

# Kimyasal Geri Dönüşüm:

Yeni bir atık yönetimi yönteminin sera gazı emisyonu azaltma potansiyeli

Hazırlayan



Quantis tarafından gerçekleştirilen  
çalışma değerlendirmesi

Ekim 2020

# 00

değerli okuyucumuz,  
İklim değişikliği, kirlilik ve  
plastığın atıklar çevremize ciddi  
düzeyde zarar verebildiği için,  
acil önlem alınması çok  
önemlidir.

Son araştırmalar, eylem akışında bir değişiklik yapılmazsa, okyanusa yıllık plastik akışının 2040 yılına kadar neredeyse üç katına çıkabileceğini ve bunun deniz biyoçeşitliliği üzerinde önemli bir etki yaratacağını öngörmektedir. Kimyasal geri dönüşüm teknolojileri gibi, plastik atıklar için iyileştirilmiş ve ek geri dönüşüm çözümleri, mekanik ve çözünme geridönüşümünü tamamlayabilir ve plastiklerin çevreye sızmasını azaltabilir.

Kimyasal geri dönüşüm teknolojileri, plastikler için bir dögüsel ekonomiye geçişteki dögüyü kapatarak, kaynak verimliliğini de artırabilir. Bu teknolojiler, plastikleri parçalayabilir ve fosil kaynaklardan yapılanlara eşdeğer kalitede yeni kimyasallar ve plastikler üretmek için onları ikincil hammaddelere dönüştürebilir.

Quantis, "Kimyasal Geri Dönüşüm: Yeni bir atık yönetimi yönteminin sera gazı emisyonu azaltma potansiyeli" başlıklı bu raporda, mevcut malzeme akışı ve yaşam dögüsü



değerlendirme çalışmaları üzerinden aşağıdaki soruları ele almıştır: Bu tür teknolojilerin çevresel etkisi nedir? Kimyasal geri dönüşüm teknolojileri dögüsel ve sürdürülebilir bir ekonomi oluşturmada rol oynayabilir mi?

Cefic, AB Yeşil Mutabakatı ve Avrupa'nın 2050 yılına kadar iklim nötr olma hedefini desteklemektedir. AB Dögüsel Ekonomi Eylem Planı, bu hedefe ulaşmada bir mihenktaşıdır. Ömrünü tamamlamış plastiklerin kimyasal geri dönüşüm teknolojileri, plastik ekonomisini daha dögüsel hale getirmede büyük bir boşluğu doldurabilir. Politika yapıcılarını, kimyasal geri dönüşümün potansiyelini arttırmak ve tam olarak uygulamak için rekabetçi bir ekonomik ortamı teşvik etmek ve AB genelinde doğru koşulların uygulandığından emin olmaya davet ediyoruz.

Yine de bu teknolojilerin tüm faydalarını elde etmek için, iklim nötrlüğü hedefini riske atmamaları çok önemlidir. Cefic tarafından hazırlanan bu rapor, bu endişeyi gidermek için ilk, değerli bir katkı sağlıyor.

Raporun sonucunda, aslında kimyasal geri dönüşüm teknolojilerinin, günümüzün geleneksel üretim süreçleri ve ömrünü tamam işlemlere kıyasla sera gazı emisyonlarını önleme potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



Marco Mensink,  
Cefic Genel Direktörü

BÖLÜM 1  
İDARİ ÖZET

# 01





# BÖLÜM 1

## İDARİ ÖZET



### MASADAKİ SORUN

Bugün, Avrupa'da plastiklerin %30'dan azı geridönüşüm için toplanmaktadır (2018 Avrupa Plastik Stratejisi). Aynı zamanda, AB'deki cam, kağıt ve metallerin geri dönüşüm oranı %70'in üzerindedir (ME 2019, Pauliuk ve ark. 2013). Komisyon, Aralık 2015'de dögüsel bir ekonomi için bir AB Eylem Planı kabul etti. Bu planda, plastiği bir temel öncelik olarak belirledi ve plastiklerin değer zinciri boyunca ortaya çıkardığı zorlukları ele alan ve tüm yaşam döngülerini dikkate alan bir strateji hazırlamayı taahhüt etti. Komisyon, 2017 yılında plastik üretimine ve kullanımına odaklanacağını ve 2030 yılına kadar tüm plastik ambalajların geri dönüştürülebilir olmasını sağlama hedefi doğrultusunda çalışacağını doğruladı.

AK, Avrupa'nın yeni plastik ekonomisi için bir vizyon daha tanımlıyor: "Plastikler ve plastik içeren ürünler, daha yüksek dayanıklılık, yeniden kullanım ve yüksek nitelikli geri dönüşüme izin verecek şekilde tasarlandı. 2030 yılına kadar AB pazarına girecek tüm plastik ambalajlar, ya yeniden kullanılabilir ya da uygun maliyetli bir şekilde geri dönüştürülebilir olacaktır." (AK Plastik Stratejisi 2018). Sonuç olarak, plastik geri dönüşümü ile ilgili sorun, yalnızca tüketici davranışını değiştirmek veya toplamayı iyileştirmekle ilgili değildir. Daha ziyade çözüm, plastiğin geri dönüştürülme şeklinde sistemik ve teknolojik değişiklikler gerektirir. Uzmanlar, farklı plastik geri dönüşüm teknolojilerinin sinerjik ve uyumlu bir şekilde çalışması gerektiği konusunda hemfikirdir.

### Hammadde geri dönüşümü olarak da adlandırılan Kimyasal Geri dönüşümün tanımı ve genel bakışı

Kimyasal geri dönüşüm olarak da adlandırılan hammadde geri dönüşümü, plastik atıkları kimyasallara dönüştürmeyi amaçlar. Bir polimerin kimyasal yapısının değiştirildiği ve monomerler de dahil olmak üzere kimyasal yapı taşlarına dönüştürüldüğü ve ardından kimyasal işlemlerde ikincil hammadde olarak tekrar kullanıldığı bir işlemdir. Hammadde geri dönüşüm, plastik üretmek için plastik atıkları monomerler de dahil olmak üzere kimyasal yapı taşlarına ayıran gazlaştırma, piroliz, solvoliz ve depolimerizasyon gibi süreçleri içerir. (Cefic 2020), (ISO 15270 2008)

Bazı kimyasal geri dönüşüm teknolojileri hala geliştirilme aşamasındadır ve plastik atığın geniş çaplı geri dönüşümü için henüz uygulanabilir ve kullanılabilir değildir. Her teknolojinin farklı bir çevre ayak izi ve akabinde plastiklerin dögüselliliğine farklı bir katkısı vardır.

Piroliz (ör. BASF'ın ChemCyclingTM) ve gazlaştırma (ör. Kanada'da Enerkem) gibi örnekler şu anda ticari ölçekte kullanılırken, diğer kimyasal geri dönüşüm teknolojileri yalnızca pilot aşamalarında. Bazı kimyasal geri dönüşüm teknolojilerinin, belirli monomerlere (ör. polistiren, poliamidler veya polimetil metakrilat) doğru depolimerizasyon gibi daha yüksek tarafta plastik değer zincirine girmesi çok daha muhtemeldir. Kimyasal geri dönüşüm teknolojileri gibi plastik atıklar için iyileştirilmiş ve ek geri dönüşüm çözümleri, mekanik geri dönüşüm ve çözünme geridönüşümünü tamamlayabilir ve plastiklerin çevreye sızmasını azaltabilir.

# BÖLÜM 1

## İDARİ ÖZET



çevresel sızıntıya kıyasla daha sürdürülebilir kullanım ömrü sonu seçeneğidir.

Uzmanlar, daha yüksek plastik geri dönüşüm oranları elde etmek ve plastikler için daha güçlü bir dögüsel ekonomi geliştirmek için farklı plastik geri dönüşüm teknolojilerinin sinerjik ve tamamlayıcı bir şekilde çalışması gerektiği konusunda hemfikirdir. Yine de düşük sera gazı (SERA GAZI) emisyonlu dögüsel ekonominin tüm faydalarını sağlamak için, tamamlayıcı teknolojilerin, geri dönüşüm ve geri dönüştürülmüş malzemenin düşük toplam karbon ayak izli hammadde malzemesi olarak kullanılmasını sağlaması önemlidir.

### KİMYASAL GERİ DÖNÜŞÜM: UYGUN BİR ÇÖZÜM MÜ?

Kimyasal geri dönüşüm teknolojileri, geleneksel fosil kaynaklardan elde edilen hammaddelerin yerini almak üzere geri dönüştürülen ve hammadde sağlayan, ömrünü tamamlamış plastiklerin oranını artırarak **küresel kaynak sorunumuza** yanıt verebilir. Bunun yanı sıra, kimyasal geri dönüşüm, malzeme ve potansiyel olarak değer zinciri dögülerini kapatarak **dögüsel ekonomiye** katkı sağlayabilir. Kimyasal geri dönüşüm, karışık plastik atıklar için yakma, çöp sahası veya en kötü senaryoda toprağa ve su kütlelerine

### KİMYASAL GERİ DÖNÜŞÜMÜN POTANSİYEL ÇEVRESEL FAYDALARI

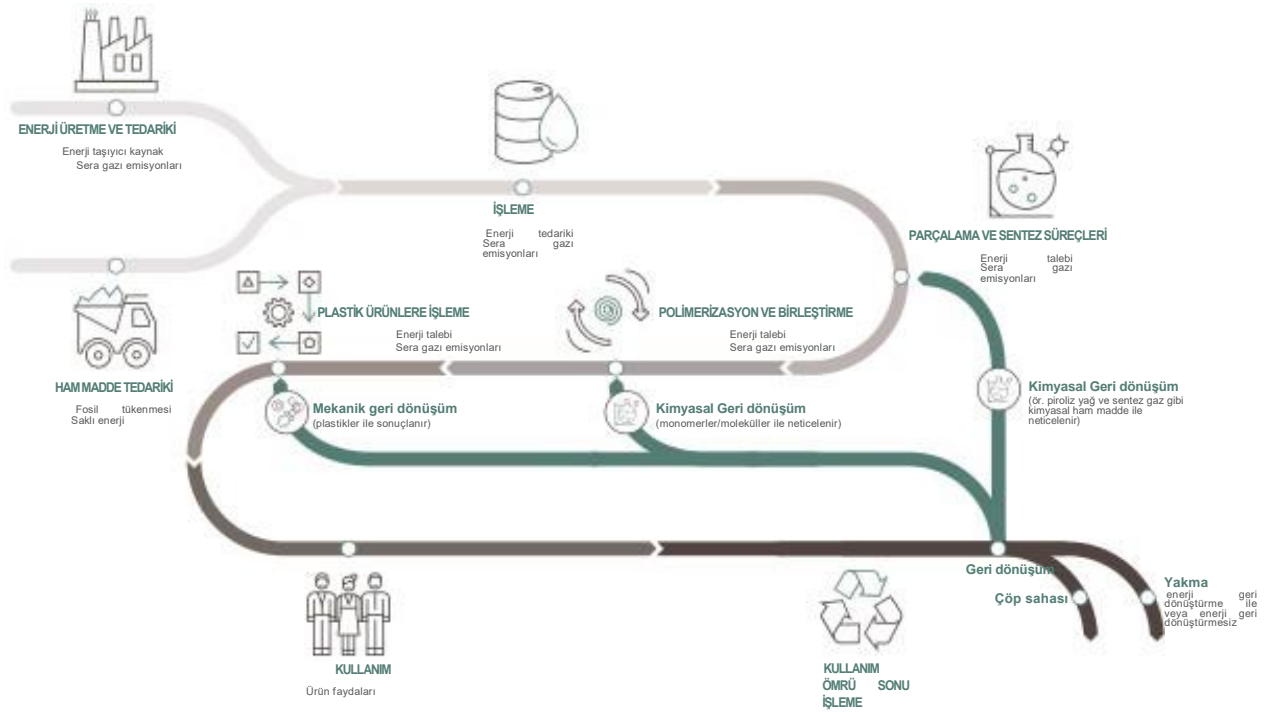
Yeni dögüsel teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması, azaltılmış sera gazı emisyonları, azaltılmış birincil kaynak kullanımı veya azaltılmış atık gibi **mevcut olanlara nazaran çevresel faydalar** sağlayabilir. Geri dönüştürülmüş hammadde malzemesinin kullanılması, birincil kaynağa dayalı üretimin ve buna bağlı kaynak tükenmesinin eşzamanlı olarak azaltılmasını sağlar. Kimyasal geri dönüşümün gerçek çevresel etkisini değerlendirmek için, **önlene sera gazı emisyonları dahil olmak üzere çevresel ayak izi** hala her zaman **tam yaşam dögüsü bakış açısıyla** değerlendirilmelidir. Örneğin, bir plastik atık akışı yakılmak yerine kimyasal olarak geri dönüştürülüyorsa, kullanım ömrü sonu çözümünün çevresel ayak izi hesaplanırken yakma ihtiyacını ortadan kaldırılarak önlene emisyonlar dikkate alınmalıdır. Şekil 1, fosile dayalı plastik değer zinciri ve potansiyel kullanım ömrü sonu işleme seçeneklerini göstermektedir.



# BÖLÜM 1 İDARİ ÖZET



**Şekil 1** — Mekanik ve kimyasal geri dönüşüm seçenekleri dahil olmak üzere fosile dayalı plastiklerin değer zinciri



## ZORLUKLAR VE GENEL BAKIŞ

Kimyasal geri dönüşüm plastik geri dönüşüm oranlarını iyileştirme, sera gazı emisyonlarını önleme, fosile dayalı hammadde talebini azaltma ve dögüsel bir ekonomiyi teşvik etme konusunda büyük potansiyele sahip olsa da, hammadde geri dönüşüm teknolojileri hala endüstri ölçeğinde kullanımının ilk aşamalarında. Kimya endüstrisi için, yaşam dögüsü değerlendirilmesi, kimyasal geri dönüşümün çevresel faydalarını ve zayıflıklarını tutarlı ve

karşılaştırılabilir bir şekilde değerlendirmek için kullanılan anahtar yöntemdir. Kimyasal geri dönüşümün çevresel performansını tam olarak anlamak için, gelecekteki yaşam dögüsü çalışmaları, geri dönüşüm teknolojilerinin malzeme verimliliğine, çevreleyen altyapıya, nakliye lojistiği ve değerlendirilen teknolojilerin uygunluğunun uygun değerlendirilmesine daha güçlü bir odaklanma sağlamalıdır.

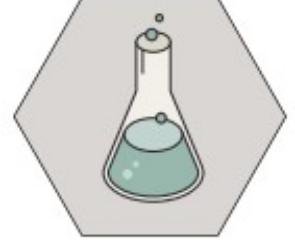
BÖLÜM 2  
ÇALIŞMAYA GENEL BAKIŞ

# 02



# BÖLÜM 2

## ÇALIŞMAYA GENEL BAKIŞ



### KİMYASAL GERİ DÖNÜŞÜM HAKKINDA YAYINLANMIŞ DÖRT ÇALIŞMANIN İNCELEMESİ

Bu analiz, kimyasal geri dönüşümün çevresel faydalarının kapsamlı ve gerçekçi bir resmini sunmak için seçilen, yakın zamanda gerçekleştirilmiş dört çalışmadan elde edilen kimyasal geri dönüşümle ilgili bulguları özetlemektedir:

- **Material Economics** (2019). Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry. [Material Economics (2019)] and Material Economics (2018). The Circular Economy a Powerful Force for Climate Mitigation Transformative innovation for prosperous and low-carbon industry. [Material Economics (2018)]
- **Agora Energiewende und Wuppertal Institut** (2019): Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Berlin, Kasım 2019. [Agora (2019)]
- **CE Delft: Exploratory study on chemical recycling**. Güncelleme 2019 [CE Delft (2019)]
- **BASF SE** (2020): ChemCycling™: Environmental Evaluation by Life Cycle Assessment (LCA). [BASF (2020)].

Sera gazı emisyonları tasarruf ve önlemleri, diğer bir deyişle bir değer zinciri bakış açısından alternatif çözümlerle karşılaştırıldığında kimyasal geri dönüşümün "karbon dengesini" değerlendirmeye özel bir önem verilmiştir.

Bu ilk iki çalışma, karbon nötr bir endüstrinin Avrupa ve Almanya'da 2030 ve sonrasında nasıl şekillendirilebileceğine ve teşvik edilebileceğine dair genel bir bakış sunuyor. Son ikisi, Kimyasal Geri dönüşüm teknolojileri (piroliz) ile mevcut plastik atık işlemleri ve öncelikli olarak fosil bazlı hammadde kullanımını ve geri dönüştürülmüş hammadde kullanımını karşılaştıran Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) yaklaşımlarıdır.

Dört çalışma, aşağıda Şekil 2 ve 3'te gösterilen farklı yaklaşımlarla çalışmaktadır.

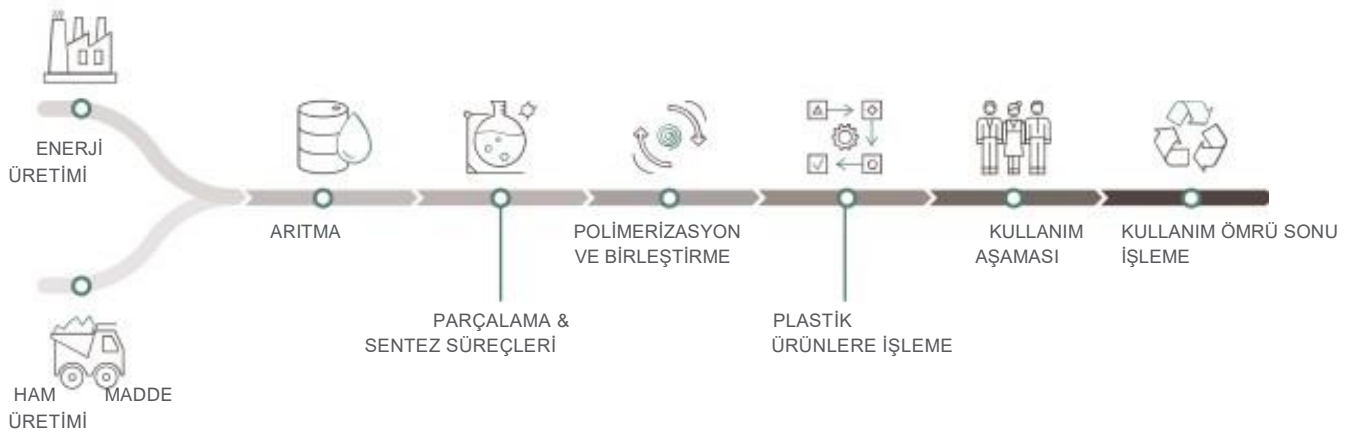


# BÖLÜM 2

## ÇALIŞMAYA GENEL BAKIŞ



Şekil 2 —ME (2018, 2019) ve Agora'da (2019) kullanılan örnek malzeme akışı analizi şeması



### kütle

### CO<sub>2</sub> emisyonları

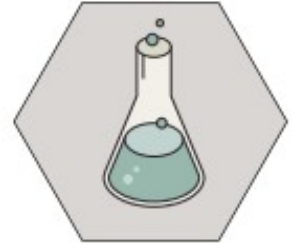
Şekil 2, fosil bazlı plastik değer zincirindeki her bir süreç adımında meydana gelen hammadde akışları, ürün kütle akışları ve karbondioksit emisyonlarını özetleyen, malzeme akışı analiz yaklaşımı gösterir. Material Economics ve Agora Institute

çalışmalarında kullanılan malzeme akışı analizi, plastik değer zinciri boyunca en önemli karbondioksit emisyonlarını gösterir ve gelecek teknolojik gelişmelerden kaynaklanan değişiklikleri tahmin etmek için kullanılır.

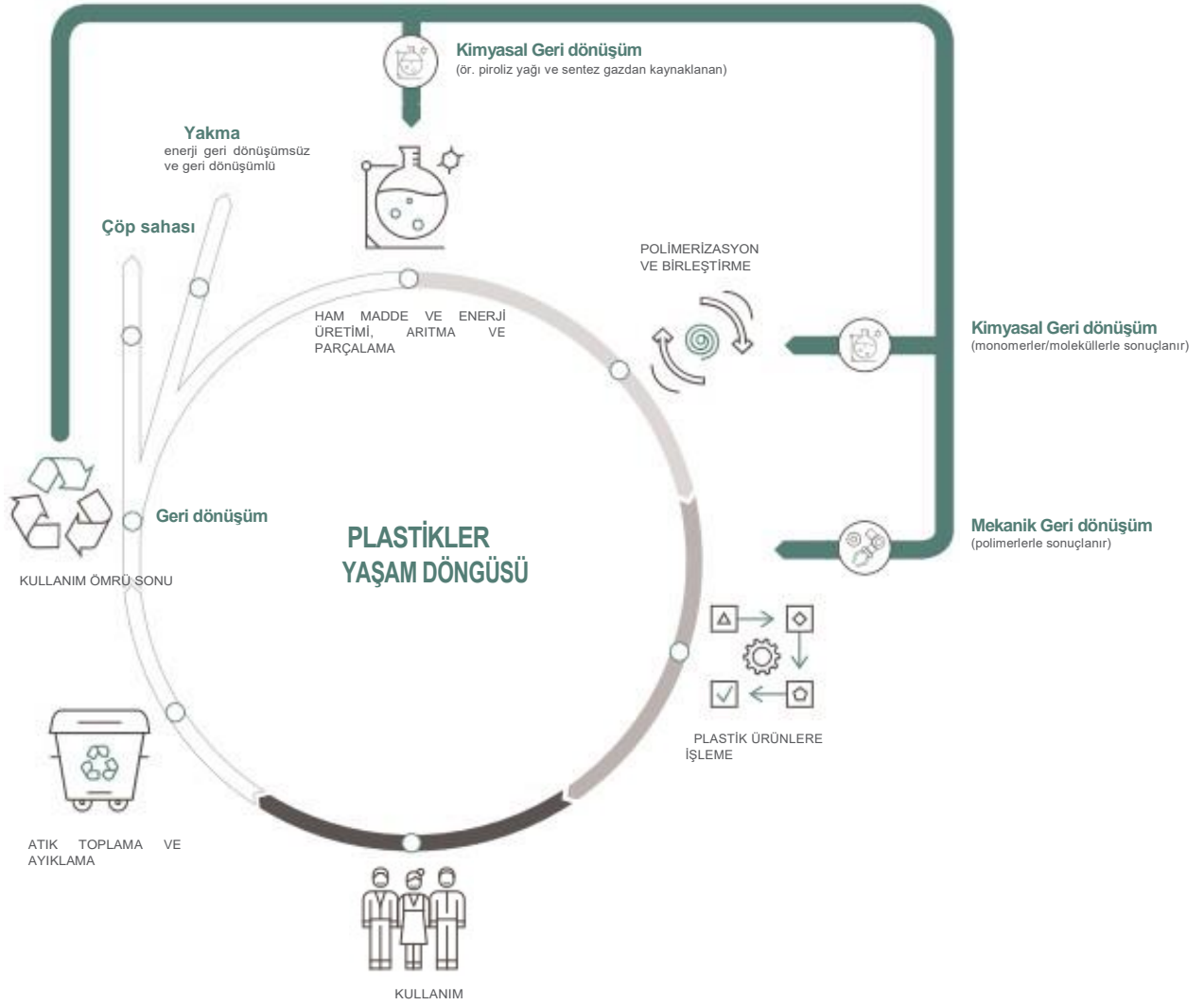


# BÖLÜM 2

## ÇALIŞMAYA GENEL BAKIŞ



Şekil 3 — Örnek yaşam döngüsü değerlendirme şeması

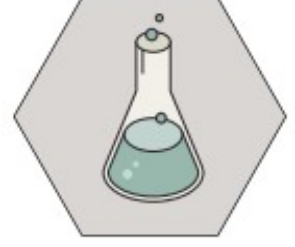


Şekil 3, karşılaştırmada yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımını betimler ve sabit sistem sınırlarına dayalı olarak farklı geri dönüşüm ve birincil hammadde alternatiflerini karşılaştırarak bir plastik ürünün (ör. 1 kg plastik ambalaj) bütünsel yaşam döngüsünü gösterir. Bir yaşam döngüsü değerlendirme, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca tüm antropojenik sera gaz emisyonlarını (ör. CO<sub>2</sub>, metan, azot oksitler, vb.) özetleyen,

**iklim değişikliği** de dahil olmak üzere çeşitli çevresel etki kategorilerini kapsar. Ek olarak, örneğin ısı veya ikincil plastikler gibi bir yan ürün, birincil enerji veya plastik üretiminin önlenmesi sağlıyorsa, bir yaşam döngüsü değerlendirme **önlenen emisyonları** kapsayabilir. Bu önlenen emisyonlar orijinal ürün yaşam döngüsüne atfedilebilir,

## BÖLÜM 2

# ÇALIŞMAYA GENEL BAKIŞ



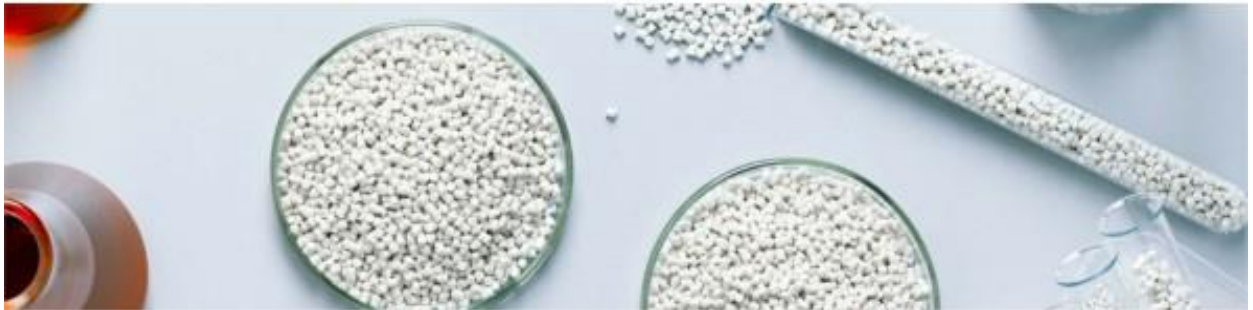
böylece ürünün genel çevre performansını iyileştirmesine atfedilebilir.

CE Delft ve BASF çalışmaları, geleneksel plastik atık işlemeye kıyasla kimyasal geri dönüşüm teknolojilerini kullanmanın çevresel etkisini analiz etmeyi amaçlayan, teknolojik karşılaştırmalara odaklanıyor. Her iki çalışma da, ham fosil hammaddelerinden plastik üretimine kıyasla, sera gazı emisyon tasarruflarını ve hammadde geri dönüşümünden sağlanan faydaları açıkça göstermektedir. Önlenen sera gazı emisyonları, ham petrol çıkarma ve rafine etme (naftaya) ve ömrünü tamamlamış ürünlerin yakılmasından kaçınmaya bağlanabilir.

Karşılaştırıldığında, hem Material Economics (ME) hem de Agora çalışmaları sistemik bir malzeme akışı analizi yaklaşımını<sup>1</sup> benimser ve hammadde geri dönüşümünün 2030-2050 yılları arasında düşük endüstriyel sera gazı emisyonlarına nasıl katkıda bulunabileceğini kanıtlamaya çalışır. Her iki yazar grubu da teknolojik sektör gelişmelerini dikkate alır, ancak tek veya belirli bir kimyasal geri dönüşüm teknolojisine odaklanmaz.

ME ve Agora çalışmaları, kimyasal geri dönüşüm teknolojileri hakkındaki bilgileri endüstriyel işleme verilerinden ziyade bilimsel literatüre ve teknoloji projeksiyonlarına dayandırmaktadır. Bu çalışmalar, düşük teknoloji hazırlık seviyelerine (TRL) sahip teknolojiler için gelecek projeksiyonları ile çalıştığından, şu anda mevcut olan veya hatta yakında kullanılacak kimyasal geri dönüşüm teknolojilerinin gerçek tanımlayıcıları veya performans ölçümleri olarak değil, plastik endüstrisi için bir bakış açısı sağlamak için kullanılabilir.

CE Delft çalışması, kullanımda olan ancak henüz ticari ölçekte olması gerekmeyen örnek tesislerinden alınan bilgileri kullanır. Yalnızca BASF çalışması, bir kimyasal geri dönüşüm teknolojisi (piroliz) için endüstriyel ölçekte üretim bilgilerine dayanır. Malzeme verimliliği ve teknoloji verimleri hakkındaki bilgiler BASF çalışmasında dikkate alınır, ancak diğer çalışmalar için yayınlanmaz veya mevcut değildir. Tablo 1 ve 2, kullanılan çalışmalara genel bir bakış sağlar ve üst düzey sonuçlarını özetler.



**Tablo 1 — Çalışmalara genel bakış**

MALZEME AKIŞ ANALİZİ YAKLAŞIMI			KARŞILAŞTIRMALI YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YAKLAŞIMI	
Kaynaklar	ME 2018 ve 2019	Agora	CE Delft	BASF
Çalışma hipotezi ve özet	- Avrupa'daki dögüsel ekonominin işlevselliği - ME 2019: dögüsellik üzerine daha fazla odak	- Almanya için karbonsuzlaşma yol haritası - Politika önlemleri ile yenilikçi teknolojilere yatırım nasıl teşvik edilir	- Hollanda'daki kimyasal geri dönüşüm teknolojilerinin özeti - İklim emisyonları için gösterge önemli rakamları ile uygun atık akışları hakkındaki veri linkleri	- Piroлиз yap ile naftadan plastik üretimi karşılaştırması, yakma ve mekanik geri dönüşüm gibi diğer kullanım ömrü sonu işlemler ile ek karşılaştırma
Model yaklaşımı	- Bir karbon emisyon modeli ile plastik malzeme akış analizi	- Bir karbon emisyon modeli ile plastik malzeme akış analizi - Almanya'ya uyarlanmış	- Tarama LCA modeli - Son durum referans vakaya karşı yenilikçi kimyasal geri dönüşüm yaklaşımı karşılaştırması	- ISO 14040/44 LCA çalışması - Üç bağımsız uzman tarafından kritik inceleme - Üç ayrı çalışma (atık, ürün ve plastik kalitesi bakış açıları) <sup>2</sup>
Analiz edilen sistem	- Mevcut teknolojilere tamamlayıcı kullanım ömrü sonu işleme olarak plastik sanayinde kullanılan kimyasal geri dönüşüm	- Mevcut teknolojilere tamamlayıcı kullanım ömrü sonu işleme olarak plastik sanayinde kullanılan kimyasal geri dönüşüm	- Referans vakalara karşı kimyasal geri dönüşüm teknolojileri - Referans vakalar: yakmadan kaynaklanan geri dönüşüm kayıpları, aşağı dönüşüme giren plastik, saklanacak veya yakılacak PET plastikler	- Atık bakış açısı: karışık plastik atıkların pirolizi veya yakılması - Ürün bakış açısı: piroliz yağ veya ana fosil kaynaklara dayalı plastikler - Plastik kalitesi bakış açısı: üç kullanım ömrü sonu seçeneği ile ham plastikler
Değer zinciri adımları	- Ham madde ve elektrik üretimi, arıtma, parçalama ve diğer ön süreçler, polimerizasyon harmanlama, kullanım ömrü sonu işleme	- Ham madde ve elektrik üretimi, arıtma, parçalama ve diğer ön süreçler, polimerizasyon, harmanlama kullanım ömrü sonu işleme	- Plastik atık işleme ve ikameli ürünler	- Ham madde, kimyasal süreçler (ör. buharla parçalama, polimerizasyon), kullanım ömrü sonu işleme - İkameli ürünler
Veri tabanı	- Eurostat - PlasticsEurope Eco-profiles - Zhu ve ark. 2018 - IEA teknoloji karşıımı, 2050 sermayosu ile dekarbonizasyon - ME 2019: - DECHEMA 2017 - Thunman ve ark. 2019	- ME 2018 ve ME 2019 - UBA - Wuppertal Institute hesaplamalar - VCI - Destatis - Endüstri bilgileri - SABIC, BASF, - Waste to Chemicals	- CE Delft çalışmaları: Ioniqa screening LCA, Rotterdam report (AkzoNobel) - PlasticsEurope - EUROSTAT - Ecoinvent background model	- Mevcut ticari tesislerden gelen veriler, - BASF kurum içi veri tabanları - Diğer veri tabanları (ör., Sphera/GaBi, Ecoinvent)
Değerlendirme tarihi	- 2030-2050 projeksiyon	- 2030-2050 projeksiyon	- 2020'deki statüko	- 2030 projeksiyonları ile 2020'deki statüko - Piroлизin gelecek gelişimi ve 2030'da Almanya'daki atık sektörü

<sup>2</sup> Çalışmalardan ikisi kütle dengesi yaklaşımına dayanmaktadır. Kütle dengesi hesabı, karmaşık bir değer zinciri boyunca malzeme akışını izlemek için tasarlanmış, iyi bilinen birkaç gözetim zinciri yaklaşımından biridir (Ellen MacArthur Foundation: Enabling a circular economy for chemicals with the mass balance approach, 2019; <https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/whats-new/sustainability-news/2019/EllenMacArthurfoundation-White-Paper-Mass-balance.html>).



BÖLÜM 3  
TEMEL BULGULAR

# 03



# BÖLÜM 3

## TEMEL BULGULAR

**Kimyasal geri dönüşüm teknolojileri, hem hammadde üretiminde hem de plastiğin mevcut kullanım ömrünün sonundaki işleminden kaynaklanabilecek sera gazı emisyonlarını önleme potansiyeli sunar.**

Dört çalışma ve kullanılan her iki yaklaşım da (malzeme akışı analizi ve karşılaştırmalı yaşam döngüsü değerlendirmesi), kimyasal geri dönüşümün CO<sub>2</sub> azaltma potansiyelini göstermektedir. Bu özetin yazarları, değerlendirilen dört çalışmanın temel farklarını vurgular:

kimyasal geri dönüşüm Bu özetin yazarları, ele alınan dört çalışmanın şu açılardan büyük farklılıklar gösterdiğini vurgulamaktadır:

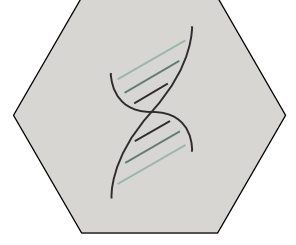
- Kapsam (yani, plastik değer zincirinde kapsanan işleme adımları)
- Değerlendirme tarihi
- Model yaklaşımı (yani, yaşam döngüsü değerlendirmesi yaklaşımına karşı malzeme akışı analizi)
- Sonuçlar, karbondioksit emisyonlarında azalma (malzeme akışı analizi) ile sera gazı emisyonlarında azalma (yaşam döngüsü değerlendirmesi) olarak bildirildi
- Kullanılan teknolojilerin ve verilerin olgunluğu
- Coğrafik kapsam

**Tablo 2** — Temel CO<sub>2</sub> emisyonları sonuçları – Sonuçların ayrıntılı bir analizine,ekten ulaşılabilir.

	MALZEME AKIŞI ANALİZİ YAKLAŞIMI		KARŞILAŞTIRMALI YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YAKLAŞIMI	
Çalışma	ME 2018 and 2019	Agora	CE Delft	BASF
Temel sera gazı emisyonları tasarruf beyanı	Ürün bakış açısı (doğumdan ölüme): üretilen plastik t başına 0.2 t CO <sub>2</sub> civarında kimyasal geri dönüşüm elde edilebilir — fosil ham madde kullanılarak geleneksel üretimden elde edilen 2.3 t CO <sub>2</sub> kıyasla.	Ürün bakış açısı (doğumdan ölüme): üretilen plastik t başına 0.3 t CO <sub>2</sub> civarında kimyasal geri dönüşüm elde edilebilir — fosil ham madde kullanılarak geleneksel üretimden elde edilen 2.3 t CO <sub>2</sub> kıyasla	-	Ürün bakış açısı piroliz yağına dayalı plastikler ile temel fosil kaynaklarından (nafta) elde edilen plastiklerin karşılaştırması:  1 t LD geleneksel üretim — PE toplamda 1.9 t CO <sub>2</sub> eq yayar. Piroliz ile 1 t LDPE üretimi için, 2.4 t CO <sub>2</sub> eq eksi CO <sub>2</sub> emisyonu hesaplanabilir.  Atık bakış açısı — piroliz ve karışık plastik atık yakımı karşılaştırması: Karışık plastik atık şu anda yakılıyor. Bu, yaklaşık 1.5 t CO <sub>2</sub> eşdeğeri/t girdi malzemesinin toplam iklim etkisine neden olur. Aynı girdi malzemesinin kimyasal geri dönüşümü (piroliz), 1.5 ila 2 ton daha az CO <sub>2</sub> eşdeğeri/t ile sonuçlanır.

# BÖLÜM 3

## TEMEL BULGULAR



Yukarıda açıklanan ve Tablo 1'de gösterilen çalışma farklılıklarından dolayı, sera gazı emisyonları açısından doğrudan karşılaştırmalardan kaçınmak mümkün değildir ve aşırı basitleştirilmiş olabilir.

**Kimyasal geri dönüşüm teknolojilerinin, kimya endüstrisinde dögüsel ve sürdürülebilir bir ekonomi oluşturmada önemli bir rol oynaması bekleniyor.**

Mekanik geri dönüşüm, günümüzde plastikleri geri dönüştürmenin yaygın bir yoludur. Ancak, bu teknoloji kullanılarak tüm plastikler geri dönüştürülemez ve geri dönüşüm tesislerine ulaşan plastik atıklar genellikle kirlenir veya karıştırılır. Bu, geri dönüşüm oranlarını engeller ve büyük miktarlarda plastiğin yakılması, çöp sahasına gönderilmesi veya en kötü durum senaryosunda çevreye sızmasına neden olur.

Kimyasal geri dönüşüm, mekanik geri dönüşümün bir tamamlayıcısı olarak dairesel bir plastik ekonomisinde önemli bir rol oynayabilir.

ME'ye (2019) göre, iki yaklaşımın birleşiminin 2050 yılına kadar plastiklerin yeniden sirkülasyonunu toplam üretimin %62'sine kadar getirebilir. Bu durumda plastikler neredeyse ana metaller kadar dögüsel olacaktır (çelik ve alüminyum için geri dönüşüm oranları sırasıyla %85 ve yaklaşık %70'dir).

ME (2018), ME (2019) ve Agora (2019), bu sentezlenmiş yaklaşımın 2050 yılına kadar sahip olacağı etkinin derecesini değerlendirmeye çalışıyor.

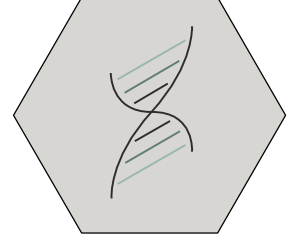
Bazı yeni teknolojiler henüz ticari ölçekte kullanılmamaktadır, verilen sonuçlar yalnızca, tanımlanan teknolojiler olgunlaştıkça onaylanması gereken bir tahmin olarak düşünölmelidir.

CE Delft (2019), kimyasal geri dönüşüm için referans vaka (statüko) ile halihazırda mevcut bir alternatif (örnek ölçekte) karşılaştırmak için bir yaşam dögüsü değerlendirmesi tarama yaklaşımı uygular ve referans vaka ile karşılaştırıldığında piroliz yağ üretiminde nafta üretiminden kaçınılmasını sorumlu tutar. BASF tarafından gerçekleştirilen üç yaşam dögüsü değerlendirmesi, dögüsellik açısından CE Delft sonuçlarını yansıtır. İlk uygulanabilir kimyasal geri dönüşüm teknolojilerinden biri olan ChemCycling™ teknolojisi, aşırı enerji ikamesi de dahil olmak üzere piroliz yoluyla LDPE üreterek pirolizin plastik dögüsünü kapatabileceğini kanıtıyor.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> ChemCycling pirolizi, başka yerlerde kullanılabilir aşırı ısı üretti.

# BÖLÜM 3

## TEMEL BULGULAR



### İncelenen çalışmalardan çıkarılan diğer sonuçlar

ME (2018, 2019), Agora (2019), CE Delft (2019) ve BASF (2020) çalışmalarından elde edilen bazı temel sonuçlar şunları içerir:

- Değişen teknoloji hazırlık seviyeleri (TRL) nedeniyle kimyasal geri dönüşümün tam çevresel etkisini ve sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyelini tahmin etmek zordur. Sonuç olarak, uygun alım malzemeleri, verimler ve ikame potansiyeli ile ilgili resim eksik olabilir.
- ME ve Agora çalışmaları gelecekteki teknoloji yollarını tanımlarken, CE Delft mevcut teknolojileri kanıtlayıcı düzeyde ve BASF'yi ticari ölçekte karşılaştırır.
- Almanya odaklı Agora (2019) ve ME (2018, 2019) çalışmaları, mevcut literatüre dayanmaktadır. Varsayılan kimyasal geri dönüşüm teknolojileri ve diğer yenilikçi kimyasal ağ teknolojileri (örneğin, elektrikli buharlı parçalayıcı) hala planlama fizibilite aşamasındadır (düşük TRL) ve süreç emisyonları, verimler ve ikame potansiyeli hakkında uygun bilgi sağlamak için yeterince olgun değildir.

- Analiz edilen dört çalışma, fosil yakıtlarla çalışan klasik bir buharlı parçalayıcı kullanıldığını varsayan Plastics Europe verilerine dayanan olefin/polioleninler için referans olarak ortalaması alınmış verileri kullanır. Bununla birlikte, poliolefinlerin kimyasal geri dönüştürülmesi planı, petrol türevi nafta ile birlikte bir buharlı parçalayıcı içinde nafta benzeri akışı beslemektir. Her iki besleme stoku akışının aynı son teknoloji ürünü parçalayıcı teknolojisini kullanması amaçlanmıştır ve bu, bu veri referansının gelecekte değişmesi gerektiği anlamına gelir.
- Hollanda odaklı CE Delft (2019) çalışması, sektörden bazı birincil verileri kullanır, ancak veri niteliği değişiklik gösterir. Bunun yanı sıra, endüstriden gelen bilgilerin test ölçeğinde, özellikle önlenen üretim için emisyonlar, verimler ve krediler açısından ticari ölçekte geçerli olduğunun kanıtlanması gerekmektedir. Çalışmanın kaynakları, ayrıca şu anda olgunlaşmamış bazı teknolojileri de içerir. Örneğin, PET geri dönüşümü için IONIQQA süreci test ölçeğindedir. Teknoloji TRL-5 seviyesindedir, bu da enerji verileri ve verimin fazla iyimser olabileceği ve daha sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere iyileştirilmesi gerektiği anlamına gelir.
- Plastik atık verileri (ör, toplama oranları, ayıklama, atık akışlarının tanımı) ve fiyatlar, dört çalışmada da çoğunlukla kara kutu verileri olarak kabul edilir.



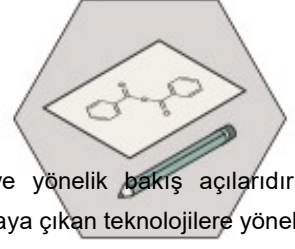
BÖLÜM 4  
SONUÇ TESPİTLERİ

# 04



# BÖLÜM 4

## SONUÇ TESPİTLERİ



bir ekonomiye yönelik bakış açılarıdır. Ayrıca, gelecekte ortaya çıkan teknolojilere yönelik gerekli teşvikleri ve yatırımları ve öngörülen sonuçlardaki belirsizliği ayrıntılı olarak açıklarlar.

### Avrupa sanayisinde kimyasal geri dönüşümü uygulamaya yönelik zorluklar ve ileriye dönük adımlar.

Kimyasal geri dönüşüm, plastik geri dönüşüm oranlarını iyileştirme, fosil bazlı hammaddelere olan bağımlılığımızı azaltma ve döngüsel bir ekonomiyi teşvik etme konusunda büyük potansiyele sahip olsa da, hammadde teknolojileri hala erken aşamalarda. Farklı plastik atık türlerinin kökenini belirlemek ve izlemek, ayıklama ve işlemeyi otomatikleştirmek ve plastikleri kimyasal olarak geri dönüştürmek adına teknolojilerin gelişimini hızlandırmak için büyük yatırımlar gerekiyor. Kimyasal geri dönüşüm de mutlaka bir eklenti teknolojisi değildir ve lojistik, altyapı ve toplama sistemlerinde değişiklikler gereklidir. Bu, fizibilite ve maliyetler için önemlidir, çünkü ek çözümler kısa vadede en başarılı çözüm olarak görülür.

Analiz edilen her iki yaklaşım da (malzeme akışı analizi ve yaşam döngüsü değerlendirmesi), kimyasal geri dönüşümün mekanik geri dönüşümü tamamladığını ve bir alternatif sağladığını göstermektedir. Plastik değer zinciri boyunca sera gazı emisyon tasarruflarının gösterdiği gibi, gelecekteki düşük sera gazı emisyonu ekonomisinde önemli bir rol oynayabilir.

ME ve Agora çalışmalarının en güçlü yönü, 2050 yılına kadar plastikler için düşük karbonlu, döngüsel

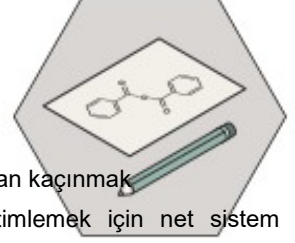
CE Delft ve BASF çalışmalarının her ikisi de daha olgun bir TRL'de zaten mevcut olan kimyasal geri dönüşüm teknolojisi bilgilerine dayandığından, muhtemelen daha düşük belirsizliğe sahip yaşam döngüsü değerlendirmesine dayalı yaklaşımlar sunmaktadır. Bunun yanı sıra, yaşam döngüsü değerlendirmesi yaklaşımı değer zincirine daha fazla odaklanır ve ürünlerin döngüselliklerini daha ayrıntılı bir şekilde gösterir.

Özetle, her iki yaklaşım da kimyasal geri dönüşüm teknolojilerinin çevresel faydalarını göstermektedir:

- Kimyasal geri dönüşüm, olumlu bir genel sera gazı emisyon dengesi ile **plastiklerin yakılması ve buna karşılık gelen kullanım ömrü sonu sera gazı emisyonlarını önleyebilir.**
- **Plastik atık, hammadde malzemesi olarak kullanılabilir,** böylece uygun bir genel sera gazı emisyon dengesi ile ham petrolün ve ilgili sera gazı emisyonlarının araştırılması ve arıtılmasından kaçınılabılır.
- Sistemleri ısıtmak için proses enerjisi (piroliz ve gazlaştırma durumunda), kendi kendini idame ettirir ve enerji prosesin kendisinden geldiği için harici enerji ihtiyacının yerini alabilir. **Bu, plastik hammadde üretimini diğer fosil kaynaklardan bağımsız hale getirir ve satın alınan doğal gazdan kaçınıldığı için, fosil kaynaklardan gelen enerji üretiminden doğan sera gazı emisyonlarını önler.**

# BÖLÜM 4

## SONUÇ TESPİTLERİ



Kimyasal Geridönüşüm'ü mekanik geri dönüşümü tamamlayıcı bir teknoloji olarak tanımlayan Material Economics çalışmaları ve Agora çalışması.

Yeni teknolojilerin toplam karbon ayak izi tasarruflarını veya "önlenebilir emisyonları" değerlendirmek, tam bir yaşam döngüsü perspektifi gerektirir. Kimya endüstrisi, plastik döngüsellikine katkıda bulunan kimyasal geri dönüşüm teknolojilerinden kaynaklanan karbon ayak izini/sera gazı emisyonlarını ölçmek ve tanımlamak için standartlaştırılmış yaşam döngüsü değerlendirmesi yaklaşımını kullanır.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, kimyasal geri dönüşümün çevresel faydalarını tutarlı ve karşılaştırılabilir bir şekilde değerlendirmek için kullanılan temel yöntemdir. Yöntem, aşağıdakilere açık bir kılavuz sunar:

- Potansiyel çifte hesaplama kaçınmak
- Plastik değer zincirini betimlemek için net sistem sınırları belirlemek ve sistemleri ve ilgili sistemleri karşılaştırmak için sistematik bir yaklaşım oluşturmak

Gelecekteki çalışmalar, aşağıdakilere daha güçlü bir odaklanma sağlamalıdır:

- Her iki tamamlayıcı geri dönüşüm yöntemi için **malzeme verimliliği** - mekanik ve kimyasal
- Düşünülen teknoloji için **değerlendirme tarihi**
- Elektrik şebekesi karışımları, atık toplama ve ayıklama gibi **altyapı**
- Taşıma lojistiği
- Kullanılan teknolojilerin TRL'si

Sunulan yaşam döngüsü değerlendirmesi tabanlı çalışmalar, yakma gibi daha az sürdürülebilir kullanım ömrü sonu yönetimine kıyasla kimyasal geri dönüşüm teknolojilerini kullanarak sera gazı emisyon tasarrufları hakkında ön bilgiler sağlar. Gelecekteki yaşam döngüsü tabanlı çalışmalar, bu tür iddialarda bulunmak için daha fazla veri sağlanmasına yardımcı olabilir. Hem CE Delft hem de BASF çalışmalarının gösterdiği gibi, gelecekteki çalışmaları gerçek süreç bilgileriyle desteklemek için endüstri katılımı önemli olmaya devam etmektedir.

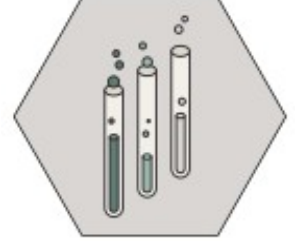


# REFERANSLAR

Agora (2019)	Agora Energiewende (2019). Klimaneutrale Industrie Schlüssel-technologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement
BASF (2020)	BASF SE (2020): ChemCyclingTM: Environmental Evaluation by Life Cycle Assessment (LCA)
CE Delft (2019)	Exploratory study on Chemical Recycling. 2019 güncellemesi
Cefic (2020)	Cefic Görüş Belgesi 2020. Introducing Chemical Recycling: Plastic waste becoming a resource
DECHEMA (2017)	DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Alexis Michael Bazzanella and Florian Ausfelder (2017). Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry. 168.
Deloitte (2015)	Deloitte and Plastics Recyclers Europe (2015). Increased EU Plastics Recycling Targets: Environmental, Economic and Social Impact Assessment. <a href="http://www.plasticsrecyclers.eu/sites/default/files/BIO_Deloitte_PRE_Plastics%20Recycling%20Impact_Assesment_Final%20Report.pdf">http://www.plasticsrecyclers.eu/sites/default/files/BIO_Deloitte_PRE_Plastics%20Recycling%20Impact_Assesment_Final%20Report.pdf</a>
AK Plastikler Stratejisi 2018	European Commission: Plastics Waste Strategy (2018), <a href="https://ec.europa.eu/commission/news/eu-plastics-strategy-2018-nov-20_en">https://ec.europa.eu/commission/news/eu-plastics-strategy-2018-nov-20_en</a>
IPCC (2006)	IPCC Intergovernmental panel on climate change, Riitta Pipatti, Chhemendra Sharma, Masato Yamada, Virginia Carla Sena Cianci, ve ark. (2006). Chapter 2 Waste generation, composition and management data. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006(Volume 5: Waste). <a href="https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_2_Ch2_Waste_Data.pdf">https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_2_Ch2_Waste_Data.pdf</a> .
ISO 15270 (2008)	ISO 15270:2008. Plastics — Guidelines for the recovery and recycling of plastics waste
ME (2018)	Material Economics (2018b). The Circular Economy - A Powerful Force for Climate Mitigation. <a href="http://www.materialeconomics.com">www.materialeconomics.com</a> .
ME (2019)	Material Economics (2019). Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry.
Pauliuk ve ark. (2013)	Stefan Pauliuk, Tao Wang and Daniel B. Müller (2013). Steel all over the world: Estimating in-use stocks of iron for 200 countries. Resources, Conservation and Recycling, 71. 22-30. DOI:10.1016/j.resconrec.2012.11.008.
Plastics Europe (2018)	Plastics - the Facts 2018. <a href="http://www.plasticseurope.org">www.plasticseurope.org</a> .
Plastics Europe (2019)	Eco-profiles. <a href="https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles">https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles</a> .
Zhu ve ark. (2018)	Zhu, J.-B., Watson, E. M., Tang, J. and Chen, E. Y.-X. (2018). A synthetic polymer system with repeatable chemical recyclability. Science, 360(6387). 398-403. DOI:10.1126/science.aar5498.



# Ek ÖNLENEN SERA GAZI EMİSYONLARI VE ALTTA YATAN MODEL VARSAYIMLARININ DERİNLEMESİNE ANALİZİ



Burada ele alınan çalışmalar, kimyasal geri dönüşümden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını ve potansiyel tasarruflarını tahmin etmenin farklı yollarını takip etmektedir. Materials Economics 2018, 2019 ve Agora, bir malzeme akışı analizi kullanarak düşük bir sera gazı emisyonu ekonomisi tasarlamaya çalışıyor. Malzeme akışı analizi, gelecekte Avrupa (ME 2018, ME 2019) veya Almanya'da (Agora 2019) (2030-2050) kullanılması öngörülen alternatif teknolojileri uygular. Buna karşılık, CE Delft (2019), Hollanda'da son teknoloji ürünü plastik bertarafı (yakma veya mekanik geri dönüşüm) olarak tanımlanan bir referans sisteme karşı test ölçeğinde seçilen kimyasal geri dönüşüm teknolojilerinin teknolojik durumunu analiz etmek için, bir yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) tarama yaklaşımı uygular. BASF (2020), endüstriyel ölçekli piroliz teknolojileri için sera gazı emisyon tasarrufları da dahil olmak üzere çevresel faydalara genel bir bakış sağlayan, eleştirel olarak gözden geçirilmiş bir ISO 14040/44 yaşam döngüsü değerlendirme çalışması sunar.

ME (2019), kimyasal geri dönüşümün, ham madde hammaddesi üretmek için gerekli olan son teknoloji fosil hammadde üretiminden kaynaklanan 2.3 t CO<sub>2</sub> eşdeğeri ile karşılaştırıldığında, bir ton plastik başına yaklaşık 0.2 t CO<sub>2</sub>eq civarında çok düşük atmosferik emisyonlara ulaşabileceğini belirtmektedir.

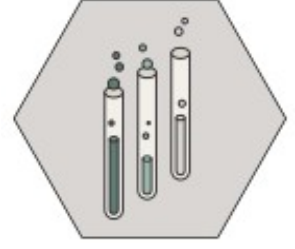
Bu 2.3 t CO<sub>2</sub>eq rakamı, malzeme alımı ve ön işleme yaşam döngüsü aşamalarıyla ilişkilidir: hammadde ve elektrik üretimi, arıtma, parçalama ve diğer ön plan işlemler, polimerizasyon ve harmanlama. Plastics Europe (2019) tarafından yayınlanan eko profiller, farklı polimerlerin pazar payı (Plastics Europe 2018) ve bir Deloitte çalışmasına (2015) dayalı olarak en yaygın

plastik türlerinin (PE, PP, PVC, PET, PS, PUR) emisyon faktörlerinin ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanmıştır. ME (2018) tarafından bildirilen 2.5 t CO<sub>2</sub>eq değerleri, 2018'e kadar mevcut olan eko profil verilerini kullanan aynı varsayımlara dayanmaktadır.

Aynı zamanda, bir ton plastik başına 0.2 t CO<sub>2</sub>eq değerine ulaşmak için ME (2019), DECHEMA'yı (2017) geliştiriyor ve plastikleri daha basit moleküllere dönüştüren iki kimyasal geri dönüşüm sürecini (gazlaştırma ve piroliz) araştırıyor. Elektroliz veya karbon yakalama ve depolama (CCS) ile yeniden yapılanan buhar metanından düşük CO<sub>2</sub>'li hidrojen, gazlaştırmada önemli bir girdidir. Piroliz için, azaltılmış sera gazı emisyonlarına ana katkı, parçalama aşamasının elektrifikasyonudur. Düşük emisyonlar için, salınan CO<sub>2</sub> miktarının minimum olması için toplam karbon kütle dengesi çok yüksek olmalıdır. Net-sıfır bir sistemde, neredeyse tüm karbon girdileri ürün çıktılarına dönüştürülmelidir. Gazlaştırma için bu, daha fazla hidrojen eklenmesini gerektirir. Piroliz için, parçalamadan kaynaklanan yakıt sınıfı yan ürünlerin (büyük ölçüde metan) yanmaması ve CO<sub>2</sub> salmaması, bunun yerine yüksek değerli kimyasallara (HVC'ler) dönüştürülmeleri için başka bir işlem adımı eklenmelidir. Bu yapılsa, CO<sub>2</sub> olarak kaçan karbon yüzdesi toplamın %5'inin altında olabilir.

Piroliz yönteminde, plastik atıklar, buharla parçalama yoluyla yüksek değerli kimyasalar üretmek için kullanılan nafta benzeri piroliz yağına işlenir. Yakıt gazı ağırlıklı olarak metandan oluşur ve verimi arttırmak için, metanole ve metanolden olefinlere (MTO) dönüştürülerek metanol ve olefinlere dönüştürülebilir.

# Ek ÖNLENEN SERA GAZI EMİSYONLARI VE ALTTA YATAN MODEL VARSAYIMLARININ DERİNLEMESİNE ANALİZİ



Bu adımlar, kg plastik atık başına toplam 0.9 kg plastik verimi ve üretilen her kg plastik başına 0.3 kg CO<sub>2</sub> emisyonu ile sonuçlanır. Gazlaştırma yönteminde, plastik atıklar hidrojen ilavesi, ardından metanol sentezi ve sonrasında MTO yoluyla plastik üretimi ile tatlı hale getirilmiş sentez gazına gazlaştırılır. Bu yöntem, sıfır ila düşük CO<sub>2</sub> hidrojen üretimi varsayıldığında, kg plastik atık başına toplam 0.9 kg plastik verimi ve kg plastik atık başına 0.15 kg CO<sub>2</sub> emisyonu ile sonuçlanır.

Kimyasal üretim sistemlerinin gerekli teknolojik ayarlamalara uyum sağlayacak şekilde uyarlanması koşuluyla, kimyasal geri dönüşümle bağlantılı emisyonlar bir ton plastik başına 0.2 t CO<sub>2</sub>eq kadar düşük olabilir.

Kimyasal geri dönüşümün sunabileceği kullanım ömrü sonu emisyon tasarruflarını da dikkate almak önemlidir. Yakma, yaygın bir kullanım ömrü sonu işlemidir ve 2.7 t CO<sub>2</sub>eq/t daha fazla plastik atıkla sonuçlanır. Bunlar, yakma sırasındaki enerji kredilerinden kaynaklanan önlenen emisyonları hesaba katmadan, yakma sırasında salınan saklı karbondan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarıdır.

ME (2018), Zhu ve arkadaşlarının bilimsel makalesine dayanarak 1 kg CO<sub>2</sub>/kg işlenmiş plastik atığın CO<sub>2</sub> emisyonlarını açıklamaktadır. (2018).

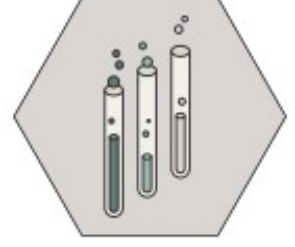
CE Delft (2019), iklim değişikliği etkisinin geri dönüşüm tekniğine göre farklılık gösterdiğine dikkat çekiyor.

4 Değer, aşağıdaki formül kullanılarak IPCC (2006) temel alınarak hesaplanmıştır: kg CO<sub>2</sub> = kg yakma atığı \* yakma fırınındaki karbonun oksidasyon faktörü (0.98) \* C'nin CO<sub>2</sub>'ye dönüşüm faktörü (3.67) \* Σ(atık oranı (%)) \* kuru madde içeriği (%) \* karbon içeriği (g/g kuru ağırlık)). Plastik atıkların kuru madde içeriği 1'e eşittir. Plastik atıkların karbon içeriği 0.75'tir (gC/g kuru ağırlık atık). Ayrıca, kullanım ömrü sonu emisyonları farklı plastik türleri arasında farklılık gösterir. Emisyonlar, örneğin PS ve PE (yaklaşık 3 kg CO<sub>2</sub>/kg plastik) ve örn. PP ve PUR (yaklaşık 2.5 kg CO<sub>2</sub>eq/kg plastik) yakma için daha yüksektir. Özetle, ME (2019) ve ME (2018), tüm yakılmış kullanım ömrü sonu plastikler için 2.7 kg CO<sub>2</sub>eq/kg plastik kullanmıştır.

Bunun yanı sıra, kullanılan çeşitli teknolojiler ve çevresel performans nedeniyle, kimyasal geri dönüşümü tek bir işlem tekniği olarak görmek tavsiye edilmez. Örneğin, piroliz ve gazlaştırma gibi tekniklerin etkisi 0 ila -0.5 t CO<sub>2</sub>eq/t girdi arasında tahmin edilirken, polimerleri doğrudan kullanım için monomere ayıran tekniklerin etkisinin (depolimerizasyon ve solvoliz gibi) -1.5t CO<sub>2</sub>eq/t girdiye kadar tahmin edilir. Ayrıntılar, aşağıda verilmektedir:

- Geri dönüşüm iskartaları, şu anda AEC'lerde yakılmaktadır. Bu, yaklaşık 1.5 t CO<sub>2</sub>eq/t girdi malzemesinin toplam iklim etkisine neden olur (önlenen enerji üretiminden sağlanan kredi dahil). Buna karşın kimyasal geri dönüşüm, 0 ile -0.5 t CO<sub>2</sub>eq/t girdi malzemesi arasında bir iklim etkisine neden olur. AEC'lerle karşılaştırıldığında, özellikle sentez gazı ve dizel tipi üretilirken, süreçle ilişkili emisyonlar daha düşüktür (sadece enerji kullanımı, plastiklerin yanması yok). Bu üretim, diğer üretim zincirlerini (doğal gaz, konvansiyonel dizel) önler. İklim etkisindeki toplam azalma, 1.5 ila 2.0 t CO<sub>2</sub>eq/t geri dönüşüm hatasına karşılık gelir. Bununla birlikte, çalışmanın yazarlarının temel olarak test tesislerinden gelen verileri ve özellikle ticari ölçekte uygulanan süreçlerden yayılanlara kıyasla çok iyimser olarak kabul edilen süreç emisyonlarını kullandıkları belirtilmelidir.

# Ek ÖNLENEN SERA GAZI EMİSYONLARI VE ALTTA YATAN MODEL VARSAYIMLARININ DERİNLEMESİNE ANALİZİ



- Kaynakta ayrılmış malzemeden üretilen karışık plastik akışı (DKR 350) için, kimyasal geri dönüşüm tekniklerinin iklim etkisinin geri dönüşüm başarısızlığının etkisiyle aynı olduğu tahmin edilmektedir. Ancak referans farklıdır. DKR 350'nin kalın cidarlı uygulamalar ("DKR 350 işleme") için plastik geri dönüşümüne mekanik olarak geri dönüştürülmesi, yaklaşık -0.5 t CO<sub>2</sub>eq/t girdi malzemesinin bir iklim etkisi üretir. Bunun nedeni kısmen geri dönüşümün kullanılmasının çelik ve işlenmemiş plastik üretimini engellemesidir. Bu nedenle, kimyasal geri dönüşümün iklim etkisinin azaltılması, 0.5 t CO<sub>2</sub>eq/t DKR 350 (iklim etkisi artar) ile 0 t CO<sub>2</sub>eq/t DKR 350 (iklim etkisi aynı kalır) arasındadır.

- PET atıkları için mekanik geri dönüşüm -2.3 t CO<sub>2</sub>eq/t'lik bir iklim etkisine neden olurken, kimyasal geri dönüşüm (manyetik depolimerizasyon) -1.5 t CO<sub>2</sub>eq/t'lik bir iklim etkisine neden olur. Her iki durumda da ham PET üretimi engellendiği için sonuç olumsuzdur. Ancak bu karşılaştırmada, mekanik geri dönüşümün PET tepsiler için mükemmel bir referans tekniği olmadığına dikkat edilmelidir.

- Ana varsayımlar ve görüşler:

o Hollanda'da mekanik geri dönüşüm, manyetik depolimerizasyon ve solvolizin gerçekleştiği varsayılmıştır. Ancak bu işlemler aynı zamanda işlenmemiş PET ve EPS üretiminin de yerini almaktadır. Plastik ithalatı ve Hollanda üretimine ilişkin istatistiksel verilere dayanarak, bu ham

üretimin üçte ikisinin Hollanda'da ve üçte birinin yurt dışında gerçekleştiği varsayılmıştır.

- o Şu anda 350 DKR fraksiyonu ağırlıklı olarak Almanya'da işleniyor.
- o Seçilen tekniklerin geniş ölçekte kullanılabilmesi ve seçilen plastik atık akışlarının uygun olduğu varsayılmıştır.
- o İşleme sırasında üretilen ürünlerin pazarlandığı varsayılmıştır (böylece diğer üretim zincirlerinden kaçınılmıştır). Örneğin, entegre hidropiroliz ile üretilen tüm sentez gazlarının Hollanda'da kullanılabilmesi ve geleneksel üretimi engelleyebileceği varsayılmıştır.
- o Plastik atık ithal ederken, nakliyenin iklim etkisi dahil edilmemiştir.

BASF'nin (2020) atık bakış açısı çalışması, karışık plastik atıkların pirolizinin, plastik atıkların yakılmasına göre %50 daha az CO<sub>2</sub> yaydığını belirtmektedir. Ürün bakış açısından (piroliz yağı ve naftadan yapılan plastik üretiminin karşılaştırılması), plastikler ham petrol bazlı nafta yerine piroliz yağı bazlı olduğunda, CO<sub>2</sub> emisyonlarından tasarruf edilir. Çalışma, bunu LDPE üretimi için göstermektedir. Piroliz yağından üretilen 1 t LDPE, fosil naftadan üretilen 1 t LDPE'den 2.3 t daha az CO<sub>2</sub> yayar. Üçüncü bir bakış açısından (plastik kalitesi) BASF, plastiklerin kimyasal geri dönüşüm (piroliz) veya karışık plastik atıkların tamamlayıcı mekanik geri dönüşümü kullanılarak üretilmesinin her ikisinin de benzer CO<sub>2</sub> emisyonlarına yol açtığı sonucuna varıyor. Çalışma, CO<sub>2</sub> emisyonlarının, ayırma tesisinden sonraki malzeme kayıplarına ve ikincil plastiklerin ürün kalitesine büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermektedir. Mekanik geri dönüşümün özel uygulaması, kimyasal geri dönüşüme kıyasla daha düşük CO<sub>2</sub> emisyonu olup olmayacağını belirler.



## Quantis Hakkında

Quantis, üst düzey organizasyonlara akıllı çevresel sürdürülebilirlik çözümlerini tanımlama, şekillendirme ve uygulama konusunda rehberlik eder. Özetle, yaratıcı kitap kurtlarımız, en son bilimi alır ve eyleme geçirilebilir hale getirir. Esnek stratejiler, sağlam ölçümler, faydalı araçlar ve güvenilir iletişimler sunuyoruz.

Quantis, ABD, Fransa, İsviçre, Almanya ve İtalya'daki ofisleri ve dünya çapındaki müşterileri ile küresel ölçekte sürdürülebilir değişime ilham vermede kilit bir ortaktır.

[quantis-intl.com](http://quantis-intl.com)

## Cefic Hakkında

Cefic, 1.2 milyon iş sağlayan ve dünya kimyasal üretiminin yaklaşık %17'sini oluşturan Avrupa'daki büyük, orta ve küçük kimya şirketlerinin sesidir. Cefic üyeleri, değer zincirindeki çeşitli sektörleri temsil eden endüstri birlikleri ile ortaklıklarla tamamlanan, iş dünyasının en aktif ağlarından birini oluşturur. Üyelerimizin tam listesine, Cefic web sitesinden ulaşılabilir.

[cefic.org](http://cefic.org)