



T.C.

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI

ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**PLASTİK EKSTRÜZYON SİSTEMLERİNİN DÖNGÜSEL EKONOMİ MODELİ
KAPSAMINDA KARŞILAŞTIRILMASI: STRETCHOOD SHRİNK AMBALAJ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH TÜRKMEN

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. ŞENAY BALBAY

BİLECİK, 2025

10713491

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**PLASTİK EKSTRÜZYON SİSTEMLERİNİN DÖNGÜSEL EKONOMİ MODELİ
KAPSAMINDA KARŞILAŞTIRILMASI: STRETCHOOD SHRINK AMBALAJ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH TÜRKMEN

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. ŞENAY BALBAY

BİLECİK, 2025

10713491

BEYAN

Plastik Ekstrüzyon Sistemlerinin Döngüsel Ekonomi Modeli Kapsamında Karşılaştırılması: Stretchood Shrink Ambalaj başlıklı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazım aşamasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehberine uygun olarak tez/dönem projemi hazırladığımı, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel etik kurallarına uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, çalışmamın herhangi bir kısmının başka bir tez/dönem projesi olarak sunulmadığını, aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Fatih Türkmen

İmza:

ÖN SÖZ

Tez çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, ilgi ve zamanını hiç esirgemeyen, akademik çalışma ve bilimsel araştırma konusunda çok şey öğrendiğim, kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum çok kıymetli ve danışman hocam Doç. Dr. Şenay BALBAY' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman her konuda beni destekleyen, hep yanımda olan ve her zaman yanımda olmalarını istediğim Eşim Handan Türkmen, Oğlum Yusuf Talha Türkmen ve Oğlum Yunus Emre Türkmen'e teşekkür ederim.

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'ndeki hocalarıma ve arkadaşlarıma, sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Fatih Türkmen
2025

ÖZET

Küresel endüstri ve tüketim dinamiklerindeki hızlı değişimler, çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliğini önemli kılmaktadır. Döngüsel ekonomi modeli, kaynakların verimli kullanımını ve atıkların minimize edilmesini hedeflemektedir. Döngüsel ekonomi modelinin en çok uygulanmasına ihtiyaç duyulan alanlardan biri olan ambalaj sektörü için stretchhood shrink ambalajı üretiminin yapıldığı plastik koekstrüzyon sistemlerinin karbon emisyonu salınımı konusunda ele alınması oldukça önemlidir. İkincil ambalajlama sınıfında yer alan stretchhood shrink ambalajlar, döngüsel ekonomi ilkelerine uyumlu olarak malzeme ve enerji verimliliğini artırmakta, plastik ambalaj endüstrisinde sürdürülebilir üretim ve atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda stretchhood shrink ambalaj üretim sistemlerinin avantajları ve iyileştirme alanları belirlenerek çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada rehber bir kaynak olması hedeflenmiştir. Çalışmada, Türkiye’de kullanılan farklı markalar tarafından tasarlanmış ve üretilmiş Stretchhood shrink naylon film üretim sistemlerinin malzeme kullanımı, enerji tüketimi, geri kazanım oranları açısından değerlendirilerek karbon ayak izi hesaplamaları yapılarak döngüsel ekonomi modeli açısından karşılaştırılmıştır. Türkiye’de Stretchhood shrink ambalaj film üretimi yapan 5 firmadan alınan verilerle, Almanya ve İtalya menşeli Stretchhood naylon film üretim makinelerinin EN ISO 14067:2018 ve EN ISO 14064-1 standartlarına göre doğrudan ve dolaylı karbon emisyonları hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, farklı ülke menşeli üretilmiş Stretch Hood ambalaj üretim teknolojisinin döngüsel ekonomi hedefleri açısından değerlendirildiğinde bazı konularda büyük farklılıklar oluşturduğunu göstermektedir. İncelenen sistemler arasında Almanya menşeli teknolojinin en az karbon emisyonu oluşturduğu görülmüştür. Türkiye’de ihracata dayalı üretim yapan firmaların Stretch Hood ambalajı satın alımı esnasında, tedarikçisinin ambalaj ürününü üretirken kullandığı teknolojiyi dikkate almasına bağlı olarak kendi ürünlerinde karbon ayak izini düşürme çalışmalarında etkili olacağını bu çalışma ispatlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel ekonomi, karbon ayak izi, plastik koekstrüzyon, stretchhood shrink ambalaj, sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

Rapid changes in global industry and consumption dynamics make environmental sustainability and resource efficiency important. The circular economy model aims at efficient use of resources and minimization of waste, and plastic extrusion systems are one of the applicable areas of this model. Stretchhood shrink plastic extrusion systems are used in the packaging industry, which is one of the areas where the circular economy model needs to be implemented the most. Stretchhood shrink packaging increases material and energy efficiency in line with circular economy principles and contributes to the development of sustainable production and waste management strategies in the plastic packaging industry. In this study, Stretchhood shrink packaging systems designed and produced in different brands used in Turkey were evaluated in terms of material use, energy consumption, recovery rates and carbon footprint calculations were made and compared in terms of circular economy model. With data from 5 companies in Turkey, direct and indirect carbon emissions of Stretchhood nylon film production machines originating from Germany and Italy were calculated according to EN ISO 14067:2018 and EN ISO 14064-1 standards. The thesis aims to be a guiding resource in achieving environmental sustainability goals by revealing the advantages and improvement areas of this system. The findings show that Stretch Hood packaging production technology produced in different countries creates major differences in some aspects when evaluated in terms of circular economy targets. Among the systems analyzed, the technology originating from Germany was found to generate the least carbon emissions. This study proved that export-oriented manufacturing companies in Turkey will be effective in reducing the carbon footprint of their own products depending on the technology used by the supplier to produce the packaging product during the purchase of Stretch Hood packaging.

Keywords: Carbon footprint, circular economy, plastic co-extrusion, stretchhood shrink packaging, sustainability.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LOJİSTİKTE PAKETLEME.....	2
2.1. Paketleme Amaçları	2
2.1.1. Paketleme	2
2.1.2. Paketlemenin Temelleri	2
2.1.3. Paketlemenin Amacı	3
2.1.4. Paketlemenin Avantaj ve Dezavantajları	3
2.1.5. Paketleme Sisteminin Teorik Çerçevesi	3
2.1.6. Tedarik Zinciri Boyunca Ambalajın Rolü	4
2.2. Döngüsel Ekonomi Açısından Paketleme	5
2.3. Paketleme Çeşitleri.....	7
2.3.1. Birincil Ambalaj veya satış ambalajı	7
2.3.2. İkincil ambalajlama veya gruplanmış ambalajlama	7
2.3.3. Üçüncül ambalaj veya nakliye ambalajı	8
2.3.4. Endüstriyel Paketleme.....	8
2.4. Paketleme Malzemeleri	8
3. PLASTİK MALZEMELER	10

3.1. Polimer Türleri.....	10
3.1.1. Moleküler Ağırlığın Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	12
3.1.2. Polimerler.....	12
3.1.3. Kopolimerlerin Tanımı.....	14
3.1.4. Kopolimerlerin Sınıflandırılması	14
3.1.4.1. Rastgele Kopolimerler.....	15
3.1.4.2. Değişen Kopolimerler.....	17
3.1.4.3. Blok Kopolimerler.....	17
3.1.4.4. Aşı Kopolimerleri	18
3.2. Termoplastiklerin Sınıflandırılması.....	19
3.2.1. Polietilen Tereftalat (PETE).....	19
3.2.2. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)	19
3.2.3. Polivinil Klorür (PVC)	19
3.2.4. Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE)	19
3.2.5. Polipropilen (PP).....	19
3.2.6. Polistiren (PS).....	19
3.2.7. Polikarbonat (PC)	19
3.2.8. Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS).....	20
3.2.9. Polyamid (Naylon)	20
3.2.10. Polyester (PES).....	20
3.2.11. Polimetil metakrilatlar (PMMA)	20
3.2.12. Asetalor Polioksümetilen (POM)	20
3.2.13. Polieter-eter-keton (PEEK)	20
4. STRETCHOOD ÜRETİMİ.....	21
4.1. Stretch Hood Hakkında Genel Bilgiler	21
4.2. Stretch Hood Ekstrüzyon Sistemi Türleri	21

4.2.1. Koekstrüzyon	22
4.3. Koekstrüzyon Uygulamaları	25
4.3.1. Film ve Levha Üretimi	25
4.3.2. Konteyner/Kap üretimi	28
4.3.3. Kablo/Tel kaplama.....	29
5. KARBON EMİSYONU	30
5.1. Karbon Ayak İzi	30
5.2. DEFRA	31
5.3. IDEMAT.....	31
5.4. IPCC	32
6. LİTERATÜR ÖZETİ.....	33
7. MATERYAL VE METODLAR.....	37
7.1. Materyal.....	37
7.2. Yöntem.....	41
7.2.1. Elektrik Tüketimi Kaynaklı Oluşan Emisyon.....	42
7.2.2. Geri Kazanım Kaynaklı Oluşan Emisyon	42
7.2.3. Atık Bertarafı Kaynaklı Oluşan Emisyon	43
8. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
8.1. Stretch Hood Naylon Filmi Üretim Makineleri.....	44
8.2. Elektrik Tüketimi Kaynaklı Oluşan Emisyon	45
8.3. Geri Kazanım Kaynaklı Engellenen Karbon Emisyonu	48
8.4. Atık Bertarafı Kaynaklı Oluşan Karbon Emisyonu.....	50
9. SONUÇLAR.....	53
10. ÖNERİLER.....	55
KAYNAKÇA.....	56

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Tedarik zinciri boyunca taraflar için ambalajın rolü	5
Tablo 3.1. Polimerik malzemelerin sınıflandırılması	10
Tablo 3.2. Yaygın olarak kullanılan bazı plastiklere ve bunların monomerlerine örnekler	13
Tablo 7.1. Almanya menşeli (X firma) Stretch Hood naylon filmi üretim makinesi teknik bilgisi	37
Tablo 7.2. Almanya menşeli (Y firma) Stretch Hood naylon filmi üretim makinesi teknik bilgisi	38
Tablo 7.3. İtalya menşeli (Z firma) Stretch Hood naylon filmi üretim makinesi teknik bilgisi	40
Tablo 7.4 Stretch Hood naylon filmi üretim makinelerinin döngüsel ekonomi kapsamında performans karşılaştırılması için ihtiyaç duyulan veriler	42
Tablo 8.1. Stretch Hood naylon filmi üretim makinelerine ait veriler	44
Tablo 8.2. Stretch hood naylon film üretim sistemlerine ait kompresörlerin enerji tüketimleri	48
Tablo 8.3. Stretch hood naylon film üretim sistemlerine ait faaliyet verileri	46
Tablo 8.4. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim esnasında elektrik tüketimi kaynaklı oluşan emisyonlar.....	46
Tablo 8.5. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim esnasında tüketilen elektriğin üretimi esnasında oluşan kayıplar kaynaklı emisyonlar	47
Tablo 8.6. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim esnasında tüketilen elektriğin iletimi esnasında oluşan kayıplar kaynaklı emisyonlar	47
Tablo 8.7. Stretch hood naylon filmi üretim sistemlerinde üretim esnasında kullanılan geri kazanım miktarları.....	49
Tablo 8.8. Stretch hood naylon filmi üretim sistemlerinde üretim esnasında geri kazanıma bağlı	

olarak kaçınılan emisyon miktarı (kg CO ₂ eşd./kg).....	49
Tablo 8.9. Emisyon faktörü verileri	50
Tablo 8.10. Stretch Hood naylon film üretim sistemlerinde çıkan fire miktarları	50
Tablo 8.11. Stretch Hood naylon film üretim sistemlerinde bertarafa bağlı emisyon miktarları (kg CO ₂ eşd./ bakım).....	51



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Paketleme sisteminin grafiksel gösterimi	4
Şekil 3.1. Doğrusal ve dallanmış zincirli moleküllere örnek olarak polietilen (PE)	11
Şekil 3.2. Zincir uzunluğunun malzeme özelliklerine etkisi	12
Şekil 3.3. Plastik üretme süreçleri ve örnekler	13
Şekil 3.4. Kopolimerlerin Sınıflandırılması	15
Şekil 3.5. Stiren Bütadien Kauçuğun (rastgele kopolimer) moleküler yapısı.....	16
Şekil 3.6. Polipropilenden farklı kopolimerlerin moleküler yapısı	16
Şekil 3.7. Polietilen tereftalatın (alternatif kopolimer) moleküler yapısı.....	17
Şekil 3.8. Polistiren-polibütadienin (blok kopolimer) kimyasal yapısı	17
Şekil 3.9. Hidrofobik gruplar kullanılarak aşılınmış nişasta kopolimerlerinin sentezi (aşılınmış kopolimerler)	18
Şekil 4.1. Su Soğutmalı Üfleme Film Yöntemi.....	26
Şekil 4.2. Hava Soğutmalı Üfleme Film Yöntemi.....	26
Şekil 4.3. T-kalıp Yöntemi.....	27
Şekil 4.4. Katman başlığı	28
Şekil 4.5. Koekstrüde konteyner üretimi ve konteyner/kap örneği	29
Şekil 4.6. Koekstrüde kaplama prosesi	29
Şekil 5.1. 2015 yılında geleneksel plastiklerin küresel sera gazı emisyonları.....	31
Şekil 7.1. Almanya menşeli (X Firma) Stretch Hood naylon filmi üretim makinesi görseli....	38
Şekil 7.2. Almanya menşeli (Y Firma) Stretch Hood naylon filmi üretim makinesi görseli....	39
Şekil 7.3. İtalya menşeli (Z Firma) Stretch Hood naylon filmi üretim makinesi görseli.....	41
Şekil 8.1. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim esnasında tüketilen elektrik kaynaklı toplam (elektrik üretimi, elektrik dağıtımı ve elektrik iletimi) emisyonları	48
Şekil 8.2. Stretch hood naylon filmi üretim sistemlerinde üretim esnasında geri kazanma bağlı	

kaçınılan emisyon miktarları.....	49
Şekil 8.3. Stretch hood film üretim sistemlerinin bir defa temizlik ve bakım süreci boyunca oluşan atıkların bertarafına bağlı emisyon miktarları.....	51
Şekil 8.4. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin bir yıl boyunca temizlik ve bakım sırasında oluşan atıkların bertarafından kaynaklanan emisyon miktarları	52



KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene (Akrilonitril Bütadien Stiren)

BFW: Backflush Water (Geri Yıkama Suyu)

BUR: Blow Up Ratio (Patlama Oranı)

CEF: Circular Economy Framework (Döngüsel Ekonomi Çerçevesi)

DEFRA: Department For Environment Food and Rural Affairs (Çevre, Gıda ve Kırsal İşler Bakanlığı)

DSC: Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)

EASAC: European Academies Science Advisory Council (Avrupa Akademileri Bilim Danışma Konseyi)

EF: Emission Factor (Emisyon Faktörü)

EIO: Environmental Innovation Observatory (Çevresel Yenilik Gözlemevi)

EPD: Environmental Product Declaration (Çevresel Ürün Beyanı)

EVA: Ethylene Vinyl Acetate (EtilenVinilAsetat)

EVOH: Ethylene Vinyl Alcohol (EtilenVinil Alkol)

FPC: Factory Production Control (Fabrika Üretim Kontrolü)

FV: Faaliyet Verisi (Activity Data)

GPC: Gel Permeation Chromatography (Jel Geçirgenlik Kromatografisi)

GHG: Greenhouse Gas (Sera Gazı)

GRMS: Greenhouse Gas Monitoring System (Sera Gazı İzleme Sistemi)

HDPE: High-Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)

ID: Identification (Tanılama)

IDEMAT: Industrial Design Engineering Materials (Endüstriyel Tasarım Mühendislik Malzemeleri)

LCA: Life Cycle Assesment (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi)

LCI: Life Cycle Inventory (Yaşam Döngüsü Envanteri)

LLC: Limited Liability Company (Limited Şirket)

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)

LDPE: Low-Density Polyethylene (Düşük Yoğunluklu Polietilen)

LLDPE: Linear Low-Density Polyethylene (Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen)

MD: Machine Direction (Makine Yönü)

MR: Magnetic Resonance (Manyetik Rezonans)

PA: Polyamide (Poliamid)

PC: Polycarbonate (Polikarbonat)

PCR: Post-Consumer Recycled (Tüketici Sonrası Geri Dönüştürülmüş)

PSD: Particle Size Distribution (Parçacık Boyutu Dağılımı)

PVC: Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)

PE: Polyethylene (Polietilen)

PEEK: Polyether Ether Ketone (Polieter Eter Keton)

PES: Polyester (Poliester)

PETE: Polyethylene Terephthalate (Polietilen Tereftalat)

PMMA: Polymethyl Methacrylate (Polimetil Metakrilat)

POM: Polyoxymethylene (Polioksimetilen)

PP: Polypropylene (Polipropilen)

PS: Polystyrene (Polistiren)

PU: Polyurethane (Poliüretan)

SBS: Styrene Butadiene Styrene (Stiren Bütadien Stiren)

SPC: Statistical Process Control (İstatistiksel Proses Kontrolü)

SUP: Single Use Plastics (Tek Kullanımlık Plastikler)

TBL: Triple Bottom Line (Üçlü Sonuç)

TD: Transverse Direction (Enine Yönü)

ULDPE: Ultra Low Density Polyethylene (Ultra Düşük Yoğunluklu Polietilen)

UNEP: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)

UV: Ultraviolet (Ultraviyole)

WMO: World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)



1. GİRİŞ

Günümüzde sanayileşmenin ve tüketim kültürünün artmasıyla birlikte, plastik atık miktarları küresel çevre sorunlarının başında gelmektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir üretim ve tüketim modellerinin geliştirilmesi, doğal kaynakların etkin kullanımı ve çevresel etkilerin minimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Döngüsel ekonomi, kaynakların mümkün olduğunca uzun süre ekonomik döngü içerisinde kalmasını, atıkların minimize edilmesini ve yeniden kullanımı teşvik eden sistematik bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Plastik ekstrüzyon sistemleri, modern ambalaj sektöründe yaygın olarak kullanılmalarının yanı sıra, döngüsel ekonomi modelinin uygulanabileceği önemli alanlardan biridir. Bu bağlamda, Stretchhood shrink ambalaj üretim sistemi; teknolojik yenilikleri, verimliliği ve çevresel performansı ile dikkat çekmekte ve aynı zamanda döngüsel ekonomi prensiplerine uygun bir üretim yaklaşımı sunmaktadır.

Ambalaj sektörü odağında plastik ekstrüzyon teknolojilerinin döngüsel ekonomi modeli kapsamında değerlendirilmesi, sürdürülebilirlik açısından kritik bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Stretchhood shrink ambalaj teknolojisi, ürünlerin korunması, taşınması ve raf ömrünün uzatılması gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak tercih edilen bir paketlenme çözümüdür. Stretchhood shrink ambalaj sistemi, yenilikçi tasarımı ve uygulama esnekliği ile dikkat çekmekte; aynı zamanda, üretim süreçlerinde enerji ve malzeme verimliliğini artırarak, döngüsel ekonomi prensipleri ile uyumlu bir üretim modeli sunmaktadır. Bu bağlamda, Stretchhood shrink ambalajı üretiminde kullanılan koekstrüzyon sistemlerinin karşılaştırılması hem teknik hem de çevresel performans açısından önemli veriler sağlamaktadır.

Tezin temel amacı, plastik koekstrüzyon sistemlerinin döngüsel ekonomi modeli kapsamında değerlendirilmesi çerçevesinde, Stretchhood shrink ambalaj üretim sistemlerinin karşılaştırarak, sürdürülebilir üretim ve atık yönetimi açısından sağladığı avantajları ve potansiyel iyileştirme alanlarını ortaya koymaktır. Araştırma hem literatür taraması hem de deneysel uygulamalar yoluyla, mevcut üretim tekniklerinin çevresel etkilerini, kaynak kullanım verimliliğini ve ekonomik sürdürülebilirliğini analiz etmeyi hedeflemektedir.

2. LOJİSTİKTE PAKETLEME

2.1. Paketleme amaçları

2.1.1. Paketleme

Ürünün en uygun olduğu torba, kumaş, kâğıt, kap, kutu, şişe vb. ürünleri koruma, saklama, katlama veya bağlama işlemine paketleme denir. Paketleme, ürünün güvenli olması ve üreticilerden son kullanıcılara kolayca depolanabilmesi veya taşınabilmesi için yapılan bir görevdir. Ürünün son kullanıcılara kullanılabilir bir durumda ulaşabilmesi amacıyla uygun bir şekilde paketlenmesi gerekir. Paketlemenin fonksiyonları ve ambalajın temel amaçları şunlardır:

- Taşıma ve depolama sırasında ürünü korumak,
- Ürünün kolayca elleçlenmesini ve dağıtılmasını sağlamak,
- Depolama ve taşıma sırasında ürünü yaralanmalardan korumak ve bu aşamalarda ürünün çalınmasını önlemek,
- Ürünü tozsuz ve temiz tutmak,
- Paketlenmiş ürünlerin perakendeciler tarafından rahatça sergilenmesine ve satılana kadar kolayca saklanmasına yardımcı olmak,
- Paketlemenin diğer süreçlerine yardımcı olmak.

2.1.2. Paketlemenin Temelleri

Ürünleri kutulara yerleştirmeden önce iyi bir şekilde muhafaza etmek oldukça önemlidir. Uygun şekilde paketlenmediğinde ürün hasar görebilir ve rutubete maruz kalabilir. Ürünler paketlenmeden önce tamamen kuru olmalıdır. Paketleme, bir ürün için depolama veya nakliye kurulumunun temelidir. Paketleme, temel olarak ürünü elleçlemeyi, taşımayı ve depolamayı kolaylaştıracak şekilde katlama veya sıkıştırma uygulaması olarak adlandırılabilir. Paketleme, örtme, susturma ve mühürleme gibi çeşitli yöntemleri içerir. Ürünün paketlenmesi, ürünün doğasına, hava koşullarına, taşıma şekline bağlıdır (Chinna, 2017).

2.1.3. Paketlemenin Amacı

Ambalaj ve paketlemenin temel amaçları ürün güvenliği, açıkça tanımlanabilir olması, muhafaza ve kolay kullanıma yardımcı olmasıdır. Paket yalnızca ürünü korumakla kalmamalı, aynı zamanda müşteriye satış için görünür hale getirmelidir. Paketleme, tüketici tarafından kolayca tanımlanabilecek şekilde olmalı ve alıcıları ürünü satın almaya teşvik etmelidir. Ürünün markası, ürünlerin sergilendiği ve tüketici tarafından şahsen seçildiği çeşitli mağazalarda alıcılar için görünür olmalıdır. Ürün, mağaza raflarında sergilenen çeşitli benzer ürünler arasında öne çıkmalıdır. Paket, alıcılara hitap edecek şekilde çekici bir tasarıma ve renge sahip olmalıdır. Ürünün ambalajı, alıcıları kendisine çeken ve böylece tanıtıma yardımcı olan bir mknatıs gibidir.

Paketleme, ürünlerin depolanmasını ve tüketilmesini sağlar. Paketleme, ürünün depolarda olduğu süre boyunca güvenli bir şekilde saklanmasını kolaylaştırır ve dağıtım sürecinde yer alan kişilerin kullanıma hazır hale getirmesine yardımcı olur. Paketleme, tüketicinin mevcut içerik yardımıyla ürünün doğru kullanımını anlamasına yardımcı olur (Chinna, 2017).

2.1.4. Paketlemenin Avantaj ve Dezavantajları

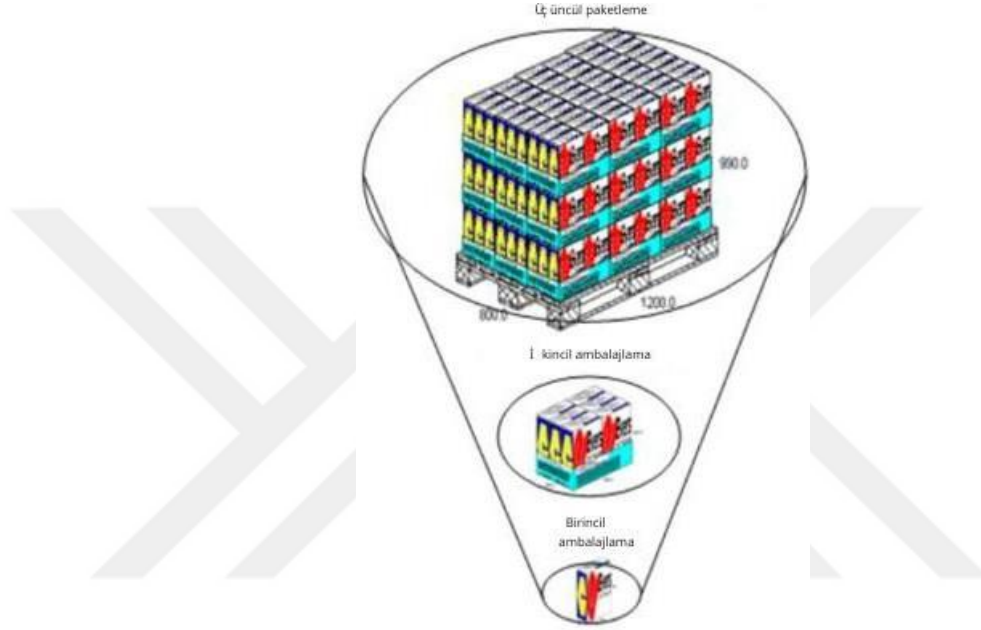
Üreticiler, çekici ve pratik paketlemelenmiş ürünlerini perakende pazarında sergileyebilirler. Paketleme alıcılara hitap etmelidir. Self-servis mağazalarında ürünün kendisini pazarlamasını gerektirir. Paketleme yalnızca çekici olmamalı, aynı zamanda kullanım sırasında ve kullanımdan sonra da kullanışlı olmalıdır. Birçok gıda ürünü, tüketici tarafından daha sonra saklanmak üzere kullanılabilen çekici kaplarda paketlenir. Üreticilerin modern ambalaj trendlerini takip etmesi gerekir. Ambalajın göz alıcı, pratik ve çevre dostu olması da gerekir.

Ambalajın dezavantajları da vardır. Ambalaj doğal kaynakları tüketir. Ayrıca tüketicinin katlanmak zorunda olduğu ürün maliyetine de neden olmaktadır. Bazı ambalaj malzemeleri insanların sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Bazı ürünlerin ambalajlanması yanıltıcıdır. Ambalaj malzemelerinin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü hakkında toplumda bilgi eksikliği mevcuttur (Chinna, 2017).

2.1.5. Paketleme Sisteminin Teorik Çerçevesi

Son yıllarda, paketleme sisteminin önemi ve farklı işlevleri artmaktadır. Paketleme fonksiyonları satış promosyonu, müşteri ilgisi ve marka iletişimi gibi alanlarda sürekli olarak

önemli büyüme göstermiştir. Sadece üretim süreci ve ulaşım ağı perspektifinden paketleme sisteminin grafiksel gösterimi Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Paketleme sistemi, farklı endüstriyel departmanlarla etkileşime girdiğinden ve paketlerin nasıl tasarlanacağına dair özel talepleri olduğundan çapraz işlevseldir ve bunlar genellikle çelişkilidir (Regattieri ve Santarelli, 2015).



Şekil 2.1. Paketleme sisteminin grafiksel gösterimi (Regattieri ve Santarelli, 2015)

2.1.6. Tedarik Zinciri Boyunca Ambalajın Rolü

Paketleme işlemi, tedarik zinciri boyunca tüm faaliyetlerde (örneğin satın alma, üretim, satış, nakliye, vb.) önemli bir rol üstlenir. Lojistik, üretim, pazarlama ve çevresel yönler gibi diğer endüstriyel işlemlere çapraz geçişlidir. Paketleme işlemi farklı ihtiyaç ve gereksinimleri karşılamaya çalışmak, bunlar arasında bir denge kurmak zorundadır.

Tedarikçiler, bitmiş ürünü üreten üreticiye hammadde sağlar. Ürünler, dağıtım merkezine, ardından perakendeciye ve son olarak da nihai tüketicilere satılır. Tablo 2.1, tedarik zincirindeki taraflar için ambalajın farklı rollerini göstermektedir. Paketleme sistemi tüm tedarik zinciri boyunca temel bir rol oynamaktadır. Tarafların genellikle zıt gereksinimlere ve ihtiyaçlara sahip olduğu için ürün tasarım sürecine entegre edilmelidir (Regattieri ve Santarelli, 2015).

Tablo 2.1. Tedarik zinciri boyunca taraflar için ambalajın rolü (Regattieri ve Santarelli, 2015)

Tedarikçiler	Tedarikçiler, pazarlamadan ziyade paketlemenin lojistik yönüyle daha fazla ilgilenirler. Ürünleri üreticiye göndermek zorundadırlar ve amaçları lojistik maliyetlerini (taşıma, dağıtım, depolama) en aza indirmektir.
Üretici	Üretici, dağıtım merkezine ve dolaylı olarak da tüketiciye satmak üzere bitmiş ürünler üretir. Üretici kullanılan malzemeleri en aza indiren ve yeniden kullanılabilen veya geri dönüştürülebilir bir ambalaj üzerinde çalışmalıdır.
Toptancı	Toptancı ürünleri üreticiden satın alır ve dağıtım merkezine taşır. En önemli işlevlerin depolama, toplama ve ürünleri gönderme olması nedeniyle, esas olarak paketlerin lojistik yönüyle ilgilenir.
Perakendeci	Perakendecinin ürünleri son tüketicilere satması gerekir ve bu nedenle son tüketicilerin ilgisini çeken şeyleri göz önünde bulundurması gerekir. Pazarlama ve çevresel yönler önemlidir: pazarlamada ambalaj, ürün için bir "vitrin" dir; insanlar çevre kirliliği en aza indirme konusunda dikkatlidir ve geri dönüştürülebilir veya yeniden kullanılabilir ambalajlarda bulunan ürünleri satın almayı tercih eder.
Son tüketiciler	Son tüketiciler pazarlamayla ilgilenir (aslında birincil ve ikincil paketler etkilidir).

2.2. Döngüsel Ekonomi Açısından Paketleme

Ambalaj sektöründe döngüsel ekonomi modeli geri dönüşümden daha fazlasını ifade etmektedir. Bir ürünün yaşam döngüsünün tüm aşamalarını, yani tasarım, üretim, dağıtım ve kullanımının yanı sıra geri kazanımını da ele alır. Ayrıca, çoğunlukla kaynakların (malzeme, su, enerji) tasarrufunu da içerir:

- Ürün/ambalaj kombinasyonunu çevre dostu bir şekilde tasarlamak,
- Kaynakları tutumlu kullanmak,
- Ambalajların, özellikle işletmeler arası bazda yeniden kullanılması,
- Ambalaj atıklarının önlenmesi,
- Ürün israfının önlenmesi,
- Ürünlerin ve ambalajların geri dönüştürülebilirliğini artırarak atıkların önlenmesi,
- Malzeme akışını optimize etmek için malzemelerin yeniden kullanılması.

Aynı zamanda ambalajı iyileştirmek için insanların davranışlarını değiştirmeye yönelik her türlü girişimi de kapsar (Siri, 2014).

Mevcut ambalaj plastikleri, değer zinciri için doğrusal ekonominin bir örneğidir. Fosil kaynaklar temel plastik reçineyi polimerize edilebilen monomerler üretir. Perakendeciler, özellikle gıda perakendecileri, satış noktasında kullanılan ambalajın kapsamına ve niteliğine, tek kullanımlık ambalajlara güvenmeye devam edip etmeyeceklerine veya ürün ve hizmetler için düşük plastik seçenekleri sunup sunmayacaklarına göre toplama ve geri dönüşüm yöntemlerine karar verirler. Tüketiciler retim, kimyasal kullanımı veya ürünler arasında karşılaştırma yapmaya olanak veren net bilgiler hakkında bilgi eksikliğinden muzdariptir; bu nedenle plastik kullanımı ve kirliliği azaltmada oynayabilecekleri rol sınırlıdır. Yine de tüketiciler bazı durumlarda önemli bir rol oynayabilir: plastik bir ürün satın alıp almama, yeniden kullanıp kullanmama (rneğin şişeler veya torbalar) ve p atmaktan kaçınma. Doğrusal ekonominin sürekli yüksek büyüme oranlarına dayalı sürekli yatırım ile iklim değişikliğini sınırlama, çevredeki plastiği azaltma ve kaynak verimliliğini artırma gibi toplumsal ve çevresel hedefler arasındaki çatışmayı yükseltmektedir.

Plastik miktarını azaltmak için politika yapımında daha fazla vurgu yapılması gerekiyor, ancak plastiğin alternatif malzemelerle değiştirilmesi çoğu durumda kaynak veya çevresel gereklerle haklı çıkarılmıyor. Gereksiz kullanımın azaltılması (teknik olarak mümkün olduğunda) ve üretilen atık miktarını en aza indirmek için plastik ürünlerin yeniden kullanıma izin verecek şekilde tasarlanması üzerine olmalıdır. Bunun nedeni, dairesel ekonominin temel amaçlarından birinin malzeme akışlarını azaltmak ve kaynakların kullanıldığı süreyi malzeme türünden bağımsız olarak artırmak olmasıdır (EASAC, 2020).

Bozunabilir, kompostlanabilir, biyo-bazlı, vb. bazı terimlerin belirsizliği, birçok tüketicie çevreye zararsız özellikler hakkında yanıltıcı bir izlenim verebilir, oysa gerçekte bunlar sadece doğal ortamda karşılaşılmayan özel koşullar altında bozunabilir; yalnızca daha küçük parçacıklara parçalanabilir ve geri dönüşüm süreçlerine müdahale edebilir. Bu tür karışıklıklar, atık akışlarının çapraz kontaminasyonuna veya çöplerin çevreden yok olacağı yönündeki yanlış varsayıma dayalı dikkatsiz veya sorumsuz p atılmasına yol açabilir (EASAC, 2020).

Bununla birlikte, biyolojik olarak parçalanabilir plastiklerin geliştirilmesinde bazı ilerlemeler kaydedilmiştir ve daha fazla gelişme beklenmektedir. Biyobazlı veya biyolojik olarak parçalanabilir plastiklerin gelecekteki gelişimi aşağıdaki kriterlere göre değerlendirilmelidir.

- Malzemelerin oklu kullanımına veya geri kazanım katkıları,

- Doğal çevrenin farklı kısımlarında 'bozunabilirlik' lerinin derecesi ve oranı,
- Reçine ve katkı maddelerinin sertifikasyonu
- Etiketlemede doğru bertaraf yolunun açıkça belirtilmesi gerekir (Maier ve diğerleri., 2018).

2.3. Paketleme Çeşitleri

Paketleme birkaç farklı türde olabilir. Örneğin, bir taşıma paketi veya dağıtım paketi, ürünü veya iç paketleri göndermek, depolamak ve elleçlemek için kullanılan nakliye konteyneri olabilir. Bazıları tüketici paketini bir tüketiciye veya haneye yönelik olan olarak tanımlar. Paketleme, paketlenen ürünün türüyle ilişkili olarak tanımlanabilir. Bazen paketleri birincil, ikincil, üçüncül vb. gibi katmana veya işleve göre kategorize etmek uygundur.

2.3.1. Birincil ambalaj veya satış ambalajı:

Birincil ambalaj, ürünle doğrudan temas halinde olan ambalaj katmanını belirtmek için kullanılan terimdir; başka bir deyişle, ürünün bulunduğu ilk ambalaj katmanıdır. Bu nedenle, birincil ambalaj hem ürünün kendisi hem de mevcut ikincil ambalaj katmanları düşünülerek oluşturulur. Ürünün özellikleri (form, boyutlar ve kıvam) açıkça birincil ambalajın temel önceliklerini belirler. Birincil ambalaj, ürüne, transit ve depolama değişkenlerine bağlı olarak çeşitli uygulamalara ve işlemlere sahip olabilir. En belirgin ve önemli işlevi, ürünü hasardan, dış müdahalelerden veya kirlenmeden, bozulmadan ve kimyasal dengesizliklerden korumak ve saklamaktır. Birincil ambalaj ayrıca bir ürünü genellikle uzun süreler boyunca depolamada tutmaya yarar. Bu durumda, birincil ambalajın görevi ürünü çevresinden kesinlikle izole tutması zorunludur. Ürünün tüketiciler tarafından kolayca taşınabilmesini sağlamak için, taşıma ve raf kolaylığı birincil ambalajın dikkate alınması gereken bir diğer yönüdür. Birincil ambalaj örnekleri, mevcut tüketici ürünleri yelpazesi kadar sınırsızdır. En yaygın türlerden bazıları blister ambalajlar, kapaklı ambalajlar, shrink-wrap, mukavva ambalajlar, birim doz paketleri ve daha fazlasını içerir (Gopinathar vd., 2016).

2.3.2. İkincil ambalajlama veya gruplanmış ambalajlama:

İkincil ambalajlama, önceden paketlenmiş çeşitli ürünleri bir arada gruplamak için kullanılan ambalajı belirtir. İkincil ambalajlama gerçek ürünle doğrudan temas halinde olmadığından, kullanımı ve uygulaması genellikle birincil ambalajlamadan belirgin şekilde farklıdır, ancak her iki türün amacı zaman zaman birleşebilir

İkincil ambalajlamanın iki temel işlevi olduğu söylenebilir:

- Markalama ve Sergileme; İkincil ambalaj, ürünü çevreleyen pazarlama stratejisinde hayati bir rol oynar.
- Lojistik; İkincil ambalajlama, taşıma ve nakliye kolaylığı için birkaç ürünü bir araya getirmeye yarar.

Nispeten büyük hacimli birincil ambalajlı ürünler içerir. Ürünü güvenli bir şekilde perakende veya tüketici varış noktasına ulaştırır. Depolama esnasında birincil ambalajı orijinal haliyle muhafaza eder. İkincil ambalajlamanın en yaygın örnekleri arasında karton kutular, karton/ plastik kasalar ve strech filmler bulunur (Gopinathar vd., 2016).

2.3.3. Üçüncül ambalaj veya nakliye ambalajı:

Nakliye ambalajı, özellikle karayolu veya demiryolu ile karadan taşınan ürünlerin (deniz aşırı ambalajın aksine) transit halinde ambalaj gereksinimlerine odaklanır.

2.3.4. Endüstriyel Paketleme:

Endüstriyel paketleme, bir ürünü üretim süreci sırasında veya sonrasında paketlemek için kullanılır. Bu bazı durumlarda üretim sahasında yapılır ve söz konusu ürüne göre özel olarak özelleştirilmiş endüstriyel paketleme çözümleri gerektirir.

•Depolama sırasında koruma ve muhafaza – Endüstriyel ambalaj, uzun süreli depolamada sağladığı koruma seviyesi bakımından diğer ambalaj türlerinden farklıdır. Kullanılan malzemenin kalınlığına ve mukavemetine, ayrıca kapatma ve güvenli kilitleme mekanizmalarına dikkat edilir. Endüstriyel ambalajlamada ayrıca, ürünün depolanması sırasında uzun süreler boyunca korumaya, ürünü hermetik olarak kapatmaya ve dışarıdan gelen kontaminasyondan uzak tutmaya öncelik vermelidir.

•Özelleştirilmiş malzemeler – Özel yapım endüstriyel ambalajlar, yalnızca kullanılan malzemeler kadar iyidir. Endüstriyel ürünler genellikle ağır, hacimli, dış temaslara karşı hassas veya tehlikeli olduğundan daha özelleştirilmiş malzemeler tercih edilir.

•Uluslararası standartlar – Endüstriyel ambalajlama, uluslararası ambalajlama standartlarını karşılayabilmelidir. Üretim ve hedef ülkelerin kalite kontrol gereklilikleri de dikkate alınmaktadır (Gopinathar vd., 2016).

2.4. Paketleme Malzemeleri

Gıda ve ilgili endüstrilerde kullanılan ambalaj malzemeleri oldukça çeşitlidir. Bu malzemelerin temel sorumluluğu, gıdaları üretim aşamasından tüketime kadar, depolama ve

dağıtım zincirleri de dahil olmak üzere taze ve güvenli tutmaktır. Geleneksel olarak gıda ambalajında kullanılan ve yıllar boyunca iyi çalışan malzemeler arasında cam, metaller (alüminyum, folyolar ve laminantlar, teneke içermeyen çelik, teneke levha vb.), plastikler, kağıt ve mukavvalar bulunur. Genel olarak, esnek ve sert sentetik ambalaj malzemeler gıda ambalajlama ürünlerinde kullanılır.

Uzun yıllar petrokimyasal polimerlerden üretilen plastikler ekonomik bollukları, arzu edilen sunumları, oksijene karşı mükemmel bariyer özellikleri, aroma bileşikleri, yumuşaklık, çekme ve yırtılma mukavemeti, hafiflik ve şeffaflık nedeniyle tercih edilen ambalaj malzemeleri olarak hizmet vermiştir. Petrokimyasal polimerlere bir örnek, dayanıklı, hafif, kapalı hücreli bir malzeme olan polietilen (PE)'dir. Başlıca uygulamaları endüstriyel ve tarımsal ambalajlamadır. Örneğin, kese şeklindeki PE köpüğün avantajları, esnekliği, hafifliği, yüzey hassasiyeti, düşük maliyeti, şok emiciliği ve direncidir.

Bununla birlikte, petrokimyasal polimerlerin (plastiklerin) kullanımı, zayıf su buharı iletim oranı (amaçlara bağlı olarak) gibi birçok dezavantaja sahiptir. Aslında, bu polimerlerin en büyük dezavantajı, çevre üzerinde büyük bir etkiye sahip olan biyolojik olarak parçalanabilir olmamaları ve kompostlanamamalarıdır (Tajeddin ve Arabkhedri, 2020).

3. PLASTİK MALZEMELER

3.1. Polimer Türleri

Tüm polimerler dört ana tipten birine göre sınıflandırılabilir: Termoplastik, termoplastik elastomer (veya termoplastik kauçuk), elastomer (veya kauçuk) ve termosetdir (Tablo 3.1). Termoplastik ısıtıldığında yumuşar ve zamanla viskoz bir eriyiğe dönüşür. Soğuduktan sonra eriyik tekrar katılaşır. Bu nedenle termoplastikler geri dönüşümlüdür. Termoplastikleri kolayca işlemek ve geri dönüştürmek için kullanılabilir.

Termoplastik elastomerler yapısal olarak termoplastiklere benzer ve her ikisi de çapraz bağlanmamış makromoleküllerden oluşur. Ancak, oda sıcaklığında mekanik özellikleri bakımından farklılık gösterirler: termoplastik elastomerler son derece esnek ve elastiktir, deformasyondan sonra kendiliğinden orijinal şekline dönebilirler.

Bir elastomer (veya kauçuk), oda sıcaklığında bir termoplastik elastomerinkine benzer mekanik özelliklere sahiptir. Ancak, elastomerler, vulkanizasyon reaksiyonu ile üç boyutlu bir ağa gevşek bir şekilde çapraz bağlanmıştır. Bir kez vulkanize edildikten sonra, bir elastomer geri dönüştürülemez (Frick vd., 2019).

Tablo 3.1. Polimerik malzemelerin sınıflandırılması (Frick vd., 2019)

Polimerik Malzemeler				
Özellikler	Termoplastikler	Termoplastik Elastomerler	Elastomerler	Termosetler
Moleküler	Ağ Yapısı Yok  Amorf /Yarı Kristal 	Ağ Yapısı Yok 	Çapraz bağlı (Zayıf)  Kimyasal Bağ	Çapraz bağlı (Güçlü) 
Mekanik	Kırılgan ile sert, dayanıklı	Kauçuksu, yumuşak	Kauçuksu, yumuşak	Kırılgan, sert
Termal	Kristal Yapı Sıcaklığı	Kristal Yapı Sıcaklığı	Erimez	Erimez
Kimyasal/Fiziksel	Çözünür	Çözünür	Şişebilir	Şişmez

Termoset, sıkı bir şekilde çapraz bağlanmış polimerik makromoleküllerin üç boyutlu bir ağından oluşur. Bu malzemeler nispeten serttir, geniş bir sıcaklık aralığında kararlı olan mekanik özelliklere sahiptir, erimez ve kimyasal ortamlara maruz kaldığında şişmeye karşı dirençlidir.

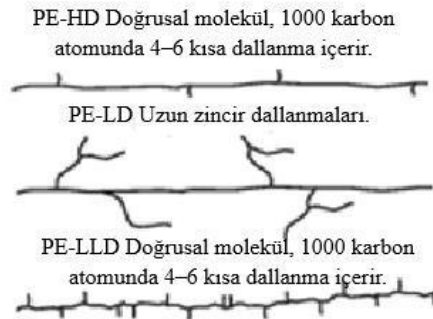
Elastomerler ve termosetler arasındaki temel yapısal fark çapraz bağlanma derecesidir. Bir elastomerin polimerik ağı yalnızca gevşek bir şekilde çapraz bağlanmıştır, bu nedenle camsı geçiş sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda oldukça elastiktir. Buna karşılık, termosetler genellikle sert, katı bir malzemeyle sonuçlanan oldukça çapraz bağlı bir yapıya sahiptir.

Termoplastikler, çeşitli dallanma derecelerine sahip, bağlantısız doğrusal moleküler zincirlerden oluşur (Şekil 3.1). Bu makromoleküller çapraz bağlı olmadığından kolayca eritilerek işlenebilir ve bu nedenle kolayca yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir.

Belirli bir kimyasal bileşime sahip bir termoplastiğin malzeme özellikleri, öncelikle polimer zincir uzunluğu tarafından kontrol edilir. Ortalama moleküler ağırlık ve dağılımı, doğrudan ölçülmesi zor olabilen zincir uzunluğu için genellikle aracı olarak kullanılır. Dalların varlığı, uzunluğu ve yoğunluğu da malzeme özelliklerini önemli ölçüde etkiler.

Termoset gibi çapraz bağlı bir polimer, tüm malzeme boyunca uzanan tek bir büyük molekülden oluşur ve çapraz bağların yoğunluğu malzeme özelliklerini kontrol eder. Termoplastikler moleküler organizasyona göre (Tablo 3.1) amorf veya yarı kristalin olarak daha da sınıflandırılabilir (Frick vd., 2019).

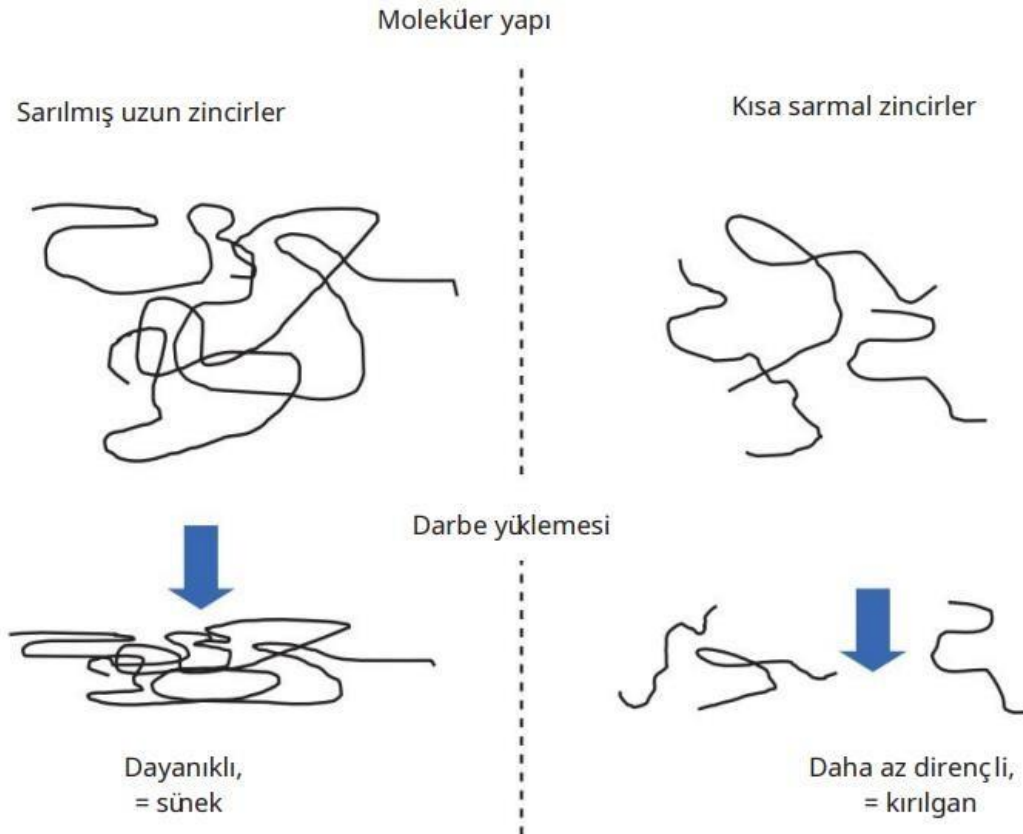
Kristallenme (%)	Kristal erime sıcaklığı (°C)	Katılma sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)
70-75	125-135	115-120	0.93-0.97
40-55	100-110	80-95	0.915-0.935
55-65	120-130	105-115	0.92-0.94



Şekil 3.1. Doğrusal ve dallanmış zincirli moleküllere örnek olarak polietilen (PE) (Frick vd., 2019)

3.1.1. Moleküler Ağırlığın Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi

PE'nin moleküler ağırlığa bağlı olarak geniş bir uygulama yelpazesi vardır. Yüksek mukavemet ve tokluk büyük bir moleküler ağırlığın sonucudur. Bu moleküler ağırlık azaltılırsa, orijinal malzeme özelliklerinin kaybolacağı anlamına gelir (Şekil 3.2). Moleküler ağırlıkta bir azalma, işleme veya bozulma (yani yaşlanma veya hava koşullarına maruz kalma) nedeniyle meydana gelebilir:



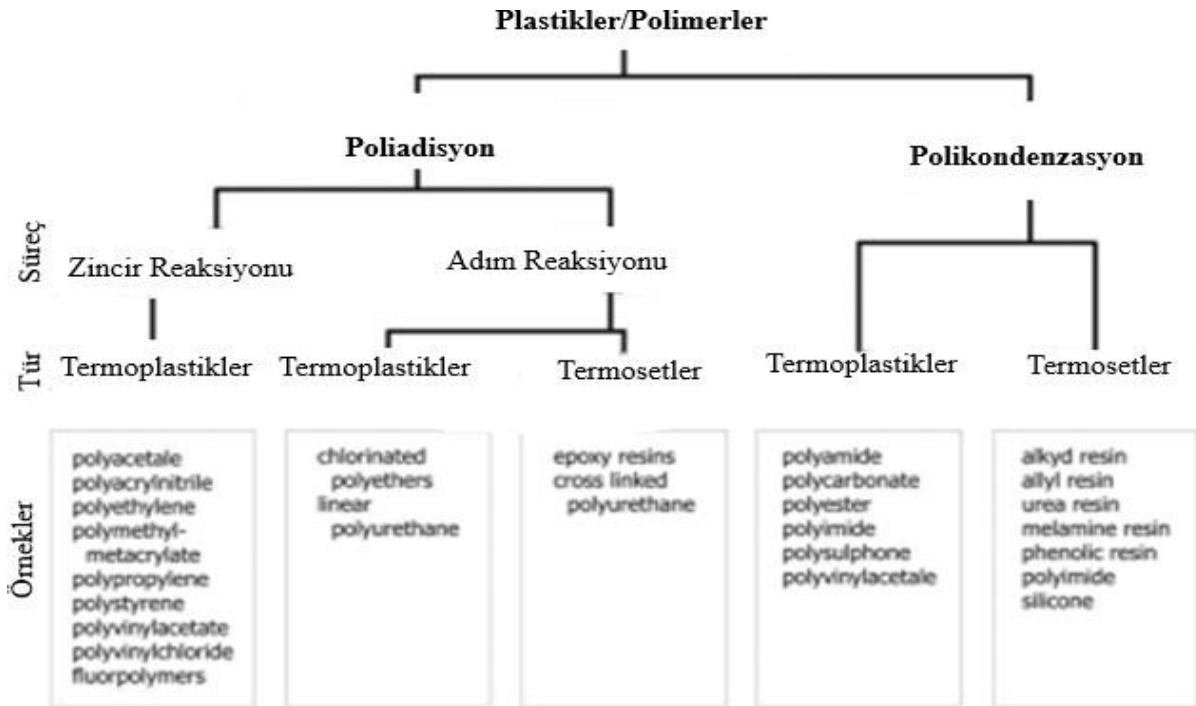
Şekil 3.2. Zincir uzunluğunun malzeme özelliklerine etkisi (Frick vd., 2019)

3.1.2. Mühendislik Polimerleri

Çeşitli polimerleri karıştırarak polimer karışımları üretmek genellikle yeni kimyasallar geliştirmekten daha verimlidir. Elde edilen karışım, bileşen polimerlerin faydalı özelliklerini birleştirirken bireysel dezavantajları en aza indirebilir. Örneğin, Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) ucuz ve dayanıklı olmasına rağmen, zayıf termal kararlılığı nedeniyle nispeten düşük bir uygulama sıcaklığına sahiptir. ABS'yi polikarbonat (PC) ile karıştırarak, elde edilen ABS-PC karışımı, saf ABS'ye benzer bir fiyata PC'ye benzer iyi bir termal kararlılık elde edebilir. Çok fazlı sistemler, polimer karışımını oluşturmak üzere sürekli faz (polimer A) boyunca dağılmış ikinci bir kesikli faz (polimer B) ile karakterize edilir.

Sadece termoplastikler eritilebilir, çünkü polimer zincirleri çapraz bağlı değildir. Bu malzemeler ısıtıldığında, artan termal enerjileri ve malzeme genişlemesi nedeniyle polimer zincirleri ek hareketlilik kazanır. Serbest hacimde artış, yoğunlukta azalma ve moleküller arası bağların zayıflamasına bağlıdır (Frick vd., 2019).

Plastiklerin temel yapısı, kimyasal reaksiyonlarla monomer ünitelerinden formüle edilen makromolekül zincirleri tarafından verilir (Şekil 3.3). Elementlerin türü, oranları ve monomer molekülündeki yerleşimleri, Tablo 3.2 'de gösterildiği gibi farklı plastiklerin üretilmesinin temelini oluşturur. (Klein, 2011)



Şekil 3.3. Plastik üretme süreçleri ve örnekler (Klein, 2011)

Tablo 3.2. Yaygın olarak kullanılan bazı plastıklere ve bunların monomerlerine örnekler (Klein, 2011).

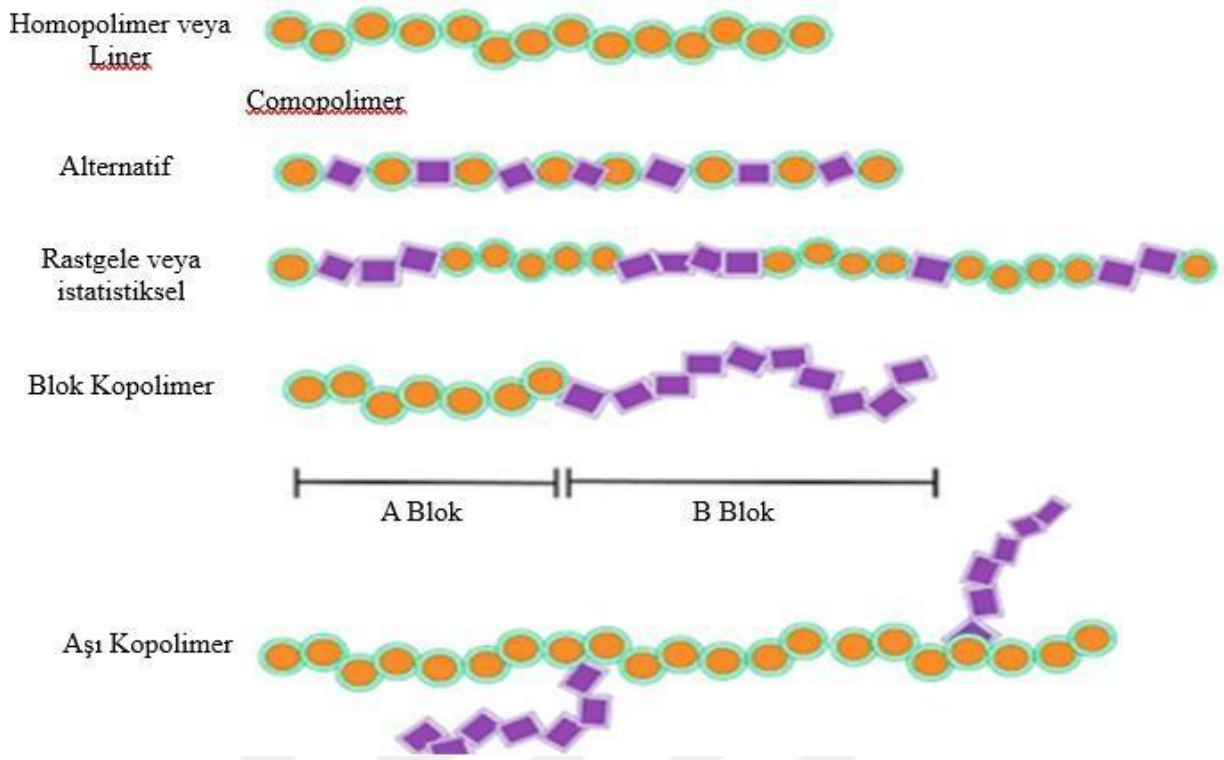
	Monomer		Polimer
Etilen	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	Polietilen (PE)	$-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$
Propilen	$\text{CH} = \text{CH}_2$ CH_3	Polipropilen (PP)	$-\text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$ CH_3
Vinil klorür	$\text{CH}_2 - \text{C} \begin{matrix} \text{H} \\ \text{Cl} \end{matrix}$	Polivinil klorür (PVC)	$-\text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$ Cl
Kaprolaktam	$\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{N} - \text{H}$ $\text{CH}_2 - \text{C} = \text{O}$ $\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2$	Poli(E-Kaprolaktam) (PA6)	$-\text{NH} - (\text{CH}_2)_5 - \text{C} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \end{matrix} -$
tetrafloretilen $\text{CF}_2 = \text{CF}_2$	Politetrafloretilen (PTFE®)	$-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 -$	$-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 - \text{CF}_2 - \text{CF}_2 - \text{CF}_2 - \text{CF}_2 -$

3.1.3. Kopolimerlerin Tanımı

Kopolimerler, iki veya daha fazla farklı tipte monomerin kimyasal olarak birbirine bağlandığı polimerizasyon işlemiyle üretilen bir polimer grubudur. Monomerler, birbirleriyle reaksiyona girebilen ve polimer adı verilen uzun zincirler oluşturabilen küçük moleküllerdir. Polimerizasyon sırasında birkaç tip monomer kullanılarak, homopolimerlere (bir tip monomerden oluşan polimerler) kıyasla farklı özelliklere sahip kopolimerler oluşturulur. Kopolimerler, polimer bilimi alanında önemli bir rol oynar ve yapılarında kullanılan tek tek monomerlerin özelliklerinin kombinasyonundan kaynaklanan kapasiteleri nedeniyle, kapsamlı bir malzeme özelliği yelpazesinden dolayı geniş uygulamalar bulmuşlardır. Kopolimerlerin polimerizasyonu, her biri elde edilen kopolimerin yapısını ve özelliklerini etkileyen farklı yöntemlerle yapılabilir. Kopolimerlerin bileşimi ve yapısı, polimerizasyon işlemi sırasında iki veya daha fazla farklı monomerin birleştirilmesiyle belirlenir. Elde edilen kopolimer, kullanılan polimerin özelliklerini etkileyen benzersiz bir monomer düzenlemesine sahiptir. Monomerlerin seçimi ve kopolimer zincirindeki dizilişi, sentezlenen kopolimerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri üzerinde etkilidir. Kopolimerler, onları oluşturan monomerlerin en iyi özelliklerini birleştirerek, onları çok çeşitli uygulamalarla çok yönlü malzemelere dönüştürecek şekilde tasarlanabilir. Kopolimerlerin bileşimi ve yapısı, özel plastiklerin, elastomerlerin, kaplamaların ve biyomedikal malzemelerin üretimi gibi belirli endüstriyel ve teknolojik ihtiyaçları karşılayacak şekilde uyarlanabilir (www.behinpolymerco.com/tr/co-polymers/).

3.1.4. Kopolimerlerin Sınıflandırılması

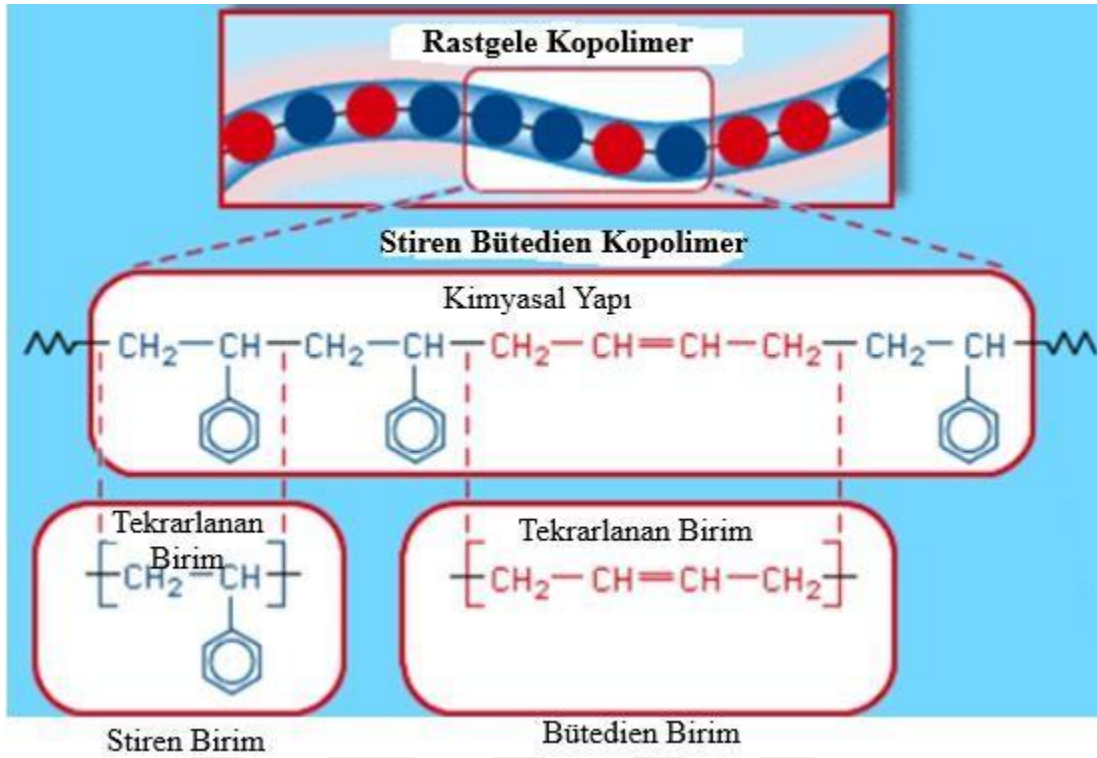
Kopolimerlerin sınıflandırılması, polimer zincirindeki farklı monomer türlerinin düzenlenmesine dayanır. Bu monomerlerin polimer zincirindeki dizilişi, kopolimerin tipini belirler ve özelliklerini, davranışlarını ve uygulamalarını etkiler. Monomer düzenlemesine bağlı olarak, dört ana kopolimer sınıfı vardır (Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Kopolimerlerin Sınıflandırılması (www.behinpolymerco.com)

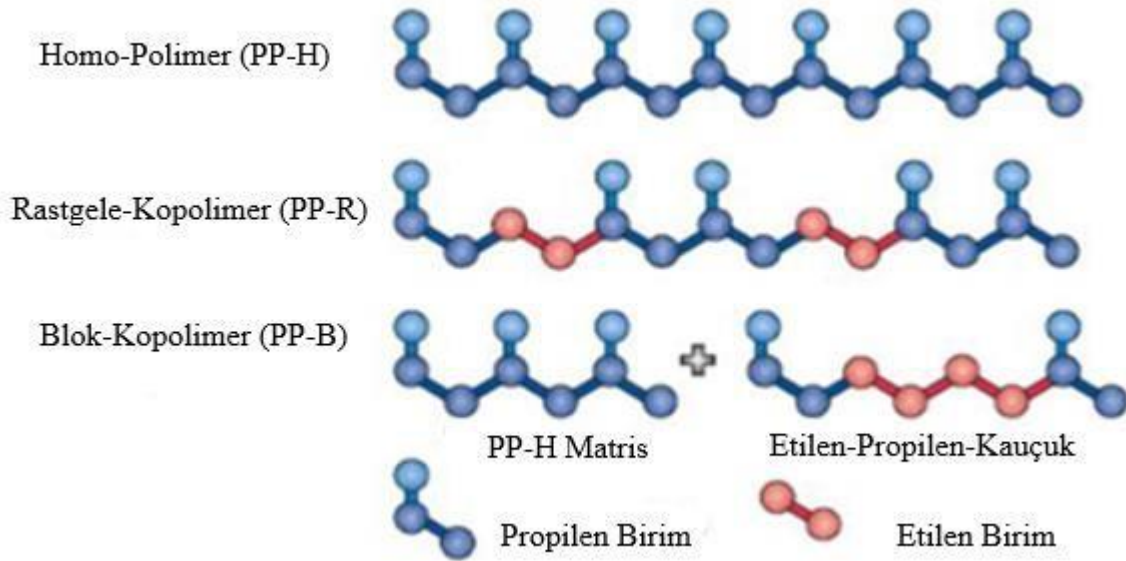
3.1.4.1. Rastgele Kopolimerler

Rastgele kopolimerlerde, monomerler polimer zinciri boyunca rastgele yerleştirilir ve bu durum tekrar eden birimlerin düzensiz dağılımına neden olur. Rastgele düzenleme, polimer boyunca çeşitli kimyasal ve fiziksel özelliklerin oluşmasına yol açar. Rastgele kopolimerleri, farklı monomerlerin birbirine karıştırıldığı ve bunların rastgele kombinasyonlarının büyüyen polimer zincirinde meydana geldiği serbest radikal polimerizasyon yoluyla sentezlemek nispeten kolaydır. Rastgele kopolimerlerin özellikleri, bileşen homopolimerlerin özellikleri arasındadır ve onları çok yönlü bir malzeme sınıfı haline getirir. Stiren-bütadien kauçuğu (SBR), mükemmel esnekliği, aşınma direnci ve düşük sıcaklıklardaki performansı nedeniyle lastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan rastgele bir kopolimerdir (Şekil 3.5)



Şekil 3.5. Stiren Bütedien Kauçuğun (rastgele kopolimer) moleküler yapısı

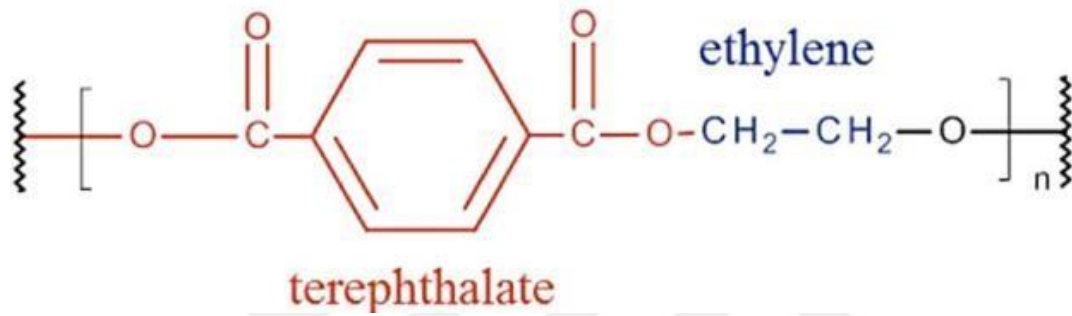
PP-R (Polipropilen Rastgele Kopolimer), propilen monomerden türetilen bir tür termoplastik polimerdir. Bu yapı rastgele bir kopolimer olarak sınıflandırılır, yani propilen monomer birimlerinin yanı sıra küçük miktarlarda bir komonomer, tipik olarak etilen içerir. Komonomer birimlerinin bu rastgele düzenlenmesi, malzemenin özelliklerini ve performansını iyileştirir. (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Polipropilenden farklı kopolimerlerin moleküler yapısı (www.behinpolymerco.com)

3.1.4.2. Değişen Kopolimerler

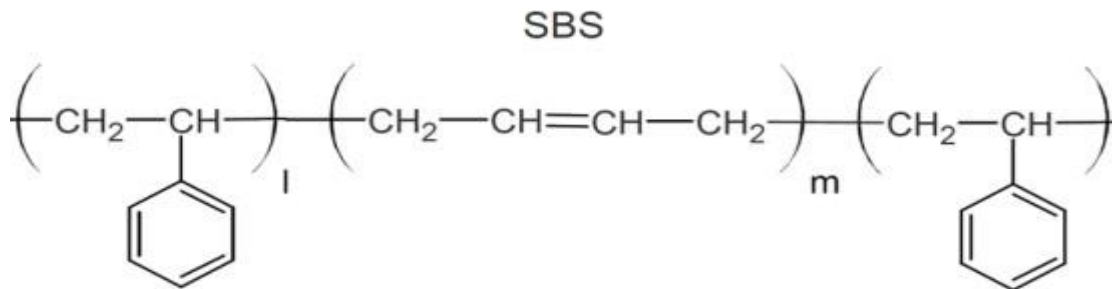
Değişen kopolimerlerde, monomerler polimer zinciri boyunca düzenli ve öngörülebilir bir modelde yerleştirilir. Elde edilen yapı, kararlı ve iyi tanımlanmış bir düzenleme oluşturan iki monomerin tekdüze bir tekrarıdır. Alternatif kopolimerler genellikle, iki tamamlayıcı monomerin birbiriyle reaksiyona girerek işlemdeki küçük molekülleri uzaklaştırdığı kademeli büyüme polimerizasyonu yoluyla sentezlenir. Polietilen tereftalat (PET), mukavemeti, şeffaflığı ve yüksek nem direnci nedeniyle içecek şişelerinde yaygın olarak kullanılan, etilen glikol ve tereftalik asit birimlerinden oluşan alternatif bir kopolimerdir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Polietilen tereftalatın (alternatif kopolimer) moleküler yapısı (www.behinpolymerco.com)

3.1.4.3. Blok Kopolimerler

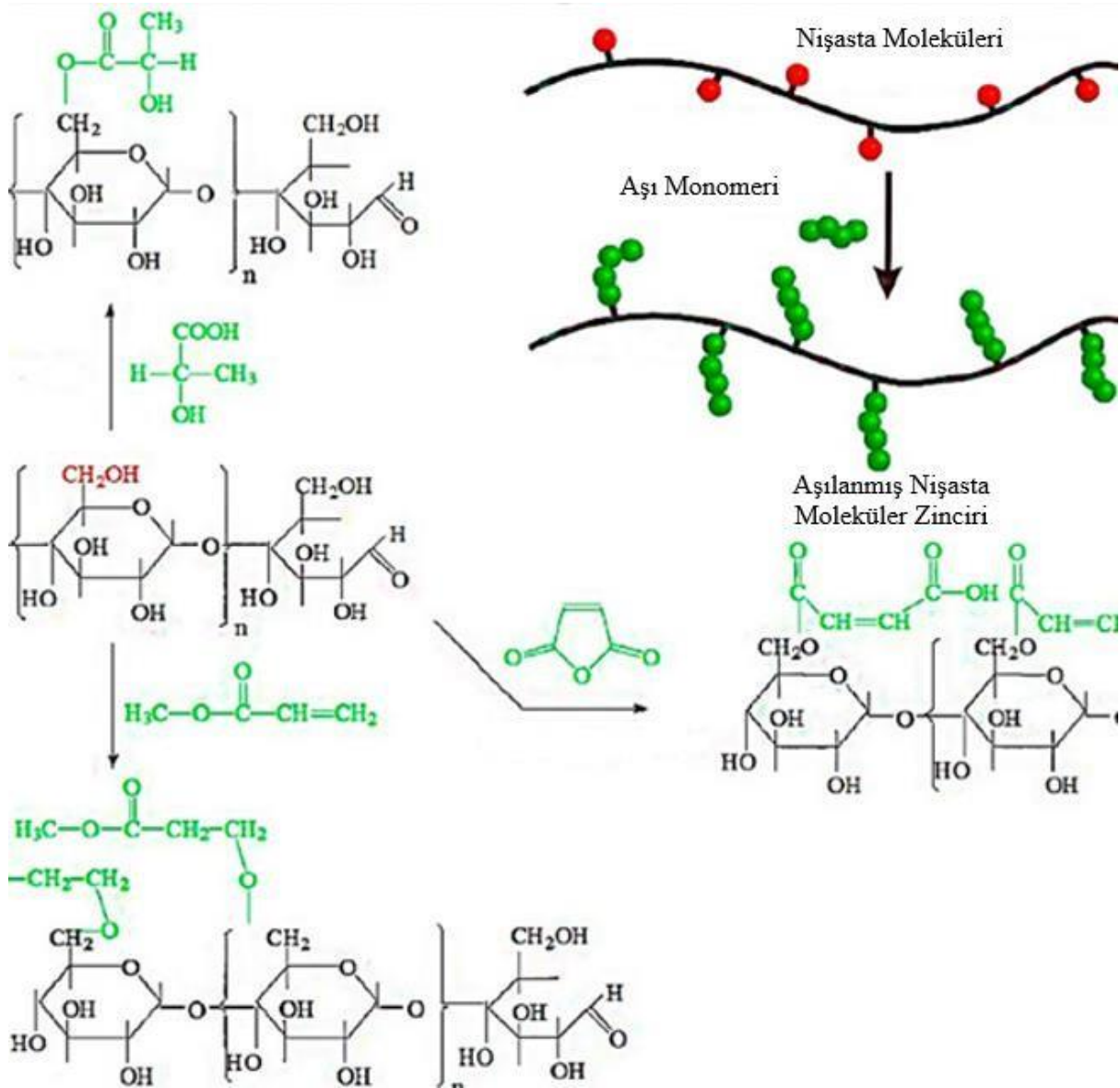
Blok kopolimerler, birbirine kovalent olarak bağlı iki veya daha fazla ayrı monomer bloğundan oluşur. Her blok, bir sonraki bloğa geçmeden önce nispeten uzun bir monomer tipi dizisine sahiptir. Blok kopolimerler, farklı özelliklere sahip ayrı alanların veya alanların oluşumuna yol açan mikrofaz ayrımına sahiptir. Blokların düzenlenmesi, blok kopolimerlere gelişmiş mekanik özellikler ve iyileştirilmiş faz stabilitesi gibi benzersiz özellikler verir. Polistiren-polibütadien (SBS), yapıştırıcılarda ve ayakkabı tabanlarında kullanılan bir blok kopolimerdir. Polistiren blok mukavemete neden olurken, polibütadien blok esnekliğe neden olur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Polistiren-polibütadienin (blok kopolimer) kimyasal yapısı (www.behinpolymerco.com)

3.1.4.4. Aşı Kopolimerleri

Aşı kopolimerleri, farklı monomerlerin yan zincirlerinin eklendiği bir tip monomeren oluşan bir ana zincire (omurga) sahiptir. Yan zincirler kısa veya uzun olabilir ve ana zincir boyunca düzenli ve rastgele dağılmış olabilir. Bağlı kopolimerler, ana zincirin ve yan zincirin özelliklerini birleştirerek benzersiz bir özellik kombinasyonu oluşturur. Aşılanmış nişasta kopolimerleri toprak iyileştirici olarak kullanılır. Kopolimerin ana zinciri suda çözünürlüğü sağlarken, yan zincirler toprak yapısını ve su tutmayı iyileştirmeye yardımcı olur (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Hidrofobik gruplar kullanılarak aşılanmış nişasta kopolimerlerinin sentezi

(www.behinpolymerco.com)

Her bir kopolimer sınıfı, onları çeşitli endüstrilerde ve bilimsel alanlarda çok yönlü ve değerli malzemeler haline getiren farklı avantajlara ve uygulamalara sahiptir. Kopolimer bileşiminin seçimi, belirli bir uygulama için gereken özelliklere ve polimerizasyon işleminde kullanılan sentez yöntemine bağlıdır (www.behinpolymerco.com/tr/co-polymers/).

3.2. Termoplastiklerin Sınıflandırılması

3.2.1 Polietilen Tereftalat (PETE)

Yüksek ısı direnci, 255°C'lik yüksek erime noktası, şeffaf ve sert, çözücüye dayanıklıdır. Kolayca geri dönüştürülebilir. Toksik değildir, ancak uzun süre kullanıldığında toksik kimyasallar salabilir.

3.2.2 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)

HDPE yarı saydam, esnek ve sert bir plastiktir ve genellikle mumsu bir his verir. 120-180 °C arasında bir erime noktası ve ısı direncine sahiptir, çözücülere dayanıklıdır. Toksik değildir. Kolayca geri dönüştürülebilir.

3.2.3 Polivinil Klorür (PVC)

Beyaz, kırılğan ve dayanıklı bir plastiktir. Isı bozulması 60 °C'de başlayabilir ve 100 °C'den erime meydana gelebilir. Toksik.

3.2.4 Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE)

İşlemesi kolaydır. Güçlü ve dayanıklıdır. Düşük erime noktasına sahiptir. Toksik değildir. Geri dönüştürülebilir.

3.2.5 Polipropilen (PP)

Isıya, kimyasallara, grese ve yağa karşı mükemmel direnç sergiler. Güçlü ve dayanıklı, yüksek erime noktasına sahiptir. Toksik değildir. Geri dönüştürülebilir.

3.2.6 Polistiren (PS)

Çok yönlü ve ucuzdur. İyi yalıtıcıdır. Kolayca şekillendirilir. Camsı yüzey, yüksek erime noktasına sahiptir. Çok nadiren geri dönüştürülür. Toksik.

3.2.7 Polikarbonat (PC)

Özellikle mühendislik sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir. Çok nadiren geri dönüştürülür. Toksik (www.plasticcleverschools.co.uk).

3.2.8 Akrlonitril Bütadien Stiren (ABS)

ABS bir terpolimerdir: akrilonitril (kimyasal direnç), bütadien (darbe direnci) ve stiren (sertlik ve kolay işleme). Aşılama polimerizasyon teknikleri ile ABS üretilir. yükseğe darbe direncine sahiptir.

3.2.9 Polyamid (Naylon)

PA ilk mühendislik termoplastiği olarak kabul edilir. Naylonlar, monomer zincirlerindeki karbon atomlarının sayısını belirten bir numaralandırma sistemiyle tanımlanır; naylon 6, naylon 6,6 veya naylon 6,10.

3.2.10 Polyester (PES)

Polyester plastik, sentetik bir polimerdir. Polyester plastikler, genel olarak dayanıklı, esnek ve düşük maliyetli malzemeler olarak bilinir. Çoğunlukla plastik şişeler, ambalaj malzemeleri, elyaf ve endüstriyel uygulamalar için kullanılır.

3.2.11 Polimetil Metakrilatlar (PMMA)

Optik berraklık, hava koşullarına dayanıklılık, iyi elektriksel özellikler, sert, yüksek, parlaktır. Zayıf çözücü direnci, gerilim çatlaması, yanıcılık gibi zayıf yönleri sahiptir.

3.2.12 Asetalor Polioksimetilen (POM)

Üretimi kolaydır. Parlak kalıplanmış yüzeylere sahiptir. Üstün yorulma dayanıklılığı, sürünme direnci, sertlik ve su direnci sağlar. En güçlü ve en sert termoplastikler arasındadır. Çoğu kimyasala, lekeye ve organik çözücüye dayanıklıdır. Asitlere ve bazlara karşı zayıf direnç gösterir ve bağlanması zordur. UV bozulmasına maruz kalır ve yanıcıdır. Bozunma sırasında zehirli dumanlar açığa çıkar.

3.2.13 Polieter-Eter-Keton (PEEK)

Çok yüksek sürekli kullanım sıcaklığı (480F), olağanüstü kimyasal direnç, aşınma direnci, mükemmel mekanik özellikler, çok düşük yanıcılık ve duman oluşumu, yüksek gama radyasyonu seviyelerine dayanıklıdır. Daha iyi sertlik, minimum ağırlık ve floropolimerlere karşı kimyasal direnç gösterebilen yarı iletken gofret taşıyıcılarıdır (www.meche.mit.edu).

4. STRETCHOOD ÜRETİMİ

4.1. Stretchhood Hakkında Genel Bilgiler

Çimento, gıda ve beyaz eşya gibi sektörlerde palet üstü varil ambalajlanmasında yoğun olarak kullanılır. Paketleme esnasında ısıtılma işlemi gereksinim yoktur. Enerji tasarrufu sağlar. Birim palet için kullanılan paketleme materyali daha azdır. TD ve MD yönde yüksek esneklik kapasitesine sahiptir. Isıl işlem sırasında shrink filmlerde görülebilen yanma ve delinme problemleri stretchhood film kullanılırken görülmez. Teknolojik üretimi ve sağladığı UV koruma sayesinde palet üzerindeki ürünün yağmur, toz, nem gibi tüm olumsuz dış etkilere karşı korunmasını sağlar. Artırılmış yüksek yük taşıma kapasitesi sunar. Yüksek esneme kabiliyeti sayesinde palet üzerindeki ürüne kolayca uygulanır. Kolay ısıtılma özelliği ve yüksek sarma kapasitesi sayesinde paketlenmiş ürüne şık bir görünümlük sağlar (www.ilkplastik.com.tr).

Paletlenmiş ürünlerin depolama ve sevkiyatı esnasında zarar görmemesi için tercih edilen palet örtüsü tiplerinden biridir. Müşteri paketleme sahasında tam otomatik makinalarla, ısıtılma işlemi kullanılmadan stretchhood filmi paletlere takıp palette bulunan ürünlerin dış şartlardan korunmasını sağlar. Ambalajlanacak ürüne has mukavemet ve esneme değerlerine uygun özel film kullanılır (www.cesurfilm.com.tr).

Stretchhood filmin bir diğer avantajı da çevre dostu olmasıdır. Bu ürün, geri dönüştürülebilir malzemelerden üretilmiştir ve böylece çevre üzerindeki etkisini en aza indirir. Ayrıca, üretim sürecinde enerji tasarrufu sağlar ve karbon ayak izini azaltır (www.kenzambalaj.com/).

4.2. Stretchhood Ekstrüzyon Sistemi Türleri

Üflemlilik film, polimerin dairesel bir kalıptan ekstrüde edilerek bir kabarcık oluşturulması ve bu kabarcığın hava basıncıyla genişletilerek film haline getirilmesi sürecidir. Film, soğutulurarak katılaştırılır ve istenilen ölçülere göre kesilerek sarılır. Genellikle 0,254 mm'den daha ince, ancak 0,5 mm'ye kadar kalınlıkta olabilir. Bu yöntemde film, çift eksenli (makine yönü ve enine yönde) gerilerek işlenir. Kullanılan başlıca polimerler PE, PP, PVC, PS, EVA, EVOH, PA ve PU'dur. Üflemlilik film, ambalaj, tarım, inşaat, bariyer ve streç filmler gibi birçok pazara hizmet eder. Çok katmanlı filmler için koekstrüzyon tekniği yaygındır; bu sayede 2 ila 17 katmanlı yapılar üretilebilir. Yapının kalitesi; reçine besleme sisteminin verimliliği, kalıp tasarımı, hava halkaları, çekme sistemleri ve entegre kontrol sistemlerinin performansına bağlıdır. Kabarcığın çapı genellikle kalıp çapından büyüktür ve bu oran şişirme

oranı (BUR) olarak adlandırılır. Film genişliği bu çapın 1,57 katıdır (BFW). Kristal polimerlerde film, donma çizgisi denen noktada pusludan şeffafa geçer. Film kalınlığı üniform olmayabilir, bu nedenle salınlı kalıplar veya çekme sistemleri kullanılır. Üfleme filmi, daha fazla kristallığe, daha yüksek bariyer özelliklerine, daha iyi boyutsal esnekliğe ve daha düşük yatırım maliyetine sahiptir. Genellikle kısa üretim çalışmaları için tercih edilir. Ancak döküm filme göre ölçü kontrolü daha zayıftır ve daha düşük üretim hızlarına sahiptir. Döküm film ise daha şeffaf, yumuşak ve ısıyla şekillendirmeye uygundur. (Wagner, 2016)

Çok katmanlı koekstrüzyon sistemleri farklı polimerleri katmanlı bir yapıda birleştirerek malzeme alt bileşenlerinin her birinden gelen özelliklerin birleşimine sahip bir kompozit malzeme üretir. Bu şekilde tek polimer ekstrüdatına göre çok daha gelişmiş özelliklere sahip malzemeler üretilebilir. Çok katmanlı koekstrüzyonun mevcut uygulamaları arasında paketlenme, koruyucu kaplamalar ve bariyerler yer almaktadır. Örneğin karbon dioksit geçirimsiz bir polimere yapıştırılmış oksijen geçirimsiz bir polimer kullanan meşrubat şişeleri gibi ürünler için kullanılabilir. Bu teknik aynı zamanda enerji depolama cihazları, sensörler, ekranlar ve membranlar gibi yeni teknolojiler için de araştırılmaktadır. Sensörleri veya enerji depolama cihazları olarak kullanılmak üzere çok katmanlı, nanopartikül dolgu polimer yapılar üretmek için bir araç olarak çok katmanlı koekstrüzyonu araştırılmaktadır. Bu cihazların katmanlı yapılarında bir polimerin diğer polimeri esasen kapsülleyeceği şekilde bir ofsete sahip olması gerekir. Böyle bir ofset oluşturmak şu anda ticari olarak yapılamamaktadır ve bu nedenle bir araştırma konusudur. Üretim sürecine yardımcı olmak amacıyla bir ofset yapısı oluşturmak için potansiyel kalıp tasarımına ve katman düzgünsüzlükleri ve kararsızlıkları gibi konulara bakmak için koekstrüzyonun hesaplamalı modelleri geliştirilmektedir. Viskozite ve elastikiyet gibi katmanlar ve akış geometrileri arasındaki özellik farklılıklarından kaynaklanan istikrarsızlıklar koekstrüzyon süreçlerini zora sokabilir. (Rao vd., 2008)

4.2.1. Koekstrüzyon

Koekstrüzyon sistemi, farklı özelliklere sahip birden fazla polimerin aynı anda akıtılarak çok katmanlı ürünler elde edilmesidir. Amaç, her katmanın farklı avantajlarını (örneğin darbe direnci, bariyer özelliği, estetik görünüm) bir araya getirerek tek bir ürün üretmektir. Ayrıca, maliyeti düşürmek için geri dönüştürülmüş polimerlerin de iç katmanlarda kullanımı mümkündür. Özellikle gıda ambalajında yaygın olarak kullanılır. Örneğin, çok katmanlı şişelerde EVOH gibi bariyer katmanları, yapışkan katmanlar ve yüzey görünümünü sağlayan saf polimerler bir arada kullanılır. Koekstrüzyon sistemi ayrıca borular, kablolar

ve profillerin üretiminde de kullanılır. Koekstrüzyon sistemi, farklı polimerleri birleştirerek maliyet-etkin ve fonksiyonel çok katmanlı ürünler üretmeye olanak tanır. Ancak süreç, özellikle katmanlar arası yapışma, akış dengesi ve kapsülleme gibi karmaşık fiziksel fenomenler nedeniyle dikkatli tasarım ve modelleme gerektirir. Bu nedenle hem deneysel çalışmalar hem de gelişmiş hesaplamalı modeller birlikte kullanılmaktadır (Agassant ve Demay, 2022).

Koekstrüzyon sistemi, gıda ambalajlarından yansıtıcı polarizörlere kadar çeşitli ürünler için uygun olan çok katmanlı tabakalar veya filmler oluşturmak için yaygın olarak kullanılan endüstriyel bir işlemdir. Ayrıca, özellikle polimer karışımlarındaki arayüzey dinamiklerini incelemek için temel zihinsel çalışmalar için de iyi bir araçtır çünkü koekstrüde edilmiş çok katmanlı tabakalardaki morfoloji, katman sayısı ve katman kalınlığı ile iyi tanımlanır ve bu da onu karışım için uygun bir model sistem haline getirir. Koekstrüzyon, birçok multimanifold kalıp veya ayrı ekstrüderlerden gelen polimer eriyiklerinin bir araya getirildiği ve belirli birçok katmanlı düzeneğin oluşturulduğu bir geri besleme blok sistemi kullanılarak iki veya üç ekstrüderin bir kombinasyonu ile gerçekleştirilir. Çok katmanlı koekstrüzyon konusu çok geniştir ve ekipman tasarımları, akışkan mekaniği ve çok katmanlı akış analizi, ara yüzey kusurları ve işleme koşullarının optimizasyonu vb. gibi pek çok konu çeşitli çalışanlar tarafından ele alınmıştır. Örneğin, 1980'lerde Cloeren şirketi tarafından tanıtılan çok katmanlı ekipman Mitsoulis ve grubu tarafından yağlama yaklaşımı teorisi ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak analiz edilmiştir. Çalışmaları, çok katmanlı analiz ve çeşitli tasarım kriterlerine dayalı olarak tasarımın nasıl daha iyi yapılabileceğini göstermiştir. Bu yöntem endüstrisi tarafından çok katmanlı koekstrüzyonun analizi ve daha iyi tasarımı için rutin olarak kullanılmıştır. Koekstrüzyon işleme söz konusu olduğunda, ana sorun farklı reolojik özelliklere sahip polimerlerin eş zamanlı olarak işlenmesidir. Belirli çalışma koşulları altında kalıp içinde kusurların gözlemlenebileceği iyi bilinmektedir. Bunlar esas olarak nihai ürünün kalitesini etkileyen arayüzey kararsızlıklarıdır (Khalid vd., 2013).

İki katmanlı koekstrüzyon süreci için bir boyutlu (1D) Poiseuille akışı modeli geliştirilmiş; bu model Newtoncu ve kesme incelmesi gösteren reolojik davranışları içermektedir. Geçici hesaplamalar, iki polimer tabakası arasındaki arayüzün kısa bir mesafe içinde sabitlendiğini ve bu durumun 1D modelin geçerliliğini doğruladığını göstermektedir. Model daha sonra, çok katmanlı ve sıcaklık bağımlı akışlara uygulanarak endüstriyel koekstrüzyon koşullarına uyarlanmıştır. Ancak, farklı polimerlerin reolojik özellikleri ve akış oranları nedeniyle arayüzde kararsızlıklar ortaya çıkabilir. Yaşanan kararsızlıklar deneysel

olarak gözlemlenmiş ve konvektif kararlılık analizleri ile sayısal simülasyonlar bu durumları doğrulamıştır. 1D modeller karmaşık kalıp geometrilerini (örneğin askı kalıpları) açıklamakta yetersiz kalır. Bu nedenle, Hele-Shaw tipi yağlama yaklaşımıyla ince tabaka koekstrüzyon modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, kalıp çıkışında katmanlar arasındaki arayüz konumlarını tahmin etmede kullanılır. Ancak, bu tür yaklaşımlar özellikle önemli kalınlık farkları varsa polimer kapsüllemesi gibi olayları açıklamakta yetersiz kalır. Kapsülleme olgusunu anlamak için yapılan deneylerde kare kesitli kalıplar kullanılmıştır.

Koekstrüzyon süreçlerinin modellenmesi, sürecin temel özelliklerini anlamayı sağlar. Bu süreç; film üfleme, boru ve kablo kaplama, içi boş plastik gövdelerin üretimi gibi birçok uygulamada kullanılır. Polimer katmanları arasındaki arayüzler birkaç milimetre içinde oluşturulur ve sıcaklık hızlıca kontrol edilir. Ancak, levha ekstrüzyonunda şekil faktörünün düşük olması nedeniyle kapsülleme sınırlıdır. Akışkanın hızı, sıcaklık profili ve arayüz pozisyonları; çeşitli reolojik modellerle kolayca hesaplanabilir. Newtoncu modeller teorik olarak anlamlı olsa da, kalıptaki viskozite değişimi nedeniyle pratikte yetersiz kalır. Güç yasası ve viskoelastik modeller daha gerçekçi sonuçlar sunar. Konvektif kararlılık analizleri, polimerin akış oranına bağlı olarak bazı frekanslarda akışta bozulmaların artabileceğini veya kaybolabileceğini gösterir. Bu bozulmalar, ekstrüzyon makinesinin aşınması gibi nedenlerle zamanla ortaya çıkabilir. Daha karmaşık geometrilerde sayısal simülasyonlar kullanılarak detaylı analizler yapılabilir, ancak hesaplama maliyeti yüksektir. Kalıp tasarımı da büyük önem taşır. Besleme bloğunun tasarımı ve çıta şekilleri, polimer katmanlarının kalıptaki dağılımını etkiler. Homojen kalınlık dağılımı için ardışık hesaplamalarla optimize edilmiş bir tasarım geliştirilebilir. Köşeli şekiller, akışta yeniden dolaşıma yol açarak kapsüllemeyi kötüleştirebilir. Özellikle askı tipi kalıplarda kapsülleme kritik bir sorundur. Katman şekli ince olsa bile, üst akıştaki kanalın yüksek şekil faktörü nedeniyle kapsülleme oluşabilir. Bu durum, bazı polimerlerin kaybına yol açabilir. Kapsüllemeyi anlamak için viskoelastik davranış, yeniden dolaşım hücreleri ve iki polimerin karışımı gibi faktörlerin dikkate alındığı modeller kullanılabilir. Bu konu hâlen araştırmaya açık ve geliştirilmesi gereken bir alandır (Agassant ve Demay, 2022).

Genel olarak koekstrüzyon sistemleri; 1) ekstrüderler, filtreler ve eriyik pompaları gibi erimiş polimerleri hazırlamak için kullanılan ekstrüzyon ve eriyik sistemleri, 2) polimerleri ekstrüderlerden iletmek için kullanılan eriyik boruları, 3) eriyikleri ekstrüderlerden toplamak ve yönlendirmek için adaptör, 4) eriyikleri şekillendirmek ve birleştirmek için bir koekstrüzyon besleme bloğu ve 5) koekstrüde filmi oluşturmak için eriyiği yaymak, inceltmek

ve eşit olarak dağıtmak için bir kalıptan oluşur. Bazı durumlarda, adaptör ve besleme bloğu tek bir yapıda birleştirilebilir ve bu durumda eriyik borusu ve ekstrüzyon sistemlerini bozmadan gelecekteki koekstrüzyon sistemi değişikliklerine izin vermek için adaptör / besleme bloğu boyutunu belirlemek oldukça önemlidir. Adaptör, çeşitli eriyik akışlarını toplamak ve çok katmanlı film ve tabaka üretmek için kullanılan besleme bloğuna ve/veya kalıba yönlendirmek için tasarlanmıştır. Eriyik sisteminin koekstrüzyon sistemine bağlanması için ekstrüzyon sistemi ve koekstrüzyon sistemi arasında köprü görevi görür. Sabit akış kanallarına sahiptir veya adaptör girişi ve çıkışı arasında eriyiklerin besleme bloğuna ve/veya kalıba çoklu akış yollarına izin verecek şekilde tasarlanır. Besleme bloğunun amacı, adaptörden giren çoklu polimerleri düz kalıba yönlendirmek üzere iyi belirlenmiş bir polimer yığını halinde şekillendirmek ve birleştirmektir (Mount, 2010).

4.3.Koekstrüzyon uygulamaları

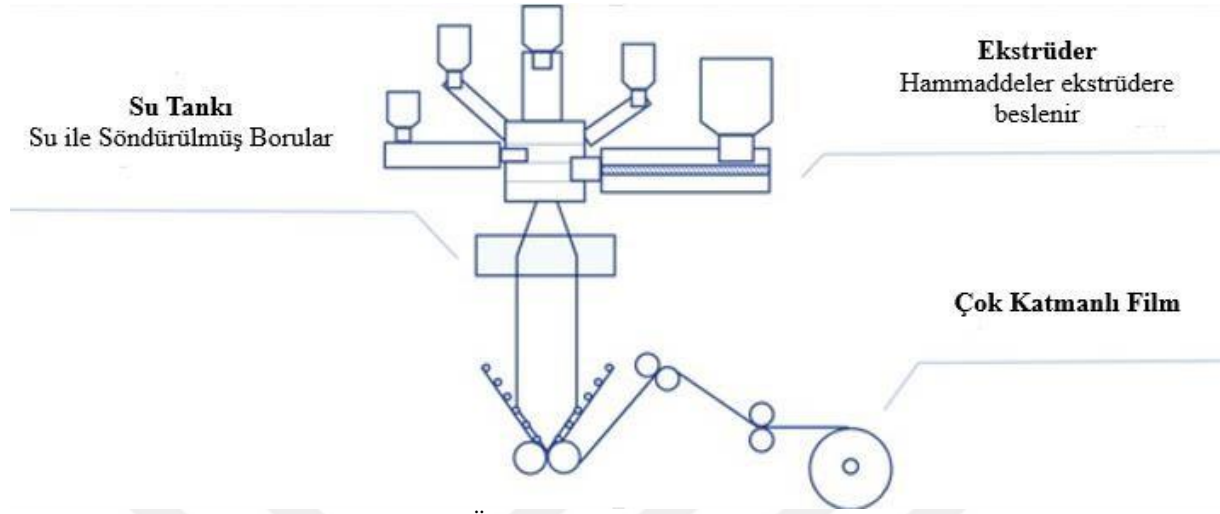
Çok katmanlı koekstrüde filmlerin üretim süreci, hassas teknoloji ve uzmanlık gerektiren karmaşık bir işlemdir. Bu sürecin merkezinde, farklı malzemelerden oluşan çok katmanlı filmlerin üretimini sağlayan koekstrüzyon teknolojisi yer alır. Bu bölüm, doğru reçinelerin seçilmesinden filmlerin gerçek üretimine kadar adım adım yolculuğun yanı sıra kullanılan temel teknolojilerin incelenmesini ele alır. Koekstrüzyon, çok katmanlı bir film oluşturmak için tek bir kalıptan iki veya daha fazla farklı polimer katmanının eş zamanlı olarak şekil verilmesini ifade eder. Bu gelişmiş teknoloji, tek katmanlı filmlerin elde edemediği çeşitli özellikleri birleştiren filmlerin üretilmesine olanak tanır. İyileştirilmiş bariyer özellikleri, artırılmış dayanıklılık ve daha iyi estetik görünüm gibi gelişmiş işlevlere sahip özel bir paketleme çözümü sunar (www.dallasplastics.com/).

4.3.1. Film ve Levha Üretimi

Koekstrüzyon uygulamaları ile film üretimi, su soğutmalı üfleme film yöntemi, hava soğutmalı üfleme film yöntemi ve T kalıp ekstrüzyon yöntemleriyle yapılmaktadır.

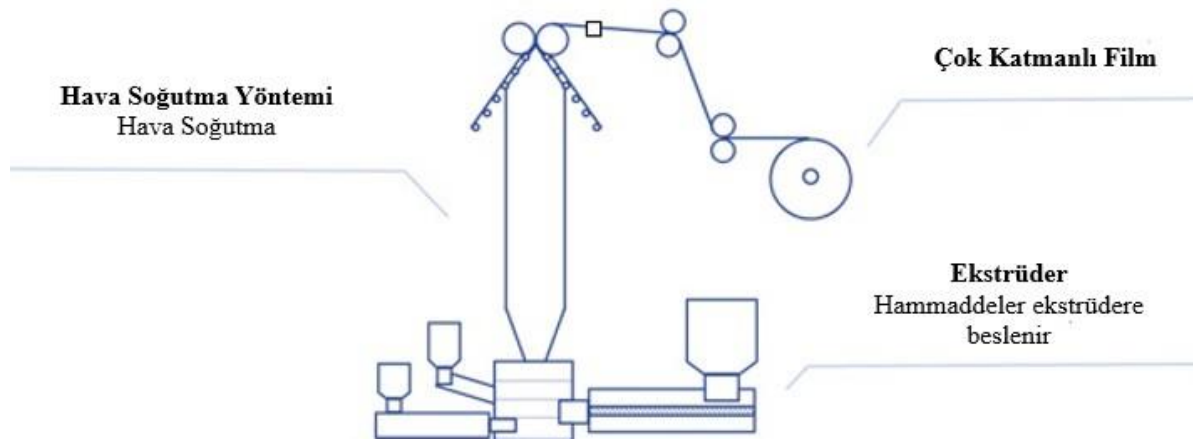
Şekil 4.1’de çok katmanlı film üretim süreci gösterilmektedir. Özellikle plastik film üretiminde kullanılan bir ekstrüzyon sistemini temsil eder. Üstteki haznelerden gelen plastik granüller ısıtılarak eritilir. Bu granüller, farklı ekstrüderlere konularak farklı tabakaların oluşması sağlanır. Vida sistemi hammaddeleri ileri iterken ısıtır ve eriyik haline getirir. Eriyen plastikler, merkezde birleştirilerek çok katmanlı bir tüp oluşturulur. Oluşan sıcak plastik tüp, su tankında ani soğutmaya tabi tutulur. Bu işlem, malzemenin daha düzgün yapıda kristalleşmesini ve şeklini korumasını sağlar. Soğutulan tüp, makaralar aracılığıyla

düzleştirilir, gerdirilir ve istenilen kalınlığa getirilir. Son olarak, film bir rulo üzerine sarılarak toplanır.



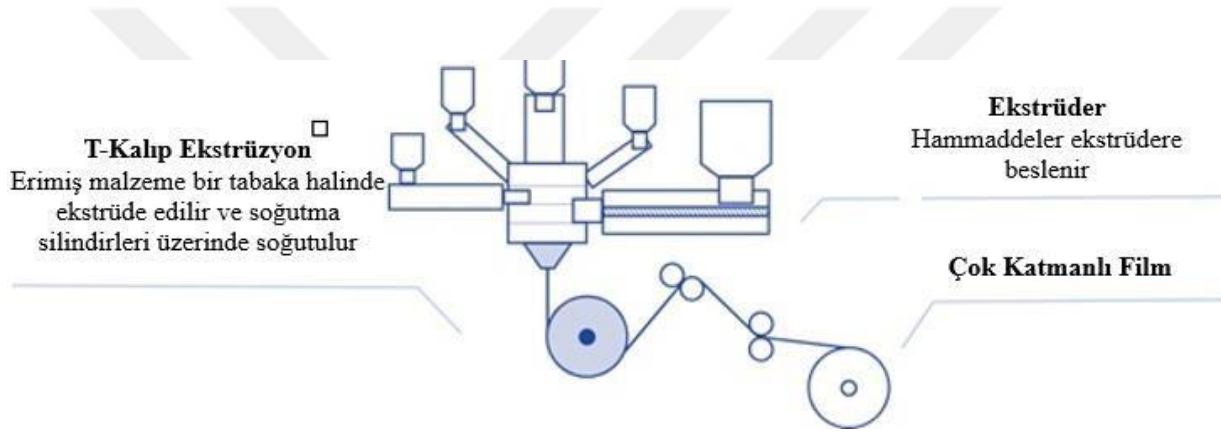
Şekil 4.1. Su Soğutmalı Üfleme Film Yöntemi (www.shikoku-kakoh.com)

Hava soğutmalı çok katmanlı film üretim süreci Şekil 4.2’de verilmiştir. Ekstrüzyon yöntemi kullanılarak film üretimi gerçekleştirilir, ancak soğutma işlemi su yerine hava ile yapılmaktadır. Bu yöntem genellikle şişirme film ekstrüzyonu olarak bilinir. Farklı hammadde türleri ekstrüder haznelerine konur. Hammadde ısıtılır ve eriyik hale getirilir. Eriyik polimerler birleştirilerek çok katmanlı bir yapı oluşturulur. Eritilen plastikler, bir kalıptan yukarı doğru balon şeklinde şişirilerek çıkarılır. Bu süreçte balonun içine hava üflenerek genişlemesi sağlanır. Böylece tüp şeklinde çok katmanlı bir film üretilir. Balonun dış yüzeyi, çevresine yerleştirilmiş hava üfleyiciler tarafından soğutulur. Hava ile soğutma, özellikle ince ve homojen film üretiminde tercih edilir. Soğuyan film, makaralar yardımıyla üstten çekilir ve düzleştirilerek ruloa sarılır. Bu aşamada film kalınlığı, gerdirme oranı ve genişliği kontrol edilir.



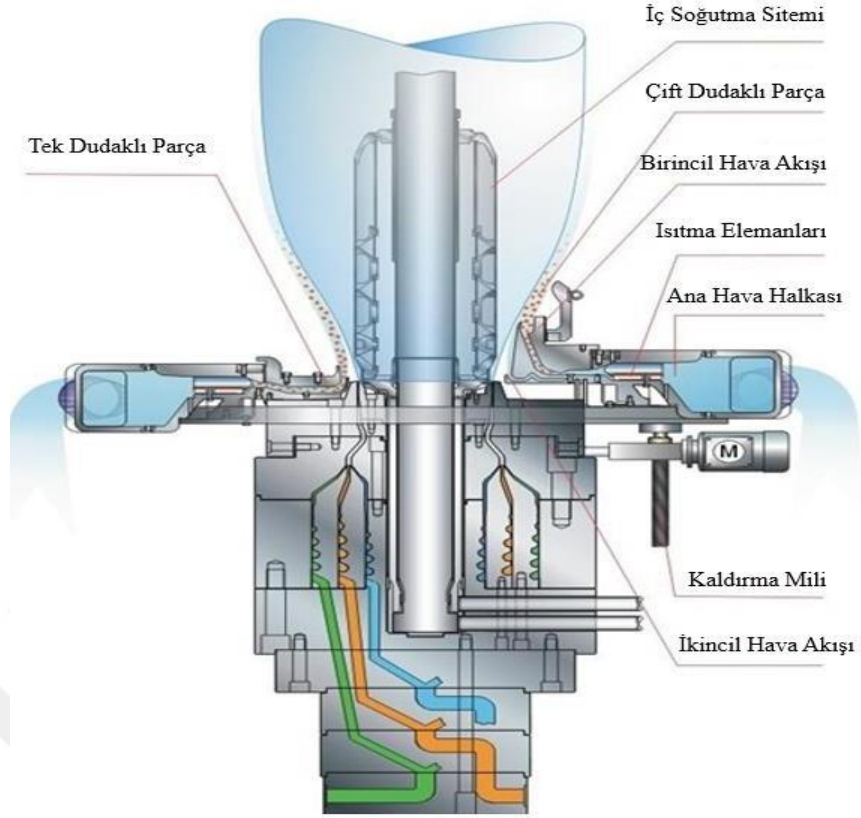
Şekil 4.2. Hava Soğutmalı Üfleme Film Yöntemi (www.shikoku-kakoh.com)

Şekil 4.3'te T-kalıp ekstrüzyon yöntemini gösterilmektedir. Bu yöntem, erimiş plastiğin bir kalıptan düz bir levha veya film olarak çıkarılması ve soğutma silindirleri üzerinden geçirilerek soğutulması esasına dayanır. Hammadde ekstrüder haznelerine beslenir. Bu granüller ısıtılarak eritilir ve vida yardımıyla ileri taşınır. Her bir ekstrüder, çok katmanlı film üretimi için farklı malzeme türlerini hazırlayabilir. Erimiş polimerler, T şeklinde bir kalıptan geçirilerek geniş ve düz bir film halinde dışarı çıkarılır. Bu kalıp, eriyik malzemeyi eşit kalınlıkta ve genişlikte yaymak için tasarlanmıştır. T-kalıp'dan çıkan sıcak film, filmin yüzey kalitesi ve kalınlığı sağlamak amacıyla soğutma silindirleriyle temas ettirilerek hızla soğutulur. Film aynı zamanda düzleşir ve pürüzsüz hale gelir. Soğutulmuş ve istenilen özelliklere ulaşmış film, makaralar aracılığıyla yönlendirilerek ruloya sarılır (www.shikoku-kakoh.com).



Şekil 4.3. T-kalıp Yöntemi (www.shikoku-kakoh.com)

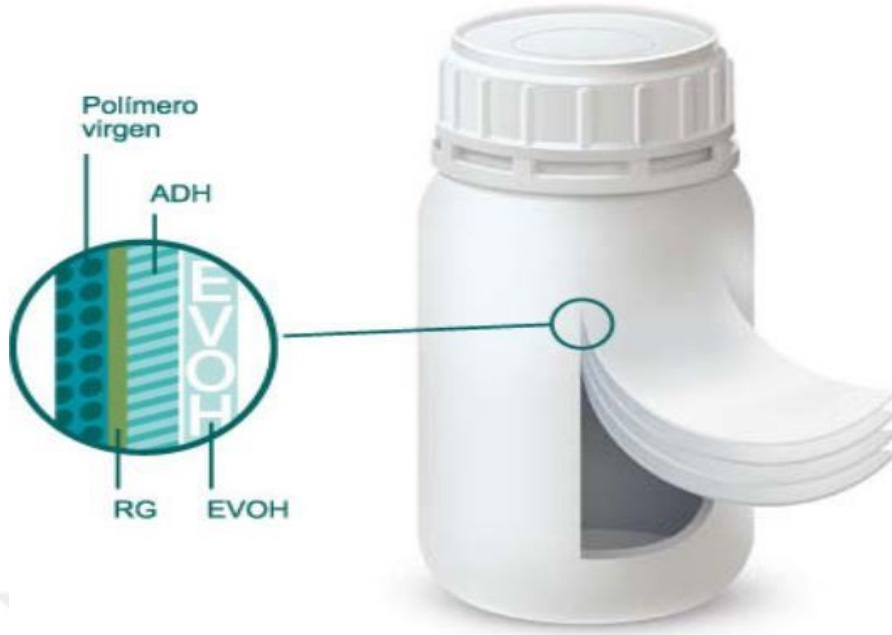
Film kalitesini ve üretim hızını artırmak için kullanılan film şişirme kalıbı sistemi Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu sistem, stretch hood ince film ambalaj malzemelerinin üretiminde yaygın olarak kullanılır. Erimiş plastiğin şekillendirilerek ince bir film haline getirilmesini dudaklar sağlar. Tekli veya ikili dudaklar farklı ürün kalınlıklarında ve genişliklerinde tasarlanmıştır. Erimiş plastik malzeme kalıptan yukarıya doğru çıkar. Birincil hava ile içeriden, ikincil hava ile dışarıdan şişirilerek bir balon şekli verilir. Soğutma sistemleri sayesinde malzeme katılırken istenen film yapısı elde edilir. Balon şeklinde çıkan film içeriden ve dışarıdan hava ile soğutulur.



Şekil 4.4. Film şişirme kalıbı sistemi

4.3.2. Konteyner/Kap üretimi

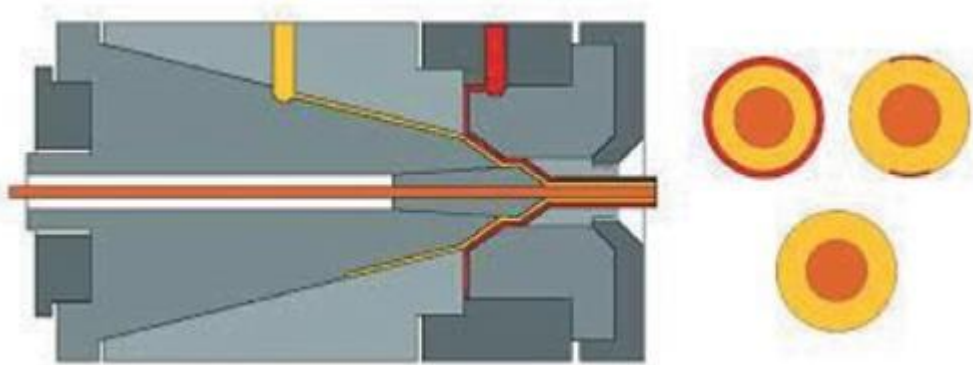
Konteyner/kap teknolojisi, çok katmanlı bir yapı elde etmek için iki veya daha fazla polimerin eş zamanlı olarak ekstrüzyonudur. Bu teknolojik bariyer özelliklerine sahip bir malzeme içeren ve birkaç ekstrüderin kullanımı sayesinde, birkaç katmanlı (çok katmanlı) bir plastik kap üretmeye olanak tanır. Bariyer malzemesi olarak EVOH veya PA kullanarak, muhafaza edilecek ürünün ihtiyacına bağlı olarak 4 ila 6 katmanlı bariyer ambalajlar üretilmektedir. Örneğin, EVOH bariyer katmanlı Multilayer Coextrusion Blow Moulding ile üretilen çok katmanlı plastik kapların verimliliği, düşük nem koşulları, çok düşük kalınlıklarda yüksek derecede oksijen geçirgenliğine sahip bir malzeme olarak öne çıkıyor (www.alcion.com).



Şekil 4.5. Koekstrüde konteyner üretimi ve konteyner/kap örneği (www.alcion.com)

4.3.3. Kablo/Tel kaplama

Koekstrüzyon ile üretilen ürünler arasında sıkça uygulanan bir diğer yöntem ise kaplamadır. Tel ve kablo ekstrüzyonu (Şekil 4.6), iletken bakır tellerin/kabloların bir polimer kaplama ile yalıtılmasını sağlar. Tel/kablo, erimiş polimer tüm çevre boyunca kaplanırken bir çapraz kafa (T şeklinde) kalıbından çekilir. Polimerin erimiş yapısı nedeniyle, sadece dış çevreyi kaplamakla kalmaz, aynı zamanda çok telli bir tel/kablonun dış katmanları arasına nüfuz ederek iletken metale daha fazla yapışmasını sağlar. Bu, kablo büküldüğünde daha iyi bir mukavemet sağlar ve kabloya/tele daha fazla kalınlık sağladığı için bölünme ve çatlak olasılığını azaltır. Renk, alev geciktiricilik, gelişmiş esneklik, daha fazla aşınma direnci vb. özellikler kazandırmak için polimer içerisinde özel kimyasal maddeler kullanılır (www.ultrapolymers.com).



Şekil 4.6. Koekstrüde kaplama prosesi(www.ultrapolymers.com)

5. KARBON EMİSYONU

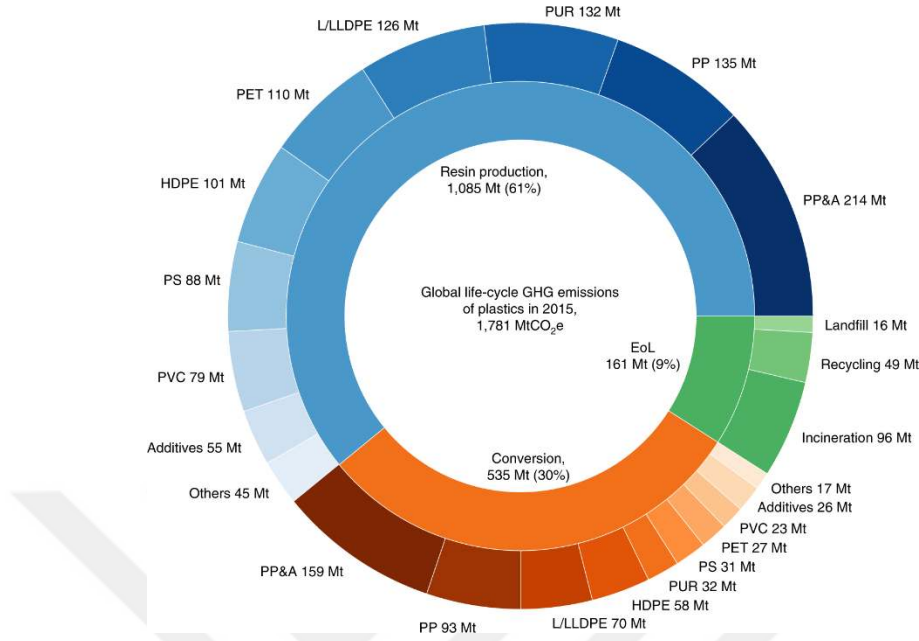
5.1. Karbon ayak izi

Karbon ayak izi iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir göstergedir ve sera gazı emisyonlarını CO₂ eşdeğeri cinsinden ölçer. Karbon ayak izi, bir ürün (veya hizmetin) veya kuruluşun tüm yaşam döngüsü boyunca doğrudan ve dolaylı olarak neden olduğu CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarının toplamıdır. Karbon ayak izinin doğru ölçülmesi, iklim politikalarının etkin planlamasında temel bir unsurdur. İki hesaplama yöntemi vardır: 1) Ürün veya hizmete özel hesaplama, 2) Kurum veya kuruluşların tüm faaliyetlerini kapsayacak şekilde hesaplama. Karbon ayak izi, özellikle gıda sistemleri için kritik bir ölçüm aracı olup; bu ürünlerin yüksek GHG salımı yaptığı gösterilmiştir. Tüketime dayalı Karbon ayak izi verileri, ülkeler arası ticaretin CO₂ emisyonlarına etkisini göstermektedir. Karbon ayak izi araştırmalarının entelektüel temellerini ve araştırma cephelerini görselleştirerek, alanın gelişimine sistematik bir bakış sunmaktadır. Ayrıca, gelecekteki araştırmalar için potansiyel yenilikçi yönler ve araştırma alanlarını da göstermektedir.

WoS veri tabanından elde edilen literatür kayıtlarıyla karbon ayak izi araştırmalarının bibliyometrik analizi yapılmıştır. Bu analiz, bilgi uzmanlığının zaman içinde nasıl geliştiğini ve alıntı ağlarındaki karmaşık ilişkileri ortaya koymuştur. Karbon ayak izi araştırmalarında hem zamansal-mekânsal farklılıklar hem de iş birliği yoğunluğu gözlemlenmiştir. 2006'da "karbon ayak izi" teriminin bilimsel olarak tanımlanmasıyla birlikte, ilgili literatür ağırlıklı olarak makaleler, konferans bildirileri ve patentler şeklinde yayınlanmış; mühendislik, çevre bilimleri, enerji, bilgisayar bilimi ve ekonomi gibi alanlara yayılmıştır. Bölgesel olarak karbon ayak izi araştırmalarının odak noktaları Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'dır. ABD, Çin, İngiltere, Avustralya ve İtalya ilk 5 ülke arasında yer almıştır. Ayrıca, sürdürülebilir kalkınma, tüketim, tarım ve enerji gibi sektörlerle ilişkili temalar arasında önemli yer almaktadır (Chen vd., 2020).

2015 yılında üretilen geleneksel (fosil yakıt bazlı) plastiklerin yaşam döngüleri boyunca 1,8 GtCO₂ eşd. yaymıştır (Şekil 5.1) . Bu miktar, o yıl küresel olarak yayılan 47 GtCO₂ esd'nin %3,8'ine karşılık gelmektedir. Reçine üretim aşaması emisyonların çoğunluğunu (%61) oluşturmuş ve bunu dönüşüm aşaması (%30) izlemiştir. Tüm plastik türleri arasında polyester, poliamid ve akrilik (PP&A) elyaflar her iki aşamada da en yüksek GHG emisyonlarına sahiptir. Dünya plastik tüketiminin yaklaşık %50'sini oluşturan poliolefin ailesi (PP, L/LLDPE ve HDPE) de önemli bir katkıda bulunmuştur. Biyobazlı plastiklerin sera

gazı emisyonları, ihmal edilebilir pazar payları (<%1) nedeniyle 2015 yılı için dikkate alınmamıştır (Zheng ve Suh, 2019).



Şekil 5.1. 2015 yılında geleneksel plastiklerin küresel sera gazı emisyonları (Zheng ve Suh, 2019).

5.2.DEFRA

İngiltere'nin Çevre, Gıda ve Kırsal İşler Bakanlığı (DEFRA), çevreyi iyileştirme, koruma, yeşil bir ekonomi oluşturma ve gelişen kırsal toplulukları sürdürmeyi hedeflemektedir. DEFRA , 35 kurum tarafından desteklenen bir bakanlık departmanıdır. Bilim politikası ve stratejisi konusunda uzman ve bağımsız tavsiyelerde bulunmaktadır. Yıl boyunca gerçekleştirdiği faaliyetleri inceleyen, projelerin önemli noktalarını ve hedeflerine ulaşmada kaydedilen ilerlemeyi gösterir, yıllık olarak raporlar sunar. Emlak, reklam, danışmanlık, teknoloji ve işe alım için merkezi olarak harcamaları onaylamaktadır. Ayrıca gıda, çiftçilik ve balıkçılık endüstrilerini de desteklemektedir (www.gov.uk).

5.3. IDEMAT

IDEMAT (Industrial Design Engineering Materials), Delft Teknoloji Üniversitesi'nin kâr amacı gütmeyen bir kuruluşu olan Sürdürülebilir Etki Ölçütleri Vakfı'nın LCI verilerinin bir derlemesidir. İmalat ve yapı sektöründeki tasarımcılar, mühendisler ve mimarların ihtiyaçları için kurulmuştur. Her yıl yaklaşık 500 öğrenciyi Endüstriyel Tasarım Mühendisliğinde LCA' nın nasıl uygulanacağı konusunda eğitmek için geliştirilmiştir. Amaç öğrencilere şunları sağlamaktır: (1) plastikler, alaşımlar, ahşap türleri hakkında ekstra veriler, (2) öğrencilere döngüsel tasarımla ilgili olarak malzeme ve sistem seçimlerini daha iyi anlamalarını sağlamak için ısı geri kazanımı ile geri dönüşüm ve yakma için kullanım ömrü

sonu kredileri hakkında ekstra veriler sunmak (www.ecocostsvalue.com).

5.4. IPCC

IPCC, iklim değışikliği, etkileri ve gelecekteki potansiyel riskleri konusunda politikacılara düzenli bilimsel değlendirmeler sunmak, uyum ve azaltma seçeneklerini ortaya koymak amacıyla kurulmuştur. İklim değışikliğiyle ilgili konularda bilimsel toplulukta nerede fikir birliği olduğunu ve nerede daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu belirler. Raporlar birkaç aşamada hazırlanır ve incelenir, böylece nesnellik ve şeffaflık sağlanır. IPCC kendi araştırmasını yürütmez. IPCC raporları tarafsızdır, politik açıdan önemlidir ancak zorunlu değildir. Değlendirme raporları, iklim değışikliğiyle mücadele için yapılan uluslararası müzakerelere önemli bir girdi oluşturur. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (BM Çevre) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından 1988'de oluşturulan IPCC' nin 195 Üye ülkesi vardır. Aynı yıl, BM Genel Kurulu, WMO ve UNEP 'in IPCC' yi ortaklaşa kurma eylemi onaylanmıştır.

IPCC' nin ana faaliyeti, iklim değışikliği bilgi durumunu değlendiren raporların hazırlanmasıdır. Bunlara değlendirme raporları, özel raporlar ve metodoloji raporları dahildir. Bu çalışma programını sunmak için IPCC, hükümet temsilcilerinin toplantılarını düzenlemek, raporları onaylamak, incelemek ve kabul etmek için panel veya çalışma gruplarının genel oturumlarını gerçekleştirir. IPCC çalışanları, panele çalışmalarının bilimsel ve teknik yönleri hakkında rehberlik sağlamak için düzenli olarak toplanır. Çalışma programını desteklemek için çeşitli konularda uzman toplantıları ve atölyeler düzenler ve bu toplantıların tutanaklarını yayınlar. Bulgularını iletmek ve çalışmalarını açıklamak için IPCC veya diğer kuruluşlar tarafından düzenlenen tanıtım faaliyetlerine katılır ve diğer konferanslara konuşmacılar sağlar (www.ipcc.ch/).

6. LİTERATÜR ÖZETİ

Geleneksel lineer düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) film, %60 geri dönüştürülmüş (PCR) içerikli daha ince bir film ve yüksek ön gerdirmeli daha ince bir film Çevresel Ürün Beyanı (EPD) ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) metodolojileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Birincil veriler İtalya'daki HIPAC Group'tan toplanmış, ikincil veriler ise SimaPro yazılımındaki Ecoinvent veri tabanından modellenmiştir. Plastik kullanımını azaltmanın (düşük kalınlık ve yüksek esneme ile) çevresel etkiyi düşürmede en etkili yol olduğu ortaya konmuştur. Çalışma, yüksek ön gerdirmeli filmin en düşük çevresel etkiye sahip olduğunu, bunu %60 PCR içerikli filmin izlediğini ve geleneksel LLDPE filmin en yüksek etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Kalınlık azaltımı, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımından daha fazla çevresel fayda sağlamıştır. Plastik kullanımını tamamen kaldırmak yerine azaltmayı (örneğin kalınlığı düşürerek veya geri dönüştürülmüş malzeme kullanarak) öneren çalışma, gelecekte biyo plastik veya kâğıt bazlı alternatiflerin de araştırılmasını tavsiye etmektedir. Ancak, veri setlerinin sınırlı temsiliyeti ve ekonomik-sosyal etkilerin incelenmemiş olması çalışmanın kısıtları olarak belirtilmiştir (Stefani vd., 2024).

Streç sarma parametrelerinin birleştirilmiş film geçirgenliği üzerindeki etkisini, rastgele titreşimle uyarılan birim yüklerin tepkisi bağlamında esnek torbalarda cips ve sert plastik kaplarda sıvı içeren iki farklı ürün tipini kapsayan birim yük sistemlerini, 12,7 mikronluk yüksek performanslı streç filmle negatif, nötr ve pozitif toplam germe senaryolarında test edilmiştir. Amaç, streç film uygulamasının birim yüklerin titreşim tepkisini ve performansını nasıl etkilediğini araştırmaktır. Sonuçlar, negatif toplam germe senaryolarının üçüncül kaplarda daha fazla dikey yer değiştirmeye neden olarak aşınma ve dinamik sıkıştırma arızası riskini artırdığını göstermiştir. Buna karşın, nötr ve pozitif toplam germe senaryoları dikey hareketi kısıtlayarak daha stabil bir performans sunmuştur. İkincil paketler (karton kutu ve oluklu kaplar) streç sarma senaryolarından etkilenmezken, birincil paketlerin (ürünlerin) tepkisi genellikle sabit kalmıştır. Testler, endüstri standardı rastgele titreşim PSD profilleri (ISTA Çelik Yay ve Hava Desteği) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve negatif germe senaryolarında daha yüksek GRMS seviyeleri tespit edilmiştir. Streç film uygulamasını optimize etmek için yük tipi, sarma konfigürasyonu ve dağıtım ortamının dikkate alınması gerektiğini vurgulamış; pozitif toplam germe senaryosunun, az film kullanımıyla dikey hareketi sınırladığı için tercih edilebilir olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, birim yüklerin dinamik tepkisini değerlendiren bir metodoloji sunarak, paketleme

mühendislerine taşıma sırasında yük bütünlüğünü artırmaya yönelik pratik bilgiler sağlamıştır (Dunno vd., 2020).

PT. X adlı elektronik üretim şirketinde kullanılan streç sarma yönteminin sürdürülebilir bir alternatifle değiştirilmesini, Üçlü Alt Çizgi (TBL) yaklaşımıyla değerlendirmiştir. Şirket, malzemeleri paletlere sabitlemek için tek kullanımlık streç film kullanmakta, ancak bu uygulama çevresel israf ve ekonomik maliyet açısından sürdürülebilirlik sorunları yaratmaktadır. Streç filmi ikame edebilecek ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan uygun bir alternatif arayışındadır. TBL çerçevesi kullanılarak ekonomik, çevresel ve sosyal ölçütler üzerinden bir analiz edilmiştir. Bu analizde, streç film ile palet örtüsü alternatifinin karşılaştırılması yapılmıştır. Streç film, PT. X için 2019 yılında yıllık 32.793,88 ABD doları maliyetle 51.466,8 kg atık üretirken, palet örtüsü başlangıç yatırımı olarak 67.834 ABD Doları gerektirse de 3 yıl boyunca kullanımda yıllık maliyetini 29.711,29 ABD Doları'na düşürmüş ve atık miktarını 39.135 kg'a indirmiştir. Palet örtüsü, yeniden kullanılabilirlik, daha hızlı uygulama süresi ve güvenlik açısından avantajlar sunarken, büyük veya küçük yüklerde esneklik sınırlamaları göstermektedir. Palet örtüsünün TBL analizinde 0,89 puan alarak streç filme (0,44 puan) üstünlük sağladığını ve bu alternatifin ekonomik açıdan tasarruflu, çevresel açıdan daha az atık üreten ve sosyal açıdan pratik bir çözüm sunduğunu ortaya koymuştur. Palet örtüsü, PT. X'in sürdürülebilirlik hedeflerini desteklerken yıllık yaklaşık 3.000 ABD doları tasarruf sağlamaktadır (Lay ve Palit, 2020).

Paletli ürünlerin güvenli bir şekilde iç mekânda taşınmasını kolaylaştıran germe başlığı, ürünlerin kaymasını ve devrilmesini önlemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, kullanılan streç kapşonların (streç başlık) tasarım, işlevsellik ve uygulama süreci detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Üretim hattının sonunda ürünlerin genellikle paletler üzerine istiflendiği ve paletlerin farklı türde ve boyutlarda olabileceği belirtilmiştir. Taşıma sırasında ürünlerin güvenliği için kayma ve devrilme gibi riskler göz önünde bulundurulmaktadır. Bu riskler, paletin yapısına ve ürünlerin geometrisine göre değişkenlik göstermektedir. Streç kapşon, bu risklere karşı önlem almak amacıyla ürünlerin etrafını sarak onları sabitler ve gerildiğinde palet yüküne uygun şekilde şekil alır. Genellikle LLDPE malzemeden üretilen bu başlık, film üretimi, kesilmesi, gerilmesi ve palet yüküne uygulanması aşamalarından geçer. Germe başlığının etkinliği, palet yüklerinin stabilitesini artırmak için çeşitli makineler ve tekniklerle test edilmiştir. Testler, farklı film türleri ve parametreler arasındaki etkileri incelemekte ve makine ayarlarının önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Film gerilmesinin derecesi ve kalkanlar arasındaki mesafe gibi faktörler, palet yüklerinin stabilitesini değiştirmiştir. Ayrıca,

alt çıkıntı ve çıkıntı gibi faktörler, paletin stabilitesini doğrudan etkileyen unsurlar olarak belirlenmiştir (Roman vd.,2022).

Dow Global Technologies LLC tarafından Avrupa Patent Başvurusu (EP 3 312 007 A1) kapsamında esnek kapüşon veya esnek etiket filmin oluşumunu araştırmıştır. Film, iki tabaka ve bir çekirdek tabakadan oluşur; tabakalar en az %50 doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE), çekirdek tabaka ise %10-%40 kristallik özellikli polietilen reçineleri içerir. Amaç, "kaplan çizgileri" esnek elastikiyet ve bölümlerin arttırılmasıdır. Üretim, ABD merkezli Dow tarafından ko-ekstrüzyon ve çözelti polimerizasyonu ile gerçekleştirilmiş; testleri DSC, GPC ve CEF yöntemleriyle yapılmıştır. Film, %45'ten az (60/40 test) ve %50'den az (100/75 test) kalıcı deformasyonla donatıldığı kanıtlanmıştır (Parkinson vd., 2016).

Endüstriyel streç kapüşonlu paketleme filmleri, Ultra Düşük Yoğunluklu Polietilen (ULDPE) açısından zengin, çok katmanlı film yapılarıyla elastik geri kazanım ile yük kararlılığını dengelemeyi amaçlar. Endüstriyel paketleme sektörü için geliştirilen bu teknoloji, The Dow Chemical Company gibi firmaların ULDPE reçineleriyle desteklenir ve palet üstü yüklerin korunması için global pazarlarda kullanılır. Geleneksel EVA bazlı filmlerin zayıf yönlerini (yük kararlılığı ve mekanik koruma) iyileştirmeyi hedefler. Film, genellikle 3 veya daha fazla katmandan oluşur; çekirdek katmanlar ULDPE ve az EVA, katmanlar ise ULDPE ve az LDPE içerir. Ko-ekstrüzyon veya laminasyonla üretilir ve paketleme makinelerinde etkin performans sağlar (Bensason, 2018).

Dow Global Technologies LLC tarafından patentli, streç kapüşonlu paketleme için geliştirilmiş çok katmanlı bir film içermektedir. Film, en az 3 mil miktarında olup bir iç katman ve iki dış katmandan oluşur. İç katman, %50'den fazla polietilen kopolimer içerir ve bu kopolimer düşük erime indeksine (2 g/10 dk'dan az), düşük harçlara (0,910 g/cm³ veya daha az) ve belirli erime ısıları özelliklerine sahiptir. Film, %100 uzamada ve %40 elastikiyetle geri kazanılabilirlik sağlar ve iç katmanların kaynaşma ısıları dış katmanlardan düşüktür. Patent endüstriyel ambalajlar, özellikle esnek kapüşon programları için tasarlanmıştır. Geleneksel filmlerin elastikiyeti ve yük kararlılığı eksikliklerini gidermeyi hedefler. Üretim genellikle üfleme film işlemiyle yapılır ve iç katmandaki kopolimer, mekanik özelliklere (elastikiyet ve dayanıklılık) iyileştiren spesifik yapıya sahiptir (Mandare vd., 2013).

Streç kapüşonlu paketlemeler için geliştirilmiş çok katmanlı bir film, birinci polimer bileşeni (FPC: propilen ve etilen/C4-C20 alfa-olefin) ve ikinci polimer bileşeni (SPC: etilen ve vinil asetat gibi esterler) içeren en az bir katmana sahiptir. %100 gerilmede en az %40 elastik geri dayanıklılık ve yüksek dayanıklılık sunar. Geleneksel filmlerin dayanıklılık

kaybını gidererek, paletli yükleri korumak için tasarlanmıştır. Tüp üflemleri ekstrüzyonla üretilen film, çekirdek (FPC %20-90, SPC %10-80) ve LLDPE içeren katmanlardan oluşur. Streç kapüşon makinesinde gerilerek uygulanır (Weisinger ve Leysen, 2011).

Palet üzerindeki mal yığınlarını paketlemek için hortum şeklinde bir streç kapüşon ambalajı ve ambalajın hazırlama yöntemlerini içerir. Termoplastik üretimle üretilen film, makine (MD) ve enine (TD) yönlerde gerildiğinde %100'e kadar elastikiyet sağlar ve gerilim kalktığında eski şekline döner, böylece yükleri sabitleyip korur. Global paketleme sektöründe manuel ve otomatik ayarlar için tasarlanmıştır. Geleneksel kapüşonların esnekliği, stabilite ve üretim çözümleri çözer; üflemleri veya ko-ekstrüzyonla tek/çok katlı tüp film üretilir, dikişle (kaynak/yapıştırıcı) kapatılır, makinede gerilerek uygulanır ve küçük boyutlar için verimli üretim/baskı sağlanır (Erksen, 2006).

Paletlerdeki şişe gibi eşyaların katmanlar halinde saklanması için bir streç kapüşon düzenlemesini içerir. Yüksek elastikiyetli boru bandı (60-120 µm, %60-100 elastik geri dönüştürülebilir, 3-7 N/20mm) taban katmanını sararak deformasyonu önleyebilir; sert esnek kapüşon (100-150 µm, %30-60 elastik geri alınabilir, 6-10 N/20mm) üst ve yanları kaplayarak yükü korur. Küresel taşımacılık ve paketleme sektöründe, kamyonla taşıma için tasarlanmıştır ve standart paletlere (örneğin, Euro palet) uygundur. Exxon Mobil hammaddeleri (örneğin, MLLDPE, EVA) kullanılmıştır. Geleneksel kapüşonların deformasyonu ve yırtılma sorunlarına çözüm sunar. Boru bant ve kapüşon, streç kapüşon makinesiyle düzenli olarak uygulanır, elastomerik poliolefinler kullanılır ve katmanlar sert levhalarla ayrılır. Yükün stabilitesini ve miktarını artırır (Christensen, 2017).

Streç kapüşon veya etiket için çok katlanmış bir film, iki katman (%50+ LLDPE, CEF <%8 @ 94°C, erime indeksi 0.1-2.0 g/10 dk) ve %10-40 kristallik, tek erime zirveli çekirdek katmandan oluşur. Amaç, "kaplan çizgileri" ni elastikiyet ve yük stabilitesini arttırmaktır. Global paketleme sektöründe kullanılmak üzere hazırlanmış, Dow Chemical ve ExxonMobil malzemeleriyle ilişkilendirilmiştir. Çözelti polimerizasyonu ve 7 katlı üflemleri film ekstrüzyonuyla üretilmiştir; testlerde kalıcı bozulma <%45 (60/40) ve <%50 (100/75) gösterir. Örnek film 100 µm'lik bir alana sahiptir, katmanlar ise 20 µm'dir (Parkinson vd., 2018).

7. MATERYAL VE METODLAR

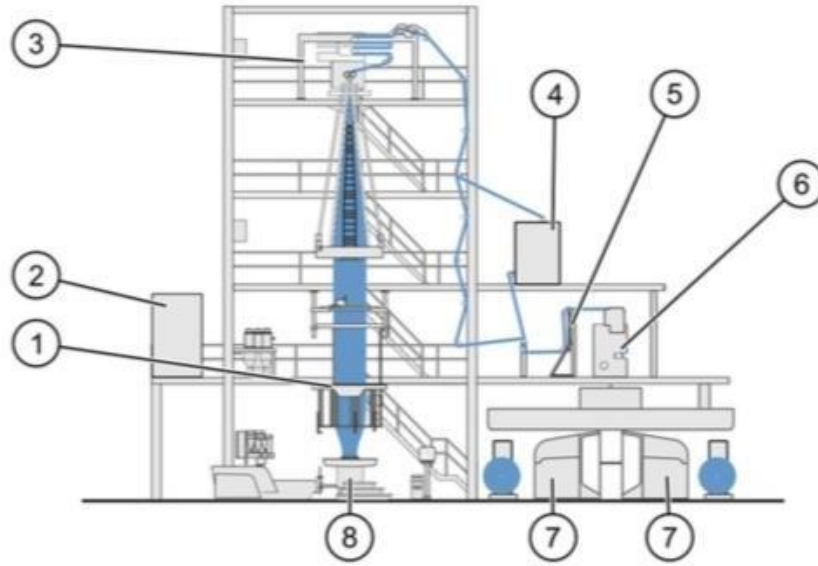
Stretch hood (shrink ambalaj naylon filmi) ambalajlama yöntemi paletli ürünlerin taşıma ambalajı için uygun maliyetli ve çevre dostu bir çözüm sunmaktadır. Bu sistemler ambalajlamaya sürdürülebilir bir yaklaşım getirmek ve üretkenliği artırmak için tasarlanmıştır. Türkiye’de bu sistemler özellikle ihracat ürünlerinin gerekli paletli ambalajlama ihtiyaçlarında yaygın kullanılmaktadır. stretch hood naylon filmi üretim makinelerinin imalatı Almanya, İtalya, Hindistan, Çin, Tayvan ülkelerinde gerçekleştirilmekte ve dünya pazarına satışı yapılmaktadır. Türkiye’de Stretch Hood naylon filmi üreten 10 firma bulunmaktadır ve 5 farklı firmadan tez çalışması için ihtiyaç duyulan veriler temin edilmiştir.

7.1. Materyal

Almanya menşeli X kodlu firmanın stretch hood naylon filmi üretim sistemine ait teknik bilgi Tablo 7.1’de ve sistemin görseli Şekil 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Almanya menşeli X firmasının stretch hood naylon film üretim makinesi teknik bilgisi

Çalışma genişliği	mm	2200
Folyo genişliği yan kıvrımlı	mm	1262-2200 2400’e kadar
Maksimum sistem hızı	m/dak.	200
Maksimum kurulu eriyik gücü	Kg/saat	1180
Ekstrüder		70/105/70.30D
Ekstrüder helezonu tipi		LT/LT/LT
Üfleme kafası tipi		250/400-3
Meme çapı	mm	350
Soğutma		ARCTIS XP M
Komple elektrik bağlantı değeri	kVA	370
Basınçlı hava miktarı	m ³ /sa	2000-3500
8±1 °C’de ve 200 kW soğutma gücünde soğutma suyu akışı	m ³ /sa	40
17±2 °C’de ve 90 kW soğutma gücünde soğutma suyu akışı	m ³ /sa	16,0
Bu makine, aşağıdaki malzemelerin işlenmesi için uygundur. • Polipropilen (PP) • Polietilen (LDPE, LLDPE) • Polistiren (PS)		
Makinenin aşağıdaki malzemeleri işlemesi için uygun değildir: • Örneğin polivinil klorid (PVC) gibi klorlu plastikler • Toksik hammaddeler • Patlayıcı hammaddeler		



Şekil 7.1. Almanya menşeli (X firma) Stretch Hood naylon filmi üretim makinesi görseli. (1) Kalibrasyon sepeti tip levhası (2) CE işaretli tip levhası şalter dolabında E60 (3) Tip levhası MULTINIP II (4) Tip levhası MDO veya sabitleme ünitesi (5) Hat orta sı regülasyonu tip levhası (6) Folyo öne çekiş tip levhası (7) Tip levhası FILMATIC S II (8) Destek arabası üzerinde üfleme kafası tip levhası

Almanya menşeli H firmasının stretch hood naylon filmi üretim sistemine ait teknik bilgi Tablo 7.2’de ve sistemin görseli Şekil 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.2. Almanya menşeli H firmasının stretch hood naylon filmi üretim makinesi teknik bilgisi

Çalışma genişliği	mm	2200
Folyo genişliği yan kıvrımlı	mm	2300
Maksimum sistem hızı	m/dak.	250
Maksimum kurulu eriyik gücü	Kg/saat	350
Ekstrüder		NBF 40-56X
Ekstrüder helezonu tipi		LT/LT/LT
Üfleme kafası tipi		HX65
Meme çapı	mm	400-560
Soğutma		CRYSTAL COOL
Komple elektrik bağlantı değeri	kVA	550-900
Basınçlı hava miktarı	m ³ /sa	3000-5000
8±1 °C’de ve 200 kW soğutma gücünde soğutma suyu akışı	m ³ /sa	24,6
17±2 °C’de ve 90 kW soğutma gücünde soğutma suyu akışı	m ³ /sa	5,16
Bu makine, aşağıdaki malzemelerin işlenmesi için uygundur.		
• Polipropilen (PP) • Polietilen (HDPE, LDPE, LLDPE) • Poliamid (PA) • Etilen-Vinil Alkol (EVOH) • Polisitren (PS)		
Makinenin aşağıdaki malzemeleri işlemesi için uygun değildir:		
• Örneğin polivinil klorid (PVC) gibi klorlu plastikler		

- Toksik hammaddeler
- Patlayıcı hammaddeler

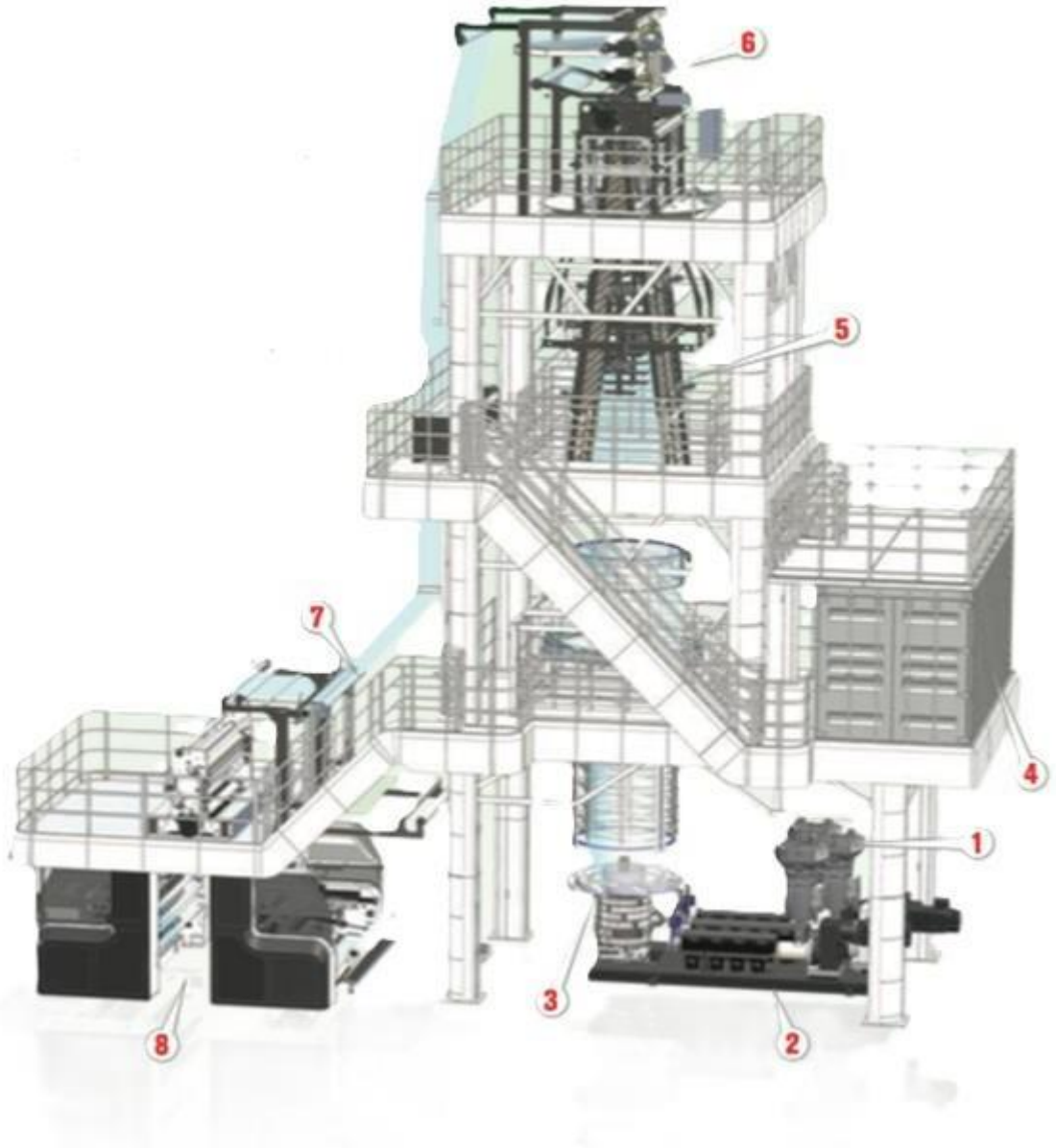


Şekil 7.2. Almanya menşeli (H firma) stretch hood naylon filmi üretim makinesi görseli (1) Material feeding/AMC (2) Material metering/AMD (3) Extruder/HXS (4) Screen changer with connections/ ASC, HSC, MSC (5) X-Die Head/BF, TBF, FBF, SBF, NBF, EBF (6) Cooling ring/AEC (7) Profile Control/POS (8) Internal bubble cooling/AIC, IBC, BDC (9) Calibration basket/ACB (10) Profile gauge sensor/PMS (11) Film take-off/ AON (12) Web centre guide/ACG (13) Pre-treatment/ACT (14) Pre-take-off/VA (15) Winder/AWS, AWD (16) Shaft extraction system /ASE (17) Process visualisation/ExVis

İtalya menşeli M firmasının stretch hood naylon filmi üretim sistemine ait teknik bilgi Tablo 7.3’ de ve sistemin görseli Şekil 7.3’ de verilmiştir.

Tablo 7.3. İtalya menşeli M firmasının stretch hood naylon filmi üretim makinesi teknik bilgisi

Çalışma genişliği	mm	2300
Folyo genişliği yan kıvrımlı	mm	2400
Maksimum sistem hızı	m/dak.	110
Maksimum kurulu eriyik gücü	Kg/saat	300
Ekstrüder		65/80/65
Ekstrüder helezonu tipi		LD/LD/LD
Üfleme kafası tipi		COEX LEX3
Meme çapı	mm	220-400
Soğutma		ROLL-TRIM/ AUTOGUAGE
Komple elektrik bağlantı değeri	kVA	220-310
Basınçlı hava miktarı	m ³ /sa	1800-3500
8±1 °C’de ve 200 kW soğutma gücünde soğutma suyu akışı	m ³ /sa	21,6
17±2 °C’de ve 90 kW soğutma gücünde soğutma suyu akışı	m ³ /sa	4,6
Bu makine, aşağıdaki malzemelerin işlenmesi için uygundur.		
• Polipropilen (PP) • Polietilen (HDPE, LDPE, LLDPE) • Polistiren (PS) • Poliamid (PA) • Etilen-Vinil Asetat (EVA)		
Makinenin aşağıdaki malzemeleri işlemesi için uygun değildir:		
• Örneğin polivinil klorid (PVC) gibi klorlu plastikler • Toksik hammaddeler • Patlayıcı hammaddeler		



Şekil 7.3. İtalya menşeli (M firması) stretch hood naylon filmi üretim makinesi görseli (1) Gravimetric dosing system (2) Coex flex platform (3) Air cooling ring (4) Electrical container (5) Collapsing frames (6) Take off unit (7) Web guiding system (8) Bopius double station automatic winder

7.2. Yöntem

Stretch hood naylon filmi üretim makinelerinin döngüsel ekonomi kapsamında performans karşılaştırılması için firmalardan Tablo 7.4’de verilen bilgiler talep edilmiştir.

Tablo 7.4. Stretch hood naylon filmi üretim makinelerinin döngüsel ekonomi kapsamında performans karşılaştırılması için ihtiyaç duyulan veriler

Makine Markası ve Modeli
Katman Başlık Sayısı (Kafa sayısı)
Film Çekme Yönü (aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya)
Her bir Katmanda Kullanılan Hammadde Türleri
Üretim Sırasında Çıkan Fire Miktarı (%) ve Türleri
Bakım Sırasında Hammadde Türüne Göre Çıkan Fire Miktarı (%)
Hammadde Türüne Göre Kullanılan Geri Kazanım Miktarı (%)
Elektrik Tüketimi (kW/kg)
Chiller Elektrik Tüketimi (kW/kg)
Kompresör Hava Tüketimi (m ³ /kg)
Ortalama Bakım Süresi

EN ISO 14067:2018 Ürünlerin Karbon Ayakizi ve EN ISO 14064-1 Kurumsal Karbon Ayak izi Standardları gereklilikleri dikkate alınarak elektrik tüketimi kaynaklı, geri kazanım oranına bağlı ve çıkan atıkların bertarafı nedeniyle oluşan emisyonlar belirlenmiştir. Emisyon hesaplamaları için standart yöntem olan Eşitlik 1’de verilen denklem kullanılmıştır.

$$\text{Emisyon (kg CO}_2 \text{ eşd.)} = \text{Faaliyet Verisi (FV)} * \text{Emisyon Faktörü (EF)} \quad (1)$$

Tüm hesaplamalar 1 kg ürün için gerçekleştirilmiştir. Sistem sınırı olarak 1 adet Stretch hood naylon filmi üretim makinesi belirlenmiştir.

7.2.1. Elektrik Tüketimi Kaynaklı Oluşan Emisyon

Kapsam 2.1-İthal Edilen Enerjiden Kaynaklanan Emisyonlar ve Kategori 4.1-Satın Alınan Ürünlerden Kaynaklanan Emisyonlar (kayıp ve kaçaklar bu kategori altında hesaplanır) altında Stretch Hood naylon filmi üretim makinelerinin tükettikleri elektrik enerjisi nedeniyle oluşan karbon ayakizi (kg CO₂ eşd./kg) belirlenmiştir. Sahaya özgü veriler ve Tier-2 verilerine (T.C. Enerji Bakanlığı) göre emisyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

7.2.2. Geri Kazanım Kaynaklı Oluşan Emisyon

Kapsam 4.1-Satın Alınan Ürünlerden Kaynaklı Emisyonlar ve Kapsam 4.3-Katı ve Sıvı Atıkların Bertarafı Kaynaklı Emisyonlar altında Stretch Hood naylon filmi üretim makinelerinin üretim sırasında geri kazanımı nedeniyle engellenen karbon ayakizi (kg CO₂ eşd./kg) belirlenmiştir. Sahaya özgü veriler ve Tier-1 verilerine (DEFRA, IDEMAT) göre emisyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

7.2.3. Atık Bertarafı Kaynaklı Oluşan Emisyon

Kapsam 4.3-Katı ve Sıvı Atıkların Bertarafı Kaynaklı Emisyonlar altında Stretch Hood naylon filmi üretim makinelerinin bakım-temizlik-onarım işlemleri sırasında oluşan firelerin bertarafı nedeniyle oluşan karbon ayakizi (kg CO₂ eşd./kg) belirlenmiştir. Sahaya özgü veriler ve Tier-1 verilerine (DEFRA, IDEMAT) göre emisyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.



8. BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1. Stretch Hood Nylon Filmi Üretim Makineleri

Stretch hood nylon filmi üretim makinelerinin döngüsel ekonomi kapsamında performans karşılaştırılması için firmalardan Tablo 7.4’te verilen bilgiler talep edilmiştir. Xc, Xv ve Xp firmalarında Alman menşeiili aynı firmanın farklı model sistemleri kullanılmaktadır. Hf firmasında Alman menşeiili farklı bir firmaya ait bir sistem kullanıldığı görülmektedir. Mi firmasında ise İtalyan menşeiili bir sistem tercih edilmiştir. Hf ve Mi firmalarında kullanılan sistemler ile üretilen nylon filmler sırasıyla 7 kat ve 9 katlıdır. Tüm sistemlerde üretilen filmin hareket yönü aşağıdan yukarıya doğrudur. Alman menşeiili sistemlerde PE hammaddeleri kullanılarak nylon film üretimi yapılmaktadır.

Tablo 8.1. Stretch hood nylon film üretim makinelerine ait veriler

Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
Katman Başlık Sayısı (Kafa sayısı)	3 Kat	3 Kat	7 Kat	9 Kat	3 Kat
Film Çekme Yönü (aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya)	Aşağıdan Yukarıya	Aşağıdan Yukarıya	Aşağıdan Yukarıya	Aşağıdan Yukarıya	Aşağıdan Yukarıya
Her bir Katmanda Kullanılan Hammadde Türleri	PE, Masterbach	LLDPE, Masterbach	LLDPE, Masterbach	PE	PP, PA, PS, EVOH
Üretim Sırasında Çıkan Fire Miktarı ve Türleri	%5, Pe Fire	%3, Pe Fire	%4, Pe Fire	%2, PE Fire	%5, PP, PS, PA Fire
Bakım Sırasında Hammadde Türüne Göre Çıkan Fire Miktarı	%1	%1	%1	%1	%2
Hammadde Türüne Göre Kullanılan Geri Dönüşüm Miktarı	%30	%10	%40	%20	%30
Elektrik Tüketimi (kw/kg)	0,43 kw/kg	0,18 kw/kg	0,40 kw/kg	0,45 kw/kg	0,50 kw/kg
Chiller Elektrik Tüketimi (kW/kg)	0,10 kw/kg	0,07 kw/kg	0,09 kw/kg	0,10 kw/kg	0,15 kw/kg
Kompresör Hava Tüketimi (m ³ /kg)	3,45 m ³ /kg	3,5 m ³ /kg	4 m ³ /kg	3,5 m ³ /kg	5 m ³ /kg
Ortalama Bakım Süresi	6 ay	3-6-12 ay	3-6-12 ay	4 ay	3 ay

8.2. Elektrik Tüketimi Kaynaklı Oluşan Emisyon

EN ISO 14067:2018 Ürünlerin Karbon Ayakizi ve EN ISO 14064-1 Kurumsal Karbon Ayak izi Standartlarına göre elektrik tüketimi kaynaklı oluşan emisyonlar belirlenmiştir. Kapsam 2.1-İthal Edilen Enerjiden Kaynaklanan Emisyonlar ve Kategori 4.1-Satın Alınan Ürünlerden Kaynaklanan Emisyonlar kategorilerinde hesaplamalar yapılmıştır.

Sistemde kompresörün hava tüketimine bağlı olarak harcanan elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır. Endüstriyel hava kompresörlerinin özgül enerji tüketimi, yani bir metreküp (m^3) hava üretmek için tüketilen enerji miktarı, kompresörün tipine, boyutuna ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Genellikle bu değer 0,1 ila 0,15 kWh/ m^3 arasında olabilmektedir ve ortalama 0,11 ila 0,13 kWh/ m^3 olarak kabul edilmektedir (Sapmaz ve Kaya, 2017).

Sistemde kullanılan kompresörlerin enerji tüketimleri Eşitlik 2’de verilen denklem ile hesaplanmıştır ve Tablo 8.2’de verilmiştir.

Kompresörlerin enerji tüketimi= hava tüketimi (m^3/kg) * özgül enerji tüketimi (kWh/ m^3) (2)
Kompresörlerin özgül enerji tüketimi= 0,13 kWh/ m^3

Tablo 8.2. Stretch hood naylon film üretim sistemlerine ait kompresörlerin enerji tüketimleri

Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
Kompresör Hava Tüketimi (m^3/kg)	3,4	3,5	4	3,5	5
Kompresör Enerji Tüketimi (kWh/kg)	0,448	0,455	0,520	0,455	0,650

Elektrik tüketimi kaynaklı oluşan emisyonlar üç başlık altında hesaplanmış ve her bir firmaya ait sistem için toplam emisyonlar belirlenmiştir.

İlk olarak Stretch hood naylon film üretimi esnasında oluşan emisyonlar hesaplanmıştır. Emisyon hesaplamaları için Eşitlik 1’de verilen denklem kullanılmıştır. Tablo 8.3’te sistemlerin faaliyet verileri MW/kg birimine göre verilmiştir.

Tablo 8.3. Stretch hood naylon film üretim sistemlerine ait faaliyet verileri

Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
Elektrik Tüketimi (MW/kg)	43×10^{-5}	18×10^{-5}	40×10^{-5}	45×10^{-5}	50×10^{-5}
Chiller Elektrik Tüketimi (MW/kg)	10×10^{-5}	7×10^{-5}	9×10^{-5}	10×10^{-5}	15×10^{-5}
Kompresör Enerji Tüketimi (MWh/kg)	44×10^{-5}	45×10^{-5}	52×10^{-5}	45×10^{-5}	65×10^{-5}

Emisyon (kg CO₂ eşd.) = Faaliyet Verisi (FV) * Emisyon Faktörü (EF)

Eşitlik 1 kullanılarak üretim esnasında harcanan elektriğin neden olduğu emisyonlar Tablo 8.4'te verilmiştir. Üretim esnasında en fazla emisyon açığa çıkaran İtalyan menşeli M firmasında kullanılan sistemdir. Alman menşeli sistemler yaklaşık aynı miktarlarda emisyon açığa çıkarmışlardır.

EF: 0,445 ton CO₂ eşd/Mwh (<https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>)

Tablo 8.4. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim esnasında elektrik tüketimi kaynaklı oluşan emisyonlar

Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
Makine Kaynaklı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	19.135×10^{-5}	8.232×10^{-5}	17.8×10^{-5}	20.02×10^{-5}	22.25×10^{-5}
Chiller Kaynaklı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	4.45×10^{-5}	3.115×10^{-5}	4.005×10^{-5}	4.45×10^{-5}	6.67×10^{-5}
Kompresör Kaynaklı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	19.958×10^{-5}	20.247×10^{-5}	23.14×10^{-5}	20.24×10^{-5}	28.92×10^{-5}
Toplam üretim emisyonu (ton CO ₂ eşd / kg)	43.543×10^{-5}	31.595×10^{-5}	44.94×10^{-5}	44.72×10^{-5}	57.85×10^{-5}

Harcanan elektriğin üretimi sırasında oluşan kayıplar nedeniyle meydana gelen dolaylı emisyonlar hesaplanmıştır (Tablo 8.5).

EF: 0,424 ton CO₂ eşd/Mwh (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/emissions-factors-2024>)

Tablo 8.5. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim esnasında tüketilen elektriğin üretimi esnasında oluşan kayıplar kaynaklı emisyonlar

Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
Makine Kaynaklı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	18.227x10 ⁻⁵	7,84215x10 ⁻⁵	16.956x10 ⁻⁵	19.075x10 ⁻⁵	21.195x10 ⁻⁵
Chiller Kaynaklı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	4.239x10 ⁻⁵	2.9673x10 ⁻⁵	3.8151x10 ⁻⁵	4.239x10 ⁻⁵	6.3585x10 ⁻⁵
Kompresör Kaynaklı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	19.011x10 ⁻⁵	19.287x10 ⁻⁵	22.042x10 ⁻⁵	19.287x10 ⁻⁵	27.553x10 ⁻⁵
Toplam Üretim Kayıp Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	41.478x10 ⁻⁵	30.096x10 ⁻⁵	42.813x10 ⁻⁵	42.602x10 ⁻⁵	55.107x10 ⁻⁵

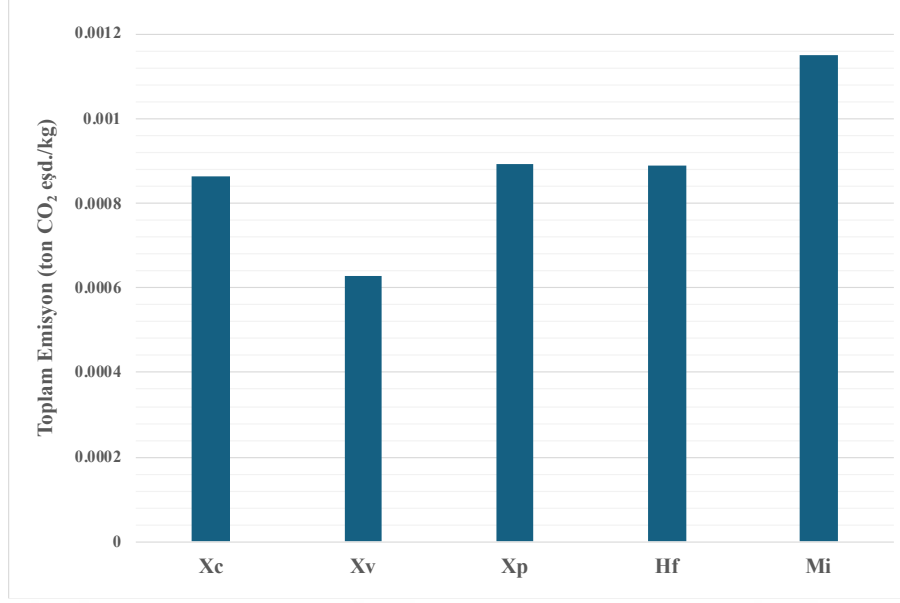
Harcanan elektriğin iletimi sırasında oluşan kayıplar nedeniyle meydana gelen dolaylı emisyonlar hesaplanmıştır (Tablo 8.6).

EF: 0,014 ton CO₂ eşd/Mwh (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/emissions-factors-2024>)

Tablo 8.6 Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim esnasında tüketilen elektriğin iletimi esnasında oluşan kayıplar kaynaklı emisyonlar

Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
Makine Kaynaklı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	6.1x10 ⁻⁶	2.627x10 ⁻⁶	5.68x10 ⁻⁶	6.39x10 ⁻⁶	7.1x10 ⁻⁶
Chiller Kaynaklı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	1.42x10 ⁻⁶	9.94x10 ⁻⁶	1.278x10 ⁻⁶	1.42x10 ⁻⁶	2.13x10 ⁻⁶
Kompresör Kaynaklı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	6.368x10 ⁻⁶	6.461x10 ⁻⁶	7.384x10 ⁻⁶	6.461x10 ⁻⁶	9.23x10 ⁻⁶
Toplam İletim Kaybı Emisyon (ton CO ₂ eşd / kg)	13.89x10 ⁻⁶	10.082x10 ⁻⁶	14.342x10 ⁻⁶	14.27x10 ⁻⁶	18.46x10 ⁻⁶

Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin elektrik tüketimleri kaynaklı doğrudan ve dolaylı emisyonları birlikte değerlendirilerek oluşan toplam emisyonlar Şekil 8.1’de verilmiştir. Stretch hood naylon film üretimi boyunca en çok emisyon açığa çıkaran İtalyan menşeli M firmasında kullanılan sistem olmuştur. Alman menşeli sistemlerden ise Xv firmasında kullanılan sistem en az emisyon salan sistem olduğu belirlenmiştir. Tespit edilen bu sonuç, Alman menşeli stretch hood naylon film üretim makinelerinin daha az elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır.



Şekil 8.1. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim esnasında tüketilen elektrik kaynaklı toplam (elektrik üretimi, elektrik dağıtımı ve elektrik iletimi) emisyonları

8.3. Geri Kazanım Kaynaklı Engellenen Karbon Emisyonu

Kapsam 4.1-Satın Alınan Ürünlerden Kaynaklı Emisyonlar ve Kapsam 4.3-Katı ve Sıvı Atıkların Bertarafı Kaynaklı Emisyonlar altında Stretch hood naylon filmi üretim sistemlerinde geri kazanım nedeniyle engellenen karbon ayakizi (kg CO₂ eşd./kg) belirlenmiştir. Hesaplamalarda emisyon faktörü verileri DEFRA2024 ve IDEMAT2025 verilerinden sağlanmıştır.

EF₁ (kgCO₂ eşd/kg) = 6,41061 (DEFRA2024, <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2024>)

EF₂ (kgCO₂ eşd/kg) = 0,548401927 (IDEMAT2025, <https://www.ecocostsvalue.com/data-tools-books/>)

Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim sürecinde 1 kg ürünün üretiminde kullanılan geri kazanım atık miktarları Tablo 8.7’de verilmiştir.

Tablo 8.7. Stretch hood naylon filmi üretim sistemlerinde üretim esnasında kullanılan geri kazanım miktarları

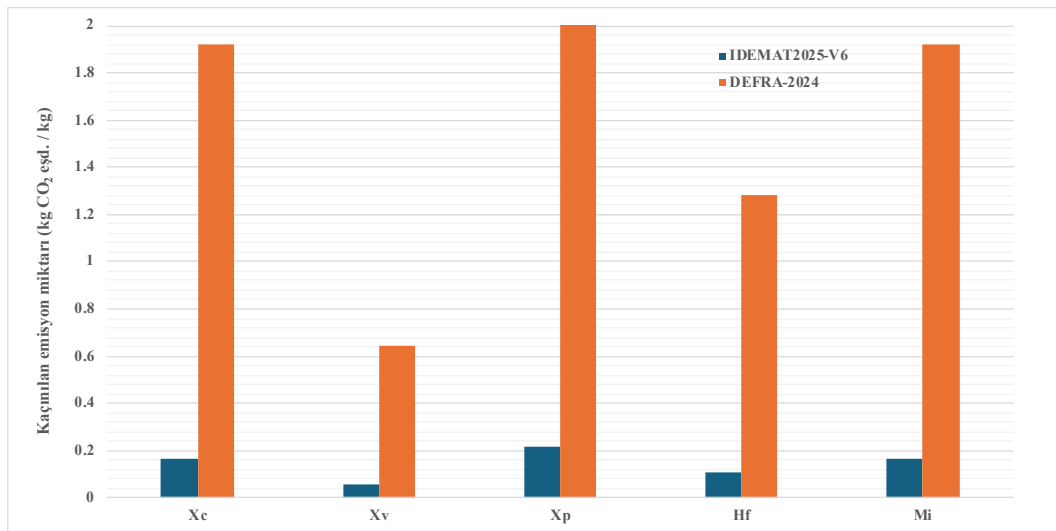
Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
Geri Dönüşüm Miktarı (%)	30	10	40	20	30
Geri Dönüşüm Miktarı (kg)	0,3	0,1	0,4	0,2	0,3

Stretch hood naylon filmi üretim sistemlerinin üretimi boyunca geri kazanım nedeniyle kaçınılan emisyon miktarları Tablo 8.8’de verilmiştir.

Tablo 8.8. Stretch hood naylon filmi üretim sistemlerinde üretim esnasında geri kazanıma bağlı olarak kaçınılan emisyon miktarı (kg CO₂ eşd./kg)

Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
IDEMAT 2025-V6	0,16562	0,05520	0,22083	0,11041	0,16562
DEFRA-2024	1,92318	0,64106	2,56424	1,28212	1,92318

DEFRA’dan sağlanan EF değeri, IDEMAT’dan sağlanan EF değerinden daha yüksek olduğu için Alman menşeli sistemleri kullanan Xc ve Xv firmalarının geri kazanıma bağlı kaçınılan emisyon miktarı değerleri daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 8.2). Bu firmalarda açığa çıkan fire oranları >%1’dir.



Şekil 8.2. Stretch hood naylon filmi üretim sistemlerinde üretim esnasında geri kazanıma bağlı kaçınılan emisyon miktarları

8.4. Atık Bertarafı Kaynaklı Oluşan Karbon Emisyonu

Kapsam 4.3-Katı ve Sıvı Atıkların Bertarafı Kaynaklı Emisyonlar altında Stretch hood naylon filmi üretim makinelerinin bakım-temizlik-onarım işlemleri sırasında oluşan firelerin bertarafı nedeniyle oluşan karbon ayakizi (kg CO₂ eşd./kg) belirlenmiştir. Hesaplamalarda emisyon faktörü verileri DEFRA2024 ve IDEMAT2025 verilerinden sağlanmıştır. IDEMAT2025 verilerinde atıkların bertarafı amacıyla enerji santralinde atıkların yakılarak enerji üretilmesi, belediye tesislerinde yakılarak geri kazanım sağlanması ve sadece bertaraf için atıkların yakılmasına bağlı emisyon faktörü değerleri Tablo 8.9’da verilmiştir. Alman menşeli sistemlerde üretilen naylon film hammaddesi olarak PE kullanılmaktadır ve İtalyan menşeli sistemlerde üretilen naylon film katmanlarında PE, PA, PS hammaddeleri kullanılmaktadır.

Tablo 8.9. Emisyon faktörü verileri

		EF (kgCO ₂ eşd/kg)
IDEMAT2025*	Enerji Santralinde Yakma- PE	-0,49370
	Belediye Tesisinde Yakma-PE	1,14146
	Bertaraf İçin Yakma-PE	3,14000
	Enerji Santralinde Yakma- PA	0,12683
	Belediye tesisinde Yakma-PS	1,49796
	Bertaraf İçin Yakma-PS	3,38000
DEFRA2024**	Cloosed - Loop	6,41061

* <https://www.ecocostsvalue.com/data-tools-books/>

**<https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2024>

Stretch Hood naylon film üretim sistemlerinde 1 defa temizlik-bakım ve 1 set üretim boyunca çıkan atık miktarları Tablo 8.10’da verilmiştir.

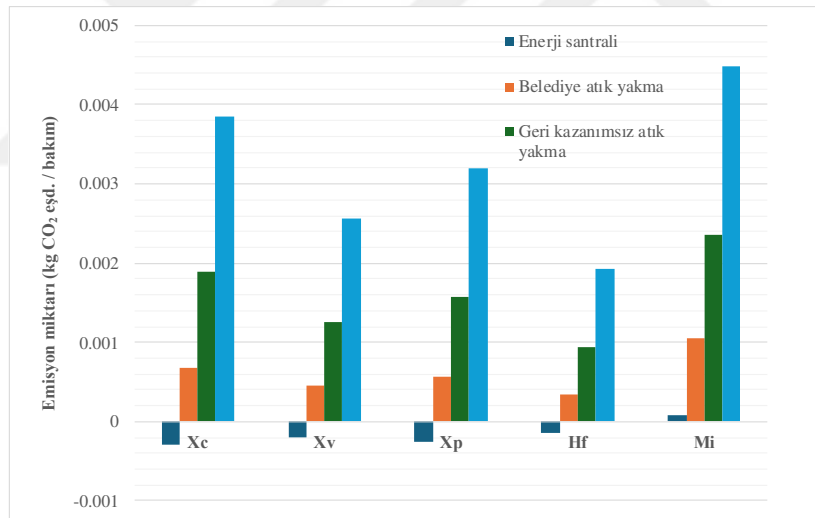
Tablo 8.10. Stretch Hood naylon film üretim sistemlerinde çıkan fire miktarları

Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
Fire Miktarı (kg)	6x10 ⁻⁴	4x10 ⁻⁴	5x10 ⁻⁴	3x10 ⁻⁴	7x10 ⁻⁴

Tablo 8.11. Stretch Hood naylon film üretim sistemlerinde bertarafa bağlı emisyon miktarları (kg CO₂ eşd./ bakım)

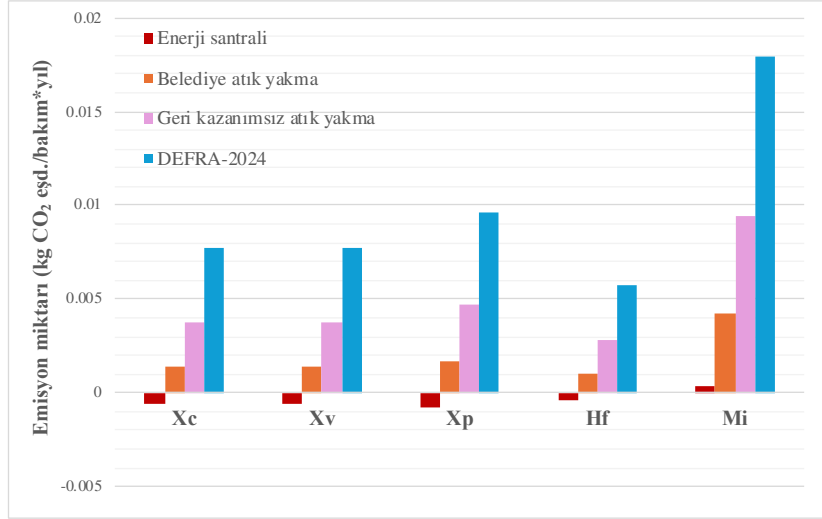
Firma	Xc	Xv	Xp	Hf	Mi
Enerji santrali	-29x10 ⁻⁵	-19x10 ⁻⁵	-24x10 ⁻⁵	-14x10 ⁻⁵	8x10 ⁻⁵
Belediye Atık Yakma	68x10 ⁻⁵	45x10 ⁻⁵	57x10 ⁻⁵	34x10 ⁻⁵	104x10 ⁻⁵
Geri Kazanımsız Atık Yakma	188x10 ⁻⁵	125x10 ⁻⁵	157x10 ⁻⁵	94x10 ⁻⁵	236x10 ⁻⁵
DEFRA-2024	384x10 ⁻⁵	256x10 ⁻⁵	320x10 ⁻⁵	192x10 ⁻⁵	448x10 ⁻⁵

Stretch hood naylon film üretim sistemlerinde 1 defa temizlik-bakım ve 1 set üretim boyunca çıkan atıkların bertaraf yöntemlerine göre emisyon miktarları Şekil 8.3'te verilmiştir. DEFRA'dan alınan emisyon faktörü değeri daha yüksek olması nedeniyle bertarafa bağlı oluşan emisyon değerleri daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Enerji santralinde atıkların yakılarak enerji üretilmesi durumunda ise kaçınılan emisyon olarak değerlendirilebileceği gözlenmiştir.



Şekil 8.3. Stretch hood film üretim sistemlerinin bir defa temizlik ve bakım süreci boyunca oluşan atıkların bertarafına bağlı emisyon miktarları

Stretch hood naylon film üretim sistemlerinde 1 yılda yapılan temizlik-bakım boyunca çıkan atıkların bertaraf yöntemlerine göre emisyon miktarları Şekil 8.4'te verilmiştir. İtalyan menşeli sistemlerin temizlik-bakım süreçleri nedeniyle çıkan atıkların bertarafında daha fazla emisyon olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8.4. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin bir yıl boyunca temizlik ve bakım sırasında oluşan atıkların bertarafından kaynaklanan emisyon miktarları

9. SONUÇLAR

Stretch hood ambalajı üretim sistemlerinde kullanılan plastik koekstrüzyon sistemlerinin döngüsel ekonomi ilkeleri çerçevesinde değerlendirilerek çevresel performansı analiz edilmiştir. Stretch hood ambalajlama, ısı işlem gerektirmeyen yapısıyla enerji tüketimini azaltması ve karbon ayak izini düşürmesi, bu teknolojiyi sürdürülebilirlik açısından öne çıkarmaktadır. Ayrıca çok katmanlı koekstrüzyon teknolojisi sayesinde, malzeme tasarrufu sağlanmakta ve üretim süreçlerinde atık miktarı en aza indirilmektedir. Yapılan literatür taraması ve sanayi verileri ışığında, Stretch hood sistemlerinin geleneksel shrink film teknolojilerine göre hem çevresel hem de ekonomik açılardan daha avantajlı olduğu görülmektedir. Özellikle Türkiye’de faaliyet gösteren üretici firmalardan elde edilen veriler, yerli sanayinin bu alandaki teknolojik altyapıyı etkin şekilde kullandığını ortaya koymaktadır. Koekstrüzyon teknolojisinin sunduğu çok katmanlı üretim imkânı sayesinde hem hammadde kullanımında tasarruf sağlanmakta hem de ambalaj filmlerinin işlevselliği artırılmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir ambalaj çözümleri açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

İlk olarak Stretch hood naylon film üretimi esnasında elektrik tüketiminden kaynaklı oluşan emisyonlar hesaplanmıştır. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin elektrik tüketimleri kaynaklı doğrudan ve dolaylı emisyonları birlikte değerlendirilerek oluşan toplam emisyonlar verilmiştir. Stretch hood naylon film üretimi boyunca en çok emisyon açığa çıkaran İtalyan menşeli Mi firmasında ($114,8 \times 10^{-5}$ ton ton CO₂ eşd./kg) kullanılan sistem olmuştur. Alman menşeli sistemlerden ise Xv firmasında kullanılan sistem en az emisyon ($62,7 \times 10^{-5}$ ton CO₂ eşd./kg) salan sistem olduğu belirlenmiştir.

Stretch hood naylon film üretim sistemlerinin üretim sürecinde 1 kg ürünün üretiminde kullanılan geri kazanım atık miktarları verilmiştir. Xc Firması ile 0,3 kg geri dönüşüm miktarı en fazladır. Stretch hood naylon filmi üretim sistemlerinin üretimi boyunca geri kazanım nedeniyle kaçınılan emisyon miktarları verilmiştir.

DEFRA’dan sağlanan EF değeri, IDEMAT’dan sağlanan EF değerinden daha yüksek olduğu için Alman menşeli sistemleri kullanan Xc ve Xv firmalarının geri kazanıma bağlı kaçınılan emisyon miktarı değerleri daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu firmalarda açığa çıkan fire oranları >1 ’dir.

IDEMAT2025 verilerinde atıkların bertarafı amacıyla enerji santralinde atıkların yakılarak enerji üretilmesi, belediye tesislerinde yakılarak geri kazanım sağlanması ve sadece bertaraf için atıkların yakılmasına bağlı emisyon faktörü değerleri verilmiştir. Alman menşeli sistemlerde üretilen naylon film hammaddesi olarak PE kullanılmaktadır ve İtalyan menşeli sistemlerde üretilen naylon film katmanlarında PE, PA, PS hammaddeleri kullanılmaktadır.

Stretch hood naylon film üretim sistemlerinde 1 defa temizlik-bakım ve 1 set üretim boyunca çıkan atık miktarları verilmiştir. Hf firması 0,0003 kg fire miktarı ile optimal sonuçtur. Stretch hood naylon film üretim sistemlerinde 1 defa temizlik-bakım ve 1 set üretim boyunca çıkan atıkların bertaraf yöntemlerine göre emisyon miktarları verilmiştir. DEFRA'dan alınan emisyon faktörü değeri daha yüksek olması nedeniyle bertarafa bağlı oluşan emisyon değerleri daha yüksek tespit edilmiştir. Enerji santralinde atıkların yakılarak enerji üretilmesi durumunda ise kaçınılan emisyon olarak değerlendirilebileceği gözlenmiştir.

Stretch hood naylon film üretim sistemlerinde 1 yılda yapılan temizlik-bakım boyunca çıkan atıkların bertaraf yöntemlerine göre emisyon miktarları verilmiştir. İtalyan menşeli sistemlerin temizlik-bakım süreçleri nedeniyle çıkan atıkların bertarafı nedeniyle daha fazla emisyon oluştuğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, farklı ülke menşeli üretilmiş Stretch hood ambalaj üretim teknolojisinin döngüsel ekonomi hedefleri açısından değerlendirildiğinde bazı konularda büyük farklılıklar oluşturduğunu göstermektedir. İncelenen sistemler arasında Almanya menşeli teknolojinin en az karbon emisyonu oluşturduğu görülmüştür. Türkiye'de ihracata dayalı üretim yapan firmaların Stretch hood ambalajı satın alımı esnasında tedarikçisinin ambalaj ürününü üretirken kullandığı teknolojiyi dikkate almasına bağlı olarak kendi ürünlerinde karbon ayakizini düşürme çalışmalarında etkili olacağını bu çalışma ispatlamıştır.

Sonuç olarak, Stretch hood ambalajları, plastik ambalaj sektöründe çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği destekleyen güçlü bir alternatiftir. Döngüsel ekonomi yaklaşımının sanayide benimsenmesi, sadece çevresel etkileri azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda kaynak verimliliği ve uzun vadeli maliyet avantajları da sağlayacaktır. Bu çalışma, Stretch hood ambalajı üretim teknolojisinin bu dönüşüm sürecinde oynayabileceği kritik rolü ortaya koymakta ve politika yapıcılar ile sektör temsilcilerine somut öneriler sunmaktadır.

10. ÖNERİLER

1. **Stretch Hood Sistemlerinin Yaygınlaştırılması:** Isı gerektirmeyen Stretch hood sistemlerinin, enerji verimliliği ve karbon emisyonu açısından sunduğu avantajlar göz önünde bulundurularak sanayide daha yaygın şekilde kullanılmaları teşvik edilmelidir. Özellikle enerji yoğun sektörlerde bu geçiş, karbon ayak izinin azaltılmasına önemli katkı sağlayacaktır.
2. **Koekstrüzyon Teknolojisine Yatırımların Artırılması:** Çok katmanlı koekstrüzyon sistemleri, malzeme optimizasyonu ve bariyer özelliklerinin geliştirilmesi açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Yerli üreticilerin bu alanda Ar-Ge yatırımlarını artırması, hem dışa bağımlılığı azaltacak hem de rekabet gücünü artıracaktır.
3. **Geri Dönüşüm Sistemlerinin Güçlendirilmesi:** Stretch hood üretiminde kullanılan polietilen esaslı malzemelerin geri dönüştürülebilirliği oldukça yüksektir. Bu nedenle, üretim sonu atıkların etkin şekilde toplanması ve geri dönüşüm sistemlerine entegrasyonu sağlanmalıdır.
4. **Karbon Ayak İzi Takibi Zorunluluğu:** Üretici firmaların karbon emisyonlarını ölçmeleri ve şeffaf biçimde raporlamaları yasal bir zorunluluk haline getirilmelidir. Böylece çevresel performanslar daha objektif şekilde değerlendirilebilir ve iyileştirme alanları tespit edilebilir.
5. **Eğitim ve Farkındalık Çalışmaları:** Döngüsel ekonomi prensiplerinin üretim süreçlerine entegre edilebilmesi için çalışanlara ve yöneticilere yönelik eğitim programları düzenlenmelidir. Bu sayede, sürdürülebilirlik yalnızca çevre departmanlarının değil, tüm işletme kültürünün bir parçası haline gelebilir.

KAYNAKÇA

- Abraham, M. (2024). *Encyclopedia of sustainable technologies* (2nd edition). Elsevier, Netherlands.
- Agassant, J.-F., & Demay, Y. (2022). Investigation of the polymer coextrusion process: a review. *Polymers*, 14(7), 1309.
- Alcion Packaging Solutions. (t.y.). *Multilayer coextrusion packaging*.
<https://www.alcion.com/en/download-multilayer-coextrusion-packaging>
- Behin Pardazan Polymaric & Chemical Industries. (t.y.). *Co-polymers: classification, synthesis and applications*. <https://behinpolymerco.com/tr/co-polymers/>
- Bensason, S. (2018) *Stretch hoods made from uldpe-rich formulations*, European Patent No. EP2 588 319 B1.
- Carbon Footprint Ltd. (2024). *2024 International electricity emission factors*.
https://www.carbonfootprint.com/docs/2024_07_international_electricity_factors10.xlsx
- Cesur Film. (t.y.). *Stretch hood*. <https://www.cesurfilm.com/tr/stretch-hood/>
- Chen, R., Zhang, R., & Han, H. (2020). Where has carbon footprint research gone? *Ecological Indicators*, 120, 106882.
- Chinna, P. R. (2017) *Packing and packaging Management*. (MBA).; Alagappa University, India
- Christensen, D. (2017). *Stretch hood arrangement*, International Patent No. WO 2017/108894 AI.
- Dallas Plastic. (t.y.). *Advantages of multi-layer co-extruded films for packaging professionals*.
<https://dallasplastics.com/blog/multi-layer-co-extruded-films-advantages/>
- Dunno, K. D., & Dickerson, M., Michael M. (2020). Effect of stretch wrap parameters on the transmissibility of unitized loads excited by random vibration. *Journal of Packaging Technology and Research* 4(3), 219–225.
- EASAC. (2020)., *EASAC Policy Report No. 39*. European Academies Science Advisory Council.
- Erksen, L. (2006). *A stretch hood packaging*, International Patent No. WO 2006/076917AI.
- Frick, A., Stern, C., & Muralidharan, V. (2019). *Practical testing and evaluation of plastics*. Wiley-VCH, Germany.
- Gopinathar, P., Prabha, G., & Ravichandran, K. (2016). The role of packaging in manufacturing a brief understanding. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 18(12), 01-07.
- İlka Plastik. (t.y.). *Stretch hood*. <https://ilkaplastik.com.tr/ilkaind/stretch-hood>
- İPCC. (t.y.). *İPCC kuruluşu ve sunduğu veriler*. <https://www.ipcc.ch/>
- Kenz Ambalaj. (t.y.). *Stretch hood*. <https://kenzambalaj.com/stretch-hood/>
- Kids Against Plastic & Common Seas. (t.y.). *Different types of plastic*.
<https://plasticcleverschools.co.uk>
- Klein, R. (2011). *Laser welding of plastics*. Wiley-VCH, Germany.
- Lamnavar, K., Zhang, H., Maazouz, A. (2013). State of the art on the coextrusion process: fundamental and experimental approaches. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 1-64.
- Lay J., Palit H. C. (2020). Evaluating stretch wrap alternative used in goods consolidation at an electronics manufacturing using triple bottom line. *Jurnal Titra*, Vol. 8(2), 433-440.
- Mandare, P., Bunker, G., Patel, R. M., Jin, Y., Bensason, S., Demirors, M., Hermel-Davidock, T. J., Hayne, S. M., Ruiz, R. E. (2013). *Composition for stretch hood, method of producing the same, and articles made therefrom*, United States Patent No. US 8,389,086 B2.
- Mitmeche. (2004). *Polymer processing I*.
<https://meche.mit.edu/featured-classes/design-and-manufacturing-ii>
- Otto, S., Strenger, M., Maier-Nöth, A., Schmid, M. (2021). Food packaging and sustainability consumer perception vs. correlated scientific facts: a review. *Journal of Cleaner Production* 298, 126733.

- Parkinson, S., Nieto, J., Patel, R. M. (2018). *Multilayer stretch hood compositions and structures*, European Patent No. W0 2018/075324 A1.
- Parkinson, S., Nieto, J., Patel, R. M. (2016). *Multilayer stretch hood compositions and structures*, International Patent No. EP 3 312 007 A1.
- Rao, R. R., Baer, T. A., Mrozek, R. A., Lenhart, J. L., Schunk, P. R., & Mondy, L. A. (2008). Finite element analysis of multilayer coextrusion. *Proceedings of the Polymer Processing Society 24th Annual Meeting (PPS-24)*, 15–19.
- Regattieri, A., & Santarelli, G., (2013). *The important role of packaging in operations management*. IntechOpen, U.K.
- Roman, J., Verschuere, G., Nica, W., Slaets, P., Juwet, M. (2022). A stretch hood as a mean to facilitate safe indoor transport of palletized goods. *Packaging Technology Science* 36(3), 171-183.
- Sapmaz, S., & Kaya, D. (2017). Basınçlı hava sistemlerinde enerji verimliliği ve emisyon azaltım fırsatlarının incelenmesi. *Dergipark Yıl 2017*, 58(689), 23–36.
- Sarkar, S., & Garai, S., Saha, S. (2024). Management of carbon and nitrogen footprints for a better environment. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 1-16.
- Shikoku Kakoh Co., Ltd. (t.y.). *Co extrusion films*.
https://www.shikoku-kakoh.com/en/technology/coextruded_multilayer_film/
- Siri B. (2014). *Packaging & Circular Economy Final Report*. Conseil National de l'Emballage
- Stefanini, R., Paini, A., Busti, M., Archetti, M., Buffoli, A., Cangiano, V. (2024). Packaging stretch film alternatives in a circular economy perspective: comparison of three scenarios with a life cycle assessment approach. *IFAC PapersOnLine*, 58(19), 457–462.
- Sustainability Impact Metrics. (t.y.). *Idemat and ecoinvent, and eco-costs midpoint tables*.
<https://www.ecocostsvalue.com/data-tools-books>
- Tajeddin, B., & Arabkhedri, M. (2020). Polymers and food packaging. *Polymer Science and Innovative Applications*, 525-543.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (1962). *Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri*. [Erişim: 09.12.2024, <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>]
- Ultrapolymers. (t.y.). *Wire and Cable extrusion*,
<https://www.ultrapolymers.com/en-GB/technologies/wire-and-cable-extrusion>
- United Kingdom Government (UKGOV) (2012). *Greenhouse Gas Reporting: Conversion Factors 2024*. [Erişim: 08.07.2024, <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>]
- Wagner, J. R. (2016). *Multilayer flexible packaging (Second Edition)*. William Andrew Publishing, U.S.A.
- Weisinger, D. R., Leysen, W. J. (2011). *Film for stretch hood applications and method for using same*, United States Patent No. US 2011/0041460 A1.
- Zheng, J., & Suh, S. (2019). Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature Climate Change* 9, 374–378.