

2023



TÜBİTAK

YEŞİL BÜYÜME TEKNOLOJİ YOL HARİTASI PLASTİK SEKTÖRÜ

Versiyon: 12.05.2023

Görüşlerinizi ve sorularınızı politikalar@tubitak.gov.tr adresine e –postayla iletebilirsiniz.

1.1. Atıkların toplanması, atıkların tasnifi, kaynağında ayrıştırılması (Kompostlanabilen ve Kompostlanamayan vb.)

1.2. Plastik sektörü atıklarının mekanik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi

1.3. Plastik sektörü atıklarının kimyasal ve biyolojik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi

1.4. Kapalı devre geri dönüşüm sistemlerinin oluşturulması (bottle-to-bottle)- Kapalı çevrim-depozit işlemleri

1. Geri Dönüşüm



2.1. Plastik sektöründe kullanılan proseslerde (Enjeksiyon, Ekstrüzyon, Şişirme, Rotasyon, Termoform gibi) enerji kullanımına yönelik yeşil ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi, üretime entegre edilmesi

2. Plastik Üretim Proseslerinde Enerji Verimliliği



3.1. Polimer işleme makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi tasarımlar, teknolojiler ve uygulamalar

3. Plastik Sektöründe Kullanılan Polimer İşleme Makinalarının Verimliliği



4.1. Biyobazlı malzemelerin üretiminde yenilikçi ve yeşil teknolojiler

4.2. Biyobazlı malzeme üretim süreçlerinde gıda dışı kaynakların kullanımına ve enerji verimliliğine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

4.3. Biyobazlı malzemelerin geri kazanımına yönelik teknolojik çözümlerin geliştirilmesi

4. Biyobazlı (biobased) Malzemeler



Şekil 1. Plastik Sektörünün Yeşil Dönüşümü için Teknolojik İhtiyaçlar ve Çözümler

TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Plastik Sektörü Özet Tablosu

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyadaki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye'deki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026'a kadar Orta Vade: 2030'a kadar Uzun Vade: 2035'e kadar
1. Geri Dönüşüm	1.1. Atıkların toplanması, atıkların tasnifi, kaynağında ayrıştırılması (Kompostlanabilen ve Kompostlanamayan vb.)	1.1.a. Hammadde tasnif sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hassas detektörler ve seperatörler ile ilgili araştırmalar yapılması	7-9	3-4	2026-2030
	1.1. Atıkların toplanması, atıkların tasnifi, kaynağında ayrıştırılması (Kompostlanabilen ve Kompostlanamayan vb.)	1.1.b. Atıkların kirlenmeden toplanması ve sevkiyatına yönelik yeni sistemlerin geliştirilmesi, ; Geri dönüştürülen atıkların izlenmesine yönelik sistemlerinin geliştirilmesi	3-9	3-8	2026-2030-2035
	1.1. Atıkların toplanması, atıkların tasnifi, kaynağında ayrıştırılması (Kompostlanabilen ve Kompostlanamayan vb.)	1.1.c. Dekontaminasyon sistemlerinin geliştirilmesi	6-9	3	2026-2030
	1.1. Atıkların toplanması, atıkların tasnifi, kaynağında ayrıştırılması (Kompostlanabilen ve Kompostlanamayan vb.)	1.1.d. Depozito yönetim sistemine destek sağlayacak teknolojilerin (otomatik depozito iade ve ayrıştırma makineleri vs.) geliştirilmesi	6-9	5-6	2026-2030

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyadaki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye'deki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026'a kadar Orta Vade: 2030'a kadar Uzun Vade: 2035'e kadar
	1.1. Atıkların toplanması, atıkların tasnifi, kaynağında ayrıştırılması (Kompostlanabilen ve Kompostlanamayan vb.)	1.1.e. Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesi	3-9	3-5	2026
	1.2. Plastik sektörü atıklarının mekanik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	1.2.a. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak uyumlaştırıcıların ve diğer katkıların geliştirilmesi	8-9	3-4	2026
	1.2. Plastik sektörü atıklarının mekanik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	1.2.b. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak proses tasarımlarının geliştirilmesi	6-9	5-6	2026-2030-2035

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyadaki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye'deki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026'a kadar Orta Vade: 2030'a kadar Uzun Vade: 2035'e kadar
	1.2. Plastik sektörü atıklarının mekanik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	1.2.c. Tek kullanımlık plastik ambalajların tasarımlarını tek bir malzeme türüne çevirecek malzeme ve tasarım alternatiflerinin araştırılması.	Dünyada tek kullanımlı plastiklerin tek bir malzemeden üretilmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır.	Türkiye' de tek kullanımlı plastiklerin tek bir malzemeden üretilmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır.	2026-2030-2035
	1.3. Plastik sektörü atıklarının kimyasal ve biyolojik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	1.3.a Gazlaştırma ve piroliz teknolojilerinin geliştirilmesi	6-9	4-7	2026
	1.3. Plastik sektörü atıklarının kimyasal ve biyolojik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	1.3.b. Çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerinin, Biyoesaslı çözücülerin, İyonik çözücülerin ;Süperkritik çözücülerin geliştirilmesi	6-9	4-7	2026-2030

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyadaki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye'deki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026'a kadar Orta Vade: 2030'a kadar Uzun Vade: 2035'e kadar
	1.3. Plastik sektörü atıklarının kimyasal ve biyolojik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	1.3.c. Hidrotermal proseslerin geliştirilmesi	6-9	3	2026-2030
	1.3. Plastik sektörü atıklarının kimyasal ve biyolojik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	1.3.d Depolimerizasyon teknolojilerinin geliştirilmesi	6-9	4-7	2026-2030
	1.3. Plastik sektörü atıklarının kimyasal ve biyolojik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	1.3.e Enzimatik geri kazanım	3-5 9 (polyester geridönüşümü konusunda)	1-3	2030-2035

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyadaki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye'deki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri Kısa Vade: 2026'a kadar Orta Vade: 2030'a kadar Uzun Vade: 2035'e kadar
	1.4. Kapalı devre geri dönüşüm sistemlerinin oluşturulması (bottle-to-bottle)- Kapalı çevrim-depozit işlemleri	1.4.a Orijinal plastikle aynı amaç için kullanılan bir ürün elde etmek için plastiğin geri dönüşümü	4	1	2035
	1.5. Geridönüşüm ürün ve malzemelere yönelik izlenebilirlik teknolojileri	1.5.a Geridönüşüm ürün ve malzemelerinin izlenebilir (marker ile) olması	9	3	2030
2. Plastik Üretim Proseslerinde Enerji Verimliliği	2.1. Plastik sektöründe kullanılan proseslerde (Enjeksiyon, Ekstrüzyon, Şişirme, Rotasyon, Termoform gibi) enerji kullanımına yönelik yeşil ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi, üretime entegre edilmesi	2.1.a. Hammadde kurutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	8	1-2	2026-2030
	2.1. Plastik sektöründe kullanılan proseslerde (Enjeksiyon, Ekstrüzyon, Şişirme, Rotasyon, Termoform gibi) enerji kullanımına yönelik yeşil ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi, üretime entegre edilmesi	2.1.b Hammadde ısıtma ve soğutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	8	1-2	2026-2030

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyadaki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye'deki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri
					Kısa Vade: 2026'a kadar Orta Vade: 2030'a kadar Uzun Vade: 2035'e kadar
3. Plastik Sektöründe Kullanılan Polimer İşleme Makinalarının Verimliliği	3.1. Plastik Sektöründe kullanılan Polimer işleme makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi	3.1.a. Plastik enjeksiyon (Injection moulding) makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi	7-9	3-6 Eklemeli imalat THS: 3-5	2026-2030
	3.1. Plastik Sektöründe kullanılan Polimer işleme makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi	3.1.b. Ekstrüzyon prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi	7-9	3-6	2026-2030
	3.1. Plastik Sektöründe kullanılan Polimer işleme makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi	3.1.c. Şişirme prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi	7-9	3-6	2026-2030
	3.1. Plastik Sektöründe kullanılan Polimer işleme makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi	3.1.d. Plastik Sektöründe kullanılan diğer Polimer işleme makinalarının (Rotasyon prosesinin, Termoform makinalarının, Basınçlı Kalıplama makinalarının) verimliliğinin artırılmasına yönelik	7-9	3-6	2026-2030

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyadaki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye'deki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri
					Kısa Vade: 2026'a kadar Orta Vade: 2030'a kadar Uzun Vade: 2035'e kadar
		teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi			
4. Biyobazlı (biobased) malzemeler	4.1. Biyobazlı malzemelerin üretiminde yenilikçi ve yeşil teknolojiler	4.1.a. Mikroorganizma temelli biyobazlı (PHA, PHB vb) malzeme üretimi	9	3-4	2026
	4.1. Biyobazlı malzemelerin üretiminde yenilikçi ve yeşil teknolojiler	4.1.b. Laktik asitten laktide üretim prosesinin geliştirilmesi	9	1-3	2026
	4.1. Biyobazlı malzemelerin üretiminde yenilikçi ve yeşil teknolojiler	4.1.c. Biyo temelli malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik süreçlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi	8-9	6-8	2026-2030
	4.1. Biyobazlı malzemelerin üretiminde yenilikçi ve yeşil teknolojiler	4.1.d. Nem duyarlılığı daha az biyobazlı plastiklerin geliştirilmesi ve üretilmesi (hidrofobik özellikte)	2-4	1	2026-2030
	4.2. Biyobazlı malzeme üretim süreçlerinde gıda dışı kaynakların kullanımına ve enerji verimliliğine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	4.2.a. Biyobazlı malzeme işlemeye elverişli kalıp tasarımı ve termal düzenlemeler	9	8	2026-2030

Hedef	Kritik Ürün/Teknoloji	Araştırma, Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Konusu	Dünyadaki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Türkiye'deki Teknolojik Hazırlık Seviyesi	Zaman Tahminleri
					Kısa Vade: 2026'a kadar Orta Vade: 2030'a kadar Uzun Vade: 2035'e kadar
	4.3. Biyo esaslı malzemelerin geri kazanımına yönelik teknolojik çözümlerin geliştirilmesi	4.3.a. Biyobazlı malzeme toplanması (Biyo bazlı, biyolojik olarak parçalanabilen ve fosil bazlı) ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, kompostlanması süreçlerinin iyileştirilmesi	3	1	2030
	4.3. Biyo esaslı malzemelerin geri kazanımına yönelik teknolojik çözümlerin geliştirilmesi	4.3.b. Biyobazlı malzeme için geleneksel plastiklerden ayrı geri dönüşüm akışlarının geliştirilmesi	4	1	2030-2035
	4.3. Biyo esaslı malzemelerin geri kazanımına yönelik teknolojik çözümlerin geliştirilmesi	4.3.c. Uluslararası standartlarla uyumlu "Endüstriyel Kompostlama Tesisleri"nin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması amacıyla pilot gösterimlerin yapılması	7	3-5	2030

İÇİNDEKİLER

Teknolojik Hedef 1	12
GERİ DÖNÜŞÜM	12
1.1. Atıkların Toplanması, Atıkların Tasnifi, Kaynağında Ayrıştırılması (Kompostlanabilen ve Kompostlanamayan vb.).....	13
1.2. Plastik sektörü atıklarının mekanik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	49
1.3 Plastik sektörü atıklarının kimyasal ve biyolojik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi	68
1.4. Kapalı devre geri dönüşüm sistemlerinin oluşturulması (bottle-to- bottle)- Kapalı çevrim-depozit işlemleri.....	100
1.5. Geridönüşüm ürün ve malzemelere yönelik izlenebilirlik teknolojileri	126
Teknolojik Hedef 2	137
PLASTİK ÜRETİM PROSELERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ	137
2.1.Plastik sektöründe kullanılan proseslerde (Enjeksiyon, Ekstrüzyon, Şişirme, Rotasyon, Termoform gibi) enerji kullanımına yönelik yeşil ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi	138
Teknolojik Hedef 3	157
PLASTİK SEKTÖRÜNDE KULLANILAN POLİMER İŞLEME MAKİNALARININ VERİMLİLİĞİ	157
3.1. Plastik Sektöründe kullanılan Polimer işleme makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi	158
Teknolojik Hedef 4	185
BİYOBAZLI (BİOBASED) MALZEMELER	185
4.1. Biyobazlı malzemelerin üretiminde yenilikçi ve yeşil teknolojiler	186
4.2. Biyobazlı malzeme üretim süreçlerinde gıda dışı kaynakların kullanımına ve enerji verimliliğine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi	200
4.3. Biyobazlı malzemelerin geri kazanımına yönelik teknolojik çözümlerin geliştirilmesi	205
EK 1. Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası Plastik Sektörü Danışma Grubu Üyeleri	225
EK 2. Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası Plastik Sektörel Odak Grubu Üyeleri	227
EK 3: Çalışmanın Yürütülmesinde Görevli TÜBİTAK Yetkilileri	229

Teknolojik Hedef 1:

GERİ DÖNÜŞÜM

***Plastik Sektöründe Yenilikçi Geri Dönüşüm Süreçlerinin
Geliştirilmesi***

Kritik Ürün/Teknoloji 1.1.

**1.1. Atıkların Toplanması, Atıkların Tasnifi, Kaynağında Ayrıştırılması
(Kompostlanabilen ve Kompostlanamayan vb.)**

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

- 1.1.a. Hammadde tasnif sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hassas detektörler ve seperatörler ile ilgili araştırmalar yapılması**
- 1.1.b. Atıkların kirlenmeden toplanması ve sevkiyatına yönelik yeni sistemlerin geliştirilmesi, geri dönüştürülen atıkların izlenmesine yönelik sistemlerinin geliştirilmesi**
- 1.1.c. Dekontaminasyon sistemlerinin geliştirilmesi**
- 1.1.d. Depozito yönetim sistemine destek sağlayacak teknolojilerin (otomatik depozito iade ve ayrıştırma makineleri vs.) geliştirilmesi**
- 1.1.e. Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesi**

Kritik Ürün/Teknoloji 1.1.

1.1. Atıkların Toplanması, Atıkların Tasnifi, Kaynağında Ayrıştırılması (Kompostlanabilen ve Kompostlanamayan vb.)

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

2021 yılında Dünya plastik üretimi, 5,9 milyon ton biyo bazlı plastik, 32,5 milyon ton tüketim sonrası geri dönüştürülmüş plastik, 352,3 milyon ton fosil bazlı hammaddeden üretilen plastik olmak üzere toplam 390,7 milyon ton olmuştur. Dünyadaki toplam plastik üretiminin %32'si Çin'e, %17'si Asya'nın geri kalanına, %22'si Kuzey ve Latin Amerika'ya, %15'i Avrupa'ya, %8'i Orta Doğu ve Afrika'ya, %3'ü Japonya'ya, %3'ü Bağımsız Devletler Topluluğu' na aittir. 2021'de, Asya ülkeleri %49 üretim oranı ile Dünyadaki plastiğin yaklaşık yarısını üretmiştir. 2017 yılındaki termoplastikler ve PUR üretim verilerine göre, 2021 yılında Avrupa ve Japonya üretimlerini sırasıyla %4 ve %1 oranlarında düşürmüştür, Kuzey ve Latin Amerika'nın üretimi sabit kalmış, Orta Doğu, Afrika ile Bağımsız Devletler Topluluğunun üretimi %1 artmış, Çin'in üretimi ise %3 artmıştır. 2021 yılında Avrupa plastik üretimi ise 1,3 milyon ton biyo bazlı plastik, 5,8 milyon ton tüketim sonrası geri dönüştürülmüş plastik, 50,1 milyon ton fosil bazlı hammaddeden üretilen plastik olmak üzere toplam 57,2 milyon ton olmuştur. Avrupa'da 2020 itibariyle 29,5 milyon ton plastik atık toplanmakta olup, bu atığın %35'i geri dönüştürülerek, %42'si yakılp enerji elde edilerek ve %23'ü toprağa gömülerek bertaraf edilmektedir. Gelişmiş ülkelerin yakın gelecek hedefi toprağa gömerek bertaraf işlemini sıfıra indirmek ve geri dönüşüm oranını %60'ın üzerine çıkarmaktır. 2020 itibariyle Hollanda, Norveç, İspanya ve Almanya geri dönüşüm oranını %40'ın üzerine çıkarmıştır. Bununla birlikte Avrupa plastik üretimi 2017'den başlayarak her yıl düşmektedir [1].

Türkiye plastik sektöründe 2019 yılında 9,46 milyon tonluk üretim yapılırken bu rakam 2021 yılında 10,3 milyon ton değerine çıkmıştır [2,3]. Alt sektörler bazında bakıldığında ise 2021 yılında 10,3 milyon tonluk toplam plastik mamul üretimi içinde yaklaşık 4,33 milyon ton ile plastik ambalaj malzemelerinin başı çektiği ve bunu 2,06 milyon ton ile plastik inşaat malzemelerinin takip ettiği görülmektedir. Elektrik elektronik alanında ise yaklaşık 1 milyon tonluk üretim görülürken, otomotiv ve tekstilde sırasıyla 0,62 ve 0,72 milyon tonluk plastik mamul üretimi bildirilmiştir [2].

Türkiye'de yılda 32-35 milyon ton civarında belediye çöpü üretilmekte, üretilen çöpün de %85 oranında bir kısmı düzenli/düzensiz depolama sahalarına karışık bir şekilde gömülmektedir. Yapılan çalışmalar belediye çöplerinin %10-15'lik bir kısmının plastiklerden oluştuğunu ve bunun da takriben 3.5 milyon tona tekabül ettiğini ortaya koymaktadır. Etkili olmayan atık

yönetimi bu plastiklerin en iyimser tahminle %15'inin toplanabildiğini ve bunun da çoğunlukla informal olarak atık toplayıcıları tarafından gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca, 2020 yılının ilk 4 ayında 93 bin ton plastik ambalaj atığı toplandığı (~279.000 ton/2020 yılı) belirtilmektedir [4].

Türkiye yıllara göre değişmekle birlikte 500-800 bin ton arasında plastik atığı da başka ülkelerden ithal etmektedir. Dolayısıyla Türkiye kendi toplayabildiğinden daha yüksek miktarda plastik atığı da yurtdışından almaktadır. Bu durum beraberinde çevre ve halk sağlığı açısından çeşitli endişeleri doğurmaktadır. Geri dönüşüm sanayisinin %50 ve daha fazla oranda yurt dışına bağımlı olan bir sektör olması ulusal atık yönetim alt yapısının gelişmesini de sekteye uğratmaktadır. Verilen teşvikler incelendiğinde de kamu kaynaklarının yabancı ülkelerin çöp/atıklarının değerlendirilmesi üzerine organize olmuş işletmelere akmasına neden olmaktadır. Bu durumda ortaya kendi atık yönetim alt yapısını kuramamış olan bir Türkiye görünümü ortaya çıkmaktadır. Buna ek olarak toplanamayan plastik çöplerden kaynaklı olarak da Türkiye kıyıları Akdeniz çevresinde kıyıları ve suları plastikle en çok kirlenen bölgelerden biri durumuna gelmiştir. Yapılan çalışmalar Akdeniz'i en çok kirleten 5 kaynağın 3 tanesinin Türkiye'de olduğunu ve bunların da sırasıyla Ceyhan, Seyhan ve Büyük Menderes nehirleri olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durumun değiştirilebilmesinin yegâne yolu atık azaltımının önceliklendirildiği ve üretilen atıkların da kaynağında ayrı toplanarak minimum kayıp ile döngüsel bir ekonomik model çerçevesinde değerlendirilmesinden geçmektedir.

Bunun için temel ihtiyaçların başında ülke sınırları içerisinde üretilen plastiklerin kaynağında ayrı toplanmasını sağlayan teknolojilerin ve işbirliklerinin geliştirilmesi gelmektedir. Verimli atık yönetim alt yapısının oluşturulabilmesi, ancak, atıkların kaynağında ayrı toplanması ve farklı türdeki atıkların da birbirleriyle temasının minimize edilmesi ile mümkündür. Bu da yerel yönetimler, vatandaş, bakanlıklar ve atıkların değerlendirmesi üzerine çalışan endüstrinin, bilimsel yaklaşım ve çevre ve halk sağlığının gözetilmesiyle mümkündür. Atık yönetimi tek başına maddi kazanç sağlanan bir alan olmanın ötesinde stratejik öneme de sahiptir. Yetersiz ya da etkin olmayan atık yönetimi çoğunluğu belediye atıklarından oluşan çöplerin kontrollü ya da kontrolsüz alanlarda depolanmasına ve uzun erimde hem halk hem de çevre sağlığı açısından tehdit haline gelmesine neden olmaktadır. Bu durumun aşılmasının yegâne yolu ülkenin kendi ürettiği atıkların önceliklendirildiği bir teşvik ve yatırım modelinin işletilmesinden geçmektedir.

Her ne kadar ithal atık plastik girdisi üzerine şekillenmiş bir sektör söz konusu olsa da benzer nitelikte atık ülke içerisinde de oluşmakta ve bunun da önemli bir kısmı değerlendirilemeden Türkiye ekosistemini tehdit etmektedir. Bu bağlamda verilecek desteklerin yerli atık yönetim alt yapısına katkı sağlayacak şekilde düzenlenmesi ve ithal atığa bağımlılığı azaltacak şekilde organize edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda verilecek desteklerin ülke içinde üretilen

plastik atıkların işlenmesi şartına bağlanması hem stratejik hem de millilik açısından oldukça önem arz etmektedir. Benzer şekilde kritik teknoloji olarak ifade edilen kimyasal muamele (dönüşüm) için de ulusal çapta üretilen atıkların kullanılması kritik teknolojilerin ve ürünlerin de millileştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu amaçla üretilen kimyasal ve/veya motor yakıtı, polimer üretimde kullanılacak dönüşüm ürünü fraksiyonlar ve yağlama yağları bileşimindeki baz yağlar da millileştirilmiş olacaktır.

Plastik dögüsel ekonomisinde, atık plastik ileri dönüşümü için ticari uygulama başarısına sahip az sayıda know-how bulunmaktadır. Yapılacak laboratuvar ve pilot ölçekteki çalışmalar teknik anlamli olacaktır. Bu çalışmalar için akademik gücümüz iyi iken, endüstride teknoloji birikimi yoktur. Halen bir yerli kuruluş yatırım için ilerlememektedir. Yerli kaynakların değerlendirilmesine yönelik Ar-Ge çalışmaları desteklenmelidir.

Dünyada endüstriyel üretim ve ürün çeşitliliği bakımından çok büyük artışlar görülürken, küreselleşme ile pazarlama ve ürün tekniklerinde de çok büyük ilerlemeler görülmüştür. Bu ilerlemelerin sürekli artarak devam etmesi birçok açıdan üretim ve ürünlerin gelecekte farklı boyutlar kazanacağını göstermektedir. Endüstri ve ticaret tekniklerinde değişiklikler bunlara örnek olabilir. Lineer ekonomi yerine dögüsel ekonominin özellikle AB ticaretinde önemli yer alacağı örnek olarak verilebilir. Bu örneklerle ek olarak sanayileşme bakış açısı ile geri dönüşüm sektörünün gelişmeleri takibi de önem kazanmaktadır.

Çevre başlığının önemli süreçlerinden biri 'Atık Yönetimi' olarak görülmektedir. Atık yönetimde sürdürülebilirlik kavramı ve ticari yönleriyle atığa erişim önemini artırırken dünya genelinde birçok yasal düzenlemeye ve uygulamaya gerek duyulmuştur. Etkin atık yönetimi içerisinde en önemli maddeler; kaynakta ayrı toplama çalışmaları, kurumsal – ürün kaybı olmadan toplama – ayırma ve geri dönüşüm sektörü sanayileşmesi olarak verilebilmektedir. Bu maddeler ile kamu çalışmalarının ve sektörün ulusal ve uluslararası birçok mevzuatı takip etmesi beklenirken, özellikle dögüsel ekonomi ve sınırda karbon düzenlemeleri başlıkları üzerinde ek çalışmalar yapılmalıdır. Kaynakta ayrı toplama ve geri dönüşüm sektörlerinin atık oluşumu, atıkların etkin yönetimi, atığa erişim ve çeşitli iyi uygulamaların, çevre yönüne ek olarak tüm paydaşlar için ticari yönünün de ön plana çıkarılarak sürdürülebilmesi ve teknolojik gelişme takibi için gerekli tüm adımları atması beklenmektedir. Atıkların etkin yönetimi için ise yeni global başlıklar ile sürdürülebilirlik ve sanayileşme bileşeni en önemli perspektif olmaktadır.

Atık yönetim sisteminde kullanılan yöntem temel olarak atık hiyerarşisidir. Atık yönetimde hiyerarşi; atıkların önlenmesi, azaltılması, tekrar kullanımı, geri dönüşümü ve geri kazanımı adımlarından oluşmaktadır. Bu adımlar ile süreklilik önem kazanmış, sürdürülebilir kalkınma kavramı günümüze kadar önemini artırmıştır. Sürdürülebilir kalkınma, 20. yüzyıl sonlarında konuşmaya başlanılan, önümüzdeki yüzyılların ihtiyaçlarını düşünerek, günümüz ihtiyaçlarını

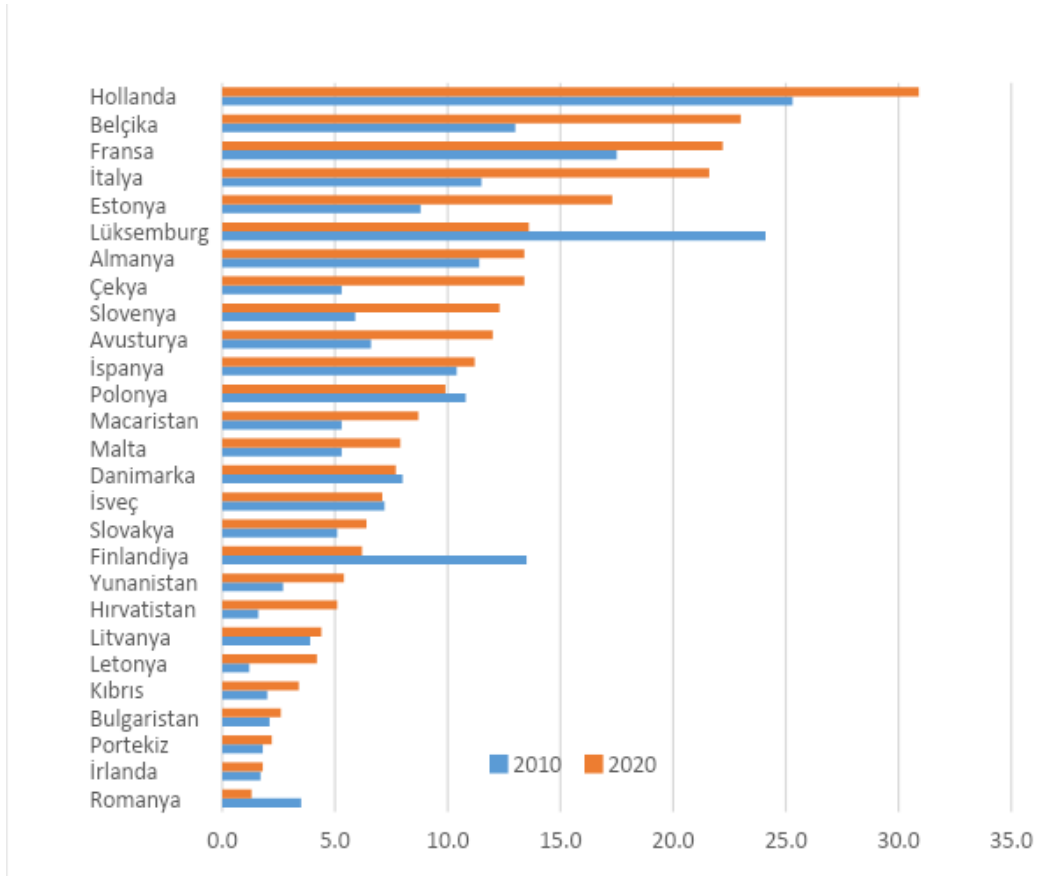
düşünen bir model olarak tanımlanabilmektedir [5]. Sürdürülebilirlik kavramı ile Atık Yönetiminin önemi artmaya devam etmiş, dünya genelinde birçok yasal düzenlemeye ve uygulamaya gerek duyulmuştur. Ülkemizde özellikle Avrupa Birliği direktifleri ile Atık yönetiminde birçok mevzuat oluşturularak, yenilenmeye devam etmektedir. Çevre mevzuatı çalışmalarında ekonomik değerleri ve yaratmış olduğu hacim nedeni ile Atık Yönetimi ayrı bir alan kazanmıştır.

Atıkların geri dönüşüm ve geri kazanım süreci içinde değerlendirilmeden bertaraf hem maddesel hem de enerji olarak ciddi kaynak kayıpları yaşanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de atık yönetiminde önleme sonrası artık döngüsellik ve yerinde çözüm arayışları çevre ayak izinin en aza indirilmesi içinde sürdürülebilirlik kavramı ile düşünülmektedir. Atık yönetimi, kamusal tüm alanlarda önemini devam ettiren, sanayi alanında önemli paydaş gruplarından olmuş ve lineer ekonomiden döngüsel ekonomiye geçiş ile atık kavramı sanayii girdisi anlamına gelmektedir.

Döngüsel Ekonomi Kavramı; Döngüsel Ekonomi Kavramı temelde, insan eli değen tüm ekonomik faaliyetlerin doğrusal ve tek yönlü bir “üretim-tüketim-atık oluşumu” modelinden, “tekrar üretim-akıllı tüketim-yeniden üretim/geri dönüşüm” adımlarına evrilmesi ve sürdürülebilir bir faaliyetler bütünü oluşturulması anlamına gelmektedir [6]. Döngüsel ekonomi modeli mevcut doğal kaynak miktarı ile orantılı olarak kaynak yeterliliği ve iklim krizi etkilerinin en aza indirilmesi ilişkilerini, özellikle üretim süreçlerine uyarlaması olmaktadır. Atık yönetimi ve üretim süreçlerinde atıkların mümkün olan en yüksek seviyede sistem içerisinde yer alması gereken modelde, sürdürülebilirlik ve hatta model içerisinde çevre ayak izini en aza indiren yönetim gerekmektedir. Bu gereklilik öncelikle ölçme değerlendirmenin en sağlıklı şekilde yapılması, buna bağlı bir dizi süreci ve paydaşı ortaklaştırmak olarak ifade edilebilir. Enerji eldesi ve kullanımı yanı sıra lojistik planlama da çok önemli olmaktadır.

2020 yılı mart ayında Avrupa Komisyonu, Avrupa'nın sürdürülebilir büyüme stratejisi olarak belirlenen Avrupa Yeşil Mutabakatının ana yapı taşlarından biri olan Döngüsel Ekonomi Yeni Eylem Planını kabul etmiştir [7]. Döngüsel ekonomi paketi, üretim ve tüketim döngüsünün her bir aşamasını ele alan paket, atık direktiflerinin revizyonunu içermekte ve dört düzenleme teklifini kapsamaktadır. Atıklarla ilgili mevzuat revizyonu teklifinde ise atık miktarının düşürülmesi için açık hedefler konulmuştur [8]. Yeni AB yeşil mutabakatı AB'nin plastik ile ilgili stratejisinde ise komisyon daha önce vurguladığımız plastik ve plastik ambalaj değerlerini ifade etmiştir. Bu duruma ek olarak, poşet kullanımı, deniz kirliliği ve sera gazı emisyon rakamlarına bağlı olası 2050 yılı değerlerini vermektedir [9]. Post-covid19 dönemi “yeşil iyileşme” süreci, döngüsel ekonomi normlarının şekillenmesi için uygun bir ortam yaratmaktadır. Birliğin hedeflediği döngüsel ekonomiye geçiş adımları ile 2030 yılına kadar AB GSYH'sini yaklaşık %0,5 artış sağlanması ve yaklaşık 700 bin yeni iş imkânı yaratılması öngörülmektedir [6].

Avrupa Birliği ülkelerinin yeşil dönüşüm çalışmaları, uygulamaları ve mevzuat değişimleri ile 2010 yılı ile 2020 yılı dögüsel malzeme kullanımındaki oransal artış aşağıda grafik ile verilmiştir. 2020'de AB'nin dögüsel malzeme kullanım oranı (dögüsellik oranı) %12,8'e ulaşmıştır. Bu, AB'de kullanılan malzeme kaynaklarının neredeyse %13'ünün geri dönüştürülmüş atık malzemelerden geldiği anlamına gelmektedir. Dögüsellik oranı, verilerin mevcut olduğu ilk yıl olan 2004'ten beri istikrarlı bir büyüme eğilimini sürdürmektedir. Dögüsellik oranı, dögüsel ekonomiye ilişkin AB izleme çerçevesinin bir parçasıdır.



Şekil 1.1. AB Dögüsel Malzeme Kullanma Oranı (2010 ve 2020 yılı,%) [9]

Sürdürülebilirlik Açısından Atık Yönetiminde Çevre Bilgi Sistemi; Çevre koruma kaygılarının gün geçtikçe yaygınlaşması ve ulusal-uluslararası düzeylerde çeşitli hukuksal ve kurumsal düzenlemelere yol açması, beraberinde çevrenin korunması ve geliştirilmesine yönelik çabaların standartlaştırılması gereğini gündeme getirmiştir [10]. Bu standart çalışmalar 1992 yılında Rio Sözleşmesi'nde yer alan prensiplere göre ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi olarak hazırlanmıştır. Ardından 1993 yılında ISO tarafından çok uluslu ve katılımlı bir teknik ekip ile çalışmalar devam etmiştir [11]. Çevre Bilgi Sistemlerinin oturduğu birçok alan varken, çeşitli temel alanlarda da kullanılmaktadır. Tedarikten başlayan bu süreçlerde, çevresel etkiler, su, hava, gürültü ve atık yönetimi olduğu ifade edilmektedir [12]. Toplam Kalite Yönetiminde

kullanılan birçok unsur, bileşen ve metod çevresel etkileri bir başka deyişle Toplam Kalite Çevre Yönetimi kavramı ve alt unsurlarının yönetiminde kullanılabilir. Çevre yönetim sistemi ile, kalite yönetim sistemlerinin yapısı ve ihtiyaçları birbiri ile paralellik göstermektedir. Buna bağlı olarak daha önce anlattığımız üzere Çevre Yönetim Sistemleri gelişmiştir [6]. Çevre Yönetim Sistemlerinin fayda ve amaçları birçok farklı kaynaktan oldukça uzun soluklu olarak açıklanmaktadır. Temel faydalanma amacının çevre ile ilgili mevzuatlara uyum sonrası, teşvikler ve yaptırımlar ile ilgili harekete geçmek olarak ifade edilebilir. İlgili bakanlık 2018 tarihinden itibaren dağınık olan birçok çevresel uygulamayı Entegre Çevre Bilgi Sistemi (EÇBS) çatısı altına toplamıştır. Bu kapsamda değerlendirilecek firmalarla ilgili bilgiler düzenlenerek sistemli bir yaklaşım sürecine girilmiştir.

Türkiye için 2018 yılından 2020 yılı Belediye toplam atık miktarları 32.209 kilo ton (t) değerinden, 32.324 kilo ton (t) değere ulaşmıştır. Artan nüfus verileri düşünüldüğünde kişi başı atık miktarında azalma görülmektedir. 2020 yılı kişi başı atık miktarı 2020 yılı geri dönüşüm oranı tüm atıklar için %13,1 civarında görülmektedir (TÜİK). Ek olarak imalat sanayi verilerinde 2018 yılından 2020 yılına artış olduğu görülmektedir. 2020 yılı İmalat Sanayi Atık Göstergeleri, toplam oluşan atık miktarı (tehlikeli – tehlikesiz) 23.868 1000 ton (t) değeri olarak verilmektedir (TÜİK). İstatiksel değerlere ek olarak kayıt altına alınmamış değerler olduğu söylenebilir. Hem atık miktarı hem de geri dönüşüm için toplanan atık miktarlarında artış görülmektedir.

Yoğun tüketim ve atıkların doğru yönetilememesi sonucu denizlerde yüksek oranlarda atık kirliliği olduğu görülmekte ve bu atıkların yüksek oranda plastik atıklar olduğu bilinmektedir. Bugüne kadar üretilen plastiklerin %75'i bugün için atığa dönüşmüş durumdadır [13]. Etkin atık yönetiminin olmaması durumunda karasal ekosistemin de kirleticisi olan atıkların %80 oranında karalardan denizlere gittiği kestirilmektedir [14]. 2030 yılında ek önlemler alınmaz ise plastik kirliliğinin küresel olarak iki katına çıkacağı hesaplanmaktadır. Yıllık 9 milyon ton plastiğin denizlere gitme olasılığı bulunmaktadır. Plastik atıklarının geri dönüşümü ve geri kazanımı sonrası %37'sinin kirliliğe neden olduğu görülmektedir. Büyük oranda atık yönetimi yönetilememektedir. Plastiklerin doğrudan karaya, tatlı sulara veya deniz ortamına atılması, düzensiz depolama ve açıkta yakma gibi düzensiz plastik atık yönetimi plastik kirliliği ve etkin olmayan atık yönetimi olarak tanımlanmaktadır [15].

Mikroplastikler ve nano plastiklerin insan sağlığı ve doğal yaşama etkisi tam olarak bilinmemekle birlikte, birçok önemli araştırma besin zinciri yolu ile de insana ulaştığını göstermektedir. Mikroplastikler kontaminasyon kaynağı olarak görülmektedir [16]. Ülkemizde yapılan araştırmalarda mikroplastiklerin kıyılarımızda da yüksek konsantrasyonda bulunduğu hesaplanmıştır [17]. Mikroplastikler, ambalaj atıklarının yanı sıra kozmetik ve tekstil kaynaklı birçok noktadan su kaynaklarına karışabilmektedir.

Plastik üretiminde kullanılan birçok katkı maddesinin zararlı etkileri ayrıntılı biçimde belgelenmiştir. BPA, ftalatlar ve plastiklerde yanmayı geciktiren malzemelerin bazılarının belli bir derecede maruz kalındığında doğuştan engellere ve gelişim bozukluklarına neden olabilecek maddeler içerdiği görülmüştür [15]. Ambalaj olarak kullanılan plastiklerin gıda ile teması hakkında uzun zamandır araştırmalar yapılmaktadır ve ilgili ek mevzuatlar bulunmaktadır. Gıda teması ve plastiklerin içerikleri hakkında çeşitli ulusal ve uluslararası mevzuatlar hazırlanarak, takibi yapılabilmektedir.

Depozito yönetim sisteminin Türkiye’de uygulama başlaması ile kapsamının netleştirilmesi sonrası temiz atık süreçlerine ve geri dönüşüm rakamlarına katkısı kapsamı oranında önemli olacaktır. Bu yönetim sistemi sadece ambalaj sektörünü değil, tüketici ve üretici alışkanlıklarını da değiştirecektir. Türkiye için mevzuatların uzun soluklu olarak hazırlanarak uygulanması özellikle ambalaj atıkları için gereklidir. Entegre atık yönetim sistemlerinin, yaptırım gücünün ve finansal modellerini belirlenmesi diğer önemli süreç olarak görülmelidir. Kaynakta ayrı toplama sistemleri ve depozito iade sistemi mevzuatlar ile düzenlenirken, sektör için temiz hammadde sağlaması olasıdır. Bu durum plastik için ithalat rakamlarının azalmasını mümkün kılacaktır. Yerel yönetimler ile etkin kaynakta ayrı toplamanın yanı sıra farkındalık çalışmaları mevzuatların üstünde gerçekleştirilmelidir.

Değerlendirme;

Plastik atıkların, geri dönüşüm hedeflerinin ülkeler ve bölgesel açıdan değerlendirmenin yanı sıra uluslararası sözleşmeler ile de yapılmalıdır. Deniz kirliliği ve benzeri küresel sorunların küçük boyutlu atıklar için çözüm süreçleri üzerinde dünya genelinde çalışılması gereklidir. Alternatif çözümler, alternatif ürünler ve mikro plastik kaynakları ve etkileri üzerinde çalışılması zorunludur. Sadece plastik ambalaj atıkları değil tüm ambalaj atıkları için de atık yönetimi ve ileri geri dönüşüm teknolojilerinin geliştirmesi önemlidir. Genişletilmiş üretici sorumluluğuna bağlı finansal model işletilirken, çevre vergisi ve tüketici davranışlarına yönelik gelişme ve yaptırım süreçlerinin gelme olasılığı da bulunmaktadır.

Atık yönetimi ve atık işlenmesinde uzun dönem tecrübeye sahip kuruluşların yanı sıra gelişim gösteren işletmeler ve uluslararası önemli birikime sahip ve yatırım yapabilir kuruluşların bulunması, yeşil dönüşüm sürecinde çok kıymetlidir. Bu sektörün, Ar-Ge, mevzuat çalışmaları ve atık konusunda ulusal sistemlerin takibi gibi birçok alt başlık altından tüm atıklar için yönetim ve kurumsal veri bilgisi olması ayrıca çok önemlidir. Bilgi ve birikim ile, kent atıklarından sanayi atıklarına takibi konularında ara – geçici depolama yetkinlikleri ile de farklılık göstermektedirler.

Bu neden ile sektörün kurumsallaşması ve sanayici olarak dönüşüm süreci uzun dönem önce başlamıştır. Her türlü üretim yapan sanayici için önemli bir paydaş konumuna gelen sektör, başat bir sektör olmak için gerek STK’lar gerek akademik çalışmalar ile dönüşümüne devam

etmektedir. Ayrıca kamu ile geçmiş dönem mevzuatları – uygulamalar için çalışırken, çokça üzerinde durduğumuz yeni dönem sanayi ve çevre başlıklarında yerini almıştır.

Stratejik öneme sahip Plastik ürünlerin yanı sıra tüm atık ve atık yönetiminde; Ar-Ge, mevzuat çalışmaları ve atık konusunda ulusal sistemlerin takibi gibi birçok alt başlık altından tüm atıklar için yönetim ve kurumsal veri bilgisi olması ayrıca çok önemlidir. Bu duruma ek olarak AB'nin atık yönetiminde önümüzde dönem bakış açısı ise atıkların çevre yönetiminin yanı sıra stratejik bir hammadde olarak değerlendirilmesi yönündedir. Sanayide yeşil dönüşüm ve döngüsel ekonomi kavramları ile üretim tekniklerinde günümüz ve gelecek dönem talep ve düzenlemeler sonucu, atığa erişim önemli gündem maddelerinden olacaktır. Belirttiğimiz birçok neden ile Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmalarının desteklenmesi ve optimum sürede hayata geçirilmesi büyük önem kazanmaktadır.

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

1.1.a. Hammadde tasnif sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hassas dedektörler ve seperatörler ile ilgili araştırmalar yapılması

Spesifik olarak, birincil işlemler, aynı kapsam için yeniden kullanılabilen tüketici öncesi veya saf polimerlerin geri kazanılmasına ve geri dönüştürülmesine olanak tanımaktadır. İkincil işlemler, ayrıştırılan, kırılan ve yeniden ekstrüde edilen geri kazanılmış tüketici sonrası polimerik atıktan başlar ve çoğu durumda aynı kapsam için yeniden kullanılmayan başlangıç polimerine kıyasla daha düşük fiziksel-mekanik özelliklere sahip bir ürün vermektedir. Birincil ve ikincil geri dönüşüm, birkaç kez tekrarlanabilen fiziksel süreçleri temsil etmektedir. Üçüncül süreçler, artık mekanik geri dönüşüme uğramayan polimerlerden başlayarak kimyasal geri dönüşümü benimserken, dördüncül süreçler enerji üretimi için kullanılmaktadır.

Bu işlemlerin her birinde girdi maddelerin tasnifi hedeflenen nihai ürünün kalitesi açısından oldukça önemlidir. Tasnif işlemi ne kadar iyi yapılırsa elde edilecek olan ürün o kadar iyi olacaktır.

Mekanik geri dönüşüm, toplama, eleme, otomatik veya manuel sıralama, yıkama, parçalama, ekstrüzyon ve granülasyon dahil olmak üzere birkaç adımdan oluşan plastik geri dönüşümü için ana ve en yaygın kullanılan teknolojidir. Yerçekimi ile ayırma, kuru bir ortamda (kuru işlem) veya su varlığında (ıslak işlem) gerçekleştirilebilen birleştirilmiş bir metodolojidir. Kuru ayırma tekniklerinde, daha hafif malzemeleri daha ağır olanlardan ayırmak için ortam olarak hava kullanılmaktadır. Islak ayırma işlemleri ise batma-yüzme, sıvı sarsma ile kalibrasyon ve hidrosiklon tekniklerini içermektedir. Burada ayrıca son yıllarda çok çeşitli sensör ve dedektör teknolojileri geliştirilmeye başlanmıştır. Metalik ve metalik olmayan atıkları birbirinden

ayırabilen, farklı plastik türlerini tanımlayıp ayrışmasını sağlayabilen teknolojiler geliştirilmektedir. Atık taşıma bandındaki plastik maddelerin PET, PP, PVC, PS, ABS ve PE olup olmadığını algılayan ve doğru şekilde tasnif sağlayan sistemler piyasada yerini bulmaya başlamıştır.

Son yıllarda araştırmacılar kimyasal işlemlere odaklanmış olsalar da mekanik geri dönüşüm hala daha iyi performans gösteren bir tekniktir. Yeterli altyapı ve teknolojilerin olmaması, kimyasal ileri dönüşümün sanayileşmesini ve mevcut malzemelerin daha sürdürülebilir polimerlerle değiştirilmesini sınırlamaktadır. Gelecekteki çözümler temel olarak biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin, tamamen geri dönüştürülebilir polimerlerin ve plastik yaşam döngüsünü en üst düzeye çıkarmaya olanak tanıyan depolimerizasyon/repolimerizasyon yollarının geliştirilmesine odaklanacaktır [26]. Bu hususta biyobazlı materyallerin konvansiyonel plastiklerle karışmadan ayrı toplanması hem biyobazlı malzemelerin hem de konvansiyonel plastiklerin geri kazanımı açısından olmazsa olmazdır. Hali hazırda var olan teknolojilerin bunu yapabilme becerisi oldukça sınırlıdır.

Ancak geri dönüşüm teknolojileri hangi noktaya evrilirse evrilsin ister mekanik geri dönüşüm olsun, ister biyobazlı malzeme olsun, ister enzimatik geri kazanım teknolojisi olsun her durumda atıkların doğru tasnifi gerekecektir. Bu sebeple tasnif süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Dolayısıyla %100'a yakın doğrulukta bu ayrımı yapabilecek olan dedektör ve separatör teknolojilerinin geliştirilmesi gereklidir. Bu kapsamda öne çıkan araştırma konuları aşağıdaki gibidir;

- Bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber kızılötesi, Raman ve lazerle indüklenen parçalanma spektroskopisi teknolojilerini içeren plastikleri cinslerine göre ayırabilen dedektörlerinin geliştirilmesi
- Kuru veya ıslak ortam için yüksek enerji verimi ve yüksek oranda malzeme ayırma kabiliyeti sunan separatörlerin geliştirilmesi
- Küçük parça boyutlarındaki plastikleri renklerine göre ayırabilecek kamera ve separatör sistemlerinin geliştirilmesi
- Gıda ve gıda dışı atıkların karışmasını engelleyecek programa dayalı toplama sistemleri,
- Ceza-Ödül mekanizmasının ötesinde katılımcı ve nesnelerin internetine dayalı sistemler,
- Daha belirgin etiketleme ve kolay anlaşılabilir sistem tasarımı,
- İnfomal atık toplayıcılarının sisteme dahil edilebildiği sosyal adaleti gözetilen toplama modelleri önem kazanmaktadır.

1.1.b. Atıkların kirlenmeden toplanması ve sevkiyatına yönelik yeni sistemlerin geliştirilmesi, geri dönüştürülen atıkların izlenmesine yönelik sistemlerinin geliştirilmesi

Teknik tanımların büyük bölümü ilgili atık yönetimi mevzuatları ile verilebilmektedir. Bu noktada plastik sektörü için Atık Yönetimi Yönetmeliği, Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Atık Ön İşlem ve Geri Kazanım Tesislerinin Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliği, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Geri Kazanım Katılım Payına İlişkin Yönetmelik ve Sıfır Atık Yönetmelikleri için uygulama ve tanımları verilebilir.

Mevcut veriler ilgili kamu kurum çalışmaları ile alınmakta ölçme- değerlendirme için veriler yerel yönetimler ve TÜİK verilerinin güncellenmesi sonucu ulaşılabilir. Yukarıda belirttiğimiz geri kazanım değerlerinin yanı sıra kayıt dışı süreç/veriler dikkate alınmalıdır. Bu noktada önemli bir kestirim ihtiyacı görülmektedir.

Problem tanımları, ölçme-değerlendirme, finansal model, etkin atık yönetimi ile dekontaminasyon, ekipman ihtiyacı ve dijital çözüm eksikliği, tüketici davranışları, mevzuat uygulama, sanayileşme, bölgesel tesis yatırımları ve lojistik maliyetleri olarak verilebilir.

Performans kriterleri ülke hedeflerine ek olarak plastik özelinde kirlilik azaltımı, kontaminasyon için Kaynakta Ayrı Toplama (KAT) ve tesis uygulamalarıdır.

Bu alanda hedeflenen yenilikçi özellikler şu şekildedir;

- Saha uygulamasında dijital çözümler (toplama ekipmanları için verimlilik çalışması),
- Saha uygulaması lojistik maliyeti optimizasyonu (karbon azaltımı, yerinde çözümler ve kontaminasyon önleyici lojistik çözümler),
- Ek tesis yatırımları (Mevcut tesislerin modernizasyonu – yerinde çözüm için prosesler ve finansal model
- Tüketici davranışları için mevzuat çalışması ve dijital çözümler (saha uygulama destekleri için sürdürülebilir finans, bilinçlendirmeye ek tüketici yönlendirmesi- ceza sistemleri, atık oranı ile vergilendirme).

1.1.c. Dekontaminasyon sistemlerinin geliştirilmesi

Plastiklerin içerik itibarıyla çok sayıda kimyasal içermeleri, kontaminasyon kaynağının sadece plastiğin kullanıldığı sektörden olmamasına, aynı zamanda üretiminden de kaynaklanabilmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla dekontaminasyon için plastik eklenti kimyasallarının da hesaba katılması gerekmektedir.

Plastik malzemeler kullanım yerlerinin ihtiyaçlarına göre çeşitli organik/inorganik kimyasallar ile fiziksel özellikleri iyileştirilmektedir. Plastik malzemeler ambalaj olarak kullanıldığında içerdiği ürünü, çarpma, ıslanma, zedelenme gibi fiziksel etkilerden en iyi şekilde koruyan, temiz kalmasını sağlayan, taşınmasını kolaylaştıran ve aynı zamanda ürünün tanıtımını yapan ve

pazarlama işlemlerini kolaylaştıran dış örtülerdir. Önemli bir görevi de taşıdığı bilgilerle tüketiciye seçim ve kullanım kolaylığı sağlamasıdır. Üzerinde yazılı olan ağırlık, fiyat, üretim tarihi, son kullanma tarihi, ürünün içeriği, üretici firmanın adı, kullanım açıklaması gibi tüm bilgiler, tüketiciye ve satış yapana büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ancak;

- Plastik malzemelerin üretim aşamasında kullanılan etiket, kapak, tutkal, yapıştırıcı ve benzeri kimyasallar plastik malzemenin geri dönüşümünde kirlilik yaratmaktadır.
- Plastik atıkların diğer organik/inorganik atıklar ile toplanması sonucu kirletilmektedir.
- Ambalaj sanayinde kullanılan plastikler genelde kâğıt, plastik ve alüminyum gibi iki ya da üç farklı filmlerin birleştirilmesiyle katmanlı bir şekilde üretilmektedir. Plastik olmayan katmanlar da plastik malzemeler için kirlilik oluşturmaktadır.

Plastik malzemelerin yüksek verim ile geri dönüşümü ve sürdürülebilir bir plastik sanayi oluşturmak için yukarıdaki olumsuzlukları bertaraf eden aşağıdaki teknolojileri geliştirmek sektörün öncelikleri arasında olmalıdır.

- Plastik atıkları diğer organik/inorganik kirletici unsurlardan ayıran teknolojileri geliştirmek
- Geliştirilen bu teknolojilerin uygun maliyetler ile üretmesi ya da mevcut sistemlere entegrasyonu
- Plastik malzemelerin hafifletilmesi ya da bir kısmının yenilenebilir kaynaklar ile ikame edilmesi
- Çok katmanlı ambalaj filmlerin de kâğıt, alüminyum ve plastik katmanların birbirinden ayrılmasını sağlayacak teknolojilerin geliştirilmesi
- Plastik malzemeler tasarlanırken daha az malzeme çeşitliliğinin tercih edilmesi

Daha az baskı alanına sahip ambalaj tasarımları teşvik edilebilir. Özellikle endüstriyel (B2B) ürünlerin ambalajlarında sınırlı büyüklükte etiket kullanımı ve ambalajın geri kalanının şeffaf veya beyaz, tek katlı filmlerden oluşması teşvik edilmesi önemli bir husustur. Bu sayede baskılı veya etiketli kısım bertaraf edildiği takdirde safsızlık oranı çok düşük bir atık, çok daha kolaylıkla geri dönüştürülebilecektir.

Mürekkep çözme teknolojisinin ülkemizde geliştirilmesine yönelik olarak da Ar-Ge çalışmalarının yapılmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir. Düz baskılı ürünlerin mürekkep çözme süreci sonrasında geri dönüştürülmesi halinde safsızlıklardan arındırılmış, çok da yüksek kaliteli bir geri dönüştürülmüş malzeme elde etmek mümkün olacaktır.

1.1.d. Depozito yönetim sistemine destek sağlayacak teknolojilerin (otomatik depozito iade ve ayrıştırma makineleri vs.) geliştirilmesi

2018 yılında yapılan Çevre Kanunu değişiklikleri ve ek düzenlemeler ile Depozito Yönetim Sistemi (DYS) ile ilgili mevzuat çalışmaları başlamıştır. Depozito Yönetim Sistemi süreç yönetimi ile 2023 yılı boyunca yönetim ve kapsam ayrıntıları ile ülke geneline yayılım göstermesi beklenmektedir.

DYS; Zorunlu Depozito Yönetim Sistemi Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esasların yanı sıra Ürün ve Mali zorunluluklar ile ilgili çalışmalar sürece gelmektedir. Bu noktada tanımlara bakılmaktadır.

DYS sisteminde ülkemiz için önemli teknolojik tanımları; Depozito İade Makinesi (DİM), Depozito Saha Yönetim Sistemi (DSYS), Depozito Bilgi Yönetim Sistemi (DBYS), Depozito Saha Uygulama Planı (DESUP), Doğrulama Merkezi ve Barkod-Doğrulama yöntemleri olarak verilebilir.

İade Noktaları işlem yöntemlerine göre Manuel ve Otomatik olarak 2 tipte kurulabilecek olup bu noktalar sabit veya mobil olarak işletilebilecektir. Bu noktalara getirilen Depozitolu boş ambalajlar doğrulamaya tabi tutulup sayılacaktır. Doğrulama ve sayım işlemi sonrası uygun bulunan ambalajlar DBYS üzerinden kayıt altına alınarak Depozitolu Boş Ambalajı getirene bu işleme esas basılı veya dijital belge düzenlenecektir. Basılı ve/veya dijital belge ibrazı ile ücretleri iade alınabilecektir.

İade Noktalarının kurulumları ve kullanıma alınmaları Görevli Operatör tarafından gerçekleştirilecek olup, gerekli olan ekipmanların temini, tahsisi DESUP ve Görevli Operatör tarafından gerçekleştirilecektir.

Zorunlu Depozito Yönetim Sistemi kapsamındaki ürün grupları Türkiye Çevre Ajansı (TÜÇA) tarafından belirlenerek tariflenmiş olup web sitesinde yayımlanan Usul ve Esaslarda yer alan ürünleri tanımlamaktadır. Ürünlerin tariflenmesi ve bu ürünlerin Sisteme dâhil olup olmadıkları konusunda Ajans tarafından yayımlanmış olan Usul ve Esaslar dikkate alınacaktır.

İade Noktalarında gerçekleştirilecek kontrol işlemleri asgari olarak, ambalaj üzerindeki Barkod numarası ile Sistem Logosunun varlığı ve geçerliliğinin DBYS üzerinden kontrol edilerek söz konusu ambalajın Depozito Yönetim Sistemi kapsamında olup olmadığının teyit edilmesi sureti ile gerçekleştirilir. Söz konusu ambalajlar için yapılacak diğer kontrol kriterleri ambalaj üzerinde yer alan barkod numarasının DBYS üzerinde kayıtlı olan bilgiler ile karşılaştırılması sureti ile gerçekleştirilir. İade Noktalarında yapılacak kontrollerin her bir tekel ambalaj için ayrı ayrı yapılması gerekmekte olup benzer veya aynı ambalajlar için dahi kontrol ve doğrulama süreçleri ayrı ayrı işletilecektir. Kontrol ve doğrulamaya tabi tutulup uygun bulunan ambalajın mutlaka kayıt altına alınarak depolama-biriktirme alanına alınması gerekmekte olup bu alana alınmamış ambalajlar için yapılan kontrol ve doğrulama işlemi geçersiz olacaktır. Depozito iade makineleri ile yapılan alımlarda doğrulaması yapılmış ambalajın kırma/ezme gibi fiziksel bir

işleme de tabii tutulabilecek ve sonra depozito ücretinin iadesine yönelik işlem yapılabilir. DBYS'ye entegre edilmeyen İade Noktaları Depozito Saha Yönetim Sistemi kapsamında faaliyet gösteremeyecektir.

Manuel İade Noktası Operasyonları, İşleyişi Otomatik Operasyonların İşleyişi ve Ajans tarafından, Depozito İade Makinelerinin teknolojik ve donanımsal altyapıları ile güvenlik seviyelerini dikkate alarak sınıflandırabilecek olup Depozito Saha Uygulama Planı (DESUP) ve DSYS Operatörü kullanım talebine göre farklı sınıflarda Depozito İade Makinesi kullanımına izin verebilecektir.

Toplama ve Taşıma Operasyonlarının İşleyişi, DSYS Operatörü İade Noktalarından depozitolu boş ambalajları toplayarak, Aktarma Merkezi, Doğrulama Tesisi veya Geri Kazanım Tesisi 'ne iletilmesini sağlamakla yükümlüdür. İhtiyaca yönelik olarak, Doğrulama Tesisi Operasyonları İşleyişi operatör yetkilendirme kriterlerine uygun olarak kurulmuş olan ve ambalajların DYS sistemine ait olup olmadığının Barkod bilgileri ve DYS Logosu üzerinden doğrulanarak sayma, ayırma ve balyalama işlemlerinin yapıldığı tesislerdir. Aktarma Merkezi Operasyonlarının İşleyişi; Manuel İade Noktası ve Otomatik İade Noktalarında biriktirilen Depozitolu Boş Ambalajların Doğrulama Tesisleri ve/veya Geri Kazanım Tesislerine ulaştırılmak üzere geçici olarak depolandığı operatör tarafından işletilecek ya da sözleşme ile alt yüklenici merkezleri olabilecektir.

Tüm Süreçlerin ve Faaliyetlerin İzlenmesi ve Envanterinin Sağlanması

- DSYS kapsamında kullanılacak tüm ekipmanların, araçların, aktarma merkezlerinin ve tesislerin tekil kodlama sistemi ile izlenmesi ve DBYS üzerinden takip edilip envanterinin oluşması için sistem ihtiyaçları. DSYS' de kullanılacak toplama ve taşıma birimlerinin de (Taşıma ambalajı/plastik konteynerler ve DSYS kapsamındaki diğer tüm araç ve ekipmanlar) tanımlanması gerekmektedir.
- Bu tanımlama da her yeni birim için olarak belirlenmesi gereken ihtiyaçlar, Operatör Depozitolu Boş Ambalajların İade Noktalarından alınmasından Geri Kazanım Tesislerine teslim edilmesine kadar geçen tüm süreçte yer alan her bir taşıma birimi için DBYS ile entegre olarak, lojistik süreçlerin izlenmesi.
- Operatör, İade Noktaları, Aktarma Merkezleri, Doğrulama Tesisleri ve Geri Kazanım Tesisleri gibi DYS kapsamında rolü olan ve sabit bir noktada bulunan yerlerin her biri için DBYS kayıt ihtiyacı. Operatör, Depozitolu Boş Ambalajların teslim alınma ve teslim edilmelerine ilişkin süreçleri DBYS üzerinden işletilmesi.
- Bu süreçlere ilişkin altyapı DBYS Operatörü ile entegre bir şekilde oluşturulup kullanılabilirliği gibi DBYS ile entegre bir şekilde çalışabilecek özellikte olan ve DBYS Operatörü tarafından kullanılabilirlik onayı verilmiş farklı bir sistem ile de kurularak işletilebilir olması.

Sistemin öncelikle PET tek kullanımlık ambalaj türü ile kurgulanması ve başlayacak oluşu Plastik hammadde ve kontaminasyon sorunlarında önemli bir parametre ve araç olarak görülmektedir. Tüketici davranışı, sürdürülebilir toplama sistemi ve kirlilik önleyici/dekontaminasyon ihtiyaçlarını DYS sistemi ile mümkün görülebilmektedir.

Ek olarak yapılan çalışmalar ve raporlamalar, ülkemiz ihtiyacı metrik çalışma örnekleri ve dünya örnekleri verilmektedir [18-20].

DBYS ile ilgili olarak önemli alt yapı çalışmalarının tamamlanmış olduğu ve etiketleme sistemi için gerekliliklerin açıklanmış olduğu görülmektedir. Bu noktada depozitolu ürünler için yeni etiketleme sistemleri veya etiketleme sistem entegrasyonu için THS verilerinin belirlenmesi ve Ar-Ge çalışmaları planlanabilir.

DSYS ile ilgili olarak Depozito İade Makineleri, Toplama Sistemi ve Doğrulama merkezleri gibi konularda uluslararası çalışmalar AB ve Kuzey Amerika bölgelerinde önemli THS seviyelerinde görülmektedir. Ülkemiz için uluslararası firma, ürün patentleri ve yerli üretim için önemli tesis ve firmaların önemli THS olduğu bilinmektedir. Ür-Ge çalışmalarında ve sistem entegrasyonları için belirtilen teknolojik ve dijital çözümler için hazırlık süreçleri geliştirilebilir. Atık Yönetimi bölümü ile belirtilen dijital çözüm ve tüketici davranışlarının iş birlikleri teknolojik altyapı geliştirmesi planlanabilir.

DİM (Depozito İade Makineleri) 2 tür olarak incelenebilir, klasik ve Neo olarak; Avrupa bazlı firmaların klasik ve standart görüntü işleme. (Genel olarak siluet ile tanıma) yapısının yanında Neo firmalar yapay zekâ teknolojisi ve sürekli öğrenme gibi çağımızın metotlarını DİM' lerle kullanmaya başlamıştır.

Bu tekniklerin geliştirilmesi yazılım ve yüksek mekanik tasarım buna ek olarak işçilik yeteneklerinin birleşmesi sonucu ortaya çıkar. Bu ürünlerin genel mantığı itibariyle oldukça sade tasarlanırsa bile içeride detaylar itibari ve güvenlik sistemleri özellikleriyle ATM benzer sahada kritik önem arz etmektedir.

Özellikle ürünlerin sürdürülebilir olarak var olabilmesi için gelişmiş servis metotları uygulanmalı ve saha deneyimine sahip olmalıdır. Ürünlerin bölgesel olarak farklı konumlarda çalışması hem komponent testleri hem de saha kullanıcı alışkanları tarafından ürünün hızlı gelişmesini ve sürdürülebilir, makine kavramının kazanılmasını sağlayacaktır.

Ek olarak ekipmanlar için tüketici dostu ve kullanım kolaylığı gerekliliği için çalışmalar yapılmalıdır. Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı de bir başka çalışma alanı olabilmektedir.

1.1.e. Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesi

Kapsadığı alanın büyük olması nedeniyle, özellikle deniz çöprü dünyanın en büyük çevre problemlerinden biridir. Dünyada, okyanuslar, denizler, göller, akarsular gibi hemen hemen tüm sucul yüzey ekosistemleri arasında plastik atıklarla kirlenmiş olanı hemen hemen hiç yoktur. 1950-2017 yılları arasındaki toplam dünya plastik üretimi 9,2 milyar tondur [21]. 2017 itibarıyla doğaya karışmış plastik miktarının 5,3 milyar ton olduğu hesaplanmıştır. Dünyada toplam plastik üretiminin 2050 yılında 34 milyar tona ulaşması beklenirken bunun önemli bir kısmının doğayı kirliteceği de öngörülmektedir. Denizler ve göller doğaya salınan plastiklerin önemli bir miktarının son durağıdır. Besin zannedilerek yanlışlıkla tüketilmeleri, dolanmaya ve boğulmalara neden olmaları nedeniyle plastikler bu ekosistemlerde yaşayan planktondan balık ve memelilere kadar yüzlerce türün olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Büyük boyutlu plastiklerin parçalanarak mikro veya nano plastiklere dönüşerek besin zincirine dahil olmaları ise problemin daha da büyümesine neden olmaktadır.

Akarsular, plastiklerin deniz ve göllere ulaşmasındaki en önemli vektörlerdir. TURKSAT 2020 verilerine göre Türkiye’de de yılda en az 5 bin ton katı atığın doğrudan akarsu ve göllere doğrudan atıldığını belirtmekte olup, gerçek miktarın bunun çok çok üzerinde olduğu hesap edilmiştir. Türkiye’nin akarsuları ile Avrupa denizlerine en fazla plastik kirliliği taşıyan ülkeler arasında olduğu da bilinmektedir [22]. Atıksu arıtma tesisleri (AAT) ise sucul ekosistemlere giren mikroplastiklerin en önemli taşıyıcılardan olup, İstanbul’daki sadece 1 AAT’den Marmara Denizine taşınan mikroplastik sayısının ise yılda yaklaşık $1,070 \times 10^9$ (yani 1 trilyar!) adet olduğu hesaplanmıştır [23]. Çamaşır makinelerinde yıkama sırasında tekstil ürünlerindeki fiber plastiklerin, atıksu tesislerindeki mikroplastığın önemli bir kaynağı olduğu bilinmektedir.

Deniz ve göllere ulaşan plastikler ekosisteme ve insan sağlığına zararları yanında, estetik açıdan da kabul edilemez olmaları nedeniyle, şehirlerin sosyo-kültürel ve turizm faaliyetlerini de olumsuz etkilemekte ve dolayısıyla, çöpleri denizler ve göllere ulaşmadan bertaraf etmek istemektedir. Deniz ve göllerde bulunan çöplerin de temizlenmesi aynı şekilde büyük bir ihtiyaçtır. Bu konu, ülkemizin de ulusal ve yükümlü olduğu uluslararası mevzuat gereği plastik kirliliğini azaltma çabaları açısından da önemli bir ihtiyaçtır.

Bu kapsamda ihtiyaç duyulan alanlar 3 grupta özetlenebilir:

- 1) Akarsulardan deniz ve göllere (görünür) makroplastiklerin taşımının engellenmesi
- 2) Sucul ekosistemlere karışmış olan makroplastiklerin geri kazanımı
- 3) Atıksu tesislerinden taşınan mikroplastiklerin geri kazanımı

Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemler ve performansları çok çeşitli olabilir.

- 1) Akarsulardan deniz ve göllere (görünür) makro-plastiklerin taşımının engellenmesi: Farklı özelliklerdeki bariyer sistemleri, birçok akarsu üzerinde kullanılmaktadır. Bunlardan en eski ve meşhuru Mr Trash Wheel (<https://www.mrtrashwheel.com>) olup, farklı özelliklere sahip akarsular için farklı özellikte bariyer sisteminin geliştirilmesi ve kullanılması önemlidir (<https://theoceancleanup.com/rivers/>). Bu sistemlerden bazıları Türkiye’de de kullanılmakta olup, farklı özellikteki akarsularımıza daha etkin sistemlerin geliştirilmesi beklenmektedir.
- 2) Sucul ekosistemlere karışmış olan makroplastiklerin geri kazanımı: Örneğin Ocean Clean Up gibi organizasyonlar (<https://theoceancleanup.com/oceans/>) okyanuslardaki büyük çöp kütlelerini toplamak için hemen her sene daha da geliştirilen otonom, yarı otonom veya otonom olmayan (ağ, bariyer veya optik algılama) sistemleri kullanmaktadır. Liman gibi çok daha küçük alanlar için kullanılan “seabin” gibi otonom sistemler de yaygınlaşmaktadır (<https://seabinproject.com>). Üretim/geliştirme aşamasında olan farklı otonom deniz/göl yüzey çöp temizleme araçları da vardır.
- 3) Atıksu tesislerinden taşınan mikroplastiklerin geri kazanımı: Çamaşır makinalarından kaynaklanan mikroplastiklerin tutulması için yıkama sırasında ya da makine çıkışında filtasyon sırasında kullanılan bazı dizaynlar var olup [24] bunların daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Atıksu tesislerinin çıkış sularında mikroplastiklerin tutulması için de (örn. filtrasyon ve elektrofiltrasyon/elektrokoagülasyon) AR-GE araştırmaları mevcuttur [25].

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

1.1.a. Hammadde tasnif sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hassas dedektörler ve seperatörler ile ilgili araştırmalar yapılması

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya’da	Türkiye’de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünyada THS: 7 - THS: 9 aralığında teknolojiler görülmektedir. Atıkları türlerine ve renklerine göre tasnif edebilen çok farklı kamera, sensör, dedektör ve seperatör sistemleri piyasada kendine yer bulmaya başlamıştır. Ayrıca dünyada bu konularda araştırma faaliyetleri

yoğun şekilde devam etmekte olup özellikle Avrupa Birliği'nin Horizon Europe çağrılarında bu konuda yeni çalışma başlıkları açıldığı görülmektedir.

Bu konuda temel araştırma bakımından Türkiye'nin THS: 3 - THS: 4 aralığında olduğu görülmektedir. Kuru ve ıslak ortamda çalışan seperatörler konusunda THS: 9 seviyesinde çeşitli yerli imalatçıların da olduğu bilinmektedir.

1.1.b. Atıkların kirlenmeden toplanması ve sevkiyatına yönelik yeni sistemlerin geliştirilmesi, geri dönüştürülen atıkların izlenmesine yönelik sistemlerinin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünyada THS: 3 - THS: 9 aralığında teknolojiler görülmektedir.

Ülkemiz için çalışmalar THS: 3 - THS: 8 aralığında değişirken, ağırlıklı olarak bu çalışmalar THS: 6 -7 aralığındadır.

Toplama Ekipmanları ve kontaminasyonu önlemek amaçlı KAT uygulamalarının Teknolojik Hazırlık Seviyeleri (THS) Türkiye için görülmektedir. Bu teknolojik hazırlığa ek olarak saha uygulamalarında ek destekler ve güvenlik süreçleri irdelenmesi gerekmektedir. Dünya örneklerinden farklı olarak saha uygulamalarında ekipman yerleşim planı ve güvenliği önem kazanmaktadır.

Dünya örnekleri için ekipmanlarda birçok farklı örnek bulunmaktadır. Ancak teknolojik özelliklere ek basit çözümler uzun zamandır süregelirken, tüketici davranışı ve yerel yönetimlerin desteği ön plana çıkmaktadır. Teknolojik gelişme ve dijital çözümlere ek olarak yerinde basit çözümler düşünülmelidir.

- Hammadde/Atık tasnif sürecinin en iyi şekilde yönetilmesi ve kaynağında temiz ayrıştırma sağlanarak ürünlerin toplanması Kaynakta Ayrı Toplama (KAT) uygulamaları ve Depozito Yönetim Sistemi (DYS) ile yüksek verimlilik ile beraber sağlanabilmektedir. Yeni nesil

teknoloji ile mekanik ve sabit '1-0' sensör & detektörler yapılarının kullanımı görülmektedir. Bu duruma ek olarak maliyetlerin düşüşü ile gelişen dedektör-sensör, kamera kullanımı ve Ar- Ge çalışmaları görülmektedir (Yüksek doğruluk oranlarının düşük hata toleransları) Ek olarak Yapay Zekâ teknolojisi düşük maliyetli kamera sistemleri ile çok daha düşük maliyetlerle elde edilebilmektedir. Separatör sistemleri üzerinde çalışmalar gerçekleştiren atık ve ambalajların toplanması ve kaynağında sorunsuz şekilde ayrıştırıp depolanması sağlanabilmektedir.

- Sensörlerde bu alanda ürünleri olan firmalar genellikle AB ve Birleşik Devletlerde yer almaktadır. Bu ürünlerin ülkemizde üretiminin yapılması mümkündür. Bu alanda tecrübeli ve yeni dönem firma altyapısı bulunmaktadır. Otomasyon alanında benzer detektörlerle çalışmalar gerçekleştirmiş ve bu alanda daha dinamik saha bilgisi ve deneyime sahip firma ve yerel yönetimler görülmektedir. Ancak sınırlı alanlara yayılması ve pilot ölçek çalışmaları ağırlıktadır.
- Cam ve Plastik malzemeleri ayırt edebilen sensörler mevcuttur, bunların doğruluğu ve verimliliği ürünün kirliliği iç ortam ışıklandırması ve ürünün renk cinsinde göre performans farklılığı göstermektedir. Bu alan da çalışma dijital çözümler ve saha uygulaması ile geliştirilmelidir.
- Atıkların toplanması sonrası ise tesis yatırımları dünya genelinde yüksek otomasyon içerikleri ile görülebilmektedir. Bu noktada tesisin kurulumunu tamamen yapabilen yerli firma ve çözüm ortakları görülmektedir. Ancak bölgesel ve dönemsel farklılıklar gözeterek tesis – ayırma prosesleri için Ar- Ge ihtiyacı gerekmektedir. Ür-Ge ihtiyacı süreçlerin tamamında görülmektedir.
- Lojistik maliyetler için dijital çözüm ortakları Türkiye için görülmektedir. Toplam ekipmanlarının yanı sıra verimli toplama süreçleri için birçok alt yazılım/platformlar kurulmaktadır. Pilot ölçeğin dışında uygulama çalışması görülmektedir. Ancak yine bölgesel ve dönemsel farklılıklar gözeterek uygulama geliştirilmesi için Ar- Ge ihtiyacı gerekmektedir.

1.1.c. Dekontaminasyon sistemlerinin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dekontaminasyon sistemleri konusunda dünyada THS:6-9 arasında çalışmalar görülmektedir.

Ülkemizde bu konuda çalışmalar THS: 3 seviyesindedir.

1.1.d. Depozito yönetim sistemine destek sağlayacak teknolojilerin (otomatik depozito iade ve ayrıştırma makineleri vs.) geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 6 ve THS: 9 aralığında değişmektedir.

Ülkemiz için bu durum araştırma olarak THS:5 - THS 6 aralığında değişirken, depozito iade makinaları gibi teknolojileri üreten firmaların mevcut olması açısından THS: 8-THS: 9 olarak da uygulamalar bulunmaktadır.

1.1.e. Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

THS9



Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 3 ve THS: 9 aralığında değişmektedir.

Ülkemiz için bu durum araştırma olarak THS:3 - THS 5 aralığında değişirken, deniz yüzeyini temizleyen teknolojilerin uygulanması, nehir çıkışlarından atıkların yakalanmaya çalışılması gibi faaliyetler açısından THS: 8 – THS: 9 olarak da uygulamalar bulunmaktadır.

C. Dünyada ve Türkiye'deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

1.1.a. Hammadde tasnif sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hassas detektörler ve seperatörler ile ilgili araştırmalar yapılması

Plastikler günümüzde yakın kızılötesi teknolojisi (NIR) veya yoğunluk testleri (suda yüzer/batar) kullanılarak ayrılır. Bu yöntemler belirli plastik fraksiyonları (örneğin PE, PP ve PET) ayırabilir, ancak yeni teknolojiyle aynı doğrulukta ve dolayısıyla bileşimdeki kimyasal saflıkta ayıramaz. Yeni sistemde kızılötesi alanda bir hiperspektral kamera ve plastik türünü doğrudan taşıma bandı üzerinde analiz ve kategorize edebilmektedir [27].

Aarhus Üniversitesi Biyoloji ve Kimya Mühendisliği Bölümü'nden Doçent Mogens Hinge ve diğer araştırmacılar Vestforbrænding, Dansk Affaldsminimering Aps ve PLASTIX ile işbirliği içinde 12 farklı plastik türü (PE, PP, PET, PS) arasındaki farkı görebilen yeni bir kamera teknolojisi geliştirdiler,(PVC, PVDF, POM, PEEK, ABS, PMMA, PC ve PA12).

Araştırma, Danimarka İnovasyon Fonu tarafından 22,7 milyon DKK ile finanse edilen Re-Plast projesinin bir parçası. Proje, Aarhus Üniversitesi Biyoloji ve Kimya Mühendisliği Bölümü tarafından yürütülmektedir. Diğer katılımcılar Aarhus Üniversitesi Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Vestforbrænding, Dansk Affaldsminimering ve PLASTIX dir.

Teknoloji, plastiklerin bugün mümkün olandan daha saf bir kimyasal bileşime dayalı olarak ayrılmasını mümkün kılmaktadır. Teknoloji pilot ölçekte test edildi ve 2022 baharında PLASTIX ve Dansk Affaldsminimering Aps'de uygulanması planlanmaktadır.

Henüz yatırım sürecinde olan Bakcycle firması, tüm gelişkin mekanik geri dönüşüm teknolojilerini (optik ayırma, sıcak yıkama, lazer filtrasyon, koku giderme vb.) bünyesinde bulunduran, post consumer atıkları mekanik yolla geri dönüştürerek en yüksek kalite geri dönüştürülmüş malzemeye ulaşmayı hedefleyen bir ileri geri dönüşüm yatırımdır.

Ürünlerin dijital pasaportlarının oluşturulduğu R-Cycle organizasyonu ise üretilen ürünlerin tüm üretim aşamalarını kayıtlarını kullanarak en verimli şekilde geri dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Sistem verilerini kullanarak ürünü kamera veya barcode ile tanımladıktan sonra içerik bilgisine

göre geri dönüşümü doğru şekilde yapmaya amaçlayan bir altyapı olarak çalışmalara başlamıştır. Firmaların bu platform altında toplanarak ürünlerin izlenebilirliği sayesinde ayrıştırmayı doğru şekilde yapılmasını sağlayacak veri tabanını kullanmaktadır. Platformu destekleyenler içinde plastik üreticileri, geri dönüşüm firmaları bulunmaktadır. <https://www.r-cycle.org/>

1.1.b. Atıkların kirlenmeden toplanması ve sevkiyatına yönelik yeni sistemlerin geliştirilmesi, geri dönüştürülen atıkların izlenmesine yönelik sistemlerinin geliştirilmesi

Tüm ürünlerin toplandığı yerler ile beraber operasyon, yapay zeka ve kullanıcı alışkanları ile beraber sürekli öğrenme metodu kullanılarak en optimum seviyelere anlık ve canlı veri girişi ile beraber sürekli olarak sağlanabilir. Toplama operasyonlardaki saha yazılımı sevkiyatların bu alandaki maliyetlerini minimize edebilir, en yüksek karlılık buna ek toplama alanlarında en etkin çözümleri sunabilmektedir.

Saha uygulamalarında birçok farklı ülkeden dijital çözüm önerileri bulmak mümkündür. Yazılım ve uygulama örnekleri ile görülmektedir.

Buna örnek olarak Getir uygulamasının yaptığı gün içi yeni haritalama ile beraber araçlarda yeni yolların ve ara sokakların başarılı işlem oluşması sonrası da rotaya ve optimum rota oluşturabilme için gün sonunda database için otomatik eklenmesi gösterilebilir. Tüm ürünlerin baştan sona süreçleri kullanımı & tüketimi yapıldığı daha sonra da ürünün son bulunduğu dönüşüm merkezlerine kadar atık kimliği gibi uçtan uca yapı ile geniş veri (big data) işlenebilir hale getirilmektedir.

Ayrıca atıkların sahada toplanması için karekod okuma sistemleri ile 'Nereye Atayım' uygulaması gibi atık rota optimizasyonu ve toplama verileri metrik olarak alınabilmektedir. (THS 7 -9)

Bu uygulamalar tüketici davranışlarının olumlu tarafa çekilebilmesi için kolaylaştırıcı, bilgilendirici ve teşvik edici olarak kurgulanabilmektedir.

1.1.c. Dekontaminasyon sistemlerinin geliştirilmesi

Dünyadaki ve Türkiye'deki THS seviyesine ilişkin somut örnekler,

- İspanyol Cadel Deinking firması Avrupa Birliği projesiyle geliştirmiş olduğu plastik atıklarda boya ve mürekkep giderimi üzerine geliştirmiş olduğu teknolojiyi patent haklarını alarak THS 9 seviyesinde tamamlamıştır. Hem geri dönüşüm parkurunu hemde boya ve mürekkep gideriminde kullanılan çözücü sistemini ticari olarak satışını gerçekleştirmektedir.

- Diğer taraftan plastik ambalajlar için mürekkep üreten Alman Siegwark firmasında plastik atıklardaki boya ve mürekkep giderimi üzerine kendi çözücü sistemini 2022 yılı içerisinde lansmanını gerçekleştirmiştir.

Dünyadaki başarılı girişimler ve örnekler

- Cadel Deinking (İspanya)
- Siegwark (Almanya)

1.1.d. Depozito yönetim sistemine destek sağlayacak teknolojilerin (otomatik depozito iade ve ayrıştırma makineleri vs.) geliştirilmesi

Özellikle DİM ve sayma merkezleri konusunda önemli Ar- Ge ve firmaların dünyaya ek olarak ülkemizde de faaliyet göstermektedir. Birçok yerli üretim firması ile de hazırlık seviyeleri ve pilot uygulamalar görülmektedir. Depozito İade Makinelerinin ülkemizde firmalar tarafından geliştirilmesi ve üretimleri başlamış bulunmaktadır.

Bu noktada ülkemiz için yatırım ve pilot çalışmalar ile DİM için belli başlı firmalar aşağıdaki sıralanabilir.

ACO Recycling, AKE Çevre Teknolojileri, GDS Geri Dönüşüm Sistemleri, RVM Systems, TOMRA Collection Turkey, ÜÇGE Mağaza Ekipmanları. İlgili firmalar ile üretim ve ürün çeşitlilikleri incelemeleri yapılabilir. THS 7 -9

Akademik çalışmalar ve proje çalışmaları için Ajans ve İO Çevre Çözümleri danışmanlık firması örnek gösterilebilir.

1.1.e. Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesi

- Dünyadaki ve Türkiye'deki THS seviyesine ilişkin somut örnekler,
Her 3 hususta da dünyada THS 8 ve 9 seviyesine ulaşan uygulamalar vardır.
1 ve 2 nolu hususta, Türkiye'de THS 6 ve üzeri de mevcuttur. Bu konuda hususlarda yeni inovatif ve otomatik sistemleri içeren projelerin THS 7 ve üzeri olması beklenmektedir. 3 nolu konuda ise THS 4 ve üzerini hedefleyen projeler beklenmektedir.
- Dünyadaki başarılı girişimler ve örnekler
Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemler ve performansları çok çeşitli olabilir. Bu konuda aşağıdaki örnekler verilebilir:

- 1) Akarsulardan deniz ve göllere (görünür) makro-plastiklerin taşımının engellenmesi: Farklı özelliklerdeki bariyer sistemleri, birçok akarsu üzerinde kullanılmaktadır. Bunlardan en eski ve meşhuru Mr Trash Wheel (<https://www.mrtrashwheel.com>) olup, farklı özelliklere sahip akarsular için farklı özellikte bariyer sisteminin geliştirilmesi ve kullanılması önemlidir (<https://theoceancleanup.com/rivers/>). Bu sistemlerden bazıları Türkiye’de de kullanılmakta olup, farklı özellikteki akarsularımıza daha etkin sistemlerin geliştirilmesi beklenmektedir.
- 2) Sucul ekosistemlere karışmış olan makroplastiklerin geri kazanımı: Örneğin Ocean Clean Up gibi organizasyonlar (<https://theoceancleanup.com/oceans/>) okyanuslardaki büyük çöp kütlelerini toplamak için hemen her sene daha da geliştirilen otonom, yarı otonom veya otonom olmayan (ağ, bariyer veya optik algılama) sistemleri kullanmaktadır. Liman gibi çok daha küçük alanlar için kullanılan “seabin” gibi otonom sistemler de yaygınlaşmaktadır. (<https://seabinproject.com>). Üretim/geliştirme aşamasında olan farklı otonom deniz/göl yüzey çöp temizleme araçları da vardır.
- 3) Atıksu tesislerinden taşınan mikroplastiklerin geri kazanımı: Çamaşır makinalarından kaynaklanan mikroplastiklerin tutulması için yıkama sırasında ya da makine çıkışında filtasyon sırasında kullanılan bazı dizaynlar var olup (Napper vd. 2020) bunların daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Atıksu tesislerinin çıkış sularında mikroplastiklerin tutulması için de (örn. filtrasyon ve elektrofiltrasyon/elektrokoagülasyon) AR-GE araştırmaları mevcuttur [25].
3 nolu hususla ilgili, ayrıca çamaşır makinalarında, çıkış suyuna filtrasyon ya da çamaşır makinası içine konabilen fiber tutucu dizaynlar da mevcuttur.

Türkiye’de başarılı örnek ve girişimler:

1 nolu hususta: Antalya'nın Kemer ilçesinde yer alan "Atık Tutucu Sistemi" ve diğer uygulamalardan bazıları (<https://www.youtube.com/watch?v=6rY89MwqGxl&t=411s>) ve (<https://mavideniz.com.tr/our-production/oil-boom-barrier/trash-boom-debris-boom/river-trash-barrier/>) linklerinde. 2 nolu hususta geleneksel deniz yüzeyi temizleme araçları mevcut ise de bu araçların insan gücüne dayalı olmayan automated sistemler olarak geliştirilmesi/kullanımının yaygınlaştırılması önemlidir.

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Bir Araya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

Kimya mühendisliği, Kimya bölümü akademisyenleri, Kimya mühendisleri, Kimyagerler ve Çevre mühendisleri görev yapmalıdır. Atık plastik ileri dönüşümü için en başta mühim olan atık plastik ayrı toplanmasının başarılmasıdır. Yerel yönetimler ve denetim için İl Çevre, Şehircilik

ve İklim Değişikliği Müdürlükleri görevde olmalıdır. PAGEV ve PAGDER, TKSD, TİM İKMİB önemli paydaşlardır. Atık iş dünyası kimya sektörü ile birlikte çalışmalıdır.

- İnfomal atık toplayıcılarının temsilcileri,
- Yerel yönetimler,
- Toplama ayırma tesisleri ve diğer geri dönüşüm tesisleri
- Nesnelerin interneti temelli sistemlerin geliştirilebilmesi için IT şirketleri
- Geri dönüşüm tesislerinde meydana gelen yangınların önlenmesi için İş sağlığı ve güvenliği kurumları

1.1.a. Hammadde tasnif sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hassas dedektörler ve seperatörler ile ilgili araştırmalar yapılması

Üniversiteler, elektrik elektronik mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, makine mühendisliği, kimya mühendisliği ve metalurji ve malzeme mühendisliği, özel sektör kuruluşları (plastik sınıflandırma makinaları, dedektör, kamera ve/veya yazılımı, seperatör üreticileri vb.)

1.1.b. Atıkların kirlenmeden toplanması ve sevkiyatına yönelik yeni sistemlerin geliştirilmesi, geri dönüştürülen atıkların izlenmesine yönelik sistemlerinin geliştirilmesi

Atık Yönetimi birçok sektör ile yatay olarak temasta bulunması nedeni ile özellikle sanayi ve kamusal alan çalışmalarında birçok disiplin ile çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların tamamında ana sanayiye ek olarak, kamu ve yerel yönetimlerin Kaynakta Ayrı Toplama (KAT) uygulamalarında iş birliği süreçleri görülmektedir.

Akademik çalışmalar ve üniversite çalışmalarında; kontaminasyon, rota optimizasyonu ve ulusal/uluslararası hukuk süreçleri çalışabilmektedir. Bu noktada olası uluslararası mevzuat/düzenlemeler için birçok farklı uluslararası kurum, özellikle AB düzenlemeleri takip edilmelidir. Bu takip ile iş birliği süreçleri ve uluslararası STK işbirlikleri güçlendirilmelidir. (TÜDAM Değerlendirilebilir Atık Malzemeler Sanayicileri Derneği ...)

Mühendislik Fakülteleri ve meslek odaları ile çalışmalar Çevre Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Makine Mühendisliği ve Bilişim Sektörü ile disiplinler arası çalışmalar yapılabilmektedir. Ek olarak enerji verimliliği için akademik çalışmalar yapılabilir. Saha uygulama, mevzuat ve finansman modelleri için çevre hukuku, vergi uzmanlıkları ve yatırım uzmanlıkları ile de işbirliği süreçleri gereklidir. Tüketici davranışları için sosyolojik çalışmalar yapılabilir.

Kaynakta Ayrı Toplama (KAT) uygulamaları için kamu ve akademik çalışmanın yanı sıra yerel ve ulusal atık üreticileri paydaş olabilmektedir. Ana sanayi ve atık yönetimi sektörünün bir

arada çözüm üretebilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca Bakanlıklar arasında disiplinler arası çalışma ile atık yönetiminde, tüketici davranışına kadar çalışmaları çeşitlendirmek gereklidir.

OSB ve İhtisas OSB çalışmaları sonucu teknolojik gelişim ve mekânsal planlama sektörü bir araya getirebilmektedir.

Ülkemiz için sektör temsilci STK kuruluşları ve yatırımı yapabilir sanayi/girişimcilerin finansal modeller ile desteklenebilir. Finansman modelinin önem kazanması ile kamu ve özel finansmana erişim noktaları için finansman modeli ve kuruluşları ile çalışma yapılmalıdır. EPRD, Kalkınma ajansları, yeşil teknoloji/dönüşüm için finans kuruluşları ve ana sanayi ihtiyacına yönelik taleplere bağlı destekler örnek olarak verilebilir.

1.1.c. Dekontaminasyon sistemlerinin geliştirilmesi

Polimer malzeme mühendisliği, kimya ve makine mühendisliği disiplinlerinin bir araya gelerek plastik malzemelerin üretiminde kullanılan kimyasalların belirlenmesi, uygun dekontaminasyon sıvılarının geliştirilmesi, makine parkurunun devreye alınması için bu üç disiplinin iş birliği gerekmektedir.

Plastik, kimya ve geri dönüşüm makineleri üreticilerinin bir arada çalışması gerekmektedir

Plastik sektörden plastik parçaların üretimi ve kullanımı sırasında oluşacak kirliliklerin belirlenmesi, kimya firmalarından potansiyel dekontaminasyon sıvılarının ve çalışma koşullarının optimizasyonu, geri dönüşüm makine üreticilerinden de dekontaminasyon hattının devre alınması ve işletilmesi konularında katkılar alınmalıdır.

1.1.d. Depozito yönetim sistemine destek sağlayacak teknolojilerin (otomatik depozito iade ve ayrıştırma makineleri vs.) geliştirilmesi

Atık Yönetimi bölümü (1.1.b) ile açıklamaya çalışılan disiplinler arası çalışmalar, uzmanlıklar ve meslek çalışmaları bu bölüm için de geçerliliği sürdürmektedir. Ek olarak kamu çalışmalarına ek olarak Ajans çalışmaları ve iş birlikleri görülmektedir.

Bu sürece ek olarak kamusal iade noktaları için geniş kurum/kuruluş çalışması görülmektedir. Önemli çalışma alanlarından birisi de perakende satış noktaları olarak görülmektedir. Ülkemiz için süre gelen proje ve akademik çalışmalar görülmektedir.

Uluslararası tecrübeye sahip firmalar ve STK çalışmalarına ek olarak, DYS ile ilgili uzun dönem tecrübeye sahip yabancı kamu/kurumlarla bir arada çalışılabilir ve katkı sunabilir olarak görülmektedir.

Ek olarak servis sağlayıcılık ve uzmanlık önemli parametre olarak görülmektedir.

1.1.e. Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesi

Bu kapsamda özel sektör (örn. gemicilik, optik algılama, çamaşır makinası üreticileri vb.), Belediyeler, Tarım ve Orman Bakanlığı (balıkçılığa etkiler açısından), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Devlet Su İşleri (DSİ) ile makine mühendisliği, çevre mühendisliği, deniz bilimleri ve veri bilimleri gibi bölümler başta olmak üzere üniversiteler bir araya gelmeli ve işbirliği yapmalıdırlar.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması

1.1.a. Hammadde tasnif sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hassas dedektörler ve seperatörler ile ilgili araştırmalar yapılması

Atıkların temiz ve sınıflandırılmış toplanması için öncelikle halka eğitimler verilmelidir. Bu konularda gerekli makine teçhizatın geliştirilmesi ve enerji tasarrufuna yönelik çalışmalarda çok disiplinli işbirliği modelleri desteklenmelidir. Aynı hedefe yönelik ayrı yürüyen projeler desteklenmelidir.

1.1.b. Atıkların kirlenmeden toplanması ve sevkiyatına yönelik yeni sistemlerin geliştirilmesi, geri dönüştürülen atıkların izlenmesine yönelik sistemlerinin geliştirilmesi

Ülkemizde Kaynakta Ayrı Toplama (KAT) uygulamaları için yerel yönetimler ve sektör temsilcilerin birçok farklı proje başlığı altında birlikte çalışması mümkün olmaktadır. Bu noktada ortak proje sayılarının az olması AB projeleri, kalkınma ajansı destekleri, Geri Kazanım Katılım Payı (GEKAP) yükümlülüğünün saha uygulamaları ve iyi örnek uygulamalarını desteklemesi ve TÜBİTAK destek projeleri ön plana çıkarılmalıdır. Atık yönetimde sürdürülebilir ve teknolojik alt yapı ile çalışmalarının devamı için Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (GÜS) önem kazanmaktadır. Uluslararası örneklendirmeler ve raporlamalar ile desteklenme çeşitlenebilmektedir.

Ana sanayinin, üretim ve taahhütlerini yerine getirebilmesi için akademik ve geri dönüşüm/kazanım sektörü ile çalışmaları gerekmektedir. Bu noktada ihtiyaç duyulan hammadde/ara hammadde için mühendislik çözümleri ve yatırım/teşvik süreçleri için temsilcileri bir arada çalışılmalıdır.

Birçok farklı STK ile platformlar oluşturulabilir, Döngüsel Ekonomi üst başlığı ile ekonomik ve üretim teknikleri için sektör STK kuruluşları, TOBB ve Bakanlık çalışmaları ortak yapılmalıdır.

Teknoloji platformları geliştirilmeleri bulunmaktadır. SKD, TOBB İklim ve Çevre Portalı ve ilgili kamu kurum/başkanlıkların portalları örnek olarak verilebilir. Sektör STK'ları ile Atık borsası ve

çözüm ortağı platformların geliştirilmesi için projelendirme bahsedilen tüm destekler ile uygun görülmektedir.

TÜDAM Derneği döngüsel ekonomi çatı veya üst kuruluşu olarak çalışmalarına devam ederek, bu alanda geniş katkı sunmayı hedeflemektedir.

Destek mekanizması; ayrı yürüyen projeler ile sağlanabilir. Bu projeler akademik çalışma ve sektör buluşması ile olmalıdır. Ek olarak yerel yönetimler ve uluslararası kurum/kuruluşlar paydaş ya da ana yüklenici olarak projede yer alabilir.

Destek mekanizması için Saha uygulamalarında (Toplama); küçük ve orta ölçekli Ayırma ve ek olarak pilot projelerde orta ölçekli destek.

1.1.c. Dekontaminasyon sistemlerinin geliştirilmesi

Büyük ölçekli sanayi kuruluşların, KOBİ'lerin ve üniversitelerin bir araya gelmesiyle proje ekipleri oluşturulması gerekmektedir. Üniversitelerde gerçekleştirilen yüksek lisans/doktora çalışmaları büyük ve küçük ölçekli sanayi kuruluşlarının ihtiyaçları dikkate alınarak kurgulanmalı ve Üniversite-Sanayi işbirliği destekleri artırılmalıdır. Laboratuvar aşamaları tamamlanan çalışmaların üretime taşınması sırasında Üniversite-Sanayi işbirliği önem arz edecektir.

1.1.d. Depozito yönetim sistemine destek sağlayacak teknolojilerin (otomatik depozito iade ve ayırma makineleri vs.) geliştirilmesi

Yine bu bölümde Atık Yönetimi bölümü (1.1.b) ile açıklamaya çalışılan disiplinler arası çalışmalar, uzmanlıklar ve meslek çalışmaları bu bölüm için de geçerliliği sürdürmektedir. Ek olarak kamu çalışmalarına ek olarak Ajans çalışmaları ve iş birlikleri görülmektedir.

Operatör belirlenmesi ile saha yönetim sistemleri için dijital çözümler önemli çalışma alanı olarak görülmektedir. Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge çalışmalarının tamamı bu bölümde kullanılabilir. Manuel toplama sistemleri için etkin ve hızlı çözümler ve paydaş analizleri önem kazanmaktadır. DBYS ve DSYS için güncellemeler ve iyileştirmeler orta vadeli olarak görülebilmektedir.

Depozito İade Makineleri ve Doğrulama Tesisi DBYS Entegrasyon gereklilikleri üzerinde çalışma ve paydaş analiz yine öngörülmektedir.

Etiketleme-barkod sistemleri ile piyasa süren olarak ifade edilen dolum merkezleri ve ambalaj sanayii önemli bir paydaş olarak görülebilir. İş birliği süreçlerinde yer alabilmektedir.

Destek mekanizması Atık Yönetimi bölümü (1.1.b) ile açıklamaya çalışılan alanlara benzer göstermektedir. Ancak ek olarak DYS içerisindeki süreç ve finansman modelinin gelişmesi ile

kendi süreci içinde desteklenebilir. Ek olarak Türkiye Çevre Ajansı (TÜÇA) ana paydaş olarak kabul edilebilir.

Teknoloji ve tesis yatırımı için; orta ölçekli ve büyük ölçekli desteklerin düşünülmesi gerekliken, tüketici davranışlarını ve hareketlerini araştıran projeler için küçük ölçekli destekler yeterli olacaktır.

1.1.e. Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesi

Projelerin multidisipliner yapıda olması ve proje kapsamında yukarıda belirtilen özel sektör (örn. gemicilik, optik algılama, çamaşır makinası üreticileri vb.), Belediyeler, Tarım ve Orman Bakanlığı (balıkçılığa etkiler açısından), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Devlet Su İşleri (DSİ) ile makine mühendisliği, çevre mühendisliği, deniz bilimleri ve veri bilimleri gibi bölümler başta olmak üzere ancak bunlarla kısıtlı olmayıp tüm bu kurum ve kuruluşlar bir araya gelmeli ve işbirliği yapmalıdırlar.

Projenin Ar-Ge kısmı için orta ölçekli iş birliği proje destekleri TÜBİTAK tarafından fonlanmalıdır.

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

(Kısa Vade: 1-3 yıl, Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla)

1.1.a. Hammadde tasnif sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hassas dedektörler ve seperatörler ile ilgili araştırmalar yapılması

Hammadde tasnif sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hassas dedektörler ve seperatörler konusunda Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 2-3 yıllık süre yeterli olacaktır. Ar-Ge çalışmaları için kısa ve orta vadeli proje çağrılarının planlanması uygun olacaktır. Ar-Ge çalışmaları için proje başına 1-3 Milyon TL bütçe verilmesinin de uygun olacağı tahmin edilmektedir.

1.1.b. Atıkların kirlenmeden toplanması ve sevkiyatına yönelik yeni sistemlerin geliştirilmesi, geri dönüştürülen atıkların izlenmesine yönelik sistemlerinin geliştirilmesi

Süreç çalışmaları, katkı sunulacak proje ve regülasyonlar ile çeşitlilik gösterilebilmektedir. Yukarıda belirtilen mevzuat uygulama ve tüketici davranışları için sürenin yanı sıra mevzuata bağlı takvim ve yükümlülüklerin yerine getirilmesi ile örneklendirilebilir. Sıfır Atık Yönetmeliği takvim süreçleri örnek olarak verilebilir.

- Saha uygulamaları ve Kaynakta Ayrı Toplama (KAT) çalışmaları için etkin atık yönetimi dijital çözümler; kısa ve orta vadeli olarak planlanabilmektedir. Bu planlama ile kısa ve orta vadeli ölçme-değerlendirme süreçleri ile tamamlanabilmektedir.
- Tesis/Proses yatırımları finansman modelin geliştirilmesi orta ve uzun vadeli olarak planlanabilmektedir. Tesis modernizasyonu ve ilk yatırım ile sırası ile orta ve uzun vadeli olarak görülmektedir. İhtisas OSB ve mekânsal planlama süreçleri uzun vadeli olarak görülmektedir.
- Dijital çözümler ve saha uygulama örnekleri için bölgesel ve kapsam genişliği bütçe çalışmasında etkili belirleyici olmaktadır. Tüketici ve yerel yönetim işbirliği ile ilgili süreçlerde ilk yatırım ile 500.000 TL değer ile yatırım planlanabilmektedir. Toplama ekipman ve araç desteklerinin kapsama bağlı olarak artışı eklenmelidir.
- Tesis projeleri için kapasitenin yanı sıra AR-GE geliştirilmeleri ile ana sanayi ve ihracat taleplerine karşılık önemli yatırım değeri oluşabilmektedir. (Bu değerler 25 milyon dolar seviyesine ve üstüne ulaşabilir)
- Dijital çözümler ve saha uygulama örnekleri için bölgesel ve kapsam genişliği bütçe çalışmasında etkili belirleyici olmaktadır. Tüketici ve yerel yönetim işbirliği ile ilgili süreçlerde ilk yatırım ile 500.000 TL değer ile yatırım planlanabilmektedir. Toplama ekipman ve araç desteklerinin kapsama bağlı olarak artışı eklenmelidir. (1 – 3 yıl)
- Tesis projeleri için kapasitenin yanı sıra AR-GE geliştirilmeleri ile ana sanayi ve ihracat taleplerine karşılık önemli yatırım değeri oluşabilmektedir. (Bu değerler 25 milyon dolar seviyesine ve üstüne ulaşabilir. Uzun vadeli)

1.1.c. Dekontaminasyon sistemlerinin geliştirilmesi

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 1-5 yıllık süre yeterli olacaktır. Atık plastiklerin üzerindeki dekontaminasyon Ar-Ge çalışmaları için kısa ve orta vadede sonuç alacak şekilde planlanması uygun olacaktır. Temel ve uygulamalı Ar-Ge çalışmaları için proje başına 1-5 Milyon TL; prototip ve ürün odaklı yenilik projeleri için proje başına 1-10 Milyon TL bütçe verilmesinin uygun olacağı tahmin edilmektedir.

1.1.d. Depozito yönetim sistemine destek sağlayacak teknolojilerin (otomatik depozito iade ve ayrıştırma makineleri vs.) geliştirilmesi

DYS ile ilgili olarak 2023 yılı içerisinde başlayacak olması ve paydaş analizleri nedeni ile kısa ve orta vadeli olarak proje planlaması yapılması uygun olabilmektedir. Ancak tesis ve süreç iyileştirmeleri ile uzun vadeli Ür-Ge çalışmaları yapılabilir. Ek olarak uzun vadeli sözleşmeler ve iyileştirmeler ile dijital çözüm ve gelişimler planlanabilir.

Tesis/Proses yatırımları finansman modelin geliştirilmesi orta ve uzun vadeli olarak planlanabilmektedir. Yenilikçi çözümler ve patent süreçleri için desteklemeler yapılabilir.

Ürünlerin İhracat süreçleri ve yıllık yüksek rakamlara ulaşabilme potansiyeli nedeniyle ihracat desteklerinden de faydalanılabilir.

DSYS için çok yüksek lojistik maliyeti ve ilk yatırımları ülke geneline yayılması ile hesaplanabilir. Teknolojik ürün yatırımları için yine tesis/ürün geliştirme için önemli yatırım değerleri gerekmektedir. Demonstrasyon ve pilot çalışmalar daha önce belirttiğimiz destekler ile sağlanabilir.

1.1.e. Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan atıkların toplanmasına yönelik sistemlerin geliştirilmesi

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesi için 2-3 yıllık süre yeterli olacaktır. Atıkların sucul ekosistemlere karışmasını engelleyici ve sucul ekosistemlere karışmış olan plastiklerin toplanması Ar-Ge çalışmaları için kısa vadeli proje çağrılarının planlanması uygun olacaktır. Ar-Ge çalışmaları için proje başına 2-5 Milyon TL bütçe verilmesinin uygun olacağı tahmin edilmektedir.

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

Üretim, kamu ilişkileri, akademik çalışmalar ve insan kaynağı konularında yeterli altyapı ve nicel veriler görülmektedir.

Finansman modeli, atığa erişim ve alt yapı – düzenleme konularında eksiklikler üzerinde çalışma yapılmalıdır.

- İlgili tüm atık yönetiminde öncelikle sürdürülebilir, kurumsal ve finansman modeli belli sistemler için kamu çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu duruma ek olarak bakanlık ve yerel yönetimlerin iş birlikleri ile tüketici davranışlarının üzerinde çalışılması ve uzun dönemli sözleşme gereklilikleri görülmektedir.
- Üretim ve sertifikasyonlar ile ilgili ek adımlar gerekmektedir. Ana sanayi talepleri, mühendislik plastiklerinin üretimi ve kontaminasyon konularında ek olarak test merkezleri ve İhtisas alanı mekânsal planlamalar yapılabilir. Gelecek dönem sanayide dönüşüm ile ilgili karbon piyasaları, atık azaltımı, tüketici/tüketim sonrası (post consumer) atık yönetimi ve üretimler için sertifikasyon eklentileri gerekebilmektedir. Dijital çözümler için ise test yeterli görülmektedir.

- Teşvik süreçleri; yukarıda belirttiğimiz üzere mekanizmalar ile yapılabilir. Uluslararası düzenlemelerin uyum ile hızlandırılabilir.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından, atıkların toplanması, yurtdışından gelen atıkların kontrol mekanizmasının oluşturulması, varsa karışık gelen dönüştürülemez ve mevzuata uygun olmayan polimer esaslı atıkların ithalinin durdurulması, polimer esaslı atıklar konusunda mevzuatlar, yönetmelikler, standartlar, deneysel çalışmaların hangilerinin nasıl yapılacağı konusunda incelemeler yapması ve ülke geneline duyurması, gömme ve yakma yerine geri dönüşümün %70 oranına çıkartılması için hedeflerin konması, bir ürün üretilmeden önce geri dönüşümünün planlanması için yeni kurulacak işletmelere ikazda bulunması veya ön şart koşması beklenmelidir.

DYS ile ilgili olarak kamu tarafından gerekli adımlar (Ajans) sürece yönelik devam etmektedir. Ek olarak saha uygulamalarında operatör çalışmalarının denetimi, iade noktaları için ek düzenlemeler ve yerel yönetim desteklerinin sağlanması ifade edilebilir. Sistemin desteklenebilmesi için finansman modelinin sürdürülebilir olarak tanımlanması önemlidir.

Teknik Altyapılar

Yetersiz alanlarda üretim, test ve sertifikasyon altyapıları yenilenmeli, eksikler tamamlanmalıdır. Üniversitelerde ve sanayide yeterli sayıda ve ihtiyaç duyulan yetkinlikte insan kaynağı mevcuttur. Araştırma ve yenilik projelerine önem verilmelidir.

Teknolojik çalışmalar ve ekipmanlar için altyapı çalışmaları yeterli olarak görülmektedir. Süreçlerin belirlenmesi ile altyapı ihtiyaçları görülebilmektedir. Test ve sertifikasyon süreçleri ile ilgili sektör tarafından eksiklik görülmemektedir. Servis sağlayıcılık ve standardizasyon için ek çalışmaları tanımlanabilir.

Belediyeler, atıkların ayrı toplanması için gerekenleri yapmalıdır (değerlendirilebilir atıklar için ayrı konteynerlerinin ayrı kamyonlarla toplanması, sınıflandırılması veya sınıflandıracak özel sektöre sevk edilmesi gibi bu konuda gelişmiş ülke örnekleri alınabilir.)

İnsan Kaynakları

Yetkin insan; üretim için yetkinlik görülmektedir. Saha uygulamaları ve iade noktaları için insan kaynağı planlaması gerekmektedir. Akademik çalışmalar süreklilik halindedir.

Devlet ve özel üniversitelerinden, akademik araştırma ve yenilik çalışmaları yapmaları, sanayi işbirliği ile sektöre yeni teknolojilerin ve nitelikli iş gücünün farklı seviyede ve alanlarda kazandırmaları, danışmanlık hizmeti vermeleri ve ilgili alanlarda Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritasının her adımında yer almaları beklenmelidir.

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı tarafından tüm seviyedeki öğrencilerin eğitilmesi için hazırlık yapılması gerekmektedir.

Destek ve Teşvikler

Finansman modelinin DYS içinde kendini belirlemesi planlanmaktadır. Atık yönetimi bölümünde (1.1.b) belirtilen teşvik ve finansman modelleri ek olarak uygulanabilir. Uluslararası finansman ve hibe sistemleri de devreye alınabilmektedir. Ek olarak hammadde için geri dönüşüm tesisleri finansman modeli içerisinde yer alabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Plastics The Facts 2022. “<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>”, Erişim tarihi: 16.01.2022
- [2] Demirci, B. 2022. “Türkiye Plastik Sektörü 2021 Gerçekleşmeleri ve 2022 Beklentileri”, <https://pagev.org/upload/files/T%C3%BCrkiye%20Plastik%20Sekt%C3%B6r%C3%BC.pdf>, Erişim tarihi: 16.01.2022.
- [3] <https://www.chemlife.com.tr/plastik-uretimi-2019da-miktarda-yuzde-34-artti>, Erişim tarihi: 16.01.2022.
- [4] <https://www.csb.gov.tr/geri-donusumle-4-ayda-93-bin-ton-plastik-atik-ekonomiye-kazandirildi-bakanlik-faaliyetleri-29768>, Erişim tarihi: 16.01.2022.
- [5] Önder, H. 2018. “Sürdürülebilir Kalkınma Anlayışında Yeni Bir Kavram: Döngüsel Ekonomi”, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, sy 57, ss. 196-204, Available: https://dergipark.org.tr/dpusbe/issue/38899/416907#article_cite.
- [6] Keleş, S. Ş. 2022. “Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi ve Türkiye'deki Çalışmalar”.
- [7] Veral, E. S. 2018. “Döngüsel Ekonomiye Geçiş Doğrultusunda Yeni Tedbirler ve AB Üye Ülkelerinin Stratejileri”, Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi, c. 17, sy 2, ss. 463-488, doi: 10.32450/aacd.51.
- [8] European, T. ve Deal, G. 2019. “Resource.Html”, Available: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:208111e4-414e-4da5-94c1-852f1c74f351.0004.02/DOC_1&format=PDF.
- [9] E. E. A. (EEA). 2022. “Circular material use rate by EU country, 2010 and 2020”.
- [10] Baki B. ve Cengiz, E. 2002. “Baki ve Cengiz, Toplam Kalite Çevre”.
- [11] http://www.standartkalite.com/iso9001_terimleri.htm S. E. T. 16. 12. 2021 Standard Kalite, “No Title”, Standard Kalite, http://www.standartkalite.com/iso9001_terimleri.htm Son Erişim Tarihi: 16.12.2021.
- [12] Aydın, Ö. 2019. “Organize Sanayi Bölgelerinde Çevresel Bilgi Sistemlerinin Uygulanabilirliği: İstanbul Tuzla Organize Sanayi Bölgesi Web Tabanlı Çevresel Bilgi Sistemi Örneği”, Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- [13] “What a Waste 2.0”. 2022. Available: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2174>.
- [14] “Türkiye'de Plastik Atık Sorunu ve Politika Önerileri”, 2022. Available: www.wwf.org.tr.

- [15] Dalberg Danışmanlık Int. 2019. Plastik Kirliliğini Hesap Verebilirlik Yoluyla Çözmek, WWF International, Gland, Switzerland.
- [16] Bulat, F.N. ve Kılınc, B. 2020. “Effects of plastics and microplastics on aquatic organisms and human health”, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, c. 37, sy 4, ss. 437-443, doi: 10.12714/egejfas.37.4.16.
- [17] Yabancı, M., Yozukmaz, A., Şener, İ., ve Ölmez, Ö. T. 2019. “Microplastic pollution at the intersection of the Aegean and Mediterranean Seas: A study of the Datça Peninsula (Turkey).”, *Mar Pollut Bull*, c. 145, ss. 47-55, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.05.003.
- [18] Invest Araştırma, 2019. “Geri Kazanım Sistem Tasarımı Uluslararası Uygulama Örnekleri”, Ankara.
- [19] Sherrington, C., Cordle, M., Elliott, L., Kelly, J., Kemp, S., Lugal, L., Woods, O. 2019. “A DRS for Turkey Final Report for Reloop & ISBAK Mark Cordle”.
- [20] “WWF-Türkiye-Boston Consulting group (BCg) İşBirliğiyle hazırlanan ortak model tasarımı çalışması”.
- [21] Geyer, R. 2020. “Production, use and fate of synthetic polymers in plastic waste and recycling. In *Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions*”, Letcher, T.M. (ed.), Cambridge, MA: Academic Press, 13-32.
- [22] González-Fernández D., Cózar, A., Hanke, G., Viejo, J., Morales-Caselles, C., Bakiu, R., Barceló, D., Bessa, F., Bruge, A., Cabrera, M., Castro-Jiménez, J., Constant, M., Crosti, R., Galletti, Y. , Kideys, A.E., Machitadze, N., de Brito, J. P. , Pogojeva, M., Ratola, N., Rigueira, J., Rojo-Nieto, E., Savenko, O., Schöneich-Argent, R. I., Siedlewicz, G., Suaria, G., Tourgeli M. 2021. “Floating macro-litter leaked from Europe to the ocean”, *Nature Sustainability* 4: 474-483, <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00722-6>.
- [23] Vardar S., Onay, T. T. , Demirel, B., Kideys, A. E. 2021. “Evaluation of microplastics removal efficiency at a wastewater treatment plant discharging to the Sea of Marmara”, *Environmental Pollution* 289, 117862: 1-9.
- [24] Napper I.E. , Barrett, A.C., Thompson, R.C. 2020. “The efficiency of devices intended to reduce microfibre release during clothes washing”, *Sci. Total Environ.*, 738, Article 140412.
- [25] Akarsu C., Kumbur, H., Kideys, A. E. 2021. “Removal of microplastics from wastewater through electrocoagulation-electroflotation processes and membrane filtration process”, *Water Science and Technology*, 84(7), 1648.

[26] Beghetto, V., Sole, R., Buranello, C., Al-Abkal, M. and Facchin, M. 2021. “Recent Advancements in Plastic Packaging Recycling: A Mini-Review”, *Materials (Basel)*, 14(17): 4782. doi: 10.3390/ma14174782.

[27] <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/01/220105174109.htm>, Erişim tarihi: 16.01.2022.

Kritik Ürün/Teknoloji 1.2.

1.2. Plastik sektörü atıklarının mekanik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

- 1.2.a. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak uyumlaştırıcıların ve diğer katkıların geliştirilmesi**
- 1.2.b. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak proses tasarımlarının geliştirilmesi**
- 1.2.c. Tek kullanımlık plastik ambalajların tasarımları tek bir malzeme türüne çevirecek malzeme ve tasarım alternatiflerinin araştırılması**

Kritik Ürün/Teknoloji 1.2.

1.2. Plastik sektörü atıklarının mekanik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

Mekanik geri dönüşüm, plastiklerin molekül yapılarını bozmadan plastik atıklarından malzeme geri kazanımı metodudur. Bu geri kazanım sırasında molekül yapıları bozulmasa da zincirlerin kırılması mümkündür. Teorik olarak termoplastiklerin her türünün geri dönüşümü mümkün olmakla birlikte toplanan atıkların PET (%40), HDPE+LDPE (%22), PP (%10,2) ve PVC (<%2) ve PS (<%2)¹ gibi termoplastik malzemelerin mekanik geri dönüşümü daha idealdir. Özellikle temiz ve tek tip termoplastiklerin geri dönüşümü hem kolay hem de daha düşük maliyetlidir. Plastiklerin geri dönüşümünde en pratik ve maliyeti en düşük olan yöntem mekanik geri dönüşüm yöntemleridir. Yapılan araştırmaya göre dünyada plastiklerin %30'dan azı geri dönüşüm için toplandığı, toplanan plastik atıkların yaklaşık %16'sının geri dönüştürüldüğü, %25'inin yakılarak enerji üretiminde kullanıldığı ve %40'ının ise toprağa gömülerek bertaraf edildiği belirtilmiştir.

Termoplastik malzemeler tekrar eritilerek şekillendirilebildikleri için dönüşümü çapraz bağa sahip termoset malzemelerden farklıdır ve bu sayede tekrar bir hammadde olarak kullanılabilir. Ancak, termoset plastikler çapraz bağa sahip oldukları için mekanik olarak öğütülerek toz haline getirilerek dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler.

Atık plastiklerin mekanik geri dönüşüm süreci; toplama, ayıklama, temizleme, boyut küçültme ve ayrıştırma gibi safhalardan oluşmaktadır. Ayrıca, uyumsuz polimerlerin uyumlaştırılması işlemleri de sürecin bir parçasıdır.

Atık plastiklerin geri dönüşümünde en pratik, en düşük maliyetli ve çevreye en duyarlı yöntem mekanik geri dönüşüm metodudur. Bunun yanında mekanik özellikler, beklenen diğer fiziksel özellikler ve kalitenin düşük olması bu konu üzerinde iyileştirme ve geliştirmenin gerekli olduğunu göstermektedir. Mekanik dönüşüm hali hazırda yaygın olarak kullanılan bir geri kazanım yöntemi olarak kullanılmaktadır. Ancak, mevcut yöntemlerin daha verimli, tam otomasyon veya entegre tesis ve en önemlisi ise daha geniş kapsamlı plastik türlerinin geri dönüşümünün gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

¹ Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review

Plastik atıkların geri kazanımında mekanik dönüşüm metodu yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu geri dönüşüm sırasında bir takım sorunlar ve sınırlar bulunmaktadır. Bu hususta, mevcut sistemlerin yetersiz ve eksik olması ve entegre tesis ve ölçeğinin yetersiz kalmasıyla daha verimli sistemlere ve makinalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca hali hazırda mekanik geri dönüşüm yöntemleri ile geri dönüşüme tabi tutulan plastik türleri de tüm plastikleri kapsamamaktadır. Özellikle katkılı plastikler ve birden fazla dönüştürülmüş atık plastiklerin geri dönüştürülmesi önem arz etmektedir. Gerektiğinde mekanik dönüşüm metodu ile diğer yöntemler hibrid olarak kullanılabilir.

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

1.2.a. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak uyumlaştırıcıların ve diğer katkıların geliştirilmesi

Plastik sektöründeki mekanik geri dönüşüm süreçlerine dahil edilen atıklar, iki farklı grupta sınıflandırılmaktadır. Bunlar; sanayi firesi ya da tüketim öncesi (Pre-Consumer ya da Post-Product) plastik atıklar ve tüketim sonrası (Post-Consumer) plastik atıklardır.

Ülkemizde mekanik geri dönüşüm süreçlerinde, ağırlıklı olarak tüketim öncesi yani sanayi firelerinin kullanımı tercih edilmektedir. Çünkü sanayi kuruluşları, tüketicilerin aksine atıklarını ekonomik bir değer olarak görmekte ve tekrar kullanımlarını sağlamak için gerekli tüm süreçleri doğru bir şekilde yönetmektedirler. Bu şekilde doğru atık yönetim uygulamaları ile mekanik geri dönüşüm süreçlerine dahil edilen atıklar sayesinde istenilen teknik özelliklere sahip geri dönüşüm esaslı plastik hammaddelerin elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Fakat bu olumlu görünüme rağmen, sanayi firesi altındaki plastik atıkların geri dönüşüm süreçlerini zorlaştıran etkenlerde söz konusudur. Bu duruma, lamine ya da coex yapıya sahip ürünler örnek olarak gösterilebilir. Örneğin ambalaj sektöründe PP/PET ve PE/PET gibi ham maddelerin lamine edilmesi ile üretilmiş ürünler yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu ürünlerin atık konumuna ulaştıklarında, yapıları gereği ayrıştırılabilmeleri çoğunlukla mümkün olamamaktadır. Dolayısı ile geri dönüşüm oranları oldukça düşük seviyelerde kalmakta ve çoğu durumda geri dönüştürülemezler.

Ülkemizde atık toplama ve ayrıştırma süreçlerinin oldukça yetersiz olması sebebi ile tüketim sonrası atıkların mekanik geri dönüşüm süreçlerine dahil edilme oranları (PET gibi Polyesterler Hariç) ise sanayi firelerine nazaran oldukça düşük seviyelerdedir. Tüketim sonrası atıklar, genellikle insan iş gücü kullanılarak ayrıştırılmaktadır. Bu verimsiz yöntem ile istenilen yüksek saflıkta ayrıştırma yapmak mümkün olamamakta ve geri dönüşüme dahil edilecek atıkların içeriğinde, yüksek oranda istenmeyen organik yada inorganik bileşenler yer alabilmektedir. Örneğin LDPE, LLDPE ve HDPE hammaddeler ambalaj sektöründe yoğun olarak

kullanılmaktadır. Fakat bu hammaddeler ile üretilmiş atıkların manuel yöntemler ile yüksek kalite de ayrıştırılması mümkün değildir. Dolayısı ile LDPE ve LLDPE olarak ayrıştırılan atıkların içeriğinde, yüksek oranda bu hammaddeler ile uyumsuz olan HDPE, PP ve hatta bazen PET esaslı atıklar da yer alabilmektedir. Dolayısı ile bu atıkların geri dönüşümü ile mekanik özellikleri oldukça düşük ve kalitesiz hammaddeler elde edilmektedir.

Şu ana kadar özetlenen durum göz önüne alındığında, geri dönüşüm oranları arttırılmak isteniyor ise doğru atık yönetim süreçlerinin devreye ivedilikle alınması yanında, özellikle tek kullanımlık ambalajlar gibi hızlı bir şekilde atık konumuna dönen plastik mamullerin, geri dönüşümü mümkün bir yapıya (lamine olmayan) sahip olacak şekilde dizayn edilmelerinin teşvik edilmesi gerektiği açıktır.

Mekanik geri dönüşüm süreçlerinde hammadde olarak kullanılan atıklar ile ilgili bu özet bilgiler sonrası odaklanılması gereken diğer bir husus ise kullanılacak üretim ekipmanı özellikleridir. Mekanik geri dönüşüm süreçlerinde genel olarak tek vidalı ekstrüderler kullanılmaktadır. Bu ekstrüderler yapısı itibariyle plastikleri homojen bir şekilde ergitme işlevini yerine getirmekte ve istenilen her tür kapasitede üretim yapma olanağı sağlamaktadır. Fakat tek vidalı ekstrüderler ile gerçekleştirilen geri dönüşüm çalışmalarında, yapıya uyumlaştırıcı olarak girilmesi gerekli katkıların homojen bir şekilde dağılımını sağlamak mümkün olamamaktadır. Bu sorun büyük oranda ekstrüder tasarımları ile alakalı olup, üzerinde durularak geliştirilmesi gereken bir husus olarak öne çıkmaktadır. Çalışmaları ve teknolojik alt yapısı itibariyle TSH9 Seviyesinde gösterilen “Polipro Plastik Sanayi ve Dış Ticaret A.Ş” firmasının, bu sorunun çözümü için geliştirmiş olduğu mekanik geri dönüşüm süreçlerinde kullanılan tek vidalı ekstrüder sonrasına konumlandırılmış çift vidalı bir ekstrüder ilavesini içeren yenilikçi yaklaşımı, bu yönde teşvik edilmesi gerekli benzer araştırma ve geliştirme çalışmaları için iyi bir örnek teşkil etmektedir. Atık, Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm süreçleri bir arada değerlendirildiğinde, geri dönüşüm süreçlerinde kullanılacak uyumlaştırıcı ve/veya stabilizatör işlevli katkılarında büyük önem arz ettiği açıktır. Mekanik geri dönüşüm süreçlerinde, safsızlık yani uyumsuz bileşenleri ihtiva etmeyen plastik atıkların bulunması ve geri dönüştürülmesi neredeyse mümkün değildir. Gerek tüketim öncesi gerekse tüketim sonrası tüm atıklar, içeriği teşkil eden ana plastik ile uyumlu olmayan ve teknik özelliklerde kayıplara sebebiyet veren safsızlık olarak isimlendirilebilecek çeşitli fazlar içermektedir. Bu uyumsuzluğu ortadan kaldırmak amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar fiziksel (non-reaktif) ve kimyasal (reaktif) uyumlaştırma ismi verilen iki ana kategoride yürütülmektedir.

Fiziksel uyumlaştırma süreçlerinde, elastomerik ya da plastomerik özellikli plastikler ile desteklenmekte ve uyumsuz fazlar arasında esnek ara bölgeler oluşturulmaktadır. Bu kapsamda; EPDM, Stirenik Elastomerler (SEBS ve SBS esaslı), Etilen Octane Kopolimerleri gibi birçok farklı plastik kullanılmaktadır. Bu plastiklerin kullanımı ile uyumsuz fazlar arasında esnek, fiziksel bağdaştırma/uyumlaşma sağlayan ara bölgeler (fazlar) teşkil edilerek, faz

ayrımları nedeni ile olumsuz etkilenen mekanik ve teknik özellikler iyileştirilebilmekte ve istenilen özelliklere sahip ürünler elde edilebilmektedir.

Kimyasal uyumlaştırma süreçlerinde ise uyumsuzluğa neden olan fazlar arası ya da mekanik özelliklerin kötüleşmesine neden olan plastik zincirindeki bozulmuş bağların yeniden oluşturulmasına yönelik, bir nevi geri dönüşüm süreçlerinde gerçekleştirilecek kimyasal reaksiyonlar ile yeni bağların teşkil edilmesi sağlanmaktadır. Fakat bu uyumlaştırma işlemi, mekanik geri dönüşüm süreçlerinde kullanılan tek vidalı ekstrüderler vasıtası ile gerçekleştirilememektedir. Bu amaç ile tasarlanmış özel vida, kovan ve besleme konfigürasyonlarına sahip çift vidalı ekstrüderlerin kullanımı gerekmektedir. Örneğin elastomerik bir bileşen ile peroksit içerikli kimyasalların birlikte kullanımı ile ekstrüzyon içerisinde uyumsuz fazlar arasında kısmi çapraz bağlar elde edilmekte ve istenilen mekanik özellikler elde edilebilmektedir. Güncel çalışmalarda, plastiklerin kimyasal uyumlaştırma süreçlerinde titanat, zirkonat ve alüminat esaslı organometalik bileşiklerin kullanımının öne çıktığı görülmektedir. Bu organometalik bileşenlerin kullanımı ile çift vidalı ekstrüder içerisinde yeniden polimerizasyon yolu ile uyumsuz fazlar arasında yeni bağlar kurulabilmekte, böylelikle faz ayrımı nedeni ile bozulan teknik özellikler oldukça yüksek seviyelerde iyileştirilebilmektedir.

Atık yönetiminin doğru bir şekilde yapılması, geri dönüşüme uygun tasarımlara sahip plastik mamullerin kullanımı, geri dönüşüm için kullanılan mekanik geri dönüşüm süreçlerinin iyileştirilmesi şeklindeki çözümlerin bir arada gerçekleştirilebilmesi neticesinde, yapıya ilave edilmesi gerekli stabilizatörler, uyumlaştırıcılar ve diğer katkıların etkinlikleri de çok daha üst seviyede olacak ve geri dönüşüm oranları çok daha yüksek seviyelere çıkarılabilecektir.

Bu özet doğrultusunda, mekanik geri dönüşüm süreçlerinde kullanıma yönelik aşağıda maddeler halinde verilen uyumlaştırıcı ya da stabilizatör olarak görev yapan kimyasal ve/veya polimer yapıların ulusal ölçekli olarak geliştirilmesi ve üretilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu tip katkıların ülkemizde üretimi yoktur. Tamamen ithalat yolu ile tedarik edilmektedirler.

1. **Çeşitli Fonksiyonel Gruplara Sahip Kopolimer ya da Aşılınmış Polimerler:** Maleik Anhidrit gibi fonksiyonel kimyasal grupların aşılınmış olduğu PP ya da Elastomer esaslı katkıları yanında Etilen/N-Butil Akriyat/Glisidil Metakriyat terpolimerleri/kopolimerleri, mekanik geri dönüşüm süreçlerinde uyumlaştırıcı olarak kullanılacak önemli katkılardır. Örneğin otomotiv sektöründe araç içinde kullanılan tekstil kaplamaları, ekseriyetle PP üzerine PET esaslı elyafın/keçelerin laminasyonu ile elde edilmiş levhalarının termofom uygulamaları ile şekillendirilmeleri neticesinde üretilmektedir. Bu lamine yapıları ürünlerin fireleri ya da atıklarının geri dönüşümü ise yapıdaki birbirleri ile uyumsuz PP ve PET plastiklerinin ayrıştırılamaması sebebi ile mümkün olamamaktadır. Ayrıştırılmadan gerçekleştirilen üretimlerde ise kullanılabilir mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilememektedir. Lakin bu tip uyumsuz fazlar içeren atıklar, özellikle çift vidalı ekstrüderlerin yer aldığı mekanik geri

dönüşüm süreçlerine, PP-g-MA veya EPDM-g-MA gibi aşılınmış kopolimerler ile desteklenerek, tekrar kullanıma olanak sağlayacak teknik özelliklere sahip şekilde geri dönüştürülebilmeleri mümkün olabilmektedir. Bu husustaki çalışmalara, Hassan Tekstil A.Ş firmasının yürüttüğü, kendi PP/PET lamine atıklarının geri dönüşümünü ve tekrar kullanımını sağladığı firma içi projeleri örnek olarak verebiliriz. Buradan hareket ile atık içeriğinde birbirleri ile uyumsuz fazların uyumluluğunu sağlamayan yönelik sadece fonksiyon grupların yer aldığı (PP-g-MA gibi) aşılı kopolimerler kadar, ana zincir üzerinde farklı plastiklerin aşılandığı (PP-g-PET, PE-g-PP ya da PP-g-HDPE gibi) ürünlerin geliştirilmesi için teşvik edici desteklerin verilmesi gerektiğini söylememiz yerinde olacaktır. Bu tip aşılı plastiklerin kullanımı ile geri dönüşüm oranlarının ve kalitesinin çok daha fazla arttırılabilmesi mümkün görülmektedir. Fakat bu yöndeki çalışmalar sadece üniversite gibi bilimsel kuruluşlar tarafından yürütülmekte ve henüz ticarileşmiş bir başarılı örnek bulunmamaktadır.

2. **Neo Alkoks Titanatlar Ve Benzeri Organometalik Bileşikler:** Titanat esaslı bileşikler genelde kaplama ajanı olarak değişik sektörlerde kullanılmaktadırlar. Plastik sektöründe de repolimerizasyon işlevi ile uyumlaştırıcı/bağdaştırıcı olarak kullanımları mümkündür. Özellikle repolimerizasyon yolu ile birbirleri ile bağdaşmayan içerikteki plastikleri ve geri dönüşümün doğası gereği zincir yapısında meydana gelmiş deformasyonları, yeni bağların teşkil edilmesini sağlayarak uyumlu hale getirebilmektedir. Bu yöndeki çalışmalar, diğer uyumlaştırma çalışmalarına göre oldukça yeni çalışmalardır. Bu çalışmalarda ise oldukça muazzam sonuçların elde edilebildiği görülmektedir. Fakat bu katkılar, sadece uluslararası birkaç firmadan (Örneğin Kenrich Petrochemical ya da Nanjing Caputa Chemical) temin edilebilen, oldukça pahalı katkılardır. Bu veriler doğrultusunda, özellikle bu gibi organometalik bileşiklerin sentezlenmesi ve geri dönüşüm süreçlerinde kullanımı ile ilişkili, sanayi iş birliğini tesis edecek araştırma ve geliştirme çalışmalarına/projelerine öncelik verilmesi yerinde olacaktır.
3. **Elastomerler ya da Plastomerler:** Fiziksel uyumlaştırma çalışmaları kapsamında EPDM, SEBS, SBS ve Etilen-Octane gibi kopolimerleri gibi elastomerik ya da plastomerik yapıdaki plastikler yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu polimerlerin kullanımı sayesinde, içerikteki uyumsuz fazlar arasında, esnek/elastik ara bölgeler oluşturulmakta ve uyumsuzluklar büyük oranda giderilebilmektedir. Bu plastiklerin antioksidant ve UV gibi katkılar ile desteklenmesi le çok daha üst düzey özelliklere sahip, geri dönüşüm esaslı hammaddelerin elde edilebilmesi mümkündür. Fakat kimyasal uyumlaştırma süreçlerine benzer şekilde, çift vidalı ekstrüderlerin kullanımı ile bu üst düzey özellikler elde edilebilmektedir.
4. **Masterbatch Formunda Katkılar:** Çeşitli Plastomer, Elastomerler, Antioksidantlar ve UV katkılar gibi kimyasal bileşenlerin birlikte kullanımı ile üstün özelliklere sahip, geri dönüşüm ürünler elde edebilmek mümkündür. Fakat geri dönüşüm süreçlerinin yapısı nedeni ile çok

düşük oranda kullanılan bu katkıların homojen bir şekilde yapı içerisinde dağılımını ve etkin bir şekilde görev yapmasını sağlamak mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, içeriğinde birçok farklı bileşeni ihtiva edecek şekilde bütünleştirilmiş, geri dönüşüm sektöründe kullanıma yönelik masterbatch katkıların geliştirilmesi hususundaki çalışmalarında desteklenmesi yerinde olacaktır. Bu yöndeki çalışmalar ile yapı içerisinde kullanılan bileşenlerin birbirleri ile sinerjik etkileşimleri de kullanılarak, çok etkin uyumlaştırma amaçlı masterbatch katkıları elde edilebilmektedir. Bu yönde Aksoy Plastik A.Ş ve Kempro Kimyasal Maddeler A.Ş firmalarının geliştirmiş oldukları oldukça işlevsel ürünler mevcuttur. Kempro A.Ş firmasının TÜBİTAK tarafından desteklenmiş araştırma ve geliştirme projesi neticesinde geliştirilen ve ticarileştirilmiş Etilen-Octane esaslı Beta çekirdeklendirici katkı ihtiva eden masterbatch ürünlerini örnek gösterilebilir. Bu masterbatchlerin PP geri dönüşüm süreçlerinde kullanımı ile yapıdaki safsızlıklar bertaraf edilmekte ve başta darbe mukavemeti olmak üzere üstün mekanik özellikler elde edilebilmektedir.

1.2.b. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak proses tasarımlarının geliştirilmesi

Mekanik geri dönüşüm yöntemlerinde mevcut makineler ve süreçlerde plastik atıklar birinci ve ikinci dönüşüm kadar tekrar kullanılabilir plastik atık granül üretilebilmektedir. Makinalarda ve işlem süreçlerinde gerçekleştirecek iyileştirmeler ile plastik atıkların ikinci geri dönüşümünde sonra da mekanik geri dönüşüme uygulanabilmesi önemlidir.

ASTM D7209 ve ISO 15270:2008 standartlarına göre plastikler birinci ve ikinci dönüşümlerinde mekanik geri dönüşüm yöntemleri ile dönüştürülebilmektedir. Ancak daha çok geri geri dönüşüme tabi tutulduğunda üçüncü geri dönüşümde kimyasal yöntemler ve daha sonraki dönüşüm süreçlerinde ise sadece enerji kazanımı için geri dönüşüme tabi tutulmaktadır. Bu bağlamda, birinci ve ikinci geri dönüşüm süreçlerinde uygulanacak dönüşüm sürecinin iyileştirilerek daha sonraki süreçlerde de plastiğin mekanik olarak dönüştürülebilir şekilde mekanik ve fiziksel özelliklerini bozmayacak şekilde geri dönüşüm işleminin gerçekleştirilebilmesi sağlanmalıdır. Yani mekanik geri dönüşüm süreçleri plastiğin zincir yapısını en az deformasyona sahip olacak şekilde ve istenilen sınırlar dahilinde kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmelidir.

Geri dönüşüm süreçlerinde plastik atıklar birden fazla geri dönüşüme tabi tutulabilmektedir. Bu işlemler yapılırken plastiklerin kaynağı, türleri belirlenip tasnif edilerek geri dönüşüme tabi tutulmalıdır. Her bir geri dönüşüm işleminden sonra plastik ürün veya kullanıma hazır granül hammadde takip edilebilir şekilde etiketlenmelidir. Mekanik geri dönüşümde özellikle küçültme/kırma sırasında yaşanan zincir yapısı ve renk değişimi gibi önemli problemler

oluşmaktadır. Ayrıca, ekstrüzyon sürecinde maruz kalınan tekrarlı ısılar ve vidanın uyguladığı karıştırma ve deformasyon etkileri de dönüşüme uğrayan plastik malzemede problemler oluşturmaktadır.

Hedeflenmesi gereken yenilikçi özellikler ve performans

- Mekanik süreç ve işlemler iyileştirilmelidir
- Saflığı ve içeriği kompozit olarak değiştirilen plastiklerin de mekanik geri dönüşüm ile geri kazanılmasının sağlanması, hibrid dönüşüm metodları geliştirilmelidir
- Geri dönüşüme tabi tutulan plastiklerin tasnif edilmesi
- Mekanik geri dönüşüm makineleri ve tesisleri daha verimli ve düşük enerji ile çalışan, çevreci ve maliyet indirgeyici olmalıdır
- Mekanik geri dönüşüm sistemleri farklı yerlerde ve ortamlarda değil entegre tesis şeklinde bir bütün olarak yapılması
- Mekanik geri dönüşüm üçüncü ve daha sonraki dönüşümlerde de kullanılabilir hale getirilmesi

1.2.c. Tek kullanımlık plastik ambalajların tasarımlarını tek bir malzeme türüne çevirecek malzeme ve tasarım alternatiflerinin araştırılması

Tek kullanımlık plastikler, tamamen veya bir kısmı plastikten yapılmış, yalnızca bir kez veya kısa bir süre için kullanılması ve ardından üreticiye tekrar kullanım için iletilmeyecek, atılması planlanarak tasarlanan su ve içecek şişeleri, tabak, bardak, pipet, çatal, bıçak, balık ağları, medikal ürünler ve çeşitli nitelikteki ürünleri üretim-kullanım süreci arasında muhafaza eden ambalajlar gibi plastikleri içine dahil eden materyaller olarak tanımlanmaktadır.

Tek kullanımlık plastik ambalaj üretimi, kullanılması ve kontrolsüz yönetimi deniz, karasal ve sucul ekosistemler üzerinde yıkıcı etkilere sebep olmuştur. Doğadaki toplam plastiklerin %80 oranı da bu tek kullanımlık plastik ambalajlardan oluşmaktadır. Son zamanlarda hızla büyüme kaydeden paket servis gıda sektörü ve Covid-19 ile tek kullanımlık plastik kullanım oranı aşırı artış eğilimindedir.

Farklı amaçlara yönelik kullanılan tek kullanımlık ambalajların, mekanik ve kimyasal dönüşüm yöntemleriyle kolayca ve çok sayıda geri dönüştürülebilir ve her bir kullanım amacına özel tek tip plastik malzemedan üretilmesine yönelik çalışmalar önemli oranda kazanım sağlamaya yardımcı olacaktır. Bununla birlikte bazı alanlara yönelik olarak tek kullanımlık plastiklerin kullanımı önemlidir. Örneğin medikal amaçlı tek kullanımlık eldivenler vb. gibi. Bu alanlarda kullanılan tek kullanımlık plastiklerin oranı, diğer alanlarda kullanılan tek kullanımlık plastiklere göre oldukça düşüktür.

Tek kullanımlık plastikler, “kullan ve at kültürü” ile ilgili sorunların en göze batan örneğidir. Dünya genelinde her yıl 300 milyon ton plastik üretilmekte ve bu miktarın yarısı tek kullanımlık plastiklerden oluşmaktadır. Plastik kullanımını azaltmak, bu israftan (ve plastik üretimi ve kullanımına bağlı etkilerden) kaçınmanın en etkili yoludur. Yeniden kullanılabilir çanta ve şişeleri taşımak, günlük hayatımızda tek kullanımlık plastiklerden kaçınmak için en iyi yoldur.

Üretilen plastiklerin büyük oranının tek kullanımlık plastiklerden oluşması ve üretilen toplam plastiklerin büyük oranda geri dönüştürülemediği bilinmektedir. Bu gerçek dikkate alındığında, özellikle tek kullanımlık plastiklerin geri dönüştürülebilir malzemelerden ve tek tip malzeme türünden üretimine yönelik çalışmalar, mevcut duruma göre anlamlı gözükmemektedir. Bu arada, tek kullanımlık plastiklerin çoğu boyutsal olarak nispeten küçüktür ve mekanik dönüşüm sırasında bu küçük boyutlar özellikle daha küçük boyutlara indirgeme aşamasında problemler oluşturmaktadır. Bu nedenle mekanik geri dönüşüm makinelerinin tek kullanımlık plastikleri kolayca parçalayacak şekilde tasarımlarının iyileştirilmesi de ayrı önem arz etmektedir.

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

1.2.a. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak uyumlaştırıcıların ve diğer katkıların geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya’da	Türkiye’de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 8 ve THS: 9 aralığında değişmektedir.

Ülkemiz için bu durum araştırma olarak THS:3 - THS 4 aralığında değişmektedir.

Plastik sektöründe kullanılan çoğu hammadde yanında, uyumlaştırıcılar da dahil olmak üzere tüm katkı ve stabilizatörler bağlamında tamamen dışa bağımlı bir yapımız söz konusudur. Örneğin ilerleyen bölümlerde değinilecek titanatlar gibi organometalik bileşikler konusunda dünyada THS9 seviyesinde ticarileşmiş ürünler mevcuttur. Fakat ülkemizde ilgili ürünler ile bir

proje açılacak olur ise en iyi ihtimal ile THS4 seviyesinde bir projenin söz konusu olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle bu bölümde, Ülkemizdeki Teknolojik hazırlık seviyeleri hususunda net bir bilginin verilmesinin mümkün olmadığını söylemek yerinde olacaktır.

1.2.b. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılabilir proses tasarımlarının geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya’da	Türkiye’de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 6 ve THS: 9 aralığında değişmektedir.

Ülkemiz için bu durum araştırma olarak THS:5 - THS 6 aralığında değişmektedir.

1.2.c. Tek kullanımlık plastik ambalajların tasarımlarının tek bir malzeme türüne çevirecek malzeme ve tasarım alternatiflerinin araştırılması

Dünyada ve Türkiye’de tek kullanımlı plastiklerin tek bir malzemeden üretilmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bunun yerine daha çok tek kullanımlık plastikler yerine çok kullanımlık plastiklerin ve diğer geri dönüştürülebilir çevreci malzemelerin kullanımı özendirilmektedir. Bu nedenle tek kullanımlık plastikler için tek bir malzeme türü ve tasarımı konusunda teknolojik hazırlık seviyesi bulunmamaktadır.

C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

1.2.a. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılabilir uyumlaştırıcıların ve diğer katkıların geliştirilmesi

POLYRAM Group: Dünyanın 9 farklı ülkesinde faaliyet gösteren İsrail menşeli bir firmadır. Ülkemizde çok farklı sektörlerde, farklı amaçlarla kullanılan Maleik anhidrit aşılınmış polimerlerinin tedariki konusunda neredeyse tekel olmuş bir firmadır. Geri dönüşüm

sektöründe kullanıma yönelik ve etkin sonuçlar sağlayan THS9 seviyesinde geliştirilmiş ve uzun yıllardır kullanılan PE-g-MA, PP-g-MA ve EVA-g-MA gibi ürünleri vardır. Bir Dönem Aksoy Plastik A.Ş., Özellikle PP-g-MA tipi uyumlaştırıcıları ülkemizde üretmek için gerekli çalışmaları yapmış ve ticari bir ürün elde edebilmişti. Fakat ekonomik olarak ilgili firma ile rekabet edemediği için günümüzde bu ürün grubunda faaliyet göstermemektedir. Gerek ulusal firmalarda üretiminin olmaması, gerekse geri dönüşüm dışında plastik sektöründe de yoğun bir kullanıma sahip olması nedeni ile bu tip ürünlerin geliştirilmesi için firmaların teşvik edilmesi ve gerekli desteklerin verilmesi yerinde olabilir.

<https://polyram-group.com/search/?category=1>

KENRICH Petrochemical: Amerika Birleşik Devletleri menşeli firmanın birçok patentli ve ticarileştirilmiş organometalik bileşikleridir. Özellikle kaplama ajanı olarak kullanılan titanat, zirkonat ve alüminat esaslı organometalik bileşikleridir modifiye edilerek, geri dönüşüm sektöründe kullanıma yönelik uyumlaştırma ajanı olarak ticarileştirilmiştir. Ken-React® CAPS® KPR® 12/LV altında isimini verdikleri bu katkının, TSH9 seviyesinde geliştirilmiş ve ticarileştirilmiş bir ürün olduğu anlaşılmaktadır.

- <https://4kenrich.com/>
- <https://4kenrich.com/wp-content/uploads/2019/02/Ti-AND-Zr-CATALYSTS-IN-THE-MACROMOLECULAR-MELT-REGENERATE-UNFILLED-AND-FILLED-VIRGIN-REGRIND-AND-RECYCLED-PLASTICS-S.J.-Monte-Catalysis-Session-SPE-Polyolefins-2019.pdf>

CAPATUE Chemical: Çin menşeli firmanın organometalik kaplama ajanları altında ticari olarak satışını yaptığı ürünler, mekanik geri dönüşüm süreçlerinde kullanılabilir ve ilgili bölümlerde detayları verilen kimyasal uyumlaştırma katkılarına ilişkin somut bir örneği teşkil etmektedir. Firma Kenrich firmasının ticari ürün yelpazesinde yer alan tüm titanat, alüminat ve zirkonat organometalik bileşikleridir THS 9 seviyesinde geliştirmiş ve ticarileştirmiş gözükmektedir.

- <https://www.capatuechem.com/>
- <https://www.capatuechem.com/titanate-coupling-agent-tca-l12-cas-no-110438-25-0-.html>

1.2.b. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılabilir proses tasarımlarının geliştirilmesi

Türkiyedeki başarılı örnekler şu şekildedir;

Üstün İş Makina, İnan makina, Almak Makine

Üstün İş Makina, İnan makine firmaları mekanik geri dönüşüm makinaları ve hatları üretmektedir. Bunun yanında geri dönüşümde kullanılan parçalama, yıkama ve granüle dönüştürme konularında Almak Makine gibi küçük ve orta ölçekli birçok farklı firmalar da bulunmaktadır.

Dünyadaki başarılı girişimler ve örnekler şu şekildedir:

- The University of Manchester,
- Beier Machinery,
- Genox Recycling Tech (China) Co., Ltd,
- United Parcel Service Deutschland S.a r.l. & Co.OHG,
- Tomra Systems ASA,
- PAPREC FRANCE,
- CRONIMET (HOLLAND) B.V.,
- FCC RECYCLING (UK) LIMITED,
- Marius Pedersen a.s.,
- Morssinkhof Plastics Zeewolde B.V.,
- GIRO SOCIETA' CONSORTILE PER AZIONI,
- SAFETY-KLEEN U.K. LIMITED,
- Zentraler Kommunalen Entsorgungsbetrieb (ZKE),
- GARC SPA,
- PAPREC CRV,
- GEOFOR SPA.

1.2.c. Tek kullanımlık plastik ambalajların tasarımlarını tek bir malzeme türüne çevirecek malzeme ve tasarım alternatiflerinin araştırılması

Dünyada ve Türkiye' de tek kullanımlı plastiklerin tek bir malzemedan üretilmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır.

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Bir Araya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

1.2.a. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak uyumlaştırıcıların ve diğer katkıların geliştirilmesi

Plastik sektörü genel olarak kimya, malzeme ve makine mühendisliği bilim dallarını içine alan, disiplinler arası çalışmaların gerçekleştirilmesi gereken bir sektörel yapıya sahiptir. Bu açıdan, mekanik geri dönüşüm süreçleri ve bu süreçlerde kullanılacak katkıların geliştirilebilmesi ve

istenilen ilerlemenin sağlanabilmesi içinde benzer bir çalışma metodolojisi içerisinde hareket edilmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda, sentezlenmesi gereken bileşikler kimya anabilim dalı içerisindeki uzmanlar tarafından geliştirilirken, malzeme anabilim dalı içerisindeki uzmanlar ise sentezlenen katkıların geri dönüşüm süreçleri kapsamında kullanılması neticesinde nihai malzeme yapısında meydana gelen olumlu yada olumsuz özellikleri belirleyecek, bu özellikleri başka katkıları ile nasıl geliştirebilecekleri ile ilgili çalışmalar yürütecek ve katkıların nasıl verimli kullanılabilmesi ile ilgili makine alanındaki uzmanlar ile ortaklaşa çalışarak, gerekiyor ise üretim süreçlerinde nasıl revizyonlar yapılması gerektiğine dair veriler ortaya koyacaklardır.

Örneğin uluslararası çalışmalarda oldukça başarılı olduğu gözlemlenen titanat ya da zirkonatların verimli ve üstün kalite özellikleri sağlayacak şekilde elde edilmelerini sağlayacak sentez çalışmaları kimya alanındaki uzmanlar tarafından gerçekleştirilecektir. Malzeme alanındaki uzmanlar, sentezlenen katkıların farklı kullanım oranları neticesinde nihai malzeme yapısı üzerindeki olumlu ya da olumsuz etkilerini belirleyerek, gerekirse başka katkıların kullanımı ile bu etkinlikleri daha ileriye götürmek için gerekli çalışmaları yürüteceklerdir. Bu kapsamda; yeri geldiğinde kimya alanındaki uzmanlara, sentezledikleri ürünlerin performansları ile ilgili verileri, yeri geldiğinde makine alanındaki uzmanlara, kullanımı kısıtlayan ve kullanım performansını azaltan üretim süreci ile ilgili düşünceleri veriler aracılığı ile aktararak, üretim sürecinin de geliştirilmesine katkı sağlayacaklardır. Bu yöndeki bir çalışma metodolojisi ile 36 ay gibi kısa bir zaman diliminde, oldukça büyük ilerlemelerin sağlanabileceği açıktır.

Bu bağlamda, kimyasal etken maddeler sentezleyebilen kimya firmaları ile geri dönüşüm alanında faaliyet gösteren plastik firmalarının bir araya gelmesi, üniversitelerin kimya, malzeme ve makine anabilim dallarından destek alarak araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde bulunmalarının yerinde olacağı düşünülmektedir. Benzer şekilde plastik sektöründe faaliyet gösteren geri dönüşüm ve/veya kompozit firmaları ile plastik makine üreticilerinin bir araya gelerek, yeni geri dönüşüm süreçleri geliştirmeleri yönündeki proje çalışmalarının da, etkin ve verimli sonuçlar ortaya koyacağı öngörülmektedir.

1.2.b. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak proses tasarımlarının geliştirilmesi

Hedeflenen teknolojik ilerlemenin sağlanabilmesi için Makine Mühendisliği, İmalat Mühendisliği, Kimya Mühendisliği-, Polimer Mühendisliği, Malzeme Mühendisliği, Odalar ve Borsalar Birliği, Ticaret Odaları, Organize ve Sanayi Bölgeleri, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, TÜBİTAK, KOSGEB, Ulusal Kalkınma Ajansları, Belediyeler ve

AB-Ulusal Ajans gibi meslekler ve kurumlar arasında ortak çalışma ve işbirliğinin geliştirilmesi sağlanmalıdır.

Yukarıda yazılan kurum ve kuruluşlar proje ortağı ve mali destek sağlamalıdır. Üniversiteler ise hem Ar-Ge çalışmalarını gerçekleştirmeli hem de Ar-Ge finans desteği sağlamalıdır. Meslek odaları ise proje ortaklığı ve mali destek sağlamalıdır.

1.2.c. Tek kullanımlık plastik ambalajların tasarımlarını tek bir malzeme türüne çevirecek malzeme ve tasarım alternatiflerinin araştırılması

Tek kullanımlık plastiklerin tekrar tekrar geri dönüştürülebilme kabiliyeti olan tek tip malzemedeki ve ürün tasarımlarının mekanik geri dönüşüm sistemlerinde dönüşüm sürecine olumlu etkisi olacak şekilde geliştirilmesi; özellikle kullan-at kültürünü ortadan kaldırmaya kadar çok önemlidir. Bu amaç için üniversitelerin polimer mühendisliği, kimya mühendisliği, malzeme mühendisliği, makine mühendisliği ve imalat mühendisliği bölümleri disiplinlerinin iş birliği içerisinde çalışmaları önemlidir. Ayrıca, sektörel bazda, tek kullanımlık plastik üreten firmalar ve geri dönüşüm firmalarının da işbirliğine katılımı son derece önemlidir. Belediyeler, Çevre Şehircilik ve İklim Bakanlığı, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, KOSGEB, TÜBİTAK, PAGEV katkıları ve destekleri alınmalıdır.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması

1.2.a. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılacak uyumlaştırıcıların ve diğer katkıların geliştirilmesi

Ülkemizde gerek akademi gerekse özel sektörde, farklı disiplinlerin bir araya gelerek ortaklaşa çalışmalar yapması şeklindeki Ar-Ge süreç yönetimi nadir olarak görülmektedir. Maalesef ülkemizdeki kurumlar ya da uzmanların çoğu, çalışmanın yapılacağı ilgili alanda her türlü bilgiye vakıf olduğunu ve çalışmalarını tekil olarak başarılı bir şekilde yürütebileceklerini düşünmektedir. Ayrıca küresel ölçekli yaşanan ekonomik kriz nedeni ile özel sektörde faaliyet gösteren firmaların Ar-Ge çalışmalarına ayırabildiği bütçeler oldukça düşük seviyelerdedir. Bu düşük Ar-Ge bütçeleri ile firmaların yeni ürünler geliştirmesi mümkün görünmemektedir.

Bu doğrultuda, TÜBİTAK 1511 öncelikli alanlar Ar-Ge destek programı ve benzeri programlar ile gerçekleştirilecek devlet destek ve teşvikleri büyük önem arz etmektedir. Bu ve benzeri devlet teşvikleri ile hem firmalar ve üniversiteler bir araya getirilerek disiplinler arası çalışmalar yürütülebilirken, hem de çalışmaların bilimsel bir çalışma metodolojisi ile yürütülebilmesi mümkün olacaktır.

1.2.b. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılabilir proses tasarımlarının geliştirilmesi

TÜBİTAK Ar-Ge projeleri, KOSGEB Ar-Ge ve Ür-Ge projeleri, Kalkınma Ajansı Projeleri, AB ve Dünya bankası gibi uluslararası destekli projeler geliştirilebilir ve işbirlikleri sağlanabilir. Özellikle bu alanda akademik olarak yapılacak lisansüstü çalışmalar özel kapsama alınıp projeler ile desteklenebilir.

1.2.c. Tek kullanımlık plastik ambalajların tasarımlarını tek bir malzeme türüne çevirecek malzeme ve tasarım alternatiflerinin araştırılması

Tek kullanımlık plastiklerin tek tip malzeme türünden üretilmeleri ve tasarımlarının bu doğrultuda geliştirilmesi konusunda Dünya genelinde ve Türkiye’de bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle öncelikle TÜBİTAK 1001, TÜBİTAK 1003 projeleriyle teknoloji hazırlık seviyesi THS 3-4 seviyelerine getirilmelidir. Sonrasında ise TÜBİTAK Ar-Ge projeleri (1507, 1511), KOSGEB Ar-Ge ve Ür-Ge projeleri, Kalkınma Ajansı Projeleri, AB ve Dünya bankası gibi uluslararası destekli projeler geliştirilebilir, işbirlikleri sağlanabilir ve THS seviyeleri yükseltilebilir.

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

(Kısa Vade: 1-3 yıl, Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla)

1.2.a. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılabilir uyumlaştırıcıların ve diğer katkıların geliştirilmesi

Birden fazla sektörün bir araya gelerek yürütecekleri projeler için Ar-Ge süresinin 3 yıl olması oldukça yeterli görünmektedir. Uyumlaştırıcıları ve diğer katkıların geliştirilmesi hususunda etken maddeler sentezleyebilen kimya firmaları, geri dönüşüm ve kompozit firmaları ile makine üreticisi firmaların bir araya gelerek oluşturacakları çalışma grupları ile hızlı bir şekilde, etkin ürünlerin elde edilebilmesi mümkündür. Bu yönde gerçekleştirilecek projeler için toplam bütçenin 5.000.000 TL ile 15.000.000 TL arasında olacağı tahmin edilmektedir.

1.2.b. Plastik sektöründe mekanik geri dönüşümlerde kullanılabilir proses tasarımlarının geliştirilmesi

Mekanik Geri dönüşüm konularında gerçekleştirilecek projelerin 1-3 yıl aralığında olması yeterlidir. Projenin kapsamı ve hedefi dikkate alınarak bütçenin 50 milyon TL’ye kadar olması

önerilmektedir. Kısa ve orta vadeli projeler 15 milyon TL'ye kadar, uzun vadeli projeler ise 50 milyon TL'ye kadar desteklenebilir.

1.2.c. Tek kullanımlık plastik ambalajların tasarımlarını tek bir malzeme türüne çevirecek malzeme ve tasarım alternatiflerinin araştırılması

Konu ile ilgili olarak gerçekleştirilecek projelerin 1-3 yıl aralığında olması yeterlidir. Projenin kapsamı ve hedefi dikkate alınarak bütçenin 50 milyon TL'ye kadar olması önerilmektedir. Kısa ve orta vadeli projeler 15 milyon TL'ye kadar, uzun vadeli projeler ise 50 milyon TL'ye kadar desteklenebilir.

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

Mevzuat

Mevzuat teknolojik ilerlemeye imkân tanımaktadır. Fakat geri dönüşüm alanında faaliyet gösteren firmalarının yüksek kalitede ve katma değerli üretimler yapmasını sağlamaya yönelik birtakım mevzuat revizyonların yapılması da gerekmektedir. Örneğin geri dönüşüm lisansı olmadan, bu alanda faaliyet göstermek mümkün değildir. Fakat geri dönüşüm lisansları çok kolay verilmektedir. Lisansı olan ve sektörde faaliyet gösteren firmaların birçoğunun yeterli teknik altyapısının olmadığı ve alanında uzman mühendislik eğitimi almış personel bile istihdam etmediği görülecektir. Firmayı kuran sermaye, günlük kazanç hesapları ile düşük katma değerli ve kaliteli ürünleri üretmeyi tercih etmektedir. Böyle bir yapı ile geri dönüşüm kalitesinin, kullanım oranlarının ve paralelinde yaratılan katma değer artırılabilmesi mümkün değildir.

Bu nedenle, örneğin temel seviyede bir laboratuvarı olmayan, ISO 9001 gibi kalite yönetim sistemi kurmamış, belirli sayıda mühendis ve kalifiye teknik personel istihdam etmeyen firmalara geri dönüşüm lisansı verilmemesi ve gerekirse lisanslarının iptal edilmesi şeklinde bir mevzuat değişikliğine gidilmesi, katma değeri yüksek ve verimli bir geri dönüşüm sektörünün yaratılabilmesine olanak sağlayacaktır.

Ayrıca sektörde kayıt dışı faaliyetler büyük yer tutmaktadır. Bunun önlenmesi ve yine paralelinde geri dönüşüm faaliyetlerinin yarattığı katma değeri arttırabilmek için Avrupa birliği tarafından uygulanmaya başlayan "EuCertPlast Certification" sertifikasyon sistemine atıfta bulunan bir mevzuat değişikliğine gidilmesi yerinde olacaktır. Bu sertifikasyon kapsamında bir ürünün geri dönüşüm olup olmadığı belgelenmektedir. Belgeleme mantığı, ürünlerin laboratuvar analizlerinden ziyade muhasebe kayıtlarının incelenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, yıllık gerçekleştirilen ziyaretler ile firmaların atık girdileri, hammadde işleme kapasitesi, satış miktarları gibi verileri en ince ayrıntılarına kadar incelenerek, aslında firmanın

gerçekten geri dönüşüm esaslı hammadde üretip üretmediğine karar verilmektedir. Böylelikle kayıt dışı faaliyetlerde engellenmiş olmakta ve mevcut analizler ile tam anlamı ile tespit edilemeyen geri dönüşüm içerikleri de net bir şekilde ortaya konmuş olmaktadır.

(<https://www.eucertplast.eu/>)

Eucertplast, ISCC, Recyclclass gibi Avrupalı muadilleri ile uyumlu milli sertifikasyon sisteminin kurulması önem kazanmaktadır. Çünkü yerli firmalar sertifikasyon ihtiyaçlarını yabancı kurumlardan gidermeye çalışmaktadır. Yabancı muadilleri ile eşit düzeyde geçirililiği olan bir milli sertifikasyon sisteminin kurulması sektör için yararlı olacaktır.

Türk plastik sektörünün geri dönüştürülmüş malzeme kullanımını teşvik amacıyla da olsa rekabet içinde olduğu diğer Avrupalı meslektaşlara kıyasla daha fazla vergilendirilmesi, sanayi dalında erken bir rekabet dezavantajı yaratabilir. Bu nedenle, vergisel düzenlemelerin rekabet içinde bulunan ülkeler ile eş zamanlı olması önemli bir husustur.

Teknik Altyapılar

Geri dönüşüm süreçlerinde hammadde olarak kullanılacak atıkların karakterizasyonu çok önemlidir. Bu amaç ile firmaların laboratuvarlarında özellikle Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile Termogravimetrik Analiz (TGA) gibi temel analiz cihazlarının bulunması yerinde olacaktır. Bu analiz yöntemlerinin kullanımı ile atıkların ne oranda istenilen seviyede ayrıştırılıp sınıflandırıldığı, mekanik geri dönüşümlerine ne oranlarda alınacağı, hangi atıkların kullanılıp kullanılmayacağı veya hangi tip uyumlaştırıcıların/katkıların sürece dahil edilmesi gerektiği gibi çok değerli veriler hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu sayede geri dönüşüm süreçleri sonrası elde edilen hammaddelerin kalitesi ve kullanım oranları da ciddi seviyelerde artabilmekte ve hatta orjinal plastik hammadde özelliklerinde hammaddelerin üretilmesi mümkün olabilmektedir.

Bu temel analiz yöntemlerine ek olarak yoğunluk kiti olan analitik terazi, eriyik akış hızı (MFR/MVR) tayin cihaz, çekme test cihazı ve çentik darbe testi gibi analiz yöntemlerinin de laboratuvarlarda yer alması gerekmektedir. Böylelikle elde edilecek geri dönüşüm esaslı hammaddelerin belirli teknik değerler içerisinde üretilebilmesi ve kullanılacağı alanlarda dahil olmak üzere yüksek katma değer yaratılabilmesi mümkün olacaktır.

Fakat Mekanik geri dönüşüm yapan kuruluşların laboratuvar altyapıları oldukça zayıf görünmektedir. Hatta birçoğunun laboratuvarı dahi bulunmamaktadır. Dolayısı ile bu altyapıya sahip kuruluşlar ile yeni ürün ve süreçler geliştirerek, geri dönüşüm oranlarının artırılması mümkün görünmemektedir. Bu doğrultuda, firmanın faaliyet gösterdiği alanda uzman ve nitelikli personelleri istihdam edip etmemesine bağlı olarak, ilgili teknik altyapının kurulması için Ar-Ge proje Destekleri, Düşük Maliyetli Yatırım Kredileri, Vergi İndirimleri gibi teşviklerin sağlanması yerinde bir adım olacaktır.

İnsan Kaynakları

Üniversitelerde ve sanayi de yeterli sayıda ve ihtiyaç duyulan yetkinlikte insan kaynağının mevcut olmadığı açıktır. Özellikle sanayide teknik ara personel yanında ilgili alanda mühendislik eğitimi almış ve uzmanlaşmış insan kaynağını bulmak ve istihdam etmek de oldukça zorlaşmıştır. Bu sorun hem eğitim sisteminin yetersizliği hem de sanayi kuruluşlarının insan kaynağına yeteri değeri vermemesinden kaynaklanan karmaşık bir sorundur. Kısa vade de çözümü mümkün görünmemektedir.

Fakat kısa vadede atılacak adımlar ile orta vadede gerekli uzmanlığa sahip insan kaynağının sağlanması mümkün olabilecektir. Bu doğrultuda;

- 1- Öncelikle PAGEV katkıları ile kurulmuş ve plastik sektörüne ara eleman yetiştiren Teknik ve Meslek liselerindeki eğitim kadrosunun, özel sektörde deneyimi olan uzman personeller ile desteklenmesi yerinde olacaktır. Mevcut durumda eğitimi veren değerli öğretmen arkadaşlarımızın, bu alanda eğitim veren bir üniversitenin ilgili bölümünden mezun olmadıkları için alandaki uzmanlıkları oldukça kısıtlı görünmektedir. Dolayısı ile mezun olan öğrencilerin istihdam edilmeleri sonrasında teknik yeterliliklerinin düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca bu okullardan mezun öğrencilerin, plastik sektöründe çalışmak istemedikleri ve farklı sektöre yöneldikleri de görülmektedir.
- 2- Üniversitelerin Kimya, Malzeme ve Makine mühendislikleri bölümlerine bağlı, fakat özellikle plastik/polimer malzemeler ile ilgili uzmanlık derslerinin yoğun olarak verildiği polimer/plastik anabilim dalı şeklinde alt bölümlerin kurulması yerinde olacaktır. Böylelikle plastik sektörünün gereksinim duyduğu uzmanlık alanlarında yoğun eğitimler almış mühendislerin sektörde istihdam edilebilmesi kolaylaşacaktır.

Destek ve Teşvikler

Hedeflenen ilerlemelerin sağlanabilmesi ve bu ilerlemenin entegre edilebilmesi için öncelikle araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yürütülmesine yönelik desteklerin verilmesi gerekmektedir. Fakat bu tip desteklerin çoğu, yeni teknoloji ve ürünler geliştirmek yerine firma altyapısını geliştirmeye yönelik kullanılmak istenmekte ve bu yönde projeler ile destekler suistimal edilebilmektedir. Bu aşamada desteklenme kriterlerine, özellikle Ar-Ge bölümlerinde istihdam edilen personellerin sayısı, nitelikleri, firma bünyesinde istihdam süreleri ve bu personellere firmanın sağladığı olanaklar gibi parametreler eklenmeli ya da projenin desteklemesi için gerekli puanlandırma çalışmalarındaki ağırlığı artırılmalıdır. Böylelikle gerçekten Ar-Ge çalışmalarına önem veren, destek almasa bile çalışmalarına devam eden firmaların desteklerden öncelikle yararlanabilmelerinin önü açılmalıdır.

Ar-Ge proje destekleri ile başarılı bir şekilde yürütülerek, EN THS7 seviyesine ulaşmış projeleri için üretim desteklerinin verilmesi yerinde olacaktır. Böylelikle geliştirilen ürünlerin hızlı bir

şekilde ticarileştirilmesi sağlanacaktır. Bu kapsamda; üretim altyapısını geliştirmeye ve kapasite arttırıma yönelik uzun süreli ve düşük faizli krediler, vergi indirimleri, belirli oranlarda hibe gibi desteklerin verilmesi düşünülebilir.

Diğer

Yukarıdaki başlıklarda kapsanmayan diğer kritik hususlar;

Poliiolefin grupları içerisinde yer alan geri dönüşüm esaslı veya içerikli granül formundaki hammaddelerin ülkemize ithalatı, yasal mevzuat gereği yasaktır. Bu yasak, plastik geri dönüşüm sektörümüzün gelişebilmesi ve dünyanın plastik çöplüğü olmamız için atılmış doğru bir adımdır. Bu neden ile özellikle bu granül formundaki ithalat yasağının devam etmesi sektörün gelişmesi için büyük önem arz etmektedir.

Fakat ülkemizdeki atıkların toplanması ve ayrıştırılması hususundaki geri kalmışlık, geri dönüşüm sektörünün ağırlıklı olarak sanayi fireleri ile üretim yapmasına neden olmakta ve bu durumda çoğu zaman istenilen miktarda plastik atığın temin edilememesine neden olmaktadır. Bu açık ise ancak ithalat yolu ile kapatılabilmekte, lakin bu durumda da çevresel kirliliğe neden olabilecek kalitesiz plastik atıkların ülkemize sokulmasına neden olmaktadır. Bu olumsuzluk, geri dönüşüm lisansı şartı ve geri dönüşüm kapasitesinin belirli oranına denk gelecek miktar kadar ithalat yapılmasına olanak sağlayan mevzuatlar ile kısmen engellenebilmiştir. Fakat bu sorunun tamamen ortadan kaldırılabilmesi ve geri dönüşüm sektörümüzün gereksinim duyduğu plastik atıkların temini için etkin ve verimli çalışan bir atık yönetim sisteminin ivedilikle oluşturulması gerektiği açıktır. Bu konuda özellikle PAGEV gibi sivil toplum kuruluşları ile belediyelerin ortak çalışmalar yaparak, etkili bir çözüm yolu ortaya koymaları gerekmektedir.

Plastik başta olmak üzere ekonomik değer arz eden tüm atıkların, ilk elden yani atığı yaratan tüketici tarafından sınıflandırılarak, toplanmasına olanak sağlayan bir sistem en ekonomik ve verimli atık yönetim biçimi olabilir. Bu yöntemi uygulamak için belirli bölgelere konumlandırılmış, vatandaşımıza küçüğe olsa ek bir gelir (Nakit yada Alışveriş Çeki gibi) yaratacak otomat yada toplama alanlarının kurulması yeterli olacaktır. Böylelikle yararlı bir iş yapsalar dahi, belediyelerin ekonomik bir kaynak olarak kullanabileceği yer üstü madenlerinden, hiçbir vergi ve ücret ödemedi kazanç sağlayan toplayıcılar yerine vatandaşlarımız ve paralelinde belediyelerimiz kazanç elde edebileceklerdir.

Uyumlaştırma vb. çözümlerden önce tek tip malzeme içeren (mono) yapıdaki ambalajların kullanılması teşvik edilmesi diğer önemli bir husustur.

Kritik Ürün/Teknoloji 1.3.

1.3 Plastik sektörü atıklarının kimyasal ve biyolojik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

- 1.3.a. Gazlaştırma ve Piroлиз teknolojilerinin geliştirilmesi**
- 1.3.b. Çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerinin, biyoesaslı çözücülerin, İyonik çözücülerin, süperkritik çözücülerin geliştirilmesi**
- 1.3.c. Hidrotermal proseslerin geliştirilmesi**
- 1.3.d. Depolimerizasyon teknolojilerinin geliştirilmesi**
- 1.3.e. Enzimatik geri kazanım**

Kritik Ürün/Teknoloji 1.3.

1.3 Plastik sektörü atıklarının kimyasal ve biyolojik geri dönüşümlerine yönelik proseslerin ve teknolojilerin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

Bu başlık altında verilen teknolojiler, uygulanan geri dönüşüm işlemi sonunda plastik atık içerisinde bulunan tüm dolgu malzemelerinin, renklendiricilerin ve çeşitli katkı malzemelerinin uzaklaştırılarak ileri derecede saflaştırıldığı veya polimerlerin yapıtaşlarına veya çeşitli petrol türevi kimyasallara ayrıştırıldığı teknolojileri kapsamaktadır. İleri derecede saflaştırma prosesi, iyonik, biyoeasaslı, süperkritik ve benzeri çözücüleri içeren çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerini kapsarken, plastiklerin yapıtaşlarına veya petrol türevi kimyasallara ayrıştırıldığı geri dönüşüm prosesleri ise gazlaştırma, piroliz, depolimerizasyon ve enzimatik geri kazanım konularını kapsamaktadır. Çözücü bazlı geri dönüşüm metodu sonucunda ileri derecede saflaştırılan polimerler, ultra saf yapıda olduklarından gıda temaslı ürünlerde dahi kullanılabilirliği mümkün kılınabilir. Polimerlerin yapı taşlarına ayrıştırıldığı geri dönüşüm metotlarında ise elde edilen monomerler veya çeşitli kimyasallar, tekrar aynı polimerin sentezinde kullanılabilir. Ayrıca, çeşitli geri kazanım çalışmaları ile plastik atıklardan enerji kaynağı olabilecek yakıtların eldesi de mümkündür, ancak plastik atıklardan yakıt eldesine dönük bu tür geri kazanım çalışmaları döngüsel ekonomi prensipleri kapsamında geri dönüşüm olarak kabul görmemektedir.

Konvansiyonel ve mekanik geri dönüşüm metodları esnasında uygulanan termal ve mekanik etkiler polimerlerin moleküler ağırlığı, erime noktası, yüzey özellikleri ve renk gibi parametrelerini olumsuz olarak etkilemekte ve kalitelerini düşürmektedir. Elde edilen düşük kaliteli polimerlerin pazarları ve uygulanabilirlikleri kısıtlıdır ve fiyat dalgalanmasına çok açıktırlar. Ayrıca konvansiyonel olarak geri dönüştürülen bu polimerler tekrar kullanılmış olsalar dahi giderek azalan kaliteleri sebebiyle ömürlerini ya yakma tesislerinde ya da çöp depolarında tamamlamaktadırlar. Bu sebeple yüksek kalitede ve saflıkta geri dönüştürülmüş ürün eldesini sağlayan, plastiklerden faydalı kimyasallar elde edip petrol tüketimini azaltan, plastik geri dönüşümünde kontaminasyon ve termal degradasyona çözümler sunan ve böylece sürdürülebilir gelişim ve döngüsel ekonomi için gereklilikleri karşılayabilen geri dönüşüm teknolojilerine emisyonların azaltılması, katı atık depolama sahalarının küçültülmesi ve plastikler için gerçek döngüsel ekonominin oluşturulması açısından ihtiyaç vardır.

Bu başlık altındaki teknolojilerin uygulanması ve yaygınlaşması önündeki engeller aşağıda ilgili başlıklar altında detaylı şekilde sunulmuştur. Ancak özet olarak genel bir tanımlama yapmak gerekirse bu uygulamalarda kullanılan yöntemler şu an için yüksek enerjiye ihtiyaç duymaktadır, çevreye zararlı maddelerin kullanımı gerekebilmektedir ve kritik ham maddelere yoğun olarak ihtiyaç duyulabilmektedir. Ayrıca bu tarz uygulamalar henüz yaygın olmadığı için sertifikasyonları ve değer zincirinde yerleri de henüz tanımlanmamıştır. Bu teknolojilerin yaygınlaşması için bu problemlere çözümler bulunması gerekmektedir.

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

1.3.a. Gazlaştırma ve piroliz teknolojilerinin geliştirilmesi

Atık Plastiklerin Sınıflandırılması

Geri dönüştürülmüş plastik için Avrupa atık sınıflandırmasında sekiz farklı kod bulunmaktadır.

Bu kodlar:

- 020104: Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği ve balıkçılıktan, gıda hazırlama ve işlemeden (paketleme hariç) kaynaklanan plastik atıklar
- 0702013: Plastik, sentetik kauçuk ve sentetik elyaf ve plastiklerin imalat, formülasyon, tedarik ve kullanımından (MFSU) kaynaklanan plastik atıklar
- 120105: Plastiklerin şekillendirilmesinden ve fiziksel ve mekanik yüzey işlemlerinden kaynaklanan plastik talaşları
- 50102: Plastik paketleme
- 160119: Farklı ulaşım araçlarından (arazi makineleri dahil) gelen plastik ömrünü tamamlamış araçlar ve ömrünü tamamlamış araçların sökülmesi ve araç bakımından kaynaklanan atıklar.
- 170203: İnşaat ve yıkım atıklarından elde edilen plastik (kirlenmiş alanlardan çıkarılan hafriyat toprağı dahil)
- 170204: Tehlikeli maddeler içeren veya bunlarla kirlenmiş cam, plastik ve ahşap
- 191204: Başka türlü tanımlanmamış atıkların mekanik olarak işlenmesinden (örneğin ayırma, kırma, sıkıştırma, peletleme) kaynaklanan plastik atıklar

Biyolojik olarak kompostlanabilir plastikler normal plastikler gibi işlenmekte ve örn. atıktan türetilmiş yakıt (RDF) ve benzeri daha düşük değerli uygulamalarda değerlendirilmektedir.

Mikro/nanoplastikler, kaynağına ve çevresel maruz kalma geçmişine bağlı olarak kimyasal bileşime ve yapı değişkenliğine sahip, dağınık olarak bulunan ve seyreltik bir plastik atık akımını temsil etmektedir. Bu nedenle, herhangi bir evsel ve endüstriyel atık plastik atık dönüştürme yönteminin mikro/nanoplastikleri işlemek için optimal olarak uygun olması olası

görünmemektedir. Bununla birlikte, mikro/nanoplastikler bir hammadde olarak toplanabildiği takdirde mekanik olarak işlenmesine ihtiyaç bulunmamaktadır. Bu durum mikroplastiklerin taşınmasını ve kimyasal olarak işlenmesini kolaylaştırmakta ve ileri dönüşüm proseslerinin enerji verimliliğini artırmaktadır. Ancak mikro/nanoplastiklerin toplama metotları, farklı türden plastiklerin (örneğin naylonun polyesterden ayrılması) birbirlerinden ayrılmasını sağlamamaktadır. Toplanan mikroplastiklerin bileşimi değişkenlik göstermekte ve evsel kirleticileri de içermektedir. Katalitik ileri dönüşüm teknolojilerinin uygulamasında bu kirleticiler katalizörün zehirlenmesine ve aktivite kaybına yol açmaktadır. Hammadde değişkenliğine cevap verebilecek reaktör tasarımlarına ve proses optimizasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Mikro/nanoplastiklerin ileri dönüşümü için uygulanabilir bir proses geliştirmeye yönelik araştırmalara karşın, evsel ve endüstriyel atık plastik işleme tekniklerine dayalı bazı uygulamaları mikro/nanoplastiklerden daha düşük karbon ayak izine sahip ürünlere geçiş için değerlendirmek de göz önünde bulundurulmalıdır.

Gazlaştırma

Atık plastiklerin değerlendirilmesinde başvurulan ana yöntemlerden biri termokimyasal dönüşüm prosesleridir. Termokimyasal dönüşüm ile atık plastikler enerji ve kimyasal üretim proseslerinde değerlendirilebilen gaz, yağ ve çar olarak bilinen kömürümsü katı ürüne dönüştürülmektedir.

Gazlaştırma ile katı organik maddelerin sentez gazına (ağırlıklı olarak karbon monoksit-hidrojen içeren gaz karışımı) dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Gazlaştırma için hava, oksijen, su buharı, karbondioksit gibi farklı oksidasyon ajanları kullanılmaktadır. Gazlaştırma prosesinde kısmi oksidasyon, piroliz ve su buharı ile reformlama gibi birçok reaksiyon gerçekleşmektedir. Gazlaştırma teknolojisine bağlı olarak (akışkan yatak, sürüklemeli, sabit yatak gazlaştırma vb.) operasyon sıcaklığı 800-1400 °C arasında değişmektedir.

Gazlaştırma yöntemi ile atık plastikler gazlaştırılmakta ve elde edilen sentez gazından metanol, dimetil eter yada sentetik nafta gibi önemli kimyasallar üretilebilmektedir. Peşi sıra metanol, dimetil eter ve sentetik naftadan plastiklerin yapı taşları olan olefin ve propilen gibi temel kimyasalların üretimi yapılarak döngü tamamlanmakta ve atık plastiklerin geri kazanımı sağlanmaktadır.

Plastiklerin düşük ısı iletkenlikleri ve yüksek viskoziteleri gibi fizikokimyasal özellikleri gazlaştırma prosesini olumsuz yönde etkilemektedir. Plastiklerin termal bozunma kinetiğini iyileştirmek ve plastik aglomerasyonunu önlemek için gazlaştırma reaktöründe daha iyi bir ısı transferi ve karışım sağlamak üzere modifikasyonlar yapılmalıdır.

Plastiklerin gazlaştırılması için kabarcıklı yada dolaşımli akışkan yatak gazlaştırma teknolojileri tercih edilmektedir. Plastik atıklardan hidrojen ve karbon nanotüp eldesi için iki kademeli akışkan yatak gazlaştırıcılar kullanılmaktadır. Birinci kademede plastik atıklar hafif hidrokarbon

ürünlere dönüştürülmektedir. İkinci kademedede ise katalitik olarak hidrojen ve karbon nanotüp elde edilmektedir.

Atık plastiklerin gazlaştırılmasında yaşanan en büyük teknik bariyer, atıkların safsızlık içeriğinin sentez gazı kalitesi üzerindeki olumsuz etkisidir. Plastik gazlaştırma sonucu elde edilen sentez gazının H₂/CO oranı 0.8 ile 1.0 arasında değişmektedir. Sentez gazının CO₂ ve katran içeriği sırasıyla %25 ve 25-30 g/m³'tür. Sentez gazının metanol, nafta vb. kimyasal üretiminde kullanımı için katrandan sıyrılması ve CO₂'nun ayrılması gerekmektedir. Uygulanan gaz temizleme ve gaz ayırma proseslerinin getirdiği ek maliyetler toplam atık valorizasyon proses ekonomisini olumsuz etkilemektedir. Gazlaştırma kolaylığı için gazlaştırma ajanı olarak hava kullanıldığında ise sentez gazında önemli miktarda azot gazı bulunmaktadır. Toplam gaz debisinin artması, ardışık gaz temizleme ve gaz ayırma ünitelerinin boyutlarını ve dolayısıyla yatırım maliyetlerini arttırmaktadır. Azot gazının getirdiği seyreltme etkisi, hem sentez gazının kalorifik değerini düşürmekte ve enerji üretim uygulamalarındaki kullanımını kısıtlamakta hem de ardışık katalitik proseslerin verimliliğini önemli ölçüde düşürmektedir. Gazlaştırmada katran ve çar oluşumunu azaltmak için katalizör kullanımının getirdiği avantajlar, maliyet dezavantajını henüz karşılamamaktadır.

Plastik atıkların gazlaştırılması, mekanik geri kazanıma göre daha pahalı bir işlem olup, sentez gazından elde edilen ürünlerin ekonomik olması için teşviklere ihtiyaç duyulmaktadır. Sentez gazının yanı sıra yan ürün olarak karbon nanotüp gibi katma değerli malzemelerin üretimi, toplam proses gelirlerine önemli bir katkı sunmaktadır. Enerji malzemeleri, elektronik cihazlar ve sağlık ürünleri gibi alanlarda değerlendirilmek üzere karbon nanotüp üretimi ile dögüsel karbon ekonomisine de katkı sunulmaktadır.

Piroliz

Pirolizin gazlaştırmadan farklı olarak, oksijensiz ortamda ve genelde inert atmosferde gerçekleştirilen bir termokimyasal dönüşüm prosesidir. Piroliz sonucu elde edilen piroliz gazının bileşimi piroliz sıcaklığına bağlı olup, sentez gazına göre metan açısından daha zengindir. Pirolizde hedeflenen ürüne göre (piroliz gazı, piroliz sıvıları, çar) piroliz reaktörünün seçimi ve işletme koşulları (sıcaklık, ısıtma hızı, piroliz buharı kalma zamanı, şok soğutma, vakum vb.) değişmektedir. Atık plastiklerin pirolizinde daha iyi bir ısı ve kütle transferi sunan akışkan yatak piroliz reaktörleri tercih edilmektedir. Akışkan yatak piroliz ile termal parçalanma ve piroliz yağı verimleri artmaktadır. Biyokütle ile karışım halinde atık plastikler piroliz edildiğinde ise oksijen içeriği yüksek fakat kalorifik değeri ve termal stabilitesi düşük bir ham yağ elde edilmektedir. Piroliz yağının özellikleri distilasyon, dehidrojenasyon vb. işlemlerle iyileştirilerek ulaştırmada ve enerji üretim santrallerinde alternatif/yardımcı yakıt olarak kullanım alanı bulmaktadır.

Isıtma hızına ve organik piroliz buharlarının reaktörde kalma süresine bağlı olarak piroliz reaksiyonları, yavaş, hızlı, flaş ve orta seviye piroliz reaksiyonları olarak sınıflandırılmaktadır.

Hızlı ve flaş piroliz sırasıyla 400-500° ve 800-1000°C sıcaklık aralıklarında ve 10-200°C/s ve 1000°C ısıtma hızlarında gerçekleşmektedir. Ana ürün piroliz yağıdır. Yavaş piroliz 300-700°C arasında 0.1-1°C/s ısıtma hızı ile gerçekleşmektedir ve ağırlıklı olarak çar elde edilmektedir. Atık plastik pirolizi çalışmaları 400-800°C aralığında, atmosferik basınçta ve katalitik olarak gerçekleştirilmektedir. Katalitik pirolizde sabit ve akışkan yatak piroliz reaktörler kullanılmaktadır. Sabit yatak reaktörlerde genelde laboratuvar ölçeğinde çalışılmakta olup, iki reaktör ardışık olarak kullanılmaktadır. Birinci reaktörde elde edilen piroliz buharları, katalizör içeren ikinci reaktörde katalitik olarak ve su buharı varlığında hidrojen zengin bir gaz karışımına dönüştürülmektedir. Akışkan yataklı reaktörlerin etkinliği sabit yataklı reaktörlerle ilgili problemlerin aşılmasını mümkün kılmaktadır. Akışkan yataklı piroliz reaktörlerinde katalizör yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Atık plastik olan iyi karışım halinde katalizör kullanımı, katalitik reaksiyon için ekstra bir yüzey sağlamaktadır. Bu nedenle büyük ölçek uygulamalarda akışkan yatak piroliz tercih edilmektedir. Akışkan yatak pirolizin kimyasal buhar yığılması ile birlikte uygulanması ile yüksek kalitede karbon nanotüp elde edilebilmektedir. Piroliz ile oluşan uçucu organik hidrokarbonlar hızlı bir şekilde soğutulurken çabuk yoğunlaştırılırsa ham yağ elde edilmektedir. Uçucu organik bileşiklerin reaktörde kalma zamanı ve soğutma prosesi elde edilen yağın kalitesini belirlemektedir. Bozulan birçok uçucu organik bileşik, hızlı soğutma ile yoğunlaşmayan piroliz gazı akımından ayrılmaktadır. Daha uzun buhar kalma süresinde ise daha küçük molekül ağırlığına sahip ürünlere parçalanmakta veya diğer ara bileşenlerle ikincil reaksiyonlara girmektedir. İkincil polimerizasyon reaksiyonları ile ilave çar ve katran bileşikleri oluşmaktadır.

Piroliz yağından kimyasal yöntemlerle katma değerli özel kimyasallar da üretilebilmektedir. Piroliz sonucu stabil aromatik karbon içerikli katı bir ürün de elde edilmektedir. Bu ürün kömürümsü bir yapıya sahip olup çar olarak adlandırılmaktadır. Aromatik çar, piroliz sırasında gerçekleşen dehidrasyon, deaminasyon, dekarboksilasyon ve dehidrojenasyon reaksiyonları sonucu oluşmaktadır. Üretilen çarın kalitesi ve uygulama alanı, karbon içeriği, kristalinitesi, elementel bileşimi, mineral madde içeriği, spesifik yüzey alanı, gözenekliliği, pH'ı, elektrik iletkenliği ve iyon değişim kapasitesi gibi fizikokimyasal özelliklerine bağlıdır. Ticari piroliz proseslerinde üretilen çar, ikincil yanma reaktöründe yakılarak prosesin ihtiyaç duyduğu ısı karşılanmaktadır.

Plastik atık valorizasyonunda yeni yaklaşımlar, piroliz ile karbon nanomalzemelerin üretimi üzerinedir. Örneğin biyokütle ve plastik atıkların birlikte katalitik pirolizi ile aromatikçe zengin yağlar ve karbon nanomalzemelerin elde edildiğini gösteren çalışmalar literatürde raporlanmaktadır. Plastiklerin biyokütle ile karıştırılması ile piroliz yağının monoaromatik içeriği artmakta ve karbon nanotüp oluşumu kolaylaşmaktadır. Karbon nanotüp oluşumu ve büyümesi bioçar yüzeyinde gerçekleşmektedir. Proses iki aşamadan oluşmaktadır. Önce plastik atıklar piroliz edilerek hidrojen, metan, karbonmonoksit gibi yoğunlaşmayan hafif gazlar üretilmekte ve

peşi sıra yüksek sıcaklıkta katalitik kimyasal buhar yoğunluğu reaksiyonu ile bioçar üzerinde karbon içerikli piroliz gazlarından karbon nanotüp oluşturulmaktadır. Oluşan amorf karbon ve karbon nanotüpün birbirlerinden ayrı olarak eldesi için ayırma ve saflaştırma proseslerine başvurulması da gerekmektedir.

Piroliz sıvıları işlenerek nafta ve denizcilik yakıtları üretilebilmektedir. Nafta da konvansiyonel su buharı parçalama prosesi ile plastik ürünlerin hammaddesi olan etilen, propilen gibi monomerlere dönüştürülebilmektedir. Piroliz gazları da piroliz prosesinin gerçekleşmesi gereken ısıyı karşılamak üzere değerlendirilebilmektedir. Karbon ürünler ile birlikte hidrojen elde edilmesi planlanıyorsa, piroliz sıvılarını veren yoğuşabilir hidrokarbon ürünler ikincil bir katalitik reformlama reaktöründen geçirilerek düşük emisyonlu (turkuaz) hidrojen üretilmektedir. Üretilebilecek karbon ürünlerden en önemlileri arasında karbon siyahı, aktif karbon, grafen ve karbon nanotüp bulunmaktadır. Ancak seçici karbon nanomalzemelerin üretimi için katalizör geliştirilmesine ve proses optimizasyonuna ihtiyaç bulunmaktadır.

Gelecek Öngörüler ve Teknik Bariyerler

Termokimyasal ileri dönüşüm teknolojileri arasında gazlaştırma ve piroliz büyük ölçekli uygulama için ümit vaat etmektedir. Gazlaştırma ve piroliz ile hidrojen ve katma değeri yüksek nano karbon malzemeler üretilebilmektedir. Karbon üretimi ile atık plastikte bulunan karbon son ürüne geçmekte ve prosesin toplam karbon ayak izi düşmektedir. Katalizör kullanımı, bu proseslerin ürün seçiciliğini değiştirmektedir. Hesaplamalı kimya ve makine öğrenmesi gibi yapay zeka uygulamaları ile katalitik proseslerin mekanistik boyutları analiz edilebilmekte ve rasyonel bir katalizör tasarımı gerçekleştirilebilmektedir. Bu kapsamda yapay zeka ile katalizör geliştirmeye yönelik çalışmalar oldukça önem arz etmektedir.

Katalitik termokimyasal dönüşüm teknolojileri ile elde edilen hidrojen ve karbon malzeme ürünlerinin maliyeti, fosil türevli muadillerine göre daha yüksektir. Ancak bu ürünlerin atık plastiklerden katalitik termokimyasal dönüşüm prosesleri ile üretimine yönelik teşvikler bulunmamaktadır. Termokimyasal dönüşüm prosesleri ile elde edilen piroliz yağı düşük bir ekonomik değere sahiptir.

Poliolenlerin (PE ve PP) hidrokarbon içerikleri yüksektir ve piroliz için uygun plastikler olarak değerlendirilmektedir. PE katalizör kullanılmadan piroliz ile vaksa dönüşürken, zeolit katalizör varlığında C4-C10 karbonlu bir yağ elde edilmektedir. Piroliz sıcaklığı 800°C'e çıkarıldığında PE ve PP, etilen propilen ve bütene bozunmaktadır. Son yıllarda polistirenin (PS) pirolizi ilgi çekmektedir. Çünkü PS pirolizinde yüksek bir seçicilik ile elde edilen hidrokarbon ürünün ileri dönüşümü mümkün ve maliyet etkin görünmektedir. Ancak tüm plastikler piroliz için uygun değildir. Örneğin oksijen ve azot içeren polimerlerin pirolizi sonucu üründeki oksijen ve azot atomlarını uzaklaştırmak zor bir prosestir ve pirolitik ürünün kullanımını engellemektedir. PVC ve PET'in termal bozunması sonucu tehlikeli klorlu bileşikler ve karboksilik asitler oluşmaktadır. Bu bileşikler katalizörleri zehirlenmekte ve aktivite kaybına yol açmaktadır. Bromlu alev

geciktirici (BFR) içeren polimerler de halojen içeriği nedeniyle kalıcı organik kirletici kategorisinde yer almaktadır ve pirolizi tercih edilmemektedir. PET, polikarbonat (PC) ve poliüretan (PU) düşük enerji içeriğine sahip piroliz yağı üretimi nedeniyle piroliz için uygun değildir. Bu nedenlerle karışım halinde bulunan atık plastiklerin sınıflandırılması ve katalitik olarak gerçekleştirilen termokimyasal prosesler için uygun olan fraksiyonun kullanılması önemlidir. Ancak bu durum toplam proses ekonomisini olumsuz etkilemektedir.

1.3.b. Çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerinin, biyoesaslı çözücülerin, İyonik çözücülerin, süperkritik çözücülerin geliştirilmesi

Çözücü esaslı geri dönüşüm işlemi, hedeflenen polimerlerin bir çözücü içerisinde çözünmesi, çözünmeyen malzemelerin ve istenmeyen safsızlıkların filtrasyon veya diğer yöntemlerle uzaklaştırılması, çözülmüş ve saflaştırılmış polimerlerin sıcaklık etkisi veya antiçözücü ile çöktürülerek tekrar katı hale getirilmesi ile yıkama ve kurutma işlemlerinden oluşmaktadır.

Çözücü esaslı geri dönüşüm teknolojileri, safsızlıkların uzaklaştırılabilmesi, ultra saf yapıda ve herhangi bir uygulamada kullanılabilecek granül veya toz formunda son ürün sunabilmesinden dolayı konvansiyonel mekanik geri dönüşüm yöntemlerine göre büyük avantajlar sağlamaktadır.

Çözücü esaslı geri dönüşüm teknolojileri sonucu monomer veya kimyasal yan ürünler yerine doğrudan polimerin kendisi saf nitelikte geri kazanıldığından dolayı polimerizasyon sırasında oluşturulan değer de korunmuş olmaktadır.

Polimere uygun çözücülerin ve seçici çözücülerin farklı kombinasyonlarda kullanılmasıyla atık plastik karışımlarından hedeflenen polimerlerin ayrı ayrı geri kazanılabilmesi çözücü esaslı saflaştırma teknolojileri ile mümkün olabilmektedir.

Çözücü-bazlı geri dönüşüm teknolojisinin pratik uygulaması sırasında solventin çözme kabiliyeti, çözelti viskozitesi, çözeltinin toksisitesi, çözünme için harcanan süre, elde edilen polimerin formları, oluşan ikincil atıklar ve maliyet gibi birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır.

Çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerinde karşılaşılan problemler aşağıdaki şekilde başlıklandırılıp özetlenebilir.

Çözücülerin toksisitesi ve çevre uyumluluğu: Kullanılan çözücüler genelde toksiktirler ve bu sebeple çalışılmaları ve depolanmaları özel uygulamalar gerektirmektedir.

Çözücülerin çözme kapasitesi: Kullanılan çözücülerin polimerleri çözme kapasitelerinin düşük olması kullanılan çözücü miktarlarını arttırmakta, birim işletme süresinde geri kazanılan polimer miktarını azaltmakta ve kullanılan ekipman hacimlerini arttırarak yatırım maliyetlerini yükseltmektedir.

Yatırım ve işletme maliyetleri: Çözücülerin çözme kapasiteleri ve çevresel problemleri yatırım ve işletme maliyetlerini yükseltmektedir. Bu teknoloji sektör için yeni bir teknoloji olmasından dolayı standart iş akışlarının ve detaylı sistematik çalışmaların olmaması kaynaklı işletme maliyetlerinin yüksek olması beklenmektedir. Ayrıca işletme esnasında oluşan çözücü kayıpları da işletme maliyetleri üzerinde önemli bir yük oluşturmaktadır.

Polimer özelliklerindeki değişimler: Uygulanan sıcaklık, basınç ve çeşitli mekanik etkiler sonucunda polimerlerin molekül ağırlıkları ve mekanik özellikleri olumsuz etkilenebilmektedir.

Hedeflenmesi gereken yenilikçi özellikler ve performans

Belirtilen problemleri aşabilmek için düşük sıcaklıklarda çalışabilen, yüksek çözme yeteneğine sahip, çevre ile uyumlu, düşük toksisiteli yenilikçi çözücüler (biyoesaslı, ötektik, iyonik, süperkritik vb.) gerekmektedir. Bu çözücülerin yanında enerji ve işletme maliyetlerinin iyi ele alındığı, çözücülerin çevresel etkileri ile kapalı çevrim olarak başa çıkabilen, çözücü kaybının minimum tutulduğu çözücü esaslı geri dönüşüm sistemleri tasarlanmalıdır. Çözme işlemi sonrasında polimerlerin saflaştırılması için yenilikçi filtrasyon sistemleri geliştirilmelidir. Geliştirilen proses minimum atık oluşturmali ve polimerlerin nihai molekül ağırlıklarıyla mekanik özellikleri iyi ele alınmalıdır.

1.3.c. Hidrotermal proseslerin geliştirilmesi

Hidrotermal proseslerde plastikleri termokimyasal olarak yakıtlara ve petrol türevi kimyasallara dönüştürmek için reaksiyon ortamı olarak kritik altı veya süperkritik koşullarda su kullanılmaktadır. Hidrotermal prosesler, pirolize kıyasla plastik geri dönüşümünde daha yüksek dönüştürme verimlerine ve daha hafif reaksiyon koşullarına sahip olduğundan önemli bir alternatif geri dönüşüm potansiyeli taşımaktadırlar.

Su, 375 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ve 217 atm'nin üzerindeki basınçlarda süper kritik koşullara geçer. Süperkritik su, çeşitli gazlarla tamamen karışabilir, plastik atıkların bozunması da dahil olmak üzere gelişmiş oksidasyon ve benzersiz çözme özellikleri sunabilir.

Sadece kritik nokta üzerinde değil, kritik altı su olarak da adlandırılan ve kritik nokta altında ama yakınındaki sıcaklık ve basınçlarda da plastiklerin hidrotermal dönüşümleri araştırılmaktadır. Kritik altı koşullarda fiziksel-kimyasal özellikler önemli ölçüde değişse de, süper kritik koşullara göre daha kolay çalışma koşulları söz konusudur.

Kritik altı su veya süperkritik su ile hidrotermal dönüşüm sırasında çeşitli değişkenler verimi ve dolayısıyla ekonomik uygulanabilirliği etkileyebilir. Hidrotermal dönüşüm performansına etki eden parametreler polimer ve katkı maddelerinin bileşimi, plastik ve su arasındaki oran, sıcaklık, basınç, reaksiyon süresi, su tuzluluğu ve katalizör kullanımı olarak özetlenebilir. Bu değişkenlerden bazıları tekil olarak etki gösterebilir, ancak aralarında bazı sinerjik etkileşim

olasılığı da vardır. Hidrotermal dönüştürme prosesinde artan sıcaklık ve reaksiyon süresi, daha yüksek dönüşüm verimlerine, reaksiyon hızlarına ve daha yüksek miktarda gaz ürüne yol açabilir. Öte yandan, artan basınç genellikle reaksiyon hızları üzerinde çok az etkiye sahip olmaktadır. Plastik ve su arasındaki oran arttığında, makromoleküllerin dağılılırılığı azalır ve reaksiyon hızları düşer.

Su, Dünya yüzeyinde en bol bulunan maddedir ve doğal olarak mükemmel bir çözücüdür. Ancak, endüstriyel ölçekte süperkritik koşullarda kullanımında pek çok zorluk vardır. Hidrotermal dönüşüm proseslerinde ilk yatırım ve işletme maliyeti yüksektir. Prosesteki su ve plastik oranının yükseltilmesi gerekmektedir. Pazarlanabilir ürünler elde etmek için ek işlemler uygulanması lazımdır. Süperkritik suyun ekipman üzerindeki aşındırıcı etkilerinin azaltılması gerekmektedir.

Süperkritik ve kritik altı su ile hidrotermal dönüşüm için hedeflenmesi gerekenler şu şekilde özetlenebilir; proses optimizasyonları maliyet ve verim açısından yapılmalıdır, uygun atık tiplerinin, atık morfolojilerinin ve uygulanabilirliklerin araştırılması gerekmektedir, kimyasal ürünlerin ve gaz ürünlerin analizleri yapılmalıdır, süper kritik koşullara uygun ekipmanların geliştirilmelidir.

1.3.d. Depolimerizasyon teknolojilerinin geliştirilmesi

Depolimerizasyon kimyasal geri dönüşüm yöntemlerinden bir tanesidir. Depolimerizasyon yönteminde, tasnif ve temizleme işleminden geçirilen plastikler; çözücüler, kimyasal maddeler ve sıcaklık etkisiyle monomerlerine ya da oligomer olarak adlandırılan daha kısa uzunluktaki polimer parçalarına ayrıştırılır. Kemoliz olarak da isimlendirilmektedir.

Depolimerizasyon sonucunda elde edilen monomer ve oligomerler saflaştırma işleminden geçirildikten sonra polimerlerin sentezinde ve orijinal plastik ürünlerin kalitesi seviyesinde kaliteye sahip plastik ürünlerin üretiminde kullanılmaları mümkün olur. Depolimerizasyon polietilen tereftalat (PET), poliüretan (PU), poliamid (PA), polikarbonat (PC), polimetilmetakrilat (PMMA), polistiren (PS) polimerlerinin geridönüşümünde kullanılmaktadır. Depolimerizasyon, zincirlerin parçalanmasını sağlamak üzere kullanılan kimyasala göre glikoliz, hidroliz, ammonoliz, aminoliz, hidrojenasyon gibi farklı kimyasal yollardan gerçekleşebilmektedir. Ayrıca, alkali hidroliz ve ekstrüzyon, glikoliz ve hidroliz, metanoliz ve hidroliz, glikoliz ve metanolizin birlikte kullanıldığı hibrit yöntemler de mevcuttur. Diğer taraftan çok yaygın olarak kullanılan poliolefinlerin (polipropilen ve polietilen) monomerlerine ayrıştırılması daha etkili

işlemler gerektirmektedir. Literatürde süperkritik çözücülerin kullanımı ile polietilen ve polipropilenin depolimerizasyonunu gösteren çalışmalar görülmektedir².

Plastik atıkları tekrar temel kimyasallara ve kimyasal hammaddelere dönüştüren kimyasal geri dönüşüm süreçleri, geri dönüşüm oranlarını önemli ölçüde iyileştirme ve plastik atıkları çöplükten veya yakmadan uzaklaştırma potansiyeline sahiptir.

Kimyasal geri dönüşüm, filmler ve çok katmanlı ve lamine plastikler gibi geri dönüşümü zor olan plastik ürünler için çöp sahasına ve yakmaya bir alternatif olarak hizmet eder. Ek olarak, kimyasal geri dönüşüm, plastik tedarik zincirine saf kalitede ham maddeler sağlar. Bu, tüketici sonrası atıklardan gıda sınıfı plastiklerin üretilmesini sağlar.

Bu uygulamalarda kullanılan yöntemler şu an için yüksek enerjiye ihtiyaç duymakta ve yüksek miktarlarda kimyasal kullanımı gerektirmektedir. Çevreye zararlı maddelerin kullanımı gerekebilmektedir. Kurulacak tesislerin kesintisiz faaliyetlerini sağlayacak şekilde sabit kalitede atık temininin sağlanması, tasnif ve temizleme işlemlerinin gerekliliği, depolimerizasyon işleminin yaygınlaşmasındaki engellerden bazılarıdır. Depolimerizasyon sonrasında elde edilen ürünlerin karışık bir yapıya sahip olması ve saflaştırma işlemi gerektirmesi, prosesin uzun ve pahalı olmasına sebep olmaktadır. Depolimerizasyon sırasında katalizör kullanımı insan sağlığı ve çevre açısından risk oluşturabilmektedir. Ayrıca bu tarz uygulamalar henüz yaygınlaşmadığı için sertifikasyonları ve değer zincirinde yerleri de henüz tanımlanmamıştır.

1.3.e. Enzimatik geri kazanım

Dünyanın dört bir tarafında üretilen ve biriken plastiklerin geri dönüşümünde biyodönüşüm uygulamaları ve özellikle enzimatik geri kazanım metodları son yıllarda ön plana çıkmaktadır. Gerek çevredeki plastik yükünün azaltılmasında, gerekse kullanılan plastiklerden hammaddelerin geri dönüştürülmesinde enzimatik geri kazanım yöntemlerinde bir hayli yol katedilmiştir. Plastiklerin enzimatik geri kazanımında önemli darboğazlar bulunmaktadır. Farklı plastiklerin rekalsitran (inatçı) özellikleri geri dönüşümlerinin önündeki en büyük engellerdendir.

Plastik hidrolizini ve dönüşümünü gerçekleştirebilecek plastik aktif enzimlerin tanımlanması ve bu enzimlerin endüstriyel kullanım koşullarının karakterizasyonu önemli bir darboğazdır. Diğer bir zorluk ise farklı plastikler üzerinde etkinlik gösteren yeni enzimlerin tanımlanmasında yaşanmaktadır. Mevcut bilimsel literatürde farklı plastiklerin geri dönüşümünde uygulanmış mikrobiyal kaynaklı esteraz, kütinaz, lipaz, proteaz, PETaz, MHETaz vb. olarak sınıflandırılmış farklı hidrolitik enzimler ile oksidoredüktaz enzim çeşitleri bulunmaktadır. Bu sayılan enzimlerin

² <https://www.nexanteca.com/blog/202105/advances-depolymerization-technologies-can-fill-recycling-gaps>

farklı plastikler açısından dar substrat spektrumları, geribesleme inhibasyonundan kolay etkilenmeleri, sıcaklık, pH kararlılıklarının düşüklüğü gibi problemler nedeniyle, bu süreçlerin verimli bir şekilde sanayiye translasyonunda farklı seviyelerde problemler ortaya çıkabilmektedir.

Tüm bunların yanında, sanayi koşullarına translasyonda plastik üzerinde geri dönüşüm etkinliği yüksek olan enzimlerin yüksek titrelerde, düşük maliyetli olarak üretimleri de önemli bir sorun olarak ortadadır.

Bunun yanı sıra mevcut plastik geri dönüşüm ve geri kazanım teknolojileri ağırlıklı olarak polietilen tereftalat (PET) aktif enzim veya enzimler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu tür enzimler, sulu ortamda polietilen tereftalat ile inkübe edilerek, PET'in tereftalik asit (TA) ve mono(2-hidroksietil) tereftalat (MHET) gibi monomerlerine dönüştürülmesi ve bu monomerlerin geri kazanımı yoluyla yeni plastiklerin sentezlenmesi hedeflenmektedir. Bu süreçte geri kazanımı gerçekleştirecek enzimlerin tereftalik asitin açığa çıkmasıyla asidikleşen ortamdaki ve geribesleme inhibasyonundan etkilenmemesi süreç verimi açısından önemlidir. PET geri kazanımında verimli olarak bilinen enzimlerin diğer plastikler üzerindeki etkinliklerinin düşüklüğü, farklı plastik türlerinde etkinlik gösterecek farklı enzimlerin keşfini ve tanımlanmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca plastik substratların kristalin ve amorf yapılarının enzim etkinliğini etkilediği de göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle tarım alanlarında polietilen (PE) ve polivinil klorür (PVC) temelli plastik malçların kullanımı giderek artmaktadır. Bu tür plastiklerin dolgu alanlarda 300 yıl kadar kalabildiği bilinmektedir. Bu nedenle bu plastik türlerinin geri-kazanımları daha da önem kazanmaktadır.

PET geri çevrimi üzerine yoğunlaşan araştırmalarla karşılaştırıldığında, atık olarak çevrede biriken diğer plastikler ile çevrede ve özellikle sularda biriken mikroplastikler ve bunların dönüşümü ile geri kazanımı üzerine fazla çalışma bulunmamaktadır.

Benzer şekilde plastiklerin enzimatik geri kazanımı konusunda endüstriyel süreçlerin optimizasyonu konularındaki çalışmalar ile plastiklerin geri kazanımı süreçlerinde atık olarak toplanıp enzim ile işleme tabi tutulacak plastiklerin ön işlemleri, taşıdıkları safsızlıkların enzim etkinlikleri ve endüstriyel süreç optimizasyonlarına etkileri konularındaki çalışmalar da oldukça yenidir.

Dolayısıyla, yukarıda sözü edilen kısıtlılıklar da göz önünde bulundurulduğunda farklı plastik türlerinin geri-kazanımı için hidroliz verimleri yüksek, endüstriyel süreçlerde kullanılacak, düşük maliyetli ve yüksek etkili enzimlere hala ihtiyaç bulunmaktadır. Yine bu enzimlerin sanayiye translasyonunda süreç optimizasyonları ile ilgili çalışmaların da geliştirilmesi zorunludur.

Bu açıdan bu alanda hedeflenmesi gereken yenilikçi özellikler ve performans aşağıda belirtilmektedir.

1. PET, poliamid (nylon), polietilen, polivinil klorür, polistiren, poliüretan, polipropilen, vb. plastikler üzerinde %100 geri dönüşüm/geri kazanım potansiyeline sahip yeni enzimlerin doğadan taranması (veritabanı ve metagenomik çalışmaları) ve bunların karakterizasyonu
2. Bakteriyel ve fungal plastik geri kazanım, hidroliz enzim mekanizmalarının incelenmesine dayalı temel bilgi birikimini arttıracak çalışmalar
3. Plastik hidrolizinde görev alan mikrobiyal konsorsiyumların ve bunların hidroliz mekanizmalarının açığa çıkarılmasına dayalı temel bilgi birikimini artıracak çalışmalar
4. Yeni biyoteknolojik çözümleri içeren çalışmalar
5. Plastik geri kazanımı konusunda etkin enzimlerin verimlerini, ısıl kararlılıklarını, pH kararlılıklarını, substrat aralıklarını, substrat özgüllüklerini geliştirebilecek protein mühendisliği yöntemlerinin (yönlendirilmiş evrim, rasyonel tasarım ve kombinatoriyal çalışmalar) uygulanması
6. Plastik geri kazanım enzimlerinin hesaplamalı (makine öğrenmesi ve moleküler modelleme) *de novo* tasarımı ve üretimi
7. Plastik geri kazanım enzimlerinin düşük maliyetli üretimi için en az gr/L miktarında üretecek rekombinant konak hücre çalışmaları, üretim optimizasyon ve ölçek büyütme çalışmaları
8. Plastik geri kazanım enzimlerinin çevreci üretim teknolojileri
9. Tüm mikrobiyal hücrelerin plastik geri dönüşümü için kullanılması için metabolik mühendislik çalışmaları ve uygulamaları
10. Plastik geri kazanımı için süreç koşullarının farklı plastik substratlar ile üretim yerleri koşulları temel alınarak optimizasyonu
11. Plastik geri dönüşümü açısından verimli süreç basamaklarının geliştirilmesi.
12. Plastik atıkların enzimatik geri kazanım öncesi ön işleme süreçlerinin geliştirilmesi ve optimizasyonu
13. Geri kazanım enzimlerini içeren geri dönüşebilir/geri kazanılabilir polimerlerin sentezi ve üretimi
14. Geri kazanım enzimlerinin reaktör sistemlerine uygulanması

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

1.3.a. Gazlaştırma ve piroliz teknolojilerinin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya’da	Türkiye’de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 6 ve THS: 9 aralığında değişmektedir.

Ülkemiz için bu durum araştırma olarak THS:4 - THS 7 aralığında değişmektedir. Uygulama olarak THS:9 örnekler de mevcuttur

Piroliz ve gazlaştırma konularında dünyada ve ülkemizde çeşitli firmalar faaliyet göstermeye başlamıştır. Bu faaliyetler daha çok ömrünü tamamlamış lastikler konusunda olup son yıllarda poliolefinlerden veya karışık plastik atıklardan yakıt ve kimyasal eldesine yönelik de endüstriyel ölçekli sistemler kurulmaya başlanmıştır. Daha düşük enerji ile çalışmayı veya proses verimini arttırmayı hedefleyen yenilikçi teknolojilerle ilgili de araştırma ve startup faaliyetleri artmaktadır. Bu alanlarda hedeflenen yenilikler bir önceki başlıkta özetlenmiştir.

1.3.b. Çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerinin, biyoesaslı çözücülerin, İyonik çözücülerin, süperkritik çözücülerin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 6 ve THS: 9 aralığında değişmektedir.

Ülkemiz için bu durum araştırma olarak THS:4 - THS 7 aralığında değişmektedir.

THS9 - PureCycle Technologies LLC firması: Procter & Gamble firması tarafından lisanslanan ve PureCycle firması tarafından ticarileştirilen, süperkritik koşullarda çalışan solvent bazlı geri dönüşüm teknolojisi ile polipropilen polimeri ultra saf niteliklerde geri kazanılabilmektedir.

THS 9 - APK AG firmasının Newcycling teknolojisi: Bu teknoloji ile PA6 ve LDPE polimerleri karışık atıklardan seçici olarak çözülüp ayrıştırılabilmektedir.

THS9 - The VinyLoop® : Solvay tarafından geliştirilen ve ticarileştirilen bu teknoloji ağırlıklı PVC esaslı kablo izolasyon malzemelerinin ve tekstil kompozitlerinin geri kazanımı için 2002-2018 yılları arasında aktif olarak işletilmiştir. Bu proseste PVC'yi seçici olarak çözen bir organik solvent kullanılmıştır.

THS7 - Worn Again firması: Birleşik Krallık merkezli bu girişim solvent bazlı geri dönüşüm yöntemi kullanarak PET ve pamuğu birbirinden ayırabilmektedir.

THS7 - ISOPREP H2020 projesi: Türkiye'den Sabancı Üniversitesi ve Floteks firmasının partner olarak yer aldığı bu projede iyonik sıvı solventi kullanılarak atık halılardan polipropilen seçici olarak çözülmüş ve safsızlıklarından arındırılarak saf nitelikli PP polimerleri elde edilmiştir.

1.3.c. Hidrotermal proseslerin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 6 ve THS: 9 aralığında değişmektedir.

Ülkemiz için bu durum araştırma olarak THS:3 seviyelerinde olduğu düşünülmektedir.

THS9 - Mura Technology firmasının HydroPRS teknolojisi: HydroPRS, esnek filmler ve çok katmanlı plastik ürünler gibi geleneksel mekanik geri dönüşümün işleyemediği, bu sebeple çöp sahasına veya yakmaya gidip çevre kirliliğine sebep olacak olan atık plastikleri geri dönüştürmek için süperkritik su kullanan gelişmiş bir geri dönüşüm prosesidir.

1.3.d. Depolimerizasyon teknolojilerinin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
--------------------------------	----------	------------

THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 6 ve THS: 9 aralığında değişmektedir.

Ülkemiz için bu durum araştırma olarak THS:4 - THS 7 aralığında değişmektedir. Uygulama olarak THS:9 örnekler de mevcuttur

PET depolimerizasyonunu gerçekleştiren bir dizi endüstriyel tesis, esas olarak metanoliz ve glikoliz işlemlerine dayalı olarak şu anda faaliyettedir. Hidrolitik prosesler daha az gelişmiş olup, çoğu laboratuvar ve pilot tesis ölçeklerinde kullanılmaktadır, ancak önümüzdeki birkaç yıl içinde ticari uygulamalar için birkaç proje geliştirilmektedir. Amonoliz ve aminoliz bazlı süreçler daha az kullanılmaktadır. Glikoliz ve hidroliz, şu anda poliüretan depolimerizasyonu için en önemli şekilde kullanılan kemoliz yöntemleridir. Poliamidlerin kimyasal depolimerizasyonu esas olarak hidroliz ile gerçekleştirilmektedir.

1.3.e. Enzimatik geri kazanım

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 3-5 aralığında değişmektedir. Polyester geri dönüşümü konusunda THS: 9 örnekler de mevcuttur.

Ülkemiz için bu durum araştırma olarak THS:1-3 aralığında değişmektedir.

THS3-THS5: Horizon 2020 TERMINUS (in-built Triggered Enzymes to Recycle Multi-layers: an INnovation for USes in plastic-packaging) (2019-2023) projesi kapsamında, yapıştırıcılar

veya bağlayıcı katmanlar olarak işlev gören tetiklenmiş içsel kendi kendine biyolojik bozunma özelliklerine sahip akıllı enzimler içeren polimerler geliştirilmektedir. Bu teknolojinin, yapışkan laminasyon için biyolojik olarak parçalanabilen PUR bazlı yapıştırıcılara uygulanması hedeflenmektedir.

THS3-4: Horizon 2020 ve Biobased Industries Consortium destekli ENZYCLE (Microbial enzymes for treatment of non-recycled plastic fractions) (2020-2024) projesi kapsamında, daha önce geri dönüştürülemeyen plastikleri işlemek ve geri dönüştürmek için yeni enzimatik süreçlerin tasarlanması hedeflenmektedir. Proje ekibi, geri dönüştürülmemiş plastik fraksiyonlarını parçalama potansiyeline sahip uygun enzimleri seçerek, bu enzimleri bir biyoreaktörde üretmeyi ve bunların endüstriyel uygulamalara uygunluklarını test etmeyi planlamaktadır. Hedef substratlar çok katmanlı paketleme ürünleri, tüketici sonrası PET tepsiler ve kapaklı kaplar, atıksudaki mikroplastikler olarak belirlenmiştir. Poliolefin ve polyester hidrolizi yapan enzimler hedeflenmiştir.

Maksimum THS 2-4 arası oldukları düşünülmektedir. Horizon 2020 RECOVER (Development of innovative biotic symbiosis for plastic biodegradation and synthesis to solve their end of life challenges in the agriculture and food industries) projesi (2020-2024), geri dönüştürülemeyen tarım ve ambalaj plastiklerinin birikmesi ve mikroplastik kirliliği sorununu çözmeyi hedeflemektedir. Proje kapsamında çeşitli mikroorganizmaların, yeni enzimlerin, solucan ve böceklerin farklı kombinasyonlarını içeren biyoteknolojik uygulamaların plastik hidrolizi ve geri-kazanımı için uygulanması planlanmıştır. Projenin hedefleri arasında, toprak ve komposttaki plastik kirliliğinin biyolojik olarak iyileştirilmesi ve geleneksel plastiklerin tarım ve gıda paketleme uygulamaları için biyo-gübrelere ve biyolojik olarak parçalanabilir plastiklere biyodönüşümü için süreçlerinin geliştirilmesi bulunmaktadır. Bu çerçevede polistiren (PS), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), lineer düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE), ve polietilen tereftalat (PET) gibi plastikleri hidroliz edecek mikrobiyal konsorsiyumlar ortaya çıkarılmaktadır.

Horizon 2020 BIZANTE (Apply ligninases to resolve end-of-life issues of thermoset composite plastics) projesi (2020-2024) kapsamında enzimler kullanılarak kontrollü biyolojik bozunmaya odaklanan yeni bir teknolojinin geliştirilmesine dayalı olarak, termoset kompozitlerin kullanım ömrü sonu sorunlarını çözmek için yenilikçi bir çözüm hedeflenmektedir. Proje çerçevesinde epoksi, polyester ve vinilester reçinelere dayanan ve cam elyafı veya karbon elyafı ile güçlendirilmiş üç tip termoset kompoziti parçalamak için en uygun biyokatalizörler olarak seçilen ligninolitik oksidoredüktazları iyileştirmek için yönlendirilmiş evrim kullanılarak enzim geliştirme stratejilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

1.3.a. Gazlaştırma ve piroliz teknolojilerinin geliştirilmesi

THS9 - Ebara Çevre Tesisi: Japonya merkezli bu firma, atık plastikleri sentez gazına dönüştüren bir endüstriyel teknik geliştirmiş bulunmaktadır. Geliştirilen teknik basınçlı gazlaştırma teknolojisine dayanmaktadır. Akışkan yatak düşük sıcaklık gazlaştırma fırını ile endüstriyel yüksek sıcaklık gazlaştırma fırını birarada kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıkta işlenen gazlaştırıcıyı terk eden uçucu küller, yüksek sıcaklık gazlaştırma fırınında ergimiş cürufa dönüştürülerek çimento malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadır. Ebara'nın geliştirdiği bir diğer teknoloji ise, atık plastiklerden yüksek kalorifik değere sahip yağ ve gaz üretilmektedir. (https://www.eep.ebara.com/en/sustainability/initiatives_3.html)

THS9 – Makeen Enerji Plastcon: Termokimyasal prosesler plastik valorizasyonu için endüstriyel girişimler de mevcuttur. Örneğin Makeen Enerji, plastik ileri dönüşümü ile karbon siyahı üretimine yönelik bir proses geliştirmiştir. “Plastcon” adı verilen proseste plastiklerin fiziksel ve kimyasal ayrımını piroliz ile termokimyasal dönüşüm takip etmektedir. Plastcon prosesi ile evsel ve endüstriyel her türlü atık plastik işlenebilmektedir. Bu proses ile elde edilen karbon siyahı için büyük bir pazar bulunmaktadır. Fiziksel proses ile atıklar önce parçalanmakta, cam, metal gibi kısımlar ayrılmaktadır. Daha sonra plastik bakiyenin piroliz öncesi hacmini azaltmak için 200°C'ye ısıtılarak eritilmektedir. Piroliz reaktöründe 400-700°C arasında erimiş plastik termokimyasal olarak piroliz ürünlerine dönüştürülmektedir. Atık plastiğin ağırlıkça %10'u kadar karbon siyahı elde edilmektedir ve atık plastikten üretilen karbon siyahı yeni plastik ürünlerin boyanmasında kullanım alanı bulmaktadır. (<https://www.makeenenergy.com/products-solutions/plastic-waste-conversion/about>)

THS 8-9 – REPSOL: Repsol firması 2015'ten beri Puertollano kompleksinde endüstriyel ölçekte piroliz yağı üretmekte ve bunu yeni döngüsel poliolefinlerin sentezlenmesinde kullanma üzerine çalışmalar yürütmektedir.

(<https://www.repsol.com/en/sustainability/circular-economy/our-projects/circular-polyolefins/index.cshtml>)

THS 9 – Brightmark: A.B.D. Merkezli bu firma, üç adımlı bir proses ile plastik atıklardan piroliz yöntemiyle kimyasallar elde etmektedirler. Birinci adımda geri dönüştürülemeyen plastik atıklar toplanır ve parçalanarak, metaller çıkarılarak, kurutulur ve pelet haline getirilerek dönüştürülmeye hazırlanır. İkinci adımda plastik malzeme peletleri, oksijensiz bir ortamda ısıtılır ve buharlaştırılır. Üçüncü adımda ise serbest bırakılan buhar yakalanır ve bir hidrokarbon sıvısına soğutulur ve ticari sınıf ultra düşük kükürtlü dizel, malzeme veya yeni

plastikler ve balmumu olarak işlenir. (<https://www.brightmark.com/plastics-renewal/how-it-works>)

THS9 Quantafuel: 2020'de Quantafuel, Danimarka, Skive'de yılda 20.000 ton kapasiteli bir piroliz ünitesini devreye aldı. Bu tesiste poliolefin atığını daha sonra petrokimya endüstrisinde yeniden kullanılabilir kimyasallara çevirmektedirler. Bu tesis dünyada türünün ilk örneğidir ve İskandinavya, Orta Doğu ve Birleşik Krallık'ta devam etmekte olan projelerle kapasitelerini arttırmayı planlamaktadırlar. <https://www.quantafuel.com/skive>

Türkiye'de başarılı örnek ve girişimler:

Ülkemizde ömrünü tamamlamış lastiklerin pirolizi ile ilgili başarılı uygulamalar mevcuttur. Ancak atık plastiklerin pirolizi veya gazlaştırması ile ilgili bilinen bir uygulamaya rastlanmamıştır.

THS9 – Kartepe Endüstriyel Geri Dönüşüm: Bu firma Kocaeli'nde kurulu piroliz tesisiyle ömrünü tamamlamış lastiklerde çelik hurdası, karbon siyahı, pirolitik sıvı yakıt ve pirolitik gaz elde etmektedir (<https://kartepееgd.com.tr>).

THS9 – Era Çevre Teknolojileri: Erzincan Ömrünü Tamamlamış Lastik (Ötl) Geri Kazanım ve Elektrik Üretimi Tesisi 75 ton/gün kapasiteyle 2010 yılından beri faaliyetlerini sürdürmektedir. Tesis karbon siyahı elde etmesinin yanında pirolitik yağlardan ve gazlardan enerji elde etmektedir.

1.3.b. Çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerinin, biyoesaslı çözücülerin, İyonik çözücülerin, süperkritik çözücülerin geliştirilmesi

THS9 - PureCycle Technologies LLC firması: Procter & Gamble firması tarafından lisanslanan ve PureCycle firması tarafından ticarileştirilen süperkritik koşullarda solvent bazlı geri dönüşüm teknolojisi ile polipropilen polimeri ultra saf niteliklerde geri kazanılabilmektedir.

THS 9 - APK AG firmasının Newcycling teknolojisi: Bu teknoloji ile PA6 ve LDPE polimerleri karışık atıklardan seçici olarak çözülüp ayrıştırılabilmektedir.

THS9 - The VinyLoop® : Solvay tarafından geliştirilen ve ticarileştirilen bu teknoloji ağırlıklı PVC esaslı kablo izolasyon malzemelerinin ve tekstil kompozitlerinin geri kazanımı için 2002-2018 yılları arasında aktif olarak işletilmiştir. Bu proseste PVC'yi seçici olarak çözen bir organik solvent kullanılmıştır.

THS7 - Worn Again firması: Birleşik Krallık merkezli bu girişim solvent bazlı geri dönüşüm yöntemi kullanarak PET ve pamuğu birbirinden ayratabilmektedir.

THS7 - ISOPREP H2020 projesi: Türkiye’den Sabancı Üniversitesi ve Floteks firmasının partner olarak yer aldığı bu projede iyonik sıvı solventi kullanılarak atık halılardan polipropilen seçici olarak çözülmüş ve safsızlıklarından arındırılarak saf nitelikli PP polimerleri elde edilmiştir.

PureCycle firması, Procter & Gamble firmasından lisansladığı teknolojiyi geliştirerek süperkritik koşullarda solvent bazlı bir geri dönüşüm metoduyla kullanılmış polipropilenin ultra saf şekilde geri kazanılmasına dair yenilikçi bir proses geliştirmiştir. Geliştirilen bu teknoloji ile polipropilen atıklarındaki renk, koku ve diğer tüm kirliliklerin uzaklaştırılarak ultra saf nitelikli polipropilen elde edildiği bildirilmektedir. İlk tesis 120 milyon dolarlık yatırım ile Ohio’da kurulmuştur. Ticarileşme yolundaki en önemli adım ise 2023 yılı başında aktif hale gelmesi beklenen, 363 milyon dolarlık bir yatırımla Ironton’da kurulan yıllık 45.000 ton atık PP işleme kapasiteli tesistir. Bu tesis haricinde Güney Kore ve Japonya’da yatırım konusunda işbirliği mutabakat sözleşmeleri imzalamışlardır.

Ülkemizde Sabancı Üniversitesi ve Floteks firmasının partneri olduğu ve Horizon 2020 programı tarafından desteklenen ISOPREP projesi kapsamında solvent bazlı geri kazanıma yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Sabancı Üniversitesi tarafından geliştirilen geri dönüşüm ve saflaştırma prosesi, Floteks firması tarafından pilot ölçekli sisteme taşınmıştır. Solvent olarak iyonik sıvı kullanılan bu sistemde, atık halılardan seçici çözme yöntemi ile polipropilen ayrıştırılarak saflaştırılmış ve ultra saf nitelikli polipropilen elde edilmiştir.

1.3.c. Hidrotermal proseslerin geliştirilmesi

THS9 - Mura Technology firmasının HydroPRS teknolojisi: HydroPRS, esnek filmler ve çok katmanlı plastik ürünler gibi geleneksel mekanik geri dönüşümün işleyemediği, bu sebeple çöp sahasına veya yakmaya gidip çevre kirliliğine sebep olacak olan atık plastikleri geri dönüştürmek için süperkritik su kullanan gelişmiş bir geri dönüşüm prosesidir.

Muro Technology firmasının HydroPRS™ teknolojisi, tüm plastik türlerini işleyip yapıldıkları kimyasallara ve petrol ürünlerine geri dönüştürebilir özelliktedir. Proses sonucu bu elde edilen ürünler tekrardan gıda uyumlu plastik üretiminde hammadde olarak kullanılabilir. Böylece plastik maddelerin dögüsel bir ekonomi modeline girmesi sağlanıp fosil kaynaklarına olan ihtiyaç azaltılmaktadır. İlk HydroPRS™ tesisinin, 2023 yılında İngiltere'nin Kuzey Doğusunda üretime başlaması beklenmektedir ve ABD, Almanya ve Asya için planlamaları devam etmektedir.

1.3.d. Depolimerizasyon teknolojilerinin geliştirilmesi

Dünyadaki başarılı girişimler ve örnekler aşağıda sunulmuştur.

THS7-8 - Ioniqa Technologies: Hollanda Eindhoven üniversitesinden çıkan bir spin-off firmasıdır. 10k ton kapasiteli bir pilot sistem kurmuşlardır. Coca Cola ve Unilever gibi firmalarla stratejik işbirliği antlaşması imzalamışlardır. Koch Technology Solutions firması Ioniqa'ya en son 30 milyon € yatırım kararı almıştır ve bu işbirliği ile bu teknolojinin ticarileştirilmesi planlanmaktadır. İçerisinde manyetik nanopartiküllerin katalizör olarak kullanıldığı glikoliz işlemi ile PET atıklardan BHET elde etmektedir (www.ioniqa.com)

THS7 – Gr3n Recycling: İtalya çıkışlı bu startup mikrodalga destekli depolimerizasyon teknolojisi kullanmaktadır. Alkali koşullarda hidroliz normalde 210-250 °C sıcaklıkta 3-5 saat sürerken Gr3n mikrodalga destekli reaktörler sayesinde Tereftalik Asit (TPA) ve Monoetilen Glikol (MEG)'ü 200°C sıcaklığın altında 10 dakikadan kısa bir süre içerisinde elde edilebilmektedir. 2021 yılında bir pilot sistem kurmuşlardır ve yakın zamanda ticarileştirme ve ölçek büyütme için çalışmaları devam etmektedir (www.gr3n-recycling.com)

THS7 – Loop Industries: Kanada Quebec merkezli bu firma PET plastiklerini ve ipliklerini depolimerizasyon yöntemiyle geri dönüştürmektedir. Fransa'da 250 milyon\$ yatırım ile 70000 ton/yıl kapasiteli bir tesis kurma kararı almışlardır ve inşaat 2023 yılında başlayacaktır. Ayrıca Kanada ve Güney Kore'de planladıkları ve anlaşma yaptıkları yatırımlar mevcuttur. Güney Koreli SK Chemicals firmasında 56 Milyon \$ yatırım almışlardır. Infinite Loop olarak adlandırdıkları teknoloji kısa bir zaman içerisinde ticari hale gelecektir.

THS5 – DePoly: İsviçre merkezli DePoly firması yüksek sıcaklık gerektirmeyen (25 °C çalışma sıcaklığı), ön yıkama veya ayrıştırma gerektirmeyen bir PET geri dönüşüm metodu geliştirmiştir.

TSH7 - BioSelection: California'da 2015'te kurulan firma, hızlandırılmış termal oksidatif depolimerizasyon ile esnek polietilen ambalajlardan suksinik asit ve adipic asit gibi polyester ve poliamidlerin prekürsörleri olan düşük molekül ağırlıklı organik asitleri elde etmektedir. Japon startup ağı Mistletoe'dan yatırım aldığı duyurulmuştur (www.biocollection.com)

TSH9 - Jeplan: Tokyo'da 2007'de kurulan firma, glikoliz ile PET şişe ve tekstil atıklarından bis (2-hidroksietil) tereftalat (BHET) elde etmektedir (www.jeplan.co.jp/en).

TSH7 - Carbios: 2011 yılında Fransa'da kurulan firma, PET atıklarından 24 saat içerisinde tereftalik asit ve etilen glikol elde edilmesini sağlayan enzimatik depolimerizasyon işlemini geliştirmiştir (www.carbios.fr)

TSH7 - Garbo: 1997'de İtalya'da kurulan firma, Indorama, Plastipak ve Ikea ortaklığında gerçekleştirdikleri ChemPET projesinde PET atıklarından 6 saatlik bir glikoliz işlemi ile BHET elde edilmesini sağlayan bir proses geliştirmişlerdir (www.garbosl.net/?lang=en)

Türkiye'den başarılı örnek ve girişimler aşağıda sunulmuştur.

THS9 - Meltem Kimya - 2014 yılından itibaren glikoliz sisteminde depolimerizasyon (kimyasal geri dönüşüm) yöntemiyle PET geri kazanımı yapabilmektedir. Meltem Kimya'nın prosesinde gıdada kullanılmış PET şişeleri yabancı, kirletici maddelerden uzaklaştırılmış, renkleri ayıklanmış, sıcak yıkama ile dezenfekte edilmiş ve kırık haline getirilmiş şekilde kullanılmaktadır. Daha sonra bu atıklar depolimerizasyon yöntemi (Kimyasal Geri Dönüşüm) ile oligomer-monomerlere dönüştürülerek belli oranlarda orjinal üretim hammaddelerine ilave edilmekte ve polimerizasyonun tamamlanmasıyla tekrar PET gıda ambalaj hammaddesi PET resin üretilmektedir. Piyasaya sunulan PET resin, PET şişe haline getirilerek gıdaya uygun ambalaj olarak kullanılmaktadır. Böylece tam döngüsel ve potansiyel olarak sonsuz bir geri dönüşüm çözümü yaratılmaktadır. Geri dönüştürülmüş PET oranı % 15 ila % 50 arasında değişmektedir. Firmanın %100 geri dönüştürülmüş PET üretimi ile ilgili de planları bulunmaktadır.

THS9 – KÖKSAN A.Ş. – Köksan A.Ş. firması, şişeden şişeye dönüşümü tamamlayabilmek için geri dönüşüm malzemeden uluslararası düzenlemelerin onay verdiği Kimyasal Geri Dönüşüm Yöntemi (Kimyasal Depolimerizasyon) ile geri dönüştürülmüş PET resin üretimine başlamıştır. Ürün piyasadaki müşteri taleplerine göre %8 ile %25 geri dönüştürülmüş katkılı olarak üretilmektedir. Yeni planlanan yatırımlar ile %50 ve %100 geri dönüşüm pet resin üretimi hedeflemektedirler. Böylece şişeden tekrar şişeye tam dönüş sağlanmış olacaktır.

1.3.e. Enzimatik geri kazanım

THS9: Fransa merkezli CARBIOS firması 2016 yılında plastik şişelerin enzimatik dönüşümünde %100'lük bir depolimerizasyon başarısı getiren bir süreç geliştirdi. Bu süreçle amorf PET temelli ticari ürünlerin (su şişeleri gibi) tereftalik asit ve mono etilen glikol gibi temel monomerlere geri-kazanımı başarılıydı. CARBIOS tarafından geliştirilen tescilli enzimler bugüne kadar, belirli polyesterleri, özellikle şişelerde ve tekstillerde çok yaygın olan PET'i ve biyobazlı bir polimer olan PLA'yı (polilaktik asit) parçalama yeteneğine sahiptirler. Optimize edilmiş enzimler iki temel yenilikçi süreçte kullanılmaktadır: enzimatik geri dönüşüm ve biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerin üretimi.

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

1.3.a. Gazlaştırma ve piroliz teknolojilerinin geliştirilmesi

Hedeflenen teknolojik ilerlemenin sağlanabilmesi için bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber kimya bilimi, kimya mühendisliği, makine mühendisliği, çevre mühendisliği ve metalürji ve malzeme mühendisliği disiplinlerinden uzmanlar bir araya gelmelidir. Belirtilen bu iş birliği kapsamında bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber, kimyagerler elde edilen ürünlerin karakterizasyonu ve saflaştırılması, kimya mühendisleri prosesin geliştirilmesi, makine mühendisleri sistem ve ekipman tasarımı, çevre mühendisleri yaşam döngüsü analizi ve metalürji ve malzeme mühendisleri ise prosese uygun malzemelerin geliştirilmesi veya proses sonunda elde edilen materyallerin tekrar değerlendirilmesi konularında uzmanlıklarını ve yetkinliklerini ortaya koyabilirler.

Üniversitelerin, enstitülerin ve araştırma merkezlerinin yanında atıkların geliştirilecek ve uygulanacak prosese uygun toplanması için atık toplama ve ayrıştırma firmaları, teknolojinin hazırlık seviyesini yükseltebilecek, uygulayabilecek ve hayata geçirebilecek geri dönüşüm firmaları ve geri kazanılan malzemeyi karakterize edip işleyip tekrar kullanabilecek plastik firmaları, ortaya çıkan petrol ürünlerini distile edip ayrıştırabilecek petro-kimya firmaları bir arada çalışırsa projenin başarıya ulaşma şartı artacaktır.

Ar-Ge ve yenilik sürecinde üniversiteler, enstitüler ve araştırma merkezleri temel araştırmaları ve malzeme karakterizasyonlarını yapıp katkı sunabilirler. Atık toplama firmaları atıkların gazlaştırma ve piroliz prosesine uygun olacak şekilde en doğru nasıl toplanıp tasnif edileceğini çalışabilirler. Geri dönüşüm firmaları veya plastik üreticisi firmalar geliştirilen proseslerin ölçek büyütmesinde ve elde edilen malzemelerin tekrar ekonomiye en doğru ne şekilde nasıl kazandırılacağı yönünde katkı sunabilirler. Petro-kimya firmaları elde edilen piroliz yağının distilasyonunda veya tekrar kullanılabilirliği yönünde çalışmalar yürütebilirler.

1.3.b. Çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerinin, biyoesaslı çözücülerin, iyonik çözücülerin, süperkritik çözücülerin geliştirilmesi

Hedeflenen teknolojik ilerlemenin sağlanabilmesi için bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber kimya bilimi, kimya mühendisliği, makine mühendisliği, çevre mühendisliği ve tekstil mühendisliği disiplinlerinden uzmanlar bir araya gelmelidir. Belirtilen bu iş birliği kapsamında bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber, kimyagerler yenilikçi solventlerin geliştirilmesi, kimya mühendisleri prosesin geliştirilmesi, makine mühendisleri sistem ve ekipman tasarımı, çevre mühendisleri yaşam döngüsü analizi ve tekstil mühendisleri vb. mühendisler malzemelerin tekrar kullanılabilirliği konularında uzmanlıklarını ve yetkinliklerini ortaya koyabilirler.

Üniversitelerin, enstitülerin ve araştırma merkezlerinin yanında plastiklerin değer zincirinde bulunan tüm sektörlerin bir arada çalışması faydalı görülmektedir. Örneğin atıkların geliştirilecek ve uygulanacak prosese uygun toplanması için atık toplama ve ayrıştırma firmaları, teknolojinin hazırlık seviyesini yükseltebilecek, uygulayabilecek ve hayata geçirebilecek geri dönüşüm firmaları ve geri kazanılan malzemeyi karakterize edip işleyip tekrar kullanabilecek plastik firmaları bir arada çalışırsa projenin başarıya ulaşma şartı artacaktır.

Ar-Ge ve yenilik sürecinde üniversiteler, enstitüler ve araştırma merkezleri temel araştırmaları ve malzeme karakterizasyonlarını yapıp katkı sunabilirler. Atık toplama firmaları atıkların çözücü esaslı prosese uygun olacak şekilde en doğru nasıl toplanıp tasnif edileceğini çalışabilirler. Geri dönüşüm firmaları veya plastik üreticisi firmalar geliştirilen proseslerin ölçek büyütmesinde ve elde edilen malzemelerin tekrar ekonomiye en doğru ne şekilde nasıl kazandırılacağı yönünde katkı sunabilirler.

1.3.c. Hidrotermal proseslerin geliştirilmesi

Hedeflenen teknolojik ilerlemenin sağlanabilmesi için bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber kimya bilimi, kimya mühendisliği, makine mühendisliği, çevre mühendisliği ve metalürji ve malzeme mühendisliği disiplinlerinden uzmanlar bir araya gelmelidir. Belirtilen bu iş birliği kapsamında bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber, kimyagerler elde edilen ürünlerin karakterizasyonu ve saflaştırılması, kimya mühendisleri prosesin geliştirilmesi, makine mühendisleri sistem ve ekipman tasarımı, çevre mühendisleri yaşam döngüsü analizi ve metalürji ve malzeme mühendisleri ise süperkritik suya uygun malzemelerin geliştirilmesi konularında uzmanlıklarını ve yetkinliklerini ortaya koyabilirler.

Üniversitelerin, enstitülerin ve araştırma merkezlerinin yanında atıkların geliştirilecek ve uygulanacak prosese uygun toplanması için atık toplama ve ayrıştırma firmaları, teknolojinin hazırlık seviyesini yükseltebilecek, uygulayabilecek ve hayata geçirebilecek geri dönüşüm firmaları ve geri kazanılan malzemeyi karakterize edip işleyip tekrar kullanabilecek plastik firmaları, ortaya çıkan petrol ürünlerini distile edip ayrıştırabilecek petro-kimya firmaları bir arada çalışırsa projenin başarıya ulaşma şartı artacaktır.

Ar-Ge ve yenilik sürecinde üniversiteler, enstitüler ve araştırma merkezleri temel araştırmaları ve malzeme karakterizasyonlarını yapıp katkı sunabilirler. Atık toplama firmaları atıkların hidrotermal prosese uygun olacak şekilde en doğru nasıl toplanıp tasnif edileceğini çalışabilirler. Geri dönüşüm firmaları veya plastik üreticisi firmalar geliştirilen proseslerin ölçek büyütmesinde ve elde edilen malzemelerin tekrar ekonomiye en doğru ne şekilde nasıl

kazandırılabilirliği yönünde katkı sunabilirler. Petro-kimya firmaları elde edilen son ürünün distilasyonunda veya tekrar kullanılabilirliği yönünde çalışmalar yürütebilirler.

1.3.d. Depolimerizasyon teknolojilerinin geliştirilmesi

Hedeflenen teknolojik ilerlemenin sağlanabilmesi için bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber kimya bilimi, kimya mühendisliği, makine mühendisliği, çevre mühendisliği ve tekstil mühendisliği disiplinlerinden uzmanlar bir araya gelmelidir. Belirtilen bu iş birliği kapsamında bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber, kimyagerler yenilikçi malzemelerin ve katalistlerin geliştirilmesi, kimya mühendisleri prosesin geliştirilmesi, makine mühendisleri sistem ve ekipman tasarımı, çevre mühendisleri yaşam döngüsü analizi ve tekstil mühendisleri malzemelerin tekrar kullanılabilirliği konularında uzmanlıklarını ve yetkinliklerini ortaya koyabilirler.

Üniversitelerin, enstitülerin ve araştırma merkezlerinin yanında plastiklerin değer zincirinde bulunan tüm sektörlerin bir arada çalışması faydalı görülmektedir. Örneğin atıkların geliştirilecek ve uygulanacak prosese uygun toplanması için atık toplama ve ayrıştırma firmaları, teknolojinin hazırlık seviyesini yükseltebilecek, uygulayabilecek ve hayata geçirebilecek geri dönüşüm firmaları ve geri kazanılan malzemeyi karakterize edip işleyip tekrar kullanabilecek plastik firmaları bir arada çalışırsa projenin başarıya ulaşma şartı artacaktır.

Ar-Ge ve yenilik sürecinde üniversiteler, enstitüler ve araştırma merkezleri temel araştırmaları ve malzeme karakterizasyonlarını yapıp katkı sunabilirler. Atık toplama firmaları atıkların depolimerizasyon prosesine uygun olacak şekilde en doğru nasıl toplanıp tasnif edileceğini çalışabilirler. Geri dönüşüm firmaları veya plastik üreticisi firmalar geliştirilen proseslerin ölçek büyütmesinde ve elde edilen malzemelerin tekrar ekonomiye en doğru ne şekilde nasıl kazandırılabilirliği yönünde katkı sunabilirler.

1.3.e. Enzimatik geri kazanım

Hedeflenen teknolojik ilerlemenin sağlanabilmesi için öncelikle biyoloji, kimya, biyoteknoloji, mikrobiyal genetik, protein mühendisliği, metabolik mühendislik, kimya mühendisliği, polimer mühendisliği, malzeme mühendisliği, hesaplamalı biyoloji, bilgisayar mühendisliği disiplinlerinden/alanlarından uzmanlar bir araya gelmelidir. Belirtilen bu iş birliği kapsamında bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber, biyologlar, biyoteknologlar, mikrobiyal genetik, protein mühendisliği, metabolik mühendislik alanında çalışan uzmanlar yeni enzimlerin, enzimatik mekanizmaların keşfi, karakterizasyonu, rekombinant üretimi, ölçek büyütme ile yeni enzimlerin geliştirilmesi konularında; hesaplamalı biyoloji ve bilgisayar mühendisliği alanlarındaki uzmanlar yeni enzimlerin keşfi ve geliştirilmesi için veritabanlarının taranması

oluşturulması, metagenomik çalışmalarıyla makine öğrenmesi temelli *de novo* enzim tasarımlarında; kimya, kimya mühendisliği, polimer mühendisliği, malzeme mühendisliği plastiklerin ve bunların enzimatik geri-dönüşüm ürünlerinin karakterizasyonu, süreç optimizasyonları, enzim içeren yeni dönüştürülebilir polimerlerin tasarım ve sentezleri çalışmalarında uzmanlıklarını ve yetkinliklerini ortaya koyabilirler.

Üniversitelerin, enstitülerin ve araştırma merkezlerinin yanında plastiklerin değer zincirinde bulunan tüm sektörlerin bir arada çalışması faydalı görülmektedir. Özellikle biyoteknoloji firmaları ve ön muamele süreçlerini gerçekleştirecek firmalar bu süreçte önemlidir. Bunların yanı sıra atıkların geliştirilecek ve uygulanacak süreçlere uygun toplanması için atık toplama ve ayrıştırma firmaları, teknolojinin hazırlık seviyesini yükseltebilecek, uygulayabilecek ve hayata geçirebilecek geri dönüşüm firmaları ve geri kazanılan malzemeyi karakterize edip işleyip tekrar kullanabilecek plastik firmalarının bir arada çalışması projenin başarıya ulaşma şansını artıracaktır.

Üniversiteler, enstitüler ve araştırma merkezleri temel araştırmaları, enzim taramalarını, protein mühendisliği çalışmalarını ve *de novo* enzim geliştirme çalışmalarını, enzimlerin ve plastik substrat ve geri dönüşüm ürünlerinin karakterizasyonlarını yapıp katkı sunabilirler. Bunun yanı sıra ilgili enzimlerin büyük ölçekte üretimi için üniversiteler, enstitüler ve araştırma merkezleri ile rekombinant üretim yapan biyoteknoloji firmaları ortak çalışmalar yürütebilirler. Atık toplama firmaları atıkların toplama ve ön işleme süreçlerinin enzimatik prosese en uygun olarak nasıl yapılacağını çalışabilirler. Geri dönüşüm firmaları veya plastik üreticisi firmalar geliştirilen proseslerin ölçek büyütmesinde ve elde edilen malzemelerin tekrar ekonomiye en doğru ne şekilde nasıl kazandırılacağı yönünde katkı sunabilirler.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması

1.3.a. Gazlaştırma ve piroliz teknolojilerinin geliştirilmesi

Teknoloji geliştirme çalışmalarında multidisipliner yapı ve birden fazla partner olması teşvik edilmelidir. Teknoloji hazırlık seviyesinin düşük olduğu çalışmalarda üniversite, enstitü ve araştırma merkezi gibi kurumlar yürütücü olurken mutlaka uygulayıcı bir özel kuruluş veya kamu kurumu partner veya danışman olmalıdır. Böylece teknoloji geliştirilirken piyasanın ihtiyaçlarına göre gerçekçi bir süreç izlenmiş olacaktır. THS yüksek olan projelerde ise araştırma kurumları ile uygulama kurumları mutlaka işbirliği halinde bulunmalıdır. Fikri mülkiyet haklarının paylaşımına dair esaslar üzerinde projenin en başında bir mutabakata varılarak tarafların bir araya gelmesi gerekmektedir.

1.3.b. Çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerinin, biyoesaslı çözücülerin, iyonik çözücülerin, süperkritik çözücülerin geliştirilmesi

Teknoloji geliştirme çalışmalarında multidisipliner yapı ve birden fazla partner olması teşvik edilmelidir. Teknoloji hazırlık seviyesinin düşük olduğu çalışmalarda üniversite, enstitü ve araştırma merkezi gibi kurumlar yürütücü olurken mutlaka uygulayıcı bir özel kuruluş veya kamu kurumu partner veya danışman olmalıdır. Böylece teknoloji geliştirilirken piyasanın ihtiyaçlarına göre gerçekçi bir süreç izlenmiş olacaktır. THS yüksek olan projelerde ise araştırma kurumları ile uygulama kurumları mutlaka işbirliği halinde bulunmalıdır. Fikri mülkiyet haklarının paylaşımına dair esaslar üzerinde projenin en başında bir mutabakata varılarak tarafların bir araya gelmesi gerekmektedir.

Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve Yenilik projeleri ile yukarıda belirtilen disiplinler ve sektörler bir araya getirilebilir. Bu konuların henüz yeni çalışılmaya başlayan konular olmasından dolayı, teknoloji platformları ve yenilik ağları ortaya çıkan inovasyonun ve fikri mülkiyet haklarının yönetimini zorlaştıracaktır. Bu sebeple temel araştırmaların ar-ge projesi olarak kalması faydalı olacaktır.

Fikri mülkiyet haklarının yönetiminde uygun mekanizmalarla eşgüdüm içinde büyük platformlu projeler desteklenebileceği gibi birbirinden bağımsız ilerleyebilen ve çoklu inovasyon alanları sunabilecek, her bir projenin kendi içerisinde multidisipliner yapıda olması şartıyla ayrı ayrı projeler şeklinde destek mekanizmaları da düşünülebilir.

1.3.c. Hidrotermal proseslerin geliştirilmesi

Teknoloji geliştirme çalışmalarında multidisipliner yapı ve birden fazla partner olması teşvik edilmelidir. Teknoloji hazırlık seviyesinin düşük olduğu çalışmalarda üniversite, enstitü ve araştırma merkezi gibi kurumlar yürütücü olurken mutlaka uygulayıcı bir özel kuruluş veya kamu kurumu partner veya danışman olmalıdır. Böylece teknoloji geliştirilirken piyasanın ihtiyaçlarına göre gerçekçi bir süreç izlenmiş olacaktır. THS yüksek olan projelerde ise araştırma kurumları ile uygulama kurumları mutlaka işbirliği halinde bulunmalıdır. Fikri mülkiyet haklarının paylaşımına dair esaslar üzerinde projenin en başında bir mutabakata varılarak tarafların bir araya gelmesi gerekmektedir.

Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve Yenilik projeleri ile yukarıda belirtilen disiplinler ve sektörler bir araya getirilebilir. Bu konuların henüz yeni çalışılmaya başlayan konular olmasından dolayı, teknoloji platformları ve yenilik ağları ortaya çıkan inovasyonun ve fikri mülkiyet haklarının yönetimini zorlaştıracaktır. Bu sebeple temel araştırmaların Ar-Ge projesi olarak kalması faydalı olacaktır.

Fikri mülkiyet haklarının yönetiminde kolaylık olması ve birbirinden bağımsız ilerleyebilen inovasyon alanları sunulması için her bir projenin kendi içerisinde multidisipliner yapıda olması şartıyla ayrı ayrı projeler şeklinde destekleme uygun olacaktır.

1.3.d. Depolimerizasyon teknolojilerinin geliştirilmesi

Teknoloji geliştirme çalışmalarında multidisipliner yapı ve birden fazla partner olması teşvik edilmelidir. Teknoloji hazırlık seviyesinin düşük olduğu çalışmalarda üniversite, enstitü ve araştırma merkezi gibi kurumlar yürütücü olurken mutlaka uygulayıcı bir özel kuruluş veya kamu kurumu partner veya danışman olmalıdır. Böylece teknoloji geliştirilirken piyasanın ihtiyaçlarına göre gerçekçi bir süreç izlenmiş olacaktır. THS yüksek olan projelerde ise araştırma kurumları ile uygulama kurumları mutlaka işbirliği halinde bulunmalıdır. Fikri mülkiyet haklarının paylaşımına dair esaslar üzerinde projenin en başında bir mutabakata varılarak tarafların bir araya gelmesi gerekmektedir.

Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve Yenilik projeleri ile yukarıda belirtilen disiplinler ve sektörler bir araya getirilebilir. Bu konuların henüz yeni çalışılmaya başlayan konular olmasından dolayı, teknoloji platformları ve yenilik ağları ortaya çıkan inovasyonun ve fikri mülkiyet haklarının yönetimini zorlaştıracaktır. Bu sebeple temel araştırmaların Ar-Ge projesi olarak kalması faydalı olacaktır.

Fikri mülkiyet haklarının yönetiminde kolaylık olması ve birbirinden bağımsız ilerleyebilen inovasyon alanları sunulması için her bir projenin kendi içerisinde multidisipliner yapıda olması şartıyla ayrı ayrı projeler şeklinde destekleme uygun olacaktır.

1.3.e. Enzimatik geri kazanım

Teknoloji geliştirme çalışmalarında multidisipliner yapı ve birden fazla partner olması teşvik edilmelidir. Multidisipliner yapılarda proje koordinasyonlarının, partner katkılarının ve karşılıklı bilgi akışının düzenli bir biçimde yapılması için gerekli kanalların açılması teşvik edilmelidir. Teknoloji hazırlık seviyesinin düşük olduğu çalışmalarda üniversite, enstitü ve araştırma merkezi gibi kurumlar yürütücü olurken mutlaka uygulayıcı bir özel kuruluş veya kamu kurumu partner veya danışman olmalıdır. THS yüksek olan projelerde ise araştırma kurumları ile uygulama kurumları mutlaka işbirliği halinde bulunmalıdır. Uygulama kuruluşları ile diğer partnerler arasında düzenli eleman değişimleri ve/veya ziyaretleri planlanarak, üretim ve geri-kazanım süreçlerine dair teknoloji geliştirilirken daha gerçekçi ve verimli süreçlerin geliştirilmesi sağlanmalıdır. Fikri mülkiyet haklarının paylaşımına dair esaslar üzerinde projenin en başında bir mutabakata varılarak tarafların bir araya gelmesi esastır.

Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve Yenilik projeleri, teknoloji platformları ve yenilik ağları ile yukarıda belirtilen disiplinler ve sektörler bir araya getirilebilir. Bu konuların henüz yeni çalışılmaya başlayan konular olmasından dolayı, teknoloji platformları ve yenilik ağları ortaya çıkan inovasyonun ve fikri mülkiyet haklarının yönetimini zorlaştıracak olsa da önden yapılan protokollerle mutabakat oluşturularak bu sorunun üstesinden gelinebileceği öngörülmektedir. Multidisipliner projelerin dünya ve Avrupa ile rekabet edebilmesi açısından yüksek bütçelerle desteklenmesi gerekmektedir.

Destek mekanizması ayrı ayrı yürüyen projeler halinde de olabilir, büyük bir platform/konsorsiyum bünyesinde eşgüdüm içinde de planlanabilir. Bu projelerin inovatif yönleri, mükemmeliyetleri, etki ve implementasyonları ile proje ekiplerinin uyumu, yetkinlikleri, karşılıklı bilgi transferleri gibi konular desteklerde ve değerlendirmede baz alınmalıdır.

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

(Kısa Vade: 1-3 yıl, Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla)

1.3.a. Gazlaştırma ve piroliz teknolojilerinin geliştirilmesi

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının THS 3-4 seviyesini hedefleyen temel araştırma çıktıları kısa vadede (1-3 yıl) gerçekleştirilebilir. Piroliz ve gazlaştırma sistemleriyle ilgili ekipmanlara ve proses ihtiyaçlarına dair mevcut çözümler pazarda bulunmaktadır. Bu konudaki yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi ve laboratuvar da doğrulanması ile ardından pilot ölçeğe taşınıp ölçeklenebilirliğinin doğrulanması maksimum 4-5 yıl civarı bir süre alacaktır. Sadece Ar-Ge ve laboratuvar doğrulama projeleri için 2-3 yıllık bir süre öngörülebilir.

THS 3-4 seviyesine çıkacak çalışmalar için 1-1.5 Milyon Türk Lirası, THS 5 ve 6 seviyesine çıkacak projeler için ise 2-3 Milyon Türk Lirası bir bütçe öngörülebilir.

1.3.b. Çözücü esaslı saflaştırma teknolojilerinin, biyoesaslı çözücülerin, İyonik çözücülerin, süperkritik çözücülerin geliştirilmesi

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının THS 3-4 seviyesini hedefleyen temel araştırma çıktıları kısa vadede (1-3 yıl) gerçekleştirilebilir. Çözücü bazlı bir geri dönüşüm sisteminin geliştirilmesi için orta vadeli bir süre (3-5 yıl) hedeflenebilir. Çözücü sistemlerin geliştirilmesi ve laboratuvar da doğrulanması ile ardından pilot ölçeğe taşınıp ölçeklenebilirliğinin doğrulanması maksimum 4-5 yıl civarı bir süre alacaktır.

THS 3-4 seviyesine çıkacak çalışmalar için 1-1.5 Milyon Türk Lirası, THS 5 ve 6 seviyesine çıkacak projeler için ise 2-3 Milyon Türk Lirası bir bütçe öngörülebilir.

1.3.c. Hidrotermal proseslerin geliştirilmesi

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının THS 3-4 seviyesini hedefleyen temel araştırma çıktıları kısa vadede (1-3 yıl) gerçekleştirilebilir.

Hidrotermal dönüşüm prosesinden ürün(lerin) ortaya çıkması için orta vadeli bir süre (3-5 yıl) hedeflenebilir. Laboratuvarda yapılacak doğrulamanın ardından bilgi ve tecrübeler pilot ölçeğe taşınıp ölçeklenebilirliğinin doğrulanması maksimum 4-5 yıl civarı bir süre alacaktır.

THS 3-4 seviyesine çıkacak çalışmalar için 1-1.5 Milyon Türk Lirası, THS 5 ve 6 seviyesine çıkacak projeler için ise 2-3 Milyon Türk Lirası bir bütçe öngörülebilir.

1.3.d. Depolimerizasyon teknolojilerinin geliştirilmesi

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının THS 3-4 seviyesini hedefleyen temel araştırma çıktıları kısa vadede (1-3 yıl) gerçekleştirilebilir. Depolimerizasyon geri dönüşüm sisteminin geliştirilmesi için orta vadeli bir süre (3-5 yıl) hedeflenebilir. Prosesin geliştirilmesi ve laboratuvarda doğrulanması ile ardından pilot ölçeğe taşınıp ölçeklenebilirliğinin doğrulanması maksimum 4-5 yıl civarı bir süre alacaktır.

THS 3-4 seviyesine çıkacak çalışmalar için 1-1.5 Milyon Türk Lirası, THS 5 ve 6 seviyesine çıkacak projeler için ise 2-3 Milyon Türk Lirası bir bütçe öngörülebilir.

1.3.e. Enzimatik geri kazanım

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının THS 3-4 seviyesini hedefleyen temel araştırma çıktıları kısa vadede (2-3 yıl) gerçekleştirilebilir.

Süreç ve enzim geliştirme (*de novo*) ve pilot uygulamalar için orta vadeli bir süre (3-5 yıl) hedeflenebilir.

Enzimatik geri kazanım için multidisipliner THS 3-4 seviyesine çıkacak çalışmalar için en az 5 Milyon Türk Lirası, THS 5 ve 6 seviyesine çıkacak projeler için ise en az 20 Milyon Türk Lirası bir bütçe öngörülebilir. Tek disiplinli, minimum işbirliği içeren, sanayiye translasyonu hedeflemeyen, yenilikçi yönü düşük çalışmalar için bütçeler daha düşük tutulabilir.

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

Mevzuat mevcut haliyle teknolojik ilerlemeye imkan tanımamaktadır. Çünkü yüksek miktarlarda üretilmiş fabrika çıkışlı saf ürünün fiyatı geri kazanılmış ve saf nitelikli malzemeye göre çoğunlukla daha yüksek olacaktır veya geri dönüşütürülmüş malzemenin kar marjı yeni

polimerlerden düşük olacaktır. Ultra saf nitelikli geri kazanılmış polimerlerin veya katma değerli çeşitli kimyasallara dönüştürülmüş malzemelerin rekabet avantajı elde edebilmesi ve böylece plastiklerde tam döngüsellüğün yakalanabilmesi için vergi avantajları veya bu tarz proseslerin enerji maliyetlerinde imtiyazlar getirilebilir. Bu proseslerden elde edilecek polimerler için gıda temasına uygunluk konusunda mevzuat ve yasal düzenlemeler belirgin hale getirilebilir.

Teknik Altyapılar

Ülkemizde test ve analizler konusunda yeterli altyapı olduğu düşünülmektedir. Sertifikasyon konusunda eksiklikler bulunmaktadır. Örneğin geri dönüşüm ile elde edilmiş ultra saf polimerin gıda uyumluluğu için testler yapılabilir ancak bu konuda herhangi bir sertifikasyon veya onay mekanizması bulunmamaktadır. Plastik ürünlerin karbon ayak izi veya geri dönüştürülmüş polimer içeriğine göre sınıflandırılması ve etiketlenilmesi düşünülebilir. Geliştirilecek teknolojilerin ekonomiye adaptasyonu ve kabul edilebilirliğinin artması için bu tür sertifikasyonlar önemlidir.

İnsan Kaynakları

Bu konularda yetiştirilebilecek ve yetkinleşebilecek yeterince insan kaynağı mevcuttur. Ar-Ge projelerine verilecek destek ile bu nitelikli insanların bahsi geçen konularda uzmanlaştırılması gerekmektedir.

Destek ve Teşvikler

Bu konuda özellikle geri dönüştürülen ürünlerin bilhassa başlangıçtaki düşük hacimli ticarileştirilmesi aşamalarında maliyet dezavantajlarını karşılayacak vergi teşviklerine ihtiyaç vardır. Geliştirilen teknolojilerin sanayiye entegrasyonları ve daha yüksek hacimli/düşük maliyetli operasyon ve ürünlerin eldesi hızlanacak ve artacaktır.

Kaynaklar:

Raheem AB, Noor ZZ, Hassan A, Abd Hamid MK, Samsudin SA, Sabeen AH. Current developments in chemical recycling of post-consumer polyethylene terephthalate wastes for new materials production: A review. J Clean Prod, 2019, 225, 1052–64.

Ina Vollmer, Michael J. F. Jenks, Mark C. P. Roelands, Robin J. White, Toon van Harmelen, Paul de Wild, Gerard P. van der Laan, Florian Meirer, Jos T. F. Keurentjes, and Bert M. Weckhuysen, Beyond Mechanical Recycling: Giving New Life to Plastic Waste, Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 59, 2–24.

www.ioniqa.com

www.gr3n-recycling.com

www.biocollection.com

TÜBİTAK Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası – Plastik Sektörü, 2023

www.jeplan.co.jp/en

www.carbios.fr

Kritik Ürün/Teknoloji 1.4.

1.4. Kapalı devre geri dönüşüm sistemlerinin oluşturulması (bottle-to-bottle)- Kapalı çevrim-depozit işlemleri

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

1.4.a. Orijinal plastikte aynı amaç için kullanılan bir ürün elde etmek için plastiğin geri dönüşümü

Kritik Ürün/Teknoloji 1.4.

1.4. Kapalı devre geri dönüşüm sistemlerinin oluşturulması (bottle-to-bottle)- Kapalı çevrim-depozit işlemleri

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

Atık önleme olarak da bilinen kaynak azaltma, EPA tarafından “malzemelerin veya ürünlerin (ambalaj dahil) tasarımında, üretiminde, satın alınmasında veya kullanımında, kentsel katı atık haline gelmeden önce miktarlarını veya toksisitelerini azaltmak için yapılan değişiklik” olarak tanımlanmaktadır [1]. Plastik atıkları kontrol etmek ve azaltmak için, ambalaj inovasyonu ile birlikte atık yönetimi uygulamasının (yeniden kullanma, azaltma, yeniden tasarlama ve ambalajı geri dönüştürme) ilkelerini kullanarak kaynak azaltma uygulanabilir. Kuzey Amerika, Avrupa ve Güney Asya dahil olmak üzere birçok coğrafi bölge, bir geri dönüşüm programını teşvik etmiş ve/veya ambalaj atığı yönetimi için bir politika benimsemiştir. Bunlara depozit sistemleri, vergiler ve plastik torba yasakları dahildir.

Plastik şişe geri dönüşümü için uygun bertaraf ve toplama çok önemlidir. Geri dönüştürülebilir plastiği, çöp sahası atıklarına sızmadan önce çıkarmayı amaçlayan kaynak ayırma, kontaminasyonun azaltılması geri kazanımın iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Tüketim sonrası PET içecek şişelerinin toplanması iki ana sistemden oluşur: (1) kaldırım kenarı toplama sistemi (2) depozit sistemi.

Kaldırım kenarı toplama sistemi için, PET şişeler, geri dönüştürülebilir malzemelerden, malzeme geri kazanım tesislerinde (MRF; malzeme ıslah tesisleri olarak da bilinir) özel balyalara ayrılır. MRF'ler yerel koleksiyon modeline göre tasarlanmıştır. Kaldırım kenarı toplama sistemi programları için dört model vardır [2]: (1) Evdeki tüketicilerin atıkları kâğıt, cam, metal ve plastik gibi farklı geri dönüştürülmüş ambalaj malzemeleri kategorilerine ayırdığı vatandaşın ayrımı. Bu atık akışların her biri özel bir kurtarma tesisinde toplanır. (2) Kaldırım kenarı toplamanın ardından, malzemelerin farklı kategorilere ayrılmasından sürücünün sorumlu olduğu ve MRF'de daha fazla ayırmanın gerekli olmadığı kamyon sınıflandırması. Böyle bir modelin bir örneği California, La Mesa'da görülmektedir. (3) Tüm ayrımın MRF'de gerçekleştiği ve ne tüketici ne de sürücü tarafından yapılan bir sıralamanın olmadığı yer ayrımı. MRF tesisinde ayırma, manuel veya mekanik yöntemlerle yapılır. Güney Seattle'daki Rabanco geri dönüşüm programı bu modelin bir örneğidir. (4) Toplamanın normal çöp ve geri dönüştürülmüş malzemeler arasında ayırım yapmadığı ortak toplama. Böyle bir karışık

malzeme akışı, MRF için önemli zorluklar doğurur. Bu durumda ayırma maliyeti de yüksektir. Omaha, Nebraska bu programı benimsemiştir.

Depozit sistemlerinin çalışma kuralları, depozit-iade mevzuatı veya şişe faturaları ile belirlenir. Depozit sistemleri, geri dönüşüme katılımı artırmak için parasal bir motivasyon kullanır. Bu sistemler, ürünün perakende mağazasından satın alındığı sırada kaplara bir depozito ücreti ekleyerek geri dönüşümü teşvik eder. Tüketiciler, paketi toplama merkezine iade ettikten sonra depozitoyu geri alırlar. Konteyner depolama mevzuatı (CDL), bu nedenle, mono-malzeme toplama akışlarının oluşturulmasına ve sonuç olarak daha iyi bir PCR PET kalitesine yardımcı olur. Şişe faturaları, içecek kaplarının geri dönüşüm oranını büyük ölçüde artırır ve tüketici davranışlarını etkiler. Bununla birlikte, bazı ABD eyaletlerinde, siyasi direniş ve içecek endüstrisi muhalefeti, depozit sistemlerinin yasalaştırılmasında zorluklar ortaya çıkarmaktadır [3]. Toplama yöntemleri, kirleticilerin azaltılması ve geri dönüştürülmüş PET'in nihai kalitesinin elde edilmesinde önemlidir [4,5]. Kaldırım kenarı ve depozit toplama programları yalnızca kısmen örtüşmektedir. Kaldırım kenarı toplama programları, depozito programları kapsamında olmayan, evdeki geri dönüştürülebilir malzemeleri kapsar. Depozit programları, kaldırım kenarı toplamanın hizmet vermeyebileceği yerlerden depozit kaplarını kurtarır. Bu toplama programlarının itici gücü, katı atık sorununu en aza indirmek ve geri dönüştürülebilir malzemelerin geri kazanılması için yollar sağlamaktır.

İade edilebilir şişe sistemleri aracılığıyla şişenin yeniden kullanımı, Güney Amerika'da ve çeşitli Avrupa ülkelerinde [6-8] yaygın olarak uygulanmakta ve böylece atık azaltımı sağlanmaktadır. Ancak çoğu bölgede PET şişeler tek kullanımlık ambalajlar için tasarlanmıştır ve ilk kullanımdan sonra atılır. Ambalaj atıklarından kaynaklanan çevresel etkiyi azaltmak ve plastik ambalajlarda sürdürülebilirliği sağlamak için geri dönüştürülebilir malzeme akışlarını eldesinde belediye geri dönüşüm programları uygulanmaktadır. Gıda ile temas eden ambalajlara geri dönüştürülmüş plastiklerin dahil edilmesi, gıda güvenliğine ilişkin endişeler nedeniyle yavaş olmuştur. Ancak, artan kamuoyu baskısı ve üreticiler arasında artan bilinç ile bu algı değişmeye başlamıştır [9].

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na (EPA) göre 2018 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'nde toplam belediye katı atıklarının (MSW) %12,2'si olan 35,7 milyon ton plastik atık üretilmiştir. Bu plastik atık, PET şişe atıklarına ek olarak poliolefin ve polyester torbaları, ambalajları vb. içermektedir. Yaklaşık 27 milyon ton plastik (ABD plastik atıklarının %18,5'i) çöpe atılmıştır. Plastik ambalajların sadece %4,5'i geri dönüştürülmüştür [1]. AB için 2019 Avrupa Ekonomik Alanı verilerine göre, AB'de yaşayan kişi başına ortalama 34,4 kg plastik ambalaj atığı üretilmiştir. AB, kişi başına ortalama %41 (14,1 kg) oranında plastiği geri dönüştürmüştür [10]. Küresel olarak, PET toplam katı atığın %12'sini oluşturmaktadır. AB Çevre Komisyonu, üye ülkelerin plastik atığı önemli ölçüde azaltabilecekleri yollar

tasarlamıştır. Bu yollar, tüketici davranışındaki değişimi teşvik etmeye yönelik kavramları, atık toplama, atık ayırma ve geri dönüşümü içeren atık yönetiminin iyileştirilmesinin yanı sıra düzenli depolama alanlarına kabul edilen atıkların kısıtlanmasını içermektedir [11].

Plastik ambalaj, tüketici ürünleri pazarının %70'ini oluşturmaktadır. İçecek ambalajları öncelikle soğuk dolmuş (aseptik gibi), gazlı alkolsüz içecekler ve sıcak dolmuş olarak sınıflandırılabilir. Uygun içecek paketleme malzemesini seçerken, malzeme doldurma/işleme sıcaklıklarına dayanabilmeli, paketlenmiş içeceğin kalitesini amaçlanan raf ömrü boyunca sürdürebilmeli ve dahili basınçlandırma gereksinimlerine dayanabilmelidir. Termal stabilite gereksinimleri, içeceğin ve kabın sterilizasyon işlemine göre belirlenir. Soğuk dolmuş içecekleri sterilizasyon gerektirmez. Bunlara su ve yüksek asitli içecekler dahildir. Sıcak dolmuş içecekleri, izotonik içecekler, çaylar ve meyve suyu gibi yüksek asitli ürünleri içerir. Gazlı içecekler (alkolsüz içecekler gibi) oda sıcaklığında 5 bar'a kadar iç basınçlarda deforme olmayan bir ürün gerektirir. Ambalaj malzemesi seçimi, bozulmanın önlenmesinde, organoleptik niteliklerin (koku, tat, doku) ve besin değerinin (örneğin portakal suyunda C vitamini oksidasyonunun önlenmesi) korunmasında ve tüketici sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynar. Bariyer ve mekanik özellikler açısından çeşitli ambalaj malzemeleri, içecek ambalajlarında kullanım için uygundur. İçecek ambalajları, cam şişeler, alüminyum kutular, folyo lamine karton kutular, folyo lamine esnek poşetler ve plastik şişeleri içerir [12, 13]. Polyester bir plastik olan polietilen tereftalat (PET veya PETE), içecekler için en yaygın kullanılan ambalaj malzemelerinden biridir. Mükemmel şeffaflığı, hafifliği, gaz ve su bariyeri özellikleri, darbe dayanımı, UV direnci ve kırılmazlığı (cam şişeye kıyasla) nedeniyle, içecek ambalajları için PET şişelerin üretimi ve kullanımı dünya çapında sürekli olarak artmıştır. PET, cam şişeler, alüminyum kutular, kartonlar ve diğer plastikler gibi alternatif ambalaj seçeneklerinde bulunmayan performans avantajlarına sahip geri dönüştürülebilir bir çözümdür. Euromonitor International'dan (Londra, İngiltere) elde edilen verilere göre içecek sektöründe su, gazlı içecekler, enerji içecekleri, çay ve kahve arasında PET şişe pazar payının %67'sini oluşturmaktadır. Tek kullanımlık şişelerde (<1 L) PET, 2021'de ABD'de tek kullanımlık içecek ambalajlarının %44,7'sini oluşturmuştur. Karşılaştırıldığında, alüminyum kutular %39, cam %11 ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) %3.4 paya sahiptir.

Çoğu plastikte olduğu gibi, PET petrol bazlı bir polimerdir ve doğada kolayca ayrışmaz. 2015 yılında üretilen küresel plastik atık yaklaşık 141 milyon tondur [14]. Düzenli depolama alanlarına gömülen ambalaj atıkları, hava, su ve toprak kirliliğine hala neden olmaktadır. Ek olarak, mevcut depolama alanları tükenmektedir. Depolama sahasındaki plastik yüzdesinin hacimce ağırlıktan daha yüksek olduğuna dikkat edilmelidir [15]. Plastik ambalaj atıklarının yakılması, depolama alanı sıkıntısını önler ve enerji üretir, ancak emisyon oluşumu ile hava

kirliliğine neden olur. Bu nedenle, plastik atıklardan kaynaklanan kirlilik, büyük bir küresel çevre sorunudur.

Tüketim sonrası geri dönüştürülmüş (PCR) malzeme, gıda ile temas eden uygulamalar için birincil ambalaj malzemesi olarak kullanılabilir. Bu nedenle, PET şişelerin toplanması ve PCR'ye geri dönüştürülmesinde istikrarlı bir artış olmuştur. PET geri dönüşüm teknolojisi, elli yılı aşkın bir süredir yaygın olarak uygulanmakta ve geliştirilmektedir [16]. Bu ilerlemeler, iyileştirilmiş geri dönüşüm ve PCR peletlerine dönüştürme yöntemleriyle devam etmektedir. Ayrıca, şişeden şişeye geri dönüşümün geliştirmesi, bu PCR peletini düşük dönüşüm uygulamalarından uzaklaştırmıştır. Şişeden şişeye ve şişeden enjeksiyona uygulamaları göz önüne alındığında, PET en başarılı geri dönüştürülmüş plastik malzemelerden biri haline gelmiştir.

PET ambalaj atıklarının geri dönüştürülmesine yönelik süreçler giderek gelişmektedir ancak bu geri dönüşüm süreçlerinde yer alan birim operasyonlara ilişkin bilgiler, geri dönüşümcülere özel kalmıştır. İçecek üreticileri, daha önce paketlenmiş kimyasallar veya ev ürünleri içerebilecek PET kaplardan üretilen PCR'nin gıda ile temas güvenliği konusunda endişeler taşımaktadır. PET polimeri tarafından potansiyel olarak emilen tehlikeli bileşikler, geri dönüşüm sırasında uygun şekilde çıkarılmazlarsa gıda maddelerine geçebilir [17]. Atık toplama yönetimi, süper temiz süreç ve gelişmiş geri dönüşüm gibi mevcut yöntemler, kimyasal kontaminasyonun giderilmesiyle PCR PET üretmek için alternatifler sunar. Bu işlemler, saf PET'e benzer kirlenici seviyelerine sahip PCR PET üretme potansiyeline sahiptir [18].

PET, saflaştırılmış tereftalik asit (PTA) olarak da adlandırılan etilen glikol (EG) ve tereftalik asit (TPA) arasındaki yoğuşma reaksiyonu ile oluşan lineer bir termoplastik polyesterdir. Yoğuşma reaksiyonu nedeniyle PET, ana zincirinde karbon olmayan atomlara sahiptir. Ana zincirin benzen bileşeni, polimere sertlik kazandırır. PET, işlenmesine ve ısıl işlemine bağlı olarak hem amorf hem de yarı kristal polimer olarak var olabilir [19]. Termal işlem sırasında ayrıca BHET(Bis(2-hydroxyethyl) terephthalate) ve düşük moleküler ağırlıklı polimer (oligomer) oluşur. PET, 67° C (amorf PET) ile 81° C (kristal PET) arasında bir camsı geçiş sıcaklığına (Tg) ve ~256–260 ° C'lik bir erime noktasına sahiptir [20]. PET şişelerin üretimi için en yaygın yöntem, iki aşamalı enjeksiyon gerdirmeli şişirme kalıplamadır (ISBM). Şişeler daha sonra doldurulur ve tüketicilere dağıtılır. Ürün tüketiminin ardından (şişeler birincil işlevini tamamladığında) atılır ve çeşitli geri dönüşüm akışlarına girebilir.

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

1.4.a. Orijinal plastikte aynı amaç için kullanılan bir ürün elde etmek için plastiğin geri dönüşümü

PET dört ana yöntemle geri kazanılabilir: birincil (yeniden ekstrüzyon), ikincil (mekanik), üçüncül (kimyasal) ve dördüncül (enerji geri kazanımı) [21]. Her yöntem maliyet, kalite ve çevresel ayak izi açısından kendi avantaj ve dezavantajlarına sahiptir.

1. Birincil Geri Dönüşüm (Yeniden Ekstrüzyon)

Yeniden ekstrüzyon, fabrika içi atıkları yakalamak için (plastik ambalajın üretildiği yerde) benimsenen bir geri kazanım işlemidir. Kirlenmemiş atık, talaş haline getirilir ve işlenmemiş malzeme ile karıştırılır veya alternatif kalıplama kullanımları için ikinci sınıf (ancak kirlenmemiş) malzeme olarak ayrılır [22].

2. İkincil Geri Dönüşüm (Mekanik)

Mekanik geri dönüşüm, geleneksel bir geri dönüşüm yöntemidir. Plastik kaplar sınıflandırıldıktan ve ilişkili kirleticilerden ayrıldıktan, yıkandıktan ve kurutulduktan sonra öğütülür, eritilir ve ekstrüzyon yoluyla plastik topaklar halinde yeniden işlenir.

3. Üçüncül Geri Dönüşüm (Kimyasal)

Kimyasal geri dönüşüm (gelişmiş geri dönüşüm olarak da bilinir), PET polimerinin ya orijinal bileşenlerine depolimerize edildiği ve yeni bir oligomere yeniden polimerize edildiği ya da sonraki saflaştırma için polimeri eritmek üzere solvatlandığı (solvoliz) bir işlemdir [23]. Böylece polimer zinciri ya kısmen daha küçük oligomere parçalanır ya da tamamen monomer birimlerine, sıvılara ve gazlara parçalanır [24]. Kimyasal geri dönüşüm, heterojen malzemeler veya kontamine plastik kaplar için uygundur ve plastik atıkların minimum ön işleme tabi tutulmasını gerektirir. İlgilenilen malzeme çok daha küçük moleküllere ayrıldığından, daha ince filtrasyon kullanmak ve böylece mekanik geri dönüşümle mümkün olandan çok daha iyi malzeme saflaştırması elde etmek mümkündür. Bu yöntem, PET ve poliamin, poliüretanlar ve polietilen gibi diğer polimerleri geri dönüştürmek için kullanılabilir [25].

4. Kuaterner Geri Dönüşüm (Enerji Geri Kazanımı)

Plastiğin enerji içeriği kısmen geri kazanılır. Plastiğin enerjiye dönüştürülmesi, bir fırında yakma yoluyla gerçekleştirilir. Böylece kimyasal enerji termal enerjiye dönüştürülür.

Türkiye’de atık ithalatının %17 sini PET oluşturmaktadır [26].

Türkiye’de toplam plastik hammaddenin %23’ünü de PET oluşturmaktadır [27].

Birincil geri dönüşümde, malzeme geri kazanılmadan önce tüketiciye ulaşmadığından, endüstri sonrası geri dönüştürülmüş (PIR) malzemeler PCR olarak kabul edilmez [25].

İkincil geri dönüşüm, polimerik malzemenin kimyasal yapısını değiştirmez. Ancak fiziksel geri dönüşüm, geri dönüştürülmüş PET’in moleküler ağırlığını etkiler. PET hidrofilik bir polimerdir ve nemi çeker. Yüksek sıcaklık koşulları altında (örneğin, eriyik ekstrüzyon), su ile reaksiyon, hidrolitik bozunma (hidroliz) ortalama moleküler ağırlığının (MW) azalması ile sonuçlanır. Molekül ağırlığının azaltılması, polimerik malzemenin mekanik özelliklerini, eriyik viskozitesini ve darbe direncini etkiler. Bu sorunu hafifletmek için, PCR üreticileri genellikle katı hal

polimerizasyonu (SSP) ile PET'in moleküler ağırlığını artırır; burada polimer, kondensat yan ürünlerini çıkarmak için erime noktasının altında ancak cam geçiş sıcaklığının üzerinde ısıtılır ve daha yüksek molekül ağırlığına sahip bir polimer elde edilir. Bu süreç, içsel viskoziteyi (IV) iyileştirir ve uçucu organik bileşikler (VOC) ortadan kaldırır. SSP'yi takiben geri dönüştürülmüş PET, benzen ve limonen içeriği için analiz edilebilir. Benzen, PVC kontaminasyonu ve bozulmasının bir yan ürünüdür. Limonen, esas olarak artık narenciye sularından taşınan bir aroma maddesidir ve paketlenmiş içeceğin organoleptik özelliklerini potansiyel olarak etkileyebilir [28]. Bu bileşenlerin miktar tayini, SSP'nin VOC uzaklaştırma etkinliğinin göstergesidir ve bu da, bir PCR'nin gıda ile temas uygulaması için uygun olduğunun göstergesidir. PET'in mekanik geri dönüşümü birçok ülkede yaygın olarak benimsenmiştir [29].

PET'in kimyasal geri dönüşümü son yıllarda aktif olarak çalışılmıştır [30]. PET kimyasal olarak beş farklı şekilde geri dönüştürülebilir: metanoliz, glikoliz, hidroliz, amonoliz ve aminoliz. Yalnızca metanoliz ve glikoliz, ticari ölçekte uygulanmaktadır.

Metanolizde, DMT ve EG'ye ek olarak, reaksiyon ürünleri alkoller, glikoller ve ftalat türevlerinin bir kombinasyonunu içerebilir. Metanolizden DMT verimi %80-85 aralığındadır.

Metanoliz prosesi için hem kesikli hem de sürekli prosesler kullanılabilir [31].

PET'i depolimerize etmek için süper kritik metanol de kullanılabilir. Depolimerizasyon reaksiyonu için 270–300°C işlem sıcaklıkları ve 0.1–15 MPa basınçlar gereklidir.

Yüksek moleküler ağırlıklı PET, düşük moleküler ağırlıklı PET'ten daha hızlı ayrışır [32]. DMT'nin saflaştırılması, glikoliz tarafından üretilen BHET'ten daha kolaydır. Bu nedenle metanoliz, mekanik geri dönüşüm süreçleri ile rekabet etmeyen düşük kaliteli, düşük maliyetli hammadde için tercih edilir. Ancak, glikoliz sürecinden daha maliyetli ve enerji yoğunudur[33].

Glikoliz, PET'in kimyasal olarak geri dönüştürülmesi için en ekonomik ve ticari olarak uygulanabilir yöntemdir. Genellikle yüksek kaliteli PET şişelerin geri dönüşümü için kullanılır ve hammadde için mekanik geri dönüşümle rekabet edebilir. Glikol (özellikle EG), BHET üretmek için PET zincirindeki ester bağlarını ayrıştırmak için kullanılır. Reaksiyon basınç altında gerçekleşir. Reaksiyon için gerekli sıcaklıklar 180–240° C aralığındadır [28, 31]. Glikoliz reaksiyonu genellikle bir ekstrüzyon işleminde gerçekleştirilir [33]. BHET üretiminde reaksiyon hızını arttırmak için bir katalizör gereklidir.

Glikolizdeki katalitik yetenekleri açısından değerlendirilen üç katı katalizör, SO₄ 2-/ZnO, SO₄ 2-/TiO₂ ve SO₄ 2-/ZnO-TiO₂'yi içerir. Her üç malzeme de termostabilite, süper asit özellikleri ve yüksek katalitik aktivite göstermiştir. SO₄ 2-/ZnO-TiO₂ katalizörü, 180°C'de 3 saat sonra, %72 BHET seçiciliği ile PET'in %100 dönüşümü üretmiştir. Katı katalizörlerin avantajları arasında süzme yoluyla uzaklaştırma kolaylığı ve aşındırıcı olmaması; bununla birlikte, reaksiyon süreci yüksek sıcaklıklar ve basınçlar gerektirir[34].

Katalizörler, PET'in etkin glikolitik depolimerizasyonu için gerekli olmasına rağmen, katı olmayan katalizörlerin üründen çıkarılması zordur ve yeniden kullanılamaz [35]. Etkili uzaklaştırma BHET saflığı için önemlidir. PET atıklarının yüksek kaliteli BHET monomerine depolimerizasyonu için etkili yeniden kullanılabilir katalizörlerin geliştirilmesine yönelik ilgi devam etmektedir. Bu yeniden kullanılabilir katalizörler arasında nanokompozitler ve iyonik sıvılar bulunur. Metal oksit, içsel katalitik özelliklere sahip bir katalizör olarak nano ölçekte incelenmiştir. Metal oksitler, yüzey alanları ve aktif bölgelerin sayısı nedeniyle üretimde elverişli olarak görülmektedir [36]. Poliokso metalatlar (POM'ler), nanomalzemeler olarak sınıflandırılan inorganik metal-oksijen kümeleridir. Kataliz alanında, POM'lar polimerizasyon, ayrışma, alkilasyon, transesterifikasyon ve esterifikasyonda kullanılmıştır [37]. PET glikolizinde katalizör olarak geçiş metali ikameli POM'lar $K_6SiW_{11}MO_{39}(H_2O)$ ($M = Zn^{2+}, Mn^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}$) çalışması, $SiW_{11}Zn$ 'nin en yüksek katalitik aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir [38]. Reaksiyon hızı, yumuşak koşullar altında ($185^{\circ}C$ sıcaklıkta atmosferik basınç) hızlıdır (30 dakika) ve BHET verimi %84'ün üzerindedir. PET'in depolimerizasyonu, 1:4'lük bir PET/EG ağırlık oranı ile düşük bir katalizör/PET molar oranında (%0.13) gerçekleştirilebilir. POM katalizörleri, filtrasyon yoluyla BHET üründen ayrılabilir.

İyonik sıvı (IL), erime sıcaklığı $100^{\circ}C$ 'nin altında olan sıvı formda bir tuzdur. İyonik sıvılar ilk olarak glikoliz ürünlerinin saflaştırılması için çalışılmıştır [39]. İyonik sıvı, birincil glikoliz depolimerizasyon katalizörü olarak incelenmiştir. Bir glikoliz katalizörü olarak, 1-bütül-3-metilimidazolyum bromürün ($[bmim] Br$), $180^{\circ}C$ 'de atmosfer basıncında 8 saatlik reaksiyonun ardından %100 PET dönüşümü sağladığı gösterilmiştir. Ek olarak, katalizör tekrar tekrar kullanılabilir. Glikoliz depolimerizasyonu ile kullanım için değerlendirilen ilave iyonik sıvı katalizörler arasında 1-bütül-3-etilimidazolyum bikarbonat ($[Bmim]HC_3$), 1-bütül-3-etilimidazolyum klorür ($[Bmim]Cl$), 1-bütül-3-metilimidazolyum tetra yer alır. -kloroferrat ($[Bmim]-FeCl_4$), 1-bütül-3-metilimidazolyum hidroksil ($[Bmim]OH$), 1-alil-3-etilimidazolyum halometallat ve 1-bütül-3-metilimidazolyum asetat bulunmaktadır [40].

Solvent destekli hidroliz, organik çözücülerin salınımı çevreye zararlı olduğu için, yoğun kullanımı önerilmemektedir [41].

Süper kritik sıcaklık ve basınç koşullarının PET hidrolizin, metanoliz ve glikoliz proseslerinde verimi iyileştirdiği gösterilmiştir. Sıcaklık ve basınç, EG için kritik noktanın üzerine çıkar. $450^{\circ}C$ ve 15.3 MPa'lık süperkritik koşullar altında EG ile, 30 dakika içinde %93.5 BHET'lik glikoliz verimleri gösterilmiştir [42]. Azaltılmış reaksiyon süresi, yüksek solvent yoğunluğu, çözünürlük, kinetik enerji, difüzyon hızı ve süperkritik etilen glikolün reaksiyon hızından kaynaklanmaktadır. Bu yöntemin ana avantajı, katalizöre gerek olmamasıdır. Bu nedenle, katalizörlerin reaksiyon ürünlerinden ayrılmasındaki zorluktan kaçınılır. Ana dezavantaj, proses için gerekli sıcaklık ve basınçları elde etmek için gereken enerjidir [43]. Süperkritik glikoliz işlemi, ihmal edilebilir

BHET dimer verimi, dietilen glikol (DEG) ve trietilen glikol (TEG) yan ürünleri ile yüksek bir BHET verimi sağlar.

Mikrodalga destekli glikolizde, depolimerizasyon reaksiyonu için enerji kaynağı olarak mikrodalga radyasyonu kullanılır. Mikrodalga radyasyon aktivasyonunun, glikolitik depolimerizasyon reaksiyon süresini 8 saatten 35 dakikaya indirdiği gösterilmiştir. Süperkritik glikolizin aksine, BHET verimi, bir katalizör eklenmeden reaksiyon süresinin azalmasıyla artmaz [44]. Susuz glikoliz için mikrodalga radyasyonlu alkali katalizörlerin kullanılmasının, reaksiyon süresini 3 dakikanın altına düşürdüğü gösterilmiştir. Reaksiyon süresinin daha da azaltılması, hem enerji hem de üretim verimliliği açısından bir avantajdır. Alkali konsantrasyonu ve radyasyon süresi, proses verimliliğine ilişkin çıkarımları nedeniyle optimizasyon için kilit noktalar [45]. PET mikrodalga destekli glikoliz için katalizör olarak çinko asetatın kullanılmasının (%0.5, w/w) benzer şekilde reaksiyon süresini en aza indirdiği gösterilmiştir (30 dakika; geleneksel glikolitik işlem için gereken 8-9 saatten çok daha hızlı). 170–175° C'de mikrodalga radyasyonu ile iyonik sıvı katalizörlerin kombinasyonunun, %100'e varan PET dönüşümü ile %64 BHET verimi ürettiği gösterilmiştir [46]. BHET verimi, kalıntı oligomerleri depolimerize etmek için ikinci bir glikoliz adımı ile daha da arttırılabilir. Glikol oranı, reaksiyon süresi ve gliserol konsantrasyonu, üretim verimini en üst düzeye çıkarmada önemli faktörlerdir.

PET, hidroliz yoluyla EG ve TPA'ya depolimerize edilebilir. Geri dönüştürülmüş TPA'nın saflaştırılması maliyetli olduğu için, geri dönüştürülmüş gıda sınıfı PET için hidroliz yaygın olarak kullanılmaz. Bu işlem, asidik, bazik veya nötr koşullar altında 1.4–2 MPa'lık yüksek basınçlar ve 200–250° C'lik yüksek sıcaklıklar kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Asit hidrolizi, çok pahalı bir yöntemdir ve kimyasalların yüksek derecede aşındırıcı doğası nedeniyle büyük miktarda inorganik tuzlar ve sulu atık üretilir.

Alkali hidroliz, kontaminasyonu iyi bir şekilde idare edebildiği ve yine de yüksek kaliteli TPA üretebildiği için ticari ölçekte geri dönüşüm potansiyeline sahiptir. TPA verimi doğrudan reaksiyon sıcaklığına ve katalizör konsantrasyonuna bağlıdır [47]. 200°C'de sulu amonyak çözeltisi kullanımının da PET alkali hidrolizi için iyi sonuçlar sağladığı gösterilmiştir [48]. Fosfonyum kuaterner tuzlarının, düşük çalışma sıcaklıklarında (130-190 kat daha fazla) alkali hidroliz reaksiyon hızını arttırdığı gösterilmiştir [49].

Nötr hidroliz: Nötr hidroliz reaksiyonu için 200-300°C sıcaklıktaki sıcak su veya buhar kullanılır ve bu işlemde esas olarak 1-4 MPa basınçlar kullanılır. Bu hidroliz yönteminin yüksek saflıkta TPA ve EG monomerleri [50] ve 250°C'den yüksek sıcaklıklarda [51] yüksek verim ürettiği gösterilmiştir. Alkali hidrolizde olduğu gibi, TPA ve EG verimi, reaksiyon sıcaklığındaki artışlarla doğrudan ilişkilidir. TPA veriminin, 420°C'lik reaksiyon sıcaklıklarında %90'a ulaştığı gösterilmiştir.

Hidroliz sırasında, üretilen seyreltilmiş EG, ekstraksiyon veya damıtma yoluyla geri kazanılabilir. Asit ve alkali hidrolize kıyasla daha az inorganik tuz oluşumu ile nötr hidroliz daha çevre dostu bir yöntem olarak kabul edilebilir. Bu yöntemin bir dezavantajı, nötr hidrolizden üretilen TPA'nın saflığının, asit ve alkali hidrolizden daha düşük olması ve bunun da yeniden polimerize edilmiş PET'te safsızlıklara yol açmasıdır. Potansiyel ürün kontaminasyonu, kaprolaktam veya sodyum hidroksit solüsyonunda çözünen TPA solüsyonunun filtrasyonu ile giderilebilir [51]. TPA'nın kaprolaktamdan kristalizasyonunun, %99'un üzerinde bir saflıkta TPA ürettiği gösterilmiştir [52].

EG'nin katalitik dehidroksilasyonu daha düşük EG verimine neden olabilir. Hidroliz sırasında, üretilen seyreltilmiş EG, ekstraksiyon veya damıtma yoluyla geri kazanılabilir. Asit ve alkali hidrolize kıyasla daha az inorganik tuz oluşumu ile nötr hidroliz daha çevre dostu bir yöntem olarak kabul edilebilir. Bu yöntemin bir dezavantajı, nötr hidrolizden üretilen TPA'nın saflığının, asit ve alkali hidrolizden daha düşük olması ve bunun da yeniden polimerize edilmiş PET'te safsızlıklara yol açmasıdır. Potansiyel ürün kontaminasyonu, kaprolaktam veya sodyum hidroksit solüsyonunda çözünen TPA solüsyonunun filtrasyonu ile giderilebilir. TPA'nın kaprolaktamdan kristalizasyonunun, %99'un üzerinde bir saflıkta TPA ürettiği gösterilmiştir[52].

Amonoliz, tereftalamid üretmek için susuz amonyağın (NH_3) EG varlığında PET ile reaksiyonu yoluyla PET depolimerizasyonu sağlar. Tereftalamid daha sonra tereftalonitril, para-ksililen diamine ve/veya 1,4-bis(aminometil)-sikloheksana dönüştürülebilir [53]. Tüketim sonrası PET şişelerin depolimerizasyonu için 120–180°C ve 2 MPa'lık 1–7 saat reaksiyon sıcaklıkları ve basınçları gereklidir [54]. Reaksiyonun sonunda amid süzülür, suyla durulanır ve kurutulur. Ulaşılabilir ürün saflığının %99'dan fazla olduğu ve nihai verimin %90'ı aştığı bildirilmiştir [53]. Ağırlıkça %0.05 çinko asetat ile katalize edilen düşük basınçlı amonoliz PET depolimerizasyonu, 1:6'lık bir PET-amonyak oranı ile 70°C'lik bir proses sıcaklığında gösterilmiştir. Bu çalışmada üretilen TPA amidi %87 verimle rapor edilmiştir [31].

Enerji geri kazanımı, ağır kontaminasyon nedeniyle diğer ayırma ve geri kazanım yöntemlerinin uygun olmadığı durumlarda uygundur. Yakma işleminden elde edilen enerji elektriğe dönüştürülebilir ve yakma fırınından gelen artıklar güvenli bir şekilde çöplüklere atılabilir [28]. Havanın varlığında bu kontrollü yanma, atığı karbondioksit ve suya dönüştürür. Yakma fırınlarından sıfır emisyon elde etmek mümkün değildir. ABD'de, partikül madde, karbon monoksit, dioksinler/furanlar, kükürt dioksit, nitrojen oksitler, hidrojen klorür, kurşun, cıva ve kadmiyumun yakma fırını emisyonları Temiz Hava Yasası [1] tarafından federal düzeyde düzenlenir. Devletler, belediye katı atıkları için yakma tesislerinin federal Maksimum Ulaşılabilir Kontrol Teknolojisi (MACT) standartlarını karşılamasını sağlamak için EPA ile birlikte çalışır.

Enjeksiyon

PET, moleküler ağırlık veya içsel viskozite (IV) kaybını önlemek için işlemde önce kurutma gerektirir. Depolama sırasında, PCR, orijinal malzemeye kıyasla nemi daha hızlı toplama eğilimindedir. Nem adsorpsiyon/absorpsiyondaki bu fark, işlenmemiş ve PCR plastik peletler arasındaki kristallik farklılıklarından kaynaklanabilir. Daha düşük kristallik, nemin atmosferden plastik pelet içine daha kolay yayılmasına neden olur. PCR, saf malzemeye kıyasla kristallikte daha düşük olabilir ve peletin kabuğu, çekirdeğinden daha az kristalli olabilir. Preformların enjeksiyonu sırasında, kristal kabuk erir, ancak daha yüksek kristalliğe sahip çekirdek erimez. Yapışkanlık sorunlarını önlemek için vida ve sıcaklık profilinin ayarlanması gerekecektir. Geri dönüşüm işlemi sırasında vinil ester uç grupları oluşabilir ve bunlar kurutma sırasında PET'in sararmasına veya esmerleşmesine neden olabilir [55]. Sonuç olarak, bazı PCR'ler daha uzun süreler için nispeten düşük sıcaklıklarda kurutma gerektirir. Daha uzun kurutma süreleri bir verim sorunu oluşturur. PCR ve işlenmemiş PET arasındaki kurutma süresi gereksinimindeki farklılıklar, bir pelet karışımını kuruturken önemli bir operasyonel zorluk oluşturur. Her iki malzemenin de bozulmadan kuru olmasını sağlamak için bir dengenin sağlanması gerekir. PCR'deki lottan lota varyasyonla, seçilen koşulların bir dizi malzeme özelliğine uygulanabilir olması gerekir.

- Asetaldehit (AA), PET'in işlenmesinin bilinen bir yan ürünüdür. Tatlandırıcı olarak algılanan, doğal olarak oluşan bir tatlandırıcı bileşiktir. AA tipik olarak, tüketicinin kokusuz ve tatsız bir ürün beklediği aromasız su ile ilgili bir sorundur. Partiden partiye değişen PCR bileşimi ile, AA oluşturma riski partiden partiye değişebilir. PCR sıcak doldurma veya karbonatlı tatlandırılmış ürünler için kullanılıyorsa bu kritik bir endişe olmasa da, su şişeleri için kritik öneme sahiptir.
- PCR ile yapılan preformlar pus içerebilir. İki olası neden, ek çekirdeklenme bölgeleri ve sonuç olarak bulanıklığa neden olan daha küçük zincirlerin (daha kolay kristalleşen) mevcudiyetidir. Çoğu zaman, preform bulanıklığı, enjeksiyon döngüsündeki soğutma süresini artırarak giderilebilir. Döngü süresindeki artışlar, azalan üretkenlik, artan bozulma, artan AA ve artan maliyet gibi olumsuz etkilere sahiptir.
- İçsel Viskozite (IV), moleküler zincir uzunluğunun bir ölçüsüdür ve dolayısıyla malzemenin mukavemetinin bir göstergesidir. Bir reçine enjeksiyon kalıplama işleminden geçtiğinde, genellikle zincir uzunluğu kısalır. İşlenmemiş reçinelerle, normal enjeksiyon koşulları ve iyi kurutma uygulamaları için bu kayıp iyi anlaşılır ve genellikle 0.03 dL/g'den fazla değildir. PCR ile bu kayıp nispeten tahmin edilemez. Mekanik ve kimyasal olarak geri dönüştürülmüş malzemeler, PCR'de, ısı ve yüksek kesmeli bir ortamda (örn., ekstrüderin içindeki koşullar) işlendiğinde stabilizeyi olumsuz yönde etkileyebilecek farklı artık bileşiklere sahip olabilir. Kimyasal geri dönüşüm sırasında PET'i depolimerize etmek için kullanılan artık reaktanlar ve katalizör, PET yeniden polimerize edilmeden önce etkin bir şekilde çıkarılmazsa, enjeksiyon sırasında PET'i depolimerize edecek şekilde hareket

edecektir. Enjeksiyon sırasında ortaya çıkan IV düşüşü önemli olabilir. Bozunma koşullarına duyarlılık, partiden partiye değişebilir.

Preform ve kap Görünümü

PCR'lerin renkleri, lotlar ve üreticiler arasında önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Pelettteki kristallik, ona beyaz bir görünüm verir. Bu beyaz, şeffaf bir eşyanın nihai rengini temsil etmez. Görünüm üreticiden üreticiye önemli ölçüde değişebilir.

Preformlar şişelere dönüştürüldüğünde, duvar kalınlığının azalmasıyla şeffaflık artar ve renk yoğunluğu azalır. Renk farklılıkları en çok, kalınlığın korunduğu şişe kaplamasında görülür.

Şişirme

PET polimer zincirlerinin şişirme kalıplama için mobilize edilmesi, ön kalıp gövdesindeki PET'in cam geçiş sıcaklığının üzerinde ısıtılmasını gerektirir, bu yoğunlukla ısıtma lambalarından gelen kızılötesi radyasyonla sağlanır. Preform rengi, IR'ye yakın radyasyonun soğurulma verimliliğini etkiler. Preformun bir şişeye işlenmesi, saf PET'in aksine PCR kullanıldığında büyük ölçüde değişebilir. Katkı maddesi miktarı partiden partiye değişebilir. Genel olarak, daha temiz görünen PCR'ler, daha koyu PCR muadillerine kıyasla, şişirmeyle kalıplama sırasında daha fazla ısıtma enerjisi gerektirir (yeniden ısıtma katkı maddesi ile desteklenmedikçe).

Daha koyu PCR'ler, yatay düzlemde şişe duvar kalınlığı varyasyonuna (üfleme kalıplama endüstrisinde yan yana duvar kalınlığı varyasyonu olarak da bilinir) yol açan, daha fazla geçit veya merkez dışı geçitlere sahip olma eğilimindedir. Partiden partiye preform renk değişimi, IR emilimini ve şişe malzemesi dağılımını etkileyecektir. Şişirme kalıplama için proses parametrelerinin (tarif) şişeler her üretildiğinde ayarlanması gerekebilir. Bununla birlikte, şişirme konusunda deneyimli olanlar, böyle bir ihtiyaç olduğunda süreçleri ayarlayabilirler.

Plastik şişe malzeme dağılımı, ağırlıktaki dikey yöndeki değişimi ifade eder. Sıcak doldurma veya CSD amaçlı şişeler gibi mühendislik uygulamalarında, malzeme dağılımı üzerindeki kontrol, istenen işlevsel performansı sağlar. Polimerik zincir uzunlukları veya moleküler ağırlıklar, PCR ile daha geniş bir dağılıma sahip olabilir. Bu nedenle, malzeme esnemesi, işlenmemiş PET'e göre daha değişkendir ve malzeme dağılımında daha fazla varyasyona yol açar. Bu faktörlerin bir araya gelmesi, genellikle, ham malzemedeki yapılmış şişelere kıyasla, şişenin gövdesi içinde daha değişken bir malzeme dağılımı ile sonuçlanır.

PCR PET'deki kalıntılar, şişirme ile kalıplama sırasında kap yırtılmalarına neden olabilir. PCR PET'ten kaplar üretilirken hurda oranı, saf malzeme için olan hurda oranından daha yüksek olma eğilimindedir. Hurda oranı, büyük ölçüde PCR'nin spesifik derecesine ve lotuna, kaptaki % PCR'ye ve kap performans gereksinimlerine bağlıdır. Birkaç katkı maddesi ve yüksek netliğe sahip temiz, mekanik olarak geri dönüştürülmüş veya kimyasal olarak geri dönüştürülmüş PET'in önemli bir hurda oranına sahip olması beklenmez. Benzer şekilde, %10 veya %15 PCR'yi işlenmemiş PET ile karıştırırken, hurda oranının herhangi bir hurda oluşturması

beklenmez. Yumuşak uygulamalar (basınçsız su gibi) ve karmaşık geometriye (veya ince harflere) sahip olmayan kap şekilleri, daha geniş spesifikasyonlara ve daha geniş işletim pencerelerine sahiptir ve bazı kap varyasyonlarıyla kabul edilebilir hurda oranlarında çalışmaya izin verir. Sıcak doldurma ve CSD gibi zorlu ve performans gerektiren uygulamalar, hassas malzeme dağılımı gerektirir. Hurda oranı, talep edilen uygulamalar için daha yüksek olma eğiliminde olacaktır.

Kap Performansı

Boyutsal stabilite, şişelerin dakikalarca 85° C'ye (185 F) eşit veya daha yüksek sıcaklıklara maruz kaldığı sıcak dolum kapları için bir endişe kaynağıdır. Doldurma sonrası boyutsal kararsızlıkla ilgili sorunlar arasında yükseklik ve/veya çapta büzülme, düz durmayan yüzeyler ve ovalleşme (bir etiketi düzgün şekilde sabitleme yeteneğini etkileme) yer alır. Sıcak doldurma uygulamalarına yönelik orijinal PET kaliteleri, daha düşük dietilen glikol (DEG) seviyelerine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. PET imalatının bu özel yan ürünü, kap yüksekliğinde, çapında ve toplam kapasitede büzülmeye ve ayrıca özelliklerin deformasyonuna yol açar. Farklı PET derecelerinin bir karışımı olan PCR için DEG içeriği partiden partiye büyük ölçüde değişebilir. Sonuç olarak, sıcak doldurma sonrası kabın büzülmesi değişebilir. PCR içeren şişelerin büzülmesi değişiklik gösterebilir ancak genel olarak orijinal kaplarda gözlenenenden daha yüksek olması beklenir. Dikkatli şişe kristallik yönetimi bu büzülme azaltabilir.

Bazı durumlarda PCR, UV ışık geçirgenliğini azaltabilir. PCR içeriği ile yapılan kaplar, özellikle artan içerik seviyeleri ile sarı/kahverengi bir renk tonu gösterebilir. Bu performans yine PCR'lerin derecesinden ve çokluğundan etkilenecektir. UV duyarlılığı olan yiyecek ve içecek ürünlerinde bu özellik önemlidir.

Basınç dayanımı olarak da bilinen üst yüke direnç(top load), şişenin yük altında burkulmaya direnme yeteneğidir. PET şişeler, önemli bir sıkıştırma yüküne dayanabilir. Kullanılan PCR, yerini aldığı işlenmemiş materyalden daha düşük ortalama moleküler ağırlığa sahipse, artan PCR içeriği, üst yük gücünün azalmasına neden olabilir. Aynı şekilde, yüksek PCR içeriğine sahip şişelerdeki geniş moleküler ağırlık dağılımı, değişken üst yük direnci performansına yol açabilir.

Basıncılı kaplar (örneğin, CSD ürünleri) için kritik performans özellikleri olan patlama mukavemeti ve termal genişleme, bazı PCR'lerin daha düşük ortalama moleküler ağırlık ve daha geniş moleküler ağırlık dağılımı özelliklerinden etkilenebilir. Genel olarak, artan PCR içeriği ile patlama basınçları azalır ve genişlemeler artar. Plastik duvardaki kalıntılar, öngörülemeyen ve daha düşük patlama basınçlarına yol açabilir.

Uygulama ve Sınırlamalar

Birçok içecek uygulamasında %100 PCR kap seçenekleri mevcuttur. Bunlar esas olarak, karbonatlaşma veya sıcak üründen kaynaklanan basınca maruz kalmayan soğuk doldurulan içecek kaplarıdır. Bu tür ürünler, durgun su, soğutulmuş meyve suları, çay, kahve, süt ve diğer

soğuk zincirli veya aseptik olarak doldurulmuş (perasetik asitle sterilize edilmiş şişe) ürünleri içerir. Bu şişelerin temel fonksiyonel gereksinimleri, ürün muhafazası, üst yükleme gücü ve tekrar kapatılabilirliktir. Bu şişelerin basınca, ısıya veya vakuma dayanması gerekmez.

Renk, tüketicinin görsel çekiciliğini etkileyen bir performans özelliğidir. Rengi etkilemenin bir yolu toner kullanmaktır. Tüketiciler, durgun su gibi berrak içecekler için hafif sarı kaplar hakkında olumsuz bir algıya sahip olma eğilimindedir. Tonerler tipik olarak bu tür uygulamalar için sarı tonları dengelemek üzere tasarlanmıştır. Asetaldehit, lezzet profilini etkileyebilir. Su gibi tatsız ürünler için şişeler yaparken, PCR PET kabındaki asetaldehit yakından izlenmelidir. AA temizleyiciler, aromanın etkilenmesiyle ilişkili riskleri azaltmak için kullanılabilir

Hem sıcak doldurulmuş hem de bazı aseptik ürün kapları, termal stabilite gerektirir. Sıvı veya buhar fazında sıcak hidrojen peroksit uygulamasıyla sterilize edilen aseptik olarak doldurulmuş kaplar, termal stabilite gerektirir. Sıcak doldurulmuş kaplar, ısıtılan ürünle temas ettiğinde sterilize edilir. Isıl işlemdeki deformasyon yeterli kristallik ile en aza indirilir. PCR'nin DEG içeriği, kabın deformasyon olmadan ısıya dayanma kabiliyetini olumsuz yönde etkileyecektir. Sıcak doldurulan kapların, ürün oda sıcaklığına veya altına soğuduğunda oluşan vakumdan kaynaklanan deformasyona da direnmesi gerekir. Kap içindeki malzeme dağılımı, deformasyon direnci için kritik öneme sahiptir. Şişirme kalıplama sırasında artan ön kalıp ısıtması, nihai kap kristallikliğini ve kabın termal deformasyona karşı direncini artıracaktır. Preform sıcaklığı arttıkça malzeme merkezden sapar. Yeterli kristallik elde edilememesi, yeniden ısıtma katkı maddesi olmadan Asya PCR'lerinde bir endişe kaynağı olabilir. Yeterli kristallik elde etmek için hem proses hem de yeniden ısıtma katkı maddesi kullanımı dengelenmelidir. Şimdiye kadar, Kuzey Amerika pazarında ticari olarak satılan %100 PCR'li şişelerde ısıyla sertleşme yapılmamıştır.

Gazlı alkolsüz içecekler (CSD) gibi basınçlı ürünler için kullanılan kaplar, PCR içeriğini arttırırken önemli bir zorluk teşkil eder. %10 veya %15 PCR katılımı zor olmasa da, %100 PCR içeriğine çıkmak sorunludur. Çok temiz bir PCR derecesi gereklidir. CSD için PET reçineleri daha uzun moleküler zincir uzunlukları gerektirir (daha yüksek içsel viskozite olarak da bilinir). İnküzyonlar, üfleme kalıplama sırasında kapta deliklere yol açan yırtılmalara neden olur. İnküzyonlar, en yüksek esneyen alanlarda (örneğin, taban ayakları) meydana geldiklerinde en problemlidir. PCR ile yapılan şişeler, basınçlı ürünle doldurulduktan sonra yüksek genişleme gösterebilir. Genleşme yönetilmezse, etiket işaretleme ve raf ömrünün azalması gibi sorunlara yol açabilir. %100 PCR şişelerinin oluşturulmasında en önemli faktör PCR seçimidir. CSD uygulamaları için PCR'nin temiz ve yüksek moleküler ağırlıklı olması gerekir. Bu tür PCR'ler sınırlı tedariktedir. Bazı büyük içecek şirketleri %100 PCR CSD şişeleri piyasaya sürmüştür, ancak gerekli PCR derecelerinin tedarik sınırlamaları nedeniyle dağıtımı sınırlıdır.

Yasal Düzenleme Gereksinimleri

Plastik şişeler, geri dönüştürülebilir oldukları ve alternatif ambalajlara göre daha düşük karbon ayak izine sahip oldukları için içecek ambalajları için çekici bir seçenektir. PCR PET, özellikle içecek paketleme uygulamaları için tüketici sağlığı ve güvenliği için bir tehdit oluşturmamalıdır. Toplama işlemi sırasında, gıda ile teması onaylanmayan katkı maddeleri içeren gıda dışı ambalaj kapları ve/veya şişeler geri dönüşüm akışına girebilir. Bu malzemeler, gıdayla temas eden PET'e eklenmeyen, ancak gıda sınıfı PCR geri dönüşüm prosesine yönelik balya ve talaş besleme akışlarında bulunabilen maddeler olan kasıtlı olmayan eklenmiş maddeler (NIAS) olarak bilinir. Bu katkı maddeleri ve malzemeler PCR PET'te bulunacaktır ve nihai PCR PET gıdaları kontamine edebilir. Riski gıda güvenliği perspektifinden ölçmek ve kontrol etmek önemlidir. PET'in yeniden kullanımı ve geri dönüşümü ile ilgili düzenlemeler ülkeler arasında farklılık göstermektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde, Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), PCR kaplarının kullanımını düzenler. Üç ana endişe vardır: (1) PCR'den gıdaya tehlikeli kirletici geçişi; (2) PCR içindeki inklüzyonlardan kaynaklanan, paketlenmiş gıda ile gıda ile temas etmeyen plastik ve FDA düzenlemesine tabi olmayan malzeme etkileşim; ve (3) gıda teması için FDA uyumlu olmayan PCR'ye eklenen katkı maddeleri. Bu sorunların üstesinden gelmek için FDA, PCR üretimini vaka bazında değerlendirir. FDA, gıda ile temasa uygun malzemelerin üretimi için PCR üretim süreçlerinin uygunluğu hakkında resmi olmayan bildirimler yayınlar. Gıda ile temas derecesinde PCR PET satışını düşünen üreticiler, gözden geçirilmek üzere süreç belgelerini düzenleyici kuruma (Amerika Birleşik Devletleri'nde FDA) göndermelidir. Dokümantasyonun üç unsuru şunlardır:

(1) PET olmayan plastiklerin PCR üretim akışına girmesini önlemek için uygulanan kontrollerin açıklaması.

(2) Etkili kirletici uzaklaştırma belgeleri ve kanıtı. İstenirse, geri dönüşüm sürecini doğrulamak ve kirleticinin etkin bir şekilde uzaklaştırıldığını göstermek için vekil/tanık bir kirletici kullanılacaktır. 0,5 ppb'nin altına (gıda ürünleriyle kullanım için ihmal edilebilir maruziyetin olduğu kabul edilen diyet konsantrasyonu) kontaminant azalmasını göstermek için ek migrasyon modellemesi ve testi kullanılabilir.

(3) Plastiğin nasıl kullanılacağına açıklaması. Gıda ile temas eden malzemelerle bu tanımlayıcılar, kullanım için sıcaklık aralığı, gıda türü, temas süresi ve plastiğin tek kullanımlık mı yoksa tekrarlanan bir uygulamada mı kullanılacağını içerir.

FDA, metanoliz ve glikoliz üçüncül geri dönüşüm süreçlerinin gıda ile temas PET üretimi için uygun olduğunu belirlemiştir; tanık test gerekli değildir. Üçüncül geri dönüşüm süreçlerinin yüksek saflıkta malzemeler üretmesi beklenmektedir. Mekanik olarak geri dönüştürülmüş (ikincil geri dönüşüm) PCR PET, ince filtrelemeye ve kirletici madde ekstraksiyonuna izin vermez. Bu nedenle, mekanik geri dönüşümde migrasyon testi gereklidir. Mekanik olarak geri dönüştürülmüş PET, azalış göstermelidir. Nihai PCR' de kalan migrasyon, 1.5 g(EDI) /kişi/gün

tahmini alımı aşmamalıdır. Geri dönüşüm sürecinin etkinliğini test etmek için önerilen birkaç tanık test vardır. Testler, potansiyel migrantların beş kategorisi için tasarlanmıştır: (1) uçucu polar (kloroform, klorobenzen, 1,1,1-Trikloroetan, dietil keton); (2) uçucu apolar (toluen); (3) ağır metal (bakır, (II) 2-etilheksanoat); (4) uçucu olmayan polar (benzofenon, metil salisilat); ve (5) uçucu olmayan apolar (tetrakozan, lindan, metil stearat, fenilsikloheksan, 1-Fenildekan, 2,4,6-Trikloroanisol). PET'in metal tuzlarını kolayca absorbe etmediğine dair kanıtlara dayanarak, PET içindeki ağır metaller için tanık test gerekli bulunmamaktadır [56].

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) yönetmeliği 282/2008 ile ilgili olarak, her geri dönüşüm sürecinin üretimden önce onaylanması gerekmektedir [57]. PET şişe geri dönüşüm süreçlerine besleme akışının %5'inin ortalama olarak gıda dışı kaplar olduğu varsayılırken, belirli durumlarda %20'ye kadar çıkılabilmektedir [58]. Nihai kirletici konsantrasyonu madde başına 3 mg/kg'ın (ppm) altında olmalıdır.

İçecek ambalajlarında sürdürülebilirlik, malzeme toplayıcıların, PET geri dönüştürücülerinin, içecek üreticilerinin büyük çabaları ve tüketicilerin toplumsal katkıları olmadan mümkün olmaz. Şişeden şişeye geri dönüşüm, çevresel yüklerde önemli bir azalma sağlayacaktır.

Son on yılda, toplama ve geri dönüşüm teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak PCR PET kullanımı muazzam bir büyüme kaydetmiştir. PET geri dönüşümünün geleceğinde, en önemli gelişme alanlarından biri, PCR PET'in safına benzer performansta geri döndürülebildiği kimyasal geri dönüşüm teknolojisinin ticarileştirilmesidir. Laboratuvar ölçekli teknolojiler, pilot ve üretim tesislerine hızla ölçeklenmelidir.

Şu anda, yalnızca birkaç PCR PET tedarikçisi vardır ve daha fazla içecek üreticisi PCR PET'i benimsedikçe tedarik bir sorun olacaktır. Sınırlı tedarik, maliyeti artıracaktır. Talep arttıkça, PCR reçine tedarikçileri, üstün kaliteli bir ürün sağlamak için rakiplerinden daha az baskıya maruz kalır. PCR için artan fiyatlar ve değişken kalite, benimsemenin önündeki engellerdir. Plastik ambalaj malzemelerinin kamuoyu tarafından daha fazla denetlenmesi, hem çevre gruplarından hem de yasama organlarından gelen, benimsemeyi teşvik edecektir. Daha genç tüketiciler, geri dönüştürülmüş malzemelerin daha fazla kullanılmasını talep etmektedir. Yeni geri dönüşüm teknolojilerine ve ticari benimsemeye yönelik gelecekteki yatırımlar, geri dönüşüm mevzuatı ve artan tüketici geri dönüşümü ile desteklenmelidir. PCR zorunlulukları çevrimiçi hale geldikçe talep artmaya devam edecektir. California (CA), Washington (WA) ve New Jersey (NJ), 2030–2035 sonrasında %50'ye kadar PCR uygulamayı planlamaktadır. Şu anda, bir şişedeki PCR miktarını tespit etmek için herhangi bir yöntem bulunmamaktadır ve bu da geri dönüşümcüler ve içecek üreticileri için faydalı olabilecek bir araştırma fırsatı sunmaktadır. Bu tür yöntemler olmadan PCR talimatlarının uygulanması zor olduğundan, üreticiler ve düzenleyici kurumlar için ilginç bir sorun teşkil etmektedir. Ayrıca PCR'de katkı maddelerinin tespitinde de boşluklar vardır. Tespit metodolojilerinde gelecekteki araştırmalar,

içeceklerin ana üretim ve dağıtımında hızlı prototipleme ve PCR'nin benimsenmesine olanak sağlayacaktır.

Farklı derecelerde PET kombinasyonları ve karışımın şişe imalatında nasıl davrandığı ve çeşitli uygulamalar için nasıl performans gösterdiği ile ilgili bilimsel veriler oldukça sınırlıdır. Oksijen tutucuların PCR ile etkileşimi ve performansı da literatürde mevcut değildir. Bu alanda gelecekteki araştırmalar, PCR'nin benimsenmesine ve içecek üreticilerinin sürdürülebilirlik yönelimine yardımcı olabilir.

PCR içeriğinin mevcut PET şişelere dahil edilmesi, sıfır atık ile dögüsel ekonomiye doğru ilk adımdır. Küçük adımlar, geri dönüşüm süreçlerinde, tedarikçinin yeteneklerinde, karşılaştırılabilir maliyette, ürün performansında ve nihayetinde %100 PCR PET şişenin geniş çapta benimsenmesinde önemli role sahiptir.

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

1.4.a. Orijinal plastikle aynı amaç için kullanılan bir ürün elde etmek için plastiğin geri dönüşümü

Bu konuda dünya THS örnekleri THS: 4 olarak gözlemlenmektedir.

Ülkemiz için bu konunun henüz araştırma seviyesinde THS: 1 olduğu düşünülmektedir.

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya’da	Türkiye’de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

1.4.a. Orijinal plastikle aynı amaç için kullanılan bir ürün elde etmek için plastiğin geri dönüşümü

Türkiye’ de temel prensipler araştırılmış ve raporlanmıştır [59-61].

Dünya’da laboratuvar ortamında üretim yapılmakta, validasyonlar test edilmektedir.

Günümüzde %50'ye kadar tüketim sonrası PET geri dönüşümlü PET şişeler bazı bölgelerde (örneğin Avrupa) piyasada bulunmaktadır.

Almanya'da geri dönüştürülmüş PET malzemelerin neredeyse üçte birine yakını, yüzde 32.1'inden yeni PET şişeler üretilmektedir. Kalan malzemelerin yüzde 29'u tekstil elyaf çeşitleri, yüzde 27'si endüstriyel kaplama ve yüzde 11'i temizlik maddelerine yönelik jelatin veya şişeler gibi diğer uygulamalar sunan imalatçılar tarafından kullanılmaktadır. Yüksek geri dönüşüm oranları ve geri dönüşümlü PET'in daha fazla kullanılması sayesinde PET'ten üretilen içecek şişelerinin Almanya'da geri dönüşüm yönetimi ve kaynakların korunmasına katkısı ciddi boyutlara ulaşmış durumdadır.

Federal Risk Değerlendirme Enstitüsü'nün Alman plastik komisyonu, tüketim sonrası PET'in güvenli geri dönüşümü için tavsiyeler yayınlamıştır [62]. Bu belgede, PET süper temiz geri dönüşüm ürünlerinin değerlendirilmesi üç noktaya dayanmaktadır: (i) kaynak kontrolü, (ii) temizleme verimliliği ve (iii) geri dönüşümün kalite güvencesi. 2004 yılında, bir Avrupa araştırma projesinin sonucu olarak yayınlanan kapsamlı bir rehber [63]. Bu belgede ayrıca PET süper temiz geri dönüşüm sürecinin temizleme verimliliğinin belirlenmesi ve PET geri dönüşüm ürünlerinin kalite güvencesine ilişkin öneriler de verilmektedir. Son Avrupa belgesi 2006 yılında Fransız Gıda Güvenliği Ajansı tarafından yayınlanmıştır [64]. 2007'de ayrıca Güney Amerika ortak pazarı Mercosur, gıda ile temas uygulamaları için geri dönüştürülmüş PET'in güvenli kullanımı hakkında bir kılavuz belge yayınlamıştır [65]. Bu belge, Güney Amerika pazarında PCR PET'in tanıtımı için bazı rehberlik sağlamaktadır.

Geri dönüşüm için şişelerin tasarım geliştirmeleri (geri dönüşüm için tasarım), PCR verimini ve arzını artırmak için gelecekteki toplama ve ayırmanın anahtarı olacaktır. ABD'deki Plastik Geri Dönüştürücüler Birliği (APR) ve AB'deki Avrupa PET Şişe Platformu (EPBP), her iki ticaret birliği de geri dönüşüme yönelik PET eşyaları için bir dizi tasarım kılavuzu oluşturmuştur [66]. Örneğin, PET şişenin kapağı PP veya PE'den yapılabilir. PP ve PE, geri dönüştürücünün şamandıra tankındaki PET'ten ayrılabilir. Reçine tanımlama kodu (RIC) #1 ile sınıflandırılan polyesterler, 225°C ile 255°C arasında bir kristal erime noktasına sahip olmalıdır.

Başka bir girişim, HolyGrail 2.0 olarak da adlandırılan akıllı paket geri dönüşümü için dijital filigranlamadır. Girişimin fikri, büyük ölçekte gelişmiş PET sınıflandırması için bir teknoloji geliştirmektir [67]. Dijital filigran, bir posta pulu boyutunda olabilir, etikete entegre edilebilir ve ürün, stok tutma birimi, üretici, plastik türü, gıda ve gıda dışı ürünlerde kullanımı ile ilgili bir dizi bilgiyi taşıyabilir. Bu tür tasarım ve izlenebilirlik girişimleri ve teknolojik atılımlar, geri dönüşümün geleceğini iyileştirebilir.

ABD'de on eyalet (California, Connecticut, Hawaii, Iowa, Maine Massachusetts, Michigan, New York, Oregon ve Vermont) depozit yasalarını kabul etmiştir. Şişe faturası olan eyaletler

yaklaşık %60'lık bir içecek kabı geri dönüşüm oranı elde ederken, depozit olmayan eyaletlerde elde edilen geri dönüşüm oranları %24'e yakındır [68]. Şişe faturalarının etkinliğinin ekonomik değerlendirmeleri, depozito ücreti ne kadar yüksek olursa, iade edilen kap sayısının o kadar fazla olduğunu göstermiştir [69].

Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı'nın (PAGEV) Geri Dönüşüm İktisadi İşletmesi (PAGÇEV) ve Almanya'daki partner kuruluşu IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. bünyesinde faaliyet gösteren Forum PET, Türkiye ve Almanya'daki pet şişelerin geri dönüşüm karnesini ortak bir çalışma ile gözler önüne sermiştir. Raporda; 2014 yılında Türkiye genelinde yaklaşık 100 bin ton pet şişe toplanarak geri dönüştürülmüş ve ekonomiye 150 milyon liraya yakın katkı sağlandığı açıklanmıştır. Türkiye'de üretilen PET şişelerin yüzde 50'sinin geri dönüştürüldüğü bildirilmiştir. 2014 yılında Türkiye'de toplanan 82 bin 688 ton pet şişe, ağırlıklı olarak tekstil sektörü için elyaf üretiminde kullanılırken; kalan pet şişelerden halı tabanları, uyku tulumları, giysilerdeki yalıtım maddesi, boya fırçaları, can kurtarma simidi, torbalar, posta kutuları, piknik masaları, çitler, yürüyüş botları, çift bölmeli kovalar, lazer toner kartuşu ve kayışlar üretilmiştir. PET şişeden PET üretimi yapıldığı bilgisine ulaşılmamıştır.

2021'den itibaren ülkemizde depozito sistemi uygulanmaya başlamıştır.

Bakanlık, ülke genelinde sürdürülebilir atık yönetim stratejilerinin belirlenmesi amacıyla Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı'nı (UAYEP 2016-2023) hazırlamıştır.

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

1.4.a. Orijinal plastikle aynı amaç için kullanılan bir ürün elde etmek için plastiğin geri dönüşümü

Bu konuda bu belirtilenlerle kısıtlı olmamakla beraber üniversitelerin Kimya, Kimya Mühendisliği, Çevre Mühendisliği, Polimer Malzeme Mühendisliği, Malzeme Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Yazılım Mühendisliği gibi bölümleri işbirliği yapmalıdır

Üniversitelere ek olarak bu verilenlerle kısıtlı olmamakla beraber Katkı maddeleri üreticileri, PET saf polimer tedarikçileri, preform ve şişe üreticileri, dolum şirketleri ve geri dönüşüm şirketleri projelerde yer almalıdırlar.

Bu kurumlara ilave olarak bu belirtilenlerle sınırlı olmamakla beraber Ambalajlı tüketim malları sektörü, perakende hizmet ve gıda sektörü, holdingler, ambalaj üreticileri, dayanıklı tüketim

malları sektörü, kamu, üniversite, Kamu İktisadi Teşebbüsü, Kobiler, uluslararası ilgili kuruluşlar da proje de görev almaya teşvik edilmelidirler.

Üniversiteler bu çalışmalarda bilimsel çalışmaları ve laboratuvar ölçekli ürün ve tasarım geliştirmeyi üstlenirken, saha temsilcisi olan kuruluşlar denemeleri, testleri ve pilot tesislerin kurulması ve işletilmesi görevlerini üstlenebilirler. kamu kurumları ise mevzuat düzenlemelerini ve teşvikleri yönetebilir.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması

1.4.a. Orijinal plastikle aynı amaç için kullanılan bir ürün elde etmek için plastiğin geri dönüşümü

Bu konuda büyük ölçekli Ar-Ge ve Yenilik projelerinin büyük bir platform bünyesinde eşgüdüm içerisinde yapılacak şekilde desteklenmesi uygun olacaktır.

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

1.4.a. Orijinal plastikle aynı amaç için kullanılan bir ürün elde etmek için plastiğin geri dönüşümü

Bu konuda 5 yıldan fazla olmak üzere uzun vadeli bir Ar-Ge süreci gerekmektedir. Bu kritik ürün/teknolojiye dair ilk çıktılarının ise 1-3 yıl gibi kısa vadede elde edilmesi hedeflenmelidir. İlk başta temel araştırmaların yapılması gerektiğinden 600.000TL ve yukarısı bütçeler başlangıç için yeterli olacaktır.

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

Yeterli düzeyde değildir. Sürece dair altyapının geliştirilmesi, toplum dahil ilgili tüm taraflarda bilincin artırılması gereklidir.

Atık yönetiminde; kirleten öder ve genişletilmiş üretici sorumluluğu prensipleri benimsenmiştir ve mevzuat bu prensiplere uygun olarak düzenlenmiştir.

Atık oluşumunun önlenmesi prensibi mevzuatta vardır. Atık miktarının azaltılmasına yönelik üretimde belli oranlarda geri dönüşümden elde edilmiş hammadde kullanmak zorunludur.

Ambalajlı ürünleri piyasaya süren işletmelerin yetkilendirilmiş kuruluşlara üye olarak yerine getirdikleri sistem, ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanarak geri kazanım oranlarının artırılmasında yeterince etkin olamamaktadır.

27/12/2017 tarih ve 30283 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (AAKY) kapsamında uygulanan geri kazanım yükümlülükleri ile geri dönüşümün finansmanı yeterli düzeyde sağlanamamış olmakla birlikte, “geri kazanım katılım payı” (GEKAP) kaynak oluşturulması açısından başarılı bir uygulama olmuştur. GEKAP gelirlerinin kullanım usul ve esaslarına ilişkin ise henüz bir belirleme yapılmamıştır.

Ambalaj atıklarının yönetimine ilişkin faaliyetler, belediyelerce hazırlanan ambalaj atık yönetim planları ile yürütülmektedir.

Ambalaj atıklarının geri dönüştürülmesi için 27/12/2017 tarih ve 30283 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği çerçevesinde oluşturulan sistem, üretici sorumluluğunun gerekliliklerini tam olarak karşılayamamıştır. Belediyeler, yetkilendirilmiş kuruluşlar ve toplama ayrıştırma tesisleri (TAT) arasında imzalanan üç taraflı protokoller ile ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanarak geri dönüştürülmesi sınırlı düzeyde kalmıştır.

Zorlayıcı idari ve ekonomik araçlar bulunmadığından ambalaj atıklarını ayrı biriktirmek tamamen bireylerin tercihine bırakılmıştır.

Belediyelerin Kabahatler Kanunu’na göre denetim ve idari yaptırım uygulama yetkisine sahiptir, ancak ambalaj atıkları konusunda Çevre Kanunu’na göre denetim ve idari yaptırım uygulama yetkisi bulunmamaktadır.

Bakanlık tarafından oluşturulan Ambalaj Bilgi Sistemi’ne (ABS) ambalajların üretiminden geri kazanımına kadarki süreçte rolü olan tüm taraflar veri girişi sağlamaktadır. Ambalaj atıklarının yönetim süreci tüm aşamaları ile kayıt altına alınmakta ve izlenmektedir.

AAKY’de belirtilen hedeflere ilişkin göstergeler Bakanlık tarafından izlenmekte ve gerçekleşme verileri yıllık raporlanmaktadır.

TÜİK belediye atık istatistikleri yayınlanmakta ve iki yılda bir güncellenmektedir. İstatistikler ambalaj atıklarının kaynağında ne ölçüde ayrı toplandığının izlenebilmesi için yeterli değildir.

Bakanlık tarafından Ambalaj İstatistikleri Bülteni’nde üretilen, piyasaya sürülen ve geri kazanılan ambalaj atıklarına ilişkin veriler sunulmaktadır. Geri kazanım oranı piyasaya sürülen ambalaj miktarı üzerinden hesaplanmaktadır [70].

Teknik Altyapılar

Konuya yönelik mevzuat ile depozit ve atık toplama süreci vardır. Ancak yeterli düzeyde değildir. Şişeden şişe üretim için herhangi bir alt yapı tespit edilmemiştir. Ağırlıklı olarak PET in tekstile yönelik elyaf üretiminde kullanıldığı görülmüştür. Bu süreci etkin yürütmeye yönelik mevzuat düzenlemeleri, Ar-Ge araştırmaları öncelikli olarak başlatılmalıdır.

İnsan Kaynakları

Mevcut düzeyde yeterli değildir. Üniversitelerde uzman ve öğretim üyesi düzeyinde araştırmacılar olmalıdır. Sanayide ilgili çalışmalara yönelik mühendis, teknisyen, tekniker istihdamı artırılmalıdır.

Destek ve Teşvikler

Bu konuda Patent Başvurusu Teşvik ve Destekleme, OSB’de uygulanan teşvikler, Girişimcilik, Çevre teknolojileri, Çevre maliyetlerinin desteklenmesi, ihracat teşviği, istihdam teşviği ve kobi desteği gibi destek ve teşvikler göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] EPA, 2022, Facts and Figures about Materials,Waste and Recycling: Plastics: Material-Specific Data.
- [2] Apotheker, S.1990 “Curbside collection: Complete separation versus commingled collection”, Resour. Recycl., 9, 58–63.
- [3] Suter, M. Beyond 2019 “ PET: An Extended Deposit-Return System for Plastic Packaging in Sweden: A Qualitative Investigation of Challenges and Lessons from future and earlier Deposit-Return Systems”, Master’s Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [4] Polygalov, S.; Ilinykh, G.; Korotaev, V.; Stanisavljevic, N.; Batinic, B. 2021 “Determination of the composition and properties of PET bottles: Evidence of the empirical approach from Perm, Russia”, Waste Manag. Res,39, 720–730.
- [5] Stanisavljevic, N.; Brunner, P.H. 2019 “Quantity AND quality: New priorities for waste management”, Waste Manag. Res., 37, 665–666.
- [6] Schwanse, E. 2011 “Recycling policies and programmes for PET drink bottles in Mexico”, Waste Manag. Res., 29, 973–981.
- [7] Franz, R.; Welle, F. 2022 “Recycling of post-consumer packaging materials into new food packaging applications—Critical review of the European approach and future perspectives”, Sustainability, 14, 824.
- [8] Coelho, T.M.; Castro, R.; Gobbo, J., Jr. 2011 “PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for postconsumer waste recycling”, Resour. Conserv. Recycl., 55, 291–299.
- [9] Mishra, M. 2018 “Encyclopedia of Polymer Applications”, 3 Volume Set; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- [10] EEA 2022, EU Recycled 41% of Plastic Packaging Waste in 2019..
- [11] European Commission. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of

the Regions: Civil Society Dialogue Between the EU and Candidate Countries; European Commission: Brussels, Belgium, 2005; Volume 290.

[12] Berlinet, C.; Brat, P.; Ducruet, V. 2008 “Quality of orange juice in barrier packaging material”, *Packag. Technol. Sci. Int. J.*, 21, 279–286.

[13] Ghoshal, G. 2019 “Recent development in beverage packaging material and its adaptation strategy”, *Trends Beverage Packag.*, 16,21–50.

[14] Geyer, R.; Jambeck, J.R.; Law, K.L.2017 “ Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Sci. Adv.*, 3, e1700782.

[15] Selke, S.E. 1988 “Recycling of plastic packaging in the United States”, *Packag. Technol. Sci.*, 1, 93–98.

[16] Awaja, F.; Pavel, D. 2011 “Recycling of PET”, *Eur. Polym. J.*, 41, 1453–1477.

[17] Welle, F.2011 “Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview”, *Resour. Conserv. Recycl.*, 55, 865–875.

[18] Nkwachukwu, O.I.; Chima, C.H.; Ikenna, A.O.; Albert, L.2013 “Focus on potential environmental issues on plastic world towards a sustainable plastic recycling in developing countries”, *Int. J. Ind. Chem.*, 4, 34.

[19] Selke, S.E.; Culter, J.D.; Auras, R.A.; Rabnawaz, M. 2021 “Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations”; Carl Hanser Verlag GmbH Co KG: Weinheim, Germany.

[20] Groeninckx, G.; Berghmans, H.; Overbergh, N.; Smets, G. 1974 “Crystallization of poly (ethylene terephthalate) induced by inorganic compounds. I. Crystallization behavior from the glassy state in a low-temperature region”, *J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed.*, 12, 303–316.

[21] Sheel, A.; Pant, D. 2019 “Chemical depolymerization of PET bottles via glycolysis”, In *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 61–84.

[22] Neale, C.; Hilyard, N.; Barber, P. 1983 “Observations on the economics of recycling industrial scrap plastic in new products”, *Conserv. Recycl.*, 6, 91–105.

[23] Das, S.K.; Eshkalak, S.K.; Chinnappan, A.; Ghosh, R.; Jayathilaka,W.; Baskar, C.; Ramakrishna, S.2021 “Plastic recycling of polyethylene terephthalate (PET) and polyhydroxybutyrate (PHB)—A comprehensive review”, *Mater. Circ. Econ.*, 3, 9.

[24] Mastellone, M.; Perugini, F.; Ponte, M.; Arena, U. 2022 “Fluidized bed pyrolysis of a recycled polyethylene”, *Polym. Degrad. Stab.* , 76, 479–487.

[25] Al-Salem, S.; Lettieri, P.; Baeyens, J. 2009 “Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review”, *Waste Manag.*, 29, 2625–2643.

[26] TÜİK, Dış Ticaret İstatistikleri, Ocak 2022.

[27]PAGEV –Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu, 2021/6.

- [28] Sinha, V.; Patel, M.R.; Patel, J.V. 2010 “PET waste management by chemical recycling: A review”, *J. Polym. Environ.*, 18, 8–25.
- [29] Al-Salem, S.; Lettieri, P.; Baeyens, J. 2010 “The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals”, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 36, 103–129.
- [30] Shojaei, B.; Abtahi, M.; Najafi, M. 2020 “Chemical recycling of PET: A stepping-stone toward sustainability”, *Polym. Adv. Technol.*, 31, 2912–2938.
- [31] Paszun, D.; Szychaj, T. 1997 “Chemical recycling of poly (ethylene terephthalate)”. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 36, 1373–1383
- [32] Genta, M.; Iwaya, T.; Sasaki, M.; Goto, M.; Hirose, T. 2005 “Depolymerization mechanism of poly (ethylene terephthalate) in supercritical methanol”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44, 3894–3900.
- [33] Han, M. 2019 “Depolymerization of PET bottle via methanolysis and hydrolysis”, In *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; 85–108.
- [34] Zhu, M.; Li, S.; Li, Z.; Lu, X.; Zhang, S. 2012 “Investigation of solid catalysts for glycolysis of polyethylene terephthalate”, *Chem. Eng. J.*, 185, 168–177.
- [35] Xin, J.; Zhang, Q.; Huang, J.; Huang, R.; Jaffery, Q.Z.; Yan, D.; Zhou, Q.; Xu, J.; Lu, X. 2021 “Progress in the catalytic glycolysis of polyethylene terephthalate”, *J. Environ. Manag.*, 296, 113267.
- [36] Singh, A.K.; Fernando, S.D. 2007 “Reaction kinetics of soybean oil transesterification using heterogeneous metal oxide catalysts”, *Chem.Eng. Technol. Ind. Chem.-Plant Equip.-Process Eng.-Biotechnol.*, 30, 1716–1720.
- [37] Aouissi, A.; Al-Deyab, S.S.; Al-Shahri, H. 2010 “The cationic ring-opening polymerization of tetrahydrofuran with 12-tungstophosphoric acid”, *Molecules*, 15, 1398–1407.
- [38] Geng, Y.; Dong, T.; Fang, P.; Zhou, Q.; Lu, X.; Zhang, S. 2015 “Fast and effective glycolysis of poly (ethylene terephthalate) catalyzed by polyoxometalate”, *Polym. Degrad. Stab.*, 117, 30–36.
- [39] Wang, H.; Liu, Y.; Li, Z.; Zhang, X.; Zhang, S.; Zhang, Y. 2009 “Glycolysis of poly (ethylene terephthalate) catalyzed by ionic liquids”, *Eur. Polym. J.*, 45, 1535–1544.
- [40] Wang, Q.; Lu, X.; Zhou, X.; Zhu, M.; He, H.; Zhang, X. 2013 “1-allyl-3-methylimidazolium halometallate ionic liquids as efficient catalysts for the glycolysis of poly (ethylene terephthalate)”, *J. Appl. Polym. Sci.*, 129, 3574–3581.
- [41] Bartolome, L.; Imran, M.; Cho, B.G.; Al-Masry, W.A.; Kim, D.H. 2012 “Recent developments in the chemical recycling of PET”, *Mater. Recycl.-Trends Perspect*, 406, 576–596.

- [42] Imran, M.; Lee, K.G.; Imtiaz, Q.; Kim, B.-K.; Han, M.; Cho, B.G.; Kim, D.H. 2011 “Metal-oxide-doped silica nanoparticles for the catalytic glycolysis of polyethylene terephthalate”, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 11, 824–828.
- [43] Al-Sabagh, A.; Yehia, F.; Eshaq, G.; Rabie, A.; ElMetwally, 2016 “ A. Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate”, *Egypt. J. Pet.*, 25, 53–64.
- [44] Pingale, N.; Shukla, S.2008 “Microwave assisted ecofriendly recycling of poly (ethylene terephthalate) bottle waste”, *Eur. Polym. J.*, 44, 4151–4156.
- [45] Cho, J.Y.; Hong, C.-J.; Choi, H.-M. 2013 “Microwave-assisted glycolysis for PET with highly hydrophilic surface”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 52, 2309–2315.
- [46] Chaudhary, S.; Surekha, P.; Kumar, D.; Rajagopal, C.; Roy, P.K. 2013 “Microwave assisted glycolysis of poly (ethylene terephthalate) for preparation of polyester polyols”, *J. Appl. Polym. Sci.* , 129, 2779–2788.
- [47] Spaseska, D.; Civkaroska, M. 2010 “Alkaline hydrolysis of poly (ethylene terephthalate) recycled from the postconsumer soft-drink bottles”, *J. Univ. Chem. Technol. Metall.*, 45, 379–384.
- [48] Datye, K.; Raje, H.; Sharma, N. 1984 “Poly (ethylene terephthalate) waste and its utilisation: A review”, *Resour. Conserv.*, 11, 117–141.
- [49] López-Fonseca, R.; González-Marcos, M.; González-Velasco, J.; Gutiérrez-Ortiz, J. 2009 “A kinetic study of the depolymerisation of poly (ethylene terephthalate) by phase transfer catalysed alkaline hydrolysis”, *J. Chem. Technol. Biotechnol. Int. Res. Process Environ. Clean Technol.* , 84, 92–99.
- [50] Campanelli, J.; Kamal, M.; Cooper, D.1994 “Kinetics of glycolysis of poly (ethylene terephthalate) melts”, *J. Appl. Polym. Sci.*, 54, 1731–1740.
- [51] Sato, O.; Arai, K.; Shirai, M. 2006 “Hydrolysis of poly (ethylene terephthalate) and poly (ethylene 2, 6-naphthalene dicarboxylate) using water at high temperature: Effect of proton on low ethylene glycol yield”, *Catal. Today*, 111, 297–301.
- [52] Michalski, A.1987 “ Hydrolysis of poly (ethylene terephthalate) waste to obtain terephthalic acid”, *WI. Chem.*, 49, 144.
- [53] Blackmon, K.P.; Fox, D.W.; Shafer, S.J. 1990 “Process for Converting Pet Scrap to Diamine Monomers”, U.S. Patent No. 4,973,746, 27 November 1990.
- [54] Szychaj, T. 2002 “Chemical recycling of PET: Methods and products. In *Handbook of Thermoplastic Polyesters: Homopolymers, Copolymers, Blends, and Composites*”, Wiley-VCH:Weinheim, Germany, 2002; 1252–1290.
- [55] Venkatachalam, S.; Nayak, S.G.; Labde, J.V.; Gharal, P.R.; Rao, K.; Kelkar, A.K. 2012 “Degradation and recyclability of poly (ethylene terephthalate)”, In *Polyester*; InTech: Rijeka, Croatia, 2012;. 75–98.

[56] United States Food and Drug Administration (US FDA) 2021, Use of Recycled Plastics in Food Packaging (Chemistry Considerations): Guidance for Industry; United States Food and Drug Administration (US FDA): Silver Spring, MD, USA.

[57] EFSA 2011, Scientific opinion on the criteria to be used for safety evaluation of a mechanical recycling process to produce recycled PET intended to be used for manufacture of materials and articles in contact with food. Eur. Food Saf. Auth., 9, 2184.

[58] Franz, R.; Welle, F. 2020 “Contamination levels in recollected PET bottles from non-food applications and their impact on the safety of recycled PET for food contact”, Molecules, 25, 4998.

[59] Telli, A., Özdil N., Babaarslan, O. 2010 “PET Şişe Atıklarının Tekstil Endüstrisinde Değerlendirilmesi Ve Sürdürülebilirliğe Katkısı”, Tekstil ve Mühendis, 19, 86, 49-55.

[60] Tayyar A.E., Üstün S. 2010 “Geri Kazanılmış Pet’in Kullanımı”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 53-62.

[62] Timur, M., Kılıç H. 2021” Endüstride Pet Şişe Üretiminde Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9, 2067-2076.

[63] Franz, R.; Welle, F. 2020 “Contamination levels in recollected PET bottles from non-food applications and their impact on the safety of recycled PET for food contact”, Molecules, 25, 4998.

[64] AFFSA, 2006, Opinion of the French Food Safety Agency (Afssa) on the assessment of health risks associated with the use of materials made from recycled poly(ethylene terephthalate) intended for or placed in contact with foodstuffs and drinking water. Mandate no 2001-SA-0315. Available from: http://www.syndicatses.fr/upload/Opinion_AFSSA_27_novembre_2006_recycling_PET_ang.pdf.

[65] Mercosur ,2007, Mercosure technical regulation of packages of food grade post-consumer recycled poly(ethylene terephthalate) (PET) (food grade PCR-PET) intended to come into contact with foodstuffs. Mercosur/GMC/Resolution Nr 30/07.

[66] APR, PET (Polyethylene Terephthalate, Resin Identification Code #1). Available online: <https://plasticsrecycling.org/pet-designguidance>.

[67] Berg, H.; Kulinna, R.; Stöcker, C.; Guth-Orlowski, S.; Thiermann, R.; Porepp, N. 2022 “Overcoming Information Asymmetry in the Plastics Value Chain with Digital Product Passports: How Decentralised Identifiers and Verifiable Credentials Can Enable a Circular Economy for Plastics”; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Wuppertal, Germany.

[68] CRI. Bottle Bills, 2022, <https://www.container-recycling.org/index.php/issues/bottle-bills>

[69] Cheng, X.; Yeh, C.-N. 2013 “An economic analysis of the effectiveness of bottle bills”, ASBBS E-J, 9, 30.

[70] Plastik Atık Yönetimi Sayıştay Raporu, 2022.

Kritik Ürün/Teknoloji 1.5.

1.5. Geridönüşüm ürün ve malzemelere yönelik izlenebilirlik teknolojileri

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

1.5.a. Geridönüşüm ürün ve malzemelerinin izlenebilir (marker ile) olması

Kritik Ürün/Teknoloji 1.5.

1.5. Geridönüşüm ürün ve malzemelere yönelik izlenebilirlik teknolojileri

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

İşaretleyiciler (marker/tracer), malzemelerin içerisine eklenerek onları aynı kimyasal ve fiziksel özellikteki diğer malzemelerden ayırt edilebilir hale getiren, yani kimlik veren, bu sayede belli süreçler boyunca takip edilebilirlik özelliği kazandıran moleküler ya da partikül özellikteki özel maddelerdir. İşaretleyicilerin, işaretlenen malzeme içerisinde – dahili ya da harici olarak - tespit edilebilir en az bir niteliksel özelliği olmalıdır ve bu özelliği yüksek doğrulukla tespit edebilecek algılayıcı sistemlerle birlikte işlevsellikleri vardır. Çok basit bir örnekle, farklı bireylere ait aynı doku tipinden alınmış iki memeli hücresi fiziksel ve kimyasal açıdan aynı olmasına rağmen DNA'larının farklı olması sayesinde ayırt edilebilirler. Bu bağlamda, her bir DNA ilgili hücre için bir işaretleyici fonksiyonundadır. Bu örnekteki DNA'ların bu ayırt edici özelliği ancak uygun bir genetik analiz metodu ile bütün halinde bir işaretleyici fonksiyonu taşır. Bu nedenle, işaretleyici maddeyi ve tespit ekipmanını (ve hatta diğer tüm işaretleme süreçlerini) kapsayacak şekilde “işaretleme sistemi” terimi uygun bir kullanım olacaktır.

Bir işaretleme sisteminde, yukarıdaki örnektekinden farklı olarak işaretleyiciler malzemelerin içerisine kasıtlı olarak eklenirler ve tespitleri yaygın olarak isotopik, spektroskopik, elemental ya da (moleküler) kütleli özellik analizi ile yapılır. İşaretleyici tespiti, yaygın kullanılan bir malzeme karakterizasyon ekipmanı ile yapılabilirken, genellikle “okuyucu” olarak adlandırılan, tespite yönelik özel olarak geliştirilmiş cihazlarla da gerçekleştirilebilir. Analiz sistemlerinin ne kadar gelişmiş olması gerektiği, işaretleyicinin bu “parmak izi” fonksiyonunun karmaşıklığı ve tespit hassasiyetine göre değişecektir. Örneğin, spesifik bir dalga boyu absorbans özelliğine dayanan bir işaretleyicinin tespiti basit bir optik sensörle niteliksel olarak yapılabilirken, eğer işaretleme fonksiyonunda niceliksel bir parametre varsa, daha ileri bir absorbans spektrometresine ihtiyaç duyulabilir.

İşaretleme sistemleri, özet olarak, malzemelerin belli bir amaca yönelik izlenebilirliğini sağlayan, oldukça fonksiyonel uygulamalardır. İşaretleyiciler İngilizce’de bu nedenle, Türkçe’de izleyici, iz sürücü anlamına gelen “tracer” olarak da adlandırılırlar. Genel uygulama, izlemenin başlangıcı olarak belirlenen noktada işaretleyicinin malzemeye eklenerek ölçüm,

yani kontrolün yapılacağı noktada tespitinin yapılması ve iki analiz sonucunun karşılaştırılması esasına dayanır.

İşaretleme sistemleri, daha önce ifade edildiği gibi, malzemelerin belli bir amaca yönelik olarak izlenebilirliğini sağlayan uygulamalardır ve malzemelere özel, kopyalanması zor bir parmak izi kazandırır. İşaretleme sistemlerine duyulan ihtiyacı temel olarak 3 başlıkta toplayabiliriz:

- Sahtecilik önleme (anticounterfeiting): Daha çok banknot, kimlik kartları, pasaportlar gibi değerli/güvenli belge/dokümanlarda kullanılan basım malzemelerinin (ör: mürekkepler, plastikler) işaretleme yoluyla sahte dokümanların tespiti
- Marka koruma: Firmaların ürünlerinin orijinal olup olmadığının tespitinin sağlanabilmesi için, kopya ürünlere karşı kullanımı
- Tedarik zinciri izlenebilirliği: Tedarik zincirinde ürünün üreticiden son kullanıcıya kadar tedarik zincirinin bir aşamasında onaylı olmayan bir ürünle değiştirilmesinin önlenmesi

Bu üç uygulamada işaretleme sisteminin fonksiyonu aşağı yukarı aynı olup ihtiyacın kaynağı farklılık göstermektedir. Örneğin, bir çok ülkede olduğu gibi Türkiye’de, akaryakıtlar rafineride satışa sunulmadan önce, yada rafine yakıt ithal eden dağıtım şirketleri bu yakıtı istasyonlara göndermeden önce, yakıt içerisine devletin temin ettiği ulusal işaretleme sisteminden eklemek zorundadırlar. Yakıt piyasaya çıktığında, tedarik zincirinin herhangi bir aşamasında (tankerde, istasyonda vb.) cihazlarla analiz edilerek devletin izin verdiği, vergisi ödenmiş yasal yakıt mı yoksa ülkeye ya da piyasaya izinsiz sokulmuş, işaretleme içermeyen, “kaçak” yakıt mı olduğu tespit edilebilir. Diğer taraftan, akaryakıt dağıtım şirketleri de isterlerse ulusal işaretleme içeren yakıtı kendi firma işaretleme sistemlerini ekleyerek, çoğunluğu bayi/franchise olan istasyonlarda, yasal ama kendilerinin temin etmediği, olası düşük kalitedeki yakıtın kendi marka adları altında satılmasını önlemek isteyebilirler. Bu iki işaretleme kullanım şekli çok benzer olmasında rağmen ulusal işaretleme sistemindeki amaç ağırlıkla tedarik zinciri kontrolü iken firma işaretleme sistemi kullanımındaki amaç ağırlıkla marka (değeri) koruma olmaktadır.

Plastik sektöründe geri dönüşüm alanında işaretleme kullanımı farklı ihtiyaçlara/amaçlara hitap edebilir. Kullanımlar tamamen fonksiyonel (ör: teknik nedeni) olup, tamamen regülasyonlara da hitap edebilir. Örneğin, üretici tarafında plastikler içerisine eklenen işaretleme sistemleri, o plastiğe içerikten üretim, hatta üretici geçmişine kadar bilgileri içeren bir kimlik kazandırabilir ve geri dönüşüm öncesinde kimlik tespitini müteakip bilgilere dayanarak dönüşümün teknik açıdan en doğru biçimde yapılmasını sağlayabilir, basit geri dönüşüm sembollerinin (kodlarının) çok ötesine geçebilirler. Regülasyon tarafında ise, örneğin geri dönüştürülmüş ambalaj kullanan bir firma bu tercihten dolayı bir vergi muafiyeti kazanıyorsa, mağazadan son kullanıcıdaki ürüne kadar herhangi bir zamanda kontroller yapılarak olası bir usulsüzlüğün önüne geçilebilir. Diğer bir örnekte ise sürdürülebilirlik temasını ön plana çıkaran bir firma tedarikçilerinden hammadde temininde işaretleme tespiti ile geri dönüştürülmüş

plastik olup olmadığının kontrolünü yapmak, hatta bu uygulamayı bir pazarlama unsuru, rekabet gücü olarak kullanmak isteyebilir.

Plastik geri dönüşümde işaretleyici kullanımı çok farklı ihtiyaçlara hitap edebilir. Bu açıdan, plastik geri dönüşümünde işaretleyici kullanımına yönelik teknik değerlendirmelerden önce olası iş modelleri oluşturulup işaretleyici sistemlerinin bu modellere göre teknik açıdan şekillendirilmesi gerekli olacaktır. Burada iş modelleri ile ifade edilmek istenen, önceki paragrafta verilen örneklerde olduğu gibi, ihtiyaç ve bu ihtiyacın muhataplarının belirlenmesi, kullanımın zorunlu (regülatif) mu opsiyonel (firma tercihi) mi olduğunun belirlenerek işaretlemenin ve kontrolün hangi aşamada yapılacağına göre işaretleme sistemi teknik detaylarının belirlenmesi gerekmektedir.

Belirli bir iş modeline göre oluşturulacak işaretleme sistemlerinde, işaretleyici ve tespit yöntemi seçimi teknik açıdan zorlu, detaylı olarak çalışılması gereken bir konu olacaktır. Örneğin, farklı sıcaklıklarda proses edilen plastikler için ilgili sıcaklıklara dayanıklı işaretleyiciler seçilmesi ya da geliştirilmesi gereklidir. Şu noktayı vurgulamakta fayda vardır; işaretleyicinin plastik malzeme içerisinde bir katkı maddesi olacağı, plastiğe ekleme prosesi sonucunda hem kendi hem de eklendiği plastiğin fiziksel/kimyasal özelliklerinde olumsuz sonuçların ortaya çıkmaması hedeflenmelidir. Diğer taraftan, örneğin optik işaretleyiciler görece saydam ortamlarda etkili bir şekilde kullanılabilirken, yoğun pigment/boya içeren medyalarda optik okuyucularla hassas tespiti çok zordur. Örnekler çoğaltılabilir ancak vurgulanmak istenen şudur; işaretleme sistemi tüm bileşenleriyle bir bütün halinde ele alınmalı ve her uygulamaya göre spesifik bir işaretleme sistemi geliştirilmelidir. Tüm plastik geri dönüşüm alanına hitap edecek tek bir işaretleme sisteminin geliştirilmesi teknik açıdan oldukça zor bir süreç olacaktır. Kaldı ki bu konu dahi bir iş modeli belirlenmesi sürecinin önemine işaret etmektedir.

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

1.5.a. Geri dönüşüm ürün ve malzemelerinin izlenebilir (marker ile) olması

Marker/Tracer: İşaretleyici

Endüstride yaygın olarak kullanılan işaretleyici tipleri:

- Floresan işaretleyiciler: Bu maddeler genellikle görünür ve yakın kızılötesi dalga boylarında floresan ışımaya sahip özelliklerine sahip boyalar ya da kuantum nokta nanoparçacıklar olabilmektedir. Floresan işaretleyiciler tek başlarına ya da farklı optik özelliklere sahip diğer floresan işaretleyicilerle birlikte kullanılarak, uyarıcı ışıklara karşı özgün spektral tepkiler verirler ve bu spektral özellikler, taklit edilmesi zor parmak izleri olarak kullanılırlar. Bir işaretleyici kompozisyonu, bir malzeme (ör: geri dönüştürülmüş

plastik) içerisine eklendiği vakit, söz konusu (floresan) spektral özellikler o malzemeye ait parmak izi, kimlik haline gelmiş olur. Tespit sonucunda ortaya çıkan spektral özellikler işaretleyici, ve bu vesileyle malzeme hakkında bilgi verir. Okuyucuları floresan spektroskopik sensörler ya da floresan spektrometrelerdir. Mobil sensörlerle dakikalar içerisinde niteliksel ve niceliksel okuma yapılması sağlanabilir.

- Absorban işaretleyiciler: Bu maddeler genellikle belli dalga boylarında kuvvetli ışık soğurma özelliğine sahip boyalardır. Kullanımları floresan işaretleyicilerle benzer olup özgün absorban profilleri parmak izi olarak kullanılabilir. Saydam olmayan malzemelerde kullanımları çok kısıtlıdır. Okuyucuları absorban sensörleri ya da spektrometreleri olabilir. Mobil sensörlerle dakikalar içerisinde niteliksel ve niceliksel okuma yapılması sağlanabilir.
- Moleküler işaretleyiciler: Genellikle endüstriyel kullanımı bulunmayan, oldukça spesifik kimyasal kompozisyon ve kütle özelliklerine sahip moleküllerdir. Optik (floresan ve absorban) işaretleyicilerin aksine tespitleri kromatografi + kütle spektrometreleri ile uzun süren yöntemlerle yapılabilmektedir. Oldukça hassas nitelik ve niceliksel işaretleme sistemleri sunabilmektedirler ancak mobil sensörlerle hızlı okuma yapmak mümkün değildir. Mobilite genellikle “laboratory in a van” adı verilen, ilgili laboratuvar ekipmanları ile donatılmış motorlu taşıtlar ile yerinde ölçümlerle sağlanabilmektedir.

Okuyucu: Kullanılan işaretleyicinin niteliksel ve/veya niceliksel olarak tespitini yapan cihazlar. Kullanılan işaretleyiciye göre özel olarak geliştirilmiş sensörler ya da işaretleyici tespitine özel geliştirilmiş metotları kullanan karakterizasyon cihazları olarak tanımlanabilir.

İşaretleme sistemi: Belli bir iş/uygulama modeline göre oluşturulmuş, işaretleyici ↔ okuyucu ikilisini içeren, tüm süreç detaylarının belirlenmiş ve test edilerek çalışırılığı gösterilmiş uygulamalar bütünü

Tracer Based Sorting (TBS): Üretim sırasında farklı plastik tiplerinin (PET, PP, PE vb.) içlerine farklı işaretleyiciler katılarak geri dönüşüm sırasında işaretleyici tespitine göre ayırıştırma yapılmasına olanak veren sistem.

Plastik geri dönüşümünde işaretleyici (marker) kullanımı 2 açıdan ele alınmalıdır:

- 1) Fonksiyonel
- 2) Regülasyonlar

Fonksiyonel açıdan bakıldığında, uygulanan işaretleme sistemi plastik geri dönüşümünde teknik bir problemi çözüyor ya da mevcut bir çözümü daha verimli hale getiriyor olmalıdır. Bu konuda dünyadaki odak büyük oranda TBS sistemleri üzerine olmaktadır. Plastik ambalajların üzerindeki geleneksel geri dönüşüm sembolleri (kodları) fazla kapsayıcıdır ve ambalaj üzerinden bir şekilde kaybolduğu/silindiği zaman atığın geri dönüştürülmesi mümkün

olamamaktadır. Plastik geri dönüşümündeki en önemli noktalardan biri ise atıkların plastik tiplerine göre kategorize edilerek ayrıştırılmasıdır. Bu açıdan, işaretleyici kullanılarak plastiklere parmak izi tahsis edildiği takdirde hassas biçimde kategorize edilmiş plastik atıkların geri dönüştürülmesi daha verimli olacaktır. Ek olarak, ilk kullanımda işaretlenmiş bir plastik, geri dönüşüm sırasında başka bir işaretleyici ile tekrar işaretlenirse, oluşacak yeni işaretleyici tepkisi (floresan, absorban ya da moleküler özellik) kaçınıcı defa geri dönüştürüldüğü ile ilgili bilgiler de verebilir.

Regülasyonlar açısından ise plastik geri dönüşümünün ya da geri dönüştürülmüş plastik kullanımının zorunlu ya da teşviklerle motive edilmiş olduğu durumlarda, plastiğin geri dönüştürülmüş olup olmadığı ancak bir işaretleyici sistemi ile takip edilebilir. Bu tip bir uygulamada, işaretleyicinin devlet organları tarafından denetlenen, ruhsatlandırılmış plastik geri dönüşümcülere temin edilmesi ve kullanım miktarlarının raporlanması gerekmektedir. Örnek olarak, akaryakıtta ulusal marker uygulaması incelenebilir.

Fonksiyonel ve regülatif işaretleyici sistemi uygulamaları, mutlak surette birbirinden ayrı değerlendirilmek durumunda değildir; tam tersine, plastik geri dönüşümünde işaretleyici sistem uygulaması aynı anda fonksiyonel ve regülasyonlar açısından gerekli olduğunda, yeni bir teknoloji olarak kabul görmesi ve sıradanlaşması daha hızlı ve verimli olacaktır.

İşaretleyiciler, öncelikli olarak, kullanıldıkları ortamda direkt olarak, ya da ortamdan izole edilerek hedeflenen niteliksel ve/veya niceliksel hassasiyette tespit edilebiliyor olmalıdır. Plastiklerde kullanılan optik işaretleyici uygulamalarında, uyarılma (excitation), floresan ışımaya (emission) ya da absorpsiyon dalga boyundaki ışık, plastiğin kendisi ya da içerdiği pigmentlerle optik etkileşime girebilir. Örneğin, siyah pigment içeren plastiklerde görünür dalga boylarında ışımaya ya da absorpsiyon yapan işaretleyicilerin kullanımı, siyah pigmentler hem gönderilen hem de ölçülen ışığın soğurulmasına neden olduğu için mümkün olmayabilir, dolayısıyla yakın kızılötesi ışımaya ya da soğurma yapan özellikteki optik işaretleyiciler tercih sebebi olabilir.

Bazı durumlarda, hassas işaretleyici okuması için, işaretleyicinin plastik içerisinden ekstraksiyonu gerekli olabilir. Böyle bir gerekliliğin olduğu işaretleme uygulamasında okumalar yerinde yapılamayabilir ve mutlaka bir laboratuvara ihtiyaç olacaktır. Zaten işaretleyicinin plastik içerisinden kolayca izole edilebiliyor olması, kötü niyetli tersine mühendislik yapılmasına (ör: işaretleyicinin taklit edilerek geri dönüştürülmemiş plastiğe eklenmesi ve teşviklerden faydalanılması) olanak verecektir ve bu kesinlikle istenmeyecek bir durumdur.

İşaretleyiciler kullanılacakları ortamın fiziksel/kimyasal özelliklerine uyumlu olacak şekilde seçilmeli ya da geliştirilmelidir. Buradaki temel nokta, herhangi bir katkı maddesinin

kullanımında olduğu gibi, işaretleyicinin ilgili ortamda homojen dağıtılabilmesi ve homojenliğini ürünün kullanımı devam ettikçe sürdürülebilir olmasıdır.

İşaretleyiciler, plastiğin proses şartlarına dayanıklı olmalıdır. Örneğin, kullanılacak işaretleyicinin plastik içerisindeki ölçülebilirliği ve stabilitesi uygun görünse dahi plastiğin işlenebilirliği için gerekli yüksek proses sıcaklıklarına dayanıklı olmadığı sürece kullanımı mümkün olmayacaktır.

İşaretleyici kullanımı regülatif açıdan gerçekleşiyor ise, işaretleyici okumasında niceliksel, yani işaretleyici konsantrasyonu önemli bir parametre olacaktır. Örneğin, olası bir vergi teşviği kullanılan geri dönüştürülmüş plastik miktarına göre veriliyorsa, ilgili bir üründe % kaç oranında geri dönüştürülmüş plastik olduğu önemli olacaktır. Bu nedenle, işaretleyici ölçümünün belli bir hassasiyetle niceliksel yapılabilir olması gereklidir.

Plastik geri dönüşümünde marker uygulamasında tercih edilen iş modeli, esas olarak işaretleme sisteminin de nasıl olması gerektiğini kabaca tariflemiş olmaktadır. Örneğin, bir ürün ambalajındaki işaretleyici miktarı rastgele kontrol amaçlı olarak perakende market içerisinde ve dakikalar mertebesinde yapılması gerekiyorsa, mutlaka mobil bir sensör gerekli olacaktır. Bu gereklilik de, kullanılan işaretleyicinin optik özellikte olmasını gerektirir zira moleküler işaretleyiciler için daha önce sözü edildiği üzere kapsamlı laboratuvar ekipmanlarına ihtiyaç vardır.

İşaretleyicinin hangi konsantrasyonda, hangi hassasiyet ve ölçüm doğruluğunda tespit edilmek istendiğine göre okuyucunun hassasiyeti belirlenmiş olacaktır. Bu noktada, işaretleme sisteminin “cost of tagging” yani işaretleme maliyetinin plastik maliyetine kıyasla kabul edilebilir düzeyde olması mutlak surette gereklidir. Yani diğer bir deyişle, işaretleyici performansı değerlendirilirken işaretlenmiş birim plastik başına maliyet çarpanı da gözetilmelidir. Özetle, düşük maliyetli ve yüksek ölçüm hassasiyeti sunan işaretleyiciler ve okuyucular hedeflenmelidir.

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

1.5.a. Geri dönüşüm ürün ve malzemelerinin izlenebilir (marker ile) olması

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya’da	Türkiye’de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

THS6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dünyada THS: 9

Türkiye’de THS:3

Dünyada geri dönüştürülmüş plastiğin işaretlenmesi ve takip edilmesinden ziyade TBS (Tracer Based Sorting) uygulamasında ticari işaretleme sistemi ürünleri bulunmaktadır. Bu açıdan THS9 seviyesinden söz etmek mümkündür. Türkiye’de mevcut bir uygulama örneği ya da regülasyon varlığı bilinmemektedir.

C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

1.5.a. Geri dönüşüm ürün ve malzemelerinin izlenebilir (marker ile) olması

- Dünyadaki ve Türkiye’deki THS seviyesine ilişkin somut örnekler,

Almanya menşeli Polysecure ve Hong Kong menşeli Nanomatrix firmaları, plastik sektörüne yönelik, özellikle TBS uygulaması için ticari ürünleri vardır. Ancak bu ya da benzeri ürünlerin plastik geri dönüşüm sektöründe ticari ya da regülatif olarak kullanılıp kullanılmadığına dair bir veri yoktur.

İşaretleyici (marker) konusunda farklı sektörlerde (ör: akaryakıt) THS9 örnekler dünyada ve ülkemizde mevcuttur. Sürdürülebilirlik alanında THS 5-6 seviyesinde çalışmalar vardır (ör: ormansızlaştırma (deforestation) değil de sürdürülebilir yöntemlerle elde edilmiş palm yağının tedarik zincirinde işaretlenmesi). Plastik geri dönüşüm sektöründe işaretleyici kullanımı konusunda ise Türkiye’deki çalışmalar hakkında yeterli bilgi yoktur. Kuantag Nanoteknolojiler G.Ü.A.Ş.’nin, plastik geri dönüşüm alanı hedefli olmasa da, polimerlerde işaretleyici kullanıma dair THS 3 seviyesi çalışmaları vardır. Akademik çalışmaların da THS 3 seviyesinden ileride olmadığı tahmin edilmektedir.

- Dünyadaki başarılı girişimler ve örnekler

Ürün açısından Polysecure ve Nanomatrix firmaları örnek verilebilir. Ancak plastik geri dönüşümde işaretleyici olarak uygulanıp uygulanmadıkları bilinmemektedir.

- Türkiye’de (varsa) başarılı örnek ve girişimler

Plastik sektörü için örnek yoktur. Ancak, akaryakıt sektöründe kullanılan ulusal işaretleyici ve okuyucu (tespit edici) sistem bizzat TÜBİTAK tarafından geliştirilmiştir. Özel sektörde ise

Kuantag Nanoteknolojiler G.Ü. A. Ş. firması Opet akaryakıtı için işaretleyici geliştirmiş ve ticarileştirmiştir.

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Bir Araya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

1.5.a. Geri dönüşüm ürün ve malzemelerinin izlenebilir (marker ile) olması

İş modeli: Çevre mühendisliği. Konunun regülasyonlar ve sürdürülebilirlik alanında dünyadaki trendler açısından değerlendirilmesi

İşaretleyici geliştirme: Organik kimya, malzeme mühendisliği. Özellikle kimyasal boya sentezi, nanoparçacık sentez ve yüzey modifikasyonu, polimer-nanoparçacık dispersiyonları

Okuyucu/metot geliştirme: Elektronik mühendisliği, malzeme mühendisliği. Spektrometrik elektronik cihaz tasarımı, malzeme karakterizasyon yetkinliği (özellikle spektroskopi alanı - floresan, kütle spektroskopisi)

Uygulama: Kimya/proses mühendisliği, polimer mühendisliği. İşaretleyicilerin plastik içerisinde dağıtılması. Özellikle plastik ekstrüzyon ve enjeksiyon bilgi ve tecrübesi gerekli olacaktır

TÜBİTAK'ın gerek kamu kuruluşu olup regülasyonların oluşturulmasında aktif rol oynama potansiyelinden gerekse de ulusal marker ve okuyucu geliştirilmesindeki tecrübelerinden mutlaka faydalanılmalıdır. Teknolojinin Türkiye'deki hazırlık seviyesinin en fazla 3 civarında olduğu düşünüldüğünde, özellikle organik boya, optik nanoparçacık geliştirme, plastik nanokompozitler ve polimer işleme ve optik cihaz geliştirme konularında yetkin üniversite bölümleri bir arada olmalıdır. Özel sektör tarafında işaretleme sistemi geliştiren firmalar yer alabilir. Plastik geri dönüşüm sektöründen katılımcıların iş birlikleri de gerek iş modelleri geliştirme gerekse de pilot uygulamalar aşamasında gerekli olacaktır.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması

1.5.a. Geri dönüşüm ürün ve malzemelerinin izlenebilir (marker ile) olması

İleri seviyede disiplinlerarası çalışma gerektiren bir konudur. Daha önce de vurgulandığı gibi, konu bir işaretleme sistemi olarak ele alınmalı, dolayısıyla tek bir platform çatısı altında, her bir uzmanlığın ayrı ama eş güdümlü proje yürütmesi gereklidir. Örneğin, okuyucu geliştiricisi ile işaretleyici geliştiren tarafın sürekli iletişim halinde olması gerekmektedir çünkü iki taraf da birbirinin geliştirebileceği teknolojiye göre optimizasyon yapmalıdır.

Konunun disiplinlerarası özelliği, THS'nin yüksek olmaması, ileri teknoloji bir uygulama olması ve bir bütün halinde ele alınması gerekliliği nedeniyle teknoloji platformları ya da yenilik ağları

çerçevelerinde değerlendirilmesi, çalışmaların daha verimli ve hedefe yönelik olmasını sağlayacaktır.

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

(Kısa Vade: 1-3 yıl, Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla)

1.5.a. Geri dönüşüm ürün ve malzemelerinin izlenebilir (marker ile) olması

İş modeline göre zaman ve bütçe miktarları değişecektir. Genel olarak bakıldığında orta vade ve 5 ila 10 milyon USD bütçe gereksinimi olabilir.

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

Dünya’da sürdürülebilirlik ya da genel olarak çevre alanındaki geliştirme ürünleri, eğer regülatif bir itici güç yoksa, özel sektörde öncelikle bir maliyet kalemi olarak değerlendirilmektedir ve kullanımları kısıtlı olmaktadır. Bu nedenle, plastik geri dönüşüm konusu regülasyonlarla zorunlu kılınmadığı ve/veya vergi avantajlarıyla teşvik edilmediği durumlarda bu alana yönelik işletme sistemi geliştirme çalışmalarının gerekliliği de iyi değerlendirilmelidir; ya da diğer bir deyişle, bu çalışmalar gerçekleştirilirken konu mevcut ve gerekli regülasyonlar çerçevesinde de ele alınmalı ve ilgili kamu kuruluşlarında farkındalık oluşması sağlanmalıdır. Bu vesileyle ilgili kanuni düzenlemeler yapılması motive edilmelidir.

Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

Plastik geri dönüşümünde işaretleyici kullanımıyla ilgili bir mevzuat yoktur. Ancak, önceki bölümde ifade edildiği gibi, plastik geri dönüşümü ya da geri dönüştürülmüş plastik kullanımı ile ilgili regülasyonlar içerisinde mutlaka işaretleyici sistemlere de yer verilmelidir.

Teknik Altyapılar

Akademi, araştırma kurumları ve özel sektördeki üretim ve test altyapıları yeterlidir. Sertifikasyon tarafında TÜBİTAK UME lider rol oynayabilir. Konuyla ilgili akredite laboratuvar kurulması gerekli olabilir.

İnsan Kaynakları

Genel olarak insan kaynağının yeterli olduğu varsayımı yanlış olmayacaktır. Ancak, özellikle işaretleyici boya organik sentezi konusunda ileri bilgi ve tecrübeye sahip doktoralı araştırmacı eksikliği olabilir.

Destek ve Teşvikler

Özel sektörde TBS (Tracer Based Sorting) amacıyla işaretleme sistemleri zorunlu hale getirilmeli ve geri dönüştürülmüş plastik kullanımı vergi avantajları vb. mekanizmalarla teşvik edilmelidir.

Teknolojik Hedef 2:

PLASTİK ÜRETİM PROSESLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Plastik sektöründe kullanılan proseslerde (Enjeksiyon, Ekstrüzyon, Şişirme, Rotasyon, Termoform gibi) enerji kullanımına yönelik yeşil ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi, üretime entegre edilmesi

Kritik Ürün/Teknoloji 2.1.

2.1. Plastik sektöründe kullanılan proseslerde (Enjeksiyon, Ekstrüzyon, Şişirme, Rotasyon, Termoform gibi) enerji kullanımına yönelik yeşil ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

2.1.a. Hammadde kurutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

(Aşağıda verilen konuları göz önünde bulundurularak teknik detay içeriğinin hazırlanması beklenilmektedir)

- Vakumlu hammadde kurutma sistemlerinin geliştirilmesi
- Ürün tipine ve kalite gerekliliklerine göre optimum kurutma sıcaklık ve sürelerinin belirlenerek, gerektiği kadar kurutma işleminin yapılmasına yönelik teknolojiler ve uygulamalar
- İnfrared ve mikrodalga teknolojileri gibi ışıma tipi teknolojiye sahip kurutucular kullanılmasına imkân tanıyan tasarımların geliştirilmesi ve uygulanması
- Zeolit tabanlı kurutma teknolojilerinin geliştirilmesi
- Üretime uygun kurumuş granül, sıcak hammadde kullanılmasına yönelik uygulamalar
- Kurutma silolarının etkin izolasyonuna yönelik tasarımlar ve uygulamalar
- Mikro dalga teknolojisinin kurutma sürecinde kullanılmasına yönelik proseslerin tasarımı
- Kurutma prosesinde hidrojenin kullanılmasına yönelik teknolojiler
- Kurutma ihtiyacının azaltılmasına yönelik olarak hammaddenin gaz (su buharı, oksijen) bariyerine sahip ambalaj malzemesinde uygun koşullarda depolanmasına imkân tanıyacak proses tasarımları
- Güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanan uygulamalar
- Isı enerjisi depolayan sistemlerden daha etkin faydalanılmasına yönelik teknolojiler
- Üretim sürecindeki proseslerden çıkan atık ısının kurutma amaçlı kullanılmasına imkân tanıyan çözümlerin geliştirilmesi

2.1.b. Hammadde ısıtma ve soğutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

(Aşağıda verilen konuları göz önünde bulundurularak teknik detay içeriğinin hazırlanması beklenilmektedir)

- Soğuk gaz sistemleriyle soğutma teknolojileri ve uygulamaları
- Kriyojenik soğutma sistemlerinin geliştirilmesi
- Hibrid sistemler kullanılmasına yönelik proses tasarımları ve uygulamaları
- Atık ısıdan ve güneş enerjisinden hibritleştirilen enerjinin ısıtma/soğutma sisteminde değerlendirilmesi
- Kapalı soğutma sistemlerinin ve fazla buharın kullanılmasına yönelik tasarımlar ve uygulamalar
- Isı kayıplarının önlenmesine yönelik çözümler
- Free cooler sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması
- Su, Hava ve Hibrit Chiller sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcut sistemlerin verimliliklerinin artırılması üzerine yapılacak çalışmalar
- Kuru soğutucuların geliştirilmesi ve mevcut sistem entegrasyonları üzerine yapılacak çalışmalar

Kritik Ürün/Teknoloji 2

2.1. Hammadde kurutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanması

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

İşleme aşamasında plastiklerin neminin alınması veya kurutulması, plastik kalıplama işleminin hayati bir bölümünü içerir. Plastik reçinesinin kurutulması, plastik bir malzemede çok fazla nemin neden olabileceği komplikasyonları en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için kullanılır. Nemin kalıplanmış plastik bir parçanın kalitesini ne ölçüde etkilediği, işlenmekte olan spesifik plastik reçine ve parçanın kullanım amacına göre değişir.

Her reçine türünün nem almak için sahip olduğu, kendine has, işleme özelliklerini etkileyen belirli bir afinitesi bulunmaktadır. Bu iki polimer grubu, higroskopik ve higroskopik olmayan polimerlerde farklıdır.

Higroskopik polimerler Naylon, ABS, Akrilik, PET, PBT, Poliüretan, Polikarbonat ve daha fazlasını içermektedir. Bu reçineler nemi dahili olarak emer ve hava yoluyla nemi serbest bırakır. Depolamadan kalıplama makinesine giden herhangi bir reçine, higroskopik özelliklerden dolayı genellikle kurutma gerektirir. Islak higroskopik pelet yeterli bir süre boyunca kuru ve sıcak bir ortamla çevrili olduğunda, pelet dışındaki buhar basıncı pelet içindeki buhar basıncından daha düşüktür. Pelet içindeki nem, pelet dışındaki düşük buhar basıncı alanına doğru göç etmeye başlar. Sonunda, pelet kuru hale gelir. Aşağıda higroskopik polimerlerin bazı özellikleri verilmiştir.

Higroskopik polimerler nemi çekmek için güçlü bir afiniteye sahiptirler. İç nem tek başına sıcak hava ile giderilemez. Ortam havasına maruz kaldığında moleküler yapılarına nemi emer. Dolayısıyla ile bu polimerler kuruduktan sonra hızlı bir şekilde işlenmelidir.

Higroskopik olmayan polimerler ise PVC, Polipropilen, Polistiren, Polietilen ve benzerleri olarak sıralandırılabilir. Bu reçineler, pelet içine dahili olarak nemi emmez. Bununla birlikte, pelet yüzeyinde nem toplanabilir. Bu olduğunda, ısı uygulamak, yüzey nemini gidermenin önemli bir parçası haline gelir. Aşağıda higroskopik olmayan polimerlerin özellikleri verilmiştir.

Toplanan herhangi bir nem pelet yüzeyindedir (adsorpsiyon). Tipik nem toplama, yoğuşmadan kaynaklanır. Malzeme üzerinden yeterli miktarda sıcak hava geçirilerek nem kolayca uzaklaştırılır.

Plastiğin içerdiği nem, işlemenin küçük bir yönü gibi görünebilir, ancak kontrol edilmezse kaliteli plastik parçalar üretmeyi neredeyse imkânsız hale getirebilir. İşleme öncesi reçine kurutma, performans özelliklerini ve nihayetinde firmanın rekabet konumunu korur. Plastik kurutmanın bazı avantajları şunlardır:

Kozmetik Sorunları Önleme: Plastik parçaların görüntü özelliklerinin düzgün olmasını sağlar.

Hidrolizi Önleme: Polimer zincirindeki kovalent bağları kıran, polimerin moleküler ağırlığını azaltan ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde azaltan bir kimyasal reaksiyonu engeller.

Parça Arızasının Önlenmesi: Kurutma sırasında, işleme için uygun maksimum nem seviyesine ulaşılmazsa, erken parça arızaları ve yapısal bozukluklar meydana gelebilir.

Sonuç olarak, nemi dışarı atmak için plastik hammaddesi olan polimerik reçinelerin kurutulması gerekmektedir. Çünkü maksimum polimer performansı sağlamak ancak kurutma ile mümkündür.

Reçine kurutucuları, yardımcı ekipmanların ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirliğe nasıl katkıda bulunabileceğinin mükemmel bir örneğini oluşturur.

Birçok uygulamada, özellikle yüksek sıcaklıklarda kuruyan malzemeleri içerenlerde dahil olmak üzere, kurutma en çok enerji gerektiren yoğun işlemler arasındadır. Örneğin, PET preform kalıplamada kurutma, toplam proses enerji tüketiminin %25'ini oluşturur ve sadece kalıplama makinelerinin kendisinden sonra ikincidir. Neyse ki, aynı zamanda önemli tasarrufların sağlanabileceği bir alandır.

Polimerleri kurutmak için kullanılan geleneksel işlemler arasında nem giderici kurutucular, döner tamburlar, düşük basınçlı kurutucular, vakumlu kurutucular ve dolaylı ısı eşanjörleri bulunur.

Nem giderici kurutucular, kurutucu olarak bilinen higroskopik bir madde kullanılarak işlemde önce plastikteki nemi ortadan kaldırır. Belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılan hava, havadaki nem alınarak kurutucu yataktan geçmeye zorlanır. Kuru hava daha sonra kurutulması gereken plastiği içeren bir kurutma hunisine beslenir. Sıcak, kuru hava, hazne içindeki malzemeden nemi çeker. Artık neme doymuş hava, kurutucu hunisinden çıkar ve kurutucu yataktan geri beslenir, tekrar huniye beslenmeden önce havadaki nem giderilir ve işlem yeniden başlar.

Döner tamburlar, işlenmesi gereken malzemeye uygun sabit bir çiğlenme noktası sağlar. Bu teknoloji, servis malzemesini kurutmak için kurutucu madde içeren döner bir tekerlek kullanır. Döner tamburlar, nem giderici kurutuculardan % 40 daha verimli olabilir.

Düşük basınçlı kurutucular veya vakumlu kurutucular, bir kurutucu yardımı olmadan nemi ortadan kaldırır. Vakum, suyun kaynama noktasını düşürür ve ısıtılan malzemeden nemi hızla çeker. Vakum, bir kurutucunun malzemeleri kuruttuğu zaman diliminin altında birinde

kurutabildiğinden, malzeme uzun süreli kurutmaya maruz kalmadığı için malzemenin bozulma riski azalır.

Dolaylı ısı eşanjörleri, polimerleri iletim yoluyla dolaylı olarak ısıtmak için sıcak su, hava veya buhar kullanır. Nemi uzaklaştırmak için az miktarda çapraz akışlı hava da dahil edilebilir. Isıtılan ortam polimerle doğrudan temas etmez, ancak ısı, ısı eşanjörünün duvarları yoluyla dolaylı olarak aktarılır. Termal ısı transferi, nemi ortadan kaldırmak için ürün sıcaklığını yükseltmek için kullanılan mekanizmadır.

Polimer malzemeler, ortam hava koşulları nedeniyle malzemenin sıcaklık dalgalanmalarına maruz kalmaması için işlenmeden önce sabit sıcaklık depolarında istiflenirler. Sıcaklık değişiklikleri polimerik hammaddelerde artan nem içeriğine, daha yavaş işleme sürelerine veya reddedilen ürün yüzdesinin artmasına neden olabilir. Sıcaklık kontrolü, ürün kalitesinin ve tutarlı üretim kapasitelerinin sağlanmasına yardımcı olur.

Dolaylı bir ısı eşanjörünün kullanılması işlemde önce polimer sıcaklıklarını kontrol etmek için oldukça verimli bir çözümdür. Bu yeni teknoloji, ortam koşullarından ve değişken giriş sıcaklıklarından bağımsız olarak polimer sıcaklığının doğru şekilde kontrol edilmesini sağlar. Polimer malzeme, bir dizi içi boş, paslanmaz çelik plaka arasında dikey olarak beslenir. Malzeme aşağı doğru akarken, sıcak veya soğutma suyu plakalar içinde ters akım akar, geçen malzemeyi iletim yoluyla ısıtır veya soğutur. Ürün, ünite içinde tamamen korunur ve bu da sıfır bozulma ile sonuçlanır. Kontrollü kütle akış hızı, tutarlı kapasite çıktısını garanti eder. Bu süreçte hava kullanılmaz, bu da enerji tüketimini azaltır ve emisyonları neredeyse ortadan kaldırır. Dolaylı ısı eşanjörü, işlemeye hazır, doğru ve kararlı bir çıkış sıcaklığına sahip nihai bir ürünle sonuçlanır.

Dolaylı ısı eşanjörü, polimer peletlerden yalnızca artık nemin çıkarılması gerektiği durumlarda da verimli ve faydalı bir kurutma çözümü olabilir. Bu teknoloji, dolaylı ısı transferi için ısıtılmış su veya buhar kullanır ve ünite içinde hareket ederken peletlerden nemi çıkarmak için az miktarda çapraz akışlı hava içerir. Çapraz akışlı hava, doğrudan bir kurutma yöntemi değil, nemi uzaklaştıran bir mekanizmadır. Peletler, iletim yoluyla kuruma sağlar. Ürünü doğrudan kurutmak için büyük miktarda sıcak hava kullanan tamburlu kurutucu gibi geleneksel teknolojilerle karşılaştırıldığında, bu çözüm ısı transferi ve nem giderme bileşenlerini ayırarak enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır.

Tüm plastik üretim süreçlerinde ilk adım, malzeme sıcaklığını ve nem içeriğini kontrol ederek ilk polimer malzemelerin kalitesini sağlamaktır. Bu, boyarmaddeler, tamburlar ve vakumlar gibi geleneksel teknolojiler veya dolaylı ısı eşanjörleri gibi yenilikçi yeni teknolojiler aracılığıyla gerçekleştirilebilir.

Soğutma, plastik sektöründe de elzem konulardan bir tanesidir. Soğutma performanslarından taviz vermek soğutma maliyetinden daha fazla zarar verebilir. Bu nedenle soğutma işleminden tasarruf ancak enerji verimliliğinin sağlanması ile söz konusu olabilir. Bu konuda zaman içerisinde meydana gelen gelişmeler önemli avantajlar sağlamış olsa da mevcut teknolojilerin hala geliştirilmesi mümkündür. Ayrıca soğutma sistemlerinin enerji verimliliklerinin artırılması konusunda yenilikçi teknolojilere de hala ihtiyaç duyulmaktadır.

Soğutma üretim süreçlerine göre daha uzun zamanlı bir operasyon olduğundan toplam enerji tüketimi üretim sürelerinin gerektiğinden daha fazla gerçekleşmektedir. Soğutma sistemlerinin verimliliği daha iyi yalıtım veya daha az enerji tüketen uygulamalarla mümkün olabilmektedir. Ancak fonksiyonel yalıtım sistemleri hem ideal yalıtımı sağlarken hem de soğutma verimine katkı sunan soğuk ısı pompaları olarak çalışabilir. Soğuk pompaların verimlilikleri ise hem bu teknolojiyi kullanan materyallerin değerlendirilmesi hem de uygulanan teknolojilere göre değişebilir. Yakın gelecekte aktif ve pasif enerji depolama sistemlerinden faydalanan soğuk ısı pompalarının hayatımıza daha fazla dahil olacağı öngörülmektedir. Plastik sektöründe soğutmaya yönelik araştırma konuları:

- Soğuk gaz sistemleriyle soğutma teknolojileri ve uygulamaları
- Kriyojenik soğutma sistemlerinin geliştirilmesi
- Hibrid sistemler kullanılmasına yönelik proses tasarımları ve uygulamaları
- Atık ısıdan ve güneş enerjisinden hibritleştirilen enerjinin ısıtma/soğutma sisteminde değerlendirilmesi
- Kapalı soğutma sistemlerinin ve fazla buharın kullanılmasına yönelik tasarımlar ve uygulamalar
- Isı kayıplarının önlenmesine yönelik çözümler
- Free cooler sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması
- Su, Hava ve Hibrit Chiller sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcut sistemlerin verimliliklerinin artırılması üzerine yapılacak çalışmalar
- Kuru soğutucuların geliştirilmesi ve mevcut sistem entegrasyonları üzerine yapılacak çalışmalar alt başlıklarını içermelidir.

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

2.1.a. Hammadde kurutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Hammadde kurutma süreçlerinde enerji tasarrufu gerektiren sistemler “Temiz, ulaşılabilir, güvenli enerji arzı” öncelikli alan başlığı altında desteklenmesi gereken ileri teknolojileri ortaya çıkarmaya yönelik çalışmalardır. Hammadde kurutma, plastik üretim sürecinin oldukça yüksek enerji sarfiyatına sebep olan ancak enerjinin fazlasının geri tasarruf edilebileceği bir kısmı

olarak değerlendirildiğinden üzerinde durulması gereken bir konudur. Hammadde kurutma sürecinde enerji etkinliğinin sağlanması için iki temel yön bulunmaktadır. Enerji tüketen makinelerin ve uygulamaların sarfiyatının azaltılması bunlardan birincisidir. Bunun için aşağıdaki konuların üzerinde durulması gerekmektedir.

- Vakumlu hammadde kurutma sistemlerinin geliştirilmesi
- Ürün tipine ve kalite gerekliliklerine göre optimum kurutma sıcaklık ve sürelerinin belirlenerek gerektiği kadar kurutma işleminin yapılmasına yönelik teknolojiler ve uygulamalar
- İnfrared ve mikrodalga teknolojileri gibi ışıma tipi teknolojiye sahip kurutucular kullanılmasına imkân tanıyan tasarımların geliştirilmesi ve uygulanması
- Zeolit tabanlı kurutma teknolojilerinin geliştirilmesi
- Üretime uygun kurumuş granül, sıcak hammadde kullanılmasına yönelik uygulamalar
- Kurutma silolarının etkin izolasyonuna yönelik tasarımlar ve uygulamalar
- Mikro dalga teknolojisinin kurutma sürecinde kullanılmasına yönelik proseslerin tasarımı
- Kurutma prosesinde hidrojenin kullanılmasına yönelik teknolojiler
- Kurutma ihtiyacının azaltılmasına yönelik olarak hammaddenin gaz (su buharı, oksijen) bariyerine sahip ambalaj malzemesinde uygun koşullarda depolanmasına imkân tanıyacak proses tasarımları

İkinci yön, kurutma için kullanılacak enerji kaynaklarının ekonomi sağlamak üzere çeşitlendirilmesidir. Bu noktada da,

- Güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanan uygulamalar
- Isı enerjisi depolayan sistemlerden daha etkin faydalanılmasına yönelik teknolojiler
- Üretim sürecindeki proseslerden çıkan atık ısının kurutma amaçlı kullanılmasına imkân tanıyan çözümlerin geliştirilmesi konuları önem arz etmektedir.

Kurutmayı daha düşük enerji ile gerçekleştirebilen makine ve uygulamaların enerji verimliliğine doğrudan etkisi olacaktır. Bu konuda dünyada çeşitli teknolojilerden faydalanılmaktadır. Ülkemizde bu konudaki çalışmalar oldukça geri kalmıştır. Yenilikçi kurutma sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcutlarına yenilikçi özellikler kazandırılmak üzere modifiye edilmesine yönelik projeler gerçekleştirilebilir.

Atık ısı değerlendirme endüstriyel süreçlerde enerjinin geri dönüşümü gibi değerlendirilebilir. Hiçbir şekilde %100 ve hatta genellikle yüksek bir yüzde ile geri dönüşüm elde edilemez. Dolayısı ile yüksek miktarda enerji kaybı olan süreçler düşük miktarda enerji gereksinimi olan işlemler için değerlendirilmelidir. Kurutma endüstriyel süreçlerde düşük miktarda enerji gerektiren süreç olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmalar için belirli bir eşik bulunmadığından verimlilik projeleri için ölçek bulunmaması durumunda önerilen %70 oranı başarı ölççeği olarak

değerlendirilebilir. Yenilikçi projeler kurutma sürecinin enerji sarfiyatını bu yüzde oranına düşürmelidir.

Diğer taraftan, gerekli enerjinin alternatif (yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi) enerji etkinliğinin artırılması için ikinci yön olarak değerlendirilmektedir. Bu şekilde ısı uygulaması için gerekli olan enerji doğrudan ısı olarak güneşten veya çevredeki atık ısı kaynaklarından elde edilebilir. Güneş önemli bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi konsantre edilebilir. Ya da gün ışığını ısıya dönüştüren malzeme sistemleri değerlendirilebilir. Bu şekilde kurutma için gerekli olan enerjinin tamamı güneşten sağlanabilir. Isı enerjisini depo eden sistemler ısının sürdürülebilir şekilde güneşten sağlanmasına imkân verebilir. Isı enerjisi en etkili biçimde depolanabilen enerji türüdür. Isının depolanması üzerine yapılan çalışmalar pasif ve aktif sistemler üzerine depolama olmak üzere 2 guruba ayrılır. Geleceğin endüstri kuruluşları ısı bataryalar veya ısı depolama merkezleri içerecektir. Bu alanda ülkemizde çalışan çok sayıda akademisyen bulunmasına rağmen uygulamalar son derece az sayıdadır. Endüstriyel atık ısı değerlendiren sistemler çevredeki mevcut ısıyı kurutma için kullanarak enerji tasarruf eden sistemlerdir. Dünyada bu konuda üretilen kurutucu makine ve sistemler mevcuttur. Her ne kadar bu konudaki uygulamalar daha evvel değerlendirilenler üzerinden kurgulansa da tasarımlar mecburen özgündür. Bu tarz makine ve sistemlerin ülkemizde de geliştirilmesi rekabetçiliğin korunması için elzemdir. Yine bir eşik değer dayanağı söz konusu olmadığından bu yönde yapılacak çalışmalarda da verimlilik projelerinde benzer durumlar için değerlendirilen mevcut sarfiyatların %70'ine kadar tasarruf hedeflenmelidir.

Isının etkili biçimde geri kazanılarak kullanıldığı çok sayıda akademik çalışmalar [1-3] ve endüstriyel uygulamalar [4-6] bulunmaktadır. Endüstriyel atık ısının değerlendirilmesi de yenilenebilir enerji kaynakları arasında sayılmakta olup bu konuda da geçmişte çok sayıda çalışmalar yapılmıştır [7-13].

Kurutma sistemleri içinde en çok çalışılan vakumlu kurutma sistemleridir. Bunların gerek literatürde gerek endüstri de çok sayıda örneği mevcuttur [14-18].

Ürün tipine ve kalite gerekliliklerine göre optimum kurutma sıcaklık ve sürelerinin belirlenmesi için sensör ve dijital takip sistemlerinden faydalanılmalıdır. Bu konuda ilgili personelin eğitimi üzerine de projeler yapılabilir. Dijitalleşme ve süreç otomizasyonunda yetkin personel bulundurulması önemlidir.

Elektrikli ısıtma, ohmic ve solar ısıtma teknolojilerinin entegrasyonu mevcut sistemlerin yenilenmesi veya yenilikçi sistemlerle yer değiştirmesi üzerine mühendislik yaklaşımlarını gerektirmektedir. Teknolojinin ilerlemesi yenilikçi sistemlerin entegrasyonunu daha kolay ve işlevsel hale getirmiştir. Bu alanda özgün tasarım bileşen sistemleri üzerine çalışmaların desteklenmesi ile enerji sarfiyatında önemli tasarruflar elde edilebilir.

Ohmic ısıtma sistemleri (elektrikli ısıtma yapan sistemler) son yıllarda ve solar ısıtma sistemleriyle birlikte değerlendirilmeye çalışılmaktadır [19-20].

Doğalgaz kullanan brülörle kurutma yapan sistemler elektrikli sistemlere nazaran daha uygun maliyetle gerçekleşmektedir [21-22].

Hidrojenle ısıtma konusundaki bağımsız araştırmaların tümü aynı sonuca varmaktadır: hidrojenle ısıtma, ısı pompaları, bölgesel ısıtma ve güneş enerjisi gibi alternatiflerden çok daha az verimli ve daha pahalıdır. Yine de teknolojinin zamanla bu yönde sağlayabileceği gelişmeler göz önünde tutulabilir.

Hidrojen teknolojisi henüz yeni olmakla birlikte sahip olduğu potansiyel nedeniyle değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Hidrojenin enerji kaynağı olmaktan ziyade kurutma ajanı olduğu çalışmalarda mevcuttur [23-24].

İnfrared ve mikrodalga teknolojileri gibi ışıma tipi teknolojiye sahip kurutucular yeni teknolojiler ve mühendislik yaklaşımları ile gerçekleştirilen verimlilik çözümleridir. Halen bu tip kurutma cihazları ticari olarak satılmakta olup [25-36] geliştirilmeye aşıktırlar. Bu teknolojilerin yerel kaynaklarda geliştirilmesi ile yaygınlaştırılması mümkün olabilir.

Isı enerjisi depolayan sistemlerin çalışma sıcaklıklarına bağlı olan çeşitli uygulamaları bulunmaktadır. Bu sistemler ısı enerjinin fazlasını depolayarak gerekli olduğu zaman ve yerde ortama geri vererek enerji verimliliği sağlayabildiği gibi ısı konfor uygulamalarında da değerlendirilebilmektedir. Isıl enerjisinin depolanması aşırı ısınmanın belli ölçüde durdurulduğu uygulamalarda (iklimlendirme vb) da değerlendirilmektedir. Isıl enerji %60'ın üzerinde depo edilerek tekrar kullanılabilir. Bu noktada en önemli sorun ısı enerjisi depo edebilen malzeme, proses ve kurulumun uygulamaya esas olarak etkili biçimde seçilmesi ve kurulmasıdır. Isı enerjisi depo eden sistemlerde depolama yoğunluğu ve sarj/deşarj süreleri önemlidir. Bu çalışmaların malzeme ve proses gibi iki farklı boyutu bulunabilmektedir.

Ülkemizde ve dünyada ısı enerjisi depolama malzemeleri üreten firmalar gün geçtikçe artmaktadır [37-40].

Kurutma silolarının etkin izolasyonu için ısı iletkenliği düşük kaplama sistemlerinin yanında ısıyı tutarak sistemin enerji kaybını önleyebilen malzeme sistemlerinin geliştirilmesi yani izolasyon sistemlerinin ısı pompalarına dönüştürülmesini esas alan çalışmalardır. Bunların literatürde çeşitli örnekleri yer almaktadır [42-44].

Makinalarda ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji etkin tasarımları halen küçük ölçekli olarak evlerdeki yıkama, kurutma ve soğutma makinalarında yer almaktadır. Bu sistemlerin veya benzerlerin kesintisiz çalışan ve daha büyük hacimlere sahip endüstri makinaları ölçeğine getirilmesi kurutma sistemlerinin enerji etkin dönüşümlerinde birinci derecede önemlidir. Ayrıca

üretim makinelerinin dışardan müdahale ile enerji etkin hale getirilmesine imkân sağlayacak tasarımlarla modifikasyonları mevcut birim enerji başına performanslarının artırılması anlamına gelecektir. Plastik ekstrüzyon ve kalıplama sistemleri dış katmandan ısıtılan sistemlerdir. Bu noktada ısıtma plaka veya yataklarının yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak yeterli veya en azından belli düzeylerde ısıtılması enerji maliyetinin azaltılması anlamına gelecektir. Yenilenebilir ısıtma ve soğutma tasarımlarının gerekli yalıtım tabakalarını da içermesi ile enerji etkinliğinin daha da artırılması söz konusu olabilir.

Makine tasarımlarına yönelik çalışmalar mevcut piyasa firmaları tarafından üretilerek piyasaya arz edilmektedir [45-49].

2.1.b. Hammadde ısıtma ve soğutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Plastik üretim süreçlerinde soğutma, “Temiz, erişilebilir ve güvenli enerji arzı” öncelikli alan başlığı ile ilgili çalışma konuları arasında yer almaktadır. Soğutma konusundaki proje çalışmaları enerji etkinliğini artırmak üzere değerlendirilen verimlilik artırma çalışmaları olarak değerlendirilebilir.

Soğutma sistemleri kayıp oranları görece daha düşük olmasına rağmen süreç olarak genellikle daha uzun olduğu için enerji verimliliği çalışmalarında dikkate alınabilir. Soğutma enerjisi endüstri de atık ısı çeşitli diğer kaynaklardan da sağlanabilir. Bu kaynakları akkümüle eden ya da ayrı ayrı değerlendiren sistemlerden sağlanabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi diğer bir verimlilik konusu olabilir.

Atık ısı ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin kullanımı soğutma işinin üretilebilmesi için değerlendirilebilecek konular arasında yer almaktadır. Plastik işleme uygulamalarında değerlendirilen soğutma işlemlerinde soğuk ısı pompalarının değerlendirilmesi de önemli olup bu konuda yapılan çalışmalar kapsamında ısı depolayan sistemlerden ve proseslerden faydalanmak mümkündür. Konunun çeşitli boyutları yenilikçi malzemeler, tasarımlar ve prosesler olarak değerlendirilebilir.

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

2.1.a. Hammadde kurutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya’da	Türkiye’de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

THS2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dünyadaki THS:8

Dünyada kurutma teknolojileri konusunda yapılan çalışmalar da THS 8 seviyesi yakalanmıştır. Günümüzde hammadde kurutma sürecine dair mevcut teknolojiler yeni yeni ortaya çıkan gelişmiş sistemlerle ilerlemektedir.

Türkiye THS: 1-2

Ülkemizde kurutma teknolojileri en fazla bazı ekipmanların dışardan temin edilen sistemlerin kurulumu noktasındadır. Bu nedenle yeni teknolojileri ortaya çıkaracak projelere THS 1-2 seviyesinden başlamak üzere destek verilmeli ve hedef olarak prototip oluşturma aşamasına kadar ilerleme koşulu getirilmelidir.

Üretilen kurutma sistemleri yalın veya hibrit uygulamaları birlikte içerebilir. Projeler mevcut sistemlerin verimli hale getirilmesi konusunda da olabilir. Ancak sonuç olarak THS 7-8 seviyesine ulaşılması gerekmektedir.

2.1.b.Hammadde ısıtma ve soğutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dünyadaki THS:8

Hammadde ısıtma ve soğutma süreçleri kurutma süreçlerindeki gibi enerji etkinliğini hedefleyen sistemlerdir. Bu nedenle THS durumları benzerlik göstermektedir.

Dünyadaki THS: Dünyada ısıtma soğutma teknolojileri konusunda yapılan çalışmalar da THS 8 seviyesi yakalanmıştır. Günümüzde bu sistemler her gün yeni sistemlerle güncellenmektedir.

Türkiye THS: 1-2

Ülkemizde ısıtma soğutma teknolojileri hammadde kurutmaya nazaran daha ileri düzeyde olmasına rağmen halen dünyayı yakalamaktan uzaktır. Bu nedenle yeni teknolojileri ortaya çıkaracak projelere THS 1-2 seviyesinden başlamak üzere destek verilmeli ve hedef olarak prototip oluşturma aşamasına kadar ilerleme koşulu getirilmelidir.

Üretilen ısıtma ve soğutma sistemlerinde de yalın veya hibrit uygulamalar değerlendirilebilir. Projeler mevcut sistemlerin verimli hale getirilmesi konusunda da olabilir. Ancak sonuç olarak THS 7-8 seviyesine ulaşılması gerekmektedir.

C. Dünyada ve Türkiye'deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

2.1.a. Hammadde kurutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Kurutma olayının özünde ısıtma veya nem giderme amacıyla enerji kullanma yer almaktadır. Bu alanda ülkemizde akademik çalışmalar yapan çok sayıda bilim insanı yer almasına rağmen uygulama noktasında yapılan çalışmalar son derece kısıtlı kalmıştır. Enerji verimliliği Avrupa birliğinin bütün çağrılarında yer almaktadır. Ancak bu çağrılara ülkemizden katılabilen bilim insanlarının sayısı da endüstri uygulamalarının azlığı nedeniyle kısıtlıdır. Mevcut tedarikçi firmaların web siteleri üzerinden yapılan çalışmalarda, ülkemizde endüstride bulunan sistemlerin genellikle yurtdışında ticari olarak örnekleri bulunan sistemler olduğu görülmektedir.

2.1.b. Hammadde ısıtma ve soğutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Plastik işleme sistemlerinde değerlendirilen mevcut soğutma sistemleri ülkemizde genellikle hazır olarak satın alınıp kurularak sağlanmaktadır. Bu nedenle konunun yerleştirilmeye önemli düzeyde ihtiyacı vardır. Soğutma enerjisinin temini için de atık ısı ve yenilenebilir kaynaklar ayrı ayrı veya hibrit şekilde kullanılabilir. Bu kapsamdaki çalışmalar ısı kontrolü,

depolanması ve sürdürülebilir kullanım olarak değerlendirilmelidir. Isıtma ve soğutma uygulamaları ülkemizde [50-51] ve dünyada [52-55] örnekleri bulunan ticarileşmiş ürünlerdir.

Isı kayıplarının önlenmesine yönelik çözümler, izolasyon çözümleri, verimlilik çalışmaları içerisinde değerlendirilmektedir. İzolasyon çözümleri zaman zaman ısı pompaları ile de desteklenmektedir. Bu konuda da yapılan çalışmalar bulunmaktadır [56-59].

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

2.1.a. Hammadde kurutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Plastik hammadde kurutma teknolojileri üzerine geliştirilebilecek projeler kimya, fizik, makine mühendisliği, kimya mühendisliği, malzeme mühendisliği, enerji sistemleri mühendisliği, tasarım mühendisliği ve endüstri mühendisliği gibi disiplinlerin münferit veya birlikte üretebilecekleri çalışmaları içermelidir.

Bu çalışmalarda plastik, makine ve enerji sektörleri biraraya gelmelidir.

2.1.b. Hammadde ısıtma ve soğutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Atık ısı ve güneş enerjisinden ısı üreten sistemlerin verimliliği konusunda kimya, fizik, malzeme mühendisliği, makine mühendisliği, enerji sistemleri mühendisliği, kimya mühendisliği, endüstri mühendisliği birimleri iş birliği yapabilir.

Kimya, malzeme ve makine sektörlerinden şirketlerin bu konuya ilgi göstermesi beklenebilir. Kimya ve malzeme sektöründen ısı depolama malzemelerinin temini konusunda destek alınabilir. Malzeme mühendisliği bölümü bu malzemelerin ne şekilde değerlendirilmesi gerektiği konusunda çalışmalar yapabilir. Makine sektörü ise sistem tasarımı ve proses geliştirme çalışmalarına katkı sağlayabilir.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İş birliği Modeli ve Destek Mekanizması

2.1.a. Hammadde kurutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Hammadde kurutma sistemleri üzerine gerçekleştirilecek proje çalışmalarının ilgili firmaların KOSGEB ve TEYDEB destekli projeleriyle, akademisyenlerin üretici sanayi kuruluşlarıyla ortak yapacakları projelerle ve Ar-Ge merkezlerinde ve TGB'lerde yer alan şirketlerde

gerçekleştirilecek projelerle ele alınması gerekmektedir. Projeler kapsamında işbirliği yapacak farklı disiplinlerin mutlaka bir endüstriyel uygulamada bir araya gelmesi koşulu aranmalıdır.

Mevcut makine veya düzeneklerin güncel teknolojilere uyarlanması anlamına gelebilecek projelere kısa dönemli KOSGEB desteği sağlanmalıdır. KOSGEB destekleri teknolojik yatırım desteği kapsamına alınabilir. KOSGEB projeleri verimlilik proje desteği kapsamında da değerlendirilebilir. TÜBİTAK TEYDEB kanalıyla desteklenecek projeler için fizibilite veya hazırlık desteği sağlanması olumlu sonuç alınabilmesi açısından faydalı olabilir.

Plastik sektörünün hammadde kurutma konusundaki çalışmalarının yaygın etkisi proje destek içeriği dolayısı ile sağlanmalıdır.

2.1.b. Hammadde ısıtma ve soğutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Hammadde ısıtma ve soğutma sistemleri üzerine gerçekleştirilecek proje çalışmalarının da hammadde kurutma projelerine sağlanan mekanizmalar ile desteklenmesi gerekir. Özellikle kurutma ve ısıtma süreçleri çoğu zaman birlikte gerçekleşmektedir. Hammadde ısıtma ve soğutma konusundaki projelere KOSGEB ve TÜBİTAK aracılığı ile destek sağlanabilir. İlgili firmalara KOSGEB ve TEYDEB destekli projelerle, akademisyenlerin üretici sanayi kuruluşlarıyla ortak yapacakları projelerle ve Ar-Ge merkezlerinde ve TGB'lerde yer alan şirketlerde gerçekleştirilecek projelerle destek sağlanması gerekir. Projeler kapsamında işbirliği yapacak farklı disiplinlerin mutlaka bir endüstriyel uygulamada bir araya gelmesi ön koşulu aranmalıdır. Mevcut makine veya düzeneklerin güncel teknolojilere uyarlanması anlamına gelebilecek projelere kısa dönemli KOSGEB desteği sağlanmalıdır. KOSGEB destekleri teknolojik yatırım desteği kapsamına alınabilir. KOSGEB projeleri verimlilik proje desteği kapsamında da değerlendirilebilir. TÜBİTAK TEYDEB kanalıyla desteklenecek projeler için fizibilite veya hazırlık desteği sağlanması olumlu sonuç alınabilmesi açısından faydalı olabilir.

Plastik sektörünün hammadde ısıtma ve soğutma konusundaki çalışmalarının yaygın etkisi proje destek içeriği dolayısı ile sağlanmalıdır.

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

(Kısa Vade: 1-3 yıl, Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla)

2.1.a. Hammadde kurutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Hammadde kurutma süreci için gerçekleştirilecek malzeme, proses ve tasarım konularındaki projeler belli bir uygulama için yalın olursa kısa dönem olarak değerlendirilmelidir. Bu durumda destek süresi 2 yıla kadar olmalıdır. Kısa vadeli projelerde destek miktarı 1000000,00 TL'ye kadar olmalıdır. Projelerin birden fazla (hibrit) çalışmadan oluşması durumunda orta vadede değerlendirilmesi daha uygun olur. Mesela güneşten elde edilen ısı ile konvansiyonel ısı üreticinin hibritleştirildiği sistemler kısa vadede desteklenirken güneş ışığından daha fazla ısı üretmeyi hedefleyen ya da üretilen ısıyı depo etmeyi de hedefleyen sistemler orta vadede desteklenmelidir. Bu projelere ise 3 yıla kadar ve 3000000,00 TL'ye kadar destek verilmelidir. Enerji üzerine mevcut potansiyeli bulunan bütün kaynakların genel bir ısı depolama merkezinde toplandığı ve koordine edildiği termal batarya sistemlerine yönelik projelere ise 5 yıla kadar uzun dönem destek sağlanabilir. Uzun dönem projelerde sağlanacak destek 10000000,00 TL'ye kadar olmalıdır.

Hammadde kurutma sistemleri ile ilgili modernizasyon projeleri kısa dönemli olarak KOSGEB projeleri destekleri kapsamına alınmalıdır. Diğer bilimsel projeler TÜBİTAK ARDEB ve TEYDEP destekleri kapsamında değerlendirilmelidir. Bu projeler için proje hazırlık desteği verilebilir. Projelerde endüstri ortağı koşul olarak değerlendirilmelidir. TÜBİTAK destekleri 3 yıla kadar orta vade ile sağlanmalıdır.

2.1.b. Hammadde ısıtma ve soğutma sürecinde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Hammadde ısıtma ve soğutma için gerçekleştirilecek malzeme, proses ve tasarım konularındaki projeler belli bir uygulama için yalın olursa kısa dönem olarak değerlendirilmelidir. Bu durumda destek süresi 2 yıla kadar olmalı ve 1000000,00 TL'ye kadar destek verilmelidir. Projelerin birden fazla (hibrit) çalışmadan oluşması durumunda orta vadede değerlendirilmesi daha uygun olur. Mesela yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanan yeni bir instrumentasyon sistemi için 3 yıla kadar ve 3000.000 TL'ye kadar orta vadeli projeler desteklenmelidir. Eğer enerji üzerine yenilenebilir veya endüstriyel atık ısıyı tümleştirerek kullanan bir ısıl batarya söz konusu olursa bu projelere 5 yıla kadar ve 10.000.000 TL'ye kadar uzun dönemli destek sağlanabilir.

Hammadde ısıtma ve soğutma sistemleri ile ilgili modernizasyon projeleri kısa dönemli olarak KOSGEB projeleri kapsamına alınmalıdır. Diğer bilimsel projeler TÜBİTAK ARDEP ve TEYDEP destekleri kapsamında değerlendirilmelidir. Ayrıca araştırma projeleri için proje hazırlık desteği verilebilir. Hammadde ısıtma ve soğutma uygulamalarıyla ilgili projelerde endüstri ortağı koşulu değerlendirilmesi gerekir.

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

Hammadde kurutma konusunda yapılacak projeler için KOSGEB ve TÜBİTAK aracılığı ile endüstriye yönelik araştırma projelerinin desteklenmesi işletmelerin bu alanlarda yatırım ve araştırma yapma iştahını artıracaktır. Ayrıca özellikle bu konuda proje yapacak işletmeler diğer kurumlarda gerçekleştirilen projelerin sonuç raporlarına veya proje gerçekleştiren kurumlara ulaşabilmelidir. Yani projeler fikri mülkiyet veya akademik yetkinlik üretmekten öte açık erişim veriyeye sonuç üretmek üzere desteklenebilmelidir. TÜBİTAK bu konuda çalışan Ar-Ge personeline verimlilik eğitimleri vermelidir.

Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

Sanayi teknoloji bakanlığı güneşten ısı enerjisi üretip depolayan sistemlerin üretim tesislerinde uygulanması konusunda yapılan yatırımları bölge farkı gözetmeksizin teşvik kapsamına almıştır. Kurulacak olan sistemlerden elde edilen verimin artırılması sağlanan destek kadar önemli olup sürdürülebilir ilerlemeler işletmelerin rekabet gücünü artıracaktır.

Hammadde kurutulması konusunda yapılan çalışmalarda akademisyenlerin TGB’de faaliyet gösteriyormuş gibi değerlendirilmesi bu alanda elzem olan üniversite-sanayi iş birliği için teşvik edici olacaktır.

Teknik Altyapılar

Plastik sektöründe hammadde kurutma işlemlerinde enerji etkin çözümlerin geliştirilmesi faaliyetleri herhangi bir etik kurul izin veya sertifikasyon gerektirmemekte olup bu çalışmaların işletmeler açısından standart ürün veya uygulama ile sonuçlanması söz konusudur.

İşletmelere Ar-Ge desteği kadar altyapı desteklerinin de sağlanması gereklidir.

İnsan Kaynakları

Hammadde kurutma süreçlerinde enerji etkinliği konusunda çalışan yeni başlayan bir fen veya mühendislik mezunlarının bile tecrübe edinerek bulunduğu kuruma fayda sağlaması mümkündür. Konunun sadece uygulama yapabilen özel sektör firmalarına bırakılmaması gerekir. Bu alanda proje üretebilecek oldukça fazla sayıda akademisyen bulunmasına rağmen uygulama sayısı yok denilecek kadar azdır. Üniversite ile sanayinin bir araya gelmesi ve bu alanda yetişecek insanların içselleştirme bakımında önerile projelerde yer alması gerekmektedir.

Altyapı ve Ar-Ge destekleri ile yetişmiş iş gücüne katkı sağlanabilir. Halen ülkemizde bu alanda yeterli düzeyde tecrübe birikimi bulunmamaktadır.

Destek ve Teşvikler

Sanayinin yapılacak çalışmaları içselleştirmesi için yapılacak projelerde istihdam edilecek genç araştırmacıları değerlendirmesi gerekmektedir. Ayrıca, enerji verimliliği konusunda işletmelere birden fazla proje için ve başarısız olsa bile yeni projeleri için destek sağlanmalıdır.

Projelerin başarılı sonuçlarının bir prototip ortaya çıkarması durumunda işletmeye yatırım desteği sağlanması sonuçların değerlendirilmesi açısından destekleyici olacaktır.

Ar-Ge faaliyetlerinin yatırım teşvikleriyle desteklenmesi uygulamaların yaygınlaşması için önemli oranda destek sağlayacaktır.

Kaynakça

- [1] <https://aktermgroup.com/faaliyetlerimiz/atik-isi-geri-kazanim/>
- [2] https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/PTB_202206301707.pdf
- [3] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544213010785>
- [4] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217308253>
- [5] <https://zoboko.com/text/9y02rwyq/technologies-for-solar-thermal-energy-theory-design-and-optimization/50>
- [6] <https://docs.energytransitionmodel.com/main/residual-heat-industry/>
- [7] <https://www.enerjiportali.com/botas-atik-baca-gazi-isisindan-elektrik-uretecek/>
- [8] <http://www.sicaksukazani.top/kazan-baca-gazindan-isi-geri-kazanim/>
- [9] <https://jenesis.com.tr/baca-gazi-ekonomizeri/>
- [10] <https://www.enerjigunlugu.net/duzce-camin-baca-gazi-elektrige-donusecek-19216h.htm>
- [11] <https://www.exodraft-heatrecovery.com/flue-gas-heat-recovery/>
- [12] <https://www.baxi.co.uk/faqs/what-is-flue-gas-heat-recovery>
- [13] <https://www.powermag.com/power-101-flue-gas-heat-recovery-in-power-plants-part-i/>
- [14] <https://vakumkurutma.com/>
- [15] <https://www.hammaddekurutma.com/kutuphane/vakum-kurutucu-nedir-nasil-calisir-15>
- [16] <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/vacuum-drying>
- [17] <https://www.amixon.com/en/vacuum-drying>
- [18] <https://www.betterengineering.com/vacuum-drying/>
- [19] <http://ohmicthawing.com/>
- [20] <https://www.foodelphi.com/ohmik-isitma-2/>

- [21] <https://www.ecostar.com.tr/urunler/monoblok-brulorler/gaz-brulorleri>
- [22] <https://plus.alarko-carrier.com.tr/havadan-sudan/brulor-nedir-ne-ise-yarar>
- [23] <https://www.euractiv.com/section/energy/news/hydrogen-heating-uk-government-at-odds-with-scientists/>
- [24] <https://www.theguardian.com/environment/2022/sep/27/hydrogen-is-unsuitable-for-home-heating-review-concludes>
- [25] <https://infratech.com.tr/UrunListesi/1311/16/153/>
- [26] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/infrared-drying>
- [27] <https://www.bekaert.com/en/brands/dryingheating/drying-technology/what-is-infrared-drying>
- [28] <https://baldwintech.com/what-is-ir-drying>
- [29] <https://efactor3.com/infrared-dryer/>
- [30] <https://www.maxindustrialmicrowave.com/microwave-drying-machine-a-231.html>
- [31] <https://www.ankastreal.com/zeolit-kurutma-teknolojisi.xhtm>
- [32] <https://washerhouse.com/tr/typy-sushki-v-posudomoechnoj/>
- [33] <https://turkish.molecularsieveadsorbent.com/sale-26563332-zeolite-3a-molecular-sieve-desiccant-for-oil-petroleum-cracking-gas-drying-depth.html>
- [34] <https://temaprocess.com/2019/zeolite-drying/>
- [35] <https://www.siemens-home.bsh-group.com.au/inspiration/innovation/highlights/zeolith>
- [36] <https://research.wur.nl/en/publications/process-integration-for-food-drying-with-air-dehumidified-by-zeol>
- [37] İstanbul Teknik AŞ., www.istanbulteknik.com
- [38] İDEAKİM AŞ. www.ideakim.com
- [39] www.rubitherm.de
- [40] www.pcmproducts.com
- [41] <https://ieeexplore.ieee.org/document/8973936>
- [42] <https://www.ornl.gov/publication/novel-pcm-integration-electrical-heat-pump-demand-response>
- [43] <https://www.henkel-adhesives.com/us/en/products/thermal-management-materials/phase-change-material.html>

[44] <https://krafab.com/understanding-phase-change-materials-applications/>

[45] <https://www.saltmuhendislik.com/blog/isi-pompasi-nedir-uygulamasi-nasil-yapilir>

[46] <https://www.solimpeks.com.tr/isi-pompasi/>

[47] <https://www.controleng.com/articles/machine-tool-energy-efficiency-current-issues/>

[48] <https://www.vedantu.com/physics/heat-engine-efficiency>

[49] <https://www.carrier.com/residential/en/us/products/heat-pumps/heat-pump-efficiency/>

[50] <http://ing-kurultay.com/tr/atik-ile-sogutma.html>

[51] <https://hvacglobal.org/absorbsiyonlu-sogutma-sistemi/>

[52] <https://smartency.eu/about/solutions/district-cooling-station-that-uses-residual-heat-tartu/>

[53] <https://www.beijerref.nl/en/use-residual-heat-from-the-cold-process/>

[54] <https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/residual-heat-from-production-processes/>

[55] <https://www.osti.gov/biblio/22106048>

[56] <https://www.entalproje.com/isitma-sogutma-sistemlerinde-kullanilan-izolasyon-sistemleri/>

[57] <https://www.tesisat.org/en/importance-of-isolation-in-cooling-system.html>

[58] <https://www.gerb.com/vibration-isolation-of-two-heat-pumps/>

[59] https://www.engineeringtoolbox.com/insulation-cooling-system-d_899.html

Teknolojik Hedef 3:

**PLASTİK SEKTÖRÜNDE KULLANILAN POLİMER İŞLEME
MAKİNALARININ VERİMLİLİĞİ**

*Plastik Sektöründe kullanılan Polimer işleme makinalarının
verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve
uygulamaların geliştirilmesi*

Kritik Ürün/Teknoloji 3.1.

3.1. Plastik Sektöründe kullanılan Polimer işleme makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

- 3.1.a. Plastik enjeksiyon makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**
- 3.1.b. Ekstrüzyon prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**
- 3.1.c. Şişirme prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi**
- 3.1.d. Plastik Sektöründe kullanılan diğer Polimer işleme makinalarının (Rotasyon prosesinin, Termoform makinalarının, Basınçlı Kalıplama makinalarının) verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi**

Kritik Ürün/Teknoloji 3.1.

3.1. Plastik Sektöründe kullanılan Polimer işleme makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

Plastik işleme makinalarında eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin değerlendirilmesi

Son zamanlarda, yaygın olarak 3D (3 Dimentional) baskı olarak bilinen Eklemeli İmalat (Eİ), enerji tasarrufu, daha az malzeme tüketimi ve verimli üretim sağlayan çevre dostu bir teknoloji olarak gündeme gelmektedir. Eklemeli imalat, az miktarda malzemenin bir defada işlenmesi, böylece art arda gelen parçaların doğrudan bir CAD modelinden istenilen parçanın üretilmesi için birbirine eklenmesi işlemlerini içeren bir süreçtir.

Eklemeli imalat teknolojileri, son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde daha çok ön plana çıkmış olsa da ticari üretimlere yönelik çalışmalar 1980'li yıllarda başlamıştır. Günümüzde eklemeli imalat yöntemi ile üretilen ürünler uzay, havacılık ve savunma sanayi başta olmak üzere, tıp, elektrik-elektronik, otomotiv, vb. birçok sektörde kullanılmaktadır.

Eklemeli imalat makineleri ve kullanılan hammadde ve yazılımlar konusunda büyük oranda yurt dışına bağımlı olarak çalışmalar sürdürülmekte olup bu bağımlılığın mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir.

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

(Aşağıda verilen konuları göz önünde bulundurarak Ar-Ge yenilik konularına ilişkin teknik detay içeriğinin hazırlanması beklenilmektedir)

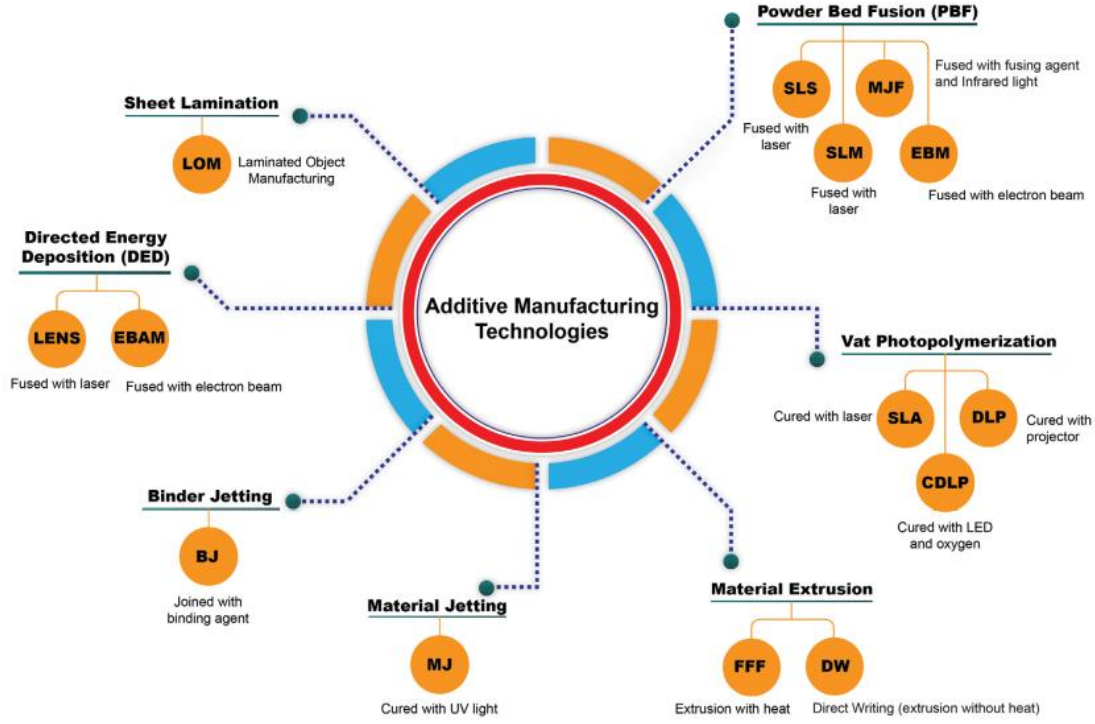
- Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması
- Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi
- Levhanın ısı transferinin hızlanması ve uzun sürede ısının transferine yönelik teknolojiler
- Levhanın içerisinde iç gerilmelerin yok edilmesine yönelik teknolojiler
- Levhayı ısıtmak için yeni jenerasyon kızılötesi (infrared) rezistansların geliştirilmesi ve uygulamaları

- Yeni tip yüksek izolasyonlu rezistanlarla toplam ısıtma gücünün korunmasına yönelik çözümler
- Plastik işleme makinalarında eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin değerlendirilmesi
- Soğutmadan elde edilen enerjiyi, ısıtma bölgelerinde kullanma veya tersini değerlendirme ile enerji verimliliği sağlayan plastik işleme makineleri teknolojilerinin geliştirilmesi
- Geridönüşüm sistemlerinde daha hassas filtreleme yapabilen ve düşük enerji ihtiyacı olan yenilikçi filtreleme teknolojilerinin geliştirilmesi

Plastik işleme makinalarında eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin değerlendirilmesi

Emisyonların, atık malzeme ve kullanılan ham maddelerin azaltılması endüstrinin çevreye etkisinin azaltılması noktasında önemli başlıklardır. Bu noktada Endüstri 4.0 ile öne çıkan teknoloji Eklemeli İmalat olmaktadır. Pek çok eklemeli imalat yönteminde üretilen parça kadar malzeme kullanıldığından ham madde sarfiyatı ve atık malzeme mevcut teknolojiler ile karşılaştırıldığında yok denecek kadar azdır. Öte yandan gelişen yazılım teknolojileri ile birlikte eklemeli imalatta parça üretim süreci bilgisayar ortamında simüle edilmekte ve olası problemler tespit edilebilmektedir. Bu sayede yanlış parça üretimleri ve israflar daha da minimize edilebilmektedir. Son yıllarda oldukça gelişen toz yatak beslemeli ve lazer sinterlemeli 3D yazıcılar ile eklemeli imalatta üretilen parçalar sadece prototip seviyesinde kalmamakta, kullanıcının nihai parçası konumuna gelebilmektedir [1, 2].

Eklemeli İmalat teknolojileri kullanılan teknolojiye, malzemelere ve proses türlerine göre sınıflara ayrılmaktadır. ISO/ASTM 529000:2015 standardına göre, 3D eklemeli imalat yöntemleri yedi farklı kategoride sınıflandırılmaktadır. Her bir metot farklı açılardan avantaj ve dezavantajlarına sahip olmak ile birlikte farklı kullanım alanlarına hitap etmektedir.



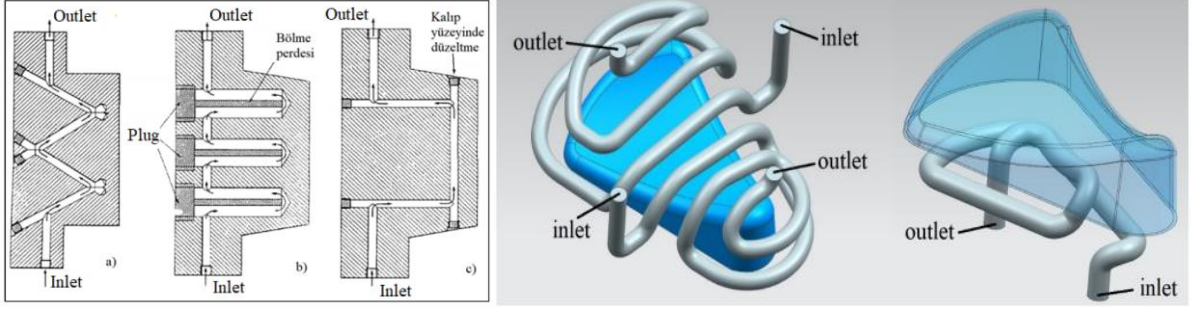
Eklmeli İmalat Teknolojilerinin Sınıflandırılması (Rafiee vd. (2020))

3.1.a. Plastik enjeksiyon makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

Enjeksiyon kalıplamada kalıbın tasarımına ve üretilecek plastik parçanın geometrisine bağlı olarak ürün kalitesini iyileştirilebilmek ve çevrim sürelerini azaltabilmek için bazı parçaların eklemeli imalatta üretimi mümkündür. Enjeksiyon kalıplama sisteminde çevrimi pek çok parametre etkilese de ekonomik açıdan en önemli parametrelerden biri soğutmadır (Colmenero vd. (2021), Jahan vd. (2017), Purav vd. (2021)).

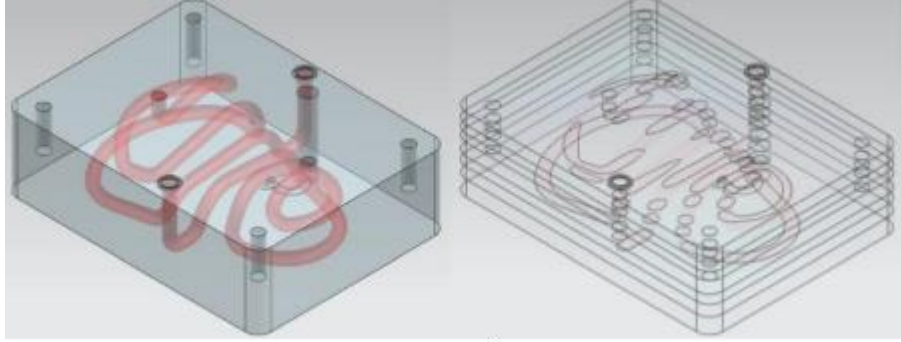
Geleneksel yöntemlerde soğutma çoğunlukla kalıplara açılan düz soğutma kanallarıyla sağlanmaktadır. Aşağıdaki resimde görüldüğü gibi, enjeksiyon kalıplarında kullanılan ve matkap ile delinerek açılan geleneksel soğutma kanalları, genellikle dişi ve erkek kalıp blokları üzerine kalıp çekirdeklerine soğutmaya yönelik olarak farklı yönlerde açılmaktadır. Birçok kez açılan bu soğutma kanalları kalıplanan ürünü homojen soğutmaya yeterli olmamaktadır. Öte yandan şekil uyumlu soğutma kanallarının (Conformal Cooling Channels (CCC)) kullanımı, karmaşık tasarımlı soğutma kanalları için geleneksel yöntemlerin cevaplayamadığı problemler açısından oldukça verimli bir alternatif olmaktadır (Shine vd. (2017), Khan vd. (2014)).

Bu kanalların geleneksel imalat yöntemleriyle kalıp blokları üzerine işlenmesi mümkün değildir. Bu şekil uyumlu soğutma kanallarının üretimi için metal şekillendirmeye yönelik eklemeli imalat ve geleneksel metodlarla parçalı olarak üretilmiş lamine kalıp blok parçalarının brazing metodu ile birleştirilmesi ile elde edilmektedir.



a) Geleneksel metodlarla işlenmiş / oluşturulmuş soğutma kanalları

b) Şekil uyumlu soğutma kanalları

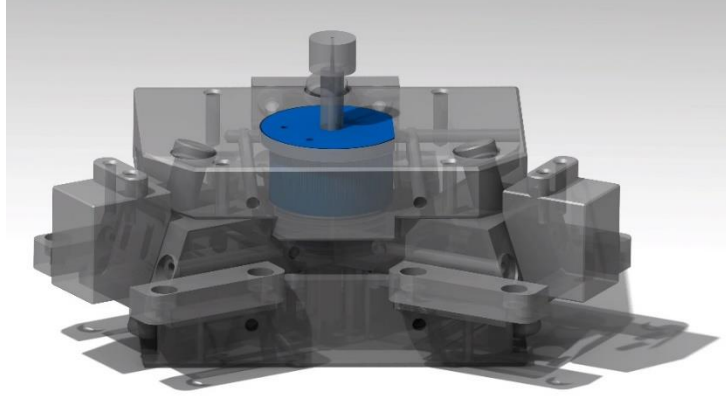
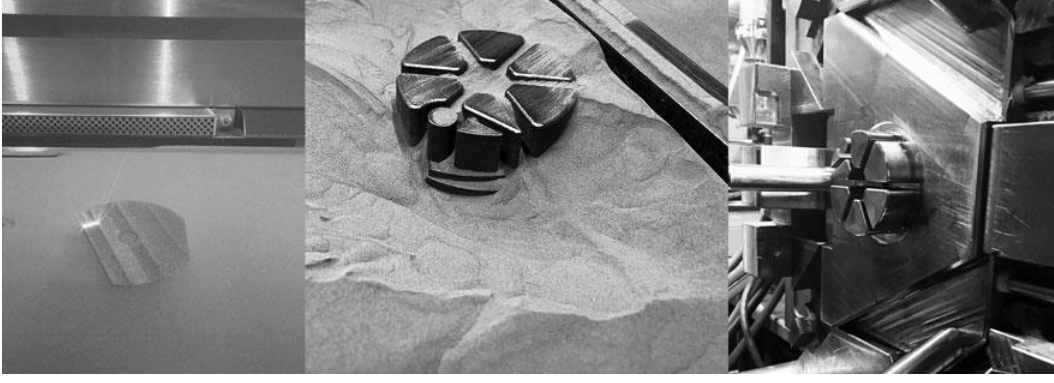


Geleneksel metodlarla işlenmiş ve bir araya getirilmiş lamine kalıp blokları

Soğutma kanallarına sahip kalıplar (Göktaş vd. (2020))

Diğer yandan şekil uyumlu soğutma kanallarına (CCC) sahip kalıplarda özdeş ve oranca daha hızlı soğutma gerçekleştiği için üretilen parçaların çekme ve büzülme, çarpılma miktarları azalmakta böylece kalıplanan plastik ürünün estetik görünümü iyileşmektedir. Üç boyutlu karmaşık geometriye sahip soğutma kanalları sayesinde kalıplar özdeş ve daha hızlı soğutulduğu için bir ürünü üretebilmek için geçen çevrim süresi azalmakta ve birim üretim miktarı artmaktadır (Feng vd. (2021)).

CCC kalıpları, üretilen parçaların çekme gözenekliliğini ve yüzey kalitesini iyileştirerek üniform ve hızlı soğutma sağlayabilmekte ve döngü süresini %70'e kadar azaltabilmektedir (Feng vd. (2021)). Aşağıda SLM (Selective Laser Melting (Seçici Lazer Ergitme)) eklemeli imalat yöntemiyle üretilen ve enjeksiyon makinesine monte edilen örnek bir kalıp çekirdeği yer almaktadır. Şekilde plastik enjeksiyon kalıbı ve CCC uygulanmış maça mavi renkle gösterilmiştir (Çalışkan vd. (2021)).



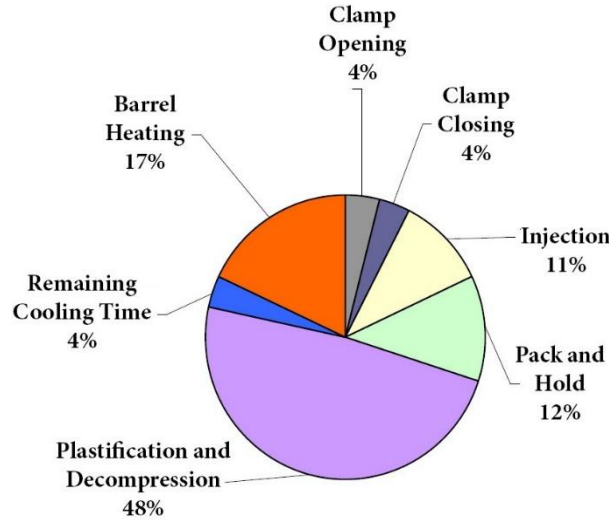
(Çalışkan vd. (2022))

Aynı zamanda kalıp çeliklerinin ısı iletim özelliklerinin artırılması veya yüksek ısı iletim katsayısına sahip malzemelerin (bakır berilyum) kalıp bileşeni olarak kullanılması soğutma ve ısıtma verimini artıracak etkenlerdir.

Kalıplama sırasında en büyük kaynak ve enerji israfı kalıpların devreye alındığı zamanlarda gerçekleşmektedir. Deneme ve yanılma ile yapılan ön baskılarda hem plastik hammadde hem de enerji israfı söz konusudur. Bu sorunu ve verim kaybını gidermek için kalıplar enjeksiyon makinasına bağlanmadan önce hazırlık ısıtması ve şartlandırma işlemine tabi tutularak ön hazırlık yapılmaktadır. Ayrıca ilk baskılarda veya deneme baskılarında enjeksiyon parametrelerinin belirlenmesinde akış analizi yapan yazılımlar kullanılarak tezgâh parametreleri gerçeğe en yakın değere yaklaştırılarak ilk baskılar veya deneme baskılarında fireler en aza indirgenmektedir.

Enjeksiyon makinelerinde sabit mıknatıslı senkron motor (PMSM) veya servo (PMSM) hidrolik ünitelerin kullanılması

2014 yılında yapılan araştırmaya göre Avrupa'da elektrik enerjisinin büyük bir kısmı sanayi tarafından tüketildiği tespit edilmiştir. Motorlar dünya çapında üretilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %40'ını tüketmektedir. Sanayide kullanılan elektrik enerjisinin yaklaşık %70'ini ise motorlar tüketmektedir (DKE/VDE Roadmap).



Şekil 3.1. Enjeksiyon makinesi enerji tüketimi dağılımı (SKZ PlasticsEngineering)

100 tonluk bir enjeksiyon makinesinin 83 gramlık bir ABS parçasını üretimi esnasında SKZ tarafından tüketim analizi yapılmıştır. Bu analize göre mal alma – mekanik/hidrolik hidrolik/mekanik olarak iki defa dönüşümün gerçekleştiği faz safhasında %48 ile en fazla enerjinin tüketildiği görülmüştür. Ardından %17 ile ısıtma için harcanan tüketim yer almaktadır. Hidrolik tahrik sisteminin tüketteği enerji makinenin toplam tüketiminin %75'inin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu nedenle Avrupa'da Rexroth ve Baumüller Uzakdoğu'da Yuken firmaları servo tahrikli hidrolik pompa üniteleri çözümleri geliştirmektedirler (Plastics Engineering SPE (2013)).

2019'da Zhang tarafından yapılan araştırmada ve saha uygulamalarından alınan verilerde konvansiyonel hidrolik sistemlere göre servo motor ve dişli pompa kullanımı ile %87'lere varan tasarruf sağlanabileceği görülmektedir. Ayrıca hidrolik tahrik sisteminin sadece mal alma hareketini gerçekleştirdiği yüksek torklu PMSM motorların kullanımı ile hibrit çözümler oluşturulmaktadır (Plastics Engineering SPE (2013)). Türkiye'de üretim yapmakta olan firmaların bu çözümü kullanmasının yanı sıra ithal edilen makinelerinde neredeyse tamamı bu tahrik sistemi ile gelmektedir.

Tam elektrikli makinelerin elektrik tüketim karşılaştırması için yapılan bir analizde hidrolik makinelere göre ortalama %76 tasarruf sağladığı görülmüştür. Ancak bu fark servo hidrolik

veya hibrit makineler ile karşılaştırıldığında daha %10'lara kadar düşmektedir (Kanungo vd. (2008)). Son yıllarda tam elektrik makine üretimi global anlamda Çin ile birlikte ivme kazanmaktadır. Çinli üreticiler servo hidrolik makineler için ürettikleri motorları tam elektrikli makinelerinde de kullanılmaktadırlar. PMSM motor ve dişli pompa üretimi ile hem mevcut makinelerdeki tüketimden tasarruf sağlanabilir, hem de dünyada yükselmekte olan tam elektrikli makine trendi yakalanabilir. Ayrıca bu motorlar endüstride başta hidrolik güç üretilen sistemler olmak üzere birçok alanda kullanılabilir.

Plastik işleme makineleri için akıllı/yapay zekâ destekli teknolojilerin geliştirilmesi

Gelişmekte olan dijitalleşme, endüstriyel süreçlerin kontrol ve izlenim olanaklarını büyük ölçüde genişletmektedir. Gelecekte ürünlerin üretilme biçiminde önemli değişiklikler olmaya devam edecektir. Dijital fabrikanın temel teknolojileri arasında Nesnelerin İnterneti, IPv6 ve OPC-UA, bulut çözümleri, büyük veriler, yapay teknoloji ve akıllı sensör-aktüatör kombinasyonları yer almaktadır. Bu sistemlerin kullanımındaki amaç üretim süreçlerinin verimliliğini ve esnekliğini eşzamanlı olarak artırmak ve böylece rekabetçi üretim sağlamaktır. Plastik sektöründe fireleri ve duruş sürelerini azaltmak daha verimli ve dolayısıyla daha sürdürülebilir üretime katkıda bulunur (PMM Special Report (2013)). Makine üreticileri hali hazırda üreticileri tarafından sunulan genel yazılım çözümlerini ve ürünleri kullanılmaktadırlar. Global makine üreticileri bu teknolojileri bir know-how olarak pazarlamaktadırlar. Yerli makine üreticilerinin kullanımında olan kontrol ünitelerinin çoğunluğu yurt dışı menşeli olup global makine üreticileri tarafından da kullanılmaktadır. Yazılımsal olarak:

- Ürün kalite değişimlerine karşı kendini adapte edebilme,
- Kalıp durum/basınç sensörleri ile optimizasyonu,
- Eriyik sensörleri ile optimizasyonu,
- Makine öğrenimi ile hata denetleme ve sınıflandırma,

örnekleri ile verimlilik artışı farklı global makine üreticileri tarafından sağlanmaktadır. Kontrol ünitesi üretiminin kısıtlı olduğu ülkemizde farklı yazılımsal teknolojiler geliştirilerek makine üreticilerinin daha rekabetçi olması ve daha verimli makine üretimi sağlanabilir.

3.1.b. Ekstrüzyon prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Ekstrüzyon prosesi ile plastik ürünlerin devamlı (kesintisiz) olarak sabit bir kesitte üretimi sağlanır. Enjeksiyon prosesinde bitmiş ve sabit formda bir ürün elde edilirken, ekstrüzyonda kesitleri sabit formda fakat uzunlukları tercihe bağlı olarak değişken ürünler üretilir. Boru, profil, çubuk, yassı veya yuvarlak film, levha, çeşitli laminatlar temel olmak üzere gerdirilmiş filmler, oluklu ve delikli levhalar ekstrüzyon yöntemiyle üretilirler. Temel olarak ekstrüzyon, plastik ve katkı maddeleri karıştırılarak homojen ve akıcı bir hale getirilmesi, belirli bir şekil vermek üzere dar ve şekilli bir kalıptan basınç yardımıyla geçirilmesi olarak tanımlanabilir. Ekstrüzyon prosesi, ekstrüder adı verilen makinelerle yapılır.

Toz veya granül haldeki reçine, bir besleme hunisinden sürekli olarak ekstrüder kovanına beslenir ve kovan içerisinde bulunan sonsuz vida ile ileri doğru taşınır. Malzeme, kovan içerisinde ilerledikçe kovan çevresinde bulunan ısıtıcıların ve iç mekanizmada kendi sürtünmesinden kaynaklanan ısının yardımı ile yumuşar ve erir. Eriyik reçine kovan çıkışına ulaştığında, makinenin ucuna monte edilmiş olan ve ürünün kesit şeklini tayin eden bir kalıptan yüksek basınç yardımı ile geçmeye zorlanır. Kalıptan çıktıktan sonra kalıp boşluğunun şeklini alan ürün, düzenli bir şekilde soğutularak istenilen uzunlukta kesilir.

Ekstrüder vidasının dizaynı, istenen ürün özelliklerini elde etmek için son derece kritik öneme sahiptir. Ekstrüderin sıcaklık, vida hızı vb. parametreleri üretim esnasında operatör tarafından değiştirilebilir olsa dahi, proseste çok büyük değişiklikler yapılmasına müsaade etmez. Dolayısıyla, proseste uygun olmayan bir vida dizaynını proses parametrelerini değiştirerek tolere etmek oldukça zordur. Vida dizaynının hammadde ve uygulamaya uygun olarak en baştan tasarlanması ve imal edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde polimer ekstrüzyonunda ürün özelliklerini iyileştirmek, ürün maliyetlerini düşürmek vb. amaçlarla farklı uygulama ihtiyaçlarına bağlı olarak birçok hammadde ve katkıları kullanılmaktadır. Ekstrüzyon prosesinde kullanılan hammaddenin en verimli şekilde üretilebilmesi için vida ve kovan dizaynının buna göre tasarlanıp gerekli toleranslar içinde üretilmesi gerekir. Aksi takdirde makine performansı hedeflenenin altında kalabilir. Örnek olarak ideal olarak tasarlanmamış bir vida dizaynında sıkıştırma oranı fazla olabilir, buna bağlı olarak hammaddeye ihtiyacı olandan daha fazla enerji yüklenir ve sonuç olarak hammadde bozunarak istenen özelliklerin dışına çıkılabilir. Aynı zamanda gereksiz yere fazla enerji tüketilir

ve proses verimliliği düşer. Bunun makine ömrü ve proses verimliliği açısından son derece olumsuz sonuçları vardır. Bu nedenle vida ve kovan dizaynının hammadde ve proses ihtiyaçlarına uygun olarak tasarlanması ekstrüzyon prosesindeki en temel koşullardan biridir.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi

Ekstrüderler, kovan bölgelerinin prosese başlamadan önce istenen sıcaklık değerlerine gelmesi ve proses sırasında da bu sıcaklık değerlerinin korunması için ihtiyaca göre ısıtılırlar veya soğutulurlar. Ekstrüderlerin elektrikle, akışkan yardımıyla ve buharla olmak üzere üç tip ısıtma yöntemi vardır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan yöntem, elektrikle ısıtmadır.

Elektrikli ısıtmanın rezistansla, indüksiyonla ve radyant ısıtma olarak başlıca uygulamaları vardır. Rezistansla ısıtma en yaygın kullanılan ekstrüder ısıtma yöntemi olsa da, istenen ekstrüder kovan sıcaklıklarına ulaşmak için gerekli olan ısı transferini sağlamak için rezistansların çok daha yüksek sıcaklıklara çıkması gerekmektedir. Bunun sonucunda yüksek ısı kayıpları olmaktadır. Bu problem ısıtma sisteminin dışına izolasyon yaparak minimum düzeye indirilmeye çalışsa da çoğu zaman proseste ihtiyaç olabilen soğutma ihtiyacından dolayı pratikte uygulanması mümkün olmamaktadır. Rezistansta uygulanan izolasyon bu sefer de soğutma yapılması halinde soğutma verimini düşürmektedir ve yine enerji kaybına sebep olmaktadır.

Son dönemlerde radyant ve indüksiyonla ısıtma ile ilgili uygulamalar mevcuttur. Ancak bu uygulamalar henüz piyasada kabul görmüş ve kendini kanıtlamış uygulamalar değildir. Bu konuda endüstriyel uygulamalar arttıkça avantaj ve dezavantajlar ortaya çıkacaktır.

Ekstrüder ısıtmasında ve ekstrüzyon hattı üzerinde kullanılan diğer ısıtma/soğutma sistemlerinin toplam proses verimliliği üzerine etkisi düşünüldüğünde bu konuda yapılacak Ar-Ge faaliyetlerine ciddi ihtiyaç vardır. Mevcut ısıtma/soğutma metotlarının yanında farklı metotlar da kullanılarak enerji kaybını azaltıcı, aynı zamanda proses ihtiyaçlarını de en iyi şekilde karşılayan sistemler geliştirilmesi çok önemlidir.

3.1.c. Şişirme prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

1) Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Şişirme prosesi, içi boş plastik parçaların üretiminde kullanılan bir üretim yöntemidir. Şişirme prosesinde plastik, ısı etkisiyle yumuşatılır ve içine basınçlı hava verilerek kalıbın şeklini alması sağlanır. Sonrasında soğuyan kalıp açılır ve plastik parça elde edilmiş olur.

Şişirme prosesinde plastik eriyiğinin elde edilmesi için ekstrüder makinesi kullanılır. Ekstrüder vidasının dizaynı, istenen ürün özelliklerini elde etmek için son derece kritik öneme sahiptir. Ekstrüderin sıcaklık, vida hızı vb. parametreleri üretim esnasında operatör tarafından değiştirilebilir olsa dahi, proseste çok büyük değişiklikler yapılmasına müsaade etmez. Dolayısıyla, proseste uygun olmayan bir vida dizaynını proses parametrelerini değiştirerek tolere etmek oldukça zordur. Vida dizaynının hammadde ve uygulamaya uygun olarak en baştan tasarlanması ve imal edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde şişirme prosesinde ürün özelliklerini iyileştirmek, ürün maliyetlerini düşürmek vb. amaçlarla farklı uygulama ihtiyaçlarına bağlı olarak birçok hammadde ve katkı kullanılmaktadır. Şişirme prosesinde kullanılan hammaddenin en verimli şekilde üretilebilmesi için ekstrüder vida ve kovan dizaynının buna göre tasarlanıp gerekli toleranslar içinde üretilmesi gerekir. Aksi takdirde makine performansı hedeflenenin altında kalabilir. Örnek olarak ideal olarak tasarlanmamış bir vida dizaynında sıkıştırma oranı fazla olabilir, buna bağlı olarak hammaddeye ihtiyacı olandan daha fazla enerji yüklenir ve sonuç olarak hammadde bozunarak istenen özelliklerin dışına çıkılabilir. Aynı zamanda gereksiz yere fazla enerji tüketilir ve proses verimliliği düşer. Bunun makine ömrü ve proses verimliliği açısından son derece olumsuz sonuçları vardır. Bu nedenle vida ve kovan dizaynının hammadde ve proses ihtiyaçlarına uygun olarak tasarlanması şişirme prosesindeki en temel koşullardan biridir.

2) Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi

Şişirme prosesinde kullanılan ekstrüderler, proseste başlamadan önce istenen sıcaklık değerlerine gelmesi ve proses sırasında da bu sıcaklık değerlerinin korunması için ihtiyaca göre ısıtılırlar veya soğutulurlar. Ekstrüderlerin elektrikle, akışkan yardımıyla ve buharla olmak üzere üç tip ısıtma yöntemi vardır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan yöntem, elektrikle ısıtmadır.

Ekstrüderlerin elektrikle ısıtılmasının, akışkan yardımıyla veya buharla ısıtma ile karşılaştırıldığında üstün özellikleri vardır. Geniş çalışma sıcaklığı aralığı, uygulama kolaylığı, düşük maliyet ve yüksek verimlilik en önemli avantajlarıdır. Elektrikli ısıtıcılar, ekstrüder silindiri boyunca her bölgeye ayrı ayrı yerleştirilirler. Küçük ekstrüderlerde genellikle 2 ila 4 bölge vardır. Büyük ekstrüderlerde ise 5 bölgeden 10 bölgeye kadar bölge sayısı olabilmektedir. Her bir bölgenin kontrolü birbirinden bağımsız olur ve bu sayede silindir boyunca istenen bir sıcaklık profili sağlanabilir. Bu sıcaklık profili plastik malzemeye ve proseste bağlı olarak silindir boyunca sabit, artan, azalan veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilir.

Elektrikli ısıtmanın rezistansla, indüksiyonla ve radyant ısıtma olarak başlıca uygulamaları vardır. Rezistansla ısıtma en yaygın kullanılan ekstrüder ısıtma yöntemi olsa da istenen

ekstrüder kovan sıcaklıklarına ulaşmak için gerekli olan ısı transferini sağlamak için rezistanların çok daha yüksek sıcaklıklara çıkması gerekmektedir. Bunun sonucunda yüksek ısı kayıpları olmaktadır. Bu problem ısıtma sisteminin dışına izolasyon yaparak minimum düzeye indirilmeye çalışsa da çoğu zaman proseste ihtiyaç olabilen soğutma ihtiyacından dolayı pratikte uygulanması mümkün olmamaktadır. Rezistansta uygulanan izolasyon bu sefer de soğutma yapılması halinde soğutma verimini düşürmektedir ve yine enerji kaybına sebep olmaktadır.

Son dönemlerde radyant ve indüksiyonla ısıtma ile ilgili uygulamalar mevcuttur. Ancak bu uygulamalar henüz piyasada kabul görmüş ve kendini kanıtlamış uygulamalar değildir. Bu konuda endüstriyel uygulamalar artıkça avantaj ve dezavantajlar ortaya çıkacaktır.

Ekstrüder ısıtmasında ve şişirme hattı üzerinde kullanılan diğer ısıtma/soğutma sistemlerinin toplam proses verimliliği üzerine etkisi düşünüldüğünde bu konuda yapılacak AR-GE faaliyetlerine ciddi ihtiyaç vardır. Mevcut ısıtma/soğutma metotlarının yanında farklı metotlar da kullanılarak enerji kaybını azaltıcı, aynı zamanda proses ihtiyaçlarını de en iyi şekilde karşılayan sistemler geliştirilmesi çok önemlidir.

3.1.d. Plastik Sektöründe kullanılan diğer Polimer işleme makinalarının (Rotasyon prosesinin, Termoform makinalarının, Basıncı Kalıplama makinalarının) verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi

Plastik Sektöründe kullanılan diğer rotasyon prosesi, termoform makinaları, basıncı kalıplama makinaları gibi diğer polimer işleme makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesinin önemli olduğu değerlendirilmektedir.

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

Plastik işleme makinalarında eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin değerlendirilmesi

Dünya çapında 3D teknolojiler açısından güncel durum değerlendirildiğinde, kurulu olan endüstriyel eklemeli imalat tezgahlarının (makine, sistem, yazılım) ülkelere göre dağılımında ABD'nin ilk sırada olduğu ve toplam tezgâh sayısına göre üçte bir orana sahip olduğu ifade edilebilir. Geleceğin teknolojilerinden kabul edilen eklemeli imalat yönteminin kurulu altyapısı konusunda Türkiye Dünya'daki altyapının yaklaşık %1,3-%1,4'üne sahip olarak özellikle Avrupa'da önemli bir potansiyele sahiptir (SSB Eklemeli İmalat Yol Haritası (2020), Wohlers Report (2019, 2020)).

Özellikle toz yataklı eklemeli imalat sistemi alanında ülkemizde de tasarım/üretim faaliyetleri başlamış olmakla birlikte, TÜBİTAK-SAYEM projesi kapsamında toz termoplastik hammadde

işlemeye uygun Seçici Lazer Sinterleme (SLS) eklemeli imalat cihazı geliştirilmekte ve öte yandan yine ülkemizde üretilen ve teknoloji seviyesi yükseltilmeye çalışılan farklı tür malzemeleri işlemeye uygun eklemeli imalat cihazlarının geliştirilmesi çalışmaları sürmektedir.

3.1.a. Plastik enjeksiyon makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dünyada THS: :7-9

Türkiye'de THS:3-6 ; 3-5 (eklemeli imalat)

Enjeksiyon makinelerinde sabit mıknatıslı senkron motor (PMSM) veya servo (PMSM) hidrolik ünitelerin kullanılması

Dünyada PMSM motor ve dişli pompa THS 9 seviyesinde Almanya, İtalya ve Çin'de farklı üreticiler bulunmaktadır. Türkiye'de EMF motor tarafından THS 9 seviyesinde PMSM tork motoru üretilmektedir. Bu motor makine üreticileri – Enjeksiyon, şişirme ve ekstrüzyon – tarafından kullanılmaktadır. Ancak bu motorlar tork amaçlı üretilmiş olup, enjeksiyon makinesinde sadece hibrit bir çözüm sunmaktadır (EMF Motor).

Plastik işleme makineleri için akıllı/yapay zekâ destekli teknolojilerin geliştirilmesi

Avrupa'da birçok üniversitenin akademik çalışmalarının yanı sıra THS 9 seviyesinde birçok üretici bulunmaktadır.

3.1.b. Ekstrüzyon prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya'da	Türkiye'de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

THS4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Polimer ekstrüzyon prosesinde birçok farklı hammadde ile farklı ürünler üretildiği göz önüne alındığında Türkiye’de bazı ekstrüzyon uygulamaları için vida dizaynı teknolojik seviyesini THS-9 olarak kabul edebiliriz. Ancak yeni hammaddeler ve her geçen gün artan proses ihtiyaçları göz önüne alındığında az bilinen veya daha önce üzerinde hiç çalışılmamış birçok ekstrüzyon uygulaması olduğunu da bilmekteyiz. Bunları da THS 1-3 arası kabul edebiliriz. Ayrıca sadece dizayn olarak değil, dizayn edilen imalat etmek için yeterli seviyede olmadığımız takdirde dünyadaki THS-9 seviyesindekilere rakip olmak mümkün olmayacaktır. Dolayısıyla dünyada çok az firmanın yapabildiği teknolojik seviyesi ve katma değeri yüksek ürünleri üretmek için insan kaynağı, makine ve ekipman yatırımlarının da yapılması gerekmektedir.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi

Türkiye’de rezistans üretimi THS-9 seviyesinde olmasına rağmen, yeni ısıtma yöntemleri ile ilgili (örn. radyant ısıtma, indüksiyonla ısıtma) ekstrüzyon uygulamaları yoktur.

3.1.c. Şişirme prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya’da	Türkiye’de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Şişirme prosesinde birçok farklı hammadde ile farklı ürünler üretildiği göz önüne alındığında Türkiye’de bazı şişirme uygulamaları için vida dizaynı teknolojik seviyesini THS-9 olarak kabul edebiliriz. Ancak yeni hammaddeler ve her geçen gün artan proses ihtiyaçları göz önüne alındığında az bilinen veya daha önce üzerinde hiç çalışılmamış birçok farklı uygulama olduğunu da bilmekteyiz. Bunları da THS 1-3 arası kabul edebiliriz. Ayrıca sadece dizayn olarak değil, dizayn edileni imal etmek için yeterli seviyede olmadığımız takdirde dünyadaki THS-9 seviyesindeki firmalara rakip olmak mümkün olmayacaktır. Dolayısıyla dünyada çok az firmanın yapabildiği teknolojik seviyesi ve katma değeri yüksek ürünleri üretmek için insan kaynağı, makine ve ekipman yatırımlarının da yapılması gerekmektedir.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi

Türkiye’de rezistans üretimi THS-9 seviyesinde olmasına rağmen, yeni ısıtma yöntemleri ile ilgili (örn. radyant ısıtma, indüksiyonla ısıtma) şişirme prosesi uygulamaları yoktur.

3.1.d. Plastik Sektöründe kullanılan diğer Polimer işleme makinalarının (Rotasyon prosesinin, Termoform makinalarının, Basıncı Kalıplama makinalarının) verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünya’da	Türkiye’de
THS1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

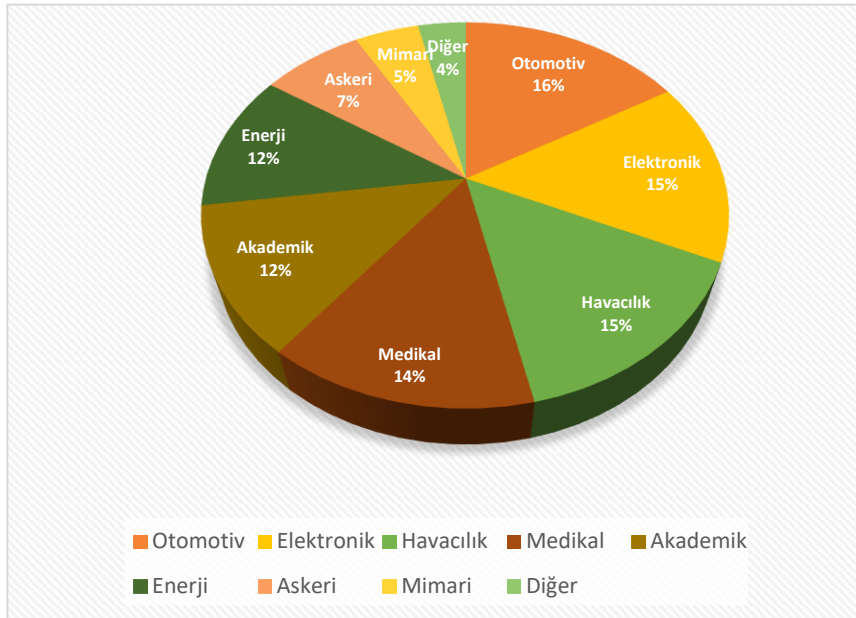
C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

Plastik işleme makinalarında eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin değerlendirilmesi

Türkiye’de de güncel projeler ile geliştirilmeye başlanan Seçici Lazer Sinterleme (SLS) toz yataklı sistemlerin dünyadaki pazar büyüklüğü 2020 yılında \$ 480 Milyon değerinde olup, 2021'den 2028'e kadar yıllık ortalama %22 büyüyerek 2028 yılına kadar \$ 2,33 Milyara ulaşması beklenmektedir (Verified Market Research (2022)).

Polimer eklemeli imalat sektörü yaklaşık 10 yıldan bu yana farklı sektörlerde artan oranlarda yer almaya başlamıştır. Bu artışın en önemli etkenlerinden biri geliştirilen eklemeli imalat makine ve malzemeleri ile son kullanıcıya yönelik ürün geliştirme imkânına da sahip olmasıdır. Eklemeli imalat teknolojisi pek çok sektörde kullanılmakta olup, sektörel bazlı kullanım yoğunluğu aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Eklemeli imalat teknolojisi pek çok sektörde kullanılmakta olup, sektörel bazlı kullanım yoğunluğu aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Eklemeli İmalatın Sektörel Bazlı Kullanım Yoğunluğu (Wohler's Report (2020))

Avrupa Birliği eklemeli imalat alanında önemli bir paya sahip olup, Birinci Çerçeve'den (First Framework Programme (FP1, 1984-1987)) bu yana eklemeli imalat teknolojilerinin gelişimine yüksek oranlarda fonlar sağlamıştır. Öte yandan 1984-2013 yılları arasında yapılan çeşitli Çerçeve Programları aracılığıyla polimerlerin eklemeli imalatı konularında farklı programlar ile desteğini sürdürmüştür. 7. Çerçeve Programları (2007-2013) kapsamında, 60'tan fazla eklemeli imalat projesi, 160 milyon Avro'dan fazla Avrupa Komisyonu finansmanı ve yaklaşık 225 milyon Avro'luk bir genel bütçe ile finanse edilmiştir. Eklemeli İmalat alanında destekler, Horizon 2020 kapsamında da 100'den fazla proje ve 250 milyon €'ya varan finansman ile sürdürülmüştür (Additive Man. in Horizon (2016)).

Son yıllarda Boeing, Airbus, Lockheed Martin, Rolls-Royce ve GE gibi firmalar bu teknolojiyi oldukça yoğun kullanmaya başlamışlardır. Günümüzde ise 20.000'den fazla polimer esaslı parça, Boeing uçakları için eklemeli imalat yöntemi kullanılarak üretilmeye başlanmıştır. Diğer üretim yöntemleri yerine eklemeli imalata yönelimin ve uzun vadede pek çok parçada uygulamaya geçilmesinin planlanmasının temel sebebi ise; uzun vadeli parça stoğu yapmanın ve parçaları farklı lokasyonlara ulaştırma aşamasında yaşanabilecek muhtemel gecikme ve aksaklıklardan kaçınmaktır (Greekwire (2015)).

Türkiye'de ise eklemeli imalat özelinde kurulan araştırma merkezleri ile birlikte pek çok proje yürütülmekte olup, özellikle savunma sanayi ve sivil havacılıkta uygulamalar yapılmaya başlanmıştır. Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezi (ALUTEAM), ARÇELİK Garage, AREL Üniversitesi POTKAM, İTÜ-Eklemeli İmalat Eğitim ve Araştırma Merkezi (EKAM), Sabancı Üniversitesi Tümlleştirilmiş Üretim Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (SU-IMC), vb. eklemeli imalat üzerine kurulmuş bazı araştırma merkezleridir. Çeşitli ulusal ve uluslararası fonlarla sürmekte olan projelerin yanı sıra; medikal, elektrik elektronik, otomotiv, sivil havacılık ve savunma sanayi gibi alanlarında doğrudan son ürün üretiminde 3D eklemeli imalat teknolojisi kullanılmaktadır.

3.1.a. Plastik enjeksiyon makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

Enjeksiyon makinelerinde sabit mıknatıslı senkron motor (PMSM) veya servo (PMSM) hidrolik ünitelerin kullanılması

Dünyadaki Örnekler:

<https://www.baumueller.com/en/products/servo-pumps>

Plastik işleme makineleri için akıllı/yapay zeka destekli teknolojilerin geliştirilmesi

ENGEL – IQ Control

<https://www.engelglobal.com/en/digital-solutions/injection-mould-sampling/calculate-clamping-force>

Krauss-Maffei

–

APC

<https://www.kraussmaffei.com/media/download/cms/media/digitaleprodukte/apc-plus/imm-fl-apcplus-en.pdf>

3.1.b. Ekstrüzyon prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

- 1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması**

Global pazardaki firmalardan biri olan Almanya menşeli Weber Extrusion firması, yüksek dolgu (örn. CaCO₃) oranına sahip PVC ekstrüzyon ürünlerinin üretilmesi için 2012 yılında yeni bir vida dizaynı geliştirdi. Bu vida dizaynının global pazardaki birçok ülkede patentini alarak (patent no: EP2535165B1) iyi bir pazarlama faaliyetinde bulundu. Sonuç olarak Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülkeye bu sayede makine sattı ve ciddi bir pazar oluşturdu (THS-9). Türkiye’de aynı pazarda faaliyet gösteren çift vidalı ekstrüder üreticisi Mikrosan A.Ş., yüksek dolgu oranına sahip PVC ekstrüzyon ürünlerinin üretilmesi için çok daha farklı ve özgün geometriye sahip bir vida dizaynı geliştirdi. 2020 yılında patent başvuruları da yapılan ürünle ilgili prototip çalışma tamamlanmıştır. Bu yeni vida dizaynı ile ilgili üretim testleri başarılı şekilde devam etmektedir ve THS-8 seviyesindedir. Uzun süreli testlerin sonucu THS-9 olması halinde Weber Extrusion firmasının ürününe rakip olarak global pazarda ses getirebilecek bir ürün olma potansiyeli vardır.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi

Türkiye’de rezistanslı ısıtma olarak başarılı örnekler olsa da, yeni ısıtma/soğutma teknolojileri ile ilgili uygulamalara rastlanmamıştır.

Dünyada radyant ısıtma ve indüksiyonla ısıtmaya dair THS-9 seviyesinde uygulamalar vardır.

<https://www.petrelliheating.com/en/>

<https://atosinduction.com/en/>

3.1.c. Şişirme prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik

yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Global pazardaki Magic (İtalya), Uniloy (USA) gibi firmalar şişirme prosesinde farklı hammaddeler için farklı vida geometrilerine sahip ekstrüderler kullanarak optimum proses koşullarını sağlayabilmektedirler ve THS-9 seviyesinde kabul edilebilir.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi

Türkiye’de rezistanslı ısıtma olarak başarılı örnekler olsa da, yeni ısıtma/soğutma teknolojileri ile ilgili uygulamalara rastlanmamıştır.

Dünyada radyant ısıtma ve indüksiyonla ısıtmaya dair THS-9 seviyesinde uygulamalar vardır.

<https://www.petrelliheating.com/en/>

<https://atosinduction.com/en/>

Türkiye’de konvansiyonel sistemlerin dışında yeni ısıtma/soğutma teknolojilerine dair örneğe rastlanmamıştır.

3.1.d. Plastik Sektöründe kullanılan diğer Polimer işleme makinalarının (Rotasyon prosesinin, Termoform makinalarının, Basınçlı Kalıplama makinalarının) verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

Plastik işleme makinalarında eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin değerlendirilmesi

Hali hazırda TÜBİTAK-SAYEM projesi kapsamında ERMAKSAN Mak. San. ve Tic A.Ş. tarafından SLS eklemeli imalat cinazının geliştirilmesi sürecinde Fatih Sultan Vakıf Üniversitesi-ALUTEAM ile olan iş birliği özellikle ilk makine üretildikten sonra ülkemizde polimer eklemeli imalat sürecinde var olan ve var olmak isteyen özel ve kamu kuruluşları ile bir konsorsiyum kurularak ve bu alanda milli sermayeyi ülke içinde tutmak amacıyla geliştirilen cihazların teknolojik uygulama seviyelerinin artırılabilmesi için iş birliği yapılması gereklidir. Özellikle plastik parçalarda prototip imalat sürecinin fazla olduğu otomotiv ve sivil havacılık sektörü bu alanda iş birliği yapabilir.

Öte yandan polimer işlemeye uygun 3D eklemeli imalat teknolojilerinin hem hammadde hem makine teçhizat hem de yazılım konularını kapsamasından dolayı Fizik, Kimya temel bilimleri ile birlikte Malzeme Mühendisliği, Polimer Bilimi ve Teknolojisi ve Makine Mühendisliği gibi disiplinlerin bir arada çalışması gerekmektedir. Bunun yanı sıra sektörel açıdan kimya/petrokimya (uygun hammaddelerin geliştirilmesi ve üretimi), makine geliştiricilerinin (kullanılacak olan 3D teknoloji türüne göre gerekli cihazların geliştirilmesi); üniversite ve Ar-Ge merkezleri (3D üretimler için uygun üretim koşulları ve parametrelerin belirlenmesi) ile birlikte çalışması söz konusu teknolojinin gelişimini destekleyecek kapsamı sağlamak açısından önemlidir.

3.1.a. Plastik enjeksiyon makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

Enjeksiyon makinelerinde sabit mıknatıslı senkron motor (PMSM) veya servo (PMSM) hidrolik ünitelerin kullanılması

Bu konuda Elektrik, Elektrik-Elektronik, Makine, Enerji ve Mekatronik mühendisliği temsilcileri ve sektördeki mevcut motor üreticileri bir araya gelebilir.

Plastik işleme makineleri için akıllı/yapay zekâ destekli teknolojilerin geliştirilmesi

Bu konuda Yazılım, Polimer, Makine ve Mekatronik mühendisliği temsilcileri ve sektördeki temsilciler bir araya gelebilir.

3.1.b. Ekstrüzyon prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Makine Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Polimer Mühendisliği bilim dallarında çalışan ve polimer ekstrüzyon prosesi teorik/pratik uygulamaları, hammadde/ürün geliştirilmesi konularında bilgi ve tecrübe sahibi uzmanlar birlikte çalışmalıdır.

Kimya sektörü ve Makine İmalatı sektörleri bir arada çalışmalıdır.

İlgili konularda çalışan üniversitelerden ve Ar-Ge Merkezlerinden katkılar alınabilir. Üniversitelerde sektörde çalışan akademisyenlerin endüstriyel çalışmalara katkı vermeleri teşvik edilebilir. Bilimsel makaleler sanayi kuruluşu ile ortak yapıldığında YÖK veya ilgili kuruluşlar tarafından akademisyenlere ekstra puan ve teşvik sistemi getirebilir. Böylece akademisyenlere ciddi olarak sektörel teşvik sağlanmış olur. Ar-Ge Merkezi kapsamında olan aynı sektörde bulunan ancak prosesin farklı konularında faaliyet gösteren firmalarla ortak proje grupları oluşturulabilir.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi

Makine Mühendisliği, Elektrik Mühendisliği bilim dalları bir arada çalışmalıdır.

Elektrik Rezistansı Üreticileri, Plastik Ekstrüzyon Makinesi Üreticileri bir arada çalışmalıdır.

Makine Mühendisliği Isı Transferi ve Termodinamik Anabilim Dalı altında çalışan akademisyenlerden teknik destek ve danışmanlık alınmalıdır.

3.1.c. Şişirme prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Makine Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Polimer Mühendisliği bilim dallarında çalışan ve polimer prosesi teorik/pratik uygulamaları, hammadde/ürün geliştirilmesi konularında bilgi ve tecrübe sahibi uzmanlar birlikte çalışmalıdır.

Kimya sektörü ve Makine İmalatı sektörleri bir arada çalışmalıdır.

İlgili konularda çalışan üniversitelerden ve Ar-Ge Merkezlerinden katkılar alınabilir. Üniversitelerde sektörde çalışan akademisyenlerin endüstriyel çalışmalara katkı vermeleri teşvik edilebilir. Bilimsel makaleler sanayi kuruluşu ile ortak yapıldığında YÖK veya ilgili kuruluşlar tarafından akademisyenlere ekstra puan ve teşvik sistemi getirebilir. Böylece akademisyenlere ciddi olarak sektörel teşvik sağlanmış olur. Ar-Ge Merkezi kapsamında olan aynı sektörde bulunan ancak prosesin farklı konularında faaliyet gösteren firmalarla ortak proje grupları oluşturulabilir.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi

Makine Mühendisliği, Elektrik Mühendisliği bilim dalları bir arada çalışmalıdır.

Elektrik Rezistansı Üreticileri, Plastik Şişirme Makinesi Üreticileri bir arada çalışmalıdır.

Makine Mühendisliği Isı Transferi ve Termodinamik Anabilim Dalı altında çalışan akademisyenlerden teknik destek ve danışmanlık alınmalıdır

3.1.d. Plastik Sektöründe kullanılan diğer Polimer işleme makinalarının (Rotasyon prosesinin, Termoform makinalarının, Basınçlı Kalıplama makinalarının) verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi

Makine Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Polimer Mühendisliği bilim dallarında çalışan ve polimer prosesi teorik/pratik uygulamaları, hammadde/ürün geliştirilmesi konularında bilgi ve tecrübe sahibi uzmanlar birlikte çalışmalıdır.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması

Plastik işleme makinalarında eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin değerlendirilmesi

Hali hazırda ERMAKSAN'ın yürütücülüğünü yaptığı TÜBİTAK-SAYEM programı kapsamındaki 20'den fazla paydaştan oluşan konsorsiyum gibi benzer konsorsiyumlar oluşturularak bu alanda büyük kapsamlı çalışma ve projeler gerçekleştirilebilir. Bu konuda da TÜBİTAK'ın Eklemeli İmalat özelinde çağrıları ve destekleri teknolojinin ülke genelinde gelişmesi için son derece önemlidir.

3.1.a. Plastik enjeksiyon makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

Enjeksiyon makinelerinde sabit mıknatıslı senkron motor (PMSM) veya servo(PMSM) hidrolik ünitelerin kullanılması

- Ar-Ge ve tasarımsal yeni projeler ile mevcut motor üreticileri akademik olarak desteklenebilir.

Plastik işleme makineleri için akıllı/yapay zeka destekli teknolojilerin geliştirilmesi

3.1.b. Ekstrüzyon prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Ar-Ge kültürü oluşmuş sektördeki firmalar ekstrüzyon prosesinde kendi uzmanlık alanlarına dair konuları yürüterek toplam projenin bir yürütücüsü olabilir ve sonuç olarak çıkar çatışması olmadan kazan-kazan konseptiyle çok güzel projeler yapılabilir. Polimer Ekstrüzyonu Araştırma ve Geliştirme merkezleri kurularak burada yüksek teknoloji hammadde ve proseslerin tasarlanması ve prototip oluşturulması sağlanabilir. Aynı zamanda akademik çalışma yapan çalışanların da bilimsel yayın üretebilecekleri ve sanayi ile ortak çalışabilecekleri bir platform sağlanmış olur.

Bir prosesin belli bir kısmında ticari faaliyet gösteren bir firmanın çıkar çatışması yaşamadan prosesi geliştirebileceği diğer proje ortakları ile bir araya gelerek hukuki tabanı olan bir proje altyapısı oluşturması mümkündür. Örneğin ekstrüzyon prosesinde kullanılan makineyi üreten firma ile aynı proste kullanılan hammaddeyi üreten firmalar farklı firmalardır ve ortak çalıştıklarında çıkar çatışmaları olmaz. Neticede aynı müşteriye bir firma makine temin ederken diğeri ise hammadde temin eder. Bu yüzden proste bir problem olduğunda problemin makineden mi yoksa hammadden mi kaynaklandığı ancak yüksek teknik bilgi ve tecrübeye sahip kullanıcılar tarafından tespit edilebilir. Bu problemlerle uğraşmak yerine makineyi ve hammaddeyi üreten firmalar kendi uzmanlık alanları ile ilgili konularda aynı projeye destek vererek çok daha verimli bir proses elde edebilirler. Aynı zamanda bu AR-GE kültürü sektörel bazda oluşturulup sürekli çalışma gruplarına dönüşebilirse ülke olarak pazara çok daha rekabetçi ürünler sunmamız mümkündür.

Yurt dışında birçok başarılı uygulama olmasına rağmen ülkemizde her firma kendisi bir şeyler yapmaya çalışmakta ve ortaya koyulan ürünün teknolojisi çoğu zaman pazarda yalnızca kabul edilebilir nitelikte olmaktadır. Ancak teknolojik öncülük yapabilecek ürünler maalesef nadiren ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak yurt dışında yapılan bir projede makine üreticisi Krauss Maffei, kalıp üreticisi Griener, hammadde katkı üreticisi Baerlocher ve hammadde dolgusu üreticisi Omya'dan oluşan dört farklı firma kendi uzmanlık alanlarında aynı projeye destek

vererek yüksek teknolojlili ürün ortaya koyabilmişlerdir. Aynı zamanda bu ürünün pazarlama faaliyetlerini de ortaklaşa gerçekleştirerek pazarda söz sahibi olmuşlardır (Plastic News (2013)).

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistanların geliştirilmesi

Sanayi ve akademi iş birliği ile TÜBİTAK destekli projeler yapılabilir. Yapılacak projenin teorik altyapısı Akademik Danışmanlar tarafından desteklenmeli, İmalat ve Prototip uygulaması konu ile ilgili sektörde çalışan bir firma tarafından yapılmalı, işin uzun süreli test edilmesi konusunda da ekstrüzyon ile üretim yapan son kullanıcı bir firma proje ortağı olmalıdır.

Üretilen ürünlerin zorluk derecesi düşünüldüğünde eşgüdüm içinde yapılacak projelerin katma değeri daha yüksek olacaktır.

3.1.c. Şişirme prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Ar-Ge kültürü oluşmuş sektördeki firmalar şişirme prosesinde kendi uzmanlık alanlarına dair konuları yürüterek toplam projenin bir yürütücüsü olabilir ve sonuç olarak çıkar çatışması olmadan kazan-kazan konseptiyle faydalı projeler yapılabilir. Polimer prosesi için Araştırma ve Geliştirme merkezleri kurularak burada yüksek teknolojlili hammadde ve proseslerin tasarlanması ve prototip oluşturulması sağlanabilir. Aynı zamanda akademik çalışma yapan çalışanların da bilimsel yayın üretebilecekleri ve sanayi ile ortak çalışabilecekleri bir platform sağlanmış olur.

Bir prosesin belli bir kısmında ticari faaliyet gösteren bir firmanın çıkar çatışması yaşamadan prosesi geliştirebileceği diğer proje ortakları ile bir araya gelerek hukuki tabanı olan bir proje altyapısı oluşturması mümkündür. Örneğin şişirme prosesinde kullanılan makineyi üreten firma ile aynı proseste kullanılan hammaddeyi üreten firmalar farklı firmalardır ve ortak çalıştıklarında çıkar çatışmaları olmaz. Neticede aynı müşteriye bir firma makine temin ederken diğeri ise hammadde temin eder. Bu yüzden proseste bir problem olduğunda problemin makineden mi yoksa hammaddeden mi kaynaklandığı ancak yüksek teknik bilgi ve tecrübeye sahip kullanıcılar tarafından tespit edilebilir. Bu problemlerle uğraşmak yerine makineyi ve hammaddeyi üreten firmalar kendi uzmanlık alanları ile ilgili konularda aynı projeye destek vererek çok daha verimli bir proses elde edebilirler. Aynı zamanda bu Ar-Ge kültürü sektörel bazda oluşturulup sürekli çalışma gruplarına dönüşebilirse ülke olarak pazara çok daha rekabetçi ürünler sunmamız mümkündür.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistanların geliştirilmesi

Sanayi ve akademi iş birliği ile TÜBİTAK destekli projeler yapılabilir. Yapılacak projenin teorik altyapısı Akademik Danışmanlar tarafından desteklenmeli, İmalat ve Prototip uygulaması konu ile ilgili sektörde çalışan bir firma tarafından yapılmalı, işin uzun süreli test edilmesi konusunda da ekstrüzyon ile üretim yapan son kullanıcı bir firma proje ortağı olmalıdır.

Üretilen ürünlerin zorluk derecesi düşünüldüğünde eşgüdüm içinde yapılacak projelerin katma değeri daha yüksek olacaktır.

3.1.d. Plastik Sektöründe kullanılan diğer Polimer işleme makinalarının (Rotasyon prosesinin, Termoform makinalarının, Basınçlı Kalıplama makinalarının) verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi

Sanayi ve akademi iş birliği ile projelerin yürütülmesi önemlidir.

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

(Kısa Vade: 1-3 yıl, Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla)

Plastik işleme makinalarında eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin değerlendirilmesi

Mevcut TÜBİTAK-SAYEM programı ile temeli atılan eklemeli imalat yerli teknoloji bilgi birikimi ile bu projenin devamının geliştirilip çalışmaların sürdürülmesi ülkemiz açısından büyük önem arz etmektedir.

Söz konusu projelerin ve proje desteklerinin ülkemizin de bu alandaki uluslararası THS seviyelerine erişme açısından kısa vadede (Kısa Vade: 1-3 yıl) uygulamaya geçmesi önemlidir.

Bu alanda insan gücü, malzeme, yazılım ve makine teçhizat geliştirilmesine ihtiyaç olmakla birlikte tahmini proje bütçesi 5.000.000-10.000.000 TL aralığında olabilir.

3.1.a. Plastik enjeksiyon makinalarının verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

Enjeksiyon makinelerinde sabit mıknatıslı senkron motor (PMSM) veya servo (PMSM) hidrolik ünitelerin kullanılması:

Global anlamda rekabetçi olmak adına kısa vadede ürünleşme sürecine girilmesi gerekmektedir. Bu hedefe ulaşmak adına ivedi olarak Üniversitelerin ilgili bölümlerinde araştırmalar sanayi iş birliği çerçevesinde gerçekleştirilebilir. Alternatif olarak Çin'de farklı

firmaların yaptığı gibi mevcut global üreticilerden üretim haklarını satın alınarak/teknoloji transferi yapılarak global pazara ortak olunabilir.

Ülkemizin de bu alandaki uluslararası THS seviyelerine erişme açısından kısa ve orta vadede uygulamaya geçmesi önemlidir.

Plastik işleme makineleri için akıllı/yapay zekâ destekli teknolojilerin geliştirilmesi

3.1.b. Ekstrüzyon prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Teknolojik alt yapı kurulması, AR-GE çalışma gruplarının oluşturulması, akademik danışmanlık ve destek alınması, sanayi-akademi entegrasyonu, hammadde analizi yapabilmek için laboratuvar alt yapılarının kurulması, teknoloji geliştirme metodolojisinin oluşturulması ve Türkiye'deki teknolojik yeterlilik seviyesi göz önünde bulundurulursa orta vadede global pazardaki ürün teknoloji seviyesini yakalamak ve pazarda söz sahibi ürünler ortaya koymak mümkün olabilir.

Orta vadede pazarda söz sahibi olabilecek teknolojik ürünler elde etmek mümkündür.

Ülkemizin de bu alandaki uluslararası THS seviyelerine erişme açısından kısa ve orta vadede uygulamaya geçmesi önemlidir. İnsan kaynağı yatırımı, laboratuvar cihazları, makine ve teçhizat alımı olarak düşünürsek 15-20 milyon TL bütçe ayrılması gerekir.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistansların geliştirilmesi

Kısa vadede teorik altyapı ve iş planı, proje ve prototip üretimi ile ilgili çalışmalar yapılabilir. Orta vadede ise seri üretime geçmek için gerekli olan insan kaynağı, makine ve ekipman yatırımı yapılabilir.

Kısa vade hedefler için 3-5 milyon TL, orta vade hedefler için 10-15 milyon TL bütçe gereklidir.

3.1.c. Şişirme prosesinin verimliliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi

1. Uygun geometride vida kullanımı amacıyla ekstrüderlerin vida geometrilerinin verimliliği artıracak şekilde tasarlanması

Teknolojik alt yapı kurulması, Ar-Ge çalışma gruplarının oluşturulması, akademik danışmanlık ve destek alınması, sanayi-akademi entegrasyonu, hammadde analizi yapabilmek için laboratuvar alt yapılarının kurulması, teknoloji geliştirme metodolojisinin oluşturulması ve Türkiye'deki teknolojik yeterlilik seviyesi göz önünde bulundurulursa orta vadede global pazardaki ürün teknoloji seviyesini yakalamak ve pazarda söz sahibi ürünler ortaya koymak mümkün olabilir.

Orta vadede pazarda söz sahibi olabilecek teknolojik ürünler elde etmek mümkündür.

Ülkemizin de bu alandaki uluslararası THS seviyelerine erişme açısından kısa ve orta vadede uygulamaya geçmesi önemlidir. İnsan kaynağı yatırımı, laboratuvar cihazları, makine ve teçhizat alımı olarak düşünürsek 15-20 milyon TL bütçe ayrılması gerekir.

2. Toplam ısıtma gücünün korunması amacıyla yeni tip yüksek izolasyonlu rezistanların geliştirilmesi

Kısa vadede teorik altyapı ve iş planı, proje ve prototip üretimi ile ilgili çalışmalar yapılabilir. Orta vadede ise seri üretime geçmek için gerekli olan insan kaynağı, makine ve ekipman yatırımı yapılabilir.

Kısa vade hedefler için 3-5 milyon TL, orta vade hedefler için 10-15 milyon TL bütçe gereklidir.

3.1.d. Plastik Sektöründe kullanılan diğer Polimer işleme makinalarının (Rotasyon prosesinin, Termoform makinalarının, Basınçlı Kalıplama makinalarının) verimliliğinin artırılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi

Ülkemizin de bu alandaki uluslararası THS seviyelerine erişme açısından kısa ve orta vadede uygulamaya geçmesi önemlidir. Kısa vade hedefler için 3-5 milyon TL, orta vade hedefler için 10-15 milyon TL bütçe gereklidir.

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

- Belirlenen konuların yapılabilirliğine ilişkin kamunun adım atması gereken hususlar nelerdir?

Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

- Mevzuat teknolojik ilerlemeye imkân tanımakta mıdır? Mevzuatta yapılması gereken değişiklikler var mıdır?

Teknik Altyapılar

- Üretim, test ve sertifikasyon altyapıları yeterli midir? Bu konuda atılması gereken adımlar var mıdır?

ERMAKSAN makine üretim alanında 60 yıllık tecrübeye sahip olmakta ve metal toz yataklı lazer ergitmeli eklemeli imalat teknolojisinde 3D yazıcı üretmektedir.

İnsan Kaynakları

- Üniversitelerde ve sanayide yeterli sayıda ve ihtiyaç duyulan yetkinlikte insan kaynağı mevcut mudur? Hangi alanlarda ve hangi seviyede insan kaynağı desteklerine ihtiyaç vardır?

Destek ve Teşvikler

- Hedeflenen ilerlemenin sağlanması ve sanayinin bu ilerlemeyi entegre edebilmesi için nasıl teşviklere ihtiyaç duyulmaktadır?

SAYEM, Hamle, 1507, 1505 gibi üniversite ve sanayi iş birliklerini teşvik edecek programlarla yapılacak olan çağrılar söz konusu teknolojilerin gelişimi açısından oldukça faydalı olacaktır.

Diğer

Belirlenen konuların yapılabilirliği konusunda kamusal proje desteklerinin olması gelişim süreçlerine katkı sağlayacaktır.

Teknolojik Hedef 4:

BİYOBAZLI (BİOBASED) MALZEMELER

Yenilikçi biyobazlı malzemelerin ve üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve pilot gösterimlerinin gerçekleştirilmesi

Kritik Ürün/Teknoloji 4.1.

4.1. Biyobazlı malzemelerin üretiminde yenilikçi ve yeşil teknolojiler

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

- 4.1.a. Mikroorganizma temelli biyobazlı (PHA, PHB vb) malzeme üretimi**
- 4.1.b. Laktik asitten laktide üretim prosesi ve PLA geliştirilmesi**
- 4.1.c. Biyo temelli malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik süreçlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi**
- 4.1.d. Nem duyarlılığı daha az biyobazlı plastiklerin üretimi**

Kritik Ürün/Teknoloji 4.1.

4.1. Biyobazlı malzemelerin üretiminde yenilikçi ve yeşil teknolojiler

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

Plastiğin pazara girmesinden bu yana, dünya ekonomisindeki rolü muazzam bir şekilde arttığı görülmekte ve inşaat, tarım, tıp ve diğer pek çok sektörde kullanıldığı görülmektedir. Plastik pazarının büyümesi ile birlikte, plastik malzemelerin yüksek miktarda üretilmesine yol açmış beraberinde de ciddi derecede atık üretimi ve sera gazı emisyonları sorununu doğurmuştur. 2019'da plastik üretimi, küresel fosil hammaddelerinin %10'unu oluşturmuş ve yaklaşık 370 milyon ton (Mt) küresel üretime ulaşmıştır. Yalnızca 2012 yılı için Dünya Ekonomik Forumu raporunda, küresel olarak 150 Mt tüketici sonrası plastik atık üretimi ve 390 Mt CO₂ emisyonu salımı olduğu tahmin edilmektedir. Herhangi bir alternatifinin yeteri derecede geliştirilmemesinden dolayı da üretimi gittikçe artmaktadır. Plastiğin yarattığı etkilerin ortadan kaldırılabilmesi için öne sürülen çözümlerden biri de sürdürülebilir alternatiflerdir. Bu alternatiflerin başında da biyobazlı malzemeler gelmektedir. Biyobazlı alternatiflere geçiş, Birleşmiş Milletler tarafından 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündeminde önceliklendirilmiş olan ve 11'den 14'e kadar olan hedefleri kapsayan bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla sürdürülebilir ve döngüsel bir ekonomi kurgusu yapılırken ve yeşil dönüşüme adapte olunurken karşılaşılan fırsatlar ve zorluklar göz önünde bulundurulmalı, biyobazlı polimer kimyasındaki üretimlerin temelini oluşturan (biyo)teknolojilere odaklanılmalı ve ayrıca, biyobazlı çözümlerin potansiyel biyolojik bozunma, çevresel güvenlik ve toksisitesini de tartışmak gerekmektedir.

Biyobazlı malzemeler, farklı yenilenebilir kaynaklardan (örneğin, bitki, alg, kalıntı bazlı) elde edilebilirken, bu alandaki gelişmeler henüz istenilen seviyede olmamakla beraber biyobazlı malzemelerin yaşam döngüsünde ortaya çıkan etkiler uygun tasarım ve kaynak seçimi olmadan gerçekleştiği takdirde mevcut plastikler için alternatif olma özelliği kazanamamaktadır. Dolayısıyla mevcut durumda konvansiyonel plastiklere yakın performans sergileyen, insan ve çevre toksisitesi minimum seviyede olan ve ilgili sektörlerin (tarım, otomotiv, ambalaj vb.) ihtiyaçlarını karşılayabilecek olan biyobazlı ürünlere ihtiyaç duyulmaktadır.

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

4.1.a. Mikroorganizma temelli biyobazlı (PHA, PHB vb) malzeme üretimi

Konvansiyonel fosil-yağ bazlı plastikler ve sentetik polimerler, çoğunlukla doğal ortamlarda bozunmamaktadırlar ve sonuçta, plastik atıklar ciddi bir çevresel tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, biyobazlı polimerler, biyolojik olarak parçalanabilirlikleri nedeniyle artan bir ilgi görmektedir. Termoplastik nişasta (TPS) ve nişasta, polibütilen adipat tereftalat (PBAT) ve polilaktik asit (PLA) gibi plastikler biyo bazlı plastiklerdir. Bunların dışında doğal olarak oluşan polihidroksialkanoatlar (PHA'lar) ise biyo-bazlı polyester sınıfını oluştururlar. PHA'lar bakteriyel fermentasyon ile üretilen ve geleneksel hidrokarbon bazlı polimerlerin yerini alma potansiyeli olan biyobazlı poliesterlerdir. Çeşitli yenilenebilir atıklar fermentasyonda kullanılabilir. PHA üretim süreci; fermentasyon, PHA'nın izolasyonu ve saflaştırılması safhalarını içerir.

PHB ilk olarak 1982 yılında piyasaya çıkmıştır. PHB'nin yıllık küresel üretim kapasitesi, yaklaşık olarak 30.000 ton olup, geleneksel polimerlerin küresel yıllık üretim hızına kıyasla oldukça küçük olarak kabul edilen bir miktardır; bununla birlikte, PHA'ların küresel üretim kapasitesinin 2024 yılına kadar üç kattan fazla artması beklenmektedir.

PHB'nin (genel olarak PHA) verimliliğini ve kalitesini ve üretim sürecinin ekonomik fizibilitesini ve sürdürülebilirliğini iyileştirmeye yönelik son gelişmeler şunları içermektedir: Optimize edilmiş hammadde seçimi veya ışık yardımı (photo-augmented) ile PHB üretimi için bir hibrit fotosentezin uygulanması. Alternatif olarak, üretici suşun (tür) genetik modifikasyonu da üretim parametrelerine etki etmektedir. Sonuç itibarı ile PHB'ların çeşitli uygulamalara uygun polimer özelliklerin geliştirilmesi ve üretimi için deneysel şartların optimize edilmesi gerekmektedir.

Alternatif PHB üretimi için uygun monomerlerin kopolimerizasyonu ve halka açılması polimerizasyonu prosesleri uygulanabilir. Kristaliniteyi ve erime noktasını düşürmek ultrason yardımlı ekstraksiyon işlemi uygulanmaktadır. PHA polimerlerinin kırılma özellikleri giderilmelidir. Bunun için uygun monomerlerle kopolimerleri sentezlenebilir.

Çeşitli son kullanım ürünlerinde PHB kullanımının yaygınlaşması ve pazardaki konumunun genişletilmesi, performansının iyileştirilmesine ve maliyetin düşürülmesine bağlıdır. Örneğin, PHB, yüksek yağlı gıda ürünlerinin (örneğin peynir, mayonez, yağlar vb.) ambalajlanması için polipropilenin (PP) yerini alabilir. Enjeksiyon kalıplama koşulları polimerin özelliklerine göre ayarlanmalı ve özel bir kalıp kullanılmalıdır. Standart buzdolabı ve dondurucu koşulları altında PHB'nin performansının PP'den daha kötü olduğu, buna karşılık, daha yüksek sıcaklıklarda daha iyi olduğu gösterilmiştir.

PHB'nin (genel olarak PHA'nın) düşük süneklik, aşırı maliyet ve termal bozunma gibi ana dezavantajlarının üstesinden gelerek PHB'nin potansiyel uygulamalarını iyileştirmeye yönelik alternatifler şunları içerir: a) kitosan, lignin, PHA'lar, nişasta gibi doğal biyo-bazlı polimerlerle harmanlama; b) PLA, PBAT, PBS, PCL gibi sentetik biyo-bazlı polimerlerle harmanlama; c)

plastikleştiriciler, bağdaştırıcılar, dengeleyiciler, zincir uzatıcılar, çekirdekleştirici maddeler vb. gibi seçilmiş katkı maddesi kombinasyonları ile harmanlama; d) mikro-, nanoselüloz lifleri, nanokristaller, vb. gibi takviye edici maddeler (biyo-kompozitler) ile karıştırma; e) Graft (aşı) veya blok kopolimerizasyon gibi kimyasal modifikasyon yoluyla PHB'yi işlevselleştirme.

Bu polimerlerle ilgili olarak:

- a. Büyük üretim maliyetlerinin düşürülmesi gerektiği,
- b. Farklı mikroorganizmalar kullanarak farklı reaksiyon koşullarında değişik özelliklerde ürünlerin eldesine yönelik ürünlerin geliştirilmesinin gerektiği,
- c. Basit ve ekonomik üretim proseslerinin geliştirilmesinin gerektiği,
- d. Bu polimerlerin üretilmesinde atık kaynakların kullanılmasının maliyeti düşürmek açısından da faydalı olacağı,

literatürde açıklanmaktadır.

4.1.b. Laktik asitten laktide üretim prosesi ve PLA geliştirilmesi

Polilaktik asit (PLA) biyomedikal, ambalaj, biyokompozit, 3D baskı alanlarında kullanılan biobozunur yönü ile çevre dostu önemli bir malzemedir. PLA uzun yıllardır bilinmesine rağmen uygulamalarındaki büyümesi ancak son yıllarda hızla artmıştır. PLA, çöp depolama sahalarında plastik atık birikiminin üstesinden gelmeye yardımcı olmak için mevcut petrol bazlı polimerlerinin yerini alma potansiyeline sahip biyolojik olarak parçalanabilen bir polimerdir. Genel ve ambalaj ürünlerinde kullanımının yanı sıra canlı doku ile uyumlu olması nedeniyle cerrahide de biyomedikal uygulamaları vardır. PLA farklı sektörlerde tercih edilebilir, çünkü yenilenebilir ve toplumun petrokimyaya olan bağımlılığını azaltmasına izin veren tarımsal kaynaklardan seri üretilir. Devam eden araştırma ve geliştirmeler, üretim süreciyle ilişkili olarak sera gazı emisyonlarının azalmasına katkı sağlamıştır. Sonuç olarak PLA'nın, sürdürülebilir bir gelecek için biyolojik olarak parçalanabilen bir polimer olarak büyük bir pazar payı potansiyeline sahip olduğu öngörülmektedir.

PLA'nın Laktik asidin kondenzasyonu ile üretimi ucuz bir yoldur. Ancak yüksek molekül ağırlıklı PLA üretimi çok zordur. Bu nedenle molekül ağırlığını artırmak için birleştirici (coupling) ve esterleşmeyi teşvik edici maddelerin kullanılması gerekir.

PLA üretimi için diğer bir yol azeotropik dehidrasyon ve kondenzasyon yöntemidir. Bu yöntemde zincir uzatıcılar kullanılmayabilir. Mitsui Chemicals (Japonya) bu yöntemi kullanan prosesi ticarileştirmiştir. Katalizör kalıntısı yöntemin önemli bir dezavantajıdır.

Büyük molekül ağırlıklı ve yüksek saflıkta PLA üretimi için tek yöntem laktidin zincir açılması polimerizasyonudur. Bu proses çözelti, bulk ve süspansiyon ortamlarında gerçekleştirilebilir. Zincir açılma, koordinasyon veya iyonik (anyonik, katyonik) mekanizma ile gerçekleştirilebilir.

PLA'nın kullanım yerine göre kopolimerlerin üretilmesi, uygun üretim koşullarının uygulanması ile elde edilecek üründe; kristallenme, termal özellikler, mekanik özellikler ve bariyer özellikler ayarlanabilir.

Üretimin ara kademesinde elde edilen laktad monomerlerin saflaştırılması ve polimerizasyonda isomer miktarları (D-, L, ve meso) ve oranları polimerin son ürün performansına önemli etki etmektedir.

4.1.c. Biyo temelli malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik süreçlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi

Dolgu maddeleri, daha pahalı polimer malzemenin tüketimini azaltmak ya da polimer matrisli kompozit malzemenin istenen bazı özelliklerini iyileştirmek için polimerik malzemelere eklenen parçacıklardır. Kağıt, plastik, kauçuk, boya, kaplama, yapıştırıcı ve sızdırmazlık malzemeleri gibi farklı uygulama alanlarında her yıl dünya çapında milyonlarca ton dolgu maddesi kullanılmaktadır. Son zamanlarda, ekolojik kaygılar, doğal, yenilenebilir kaynaklara dayalı ve kompostlanabilir malzemelere olan ilginin artmasına neden olmuştur. Genel olarak biyo temelli olarak sunulan bu dolgu maddeleri polisakkaritler ve proteinlerdir. Polisakkaritler, biyosferde en bol bulunan makromoleküllerdir. Malzeme uygulamalarında kullanılan başlıca polisakkaritler, selüloz ve nişastadır. Ancak deniz kabuklularından elde edilen kitin, kitosan ve son yıllarda bakteri ve mantar tarafından üretilen ksantan, kurdlan, hyalüronik asit gibi polimerler de dikkat çekmektedir. Pamuk, keten, kenevir, tahta, bambu, geri dönüştürülmüş kağıt ve bakteriyel selüloz, toz halinde selüloz üretmek için ana kaynaklar olarak kabul edilir. Nanoselülozlar, kontrollü koşullar altında güçlü asit hidrolize tabi tutulan saf selülozdan hazırlanabilir. Ayrıca bazı atıklarda zeytin çekirdeği, pirinç külü, fındık, ceviz kabuğu gibi selüloz içerikli lif kaynağı olarak da kullanılmaktadır.

Birçok dokunun ana yapısal bileşenleri olan proteinler, esasen üç boyutlu katlanmış bir yapıda düzenlenmiş amino asit polimerleridir ve tanımlanan en önemli yenilenebilir biyomolekül sınıflarından biridir. Protein kaynakları hayvanlar (kalojen, kasein, jelatin, keratin), bitkiler (buğday glütenu ve soy proteini) ve bakteriler olarak verilebilir. Ayrıca, rejenere selülozik (Rayon vb.) ve rejenere protein (algınat) liflerde sahip oldukları mukavemet, uzama, nem kontrol özellikleri sayesinde petrol kökenli hammaddeler kullanılarak üretilen ve farklı kullanım alanları bulan, lif, iplik ve yüzeylerin üretimi için petrol kökenli olmayan, sürdürülebilir ve biyobozunur alternatiflerdir.

Biyo temelli dolgu malzemeler, geleneksel inorganik dolgu maddelerine kıyasla yenilenebilir, doğal, düşük yoğunluklu, aşındırıcı olmayan özellikleri ve makul sağlık ve sertlik gibi bazı üstünlükler sağlamaktadır ve takviye malzemesi olarak rekabet edebilir kılar. "Doğal

kompozitlerin" kullanımı genellikle dış mekân uygulamalarında, dayanım, hava koşullarına maruz kalma, nem tutma ve biyolojik olarak bozunma konularında değerlendirilir.

Biyo temelli dolgular yüksek hidroksil grubuna sahip olmaları nedeniyle, hidrofilik doğal dolgu maddeleri ile matris olarak kullanılan hidrofobik polimerler arasındaki zayıf bir uyumluluğun ana nedenidir. Biyo temelli maddelere kullanım yerine göre hidrofobik karakter kazandırmaya yönelik teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Biyo-temelli dolgular ile desteklenmiş polimer kompozitlerin fiber-matriks arayüzey yapışmasını iyileştirmenin etkili ve ekonomik yollarından biri, bir bağdaştırıcı/bağlayıcı ajan eklemektir. Bir diğer yolda biyo-temelli dolguların yüzey modifikasyonun yapılmasıdır. Ayrıca doğal dolgu kullanımı nedeniyle kompozit üretiminde kullanılan işleme sıcaklığında daha düşük sıcaklıklarda olması gerekliliği de bir problem olarak görünmektedir. Biyo temelli dolgular kapsamında yapılan çalışmalar incelendiğinde öne çıkan hususlar aşağıda belirtilmiştir:

- Matris-biyo-temelli dolgu arayüzey etkileşiminin geliştirilmesi,
- Biyo-temelli dolguların yüzey modifikasyon işlemlerinin iyileştirilmesi,
- Biyo temelli maddelere kullanım yerine göre hidrofobik karakter kazandırmaya yönelik teknolojilerin geliştirilmesi,
- Uyumlaştırıcı sentezi yapılması ya da uyumlaştırıcı türlerinin artırılması.

4.1.d. Nem duyarlılığı daha az biyobazlı plastiklerin üretimi

Plastik alternatifi olan biyobazlı malzemelerin inşaat tarım vb. alanlarda kullanışlı olabilmesi için neme karşı hassas olması ve nihai olarak neme karşı dirençli olması gereklidir. Bunun için gerek tek bir malzemeden yapılmış olsun gerekse de diğer biyobazlı malzemelerin birbirleriyle karışımından elde edilmiş malzemelerin neme dayanıklı olması aranan bir özelliktir. Hali hazırda piyasadaki ürünlerin neme dayanıklılıkları konusunda çeşitli sorunlar bulunduğu için de tercih edilme oranları düşüktür. Biyobazlı malzemelerin difüzyon hızlarının diğer malzemelerle karşılaştırıldığında nasıl olduğunu belirlemek için, difüzyon hızı malzemenin yüzeyindeki nem konsantrasyonuna bağlı olduğundan, malzemeler aynı şekilde (aynı sıcaklık ve nem koşulunda) şartlandırılmalıdır. Ayrıca biyobazlı malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişiklikler (özellikle nem tutması sonucu), matrisin yumuşaması ve hidrolizi, liflerdeki selüloz ve ligninin plastifiyan özelliği kazanması, lif-matris arayüzünün bozulması ve matris çatlaması gibi bir dizi faktörle ilişkili olduğu için hem bu özellikler bakımından hem de difüzyon hızı bakımından konvansiyonel malzemelerle rekabet edebilir nitelikte olmalıdır. Nemli ortamlara girdikten sonra mekanik özelliklerin bozulması, biyobazlı dolgu maddelerinin potansiyel uygulamalarını sınırlar. Bu kapsamda inşaat ve tarım endüstrisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılması için sızdırmazlık malzemeleri ve/veya elyaf işlemleri yoluyla nemden korunmaları gerekmektedir.

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

4.1.a. Mikroorganizma temelli biyobazlı (PHA, PHB vb) malzeme üretimi

Teknolojik	Dünyada	Türkiye’de
THS 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dünyada THS 9: Dünyada PHB ilk olarak 1982 yılında piyasaya çıkmıştır. PHB'nin yıllık küresel üretim kapasitesi, yaklaşık olarak 30.000 ton olup, geleneksel polimerlerin küresel yıllık üretim hızına kıyasla oldukça küçük olarak kabul edilen bir miktardır; bununla birlikte, PHA'ların küresel üretim kapasitesinin 2024 yılına kadar üç kattan fazla artması bekleniyor.

Türkiye’de THS: 3-4

PHB (Genel olarak PHA) üretimi Türkiye’de yoktur.

4.1.b. Laktik asitten laktide üretim prosesi ve PLA geliştirilmesi

Teknolojik	Dünyada	Türkiye’de
THS 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dünyada THS:9: (lactide) yöntemi ile büyük yapılmaktadır. sayıdaki alanda PLA yerine uygun özelliklerde yapılabilmektedir. Bu olarak değerlendirilebilir.

Dünyada PLA'nın Laktid ölçekte üretimi Endüstriyel ölçekte çok kullanılmaktadır. Kullanım PLA üretimi duruma göre THS 9

Türkiye’de THS:1-3. Türkiye’de Laktide üretimi yapılmamaktadır.

4.1.c. Biyo temelli malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik süreçlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi

Teknolojik	Dünyada	Türkiye’de
THS 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.1.d. Nem duyarlılığı daha az biyobazlı plastiklerin üretimi

Teknolojik	Dünyada	Türkiye’de
THS 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

4.1.a. Mikroorganizma temelli biyobazlı (PHA, PHB vb) malzeme üretimi

PHA üretim maliyeti, toplam üretim maliyetlerinin %50'sine kadarını oluşturan fermantasyon substratının maliyetine, işlemin hacimsel üretkenliğine (g L⁻¹ h⁻¹) bağlıdır. Bakteri hücrelerinde daha yüksek PHA içeriği ile aşağı akış işleminin verimliliği de üretime etki eder. [Raza, Z.A.; Abid, S.; Banat, I.M. Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, production, recent developments and applications. Int. Biodeterior. Biodegrad. 2018, 126, 45–56.; Chen, G.-Q. Industrial production of PHA. In *Plastics from Bacteria: Natural Functions and Applications*; Springer Science and Business Media: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009; pp. 121–132.

Avusturya’da PHB, sükröz üzerinde hızla büyüyen *Alcaligenes latus* bakteri türü kullanılarak 15 m³’lük bir fermenterde 1000 kg/hafta hızında üretildi. [Chen, G.-Q. Industrial production of

PHA. In *Plastics from Bacteria: Natural Functions and Applications*; Springer Science and Business Media: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009; pp. 121–132.]

San Francisco Körfez Bölgesi'ndeki Mango Materials gibi bazı biyoteknoloji girişimleri metanı kullanarak PHB üretiminde kullanılmaktadır. Kaliforniya'daki Silikon Vadisi Temiz Su Atıksu Arıtma Tesisinde 5000 L'lik bir fermantasyon kulesi sistemini içeren 'Başlatma Tesisini'ni hayata geçirilmiştir. [Dalton, B.; Bhagabati, P.; De Micco, J.; Padamati, R.B.; O'Connor, K. A Review on Biological Synthesis of the Biodegradable Polymers Polyhydroxyalkanoates and the Development of Multiple Applications. *Catalysts* 2022, 12, 319. <https://doi.org/10.3390/catal12030319>]

4.1.b. Laktik asitten laktide üretim prosesi ve PLA geliştirilmesi

Dünyada: Cargill 1992 de ilk pilot tesisi kurmuştur; Nature Works: Cargill'in Dowchemical ile ortaklığı; Teijin (Japonya), Mazda: Otomobilde kullanılacak malzeme üretimi; Corbion: Halihazırda dünyada en çok Laktik asit üreten firma; Corbion-Purac: Dünyanın en büyük PLA üreticisi, PLA ve kopolimerlerini üretmek için kurulmuştur; Toray: Kore firmasıdır.

Daha ekonomik ve kaliteli PLA üretimi yapabilmek için Dünyadaki birçok büyük firmalar PLA ile ilgili AR GE çalışmaları yapmışlardır. Köpük, yapıştırıcı, kaplama malzemesi, otomobil parçaları için uygun PLA, film, levha (tabaka), ekstruder ve enjeksiyon için uygun PLA, muhtelif kalıplama proseslerine uygun PLA geliştirilmesi bu çalışmalar sonucunda mümkün olmuştur.

4.1.c. Biyo temelli malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik süreçlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi

Günümüzde kompozit malzemeler otomotiv ve havacılık sanayinden inşaat sektörüne spor malzemelerinden ev eşyalarına kadar birçok kullanım alanı için üretilme imkânı bulmaktadır. Otomotivde doğal lif destekli kompozitler ilk olarak araçların iç döşemelerinde, ön panellerinde ve arka döşemde kullanılmaya başlanmıştır.

- Nova-Institute (Almanya), dokuz ülkeden 30 üretici de dahil olmak üzere tüm Avrupalı biyokompozit granül üreticilerinin ve tedarikçilerinin bir listesini yayınladı. Nova-Institute, odun bazlı ürünler ve kağıt hamuru üreten UPM (Finlandiya), Sappi (Güney Afrika) ve Stora Enso (İsveç/Finlandiya) gibi büyük şirketlerin de biyokompozit üretimine girdiğini bildirdi. Rapora göre toplam granül üretiminin %25 ini ahşap ve selüloz elyaf granülleri ve %15'ini doğal elyaf granülleri oluşturmaktadır. Nova-Institute'ye göre günümüzün müşterileri, şirketlerin ürünlerinde plastiği azaltmasını bekliyor ve biyokompozitler, performans ve işlenebilirlikten ödün vermeden plastiğin yerini alan bir çözüm olabilir. Nova-Institute, plastik dolgu maddelerinin %30-80'inin odun unu veya doğal lif takviyesi gibi biyojenik dolgu

maddeleriyle değiştirildiğini belirtmiştir. Bu kapsamda biyokompozit granüller, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon veya eklemeli üretim/3D baskı yoluyla büyük değişiklikler olmaksızın mevcut makinelerde işlenebilir. Biyokompozit ürünlerin ayrıca farklı mekanik özellikler sunarak, eklendikleri ürünleri doğal lifler nedeniyle daha sert, daha fazla gerilme ve bükülmeye karşı dayanıklı hale getirdiği söylenmektedir.

- Finlandiya teknik araştırma merkezi tarafından yapılan selüloz ve yağ asitlerinden yapılmış ambalaj Thermocell plastik filmi üretilmiştir. Yenilenebilir bileşenlerden yapılan film fosil bazlı plastiklerle aynı amaçla kullanılabilir. Geliştirme çalışmaları ile filmin birçok özelliği gıda ambalajı özelliklerini karşıladığı görülmüştür..
- Türkiye’de bioplastik üretimi yapılmamakta ve ihtiyaç tümüyle ithalata karşılansmaktadır. Ancak biyoplastikler için belirli bir GTİP numarası bulunmamakta, ithal edilen biyoplastikler, diğer plastiklerle birlikte aynı GTİP numarasında takip edilmektedir.
- Türkiye’de Komporize Kompozit ve Plastik Sanayi KOSGEB’in Ar-Ge ve İnovasyon Destek Programı ile “Atık Çay Lifinden Çevre Dostu Mutfak Eşyaları İçin Ara Mamul Üretimi” ve “Otobüs İç Döşemelerde Kullanılmak Üzere Yüksek Oranda Çay Lifi Katkılı Termoplastik Kompozit Levha Geliştirilmesi” konulu projelerini başarılı bir şekilde tamamlayarak işletme iki yeni ürün geliştirmiştir. Otomotiv sektörüne kamyon kabinlerinin içindeki bazı parçaların üretimi ve tavanlarında ses ve ısı izolasyonuna yönelik levhaların geliştirilmesi, plastik mutfak eşyaları alanında çeşitli mutfak eşyalarının üretimi ve son olarak beyaz eşya firması ile bazı küçük ev aletlerinin plastik kısımlarının imalatı için çalışılmıştır. Bu geliştirme çalışmalarında firmalar ile prototip ölçekli ürün denemeleri başarı ile tamamlanmış olup seri üretimdeki ürünlerde deneme kademesine geçiş işlemleri için hazırlık aşamasındadır.
- BIOLIVE Zeytin çekirdeklerinden biyo bazlı plastiklerin üretim sürecini tasarlayıp geliştiren aynı zamanda biyo bazlı granüller üreten firma şu anda Yıldız Teknik Üniversitesi Teknoparkta araştırma ve ürün geliştirmelerine devam etmektedir.

4.1.d. Nem duyarlılığı daha az biyobazlı plastiklerin üretimi

Hali hazırda Türkiye’de üretilen kenevir bazlı biyomalzeme, viskon vb. biyobazlı malzemelerde nemliliğe dair yeteri teknolojik ilerleme söz konusu değildir. Bu durumun temel nedeni sektörel ihtiyaçların henüz istenilen düzeye gelmemesi bu malzemelerin nemliliğe duyarlı olmasını gerektirecek bir teknolojik ilerleme motivasyonu yaratmamasından kaynaklanmaktadır. Ancak bu durumu yatırım amaçlı gerçekleştirebilecek potansiyeli olan ve hali hazırda biyobazlı malzeme üreten, Kortex, Mogul tekstil gibi firmalar bu alanda gerekli yatırım yapma konusunda önde gelen firmalar olarak göze çarpmaktadır. Dünyada ise Lenzing, Naturtec gibi önde gelen markalar bu alanda önemli bir ilerleme sağlamışlardır.

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

4.1.a. Mikroorganizma temelli biyobazlı (PHA, PHB vb) malzeme üretimi

Kimya, Kimya Mühendisliği, Biyoloji, Makina Mühendisliği, Genetik, Polimer Mühendisliği.

Plastik malzeme üreticileri; otomotiv, ambalaj, biyomedikal malzeme üreticileri ile çalışabilir.

4.1.b. Laktik asitten laktide üretim prosesi ve PLA geliştirilmesi

Kimya, Kimya Mühendisliği, Biyokimya, Makina Mühendisliği, Polimer Mühendisliği.

Plastik malzeme üreticileri; otomotiv, ambalaj, biyomedikal malzeme üreticileri ile çalışabilir.

4.1.c. Biyo temelli malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik süreçlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi

- Polimer teknolojisi alanında çalışan Malzeme mühendisleri, Kimya mühendisleri, Tekstil mühendisleri, Makine mühendisleri, Kimyagerler, Biyomedikal mühendisleri birlikte proje geliştirebilirler.
- Plastik malzeme üreticileri; otomotiv, ambalaj, biyomedikal malzeme üreticileri ile çalışabilir.
- Plastik malzeme üreticilerinden işleme sırasında kullanılacak süreç parametreleri,
- Otomotivde ya da ambalaj malzemesinde aranan performans özelliklerinin ilgili sektörlerden alınması gereklidir.

4.1.d. Nem duyarlılığı daha az biyobazlı plastiklerin üretimi

Nem duyarlılığı olan malzemelerin geliştirilebilmesinde, malzeme mühendisliği, tekstil mühendisliği, inşaat, çevre ve ziraat mühendisliklerinin birlikte çalışması ve üretilecek olan malzemelerin hem toksikolojik hem de dayanım testlerinin ve aynı zamanda da kullanım esnasındaki performansının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. T.C. Tarım ve Orman bakanlığı, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İnşaat, Çevre ve Ziraat mühendisliği bölümleri olan Üniversiteler ve özel sektörde biyobazlı malzeme üreten firmalar birlikte çalışmalıdırlar.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması

4.1.a. Mikroorganizma temelli biyobazlı (PHA, PHB vb) malzeme üretimi

Daha önce çalışma yapılmadığı için PHA ile ilgili çalışmalara laboratuvar boyutunda başlama zorunluluğu bulunmaktadır. Proje içeriğine göre, D maddesinde belirtilen disiplinler ve sektörler bir araya gelmelidir. Bu arada üniversite ile işbirliği sağlanmalıdır. Proje çerçevesinde

Üniversiteden danışmanlık hizmeti dışında Doktora ve Yüksek lisans tezleri oluşturulabilir. Projenin sağlıklı yürüebilmesi için tarafların görev ve sorumlulukları açık olarak belirlenmelidir. Projeler TÜBİTAK destek programlarından yararlandırılmalıdır.

4.1.b. Laktik asitten laktide üretim prosesi ve PLA geliştirilmesi

Daha önceden çalışma yapılmadığı için çalışmalara laboratuvar boyutunda başlanmalıdır. Proje içeriğine göre, D maddesinde belirtilen disiplinler ve sektörler bir araya gelmelidir. Bu arada üniversite ile işbirliği sağlanmalıdır. Proje çerçevesinde Üniversiteden danışmanlık hizmeti dışında Doktora ve Yüksek lisans tezleri oluşturulabilir. Projenin sağlıklı yürüebilmesi için tarafların görev ve sorumlulukları açık olarak belirlenmelidir.

4.1.c. Biyo temelli malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik süreçlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi

- Küçük/orta/büyük ölçekli Ar-Ge ve Yenilik Projeleri, Teknoloji Platformları, Yenilik Ağları çalıştayları yaparak bir araya gelebilirler.
- Ayrı yürüyen projeler yazarak daha sonra büyük bir platform bünyesinde eşgüdüm içinde yapılacak projeler geliştirebilirler.
- Sanayi Bakanlığı Proje destekleri, TÜBİTAK ulusal ve uluslararası proje destekleri alınabilir.

4.1.d. Nem duyarlılığı daha az biyobazlı plastiklerin üretimi

Prototip geliştirmek amaçlı özel sektör-üniversite işbirlikleri gereklidir. Üretilen malzemelerin gerçek çevrede kullanımının sağlanmasında bakanlıkların pilot bölge desteği ve bu ürünlerin atık yönetim alt yapısı ile eşgüdümlü organize edilmesi için de yerel yönetimlerin sürece dahil edilmeleri gerekmektedir. Geliştirilen prototipin çevresel ve insan sağlığı açısından etkileri için de ekotoksikolog desteğinin alındığı işbirlikleri gerekmektedir. Orta ve büyük ölçekli girişimlerin desteklenmesiyle kısa orta ve uzun vadede birlikte ya da ayrı ayrı yürüyen ancak birbirlerinin tamamlayıcısı olan projeler desteklenmelidir.

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

(Kısa Vade: 1-3 yıl, Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla)

4.1.a. Mikroorganizma temelli biyobazlı (PHA, PHB vb) malzeme üretimi

Hâlihazırda yapılmış çalışma olmadığından öncelikle laboratuvar boyutunda çalışmalar yapılacaktır. Laboratuvar boyutunda uygun üretim koşulları belirlenecektir. Bu çalışmalar için Ar-Ge süresi 1-3 yıl aralığında (kısa vade) uygun görülmektedir.

Bu projeleri yürütecek bilim insanları Türkiye de mevcuttur. Firmaların üniversiteler ile işbirliği yapmaları gerekmektedir. Proje bütçesi 500000-1000000 TL aralığında olabilir.

4.1.b. Laktik asitten laktide üretim prosesi ve PLA geliştirilmesi

Laktid üretimi üzerine hâlihazırda önemli sayılabilecek çalışma bulunmadığı için laboratuvar boyutunda çalışmalar yapılacaktır. Bu çalışmalarda laboratuvar koşullarında uygun üretim koşulları belirlenecektir. Proje süresi 1-3 yıl olması uygun görülmektedir. Bu projeleri yürütecek bilim insanları Türkiye de mevcuttur. Firmaların üniversiteler ile işbirliği yapmaları gerekmektedir. Proje bütçesi 500000-1000000 TL aralığında olabilir.

4.1.c. Biyo temelli malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik süreçlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi

Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularının gerçekleştirilmesine ilişkin 36 aylık proje süresi belirlenebilir.

Kısa vadede 1-2 uzun vadede 4-5 yıl ticarileşmeye kadar sürebilir.

Proje bütçesi 500000-1000000 TL aralığında olabilir.

4.1.d. Nem duyarlılığı daha az biyobazlı plastiklerin üretimi

Hali hazırda var olan malzemeler üzerinden gerçekleştirilecek modifikasyonlara dayalı Ar-Ge çağruları ile kısa ve orta vadeli projeler de desteklenebilmelidir. Uzun vadeli proje destekleri ise çok sektörlü girişimler ya da konsorsiyumlar için anlamlı olacaktır.

Kısa vadeli projeler için proje başına 500 000 TL'ye kadar, orta vadeli projeler için proje başına 1.500 000 TL'ye kadar, uzun vadeli projeler için ise 5 milyon TL'ye kadar bütçe desteği üniversite–sanayi işbirliği çerçevesinde sağlanabilir.

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

Kamunun öncelikle teşvik mekanizmasını tarımsal ve inşaat sektöründeki plastik alternatifleri için sağlamalı, denetleme ve etiketleme düzenlemelerini de beraber planlamalıdır.

- Üniversitelerden Akademik desteğin sağlanması
- İlgili kurumlardan Ar-Ge desteklerinin verilmesi

Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

Mevcut mevzuat nem duyarlılığı olan malzemelerin geliştirilmesi için herhangi bir engele sahip değildir.

Mevzuat değişikliğine gerek yoktur. Hali hazırda polimerik kompozitler üretilmektedir. Biyo temelli dolgularla daha çevreci ürünler geliştirilebilecektir.

Teknik Altyapılar

Üretim, test ve sertifikasyon altyapıları yeterlidir. Ancak spesifik olarak her bir malzeme türüne göre ISO standartlarıyla uyumlaştırılmalıdır.

Plastik üretim süreçleri sektörlerimize göre değişmektedir. Bu nedenle sektörlerin üretim cihazlarına gereksinimi olabilir. İlgili sektörler hali hazırda petrol bazlı plastiklerden kompozit üretimi yapıyorsa testler için çok fazla gereksinimleri olmayacaktır. Ancak malzeme temini için bir bütçe gerekli olacaktır.

İnsan Kaynakları

Üniversitelerde ve sanayide yeterli sayıda ve ihtiyaç duyulan yetkinlikte insan kaynağı mevcuttur. Ancak özellikle malzeme bilimi alanında daha fazla yetmiş bilim insanına ihtiyaç duyulmaktadır.

Üniversitelerde bu alanda yeterli akademik desteği sağlayacak akademisyen bulunmaktadır. Ancak sanayide yeterli sayıda ve ihtiyaç duyulan yetkinlikte insan kaynağı mevcut olmayabilir. Doktora ve yüksek lisans eğitimi almış insan kaynağına AR-GE çalışmalarında, üretimde ise tekniker seviyesinde insan kaynağına ihtiyaç duyulacaktır. Bunlar polimer teknolojisi, kimya, makine, malzeme ve biomedikal alanlarında olabilir.

Destek ve Teşvikler

Hedeflenen ilerlemenin sağlanması ve sanayinin bu ilerlemeyi entegre edebilmesi için ihtiyaç duyacağı teşvikler;

- İnsan kaynağı
- Malzeme desteği
- Makine teçhizat desteği,
- Hizmet alımı
- Akademik danışmanlık,
- Bütçe desteği şeklinde sıralanabilir

Kritik Ürün/Teknoloji 4.2.

4.2. Biyobazlı malzeme üretim süreçlerinde gıda dışı kaynakların kullanımına ve enerji verimliliğine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

4.2.a. Biyobazlı malzeme işlemeye elverişli kalıp tasarımı ve termal düzenlemeler

Kritik Ürün/Teknoloji 4.2.

4.2. Biyobazlı malzeme üretim süreçlerinde gıda dışı kaynakların kullanımına ve enerji verimliliğine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

4.2.a. Biyobazlı malzeme işlemeye elverişli kalıp tasarımı ve termal düzenlemeler

Biyoplastikler şu anda küresel olarak üretilen toplam plastik miktarının %1'inden daha azını temsil ettiğinden, fosil yakıtlı plastiklerden biyo-bazlı plastiklere geçiş, sera gazı emisyonları için Avrupa 2030 hedeflerini karşılamaya yönelik bir adım olabilir. Bununla birlikte, Avrupa sera gazı emisyonlarının yalnızca %4'ü plastik kullanımından kaynaklanmaktadır, bunun %40'ı paketlenme amacıyla kullanılmaktadır. Avrupalı tüketiciler için daha da düşük: karbon ayak izlerinin yalnızca %0,6'sı plastik ambalaj malzemelerine atfediliyor. Bu nedenle, küresel ısınma açısından biyoplastiğe geçişin neden olduğu potansiyel iyileşme sınırlıdır. Daha çeşitli etki kategorilerine bakıldığında, biyoplastikler her zaman geleneksel muadillerine göre çevresel açıdan üstün değildir, ancak birçok alanda rekabetçidirler. Ancak, plastik çöplerin çevremiz ve sağlığımız üzerindeki etkileri gibi önemli çevre sorunlarına yönelik araştırmalar, bu aşamada sonuçlara varmak için yeterince gelişmiş değildir. Bu nedenle, gerçekten sürdürülebilir çözümlere ve geleneksel malzemelerden daha iyi performans gösteren biyoplastiklere doğru ilerlemek için gereken içgörüyü sağlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Arazi kullanımı, biyoplastiklerle ilgili bir başka belirsiz faktördür: “Biyoplastikler için hammaddelerin yetiştirilmesi, büyüyen gıda, ağaç gibi diğer mahsuller veya doğa ile rekabet ediyor mu? Biyoplastik üretiminde beklenen artış için fazladan araziye ihtiyaç var mı?”. PLA'nın etki hesaplaması için, ekilebilir arazi uzun süredir kullanımda olduğu için herhangi bir arazi değişikliği dikkate alınmamıştır. Üretim kapasitesindeki 10 katlık artışa rağmen, ekilebilir arazi kullanım yüzdesinin çok küçük olduğu varsayılmaktadır. Şu anda, biyoplastik üretimi, toplam ekilebilir arazi miktarının %0,02'sinden daha azını kullanmaktadır. Bu nedenle, diğer ürünlerle önemli bir rekabet varsayılmaz. Biyokütle hammadde üretimi, fosil yakıt çıkarma işleminden daha fazla arazi gerektirir, ancak arazi üzerindeki etki farklı oranlarda olabilir. Çoğu durumda toplam arazi kullanım etkisinin %10'undan azdır.

Bununla birlikte, bir veya daha fazla geri dönüşüm döngüsünden sonra ikincil biyoplastiklerin teknik nitelikleri hakkında çok az şey bilindiğinden, biyoplastikler için en iyi atık arıtma senaryolarını belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Biyoplastiklerin geleneksel

anaerobik çürütme tesislerinde fermente edildiği ve biyogaza dönüştürüldüğü yaşam sonu senaryosu, büyük ölçekli uygulamanın uygulanabilir olarak kabul edilmesinden önce daha fazla araştırma ve optimizasyona ihtiyaç duyar.

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

4.2.a. Biyobazlı malzeme işlemeye elverişli kalıp tasarımı ve termal düzenlemeler

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünyada	Türkiye’de
THS 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Avrupa pazarında ürün ve makine teknolojileri THS 9 seviyesinde olup ticareleşmiş ürünlerin etkileri tartışılmaktadır. Bu konuda biyo-bazlı ve biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin mevcut durumunu ve esas olarak biyolojik bozunma ve geri dönüşümden oluşan özel bir kullanım ömrü sonuna sahip ambalajlamada kullanılan farklı ilgili süreçleri izlenmektedir. Bu konuda yüzlerce bilimsel literatür, patentler ve ticari bilgiler de dahil olmak üzere çalışma yapılmıştır. Türkiye de makine teknolojisi THS 8 seviyesinde olup sayılı araştırma yapılmaktadır.

C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

4.2.a. Biyobazlı malzeme işlemeye elverişli kalıp tasarımı ve termal düzenlemeler

Belirli bir plastik türünün bazı özellikleri, bir uygulamada dezavantaj, diğerinde avantaj olabilir; örneğin, biyo-bazlı plastik PLA'nın düşük su buharı bariyeri, bir su şişesi için bir dezavantajdır, ancak sebze ve meyveler gibi solunum yapan ürünler için paketleme konseptlerinde bir avantajdır.

PLA'dan yapılmış yenilikçi bir ürün çay poşetleridir. Bu çay poşetleri, PLA dokuma olmayanlara dayalıdır ve çay atıklarıyla birlikte endüstriyel olarak kompostlanabilir. Malzeme, ısıyla sızdırmazlığa izin vermek için genellikle yaklaşık %20-30 PP lifi içeren kağıt bazlı çay poşetlerinin yerini alma potansiyeline sahiptir.

Bu konuda Dünya da ve Türkiye de gerekli dozajlama ve karıştırma için çift vidalı ekstruder makine tasarım, imalat ve vida konfigürasyonu yapılmıştır.

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

4.2.a. Biyobazlı malzeme işlemeye elverişli kalıp tasarımı ve termal düzenlemeler

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Fizik Mühendisliği, Makine Mühendisliği, Mekatronik Mühendisliği, Nanoteknoloji Mühendisliği, Polimer Mühendisliği, Çevre Mühendisliği, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Kimya, Fizik, Biyoloji, Endüstri Ürünleri Tasarımı.

Otomotiv, gıda, ambalaj, sektörüne hizmet veren yüksek katma değerli plastik malzemeden ürün üreten; plastik sektöründeki üreticiler, Plastik Geri dönüşüm sektörü ve Plastik Makine imalat sektör temsilcileri bir arada çalışmalıdır.

Gıda, Kimya sektörü ve Makine İmalatı sektörleri bir arada çalışmalıdır.

Özel sektör, Üniversite ve Ar-Ge kuruluşlarından teknik destek almalıdır.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması

4.2.a. Biyobazlı malzeme işlemeye elverişli kalıp tasarımı ve termal düzenlemeler

Türkiye de üretilmeyen makinelerin ithalatını önlemek için TÜBİTAK TEYDEB platformunu kullanılmalıdır. Tübitak Yurt dışına sipariş edilecek makinelerin Yurt içinde imalatı için sipariş verecek firmaya kredi vermelidir. TEYDEB platformunda yeterliliği olan makine imalatı yapan firmalar bir araya getirilmelidir.

Sipariş vermek isteyen firma TEYDEB platformunda Makine imal edecek firmayı seçmelidir. Proje konusuna Üniversitelerdeki ilgili bölümlerde dahil edilmelidir. Aynı şekilde proje kapsamına hakemlere ilaveten ve danışman öğretim üyeleri atanmalıdır. Makine imal eden firma Ar-Ge merkezi kapsamında değerlendirilerek desteklerden faydalanır. Makine başarılı çalışırsa krediden yararlanan firma ödemesini makine imalatı yapan firmaya öder.

Bu sistem sadece makine imalatı için geçerli olmayıp diğer konularda çalışan bütün firmalar ve sektörler için geliştirilebilir.

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

(Kısa Vade: 1-3 yıl, Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla)

4.2.a. Biyobazlı malzeme işlemeye elverişli kalıp tasarımı ve termal düzenlemeler

- Ar-Ge süresi: Belirlenen Ar-Ge ve yenilik konularına göre değişerek 1 yıl ile 10 yıl arasında değişebilir.
- Orta vade
- Ortalama Bütçe: 5 milyon-10 milyon

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

Üniversite ve Ar-Ge merkezi olan firmaların proje kapsamında istedikleri özellikte makine ve ekipman yatırımı yapmaları gerekmektedir. Özellikle Devlet desteği alan Ar-Ge merkezi olan firmaların kâğıt üzerinde Ar-Ge yapmamaları, gerekli makinelere sahip olarak denemeler yapması ve sonucu ticarileştirebilmeleri lazımdır.

Teknolojik ilerlemenin sağlanabilmesi için ihtiyaçları doğru belirlemek ve bu ihtiyaçları çözmek için yurt içi firmalar ile ortak projeler yapmak gerekmektedir. Bu konuda Sanayi Üniversite iş birliklerinin zorunlu kılınması gerekmektedir.

Kritik Ürün/Teknoloji 4.3.

4.3. Biyobazlı malzemelerin geri kazanımına yönelik teknolojik çözümlerin geliştirilmesi

Öncelikli Ar-Ge ve Yenilik Konuları

- 4.3.a. Biyobazlı malzeme toplanması (Biyo bazlı, biyolojik olarak parçalanabilen ve fosil bazlı) ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, kompostlanması süreçlerinin iyileştirilmesi**
- 4.3.b. Biyobazlı malzeme için geleneksel plastiklerden ayrı geri dönüşüm akışlarının geliştirilmesi**
- 4.3.c. Uluslararası standartlarla uyumlu “Endüstriyel Kompostlama Tesisleri”nin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması amacıyla pilot gösterimlerin yapılması**

Kritik Ürün/Teknoloji 4.3.

4.3. Biyobazlı malzemelerin geri kazanımına yönelik teknolojik çözümlerin geliştirilmesi

A. Teknik Açıklamalar, Yenilikçi Özellikler, Hedeflenen Performans ve Metrikler

Plastikler hafif oluşları, farklı tekniklerle işlenebilirlikleri gibi birçok avantajları nedeniyle geniş bir uygulama alanına sahip olmakla birlikte petrol kaynaklarının gün geçtikçe azalması ve doğada çok uzun yıllar bozunmadan kalabildikleri için çevre kirliliklerine sebep olmaları nedeniyle alternatif malzeme arayışları devam etmekte ve bu konuda biyoplastiklerin kullanımı ve geliştirilmesi üzerine çalışmalar her geçen gün daha çok ilgi çekmektedir. Genel olarak 'biyoplastik' tanımı yapılırken plastik malzemenin biyobazlı, biyolojik olarak parçalanabilir ya da her iki özelliğe sahip olmasından yola çıkılmaktadır. Biyobazlı; malzemenin veya ürünün (kısmen) biyokütleden türetildiği anlamına gelirken biyobozunur malzemelerin ortamda bulunan mikroorganizmalar aracılığıyla su, karbondioksit ve kompost gibi doğal maddelere dönüşümü belirtilmektedir.

Biyo-ekonomünün önemli bir parçası olan biyoplastikler; ekonomik büyümeyi kaynakların tükenmesinden ve çevresel etkiden ayırma potansiyeline sahip, hızla büyüyen, yenilikçi bir endüstri olarak bilinmektedir. Biyoplastikler, farklı özelliklere sahip bir malzeme ailesidir ve üç ana grupta değerlendirilmektedir.

(1) Biyo-bazlı ancak biyobozunur olmayan plastikler: Biyo-bazlı polietilen (PE), Biyo-bazlı polipropilen (PP), Biyo-bazlı polietilentereftalat (PET), Biyo-bazlı poliamid (PA) vb.

(2) Biyo-bazlı, biyobozunur plastikler: Polilaktik asit (PLA), Polihidroksialkanoat (PHA), Polibutilen suksinat (PBS), Polialkilinefuranat (PAF) nişasta, selüloz vb.

(3) Biyobozunur ancak biyo-bazlı olmayan (fosil bazlı) plastikler: Polibutilen adipat tereftalat (PBAT), Polikaprolakton (PCL) vb.

Biyobazlı malzemelerin sürdürülebilirliği, üretim uygulamalarına, kullanım ömürlerine ve kullanım ömrü sonundaki işlemlere bağlıdır. Biyokütlelerin sürdürülebilir bir şekilde yetiştirilmesi de önem arz etmektedir. Biyo-esaslı ürünlerin çevre dostu olma avantajları bulunmakla birlikte yüksek üretim maliyetleri ve zayıf mekanik özellikler gibi bazı dezavantajları da vardır. Ancak, bu ürünleri üretmek için tarımsal atıklar gibi düşük maliyetli yenilenebilir kaynakları kullanarak üretim maliyetlerini azaltmak da mümkündür. Tarımsal üretim ve ormancılıktan elde edilen biyo kütle atığından biyobazlı plastik üretiminde faydalanmak kaynak

verimliliği ve iklimin korunmasına katkı sağlayabilir. Biyobazlı ürünlerin üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı genelde plastik sektörünün fosil kaynaklara bağımlılığını azaltma aracı olarak görülmektedir.

Dünya çapında, %100 biyobazlı polimerlerin yıllık üretimi şu anda ~2 milyon ton olup, biyolojik olarak parçalanabilir plastik bu miktarın üçte ikisini oluşturmaktadır. Buna karşılık, toplam fosil bazlı plastik üretimi şu anda yılda >380 milyon tondur. Biyoplastiklerin üretim maliyetlerinin geleneksel polimerlerden daha yüksek olması birçok uygulama segmentinde pazar paylarının büyümesini kısıtlamaktadır. Çoğu durumda, biyobazlı polimerlerin üretim maliyeti geleneksel polimerlerden %20 ila %100 daha yüksektir.

Biyobazlı polimerler geleneksel plastiklerin kullanıldığı pek çok alanda kullanılabilir. Hem çevresel faktörler hem üretim maliyetleri değerlendirildiğinde biyobazlı malzemelerin geri kazanımına/kullanımına yönelik çalışmaların hızlandırılması gerekmektedir.

Plastik atıklar toplanıp, ayrımı yapıldıktan ve temizlendikten sonra dört olası geri dönüşüm yolu vardır. Bunlardan birincil geri dönüşüm yüksek kalitedeki plastik hurdalar üzerinden gerçekleştirilen kapalı döngü geri dönüşüm sistemidir. Orijinal yapıya sahip ürünler üretmek için ya malzemenin yeniden kullanımı ya da hurda plastiğin kapalı döngü mekanik geri dönüşümü anlamına gelir. İkincil geri dönüşüm, atık plastiğin mekanik yollarla (vidalı ekstrüzyon, enjeksiyonlu kalıplama, şişirme kalıplama, vb.) daha az talep edilen bir ürüne dönüştürülmesini/düşürülmesini ifade eder. Üçüncül geri dönüşüm (kimyasal geri dönüşüm), plastik atıkları monomerik birimlere veya doğrudan diğer yararlı malzemelere depolimerize eden veya bozunduran kimyasal süreçleri tanımlamak için kullanılır. Dördüncül geri dönüşüm, düşük dereceli plastik atıkların yakılması yoluyla enerji geri kazanımını ifade eder. Plastikler yüksek verimli enerji kaynaklarıdır, yakıldıklarında ortaya çıkan ısı enerjisi buhar ve elektrik üretmek için kullanılır. Ancak aynı zamanda zararlı kimyasalların da atmosfere salınması nedeniyle bu yöntem son çare olarak değerlendirilmelidir.

Kompostlanabilir veya biyobozunur malzemeler için kullanıcı ayrımı net olarak söz konusu olmadığından bu atıklar birlikte toplanmaktadır ancak geri dönüşüm akışına yönlendirilmeden önce ayrılmaları gerekmektedir. Atıkların geri dönüştürülmesinde en önemli basamaklardan biri etkin ve iyi bir ayrım sağlanmasıdır. Yaygın kullanılan plastiklerin geri dönüşüm süresine biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerin karışması mekanik ve termal özelliklerde değişime sebep olabileceği gibi aynı zamanda yüzeyde inhomojeniteye, opaklığa veya kusurlara sebep olabileceğinden de istenmemektedir.

Çoğu ticari biyolojik olarak parçalanabilen biyoplastikler (ör. PLA ve PHA'lar) ortam koşulları altında veya mikroorganizmalar ile yavaş yavaş bozunur ve petrol esaslı malzemeler ile benzer

şekilde çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Plastiklerin çevrede biyolojik olarak parçalanması veya düzenli depolama alanları kontrolsüz metan emisyonlarına yol açabilir.

Biyobazlı malzemelerin geri kazanımı petrol esaslı malzemelerden daha zordur. Bu malzemeler yüksek sıcaklık veya mekanik proseslerde degradasyon eğilimindedir. Genelde uygulanan metot polimerin türüne bağlı olarak, atılan biyoplastik ya bir çöp sahasına gönderilmekte, çoğu (hepsi değil) petrol bazlı plastikler gibi geri dönüştürülmekte ya da endüstriyel bir kompost sahasına gönderilmektedir. Gelecekte, en yaygın biyoplastiklerin her biri için en iyi yaşam döngü yollarını bulmak önem taşımaktadır. Biyolojik geri kazanım normalde plastik ürünlerin yaşam döngüsüne yeniden dâhil edilecek plastik malzemeleri veya monomerleri geri kazanmayı amaçlayan, mekanik ve kimyasal gibi diğer geri dönüşüm seçeneklerine alternatiftir.

Plastik sektöründe yeşil dönüşüme; yenilenebilir, sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen biyobaz içeriğine sahip, biyobozunma ve kompostlanabilme özelliklerinin yanı sıra sera gazı emisyonlarını azaltarak da destek sağlayan biyo esaslı plastik malzemelerin ülkemizde;

- Uluslararası standartlarla tanımları yapılmış, sertifika şemaları ve türetilmiş ürün etiketleri mevcut olan biyoplastiklerin ülkemizde ilgili yönetmelik, tebliğ vb. ile tanımlanması
- Biyoplastiklerin toplanması, ayrılması, bertarafına yönelik ayrı akış yollarının oluşturulması
- Biyo-polietilen tereftalat (bioPET), biyo-polietilen (bioPE) ve biyo-polipropilen (bioPP) gibi biyolojik olarak parçalanamayan biyoplastiklerin geri dönüştürülmesi
- PLA, polihidroksialkonatlar (PHA), polialkilinefuranat (PAFs), termoplastik nişasta, selüloz asetat ve diğer selüloz türevleri gibi polimerlerin geri kazanım teknolojilerinin geliştirilmesi
- Bunlara ilave olarak doğal lifler, nişasta, selülozik liflerin, biyoliflerin kullanımı, bitkisel yağlardan elde edilen polioller kullanılarak poliüretan üretimi, biyobozunur polikarbonat kullanımı, polisülfürlerin yeniden kullanımı, sentezlerde çözücü olarak monoterpenlerin, iyonik sıvıların ve süper kritik akışkanların kullanılması, sentezlerde biyobazlı yüzey aktif maddelerin kullanımı (surfactin gibi), yanma geciktirici olarak tartarik asit gibi bir katkıının kullanılması, başlangıç maddeleri olarak bitkisel yağ, lignin, şeker, gliserin, tanin, sitrik asit vb. kimyasalların kullanımı, plastik malzemelerin sentezinde katalizör olarak enzimlerin kullanılması, sentezlerde organik çözücüler yerine sulu çözücü karışımlarının kullanılması, sentezlerde atom ekonomisine dikkate edilmesi, yan ürün veren tepkimelerden mümkün olduğunca kaçınılacak mekanizmaların önerilmesi, plastik malzemelerin biyobozunma mekanizmalarının (oligomerlerine, dimerlerine, monomerlerine, oradan da CO₂, H₂O, CH₄, H₂S dönüşümünün) belirlenip önerilmesi,

illa ki kullanılacak ise biyobozunur monomerlerden çıkılarak plastiklerin sentezlenmesi (butandiol, adipik asit, tereftalik asit, suksinik asit vb.), biyobozunurluk ile ilgili uluslararası standartların takip edilmesi (ISO 17088, EUROPE: EN 13432, North America: ASTM D6400), plastik üretiminde 4 R (recovery-, reuse-, recyle-, regenerate; enerjiyi geri kazanım-yeniden kullanım-geri dönüştürme-yenileme) ilkesine uyulması, biyobozunmanın gerçek zamanlı olarak takibinin yapılması, takip için kullanılacak teknolojinin düşük maliyetli, kolay uygulanabilir, minimum kalibrasyon ve bakım gerektiren türden olması, bu teknolojilerin ilk yatırım maliyeti yapılırken endüstri 4.0'a göre yapılması, plastik malzeme üretiminde Kaybedilen Yaşam Döngüsü (*Years of Life Lost*) hesaplanması ve olası iş kazalarının minimuma indirilmesi için teknoloji geliştirilmesi.

ÖNCELİKLİ AR-GE VE YENİLİK KONULARI

4.3.a. Biyobazlı malzeme toplanması (Biyo bazlı, biyolojik olarak parçalanabilen ve fosil bazlı) ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, kompostlanması süreçlerinin iyileştirilmesi

Atık yönetimi ve etkin geri dönüşüm prosesi için öncelikle atıkların tanımlanması ve ayrılması, sonrasında kırma ve boyut küçültme, plastik dışı malzemelerin ayrılması ve plastik karışımlarının birbirinden ayrılmasının sağlanması gerekmektedir. Kompostlanabilir veya biyobozunur malzemeler için kullanıcı ayrımı net olarak belirgin olmadığından bu atıkların endüstriyel kompost akışına yönlendirilmeden önce ayrılmaları gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan yöntemler:

- **Manuel ayırma yöntemi**; plastiklerin renk, şekil, etiketleme ve görünüm gibi özellikleri kullanılarak tanımlanması ve sınıflandırılmasına dayanmaktadır. Manuel ayırmanın etkin olabilmesi için doğru ve standartlara uygun etiketlemelerin yapılmış olması önemlidir. Makine esaslı ayırmalarda etkinlik artmakta ve kişisel hatalar elimine edilmektedir. Pek çok kompostlanabilir plastik sertifikalıdır ve DIN-CERTCO etiketi gibi bir etiket taşımaktadır.
- **Yoğunluk esaslı ayırma yöntemi**; plastikler yoğunluk farklılıklarına göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma için küçük parçalara ayırma (10-20 mm), temizleme ve eleme ön aşamalarını içermektedir. Bu işlemlerden sonra ayırım santrifüj, flotasyon ve yoğunluk farkına bağlı olarak sağlanmaktadır. Bu tür ayırma; otomatik yapılabilmesi, nispeten basit oluşu ve yüksek kapasiteli proseslere de uygulanabilir oluşu nedenleriyle tercih edilmektedir. Ancak kısmen yavaş bir proses oluşu ve yoğunlukları birbirine yakın plastikleri ayırmadaki güçlükler zayıf yönleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin PET ve PLA'yı veya PET ve Poly(butylene succinate-co-terephthalate) (PBST)'yi bu yöntemle ayırmak oldukça zordur.

Flotasyonla ayırmada plastiklerin hidrofobiklikleri ve yüzey gerilimlerinden yararlanır. Bu yöntemde polimerlerin ıslanabilirlikleri arasındaki fark yeterli olmadığında yüzey modifikasyonları uygulanabilir ancak ilave işlem yapılması ve ek kimyasal kullanımı ekstra atık oluşumuna sebep olabilir.

- **Triboelektrostatik ayırma;** tribo-elektrikleme ile elektrostatik ayırmada optimum yük yoğunluğu ve malzemelerin seçici olarak yüklenmesi, yüksek doğruluk düzeyinde ayırma elde etmek için önemli faktörlerdir. Bu teknikte ayırma verimliliğinde boyut çok etkilidir. Malzeme boyutunun belirli bir sınırın altına indirilmesi, ön arıtma adımlarında yüksek maliyet ve aynı tip plastikler arasında artan çarpışma gibi olumsuz etkilere de sahiptir ve ayırma verimini düşürür. Yöntemin avantajları ise düşük maliyeti, etkinliğinin yüksek ve çevreye etkisinin az oluşudur.
- **Spektral yöntemlerle tanımlama ve ayırma;** NIR en etkili yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca spektral ve dijital görüntülemenin bir arada kullanıldığı 'Hyperspectral Imaging' de yeni bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak burada iyi bir kütüphane oluşturulmasına ihtiyaç vardır.
- **Marker kullanarak ayırma;** otomatik olarak belirlenebilecek renklendiriciler, floresan madde kullanımı gibi markerların kullanımı ile tespit sağlanması.

Biyoplastiklerle ilgili sınıflandırmalar net olmadığı için kullanılacak standartlar, metodolojiler ve bunlarla ilgili kullanıcı bilgilendirmelerinin etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Tüm standartlar ve biyolojik olarak parçalanabilmeyi tanımlamak için kullanılan etiket ve sertifikaların uluslararası düzeyde uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda ilgili sertifikalar ve kuruluşlar aşağıda belirtilmiştir:

Biyobazlı plastikler: Biyobazlı veya kısmen biyobazlı PE, PET, PP, PVC vb. plastikler, geleneksel versiyonlarıyla aynı özelliklere sahiptir. Biyobazlı plastikler, teknik olarak fosil muadillerine eşdeğer olup, bir ürünün karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olurlar. Bir ürünü biyobazlı olarak tanımlarken "biyobazlı karbon içeriğini" veya "biyobazlı kütle içeriğini" belirtmek gerekmektedir. Bu ölçü birimleri birbirinden farklı olup, karşılaştırmalar yapılırken dikkate alınmalıdır. Biyobazlı malzemeler EN 16640:2015, EN 16785-1:2015, ISO 16620 4:2016 ve ASTM 6866-18 standartları doğrultusunda sertifikalandırılmakta olup, Avrupa ve ABD standardına dayalı sertifika şemaları ve üretilmiş ürün etiketleri mevcuttur- örneğin Belçika sertifika kuruluşu TÜV AUSTRIA, Belçika veya Alman sertifika kuruluşu DIN CERTCO.

Biyobozunur plastikler: Bir malzeme veya ürünün biyolojik olarak parçalanabilir olduğu ilan ediliyorsa, zaman çerçevesi, biyolojik bozunma düzeyi ve gerekli çevre koşulları hakkında bilgi gereklidir. Bu kapsamda ISO 17088, EN 13432/14995 veya ASTM 6400 veya 6868 sertifikalarına ait gereksinimlerin sağlanması ve uygun bir etiketle desteklemesi gerekmektedir. Örneğin biyoplastik malzemenin kompostlanabilirliği EN 13432 standardına göre akredite

laboratuvarlar tarafından test edilerek, TÜV Austria Belçika tarafından OK COMPOST INDUSTRIAL, OK HOME COMPOST ve Seedling olarak sertifikalandırılmakta ve sertifikaya ait etiket verilmektedir.

“OK COMPOST INDUSTRIAL”; etiketine sahip ambalaj veya ürünlerin en 13432 standardına göre endüstriyel kompostlama tesisinde, kontrollü koşullarda biyolojik olarak parçalanabilir olduğu garanti edilir. Bu logoyu taşıyan herhangi bir ürün, AB Ambalaj Direktifi'nin (94/62/EEC) gerekliliklerine uygundur.

“OK COMPOST HOME”; Avrupa çapında tanınan ve ev tipi bir kompost makinesinde ve/veya bahçe kompost yığnında biyoplastik malzemenin biyolojik olarak parçalanabilir ve kompostlanabilir olduğunu garanti eden bir sertifika türüdür.

“Seedling logosu”; bir biyoplastik malzeme veya nesnenin endüstriyel kompostlama tesisinde kompostlanabilirliğini ve kompostun çevre üzerinde olumsuz etkilerinin bulunmadığını gösteren bir logodur.

Biyoplastik malzemelerin üretiminde selüloz ve algler gibi gıda dışı mahsullerin (ikinci ve üçüncü nesil hammadde) kullanımı da son yıllarda araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Yenilikçi teknolojilerin genellikle tarlada ve/veya gıda endüstrisinde, mısır koçanı, sap, kabuk, küspe, posa vb. kaçınılmaz olarak büyük miktarlarda selülozik yan ürün olarak ortaya çıkan biyokütle ürünlere yöneldiğini görüyoruz. Biyokütlenin sürdürülebilir şekilde tedarik edilmesi ve kullanımında ISCC (International Sustainability Carbon Certification) sertifikası kullanılmaktadır. Özellikle biyobazlı PP, PE vb. üreticileri ISCC sertifikasıyla ürünlerini pazara sunmaktadır.

4.3.b. Biyobazlı malzeme için geleneksel plastiklerden ayrı geri dönüşüm akışlarının geliştirilmesi

Belirli malzeme türleri için ayrı geri dönüşüm akışlarının mevcut olduğu geleneksel benzerleriyle birlikte kolayca geri dönüştürülebilir. Örneğin PE akışındaki biyobazlı PE veya PET akışındaki biyobazlı PET.

- PLA için geri dönüşüm akışının geliştirilmesi
- Polimerik blendlerin geri dönüşümüne yönelik çalışmalar
- Kompozitlerin geri dönüşümüne yönelik çalışmalar

Toplama ve ayırma, atık yönetim sistemlerinin verimliliğini büyük ölçüde belirler.

Biyo esaslı atıkların geri kazanım şekli, biyoplastik malzeme türüne ve mevcut geri kazanım sistemine bağlıdır. Plastik türü ne olursa olsun, plastik atıklarının düzenli depolama alanlarına gönderilmesi, depolanması kaynak verimliliği açısından engel teşkil etmektedir, uygun imha ve geri kazanım süreçlerine bu atıkların tabi tutulmasının desteklenmesi gerekmektedir.

Biyoplastiklerin; (i) yeniden kullanım, (ii) mekanik geri dönüşüm, (iii) organik geri dönüşüm (endüstriyel kompost, ev kompost), (iv) enerji kazanım, (v) toprağa gömülmesi, (vi) kimyasal geri dönüşüm (hidroliz, alkoliz ve katalizörlerle termal depolimerizasyon) ve (vii) enzimatik depolimerizasyon olmak üzere çeşitli kullanım ömrü sonrası seçenekleri mevcuttur. Aynı geri dönüşüm akışlarının mevcut olduğu geleneksel muadillerinin yanı sıra biyoplastiklerin de kolayca geri dönüştürülebildiği bildirilmekte olup bu durumun ancak; uygun etiketleme, sınıflama, ayırma, toplama vb. ile sağlanabileceği açıktır. Ayrıca atık toplama ve ayırma, geri dönüştürülen biyo esaslı ürünlerin kalitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir.

Bu kapsamda öncelikli olarak aşağıdaki gereksinimlere ihtiyaç duyulmaktadır.

- Biyo esaslı malzemeleri uluslararası normlara göre tanımlamak, sertifikasyon şemaları oluşturmak, sınıflamak, etiketlemek,
- Atık yönetim sistemine yönetmelik, tebliğ vb. ile dahil etmek,
- Mevcut altyapının biyo esaslı malzemelerin toplanması, ayrılması vb. amacıyla revize edilmesi, özel ayırıcı sistemler için ek yatırım yapılması
- Kontaminasyon riskini azaltmak için malzemeleri ayırmada (görsel olarak plastikleri kompost veya fosil bazlı olarak ayırmak güç) etkili olduğu bildirilen NIR (near infrared) optik ayırma teknolojilerinin kullanımı (Örneğin NIR ile PLA'nın PET'den kolaylıkla ayrılabilirdiği bildirilmekte)
- Endüstriyel kompostlama tesisi yer gösterimi, ekipman, altyapı yatırım
- Kompost fabrikasında biyolojik olarak parçalanabilen plastik ile biyolojik olarak parçalanamayan plastiği ayıracak altyapı

Biyoplastiklerin geri dönüşüm akış yollarını belirlerken biyobazlı ve biyobozunur olmak üzere 2 ayrı ayrı akış yollarında değerlendirilmesinde fayda vardır.

Biyobazlı plastikler için akış yolları

- Mekanik geri dönüşüm
- Kimyasal geri dönüşüm
- Enerji kazanım
- Depolama

Biyobozunur plastikler için akış yolları

- Mekanik geri dönüşüm
- Kimyasal geri dönüşüm
- Enzimatik geri dönüşüm
- Kompostlama

- Enerji kazanımı
- Depolama

Tek kullanımlık çatal-bıçak, pipet, ambalaj vb. ürünlerde biyobozunur ve kompostlanabilir plastik ürünlerin kullanılması, bir atık yönetimi seçeneği olarak endüstriyel kompostlamayı güçlendirdiği ve atık yönetimi verimliliğini artırmaya yardımcı olduğu bildirilmektedir. Biyoplastiklerin yeniden kullanılmadığı ve/veya geri dönüştürülemediği durumlarda enerji üretiminde kullanımı da mümkündür.

4.3.c.Uluslararası standartlarla uyumlu “Endüstriyel Kompostlama Tesisleri”nin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması amacıyla pilot gösterimlerin yapılması

Endüstriyel ürünlerin kompostlanması genellikle kontrollü koşulların (örneğin sıcaklık, nem, havalandırma) verildiği endüstriyel kompostlama tesislerinde gerçekleştirilir. Kompostlama şu an en çok kullanılan teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyobozunur plastikler, ayrışma sırasında zararlı kalıntılar üretmeden mikro organizmalar tarafından ayrıştırılabildiği için genellikle çözüm olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, biyobozunurluk süreci belirli çevresel koşullara bağlıdır (sıcaklık, nem, bakteri, mantar, enzim, gibi). Klasik plastikler gibi oksijen ve nem yokluğu ve düşük sıcaklıklarda verimli şekilde biyo bozunma gerçekleşmemektedir.

‘Biyolojik olarak parçalanabilen’ tanımlamak için kullanılan etiket ve sertifikaların küresel olarak uyumlu hale getirilmesi önem arz etmektedir. Biyo-bazlı atıkların endüstriyel kompostlanabilirliğe ilişkin Avrupa normu EN 13432 kriterlerini karşılaması gerekir.

Kompostlanabilir plastiklerin kullanımı, karışık atıkları organik geri dönüşüme (kompostlama) uygun hale getirerek geri kazanımdan geri dönüşüme geçişi sağlamaktadır. Bu nedenle organik atıkların toplanması için kompostlanabilir plastik poşetlerin kullanımı, ayrıma gerek olmaması nedeniyle tercih edilmektedir.

Ayrıca kompostlama tesislerinin konumu ve sayısı, atıkların bu tesislere taşınma süreci ve maliyetler de değerlendirilmesi gereken konular arasında yer almaktadır.

PLA'nın kompostlama süresi 6-8 haftayı aştığı için genellikle kompostlama istenmemektedir.. PLA geri dönüşümü için ek teşvikler sunulabilir ya da daha uyumlu PAH gibi polimerlerin kullanımları teşvik edilebilir. Tam biyolojik bozulma yerine depolimerizasyon yönünde teşvikler yapılabilir.

Biyobozunur, kompostlanabilir ürünler EN 13432'ye göre sertifikalandırılmaktadır. Bu kapsamda “OK COMPOST INDUSTRIAL” olarak sertifikalandırılan ürünler; (i) karakterizasyon, (ii) biyobozunma, (iii) parçalanma ve (iv) ekotoksitite vb. testlere tabi tutulur:

(i) Karakterizasyon: Ağır metallerin, florin ve uçucu katıların ürün içeriğini belirleyen kimyasal testler

(ii) Biyobozunma: Ambalaj veya plastik malzemenin 58 +/- 2 °C'de 6 ay içinde organik karbonun >%90'ının karbondioksite dönüşme kabiliyetini ölçer. Test EN ISO 14855-1:2012 standardına göre yapılır.

(iii) Parçalanma: Maksimum 12 hafta boyunca kontrollü kompostlama koşulları altında ambalajın nasıl parçalandığını değerlendirir. Testin sonunda, orijinal test malzemesinin >%90'ı, ISO 16929:2019 standardına göre 2 mm'lik fraksiyon elekten geçmelidir.

(iv) Ekotoksosite: Test, OECD 208:2006 standardını kullanarak parçalanma testinden gelen kompost üzerindeki olumsuz etkileri değerlendirir. Bitki üzerindeki ekotoksik etkiler, biri ambalaj malzemesi eklenerek üretilen ve diğeri onsuz üretilen iki kompost karşılaştırılarak değerlendirilir. Her iki bitki türünün numune kompostlarının çimlenme oranı ve bitki biyokütlesi, karşılık gelen boş kompostla karşılaştırıldığında %90'dan daha yüksek olmalıdır.

“OK COMPOST HOME” olarak sertifikalandırılmış ise biyobozunma: 20-30 °C'de 12 ay içinde organik karbonun >%90'ının karbondioksite dönüştürülmesini gerektirir. Parçalanma aşamasında ise maksimum 26 hafta boyunca kompost ortamda, orijinal test malzemesinin en az %90'ının 2 mm'lik fraksiyon elekten geçmesi beklenmektedir.

Kompostlama tesisi, katı atığın gelir elde etmek veya gelir getirmeyen kullanım için kompostlaştırıldığı fiziksel saha veya operasyon yeri anlamına gelir. Ticari kompost yığınları büyük miktarlarda nem içerdiğinden, yüksek ısıda tutulduklarından ve sık sık havalandırıldıklarından, biyobozunur maddeler en iyi şekilde ticari bir kompostlaştırma sisteminde bertaraf edilir. Ticari kompostlama sistemlerinde “OK COMPOST INDUSTRIAL” sertifikalı ürünler maksimum 12 hafta içerisinde evde kompostlamaya göre daha hızlı bozunmaktadır.

Kompostlamanın bir amacı da tarımsal üretim için besin bakımından zengin toprak üretmektir. Biyobozunur plastikleri mekanik geri dönüşüm yerine endüstriyel kompostlama tesisinde kompost haline getirilmesi ve kullanımının, topraktaki karbon miktarının artırılmasında ve CO₂ emisyonlarının azaltılmasında etkili olduğu bildirilmektedir.

Ticari kompost üretim tesislerinde, yüksek kapasite gereksinimleri vardır. Kompostlama makinesinin verimliliği, bitmiş kompostun satış hacmini doğrudan etkiler. Bu kapsamda endüstriyel kompost makinalarının özellikleri ön plana çıkmakta ve tam hidrolik kompost döndürücülerin yüksek performansa sahip olduğu bildirilmektedir.

Tüketicilerin etiketli biyo esaslı ürünleri ayırmaları, belediyeler veya özel işletmeler tarafından ise bu ürünlerin kaldırım kenarında veya binalara yakın alanlardan toplanması ve kompost tesislerine ulaştırılması için programların oluşturulması gerekmektedir.

Ülkemizdeki küçük, orta ve büyük ölçekteki aktif kompost tesislerinin tespiti yapılarak kompostlanabilir plastikler için yer göstermeye uygunluğu değerlendirilebilir.

Konu kapsamında daha detaylı bilgi aşağıda belirtilen literatürden bakılabilir:

- https://www.bpf.co.uk/topics/Standards_for_compostability.aspx
- <https://www.ecolstudio.com/en/certified-compostability-ok-compost.html>
- Fredi, G., Dorigato, a., 2021. Recycling of bioplastic waste: A review, Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 159-177.
- https://docs.european-bioplastics.org/publications/pp/EUBP_PP_Soil_health.pdf
- https://www.turkeycomposts.org/dosya/kaynaklar/Belediyeler_Icin_Kompost_Rehberi.pdf (Biyo esaslı atıkları toplama ve kompostlamaya ilişkin örnekler)
- <https://www.goodstartpackaging.com/find-a-composting-service/>

B. Dünyada ve Türkiye’de Teknolojik Hazırlık Seviyeleri

4.3.a. Biyobazlı malzeme toplanması (Biyo bazlı, biyolojik olarak parçalanabilen ve fosil bazlı) ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, kompostlanması süreçlerinin iyileştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünyada	Türkiye’de
THS 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4R kuralının (yani Enerjiyi Azalt, Yeniden Kullan, Geri Dönüştür ve Geri Kazan) uygulama bilgisi, çevredeki atığı en aza indirmek için zorunludur. Ancak, geri dönüşümden gerçek bir fayda elde etmek için, malzeme imhası doğru bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Geri dönüştürülebilir ve geri dönüştürülemez plastiğin aynı kutuda karıştırılması nedeniyle öncelikli olarak bunların yeniden tasnif edilmesi gerekmektedir.

Biyobazlı malzemeler için geri dönüşüm süreci ve teknolojisi şu anda patentlerde ve bilimsel makalelerde ele alınmaktadır ve henüz büyük ölçekte değildir. Geri dönüşüm kapsamında başlıca hedefler;

- Ayırma
- Mekanik geri dönüşüm
- Hidroliz
- Alkoliz
- Termal katalitik destekli depolimerizasyon yoluyla kimyasal geri dönüşüm
- Enzimatik depolimerizasyon
- Piroliz ve yakma (CO₂ ve diğer gazların emisyonu)

içerir.

Biyobazlı plastiklerin özellikle mekanik geri dönüşüm sonrası mekanik performansının iyileştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, petrol esaslı türevlerinden daha kapsamlı geri dönüşüm ve atık toplama planlarının yapılması gerekmektedir. Başarılı bir geri dönüşüm süreci için biyoplastik ve bunların kompozit atık akışının diğer plastik atık akışından ayrı olarak toplanması/yapılması gerekir.

Avrupa Parlamentosu Çevre Komitesi tarafından onaylanan Yeni Döngüsel Ekonomi Eylem Planı raporuna göre, plastik geri dönüşüm oranlarında artış olması ve plastik geri dönüşüm oranlarının artması için ikincil hammaddeler için bütünleşmiş, işlevselleştirilmiş pazarın hayata geçirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu kapsamda geliştirilecek mevzuat ve yönetmelikler ile doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye geçiş daha kolay döneceği ifade edilmiştir.

Yasa dışı atık ihracatı veya düzenli depolama ile ilişkili çevresel maliyetlerin göz önüne alınması ve AB mevzuatlarına benzer bir mevzuat uygulanması önerilir. Ayrıca, altyapı yatırımlarını ve geri dönüştürülmüş malzeme talebini desteklemeyi amaçlayan mali teşviklerin artırılması önerilir.

4.3.b. Biyobazlı malzeme için geleneksel plastiklerden ayrı geri dönüşüm akışlarının geliştirilmesi

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünyada	Türkiye’de
THS 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3.c. Uluslararası standartlarla uyumlu “Endüstriyel Kompostlama Tesisleri”nin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması amacıyla pilot gösterimlerin yapılması

Teknolojik Hazırlık Seviyeleri	Dünyada	Türkiye’de
THS 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
THS 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
THS 9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C. Dünyada ve Türkiye’deki Mevcut Duruma İlişkin Başarılı Örnekler

4.3.a. Biyobazlı malzeme toplanması (Biyo bazlı, biyolojik olarak parçalanabilen ve fosil bazlı) ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, kompostlanması süreçlerinin iyileştirilmesi

NIR sistemlerini kullanarak: PLA- kartonu karışık bir ambalajdan PLA’nın etkili bir şekilde çıkarabildiği gösterilmiştir. (Bknz. S. Foster, Final report: Domestic mixed plastics packaging waste options, Project code: MDP017, June 2008).

Floresant boya ve renklendirme tekniği ile ayrıştırma: MITSUI TOATSU CHEM INC biyolojik olarak parçalanabilen alifatik polyesterleri işaretlemek için floresan beyazlatıcı boyalar kullanmıştır. Boyaların uygulaması kapsamında floresan mürekkepler veya optik olarak okunabilir barkod desenleri oluşturularak optik okunabilir. BASF tarafından alifatik polyesterleri etiketlemek için floresans boyaların kullanıldığı rapor edilmiştir.

FRAUNHOFER-ENSTİTÜSÜ FÜR VERFAHRENSTECHNIK UND VERPACKUNG IVV PLA'nın solvolisis prosesi ile (CreaSolv®) geri kazanım sağlandığını belirtmiştir.

Mekanik geri kazanım kapsamında EREMA [Engineering Recycling Maschinen und Anlagen Ges.m.b.H.<<https://www.erema.com/en/home/>>] ve NEXT GENERATION RECYCLINGMASCHINEN GMBH (NGR) [Next Generation Recyclingmaschinen GmbH.<<http://www.ngr.at/en/home/>>] şirketlerinin üretim tesisleri bulunmaktadır.

4.3.b. Biyobazlı malzeme için geleneksel plastiklerden ayrı geri dönüşüm akışlarının geliştirilmesi

Biyobazlı malzemeler için toplama/ayrıştırma işlemi geri kazanımın en önemli basamağını oluşturmaktadır. Her bir atık özelinde geri dönüşümün yapılabilmesi için atıkların oluştukları an türlerine göre ayrıştırılması ve ayrı olarak toplanması, biriktirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda plastik kompostlama ve geri dönüşüm kutularının insanların erişebilecekleri yerlerde (alışveriş merkezlerinde, parklarda, restoranlarda, sokaklarda vb.) olması kaynağında ayrı toplanmasına destek olacaktır. Geri dönüştürülebilir ve kompostlanabilir ambalaj atıklarını ayırma ve toplama kutularına ait örneklere aşağıdaki web sitelerinden ulaşılabilir:

- https://www.upi.com/Top_News/US/2022/07/01/California-plastics-recycling-bill-packaging/7001656715116/
- <https://pelacase.ca/blogs/news/5-things-you-probably-didnt-know-about-compostable-plastics>
- <https://www.cambridgeid.co.uk/mission-compostable>
- <https://www.eastwaste.com.au/could-your-takeaway-container-or-cup-be-composted/>

Ülkemizde 2017 yılında Sıfır Atık Projesinin tüm Türkiye'de uygulanmasının temeli atılmış ve bu projenin yürütülmesi açısından Sıfır Atık Yönetmeliği 12 Temmuz 2019 tarihli Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Biyobazlı atıkları öncelikli olarak tanımlama ve etiketleme yaptıktan sonra bu yönetmelik çerçevesinde kaynağında ayrı toplanmasına dair projeler geliştirilebilir.

4.3.c. Uluslararası standartlarla uyumlu “Endüstriyel Kompostlama Tesisleri”nin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması amacıyla pilot gösterimlerin yapılması

Avrupa’da ve Amerika’da evlerden kompostlanabilir ürünleri toplayan ve bunları kompost tesislerine taşıyan firmalar mevcuttur. Eş zamanlı olarak internet aracılığı ile size en yakın hizmet sağlayıcısı ve/veya kompost tesisi bulunabilir. Belediyeler özel izinli kompost tesislerine şahıs veya firmaların ulaşabilmeleri, en yakın hizmet sağlayıcılarını belirlemelerine yönelik web sitelerinde yer gösterimi yapabilir. Örnek olarak ilgili link incelenebilir: (<https://www.goodstartpackaging.com/find-a-composting-service/>)

D. Ar-Ge ve Yenilik Sürecinde Biraraya Gelmesi Gereken Disiplinler ve Sektörler

4.3.a. Biyobazlı malzeme toplanması (Biyo bazlı, biyolojik olarak parçalanabilen ve fosil bazlı) ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, kompostlanması süreçlerinin iyileştirilmesi

Malzemeler için uygun etiketleme, barkodlama sistemlerinin yapılması, gerekli olan kodların oluşturulması sistemin sağlıklı yürümesi için gerekmektedir. Atıkların toplanması ve tasnifi için etkin bir atık toplama mekanizması oluşturulmalıdır. Bunun için öncelikle yerel yönetimler, çevre ve şehircilik bakanlığı uygun yönetmelik ve regülasyonları oluşturmalıdır.

Geri dönüştürülebilir ve kompostlanabilir ambalaj atıklarını ayırma ve toplama kutularına ait örneklere aşağıdaki web sitelerinden ulaşılabilir:

- https://www.upi.com/Top_News/US/2022/07/01/California-plastics-recycling-bill-packaging/7001656715116/
- <https://pelacase.ca/blogs/news/5-things-you-probably-didnt-know-about-compostable-plastics>
- <https://www.cambridgeid.co.uk/mission-compostable>

Avrupa’da ve Amerika’da evlerden kompostlanabilir ürünleri toplayan ve bunları kompost tesislerine taşıyan firmalar mevcuttur. Eş zamanlı olarak internet aracılığı ile size en yakın hizmet sağlayıcısı ve/veya kompost tesisi bulunabilir. Belediyeler özel izinli kompost tesislerine şahıs veya firmaların ulaşabilmeleri, en yakın hizmet sağlayıcılarını belirlemelerine yönelik web sitelerinde yer gösterimi yapabilir. Örnek olarak ilgili link incelenebilir (<https://www.goodstartpackaging.com/find-a-composting-service/>)

Tüketici sonrası plastiklerin geri dönüşümündeki bir diğer sorun, plastik ambalajlar ve kaplar büyük bir hacim kapladığından, yüksek nakliye ve toplama maliyetleriyle ilgilidir; bu nedenle plastiklerin taşınmasında daha ekonomik olan ve daha yoğun bir biçime indirgeyen

öğütücülerin/pressleyicilerin kullanılması gereklidir. Bu kapsamda özellikle yerel belediyeler, ayrıştırma merkezleri ve geri dönüşüm merkezleri proses şartları ve ekipmanların finansmanında beraber çalışabilir.

Yerel yönetimler, çevre ve kimya endüstrisi bir arada çalışmasının yararlı olacağı öngörülmektedir.

Çevre, Kimya, Kimya Mühendisliği, Gıda Mühendisliği, Polimer Mühendisliği, Malzeme Mühendisliği, Makine Mühendisliği Bölümleri bir arada çalışmalıdır.

4.3.b. Biyobazlı malzeme için geleneksel plastiklerden ayrı geri dönüşüm akışlarının geliştirilmesi

Çevre, Kimya, Kimya Mühendisliği, Gıda Mühendisliği, Polimer Mühendisliği, Malzeme Mühendisliği, Makine Mühendisliği Bölümleri bir arada çalışmalıdır.

4.3.c. Uluslararası standartlarla uyumlu “Endüstriyel Kompostlama Tesisleri”nin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması amacıyla pilot gösterimlerin yapılması

Çevre, Kimya, Kimya Mühendisliği, Polimer Mühendisliği, Malzeme Mühendisliği, Makine Mühendisliği, Ziraat Mühendisliği Bölümleri bir arada çalışmalıdır.

Özel sektör ve Kamu Kurumlarından temsilciler bir arada çalışmalı. Özellikle plastik sektörü, Belediyeler, geri dönüşüm firmaları, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, TÜBİTAK MAM, TSE vb...

Belediyeler: Biyo-esaslı malzemelerin toplanması

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: Biyo-esaslı atıkların toplanması, ayrılması, bertarafına, endüstriyel kompostlama tesislerinin özelliklerine yönelik yönetmelik, tebliğlerin oluşturulması, test, analiz, sertifikasyon vb. için firmaların yetkilendirilmesi.

E. Ar-Ge, Yenilik, Demonstrasyon İşbirliği Modeli ve Destek Mekanizması

4.3.a. Biyobazlı malzeme toplanması (Biyo bazlı, biyolojik olarak parçalanabilen ve fosil bazlı) ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, kompostlanması süreçlerinin iyileştirilmesi

- Toplanması ve ayrıştırma: Belediye ve Yetkili kuruluşlar
- Geri kazanım: Üniversite-Araştırma Enstitüsü-Sanayi

Ayrı ayrı yürüyen projeler olabileceği gibi bunların ortak bir platform aracılığıyla izlenebilir olması sürecin hızlı ilerlemesine ve kazanımların paylaşımı ile gelişmesine olanak tanıyacaktır.

4.3.b. Biyobazlı malzeme için geleneksel plastiklerden ayrı geri dönüşüm akışlarının geliştirilmesi

Orta ve büyük ölçekli projeler

4.3.c. Uluslararası standartlarla uyumlu “Endüstriyel Kompostlama Tesisleri”nin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması amacıyla pilot gösterimlerin yapılması

Orta ve büyük ölçekli projeler

F. Zaman ve Bütçe Tahminleri

(Kısa Vade: 1-3 yıl, Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla)

4.3.a. Biyobazlı malzeme toplanması (Biyo bazlı, biyolojik olarak parçalanabilen ve fosil bazlı) ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, kompostlanması süreçlerinin iyileştirilmesi

- Ar-Ge süresi: Orta Vade: 3-5 Yıl
- Ayırılması gereken tahmini bütçe: 10 milyon TL
- Bu kritik ürün/teknoloji için hedeflenen vade: Orta vade

4.3.b. Biyobazlı malzeme için geleneksel plastiklerden ayrı geri dönüşüm akışlarının geliştirilmesi

- Ar-Ge süresi: Orta Vade: 3-5 yıl, Uzun Vade: 5 yıldan fazla
- Ayırılması gereken tahmini bütçe: 20 milyon TL
- Bu kritik ürün/teknoloji için hedeflenen vade: Orta vade

4.3.c. Uluslararası standartlarla uyumlu “Endüstriyel Kompostlama Tesisleri”nin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması amacıyla pilot gösterimlerin yapılması

- Ar-Ge süresi: Orta Vade: 3-5 yıl
- Ayırılması gereken tahmini bütçe: 10 milyon TL
- Bu kritik ürün/teknoloji için hedeflenen vade: Orta vade

G. Teknolojik İlerlemenin Sağlanmasında Kritik Hususlar

Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

Mevzuat ve yönetmelikler hala geliştirilmektedir.

Tablo 4.1.’de biyobazlı plastiklerin yaygın kullanım ömrü sonunda elden çıkarma ortamları ve her biriyle ilgili yöntem, standart ve sertifikalar sunulmaktadır. Sadece endüstriyel kompostlamanın başarılı/başarısız standartlarına dayalı sertifikalara sahip olduğu

görülmektedir. Diğer metotlar kapsamında çalışmalar devam etmektedir. Evsel ve endüstriyel kompostlar arasındaki koşul farklılıkları biyoplastiklerin biyoparçalanmasında önemli farklılıklara neden olmaktadır. Tabloda belirtilen "sertifikaların" yalnızca bir ürün veya malzemenin ilgili test yöntemine göre test edildiğini ve onaylandığı anlamına gelir ve gerçek biyolojik bozunma kapsamında değerlendirme yapılması uygun değildir. Ancak konu kapsamındaki test metot ve standartları gelişim göstermektedir. Sonuç itibarı ile sertifikasyon kapsamında önümüzdeki yıllarda revizyonlar olabilir.

Tablo 4.1. Atıkların değerlendirilmesi/sınıflandırılması kapsamında standartlar, test metotları ve sertifikalar

	Test Metot	Standart	Sertifikalandırma
Endüstriyel kompostlama	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM D5338 • EN 14046 • ISO 14855 	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM D6400 • EN13432 • ISO 17088 	BPI Compostable; TÜV Austria; Compostable
Evlerde yapılan kompostlama	Henüz hazır değil	AS 5810	TÜV Austria
Denizde biyolojik olarak parçalanabilir	ASTM D6691	(Önceki standart ASTM D7081 ancak bu standart revize edilmesi için çalışmalar yapılmaktadır)	TÜV Austria
Toprakta biyolojik olarak parçalanabilir	ASTM D5988 ISO 17556	EN 17033 ISO 23517	TÜV Austria

Teknik Altyapılar

Test ve sertifikasyon alt yapısı yeterli değildir. Atık biyoplastiklerin biyobozunmasını değerlendirmek için standartlar ve sertifikalar geliştirmek için yapılması gereken ve dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Markalar, üreticiler, düzenleyiciler ve bilim adamları, çevreye kirlilik olarak girmesi muhtemel malzemeleri atmanın gerçek etkisini dikkate almalıdır.

Örneğin bazı üreticiler geliştirdikleri biyobazlı malzemeyi belirli ortamlarda biyolojik bozunma iddiasında bulunurken ASTM 5511 (anaerobik koşullar için) veya ASTM 6691 (deniz ortamlarında aerobik plastik biyolojik bozunmayı ölçmek için kullanılan bir test yöntemi) gibi

test yöntemlerine başvurur. Ancak bu test yöntemleri ve sertifikalar hala gelişme aşamasındadır ve test metot ve yöntemlerinde hala bazı tutarsızlıkların olduğu görülmektedir.

Biyoplastikler, küresel standartlara uygunluğun yanı sıra çeşitli sertifikalarla da denetlenmektedir. Örneğin;

ASTM D6866 Fosil karbona kıyasla yeni karbonun (biyokütle karbon) miktarını (%) belirleyen test yöntemi

ASTM D6400 Kompostlanabilir (parçalanma, minerilizasyon/doğal bozunma, toksisite) plastikler için spesifikasyon/test yöntemi

ASTM D6868 Kağıt ve diğer kompostlanabilir plastik kaplı kağıt, karton ve diğer liflerden yapılmış ambalaj ve yemek servisi ürünleri için şartname.

Biyobozunur Ürünler Enstitüsü (BPI) ASTM D6400 ve ASTM D6868 (varsa) standartlarının tüm gerekliliklerini karşılayan ürünler için bağımsız bir sertifikasyon programı sağlar. ABD ve Kanada'daki belediyeler ve kompost firmaları BPI tarafından geliştirilen bu şartnameler tanınmaktadır.

Plastiklerin biyobozunurluğu ve kompostlanabilirliği ile ilgili ana ISO ve EN standartları; EN ISO 10210:2017, EN 14995:2006, EN 13432:2000, EN 14046:2003, EN 17033:2018, ISO 17088:2012, EN ISO 14855-1:2012 ve EN ISO 14855-2:2018, EN ISO 16929:2019, EN ISO 20200:2015, ISO 23977-1:2020 ve ISO 23977-2:2020, EN ISO 14853:2017 EN ISO 14851:2019, EN ISO 14852:2018, EN 17417:2020, EN ISO 10634:2018 , EN ISO 14593:2005, EN ISO 11733:2004 , EN ISO 17556:2019 , EN ISO 11266:2020 , EN ISO 15985:2017 , EN ISO 18830:2017, EN ISO 19679:2020, ISO 13975:2019, ISO 22404:2019, ISO/DIS 23517-1 olarak özetlenebilir. Ancak yukarıda da belirtildiği gibi biyobazlı malzemelerin kullanımı/üretimi geliştikçe standartlarda da belli revizyonların olacağı öngörülmektedir.

İnsan Kaynakları

Üniversitelerde henüz geri kazanım teknolojileri alanında yeterli sayıda insan kaynağı bulunmamaktadır. Özellikle TÜBİTAK 1001, 3501, 1003 gibi çağrılarda öncelikli alan kapsamında geri dönüşüm üretim teknolojileri altında proje çağrıları açılması ve desteklenmesinin uygun olacağı öngörülmektedir.

Destek ve Teşvikler

Hamle, 1507, 1505 gibi çağrılarda Üniversite-Sanayi İşbirliklerinin teşvik edilmesi yeni teknolojilerin kazanımı ve literatürün incelenmesi kapsamında yararlı olacağı öngörülmektedir.

Diğer

- Maliyet açısından üretilecek biyoplastiklerin ve biyobozunur plastiklerin geleneksel plastik malzeme maliyetleriyle kıyaslanabilir hâle getirilmesi
- Tüketici ve kullanıcı alışkanlıklarının değiştirilmesi
- Uygun yasal düzenlemelerle atık yönetiminin işlerliğinin sağlanması ve tüketici bilinçlendirme ile atık ayrımı ve geri dönüşümün etkinliğinin sağlanması
- Gerekli olan standardizasyonların yapılması
- Uygun barkodlama, etiketlemelerin yapılması

EK 1. Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası Plastik Sektörü Danışma Grubu Üyeleri

No	Ad-Soyad	Kurum/Kuruluş
1	Prof. Dr.Yusuf Z. MENCELOĞLU (Moderatör)	Sabancı Üniversitesi
2	Prof.Dr. Abdülmecit GÜLDAŞ	Gazi Üniversitesi
3	Prof. Dr.ahmet Erkan KIDEYŞ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
4	Prof. Dr.Ahmet Tuncer ERCİYES	İstanbul Teknik Üniversitesi (Emekli)
5	Prof. Dr.Akın AKINCI	Sakarya Üniversitesi
6	Prof. Dr. Ayşe AYTAÇ	Kocaeli Üniversitesi
7	Dr. Burçin Özbay KISASÖZ	Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi
8	Prof Dr. Cemil ALKAN	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
9	Doç.Dr Günseli Bayram AKÇAPINAR	Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi
10	Prof. Dr.Halil İbrahim ÜNAL	Gazi Üniversitesi
11	Prof. Dr.Hayal Bülbül SÖNMEZ	Gebze Teknik Üniversitesi
12	Prof.Dr. Hüseyin YILDIRIM	Yalova Üniversitesi
13	Prof. Dr.İskender YILGÖR	Koç Üniversitesi
14	Prof.Dr. Mehmet Atilla TAŞDELEN	Yalova Üniversitesi
15	Prof.Dr. Memet Vezir KAHRAMAN	Marmara Üniversitesi
16	Prof.Dr. Mustafa ERSÖZ	Selçuk Üniversitesi
17	Prof.Dr. Mustafa Pınar MENGÜÇ	Özyeğin Üniversitesi
18	Dr. Nuray KIZILDAĞ	Gebze Teknik Üniversitesi
19	Prof. Dr.Onuralp ULUER	Gazi Üniversitesi
20	Doç. Dr.Saliha ÇETİNYOKUŞ	Gazi Üniversitesi
21	Doç. Dr.Sedat GÜNDOĞDU	Çukurova Üniversitesi
22	Dr.Serkan GÜÇLÜ	Sabancı Üniversitesi

23	Dr.Serkan ÜNAL	Sabancı Üniversitesi
24	Prof.Dr. Tarık EREN	Yıldız Teknik Üniversitesi
25	Doç.Dr. Zafer GEMİCİ	Yıldız Teknik Üniversitesi

EK 2. Yeşil Büyüme Teknoloji Yol Haritası Plastik Sektörel Odak Grubu Üyeleri**Moderatör:** Yavuz EROĞLU - Türk Plastik Sanayicileri, Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı (PAGEV)

No	Ad-Soyad	Kurum/Kuruluş
1	Abdullah BOYET	AkPlas Plastik Kalıp Sanayi
2	Abdullah DEMİRCİ	MİKROSAN MAKİNA
3	Ahmet MERİÇ	PAGEV
4	Ali GÖRÜR	ERMAKSAN
5	Arzu YALÇIN MELİKOĞLU	GEMA Elektro Plastik ve Elektronik San. Dış Tic. A.Ş.
6	Bilal Nadir GÖK	Adanus Plastik
7	Burak AKDİKMEN	Kompozit Sanayicileri Derneği
8	Burak EVRENKAYA	SER REZİSTANS
9	Burç ANGAN	HÜRMAK MAKİNA
10	Bülent İLLEZ	Kompozit Sanayicileri Derneği
11	Bülent YILMAZ	SAFİ REZİSTANS
12	Cem KOÇAK	MONOMER EKSTRÜDER
13	Cihan Ergün	ŞENMAK MAKİNA
14	CİHAT ARDA	Kompozit Sanayicileri Derneği
15	Çağla BEYENAL	BERİCAP Kapak
16	Derya ERÇIKAN	Kompozit Sanayicileri Derneği
17	Doğu KAYA	Kauçuk Derneği
18	DR. AYHAN EZDEŞİR	PETKİM/SOCAR
19	DR. BETÜL TÜREL ERBAY	ELİF plastik
20	DR. ÜMÜT GÖKHAN MAKAL	RAVAGO PETROKİMYA ÜRETİM A.Ş.
21	DR. YAKUP ÜLÇER	RAVAGO

22	Esin ÖZARSLAN	TOBB
24	Fatih AYKUN	SEMİ Elektrik Elektronik Plastik Otomasyon
25	Gülçin KAZAK	TOBB/T. Plastik, Kauçuk ve Kompozit Sanayi Meclisi
26	Gülşen TURAN KÖK	Sert (Rijit) Plastik Ambalaj Sanayicileri Derneği
27	Hakan ÖZHUY	Sert (Rijit) Plastik Ambalaj Sanayicileri Derneği Jokey Turkey Ambalaj San. AŞ.
28	Hakan YELKENCİ	YELKENCİLER MAKİNA
29	Hüseyin SEMERCİ	(ŞENMAK
30	İbrahim SÖYLEMEZ	MELTEM KİMYA
31	İlker CİGA	DİKEY MAKİNA
32	İsmail Hakkı HACIALİOĞLU	Kompozit Sanayicileri Derneği
33	Kerem PAKSOY	Kompozit Sanayicileri Derneği
34	Köksal İLHAN	NEXANS Türkiye End. Ve Tic. A.Ş.
35	Lale ŞEN ÇETİN	İTERPLAST KİMYA SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ
36	Mehmet Ali ORAL	REVAGO
37	Murat CANSEVER Seçil Yılancioğlu	Eurotec Mühendislik Plastikleri San. Ve Tic. A.Ş.
38	Murat İNKUN	Plastik Sanayicileri Derneği (PAGDER)
39	Murat KENET	TOBB/T. Plastik, Kauçuk ve Kompozit Sanayi Meclisi
40	Murat KÖRÜK	TÜDAM
41	Murat ŞEN	Polimer Bilimi ve Teknolojisi Derneği
42	Oktay EKİNCİ	IŞIK Plastik
43	Osman Burak AKDİKMEN	Kompozit Sanayicileri Derneği
44	Özge TORCU	TOBB
45	Özgür ÇERTUĞ	POLİBAK Plastik

46	Özkan METE	ÖZ-MAK
47	Reha YELKEN VE Erol TÜRKER	POLİMER TEKNİK
48	Remzi ÖZKAN	TOBB
49	Samet ATAÇ	ATAÇ MAKİNA
50	Selçuk GÜLSÜN	TİSAN
51	Sinan AVSEREN (EKİN MAKİNA)	EKİN MAKİNA
53	Sultan GARAYEV	SOCAR Türkiye
54	Tolga GÖKKURT	Polipro Plastik
55	Vedat KILIÇ	TÜDAM
56	Yağmur EROĞLU	Sem Plastik
57	Yavuz EROĞLU	Türk Plastik Sanayicileri, Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı (PAGEV)
58	Yusuf PALA	Akay Stand Ltd. Şti.

EK 3: Çalışmanın Yürütülmesinde Görevli TÜBİTAK Yetkilileri

Ad Soyad	Kurum/Kuruluş
Hande ALPASLAN	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanı
Melis KOCATÜRK	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Dairesi Müdür V.
Dr.Özlem DOĞAN	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Dairesi Bilimsel Programlar Başuzmanı-Plastik Sektörü TYH Koordinatörü
Mehmet İmran AKSU	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Dairesi Bilimsel Programlar Uzmanı
Büşra YILMAZ YANIK	TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Dairesi Bilimsel Programlar Uzmanı