5
rPE/50T/5P	45	50	5
rPE/10T/10P	80	10	10
rPE/20T/10P	70	20	10
rPE/30T/10P	60	30	10
rPE/40T/10P	50	40	10
rPE/50T/10P	40	50	10

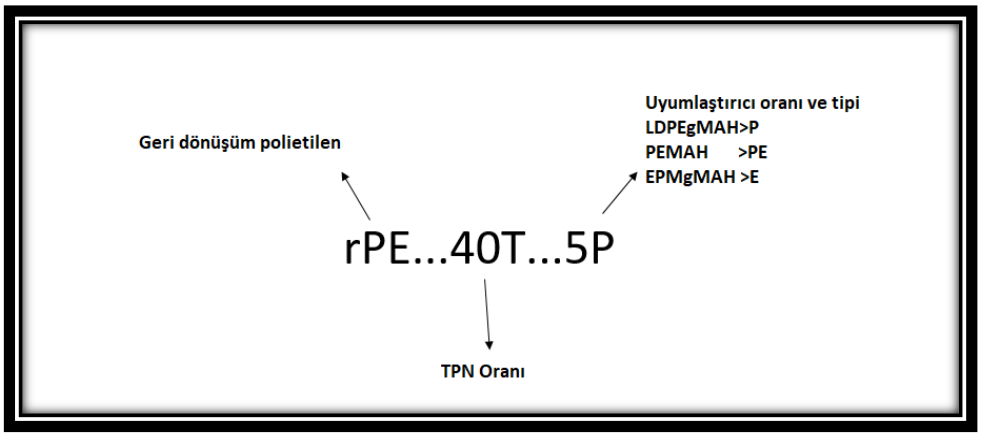
Daha sonra çalışmanın ikinci aşamasında çekme testi sonuçları değerlendirilerek %40 TPN içeren karışım, diğer uyumlaştırıcıların etkisinin incelenmesi amacıyla matris olarak seçilmiştir. Daha sonra bu karışıma diğer iki uyumlaştırıcı %40 TPN oranı sabit tutularak %5 ve %10 oranlarında eklenerek yeni karışımlar hazırlanmış ve karışımların karakterizasyon testleri yapılmıştır. Tablo 3.3.'de farklı uyumlaştırıcıların etkisinin incelenmesi için hazırlanan karışımlar ve karışım oranları gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Farklı uyumlaştırıcıların etkisinin incelenmesi için hazırlanan k. oranları

	rLDPE	**TPN**	**PEgMAH**	**PEMAH**	**EPMgMAH**
rPE/40T	60	40			
rPE/40T/5P	55	40	5		
rPE/40T/10P	50	40	10		
rPE/40T/5PM	55	40		5	
rPE/40T/10PM	50	40		10	
rPE/40T/5E	55	40			5
rPE/40T/10E	50	40			10

3.2.2. Numunelerin adlandırılması

Çalışma da örneklerin daha iyi anlaşılması için bir kodlama sistemi oluşturulmuştur. Kodlama sistemi 3 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım geri dönüşüm polietileni simgeleyen rPE'dir. İkinci kısım TPN miktarının yazıldığı bölümdür. Bu bölüm T şeklinde düşünülmüştür. Örneğin 40T yapıda %40 TPN olduğunu simgelemektedir. Üçüncü kısım ise uyumlaştırıcı türünün ve oranının yazdığı bölümdür. Uyumlaştırıcı içerip içermediğine göre ve üç tür uyumlaştırıcıdan (PEgMAH için P, EPMgMAH için E, PEMAH için PE) hangisini içerdiğinin anlaşılması için simgesel ekleme yapılmıştır. Örneğin 5P yapıda %5 PEgMAH olduğunu göstermektedir. Şekil 3.1.'de ayrıntılı olarak kodlamanın nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Örnek gruplarının kodlanması

3.2.2. Örneklerin üretilmesi(Ekstrüzyon)

Polimer teknik POEX T-27 çift vidalı ektrüder numunelerin üretilmesinde kullanılmıştır (Şekil 3.2). Bu ekstrüder, vida çapı 27 mm olan ve L/D oranı 48:1 olan karışım yapımında kullanılan laboratuvar ölçekli bir makinadır. Karışımlar 170 °C'de 400 RPM'de üretilmiştir.

Bu cihazda bir adet hacimsel ana besleme, 2 adet hacimsel yan besleme bulunmaktadır. Cihaz üzerinde sıcaklık ve basınç ölçerler yer almaktadır. 13 adet ısı bölgesinden oluşan sistem sürekli olarak ısıtıcı ve soğutucu sistem ile 1 derece hassasiyetle kontrol altında tutulmakta ve gereken ısı verilmektedir. Cihaz üzerinde 2 adet gaz çıkış bölgesinin yanı sıra bir adette kafaya yakın vakum sistemi bulunmaktadır. Bu şekilde gaz çıkışı sıfıra indirgene bilmektedir.



Şekil 3.2. Po-Ex ektrüzyon makinası

Bu çalışmada kullanılan vida dizilimi, 9 adet iletici blok,7 adet dövücü blok, katı itici bölgesi, plastikleştirici bölgesi, eriyik iletici bölgesi homojenleştirici bölge ve gaz alıcı bölgeden oluşmaktadır. Karışım ilk katı iletim bölgesinden verilir. Sonra plastikleştirici bölgeden geçer. Daha sonra 3 dövme ve 4 iletici bölgeye gelir. Buradan homojenleşen malzeme tekrar 4 dövücü 3 iletici bölgeden geçer ve son olarak gaz alıcı bölgeden geçerek kafadan çıkmış olur.

3.2.3. Enjeksiyon ile kalıplama

ISO 527 standardına göre arburg EKO 350 enjeksiyon makinasında test çubukları üretilmiştir (Şekil 3.3.). 170 °C'de 400 barda çubukların üretimi gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon makinası ısı kontrollü besleme, vida ve kalıptan oluşur. Vida çapı 27 mm olan makina, 300 dereceye kadar çıkabilmektedir ve maksimum 1650 bar'da çalıştırılabilmektedir. Kalıp 2 çekme, 2 darbe, 1 sertlik, 2 adet yanma çubuğundan oluşur.



Şekil 3.3. Arburg enjeksiyon makinası

3.2.2. Karakterizasyon

3.2.2.1. Diferansiyel taramalı kalorimetre(DSC)

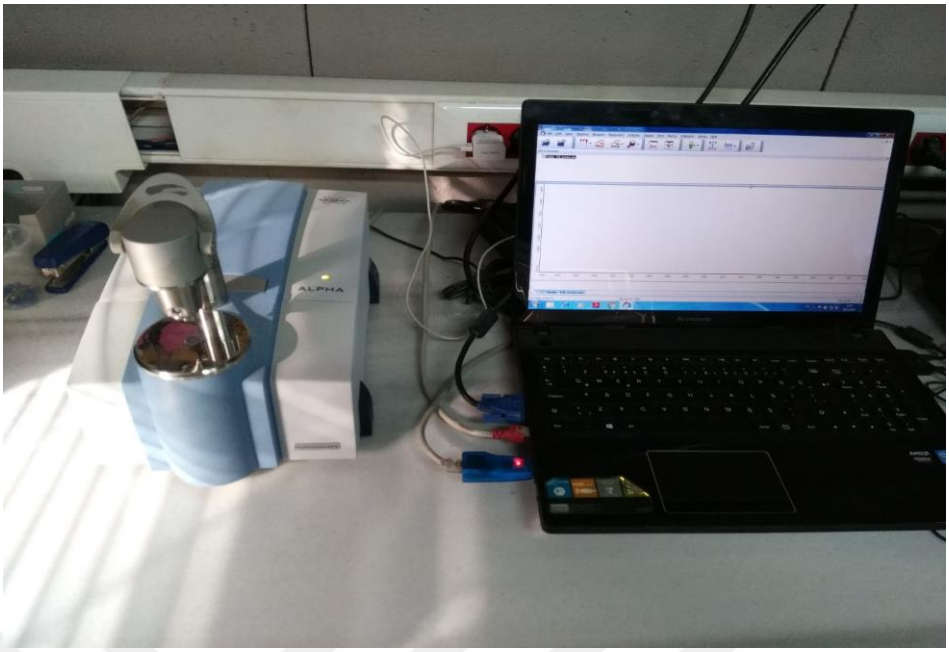
Bu tez çalışmasında TA DSC test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.4). Hazırlanan örnekler oda sıcaklığından 200 dereceye kadar 10 ^{0}C/dk hızla ısıtılmış ve oda sıcaklığına yine aynı hızda soğutulmuşlardır.



Şekil 3.4. TA DSC test cihazı

3.2.4.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

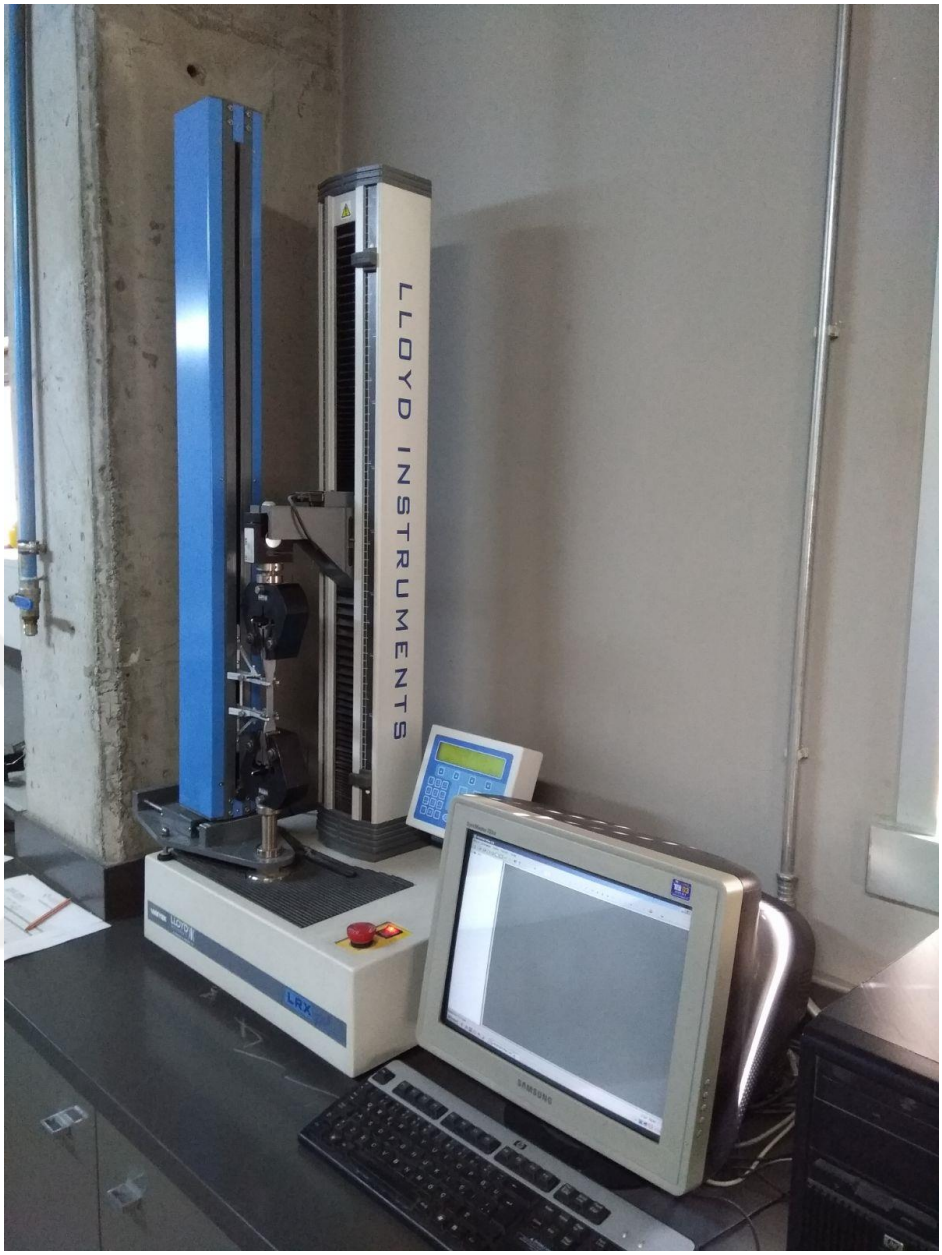
Malzemelerin kimyasal yapısında meydana gelen değişiklerin incelenmesi ve uyumlaştırıcıların etkisinin daha net belirlenebilmesi için FTIR analizi gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında FTIR analizleri Bruker alpha ATR FTIR cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Bruker alpha FTIR test cihazı

3.2.4.3. Üniversal test cihazı/çekme deneyi

Çekme testleri Lloyd LC marka test cihazında 5 kN yükleme kapasitesine sahip çenelerle ve ekstansometre ile yapılmıştır (Şekil 3.6.). Test hızı 50 mm/dk ve çene aralığı(Lo) 100 mm'dir. Çekme testleri ISO 527 standartlarına göre 22-24 derecelerde yapılmıştır. Cihazın paket programından yararlanılarak her gruptan beş tane test yapılmıştır ve kopmada uzama, çekme dayanımı değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. Lloyd universal test cihazı

3.2.4.4 Darbe deneyi

Testler Ceast 9050 marka darbe test cihazında 2 mm çentik açılarak yapılmıştır. Ceast darbe test cihazı ve çentik açma makinesi Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Bu cihaz 0,5 ve 25 joule arasında çalışma kapasitesine sahiptir. Çentikler ceast marka elle çentik açma makinasında açılmıştır. İzod şeklinde yapılan darbe deneyinde çubukların çentiği çekice bakacak şekilde bağlanmış ve sürtünmeden kaynaklanan enerji kayıpları hesaba katılarak testler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar kj/mm^2 cinsinden alınmıştır.



Şekil 3.7. Ceast darbe test cihazı ve çentik açma makinesi

3.2.4.5. Taramalı elektron mikroskobu(SEM)

Numunelerin kırılma yüzeyleri ve uyumlaştırıcı etkilerini inceleyebilmek için SEM fotoğraflarından yararlanılmıştır. Testler QUANTA 400F SEM de çekilmiştir ve 20 kV'a kadar çıkabilme özelliğine sahiptir. Testler yapılmadan önce numuneler altın ve paladyum ile kaplanmıştır. SEM analizleri ODTÜ merkezi laboratuvarından hizmet alımı yoluyla yapılmıştır.

3.2.4.6. Reoloji analizi

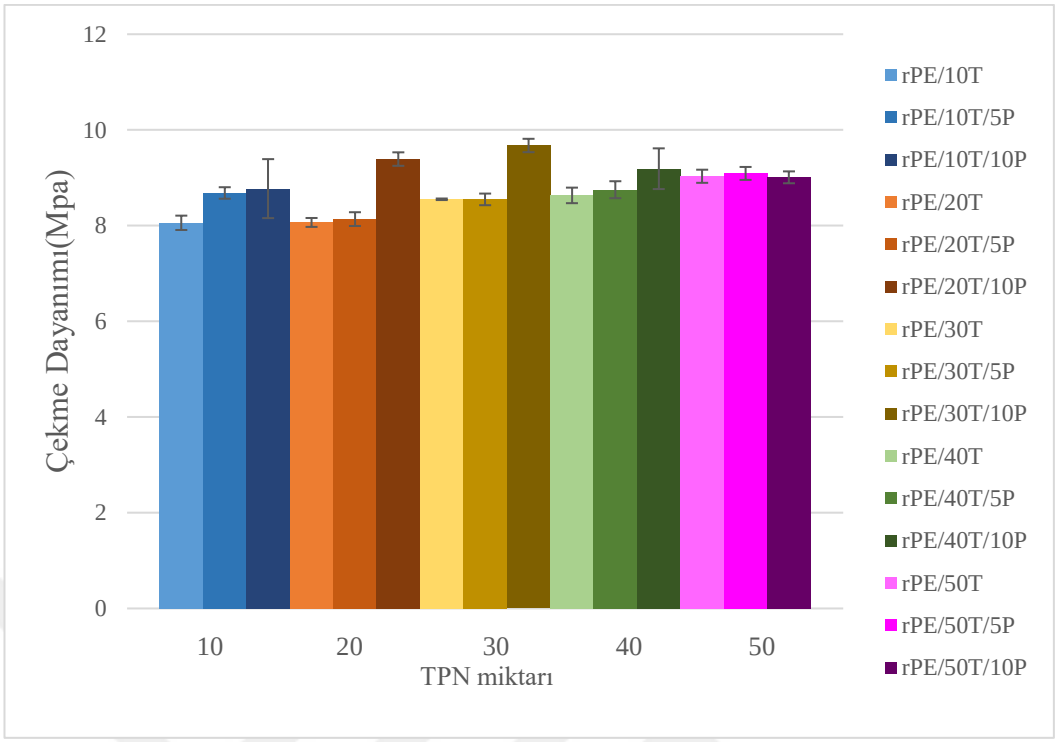
Reoloji analizi, Antoon Paar MCR reometre cihazında yapılmıştır. Örneklerin kararlılığı, IHz ve 190˚C'de %1'lik gerilme genliği ile dinamik zaman taraması ile kontrol edilmiştir. Bütün testler lineer viskoelastik bölgede (%1'lik küçük gerilme genliği), sabit sıcaklık (190˚C), 0,1-100rad. s^{-1} frekans taraması aralığında yapılmıştır. Bu analiz seçilmiş birkaç örneğe uygulanmış olup, örneklerin vizkoziteleri değerlendirilmiştir.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. En Uygun TPS Miktarının Belirlenmesi

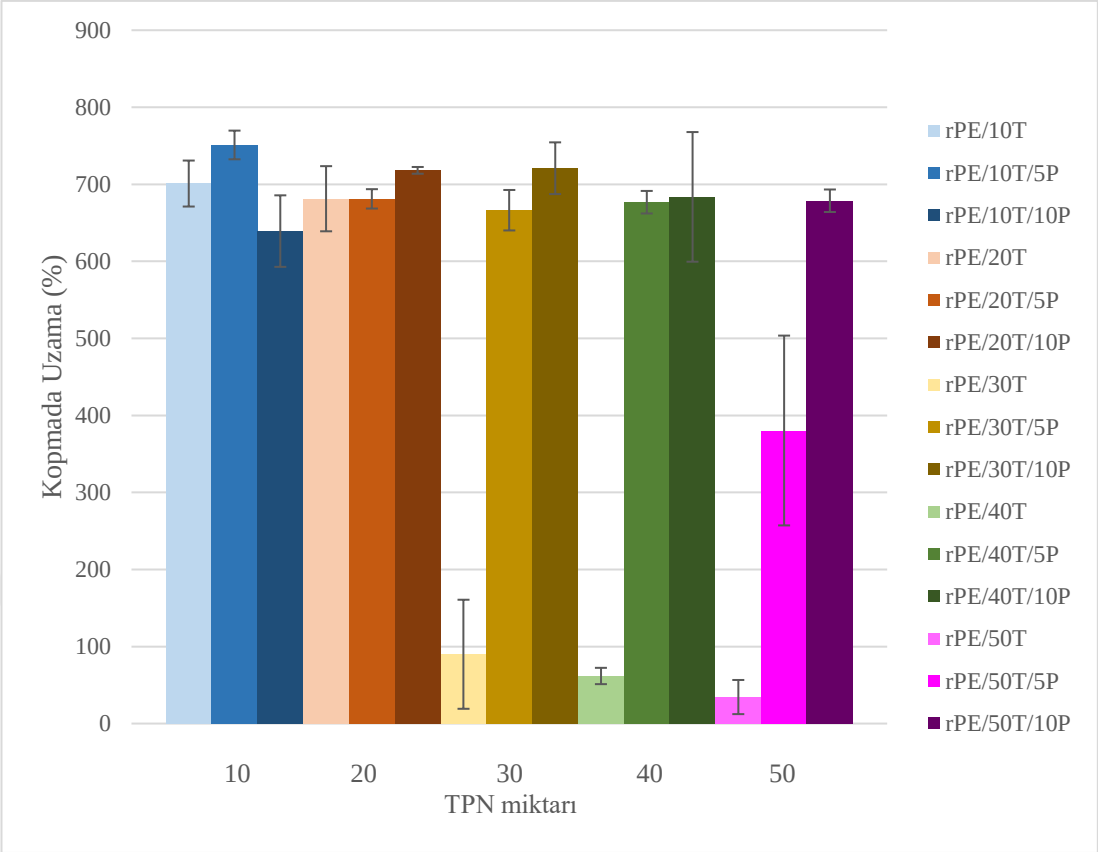
Tezin ilk aşamasında uyumlaştırıcı içermeyen, %5 uyumlaştırıcı ve %10 uyumlaştırıcı içermek üzere artan TPN miktarı ile karışımlar hazırlanmış ve en uygun TPN miktarını içeren karışımın belirlenmesi hedeflenmiştir. İlk aşamada literatürde en yaygın olarak kullanılan ve uyumlaştırmada etkili olduğu bilinen PEgMAH uyumlaştırıcı olarak kullanılmıştır [46].

Karışımlar hazırlanıp test çubukları elde edildikten sonra karakterizasyon testleri uygulanmıştır. Çekme testleri sonucunda elde edilen veriler Şekil 4.1.'de verilmiştir. Uyumlaştırıcı olmayan karışımlarda kopma dayanımının çok fazla değişmediği ve genel olarak 8 MPa değeri gösterdiği görülmüştür. Uyumlaştırılmış karışımlarda çekme değerlerinde artış görülmüştür. Uyumlaştırıcı oranının artmasıyla kopma dayanımının da arttığı belirlenmiştir. En yüksek kopma dayanımı değeri %30'luk TPN oranına sahip %10 uyumlaştırıcı içeren karışımda olmuştur. Ancak, biyobozunurluk için mümkün olduğunca yüksek miktarda TPN olması gerektiği için %40'lık karışım uyumlaştırıcı etkisinin incelenmesi için düşünülmüştür.



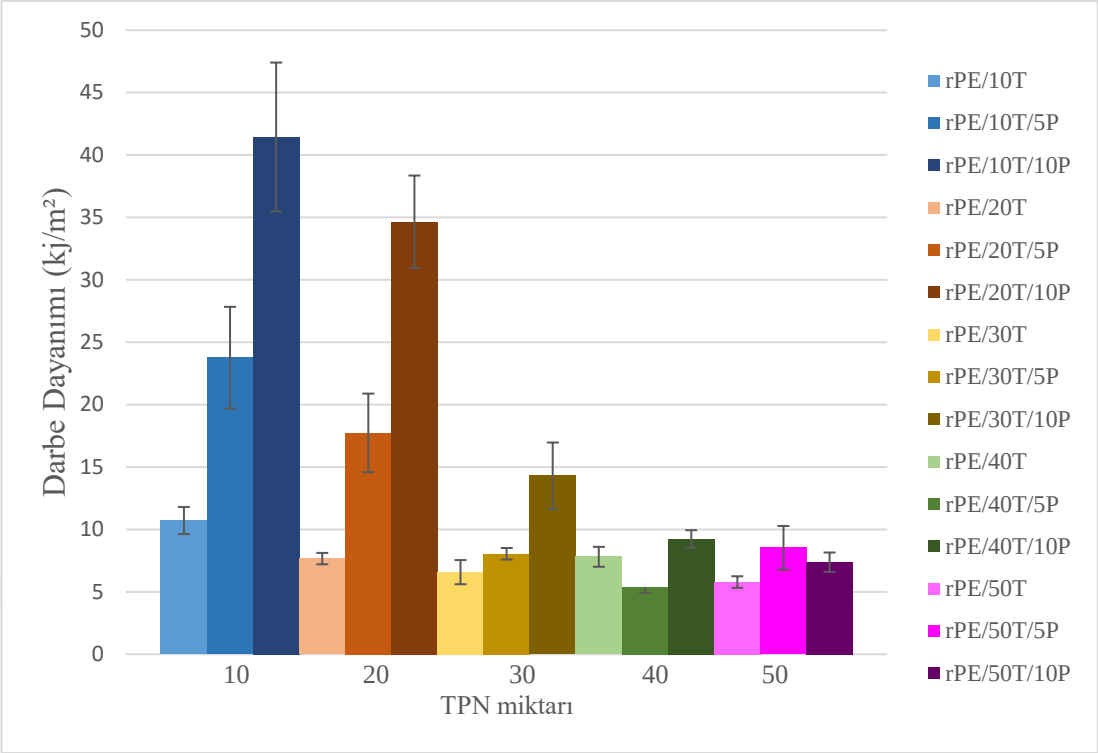
Şekil 4.1. Artan TPS miktarlarına göre kopma dayanımı grafiği

Şekil 4.2.'de kopmada uzama değerleri verilmiştir. Kopmada uzama değerlerinin artan TPN miktarıyla incelendiğinde düşük TPN oranlarında uyumlaştırıcının çok büyük etkisinin olmadığı görülmektedir. Polietilen kendi başına da yeterli değerleri gösterebilmiştir. Ancak TPN miktarı arttıkça uyumlaştırıcı içermeyen karışımlarda kopma uzamalarında düşüşler görülmüştür. Uyumlaştırıcının etkisi %40 ve %50 TPN içeren karışımlarda net bir şekilde görülmektedir. %10 uyumlaştırıcı eklenmiş yüksek TPN oranına sahip karışımlarda saf polietilene yakın kopmada uzama değerleri elde edilmiştir. Film üretimi için bu parametreler oldukça önemli olduğu ve %50 TPN içeren karışımda değişim aralığı çok fazla olduğu için %40'lık karışımın matris olarak kullanılmasını kopmada uzama değerleri de desteklemiştir.



Şekil 4.2. Artan TPS miktarlarının incelendiği kopmada uzama grafiği

Şekil 4.3.'de hazırlanan karışımların darbe dayanımı grafiği verilmiştir. Karışımın darbe değerleri genel olarak artan TPN oranları ile azalış göstermiştir. %10-20 içeren karışımlarda darbe dayanımı değerleri %10 uyumlaştırıcı eklenmesi ile %300 oranında artış göstermiştir. Yüksek TPN içeren karışımlarda (%40-50) ise çok fazla artış olmamıştır. Hatta %50'lik TPN içeren karışımda %10 uyumlaştırıcı eklenmesi ile darbe dayanımında azalış görülmüştür.

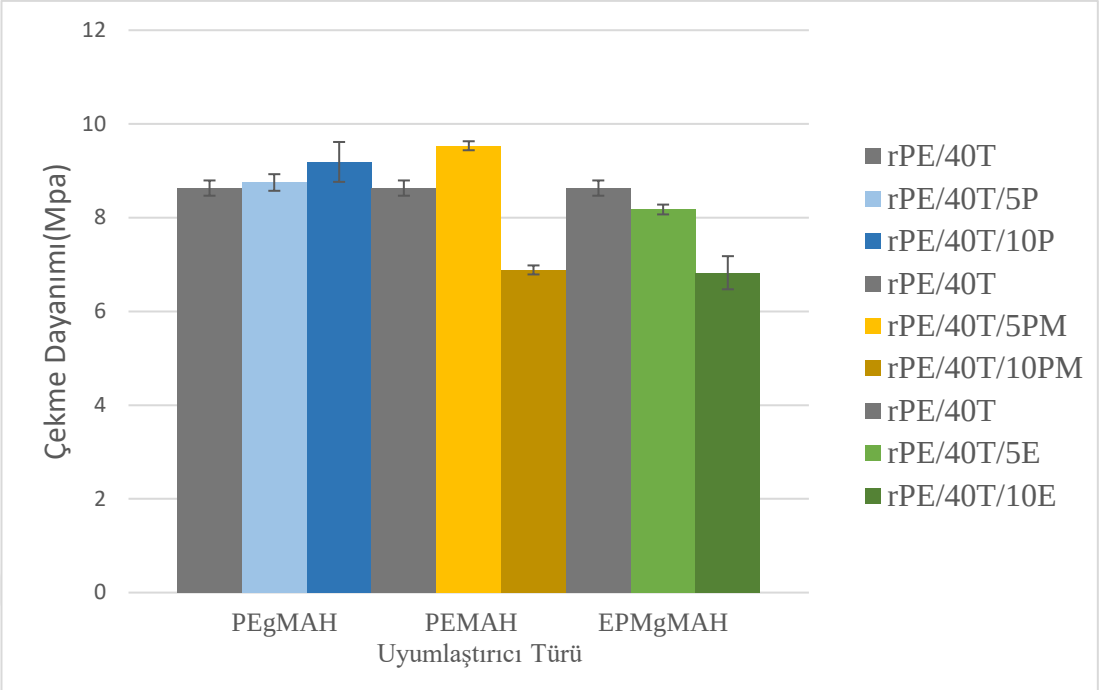


Şekil 4.3. Artan TPS miktarlarının incelendiği darbe dayanımı grafiği

TPS miktarlarına göre çekme ve darbe testleri sonuçlarının incelendiği ilk aşamada %40'lık olan grupların en uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir ve diğer uyumlaştırıcıları içeren karışımlarda TPN oranı %40'da sabit tutularak çalışma yapılmasına karar verilmiştir.

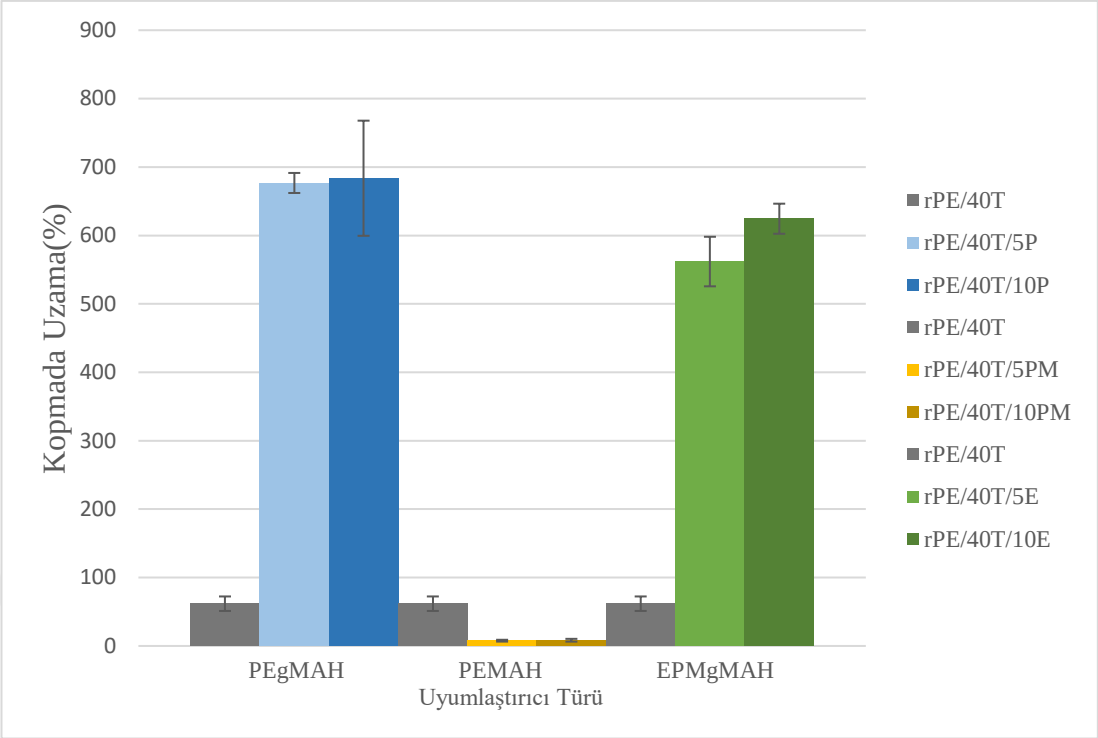
4.2. Uyumlaştırıcı türlerinin çekme dayanımına etkisi

Farklı uyumlaştırıcı eklenmiş karışımlarının çekme dayanımı değerleri Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. %5 PEgMAH ilavesi ile çekme dayanımı değerleri artmış, EPMgMAH ilavesi ile azalmıştır. Bu düşüş EPM aşılanmış maleik anhidritin barındırdığı kauçuk özelliklerinden kaynaklanmaktadır. PEgMAH ilavesi ile az olmakla birlikte artış görülmektedir. Bu da uyumlaşmanın gerçekleştiğini göstermektedir. PEMAH ilavesi ile %5'lik karışımlarda artış görülmüş, %10'luk karışımlarda azalma görülmüştür. PEMAH içeren karışımlardaki bu artış ve azalış dolgu malzemelerinde görülen davranışa benzemektedir [23].



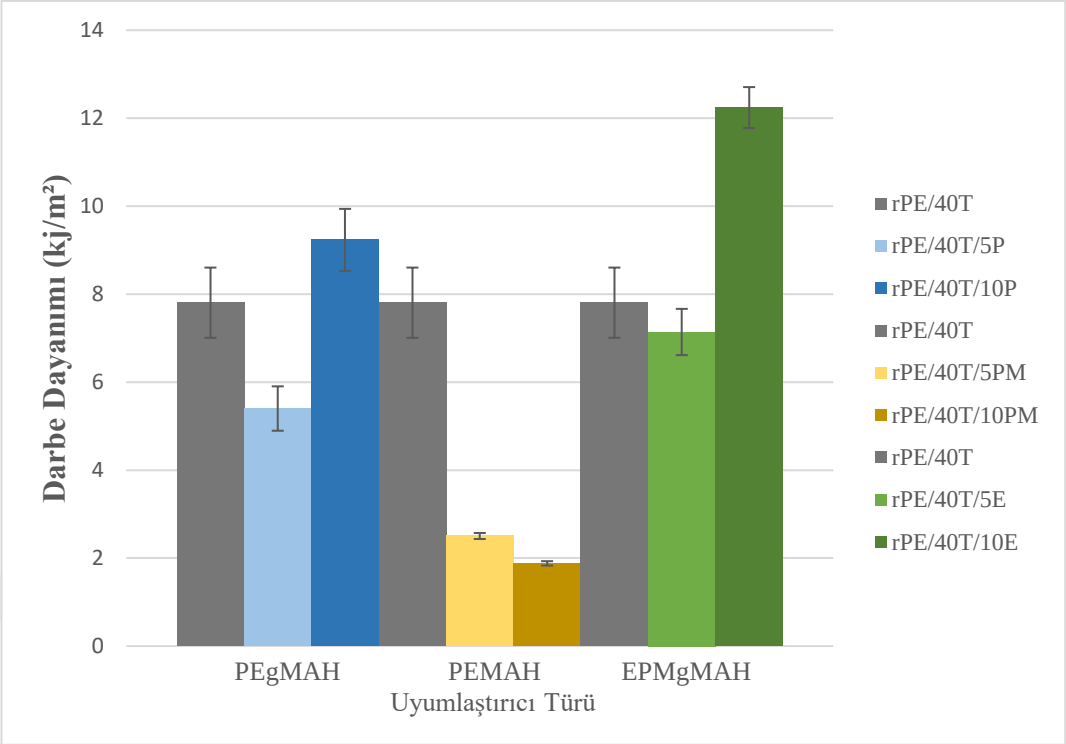
Şekil 4.4. Farklı uyumlaştırıcı türlerinin denendiği çekme dayanımı grafiği

Uyumlaştırılmış karışımların kopmada uzama değerleri Şekil 4.5.'te verilmiştir. Kopmada uzama değerleri PEgMAH ve EPMgMAH ilavesi ile oldukça iyi bir şekilde artış göstermiştir. En yüksek uzama değeri PEgMAH ilavesi ile olmuştur. PEMAH değerlerinde meydana gelen büyük düşüş PEMAH'in uyumlaştırıcı etkisi göstermediğine işaret etmektedir. Düşük kopmada uzama değerleri şişirilerek film üretiminde kesinlikle istenmeyen bir durumdur. PEMAH uyumlaştırıcı olarak bu durumda istenilen sonuçları göstermemiştir.



Şekil 4.5. Farklı uyumlaştırıcı türlerinin denendiği kopmada uzama grafiği

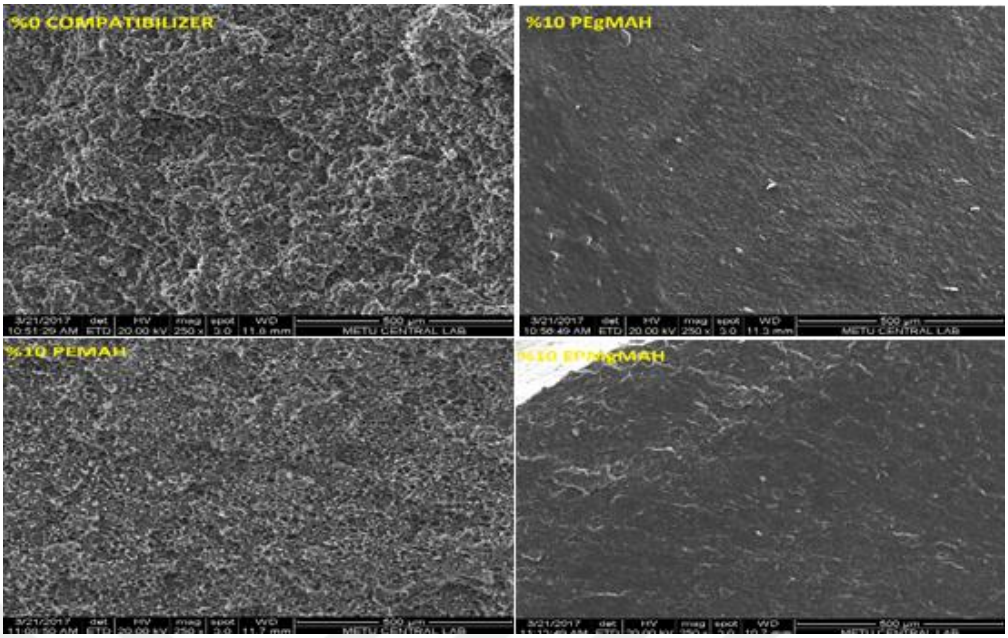
Şekil 4.6.'da darbe dayanımı değerleri verilmiştir. Darbe dayanımı PEgMAH ve EPMgMAH ilavesi ile artış göstermektedir. %10'luk EPMgMAH eklenen karışımlarda darbe dayanımında %50'lik bir artış gözlenmiştir. En yüksek darbe dayanımı sonuçları EPM içeren uyumlaştırıcıda görülmüştür. Bunun sebebi EPM'in kauçuk olmasından kaynaklanmaktadır. Film üretimi için darbe dayanımı değerleri önem teşkil etmemesine rağmen yüksek darbe dayanımı isteyen uygulamalar için bu uyumlaştırıcı tercih edilebilir. PEMAH darbe dayanımı değerlerini düşürmektedir. Çekme testi sonuçlarında gözlenen bu durum darbe dayanımı sonuçlarında da gözlenmiştir. Seçilen yükleme oranlarında PEMAH darbe dayanımı değerlerini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 4.6. Farklı uyumlaştırıcı türlerinin denendiği darbe dayanımı grafiği

4.3. Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM)

Uyumlaştırıcı içeren ve uyumlaştırıcı içermeyen karışımların SEM fotoğrafları Şekil 4.7.'de verilmiştir. SEM fotoğrafları incelendiğinde, PEgMAH ve EPMgMAH uyumlaştırıcı olarak etki gösterdiği düşünülmektedir. Hiç uyumlaştırıcı eklenmemiş karışımda oldukça sert ve pürüzlü bir yüzey bulunmaktadır. PEgMAH ve EPMgMAH eklenen karışımlar oldukça düzgün bir yüzey göstermişlerdir. Ara yüzey etkileşimi oldukça iyi görünmektedir. PEMAH fotoğrafları incelendiğinde oldukça pürüzlü ve delikli bir yüzey gözükmektedir. Uyumlaştırıcı etkisi hiç gözlenmemiştir. PEMAH'in LDPE/TPN ara yüzey etkileşimi hemen hemen hiç uyumlaştırıcı eklenmemiş karışımla aynıdır.



Şekil 4.7. SEM fotoğrafları

4.4. Termal özelliklerin incelenmesi

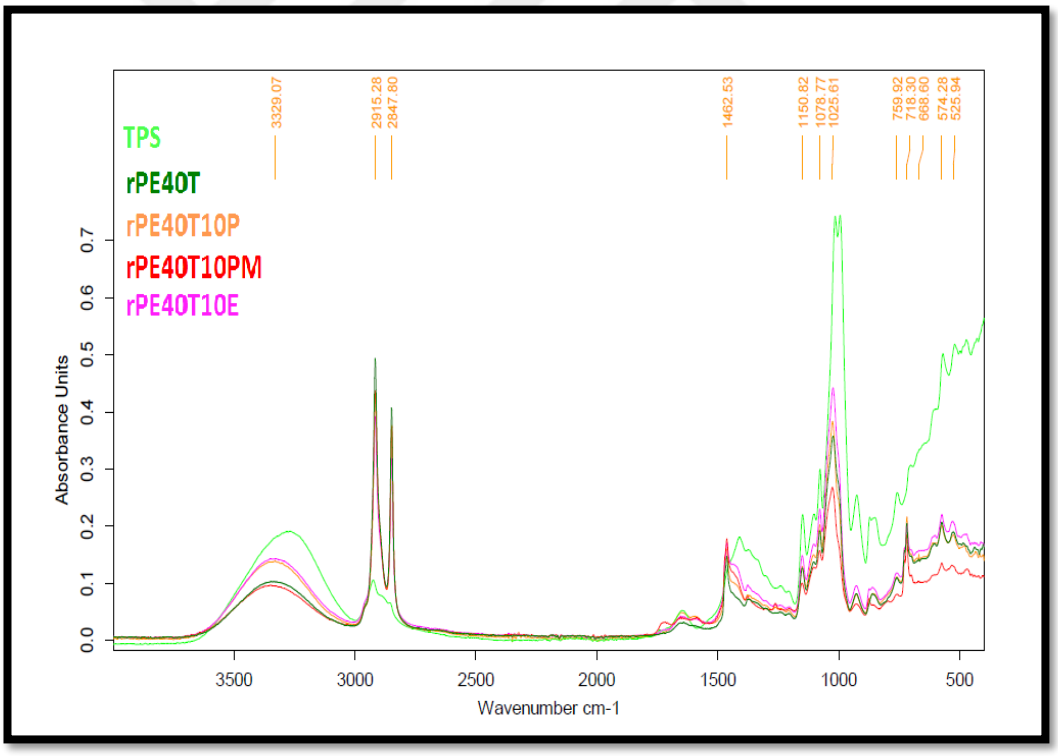
Tablo 4.1.'de uyumlaştırıcı içeren ve uyumlaştırıcı içermeyen %40 TPN içeren karışımların DSC sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde erime (Tm) ve kristalizaston (Tc) sıcaklıklarında uyumlaştırıcı ilavesiyle herhangi bir değişim olmadığı görülmüştür. Kristalizasyon sıcaklıklarında belirgin bir değişim olmamıştır. Kristalinite değerleri incelendiğinde EPMgMAH ilavesi ile kristalizasyon değerlerinin yükselttiği gözlenmiştir.

Tablo 4.1. DSC sonuçları

	Tm(°C)	**Tc(°C)**	**ΔHm (j/g)**	**ΔHc (j/g)**	**%Xc**
rPE40T	**124,8**	**109,7**	**44,37**	**43,31**	**0,72**
rPE40T5P	**123,8**	**110,1**	**71,6**	**69,94**	**1,03**
rPE40T10P	**123,2**	**110,7**	**62,17**	**59,67**	**1,70**
rPE40T5PM	**123,7**	**109,4**	**63,82**	**63,14**	**0,42**
rPE40T10PM	**123,4**	**109,4**	**61,06**	**59,89**	**0,79**
rPE40T5E	**123,1**	**110,0**	**66,16**	**62,93**	**2,00**
rPE40T10E	**123,7**	**109,7**	**69,39**	**64,62**	**3,25**

4.5. Moleküler yapının incelenmesi

LDPE/TPN karışımlarının FTIR spektrumları Şekil 4.8'de verilmiştir. Spektrumlarda Saf termoplastik nişastaya ait spektrum ile uyumlaştırıcı içermeyen karışımı ve ağırlıkça %10 uyumlaştırıcı eklenmiş gruplara ait spektrumlar farklı renklerde gösterilmişlerdir. 1150, 1078, nişastada görülen pikler nişastada bulunan C-O-C bağlarındaki titreşimleri göstermektedir. Ayrıca nişastaya ait 1025'de gözlenen karakteristik büyük pik C-O bağlarındaki titreşimleri göstermektedir[38]. 1150 ve 1078 dalga numaralarında uyumlaştırıcı eklenmemiş karışıma göre PEgMAH ve EPMgMAH ilavesi ile artış PEMAH ilavesi ile azalış olduğu gözlenmiştir. Bu dalga numarasının MAH ilavesi ile C-OH bağlarındaki etkileşimleri gösterdiği ve uyumlaştırıcının TPN ile etkileşime geçtiği bölgeler olarak literatürde verilmiştir [39]. Buradan PEgMAH'ın uyumlaştırıcı özelliği gösterdiği ancak PEMAH'ın uyumlaştırma etkisi göstermediği sonucuna varılabilir.

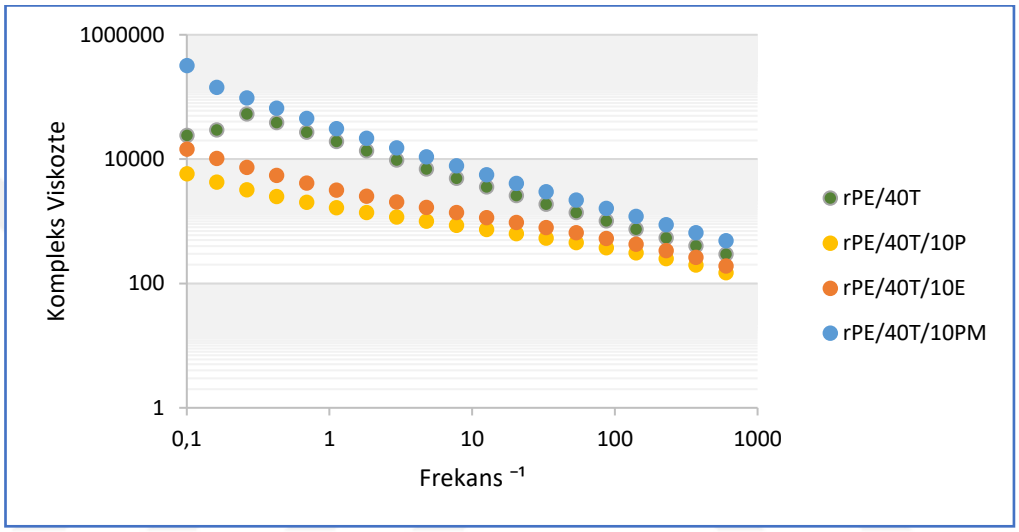


Şekil 4.8. FTIR spektrumları

4.6. Reometre ile kompleks viskozite analizi

Şekil 4.9'da uyumlaştırıcı eklenmemiş ve %10 uyumlaştırıcı içeren karışımlara uygulanmış reoloji analizi sonucu elde edilen komplex viskozite değerleri verilmiştir.

En yüksek vizkozite değeri PEMAH'da gözlenmiştir. Uyumlaştırıcı içermeyen karışım PEgMAH'den ve EPMgMAH'den daha yüksek vizkozite değeri vermektedir. En düşük viskozite değeri PEgMAH'de görülmüştür. Literatürde TPS oranı arttıkça akışkanlığın dolayısıyla viskozitenin arttığı bildirilmiştir [47]. Bu çalışmada TPS oranı %40 olarak sabitlenmiş ancak uyumlaştırıcı eklenmesiyle bu oran %36'ya düşmüştür. Bu durum uyumlaştırıcı içeren karışımların viskozitelerinin düşük değerlerde çıkmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.9. Kompleks viskozite değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma da geri dönüştürülmüş polietilene termoplastik nişasta eklenerek nişastanın olumsuz özellikleri giderilmeye çalışılmış ve aynı zamanda uyumlaştırıcılar ile nişasta-polietilen arasında oluşan uyumsuzluk giderilmeye çalışılmıştır. Amaç doğa dostu bir malzeme geliştirerek geri dönüştürülmesi çok zor olan çöp poşetlerinin üretilebilmesi için gereken mekanik özellikleri sağlayabilmektir. Bu doğrultuda üç tür farklı uyumlaştırıcı belirlenmiş ve en iyi etki gösteren uyumlaştırıcının belirlenebilmesi için karakterizasyon testleri uygulanmıştır.

İlk aşamada en uygun TPN miktarının belirlenebilmesi amacı ile literatürde en çok çalışılan ve en güvenilir uyumlaştırıcı olan PEgMAH %10-%50 arasında değişen TPN oranları ile %5 ve %10 oranlarında yapıya eklenmiş ve mekanik özellikler test edilmiştir. Yapılan testlerde film üretiminde en çok değerlendirilen parametre olan kopmada uzama değerleri göz önünde bulundurularak mekanik değerler incelendiğinde %40 TPN oranının uyumlaştırma çalışması için en uygun olacağına karar verilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, %40 oranından TPN sabit tutulmuş ve uyumlaştırıcıların hepsi yapıya %5 ve %10 oranlarında eklenerek uyumlaştırıcı içeren karışımlar üretilmiş ve karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme dayanımı değerleri ve darbe dayanımı değerleri %100 polietilenden çok farklı olmamakla birlikte kopmada uzama değerleri %100'e yakın sonuçlar vermektedir. EPMgMAH içeren karışımlarda uzama değerleri film üretimine uygun değerler gösterse de en iyi uzama değerleri PEgMAH içeren karışımlarda gözlenmiştir. EPMgMAH'in darbe dayanımı değerleri 3 uyumlaştırıcı içerisinde en iyi sonucu vermektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında EPMgMAH'in LDPE/TPN karışımlarının film üretimi haricinde enjeksiyon gibi farklı uygulamalarda kullanılabileceğini göstermektedir.

SEM fotoğrafları ile TPN ve polietilen arasında PEgMAH ile EPMgMAH içeren karışımlarda iyi ara yüzey etkileşimi gözlenmiştir. FTIR sonuçlarında PEgMAH ile

EPMgMAH’in TPN ile etkileşime girdiği gözlenmektedir. Sonuçlar incelendiğinde çöp poşeti üretimi için en iyi sonucu uyumlaştırıcı olarak PEgMAH’ın gösterdiği görülmüştür.

PEMAH beklenenin aksine uyumlaştırıcı olarak uygulanan yükleme miktarlarında bu çalışmada etkinlik göstermemiştir. Çekme ve darbe dayanımı değerlerinde azalmaya sebep olmuş SEM ve FTIR sonuçlarında uyumluluğa dair herhangi bir veri gözlenmemiştir. İleriki çalışmalarda daha düşük yükleme oranları ile PEMAH’ın denenmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Tall S., Recycling of Mixed Plastic Waste–Is Separation Worthwhile?, Phd Thesis, Royal Institude of Technology, Polymer Technology Department, Stokholm, Switzerland, 2000, SE-100 44.

[2] http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141230M1-12-1.pdf , (Ziyaret Tarihi: 07 Ağustos 2017).

[3] http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-Explained/index.php/Municipal_waste_statistics#cite_note-1, (Ziyaret Tarihi: 07 Ağustos 2017).

[4] Lund H. F., *Recycling Handbook*, 2nd ed, R. R Donnely and Sons co., New York, 1993.

[5] Leidner J., *Plastic Waste Recovery of Economic Value*, 1st ed, Marcel Dekker inc., New York, 1981.

[6] Akyurt H., Investigation Of Zeolite Filled Recycled Polypropylene Composites And Effects Of Commercial Polymer Additives, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017. 496394.

[7] Oğuz N., Hurda Polietilen Karakterizasyonu ve Geri Dönüşüm Ürün Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 305500.

[8] Şentürk B., Çekirdeklendirici Katkıların Geri Dönüştürülmüş Polipropilenin Mekanik Davranışına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 363496.

[9] Merrington A., Recycling of plastics, Editör: Kutz M., *Applied Plastics Engineering Handbook*, 2nd ed, 177-191, Elsevier Science, 2011.

[10] Mohammad M., Characterization of Recycled Thermoplastic Polymers, Master Thesis, University of Boras School of Enginnering, 2009, Boras, Sweden SE-501 90.

[11] Gent M.R., Menendez M., Toraño J., Diego I., Recycling of plastic waste by density separation: prospects for optimization, *Waste Management & Research*, DOI: 10.1177/0734242X08096950.

[12] Lucht H., Plastic separation of automotive waste by superfast near-infrared sensors, *Global Plastics Environmental Conference Proceedings*, Florida, 25-27 February 2002.

[13] PAGEV, Türkiye Polietilen Raporu, 2016, PAGEV.

[14] Golynskiy K. C., From Waste to Wares: Upcycling Plastic Bags for International Belief, Aid, and Development, Master Thesis, The Faculty Of The Graduate School Of The University Of Minnesota, Minnesota, 2012.

[15] Biron M., Future Prospects for Thermoplastics and Thermoplastic Composites, *Thermoplastics and Thermoplastic Composites*, DOI: 10.1016/B978-1-4557-7898-0.00008-1.

[16] Al-Salem S.M., Lettieri P., Baeyens J., Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review, *Waste management*, DOI: 10.1016/j.wasman.2009.06.004.

[17] Platt D. K., *Biodegradable Polymers-Market Report*, 1st ed, Rapra Technology Limited, Londra, 2006.

[18] Bastioli C., *Handbook of Biodegradable Polymers*, 1st ed, Rapra Technology Limited, Londra, 2005.

[19] Janssen L. P., *Thermoplastic Starch-A Green Material for Various Industries*, 1st ed, Wiley-VCH, Weinheim, 2009.

[20] Smith R., *Biodegradable Polymers For Industrial Applications*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2000.

[21] Jiang L., Zhang J., Biodegradable and biobased polymers, Editör: Kutz M., *Applied Plastics Engineering Handbook*, Elsevier Science, 2nd ed., 146-147, 2011.

[22] Taşdemir M., *Polimer Karışımları Ve Uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2013.

[23] Saçak M., *Polimer Teknolojisi*, Gazi Kitabevi, Ankara, 2005.

[24] Fink J. K., *A Concise Introduction to Additives for Thermoplastic Polymers*, 1st ed, Wiley, Weinheim, 2010.

[25] Giles H. F., Wagner J. R., Mount E. M., *Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook*, 2nd ed, William Andrew Inc., New York, 2005.

[26] Akkurt S., *Plastik Malzeme Bilimi, Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2007.

[27] Karagöz S., Poli(Laktik Asit)/Modifiye Termoplastik Nişasta Karışımları, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2012.

[28] Osswald, T., Hernandez-Ortiz A., *Polymer Processing-Modeling and Simulation*, 1st ed, Carl Hanser Verlag, Münih, 2006.

[29] Nairn J. A., Polymer Characterization, Editörler: Lavernia E. J., *Materials Science and Engineering*, Elsevier Science, 1st ed, 127-149, 2003.

[30] Karslı Yılmaz N. G., Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Karmaların Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 283046.

[31] Kodal M., Plastikleştirilmiş Poli(Laktik Asit) Temelli Nanokompozitlerinin Fiziksel Özellikleri Ve Kristalizasyon Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 379726.

[32] Çoban M., Farklı Nano Katkıların Ve Kabaran Alev Geciktiricili Sistemin Plastikleştirilmiş Poli(Laktik Asit)'in Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 494759.

[33] Özkan C., Ön Kaplanmış Karbon Elyaf Takviyeli Polikarbonat Karmaların Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013, 335445.

[34] Yemişçi F., Plastikleştirilmiş Poli(Laktik Asit)'İn Alev Dayanımının Fosfor Bazlı Katkı Maddeleri İle Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016, 436190.

[35] Doğan Ş. K., Biyo-Malzeme Olarak Kullanılabilecek Poli(Laktik Asit), Poliüretan Polimer Karışımları, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,2014, 360869.

[36] Bikiaris D., Prinos J., Koutsopoulos K., Vouroutzis N., Pavlidou E., Frangi N. & Panayiotou C., LDPE/plasticized starch blends containing PE-g-MA copolymer as compatibilizer, *Polimer Degradation and Stability*, DOI: 10.1016/S0141-3910(97)00126-2.

[37] Bikiaris D., Prinos J. & Panayiotou C., Effect of EAA and starch on the thermooxidative degradation of LDPE, *Polymer Degradation and Stability*, DOI: 10.1016/S0141-3910(96)00193-0.

[38] Sailaja R. R. N., Chanda M., Use of poly(ethylene-co-vinyl alcohol) as compatibilizer in LDPE/thermoplastic tapioca starch blends, *Journal of Applied Polymer Science*, DOI: 10.1002/app.11340.

[39] Shujun W., Jiugao Y, Jinglin Y, Preparation and characterization of compatible thermoplastic starch/polyethylene blends, *Polymer Degradation and Stability*, DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.08.012.

[40] Peres A. M., Pires R. R., Oréfice R. L., Evaluation of the effect of reprocessing on the structure and properties of low density polyethylene/thermoplastic starch blends, *Carbohydrate Polymers*, DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.09.047.

[41] Sabetzadeh M., Bagheri R., Masoomi M., Effect of nanoclay on the properties of low density polyethylene/linear low density polyethylene/thermoplastic starch blend films, *Carbohydrate Polymers*, DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.12.057.

[42] Nattaporn K., Rangrong Y., Amod A. O., Effect of stearic acid-grafted starch compatibilizer on properties of linear low density polyethylene/thermoplastic starch blown film, *Carbohydrate Polymers*, DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.10.038.

[43] Nattaporn K., Rangrong Y., Amod A. O., Morphological characteristics of stearic acid-grafted starch compatibilized linear low density polyethylene/thermoplastic starch blown film, *European Polymer Journal*, DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2016.02.001.

[44] Andréa B. M., Ruth M. C. S., Effect of carboxylic acids as compatibilizer agent on mechanicalproperties of thermoplastic starch and polypropylene blends, *Carbohydrate Polymers*, DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.08.074.

[45] Xianhong C., Leiyong Z., Xiaomei P., Jinhui H., Yixing H., Shanshan W., Effect of different compatibilizers on the mechanical and thermal properties of starch/polypropylene blends, *Journal of Applied Polymer Science*, DOI: 10.1002/app.43332.

[46] Mortazavi S., Ghasemi I., Oromiehie A., Effect of phase inversion on the physical and mechanical properties of low density polyethylene/thermoplastic starch, *Polymer Testing*, DOI: 10.1016/j.polymertesting.2013.01.004.

[47] Oduola M. K., Akpeji P. O., Effect of Starch on the Mechanical and Rheological Properties of Polypropylene, *American Journal of Chemical Engineering*, DOI: 10.11648/j.ajche.s.2015030201.11.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Oner B.**, Aytac A., Gokkurt T., Investigatıon Of Compatibilizer Loading Level On The Properties Of Recycled Low Density Polyethylene/TPS Blends, *International Conference On Advances In Science And Arts*, Istanbul, 29-31 March 2017.

[2] **Oner B.**, Aytac A., Gokkurt T., Studies On Compatibilization Of Polyethylene/ Thermoplastic Starch Blends By Using Different, *4th International Conference On Computational And Experimental Science And Engineering*, Antalya, 4-10 October 2017.

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Denizli'de doğdu. Orta öğrenimini Güney Atatürk İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Denizli Mustafa Kaynak Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2010 yılında Marmara Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden mühendis olarak mezun oldu. 2015 yılında girdiği Kocaeli üniversitesi, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans Eğitimine halen devam etmektedir.