

Plastik Atıklar Nasıl Ürüne Dönüştürülür?

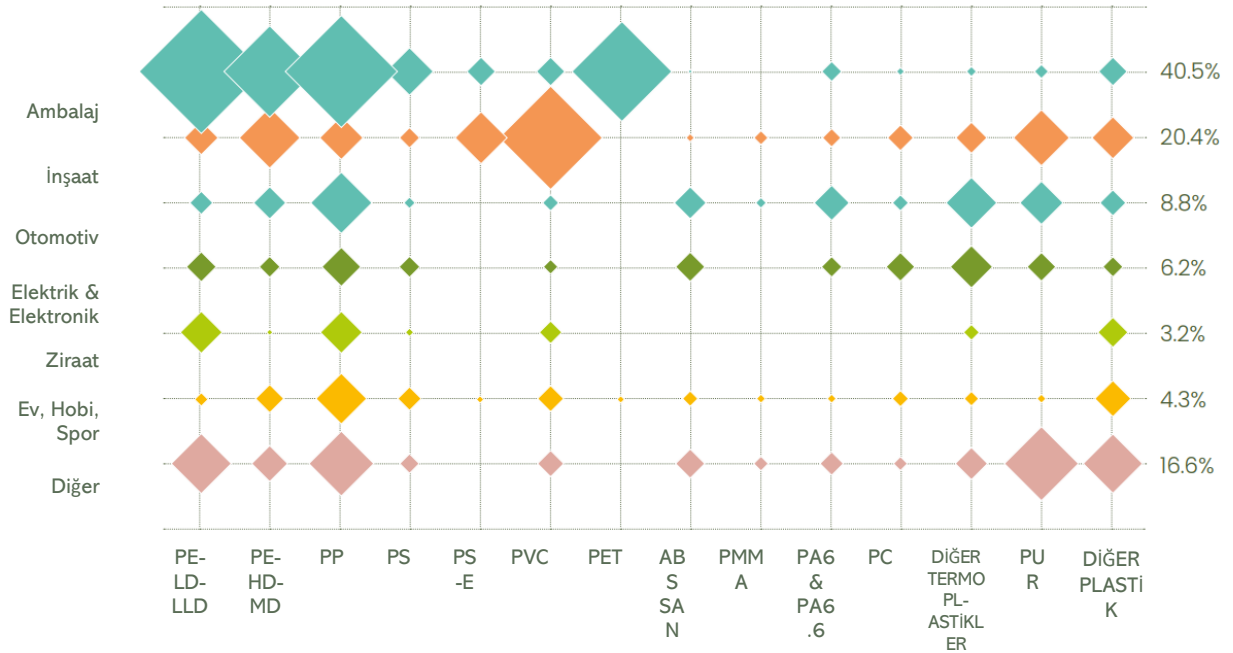
Plastik atıklar çok çeşitli malzemeleri kapsar ve ekonominin farklı kesimlerinden gelir. Örneğin Avrupa'da, plastik talep eden ve dolayısıyla plastik atık üreten yedi ana ekonomik faaliyet vardır, bu nedenle plastiğin yeniden değer kazanması için gereken malzeme akışları büyük ölçüde değişmektedir. Bu ana faaliyetler Şekil 1'de sunulmuştur.

Plastik atıkları yeni ürün üretimi için yeniden değerlendirilmiş bir malzemeye dönüştürmenin iki ana yöntemi vardır, biri mekanik işlem, diğeri ise kimyasal işlemler kullanmaktır. Plastiğin yeniden değer kazanma planının ilk aşaması olan malzemeyi mevcut kaynaklardan herhangi birinden geri kazandıktan sonra, işlenebilir malzemeleri elde etmek için bir sonraki adım mekanik ve kimyasal işlemdir.

Bu kısımda, mekanik ve kimyasal işleme girişin yanı sıra plastik atık bileşiminin kısa bir açıklaması verilmektedir. Plastik atıkların bileşiminin daha ayrıntılı bir analizini başka bir içeriğimizde görebilirsiniz ([link](#)).

Plastik Yeniden Değerleme Sürecinin Başlatılması

Daha önce de belirtildiği gibi, yeni ürünlerin plastik talebine bakılarak plastik atık bileşiminin bir resmi elde edilebilir. Şekil 1, bu talebi ekonomi segmentine ve polimer tipine göre ayrılmış olarak göstermektedir.



Şekil 1. Segmentlere ve polimerlere göre AB+3 plastik talebi 2020. [1]'den uyarlanmıştır

Görüldüğü gibi, ambalaj endüstrisi tarafından plastik kullanımı, diğer sektörleri açık ara geride bırakıyor. Ambalaj, diğer plastik atık türlerine kıyasla daha kısa bir kullanım ömrüne sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda yeniden değerlendirilmesi en zor türlerden biridir. Markalaşma ve pazarlama amaçlı çok çeşitli kaplar ve paketler, yeniden kullanılabilirliği ve geri dönüştürülebilirliği azaltır [2], bunun yanı sıra, Tüketici-sonrası (Post-consumer PC) yeniden değerlendirilebilir plastikler genellikle gıda artıkları ve geri dönüştürülemeyen malzemelerle kirlenir. Bu nedenle, daha büyük miktarlarda PC plastiğinin geri kazanılması için uygun atık toplama, taşıma ve ayırma yapılmalıdır.

Şekil 1'deki farklı polimerlerin yeniden değerlendirme söz konusu olduğunda farklı değerlere sahip olduğunu vurgulamak önemlidir. Bazı polimerler diğerlerinden çok daha fazla geri kazanılır, polietilen tereftalat (PET) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) oranları genellikle %10'u aşarken, polistiren (PS) ve polipropilen (PP) için oranlar sıfıra yakındır [3]. Şekil 2, şu anda en çok kullanılan plastiklerden bazılarını göstermektedir.



PE-LD-LLD



PE-HD-MD



PP



PS



PVC



PET

Şekil 2. Yaygın plastik ürünler-

İşleme seçenekleri hem sanayi sonrası (post-industry PI) hem de tüketici sonrası (PC) atıkları için benzerdir. Mekanik bir işleme yeni hammaddeler elde edildiğinde, tipik olarak Şekil 3'te gösterilenler gibi granüllere dönüştürülürler ve kimyasal yaklaşım kullanıldığında, tipik olarak monomer yapı taşları elde edilebilir [4].



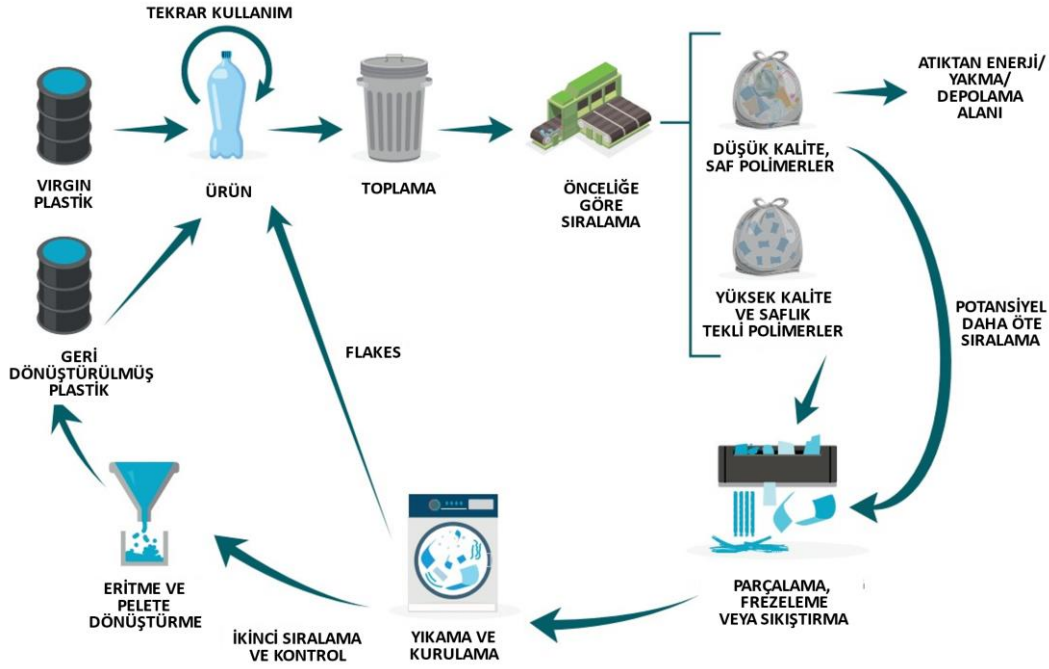
Şekil 3 Plastik peletler. AdobeStock'tan görüntü.

Mekanik geri dönüşüm işlemi

Plastik atıkların mekanik geri kazanımı, geri dönüşüm için en yaygın yöntemdir ve iyi yapılandırılmış tedarik zincirlerine sahip en gelişmiş pazardır. Plastics Europe [5] tarafından açıklandığı gibi, süreç aşağıda listelendiği ve gösterildiği gibi ilerler:

- **Toplama:** Ömrünü tamamlamış plastik ürünlerin ayrı ve karışık atık akışlarından toplanması
- **İlk ayıklama:** Plastik atıklar geri dönüşüm tesisine ulaştığında ayrıştırılır. Toplama aşamasında bir miktar ayırma yapılmış olsa da, renk veya kalınlığa göre daha fazla ayırma gerekebilir.

- **Parçalama:** Plastiklerin yeniden kullanıma sunulmadan önce daha küçük parçalara ayrılması gerekir.
- **Yıkama:** Yıkama, plastiklerin bir sonraki aşamaya geçmeden önce temiz olmasını sağlamak için tozu ve kiri temizler. Bu, yiyecek, içecek veya etiket artıklarının temizliğini içerebilir.
- **İkinci ayıklama ve kontrol:** Plastikler ekstrüzyona gönderilmeden önce tekrar ayrıştırılır ve kontrol edilir.
- **Ekstrüzyon:** Plastik pullar nihayet yeni ürünlerin imalatında kullanıma hazır homojen peletlere dönüştürülür.



Şekil 4 Mekanik geri dönüşüm sisteminin şeması. [6]'dan uyarlanmıştır.

Girişte bahsedildiği gibi, plastik atıklar, PI atıklarının bileşime göre daha iyi ayrılma eğiliminde olduğu endüstriyel ve tüketici kökenlerinden gelir, bu nedenle ayırma, PC atıklarına PI atıklarından çok daha sık uygulanır. Aynı şey yıkama için de geçerlidir, çünkü PC atıkları genellikle daha kirlidir [4].

Mekanik geri dönüşümün en gelişmiş tedarik zincirleri, PET ve PE (HDPE) için kurulmuş olanlardır, bunun nedeni polimer zincirlerinin nispeten düşük bir sıcaklıkta parçalanması ve bu nedenle geri dönüşüm işlemi sırasında daha az bozulma olmasıdır [7]. Bununla birlikte, teorik olarak, tüm termoplastikler, kalite üzerinde çok az veya hiç etkisi olmadan mekanik olarak geri dönüştürülebilir, aşağıdaki liste termoplastiklerin en yaygın örneklerinden bazılarını göstermektedir [5].

Akrilonitril bütadien stiren (ABS)

Polikarbonat (PC)

Polietilen (PE)

Polietilen tereftalat (PET)

Politetrafloroetilen (PTFE)

Polivinil klorür (PVC)

Polimetil metakrilat (PMMA)

Polipropilen (PP)

Polistiren (PS)

Genişletilmiş Polistiren (EPS)

Avantajlar ve zorluklar

Mekanik geri dönüşümün en büyük avantajı, merkezi olmayan bir uygulama için uygun olmasıdır. Mekanik geri dönüşüm tesisleri basit ve ucuzdur, kimyasal geri dönüşüm için gerekli tesislere kıyasla nispeten düşük enerji ve kaynak talebine sahiptir [8].

Mekanik geri dönüşüm, homojen plastik akışlarıyla en iyi sonucu verir. K. Ragaert ve ark. (2017)'e göre, kaplamaların ve boyaların kullanımı süreci zorlaştırır. Ek olarak, kirleticiler tamamen çözünür değilse, mekanik özellikler üzerinde olumsuz bir etki ile faz ayrılmasına neden olabilirler [4].

Polimerlerin mekanik geri dönüşümü sırasında iki tür bozunma önemlidir:

- Yeniden işlemenin neden olduğu bozunma (termal-mekanik bozunma).
- Kullanım ömrü boyunca bozulma.

PI ve PC plastik geri dönüşümü, ısı ve mekanik kesme kombinasyonunun neden olduğu bozulmadan muzdariptir. Ortamdaki her türlü faktöre (ısı, oksijen, ışık, nem vb.) uzun süre maruz kalarak yaşam boyu meydana gelen bozulma oluşur. Bununla birlikte, bu tür bir bozulma yalnızca PC plastiklerinin geri dönüşümü durumunda önemlidir [4].

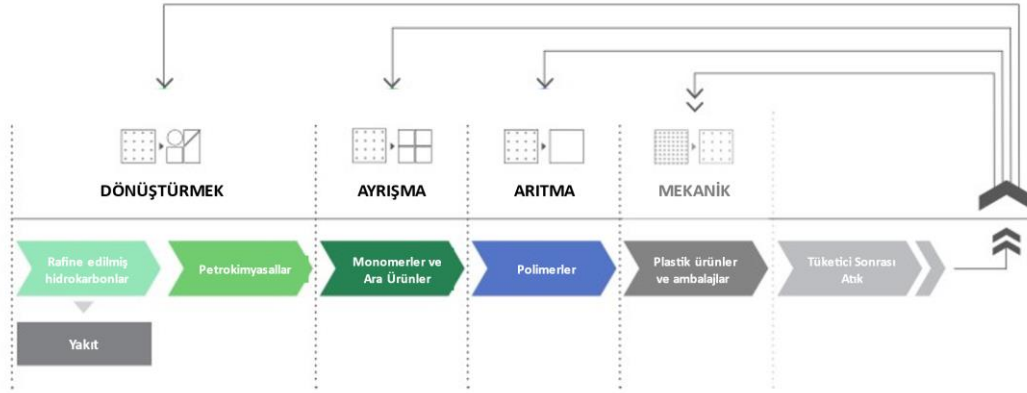
Kimyasal geri dönüşüm işlemi

Polimerik atığın formülasyonunu veya polimerin kendisini etkileyen ve bunları kimyasal maddelere ve/veya ürünlere dönüştüren herhangi bir yeniden işleme teknolojisi, kimyasal geri dönüşüm (enerji geri kazanımı hariç) olarak tanımlanabilir. Kimyasal geri dönüşüm, daha kirli veya karışık ve/veya çoklu malzemelerden oluşan plastik atıklar için uygun bir seçenek sunar [9].

Polimerlerin daha küçük moleküllere dönüştürülmesine dayanır. Kimyasal geri dönüşüm yolları kabaca termokimyasal ve katalitik dönüşüm süreçlerine ayrılabilir [4]. Bu kimyasal geri dönüşüm şemsiyesi altında bulunabilecek teknolojilerden bazıları şunlardır [9]:

- **Depolimerizasyon:** çoğunlukla plastik türlerine, yani PET (lifler dahil), Poliamidler veya Naylon (PA), Poliüretan (PU), PMMA ve Polilaktik asit (PLA) gibi bağımsız olarak sınıflandırılan monoakımlara odaklanır.
- **Piroliz ve hidrotermal yükseltme:** çoğunlukla kontrollü sınırlar içinde (LDPE, HDPE, PP, PS) çok katmanlı, çoklu malzemeler dahil olmak üzere karışık polimerlere odaklanır.
- **Gazlaştırma:** çoğunlukla karışık polimerlere odaklanır.

Sürecin diğer sınıflandırması, teknolojilerin çıktıklarına bakıldığında elde edilebilir. Mekanik geri dönüşüm, polimerlerin yapısını değiştirmez. Safılaştırma işlemi, polimerlerden katkı maddelerini çıkarmak için çözücüler kullanılır ve polimerleri neredeyse hiç değiştirmeden bırakır. Depolimerizasyon (Ayrışma), uzun hidrokarbon zincirlerini kimyasal, termal veya katalitik işlemler kullanarak daha kısa hidrokarbon fraksiyonlarına veya monomere ayırır. Son olarak, dönüştürme teknolojileri, plastik malzemeleri petrokimya endüstrisinin girdi akışında bulunan çok temel bileşenlere geri döndürür [10]. Şekil 5'te grafiksel bir özet sunulmuştur.



Yukarıdaki resimde, "Monomerler", paraksilen gibi diğer ara ürünleri içerir. Mevcut ortamda, bu ara ürünler genellikle dönüştürme işlemiyle üretilen petrokimyasallardan yapılıdır.

Şekil 5 Plastik atıkları yeniden değerlendirmek için kimyasal teknolojiler. [11]'den uyarlanmıştır.

Avantajlar ve zorluklar

Mekanik geri dönüşümün aksine, kimyasal geri dönüşümün sonunda elde edilen geri dönüşüm (geri dönüşüm sürecinin çıktısı) kalitesi, işlenmemiş plastik malzemelerin kalitesi ile karşılaştırılabilir [8].

Genel açıdan bakıldığında, kimyasal geri dönüşüm süreçleri için Yaşam Döngüsü Analizinin sonuçları olumludur. Kimyasal geri dönüşüm, enerji geri kazanımı sırasında yakmaya kıyasla daha düşük bir çevresel etkiye sahiptir; ayrıca fosil kaynaklardan plastik veya özel kimyasal ürünler yapmaktan da daha çevre dostudur. Bununla birlikte, teknolojiler ve işlenen plastik akışlar arasında farklılık gösterse de, mekanik geri dönüşümden daha yüksek bir çevresel etkiye sahip olma eğilimindedir [9].

Hem mekanik hem de kimyasal geri dönüşüm avantajları ve dezavantajları için bir karşılaştırma tablosu aşağıda verilmiştir.

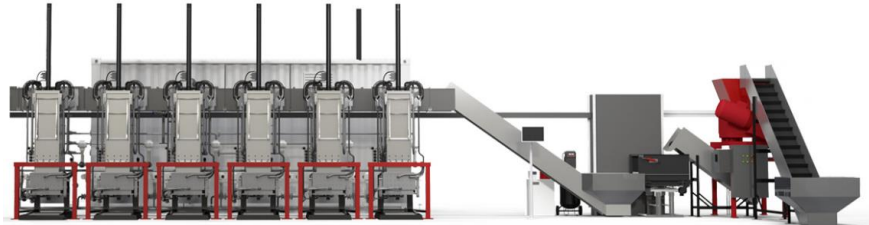
Özellik	Mekanik Geri Dönüşüm	Kimyasal Geri Dönüşüm
Altyapı / süreçler için teknik gereksinimler	Düşük	Yüksek
Merkezi olmayan işleme imkanı	Mümkün	Şu anda teknik olarak zorlu ve ekonomik değil
Giriş akışı için kalite gereksinimi	Yüksek	Düşük-Orta
Çıktı malzemesinin kalitesi	Giriş malzemesinin kalitesine bağlıdır. Proses parametreleri ve katkı maddeleri kullanılarak orta düzeyde kalite iyileştirmesi mümkündür, ancak teknik gider ile ters orantılıdır	Çok Yüksek

Çıktının gıda mevzuatı onayı	Özel durumlarda mümkündür	Yüksek
Çoklu geri dönüşüm imkanı	Limitli	Mümkün
Endüstriyel olgunluk	Yüksek	Sürece bağlı olarak, tam olarak olgunlaşmamış
Masraf	Düşük	Yüksek
Çevresel değerlendirme	Birden fazla geri dönüşüm, kalite iyileştirme adımları ve geri kazanılan malzemelerin uygulamaya özel kullanımı dahil olmak üzere tüm kullanım ömrü hakkında veri eksikliği nedeniyle, doğru bir karşılaştırma şu anda mümkün değildir. Ekolojik etki açısından mekanik geri dönüşümün daha avantajlı olması beklenmektedir.	

Tablo 1 Kimyasal ve mekanik geri dönüşümün avantajları ve dezavantajları. [8]'den uyarlanmıştır.

Vaka çalışmaları ve Örnekler

Saf bir mekanik geri dönüşüm yaklaşımıyla [ByFusion](#), ByBlock'u yarattı. Şirketin sıfır atık süreci, yalnızca buhar (ısı) ve sıkıştırma kullanarak, ayrıştırılmamış karışık plastik atıkları ikincil katkı maddeleri veya dolgu maddeleri olmadan ByBlock'a dönüştürüyor. ByBlock belirli yoğunluklara göre özelleştirilebilir, beton bloklar gibi çatlamaz veya parçalanmaz, yapıştırıcı veya yapıştırıcı gerektirmez, beton bloklara göre %83 daha az CO₂ emisyonu üretir ve daha fazla ByBlock oluşturmak için inşaat kalıntısı malzeme kullanabilir.



İtalya'da [Ecoplasteam](#), yeni bir ikincil geri dönüştürülebilir malzeme hattı oluşturmak için PC atık akışlarından polilaminatları (plastik + metal katmanlar) işlemek için patentli bir süreç kullanır. Ecoplasteam, mekanik geri dönüşüm ve bazı katkı maddelerinin kullanımını birleştirerek, gıda ambalaj atıklarından üretilen yeni bir malzeme tasarladı. PC polilaminatları benzer akışlardan elde edildiğinde, bileşim ve özellikler açısından zaman içinde tutarlı sonuçlar verir. Bu, yeni EcoAllene® malzemesinin tutarlı ve tekrarlanabilir olmasını sağlayarak, müşterilerinin onunla ham maddede olduğu gibi çalışmasına olanak tanır. Sürecin bazı görüntüleri ve yeni malzemenin uygulamaları aşağıda gösterilmiştir.



Otomotiv bileşenleri



Ambalaj

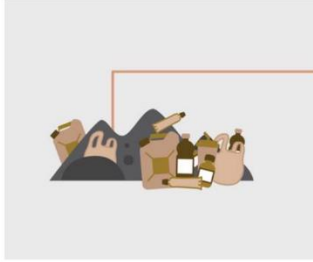


Mobilya ve aksesuarlar

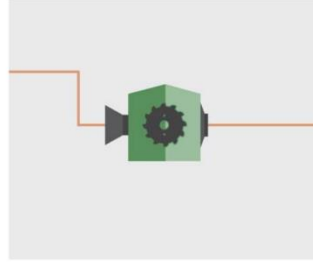
Kimyasal geri dönüşüme doğru ilerleyen Makeen Energy şirketi, [Plastcon](#) tesisini geliştirdi. Bu teknoloji, işlenmemiş ve sınıflandırılmamış plastik atıkların piroliz yağına ve yeni plastik malzemelerin üretimi için kullanılacak diğer kaynaklara dönüştürülmesini mümkün kılar. Sistem, istisnasız her türlü plastik atığı kabul eder.

Spesifik kurulum ve bağlama bağlı olarak, sistem yaklaşık olarak bu ürünleri üretebilir.:

- 75% yeni plastik malzemelerin üretiminde kullanılabilen piroliz yağı.
- 15% güç veya ısı üretmek için kullanılabilen gaz. Gaz üretimi metan, etan ve propan karışımından oluşur.
- 10% yeni plastik malzemeleri renklendirmek için kullanılabilen karbon siyahı.



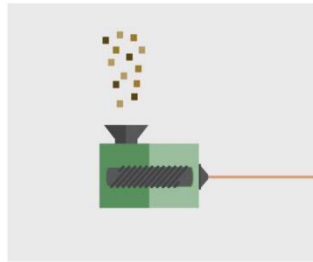
1. Plastik Atıklar



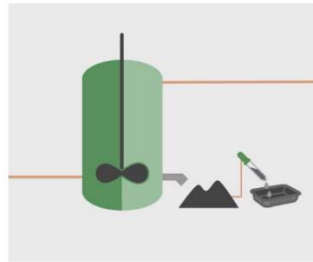
2. Parçalayıcı



3. Ayırma



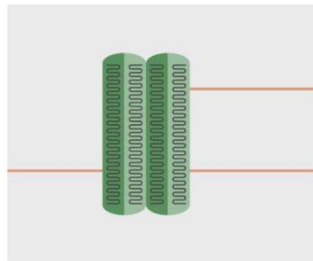
4. Yoğunlaştırma



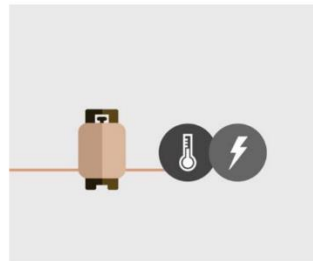
5. Piroliz



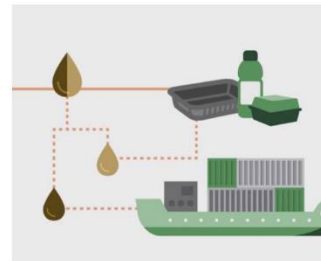
6. Karbon siyahı



7. Yoğunlaşma



8. Gaz



9. Piroliz yağı



Kaynaklar

Makaleler:

Kimyasal geri dönüşüm ve CO₂ azaltma potansiyeli

<https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/Chemical-recycling-and-its-CO2-reduction-potential.pdf>

Kimyasal geri dönüşüme genel bakış

<https://pryme-cleantech.com/chemical-recycling>

Mekanik Geri Dönüşüm Nedir?

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-mechanical-recycling>

Grafiksel içerik:

Plastics: The Facts 2021

https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf

Video:

Plastik geri dönüşümü gerçekten nasıl çalışır?

<https://www.youtube.com/watch?v=zO3jFKiqmHo&t=213s>

Geri dönüştürülemeyen nasıl geri dönüştürülür?

<https://www.youtube.com/watch?v=cPEDdrGDGrS>

Diğer kaynaklar:

Precious Plastic Academy

<https://community.preciousplastic.com/academy/plastic/basics>

Plastikler için Döngüsel Ekonomi – Avrupa'ya Genel Bir Bakış

<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/the-circular-economy-for-plastics-a-european-overview-2/>

Referanslar:

- [1] "Plastics - the Facts 2021," Plastics Europe, 2021. Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf
- [2] J. Hopewell, R. Dvorak, and E. Kosior, "Plastics recycling: challenges and opportunities," *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 364, no. 1526, pp. 2115–2126, Jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0311.
- [3] "Improving Plastics Management: Trends, policy responses, and the role of international co-operation and trade," OECD Environment Policy Papers 12, Sep. 2018. doi: 10.1787/c5f7c448-en.
- [4] K. Ragaert, L. Delva, and K. Van Geem, "Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste," *Waste Manag.*, vol. 69, pp. 24–58, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.044.

- [5] "Recycling technologies • Plastics Europe," *Plastics Europe*.
<https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/recycling/recycling-technologies/> (accessed Feb. 17, 2023).
- [6] Z. O. G. Schyns and M. P. Shaver, "Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review," *Macromol. Rapid Commun.*, vol. 42, no. 3, p. 2000415, Feb. 2021, doi: 10.1002/marc.202000415.
- [7] "Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET or PETE)," *AZoCleantech.com*, Jul. 24, 2012.
<https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=254> (accessed Feb. 24, 2023).
- [8] M. Shamsuyeva and H.-J. Endres, "Plastics in the Context of the Circular Economy and Sustainable Plastics Recycling: Comprehensive Review on Research Development, Standardisation and Market," *Compos. Part C Open Access*, vol. 6, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jcomc.2021.100168.
- [9] "About Chemical Recycling | Chemical Recycling Europe," *ChemRecEurope*.
<https://www.chemicalrecyclingeurope.eu/copy-of-about-chemical-recycling-1> (accessed Feb. 17, 2023).
- [10] B. P. Federation, "Chemical Recycling 101," *British Plastics Federation*.
<https://www.bpf.co.uk/plastipedia/chemical-recycling-101.aspx> (accessed Feb. 17, 2023).
- [11] "Accelerating Circular Supply Chains for Plastics," Closed Loop Partners, 2021. Accessed: Feb. 17, 2023. [Online]. Available: https://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2021/01/CLP_Circular_Supply_Chains_for_Plastics_Updated.pdf