



Madde

Baltık Devletlerinin Üç Şehrinde Belediye Plastik ve Çok Katmanlı Ambalaj Atıklarının Karakterizasyonu

Pavlo Lištva¹, Arturas Torkelis², Yaroslav Kobets¹, Estefania Carpio-Vallejo³, Andrea Dobri³, Jelena Barbir³, Viktoria Voronova¹, Gintaras Denafas² ve Linas Kliucininkas^{2,*}

- ¹ İnşaat Mühendisliği ve Mimarlık Bölümü, Tallinn Teknoloji Üniversitesi, Ehitajate Tee 5, 19086 Tallinn, Estonya; pavlo.lyshtva@taltech.ee (PL); yaroslav.kobets@taltech.ee (YK); viktoria.voronova@taltech.ee (VV)
- ² Çevre Teknolojisi Bölümü, Kimya Teknolojisi Fakültesi, Kaunas Teknoloji Üniversitesi, Radvilėnų pl. 19, LT-50254 Kaunas, Litvanya; arturas.torkelis@ktu.lt (AT); gintaras.denafas@ktu.lt (GD)
- ³ Araştırma ve Transfer Merkezi Sürdürülebilirlik ve İklim Değişikliği Yönetimi (FTZ-NK), Hamburg Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ulmenliet 20, 21033 Hamburg, Almanya; estefania.carpio@haw-hamburg.de (EC-V.); andrea.dobri@haw-hamburg.de (AD); jelena.barbir@haw-hamburg.de (JB)
- * Yazışma: linas.kliucininkas@ktu.lt

Soyut: Plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının bileşimi, Kaunas (Litvanya), Daugavpils (Letonya) ve Tallinn (Estonya) belediyelerinin karışık belediye katı atık (MSW) akışlarında değerlendirildi. Karışık MSW akışlarındaki numunelerin analizi için yazarlar manuel sıralama ve görsel tanıma yöntemini kullandılar. Çok aileli ve tek aileli hanelerin ayrı ayrı toplanmış atıklarından plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının bileşim analizi Kaunas ve Tallinn belediyelerinde gerçekleştirildi. Ayrı ayrı toplanan atık akışlarındaki numunelerin analizi için araştırma grubu manuel sıralama ve yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi yöntemlerini birleştirdi. Bulgular, plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının belediye katı atık (MSW) akışındaki yüzde dağılımının Kaunas, Daugavpils ve Tallinn belediyelerinde sırasıyla %40,16, %36,83 ve %35,09 oranında nispeten tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, ayrı toplanan plastik ve çok katmanlı ambalaj atık akışları incelendiğinde dikkate değer bir değişiklik ortaya çıkmaktadır. Bu kategoride, toplam ayrı toplanan ambalaj atık akışındaki plastik ve çok katmanlı ambalaj oranı, çok aileli konut binaları için %62,05 ile %74,7 ve tek aileli konut binaları için %44,66 ile %56,89 arasında değişmektedir. Yazarlar, geliştirilmiş sıralama yoluyla farklı plastik malzemelerin geliştirilmiş geri dönüşüm potansiyeli için daha fazla içgörü sağlamıştır.

Anahtar kelimeler: belediye atığı; plastik ambalaj atığı; çok katmanlı ambalaj atığı; karışık katı atık; ayrı toplanmış atık; çok aileli haneler; tek aileli haneler

1. Giriş

Plastik, yaratıldığı günden bu yana, sahip olduğu olağanüstü özellikler nedeniyle günlük hayatımızda önemli bir meta haline gelmiştir [1,2]. İkinci Dünya Savaşı sırasında rafinerilerin ve plastik üretiminin hızla genişlemesi, yaygın olarak benimsenmesini hızlandırdı ve küresel üretim 1950'den itibaren gelişti. Çok yönlülüğü, düşük maliyeti, hafifliği, dayanıklılığı ve mükemmel mekanik özellikleriyle ilişkilendirilen bu malzemenin kapsamlı kullanımı, gıda ambalajı, inşaat, tıbbi uygulamalar ve daha fazlası dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalar için hayati öneme sahip hale getirdi [3,4].



Akademik Editörler: Jae Kwang (Jim) Park ve Hanane Tounsadi

Alındı: 29 Aralık 2024 Gözden geçirildi: 17 Ocak 2025 Kabul edildi: 23 Ocak 2025 Yayımlandı: 25 Ocak 2025

Alıntı: Lyštva, P.; Torkelis, A.; Kobets, Y.; Carpio-Vallejo, E.; Dobri, A.; Barbir, J.; Voronova, V.; Denafas, G.; Kliucininkas, L. Belediye Plastik ve Atıklarının Karakterizasyonu Baltık Ülkelerinin Üç Şehrinde Çok Katmanlı Ambalaj Atıkları.

Sürdürülebilirlik **2025**, *17*, 986.

<https://doi.org/10.3390/su17030986>

Telif Hakkı: © 2025 yazarlara aittir.

Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre.

Bu makale, Creative Commons

ve

Attribution (CC BY) lisansının

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükmü ve

koşulları altında dağıtılan açık

erişimli bir makedir.

Plastik üretimi katlanarak arttı ve küresel üretimin bir önceki yüzyılın tamamını geride bırakarak 2022'de 400,3 Mt'a ulaştığı son on yılda zirveye ulaştı [5]. Aynı zamanda, plastiklerden kaynaklanan atık miktarı da son 20 yılda artış gösterdi ve plastik kirliliğini ve bununla ilişkili çevresel ve insan sağlığı etkilerini daha da kötüleştirdi [6]. Avrupa Birliği'nde (AB) 2021 yılında kişi başına düşen ortalama plastik ambalaj atığı üretimi 35,9 kg olup, bunların yaklaşık %40'ı geri dönüştürülmüştür [7]. Blagoeva ve diğerlerine göre [8], atık üretimindeki artış, ekonomik koşullardaki iyileşmeler ve nüfus arasında daha yüksek satın alma gücüyle ilişkilidir. Dahası, plastik üretiminin önümüzdeki yirmi yıl içinde iki katına çıkacağı ve mevcut atık yönetimi kapasitelerini geride bırakacağı öngörülmektedir [4]. Sonuç olarak plastik kirliliği günümüzün en acil çevresel sorunlarından biri haline gelmiştir.

Atık Çerçeve Direktifi (2008/98/EC), Üye Devletler genelinde atık bertarafının önemli ölçüde azaltılmasını zorunlu kılarak, belediye atıklarının yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü 2035 yılına kadar üretilen toplam belediye atığının en az %65'ine çıkarmalarını zorunlu kılmaktadır [9]. Ambalaj ve Ambalaj Atığı Direktifi (94/62/EC), 2025 yılına kadar tüm plastik ambalaj atıklarının en az %50'sinin geri dönüştürülmesini ve 2030 yılına kadar bu oranın en az %55'e çıkarılmasını gerektiren belirli geri dönüşüm hedefleri belirlemektedir [10]. Çöp Depolama Direktifi (1999/31/EC), 2035 yılına kadar üretilen toplam belediye atığının %10'unun belediye atıklarının çöp depolama alanlarına atılmasıyla sınırlandırılması hedefini koymaktadır [11]. Bu hedefler, plastik ve kompozit ambalaj atığı sektöründe devam eden ilerleme ve inovasyona olan acil ihtiyacın altını çiziyor. Bu taahhüt yalnızca çevresel sürdürülebilirliği ele almayı amaçlamakla kalmıyor, aynı zamanda plastik kirliliğini azaltmada ve doğal kaynakları korumada da önemli bir rol oynuyor. Ancak, uygun şekilde sıralama geri dönüşüm oranlarını önemli ölçüde artırabileceğinden, sıralama geri dönüştürülebilirlik için kritik bir husustur. Düşük kaliteli atık akışları, plastik geri dönüşüm tesislerinin genel performansını önemli ölçüde engelleyerek geri dönüşüm operasyonlarının etkinliğini azaltır [12].

Baltık Denizi Bölgesi'ndeki (BSR) durum, artan plastik kirliliğinin küresel eğilimini yansıtmaktadır. Yaklaşık 85 milyon insana ev sahipliği yapan ve dokuz ülkeyle çevrili olan Baltık Denizi, benzersiz ve savunmasız bir flora ve faunaya ev sahipliği yapmaktadır. Ancak, çeşitli yollarla kirleticiler aldığı için en kirli denizlerden biri olarak kabul edilmektedir. Mikroplastikler deniz ekosisteminde giderek daha yaygın hale gelmekte ve Baltık Denizi'ni bir kirlilik merkezi haline getirmektedir [13–16]. Yetersiz atık yönetim stratejileri bu sorunu daha da kötüleştiriyor.

Atık yönetimi uygulamaları, toplama yöntemlerinden kullanım ömrü sonu alternatiflerine kadar BSR ülkeleri arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Başlıca zorluklardan biri, geri dönüşüm ve kaynak geri kazanımı potansiyelini sınırlayan plastik atıkların verimsiz toplanması ve sınıflandırılmasıdır. Avrupa'da atık ayırma ve toplama sistemlerinin etkinliği ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir ve genişletilmiş üretici sorumluluğu planları ve depozito sistemleri genellikle toplama stratejilerini şekillendirmede rol oynamaktadır [17,18]. BSR ülkeleri arasında Almanya, %73 ile en yüksek plastik toplama oranını bildiriyor [19], Letonya ise %13 ile en düşük oranı kaydediyor [20].

Plastik atıkları yönetmek için kullanılan farklı arıtma yöntemleri çeşitli çevresel endişelere yol açar. Plastik atık arıtmanın baskın yöntemi olan enerji geri kazanımı için yakma, özellikle sera gazı (GHG) emisyonları açısından önemli zorluklar ortaya çıkarır. Bu süreç yalnızca hava kirliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda iklim değişikliğine de katkıda bulunur. 2030 yılına kadar plastiklerden kaynaklanan GHG emisyonlarının 1,34 Gt/y'a ulaşması öngörülmektedir [21,22]. Ortalama olarak, BSR'deki plastik atıkların %49'u yakılıyor, İsveç %65 ile önde gidiyor ve Litvanya %25 ile en düşük oranı bildiriyor. Bölge genelindeki geri dönüşüm oranları da önemli farklılıklar gösteriyor. BSR ortalama geri dönüşüm oranı yaklaşık %27 iken, Almanya tüketici sonrası plastik atıkların %37'sine kadarını geri dönüştürüyor. Buna karşılık, Finlandiya ve Letonya yaklaşık %20 ile en düşük geri dönüşüm oranlarını bildiriyor.

İyi belgelenmiş çevresel etkilerine rağmen, depolama BSR'de plastik atık yönetiminin bir bileşeni olmaya devam ediyor. Ortalama olarak, plastik atıkların %24'ü depolamaya gidiyor,

Letonya %69 ile en yüksek orana sahipken, Almanya, İsveç ve Finlandiya sadece %1 ile en düşük oranları bildiriyor [23,24].

Uygunsuz veya etkisiz atık yönetimi ciddi zorluklar getirir. Mikro ve nanoplastiklerin oluşumu büyük bir endişe kaynağıdır ve bu, daha büyük plastiklerin ultraviyole ışığa ve kimyasal veya fiziksel mekanizmalara maruz kalmasıyla oluşur. Bu küçük parçacıkların geri kazanılması ve yönetilmesi çok zordur ve besin zincirlerinde birikerek su ve kara ekosistemlerini ve insan sağlığını tehdit eder [25,26].

Ek olarak, plastiklerin kimyasal parçalanması ve ayrışması sırasında zararlı maddelerin salınmasıyla toprak ve su kalitesi olumsuz etkilenebilir. Plastiklerin kimyasal bileşimiyle ilişkili tehlikeli kimyasalların salınması sonucu oluşan hava kirliliği de endişe vericidir. Bu kirliliğin, özellikle mikroplastiklerin birikmesi ve bunlarla ilişkili toksisite yoluyla hayvan yaşamı üzerinde zararlı etkileri vardır. Dahası, daha sonra çevreye salınan plastiklerin üretiminde kullanılan toksik kimyasallar, çok sayıda sağlık sorunuyla ilişkilendirilmiştir [21,27,28].

Uygun ve etkili atık yönetimi, çevre ve insan sağlığına yönelik riskleri en aza indirmek için esastır. Etkili bir atık yönetim sistemi sağlamak için mevcut atık akışlarının bileşimini bilmek esastır. Literatür taraması, bugüne kadar yalnızca sınırlı sayıda çalışmanın plastik ve çok katmanlı ambalaj atığının morfolojisini, ambalaj ve polimer türlerine göre atık akışı içindeki dağılımını değerlendirmek için kısmen incelediğini ortaya koymuştur (Tablo1).

Tablo 1.Önceki çalışmaların analizi, kısmen atık morfolojik kompozisyonunun incelenmesine odaklanmıştır.

Öğrenim Ülkesi	Çalışma Yılı	Ana Sonuç	Referans.
Avusturya	2024	Bu çalışma, Avusturya'daki belediye atıklarının genel niceliksel ve nitel bir analizini sunarak, üretilen atık miktarlarını ve farklı atık türlerine (örneğin ambalaj atığı, AEEE, cam vb.) dağılımını değerlendirmektedir.	[29]
Avusturya	2024	Bu çalışma, karışık evsel katı atıkta ve polimer, ürün kategorisi, dekorasyon teknolojisi, dolum hacmi, renk ve daha fazlası dahil olmak üzere ayrı tüketici sonrası plastik ambalaj atığı toplamada tüm ambalaj alt bileşenleri de dahil olmak üzere içecek dışı plastik şişelerin derinlemesine bir karakterizasyonunu sağlayarak bu atık akışının kalitesini ve geri kazanım ve geri dönüşüm potansiyelini değerlendirdi.	[30]
Polonya	2023	Atık akışları analiz edilerek, mevsimsel dalgalanmaların üretilen belediye atıklarının ve ayrı toplanan atıkların miktarı ve bileşimi üzerindeki etkisi araştırıldı.	[31]
Çin	2023	Çalışmada, plastik ambalaj atıklarının ambalaj türü ve diğer faktörlere göre dağılımını belirlemek amacıyla teorik-pratik bir model uygulanmıştır.	[32]
Finlandiya	2017	Sınıflandırma çalışması, MSW'nin plastik fraksiyonunun bileşimini ana polimer türlerine (LDPE, HDPE, PET, vb.) göre tanımladı. Buna göre, bu plastiklerin geri dönüşüm potansiyeli değerlendirildi.	[33]
Litvanya, Rusya, Ukrayna ve Gürcistan	2014	Bu çalışma, dört Doğu Avrupa şehrindeki MSW'nin kalitesi ve bileşimi üzerinde mevsimsel değişikliklerin etkisini araştırıyor ve yürütülen araştırmalardan elde edilen içgörülerini sunuyor. 2009-2011 yılları arasında.	[34]

Plastik atıklar belediye atık yönetim sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır; bu nedenle, genellikle, konut plastik atıklarındaki mevsimsel değişimler belediye atık akışları bağlamında analiz edilir [34]. Danimarka'da yapılan çalışmanın yazarları, bir atık

tüm yılı temsil eden kompozisyon veri kümesi, bölgenin farklı sosyo-ekonomik ve coğrafi koşullarını kapsayan temsili bir hane grubundan en az bir hafta boyunca örneklenen atıktan elde edilebilir. Kaynak ayırma geri dönüştürülebilirlerine katılım (yani kağıt, karton ve plastik ambalaj ve metal) mevsimsel değişikliklerden önemli ölçüde etkilenmeyebilir. Dahası, mevsimsel değişiklikler ve hanehalkı büyüklükleri, evsel atıktaki diğer yanlış yerleştirilmiş geri dönüştürülebilir malzemelerin (yani kağıt, karton, plastik ve metal) yüzdesini önemli ölçüde etkilememiştir [35]. Mevsimsel dalgalanmaların üretilen belediye atıklarının miktarı ve bileşimi ile seçici olarak toplanan atıkların miktarı ve bileşimi üzerindeki etkisi Polonyalı yazarlar tarafından analiz edildi. Sonraki ölçüm serilerinde seçici olarak toplanan atıkların malzeme bileşimi sıklıkla farklılık gösterdi. Analiz edilen atık akışlarının miktarı ve bileşimi ile ilgili gözlemlenen değişiklikleri yılın mevsimleriyle ilişkilendirmek zordur, ancak hava koşulları şüphesiz insanların tüketim ve işleyiş modellerini etkiler ve böylece atık akışlarının boyutunu etkiler [31].

Plastik atıkların kontaminasyonu, polimer türlerinin tanımlanmasını etkiler ve plastik geri dönüşüm zincirindeki sonraki adımları sınırlar. Kontaminasyon seviyelerinin görsel kategorizasyonu, belediye plastik atık kalitesinin yalnızca genel bir görünümünü sağlar; ancak, karar alma için sağlam bir arka plan sağlamaz. Literatür taraması, belediye plastik atık kontaminasyonunun değerlendirilmesiyle ilgili prosedürlerin oluşturulması için yalnızca ilkel çabaları ortaya koydu. Bu nedenle, belediye plastik atık kontaminasyonunun değerlendirilmesi için standart bir protokol ve tekniklerin geliştirilmesi, yetkililer ve bilim topluluğu için acil görevlerden biridir.

Birçok çalışma, plastik atıkların geri dönüştürülmesinin, geleneksel yöntemlerle yeni plastik üretmeye kıyasla karbon emisyonlarını %42'ye kadar azalttığı gibi ekonomik ve çevresel faydaları özetlemiştir [36]. Ayrıca, bir kişinin geri dönüşüm yoluyla ortalama olarak yaklaşık 219 kWh enerji tasarrufu sağlayabileceği belirlenmiştir. Ek olarak, atıkların %12'sinin geri dönüştürüldüğü düşünüldüğünde, kaynakların geri dönüştürülmesi kişi başına yaklaşık 60 ABD doları tutarında tahmini yıllık ekonomik fayda sağlamaktadır [37]. Başka bir çalışma, yeni malzemelerin üretimi için plastiklerin kimyasal geri dönüşümünü inceledi. Yazarlar, geri dönüştürülmüş polimerlerin bakir malzemelerden daha ekonomik olduğu ve polimer türüne bağlı olarak %40 ila %90 arasında değişen enerji tasarrufları yoluyla önemli finansal faydalar sağladığı sonucuna vardı [38].

Bu araştırma, atık ayırma ve işlemeyi geliştiren çözümleri keşfederek daha geniş politika hedeflerine katkıda bulunur ve böylece daha sürdürülebilir ve dairesel bir ekonomiye geçiş destekler. Araştırma, özellikle BSR içindeki üç şehirdeki belediye plastik atık türlerini belirlemeye odaklanır. Çalışma, belediye atık akışları içindeki plastik atıkların dağıtımını analiz etmek için kapsamlı bir ayırma değerlendirmesi kullanır. Hem karışık atıkları hem de ayrı toplanan ambalaj atıklarını değerlendirerek, çalışma farklı plastik ambalaj malzemeleri türlerini belirlemeyi ve bunları anlamlı gruplara ayırmayı amaçlamaktadır. Toplanan veriler daha sonra, geliştirilmiş ayırma teknikleri yoluyla farklı plastik malzemelerin geri dönüşüm potansiyelini değerlendirmek için analiz edildi. Son olarak, bu araştırma Baltık Denizi Bölgesi'nde plastik atık arıtımı ve geri dönüşüm stratejilerini geliştirebilecek pratik içgörüler sağlamayı amaçlamaktadır.

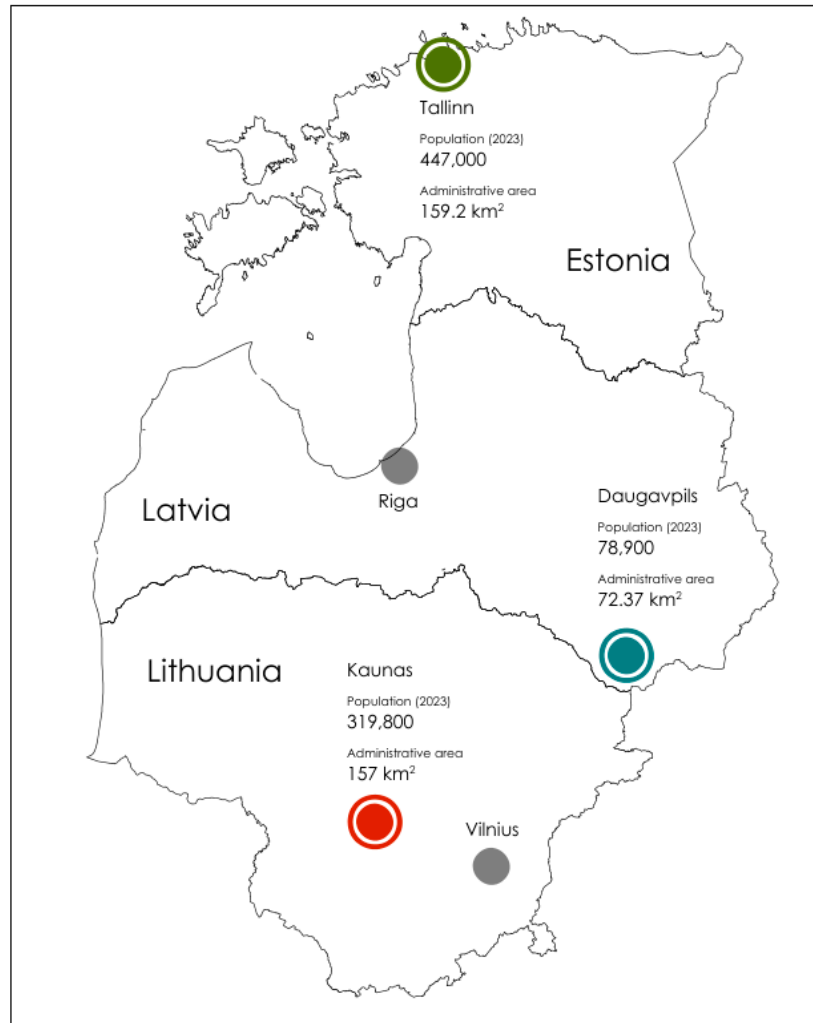
2. Yöntemler

Mevcut çalışma, her ülkeden ayrıntılı analiz için bir belediyenin seçildiği üç Baltık Devleti'ne (Litvanya, Letonya ve Estonya) odaklanmıştır. Plastik ve çok katmanlı ambalaj atığı bileşimleri, Kaunas (Litvanya), Daugavpils (Letonya) ve Tallinn'deki (Estonya) karışık belediye katı atık (MSW) akışlarında değerlendirilmiştir. Bu karışık atık örnekleri için yazarlar manuel ayırma ve görsel tanıma yöntemleri kullanmıştır. Yöntem zaman alıcıdır ve insan hatasına açıktır. Ek olarak, görsel tanıma, özellikle kirlenmiş, bozulmuş veya eksik olduğunda belirli plastik türlerini ayırt etmekte zorlanabilir

net ayırt edici özellikler. Ek olarak, hem çok aileli hem de tek aileli hanelerin ayrı ayrı toplanmış atıklarından plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının bileşimi Kaunas ve Tallinn'de analiz edildi. Bu ayrı ayrı toplanan atık akışları için, yazarlar manuel sıralama ve yakın kızılötesi (NIR) spektroskopi yöntemlerinin bir kombinasyonunu kullandılar. Çalışma için küçük bir elde taşınabilir NIR cihazı kullanılmasına rağmen, büyük ölçekli endüstriyel NIR uygulamaları için potansiyel vardır [39,40].

2.1. Çalışma Alanı

İncelenen üç Baltık Devleti, kişi başına düşen Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) bakımından benzerlikler paylaşmaktadır [41] ve nispeten benzer nüfus büyüklüklerine sahip olmaları [42]. Ayrıntılı analiz için seçilen belediyeler arasında nüfus, Daugavpils'te yaklaşık 78.900 (2023) ile Kaunas'ta yaklaşık 319.800 (2023) ve Tallinn'de 447.000'den (2023) fazla arasında değişmektedir (Şekil1). Her üç belediyede de, sakinlerin ayrı ambalaj atığı toplama hizmetlerine erişimi vardır. Ancak, Daugavpils'te plastik ambalaj atıkları için 'kapıdan kapıya' toplama sistemi yoktur, bu da bu tür atıkların organize atık taşıma hizmetlerinden hariç tutulduğu anlamına gelir [43]. Buna karşılık, Kaunas ve Tallinn, belediyeye ait şirketler aracılığıyla tek aileli haneler için kapıdan kapıya ayrı ambalaj atığı toplama hizmeti sunmaktadır. Çok aileli evler için, birkaç bina için ayrı ambalaj atığı toplama hizmeti toplu olarak organize edilmektedir. Bu farklılıklara rağmen, üç ülke benzer çevre standartları, atık yönetimi uygulamaları ve paylaşılan gelişim, kurumsal ve ekonomik özellikleri nedeniyle tek bir bölge olarak kabul edilebilir [44,45].



Şekil 1. Kaunas, Daugavpils ve Tallinn belediyelerindeki nüfus ve idari alanların büyüklüğü.

Üç ülkede plastik atık üretimi 2004 ile 2022 yılları arasında arttı. Litvanya'da 23.250 tondan 131.918 tona çıktı [46]. Letonya'da 721 tondan 144.808 tona çıktı [47], Estonya'da ise toplanan ve üretilen plastik atık miktarı 28.967 tondan 45.631 tona yükseldi, 2008'de 71.826 ton ve 2014'te 65.955 ton zirvelere ulaştı [48].

2.2. Karma Belediye Katı Atık Akışında Plastik ve Çok Katmanlı Ambalaj Atığının Karakterizasyonu

Üç incelenen şehrin karışık belediye katı atıklarının (BKA) bileşimi, İşlenmemiş Belediye Katı Atıklarının Bileşiminin Belirlenmesine Yönelik Standart Test Yöntemi'ne (ASTM D5231-92(2016)) göre belirlendi [49]. Yerel atık yönetim operatörleri tarafından denetlenen yerlerde hem tek aileli hem de çok aileli hanelerden karışık MSW örnekleri toplandı. Atık toplama süresi, atıpk olaylardan (örneğin tatiller) kaçınmak için seçildi ve tüketim davranışının etkisini azaltmak için hafta sonu dahil bir hafta sürdü. Toplamda, MSW örneği, seçilen belediyelerin idari bölgelerine yayılmış farklı yerlerde toplanan on altı örnekten oluşturuldu. Yaklaşık 150 kg'lık temsili örneklerin toplanması, 30 rastgele seçilmiş toplama noktasından gerçekleştirildi.

Atık karakterizasyonu için iki aşamalı bir prosedür kullanıldı. İlk adımda, plastik ve çok katmanlı ambalaj atıkları diğer karışık belediye atığı kategorilerinden ayrıldı. İkinci adımda, plastik ambalaj atıkları manuel olarak sınıflandırıldı ve görsel olarak şu gruplara ayrıldı: HDPE kavanozlar, LDPE filmler, PP kavanozlar, sert ambalajlar, PP filmler, PET şişeler, sert ambalajlar, PS köpük, PS kavanozlar, sert ambalajlar, diğer plastikler ve çok katmanlı ambalajlar. Ambalaj ve/veya polimer türü açısından tanımlanamayan öğeler 'tanımlanamayan' kategorisine atandı. 'Çok katmanlı ambalaj' kategorisi de ayrı olarak belirlendi. Plastik ambalaj öğelerinin kurutulmaması veya yıkanmaması, yüzey kirleticilerinin hesaba katılmaması dikkat edilmelidir. Rüzgar gibi istenmeyen etkilerden kaçınmak için tüm karakterizasyon kapalı alanda yapıldı. Tüm numune için 0,001 kg hassasiyete sahip aynı tartım ölçeği kullanıldı ve her kategori için ağırlıklar önceden tanımlanmış Excel tabanlı bir protokolda belgelendi.

2.3. Ayrı Toplanan Belediye Katı Atık Akışında Plastik ve Çok Katmanlı Ambalaj Atığının Karakterizasyonu

Belediyelerin farklı bölgelerinde bulunan on haneden, çok aileli ve tek aileli hanelerden ayrı ayrı toplanan plastik atık alt örnekleri toplandı. Karma MSW için olduğu gibi, atık toplama süresi bir haftaydı. Ayrı plastik toplamanın bireysel haneler için farklı yoğunlukları nedeniyle, çok aileli hanelerden alınan örneklerin kütlesi Tallinn'de 35,74 kg'dan Kaunas'ta 37,23 kg'a kadar değişirken, tek aileli hanelerden alınan örneklerin kütlesi Tallinn'de 26,53 kg'dan Kaunas'ta 40,83 kg'a kadar değişti.

Ayrı toplanan atıkların karakterizasyonu, karışık MSW için olduğu gibi benzer iki adımlı bir prosedürü izledi. İlk adımda, plastik ve çok katmanlı ambalaj atıkları diğer atık kategorilerinden ayrıldı. İkinci adımda, plastik ambalaj atıkları sıralandı ve polimer türü, NIR spektroskopisi tabanlı teknoloji kullanılarak yerinde belirlendi [50]. Bu yöntem, dağınık yansıyan ışığı analiz ederek spektrogramların hızlı ve tahribatsız bir şekilde edinilmesini sağlar. Birincil spektroskopik yöntemlerin karşılaştırılması ve gerekçelendirilmesi [51,52] Plastiklerin (polimerlerin) tanımlanmasında kullanılabilecek olanlar Tablo'da sunulmaktadır².

Tablo 2.Spektroskopi yöntemlerinin karşılaştırılması ve gerekçelendirilmesi.

Yöntem	Amaç	Güçlü yönleri	Sınırlamalar
Yakın kızılötesi spektroskopi (yakın kızılötesi)	Plastikleri polimer türüne göre tanımlamak ve atık olarak ayırmak için geri dönüşüm sistemleri	Hızlı, tahribatsız ve sıralama için ideal	Daha az detaylı, sınırlı malzeme türleri ve uygulanması zor koyu renkli örnekler
Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	Polimer tanımlama ve işlevsellik için grup analizi	Doğru, sağlar detaylı moleküler bilgi ve mikropplastik analizi için uygundur	Örnek gerektirir hazırlanması daha yavaştır ve koyu renkli numunelere uygulanması zordur
Raman	Ayrıntılı kimyasal için kompozisyon ve safsızlık tespiti	Tahribatsız, küçük ve karmaşık analizler numuneler ve mikropplastik analizi için uygundur	Daha düşük sinyal yoğunluğu, nispeten yavaş yöntem ve duyarlı çevresel bileşenler
Lazer kaynaklı bozulma spektroskopisi (LIBS)	Plastik malzemelerin temel bileşimi için	Hızlı ve tahribatsız olup yerinde (yani malzemeyi yerinden çıkarmadan) gerçekleştirilebilir. çevre); olabilir aynı anda tespit etmek tek bir ölçümde birden fazla eleman	Malzemenin bileşimi, ölçüm doğruluğunu etkileyebilir. ölçümler, özellikle karmaşık veya heterojen örnekler

Spektroskopi yöntemlerinin seçimlerini özetleyerek, NIR'nin geri dönüşüm tesisleri gibi büyük ölçekli veya otomatik sistemlerde plastiklerin hızlı bir şekilde sınıflandırılması ve tanımlanması için en etkili yöntem olduğu söylenebilir. FTIR ve ATR-FTIR, özellikle laboratuvar veya kontrollü ortamlarda plastiklerin ayrıntılı analizi ve tanımlanması için mükemmeldir. Raman spektroskopisi, FTIR'ye tamamlayıcı bilgi sağlar ve küçük veya karmaşık polimer numunelerinin analiz edilmesi için değerlidir. LIBS, element analizi ve kirleticileri veya katkı maddelerini tespit etmek için yararlı olsa da, farklı polimerleri etkili bir şekilde tanımlamak ve ayırt etmek için gereken moleküler veya yapısal içgörülerini sağlamaz.

Aktivasyondan sonra, cihaz kurulum için bir mobil uygulama ile eşleştirildi ve ışık kaynağının veya dedektörün ölçümler üzerindeki herhangi bir etkisini en aza indirmek için kalibrasyon yapıldı. Elde edilen NIR spektrumları, plastik ambalajdaki polimer tipinin oldukça doğru bir şekilde tanımlanmasını sağladı. Yazarlar, trinamiX plastik paket artı çözümünü (trinamiX GmbH, Ludwigshafen, Almanya) kullanarak, biyo-bazlı olanlar da dahil olmak üzere 30'dan fazla polimer tipini tanımlayabildiler. Hızına ve yüksek güven derecesine rağmen, NIR spektroskopisi yönteminin sınırlamaları vardır, çünkü aşırı derecede kirlenmiş ve siyah renkli öğeler 'tanımlanamadı' olarak kategorize edilmiştir.

Tanımlanan her bir ürün aşağıdaki kategorilerden birine atandı: kavanozlar, şişeler, sert ambalajlar, köpük, filmler ve kombine ambalajlar. Karışık MSW akışında olduğu gibi, plastik ambalajların kurutulması veya yıkanması yapılmadı. Rüzgar gibi istenmeyen etkilerden kaçınmak için tüm karakterizasyon iç mekanda yapıldı. Tüm örnek için 0,001 kg doğrulukta aynı ağırlıklandırma ölçeği kullanıldı ve her kategorinin ağırlıkları önceden tanımlanmış Excel tabanlı bir protokolda belgelendi.

2.4. Hesaplama Prosedürü

Gerekli örneklem büyüklüğünü belirlemek için Yazarlar aşağıdaki formülü uyguladılar:

$$N = \frac{Z^2 P(1-P)}{E^2} \quad (1)$$

Aşağıdakilerin doğru olduğu durumlarda:

Z —istenilen güven düzeyine (yüzde 95 güven) karşılık gelen puan; P —toplam atık akışındaki tahmini plastik atık oranı; E —hata payı veya kabul edilebilir kesinlik düzeyi ($\pm 5\%$).

Ayrıca sonlu popülasyon düzeltme (FPC) formülü kullanıldı:

$$N_{\text{ayarlanmış}} = \frac{N}{1 + \frac{n-1}{N}} \quad (2)$$

Burada, N —toplam atık madde sayısı.

3. Sonuçlar

3.1. Karma Belediye Katı Atık Akışlarında Plastik ve Çok Katmanlı Ambalajlar

Karışık MSW akışlarındaki plastiklerin ve çok katmanlı ambalajların tanımlanması ve kategorilendirilmesi 2023 yaz-sonbahar döneminde gerçekleştirildi. Plastik atık bileşimi analizine üç belediye/atık yönetim operatörü dahil oldu: Kaunas MBT tesisi (Litvanya), Daugavpils Geri Dönüşüm Merkezi (Letonya) ve Tallinn Geri Dönüşüm Merkezi (Estonya). Karışık MSW akışlarındaki plastik ve çok katmanlı ambalaj atığı bileşimi değerlendirmesinin sonuçları Tablo'da sunulmaktadır.³

Tablo 3. Kaunas, Daugavpils ve Tallinn'deki karışık katı atık depolama alanlarındaki plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının bileşimi (kütle yüzdeleri).

Polimer Türleri ve Plastik Kategorileri Çok Katmanlı Paketleme	Kaunas (LT)		Daugavpils (LV)		Tallinn (EE)	
	Toplamda Örnek Yığın, %	Kategoride 'Plastikler ve Çok katmanlı Ambalajlama', %	Toplamda Örnek Yığın, %	Kategoride 'Plastikler ve Çok katmanlı Ambalajlama', %	Toplamda Örnek Yığın, %	Kategoride 'Plastikler ve Çok katmanlı Ambalajlama', %
HDPE kavanozlar	0,51	1.32	5.63	15.24	0,87	2.00
LDPE filmi	20.88	53.86	14.19	38.53	7.24	17.88
PP kavanozlar, sert ambalajlar	5.98	11.97	2,96	8.04	6.14	15.16
PP filmi	6.33	16.20	2,46	6.68	2.37	5.87
PET şişeler, sert ambalajlar	1.74	4.48	0,88	2.40	2.26	5.58
PS köpük	0,93	2.50	1.51	4.11	0,35	0,86
PS kavanozları, sert ambalajlar	0,14	0,36	-	-	6.54	16.16
Diğer plastikler *	1.25	3.22	2,46	6.68	6.49	16.02
Çok katmanlı ambalaj tetra paketler, blisterler	2.40	6.09	6.74	18.32	2,83	7.01
Toplam, %	40.16		36.83		35.09	

* Tanımlanamayan polimer kategorisi ve/veya türü.

Plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının karışık MSW akışlarındaki yüzdelik dağılımı üç belediyede de benzerdi ve Tallinn'de %35,09, Daugavpils'te %36,83 ve Kaunas'ta %40,16 arasında değişiyordu. Plastik atıkların en büyük oranı belediyeler arasında önemli farklılıklar gösteren LDPE filmleriydi: Kaunas'ta %20,88, Tallinn'de %7,24 ve Daugavpils'te toplam atık kütlelerinin %14,19'u. İkinci en büyük grup, kavanozlar, sert ambalajlar ve filmler dahil olmak üzere PP ambalajlardan oluşuyordu ve Kaunas'ta %12,31, Tallinn'de %8,51 ve Daugavpils'te %5,42'lik bir paya sahipti. HDPE kavanozların toplam örnek kütlelerinin %5,63'ünü oluşturduğu Daugavpils'te dikkate değer bir istisna bulundu, Tallinn'de bu oranlar sırasıyla %0,87 ve Kaunas'ta %0,51 idi. Diğer plastik türleri de belirlendi

daha küçük miktarlarda, belediyeler arasında değişen dağılımlarla. Çok katmanlı ambalajlar (tetra paketler ve blisterler gibi) Kaunas'ta %2,40'a, Tallinn'de %2,83'e ve Daugavpils'te %6,74'e kadar temsil edildi. Genel olarak, Daugavpils'te plastik ve çok katmanlı ambalajların kütle yüzdesi Kaunas'a (%6,09) ve Tallinn'e (%7,01) kıyasla üç kat daha yüksekti (%18,32).

Her üç belediyede de atık yönetim operatörleri plastik atıkların manuel veya kısmen manuel olarak ayrılmasını kullanmaktadır. Teknisyenlerin deneyimine büyük ölçüde dayanan bu süreç, her zaman polimer türüne göre güvenilir bir sınıflandırma sağlamaz. Bu çalışma, plastik ürünlerdeki etiketlerin görsel olarak tanınması yoluyla polimer türünün belirlenmesi zorluğunu vurgulamaktadır. Beklendiği gibi, karışık MSW akışındaki birçok plastik ürün kirlenmiş, deforme olmuş veya ezilmiş, bu da etiket tanımlamasını mümkün kılmamıştır. Sonuç olarak, okunamayan etiketlerin oranı önemli olmuştur; Kaunas'ta %56,02, Daugavpils'te %47,56 ve Tallinn'de %68,32. Bu bulgular, polimer türü belirleme için teknolojik araçların uygulanmasının karışık MSW akışlarındaki plastik atıkların ayrılmasını önemli ölçüde iyileştirebileceğini düşündürmektedir.

3.2. Ayrı Toplanan Plastik ve Çok Katmanlı Ambalaj Atıkları

Kaunas ve Tallinn'deki MSW yönetim sistemleri, çok aileli ve tek aileli hanelerden belirli atık türlerinin (plastikler, metaller, kağıt ve karton) ayrı toplanması için olanaklar sağlar. Buna karşılık, Daugavpils'teki atık yönetim sistemi çok ve tek aileli hanelerden belirli atıklar için ayrı toplama sunmaz; bu nedenle, ayrı toplanan plastik ve çok katmanlı ambalaj atıkları araştırması yalnızca Kaunas ve Tallinn belediyelerinde yürütülmüştür. Kaunas'ta, çok aileli hanelerden gelen plastik ve çok katmanlı ambalaj atıkları yeraltı konteynerleri kullanılarak toplanırken, tek aileli hanelerden gelen plastik ve çok katmanlı ambalajlar kağıt, karton ve metalle birlikte 0,12, 0,14 veya 0,24 L hacimli konteynerlerde toplanır.

Tallinn'de çok aileli hanelerden gelen plastik atıklar özel konteynerlerde toplanırken, tek aileli haneler plastikleri ve çok katmanlı ambalajları kağıt, karton, metal ve camla birlikte 150 L hacimli sarı plastik torbalarda toplar. Bölümde belirtildiği gibi², polimer türünün tanımlanması için el tipi Plastic Plus NIR spektroskopi cihazı (trinamiX GmbH) kullanıldı. Ayrıca plastikler şu gruplara ayrıldı: kavanozlar, şişeler, sert ambalajlar, köpük ve filmler.

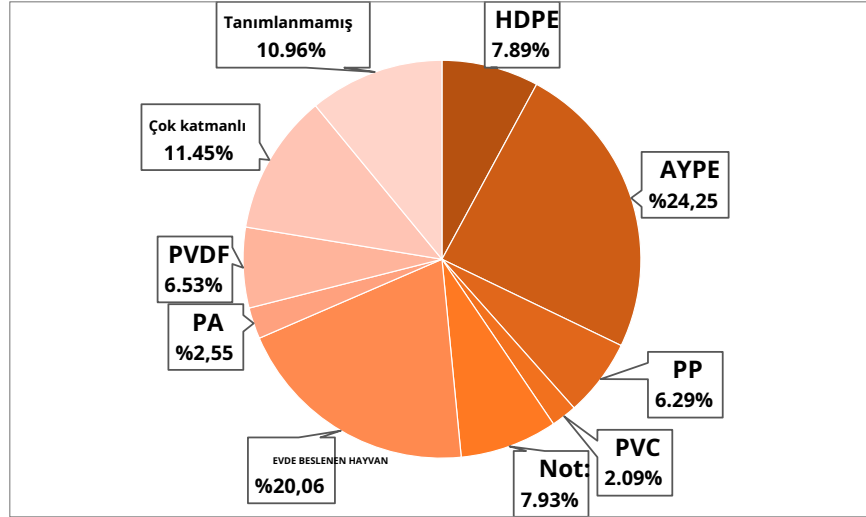
3.2.1. Kaunas'ta Çok Aileli ve Tek Aileli Hanelerden Ayrı Toplanan Plastik ve Çok Katmanlı Ambalaj Atıkları

Kaunas'taki çok aileli hanelerden ayrı toplanan atık örneğinin toplam kütlesi 49,84 kg'dı. Bunun 37,23 kg'ı plastik ve çok katmanlı ambalajdı, 12,26 kg'ı ise plastik olmayan maddelerden oluşuyordu. Bu nedenle, plastik ve çok katmanlı ambalaj toplam örnek kütlelerinin %74,70'ini oluşturuyordu. Kaunas'taki çok aileli hanelerden ayrı toplanan ve çok katmanlı ambalaj atık örneğinin bileşimi Tablo'da sunulmaktadır⁴.

Plastik ürünlerin ana grupları LDPE film (%18,45), PET şişeler ve sert ambalaj (%12,59), filmler (%7,46) ve PP şişeler ve sert ambalaj (%4,43) idi. Şaşırtıcı bir şekilde, örnekte herhangi bir kavanoz türü yoktu. Çok katmanlı ambalajlar toplam örnek kütlelerinin %11,45'ini oluşturuyordu. Örnekte ayrıca azaltılmış sayıda biyo-bazlı plastik (PVDF, %6,53) bulundu. Plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının polimer türüne göre dağılımı (kütle yüzdeleri) Şekil'de sunulmaktadır.² Ambalaj atıklarının büyük grupları LDPE (%24,25), PET (%20,06), PS (%7,93) ve HDPE (%7,89) idi. Öğelerin yaklaşık %10,96'sı için polimer türü belirlenmemiştir.

Tablo 4.Kaunas'taki çok aileli hanelerden ayrı toplanan plastik ve çok katmanlı ambalaj atığı örneğinin bileşimi (kütle, kg).

KAUNAS, Çok Aileli Haneler											
Ambalajlama Kategorileri	Polim R Tip								Çok-Tabaka r Paketleme	Olumsuz Tanımlanmış	Kitle tarafından Pasiflik kating Tip
	HDPE	AYPE	PP	PVC	Not:	EVDE BESLENEN HAYVAN	PA	PVDF			
	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram
Kavanozlar											
Şişeler	1.04	1.21	0.78		3.39			1.30		0,78	8.50
Sert ambalaj	1.21	0,95	0,87		1.04	1.30		1.13			6.50
Köpük					1.91						1.91
Filmler	0,69	6,87	0,69	0,78	2,78	0,95				3.30	16.06
Kombine paketleme									4.26		4.26
Polimer kütlesi tip, kg	2,94	9.03	2.34	0.78	2.95	7.47	0.95	2.43	4.26	4.08	37.23

**Şekil 2.**Plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının polimer türüne göre dağılımı Kaunas'taki çok aileli hanelerden toplanan örnekler (kütle yüzdeleri).

Ayrı toplanan atık numunesinin (plastik ve çok katmanlı ambalajlı) toplam kütlesi Kaunas'taki tek aileli hanelerden gelen atıkların (yaşlanma, kağıt, karton ve metal) miktarı 91,42 kg idi. Bunlardan 40,83 kg'ı plastik ve çok katmanlı ambalajlardan oluşurken, plastik olmayan ürünler ise; 50,59 kg. Böylece plastik ve çok katmanlı ambalajlar toplam numunenin %44,66'sını oluşturuyordu. kütle. Ayrı toplanan plastik ve çok katmanlı ambalajların bileşimi Kaunas'taki tek aileli hanelerden alınan atık örneği Tablo'da sunulmaktadır⁵.

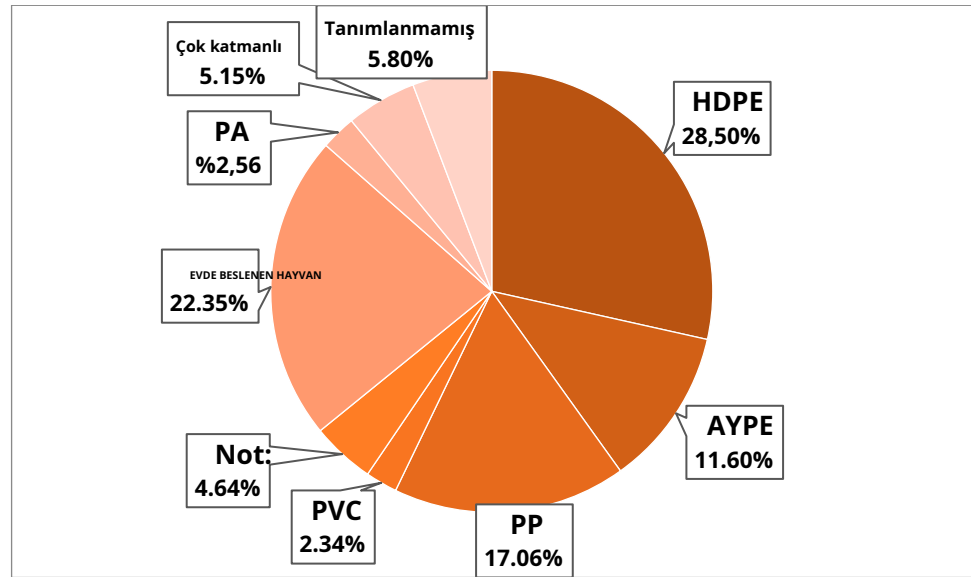
Tablo 5.Ayrı toplanan atık örneğindeki plastik ve çok katmanlı ambalajların bileşimi Kaunas'taki tek aileli hanelerden (kütle, kg).

KAUNAS, Tek Aileli Haneler									
Paketleme Kategorileri	Polimer Tipi						Çok katmanlı Ambalajlama	Olumsuz Tanımlanmış	Kitle tarafından Paketleme Türü
	HDPE	AYPE	PP	PVC	Not:	EVDE BESLENEN HAYVAN			
	kilogram	kilogram	kilo	kilo	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram
Kavanozlar			2.81		0,70			0,79	4.3
Şişeler	3.43				5.45				8.88

Tablo 5.Devamı

Paketleme Kategorileri	KAUNAS, Şarkı söyle le-Aile Evi						Seholds	
	Polimer Tipi					Not:	Çok katmanlı Ambalajlama	Olumsuz Tanımlanmış
	HDPE	AYPE	PP	PVC	Not:			
Sert ambalaj	7.21	1.14	3.28		0,93	2.37		0,88
Köpük					0,97			0,97
Filmler	0,96	3.60	0.88	0,96		0,61	1.05	0,7
Kombine paketleme							2.11	2.11
Polimer kütlesi tip, kg	11.60	4,74	6,97	0,96	1,90	9,13	1,05	2.37
							2.11	40.88

Plastik ürünlerin büyük grupları HDPE sert ambalajlar ve şişeler (PET kavanozlar, şişeler ve %26,06), sert ambalajlar (%20,87) ve PP kavanozlar ve sert ambalajları (Çok katmanlı ambalajlar toplam %14,91). kütlenin %5,15'ini oluşturuyordu. Dikkat çekici bir şekilde, küçük bir propo oranı biyo-bazlı filmler (PLA, %2,56) de belirlendi. Plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının polimer türüne (kütle yüzdeleri) göre dağılımı Şekil'de sunulmuştur. Ambalajın ana grupları HDPE (%28,50), PET (%22,35), PP (%17,06) ve LDPE (%11,60) idi. Ürünlerin yaklaşık %5,80'i için polimer türü tanımlanmamıştır.



Şekil 3. Kaunas'taki tek aileli hanelerden toplanan örneklerdeki plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının polimer türüne (kütle yüzdeleri) göre dağılımı.

Kaunas'ta tek ve çok aileli hanelerden toplanan plastik ve çok katmanlı ambalaj atığına ilişkin verilerin karşılaştırılması, bu iki gruptaki vatandaşların tüketim ve toplama alışkanlıklarının farklı olduğunu ortaya koymuştur. Tek aileli haneler için HDPE'den yapılmış şişeler ve sert ambalajlar (%26,06) ana plastik grubunu oluştururken, çok aileli hanelerde bu oran yalnızca %6,04'tür. Tek aileli hanelerden toplanan plastik ambalaj atığının ikinci ana kategorisi PET şişeler ve sert ambalajlar (%19,15) iken, PET filmler yalnızca %1,49'unu oluşturmaktadır. Öte yandan, çok aileli hanelerden toplanan PET şişe ve sert ambalaj yüzdesi daha düşük (%12,57) olmakla birlikte, önemli ölçüde daha yüksek bir PET film yüzdesi içeriyordu (%7,45). Tek aileli hanelerden toplanan plastik atıkların üçüncü ana kategorisi PP kavanozlar ve sert ambalajlar (%14,92) iken, çok aileli hanelerde bu kategori yalnızca %4,43'ünü oluşturmaktadır. Tek aileli hanelerden toplanan LDPE filmlerin yüzdesi

Örneklem kütlelerinin %8,82'sini çok aileli hanelerden toplanan LDPE filmler oluştururken, %18,45'ini ise çok aileli hanelerden toplanan LDPE filmler oluşturdu.

Çok katmanlı ambalajların yüzdelerinin karşılaştırılması, çok aileli hanelerin bu maddelerden tek aileli hanelere kıyasla (%5,15) iki katından fazla (11,45%) topladığını gösterdi. Tek aileli hanelerden tanımlanamayan plastik atık payı %5,80 iken çok aileli hanelerde bu oran %10,96 idi ve neredeyse iki katıydı. Tanımlanamayan polimer türüne sahip plastik maddelerin elde edilen yüzdeleri, görsel gözlemlerle birleştirildiğinde, tek aileli hanelerden ayrı toplanan plastik atıkların çok aileli hanelerden gelen plastik atıklara kıyasla daha iyi ayrılmış ve daha temiz olduğu varsayımını desteklemektedir.

3.2.2. Tallinn'deki Tek Aileli ve Çok Aileli Hanelerden Ayrı Toplanan Plastik ve Çok Katmanlı Ambalaj Atıkları

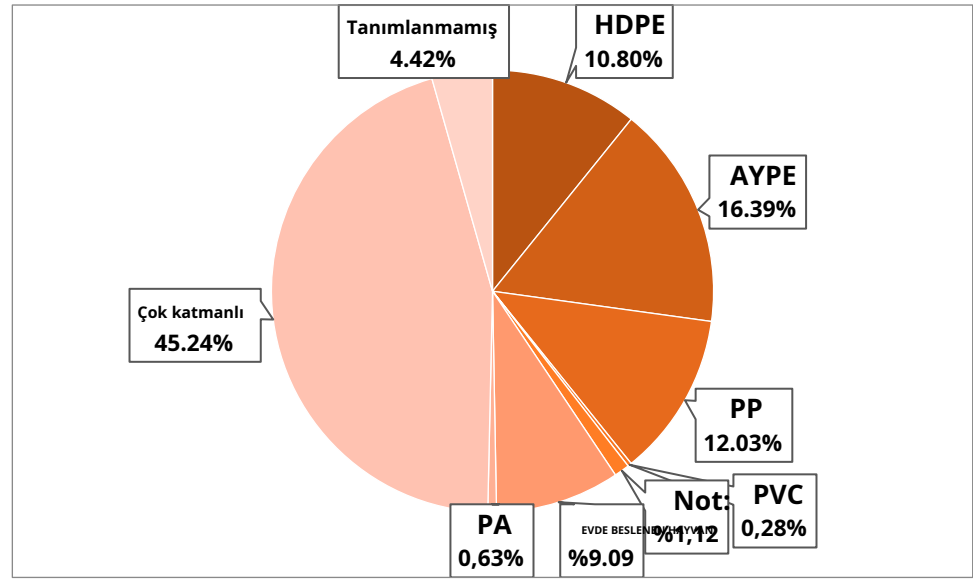
Tallinn'deki çok aileli hanelerden ayrı toplanan atık örneğinin toplam kütlesi 57,60 kg'dı. Plastik olmayan maddelerin kütlesi 21,86 kg'ı oluştururken, plastik ve çok katmanlı ambalajlar 35,74 kg'ı oluşturuyordu ve bu da toplam örnek kütlelerinin %62,05'i anlamına geliyordu. Tallinn'deki çok aileli hanelerden ayrı toplanan atık örneğindeki plastik ve çok katmanlı ambalajların bileşimi Tablo'da sunulmaktadır⁶.

Tablo 6.Tallinn'deki çok aileli hanelerden ayrı toplanan atık örneğindeki plastik ve çok katmanlı ambalajların bileşimi (kütle, kg).

TALLINN, Çok Aileli Haneler									
Ambalajlama Kategoriler	Polimer Tipi						Çok-Katmanlı Ambalajlama	Olumsuz Tanımlanmış	Kütle tarafından Paketleme Türü
	HDPE	AYPE	PP PVC	Not:	EVDE BESLENEN HAYVANLAR	RA			
	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram
Kavanozlar	0,65	0,01	0,88	0,10		0,12		0,10	1,86
Şişeler	0,42		0,38			0,60			1,40
Sert ambalaj	1,96	0,08	2,17	0,10	0,20	2,65	0,08	0,15	7,39
Köpük				0,10					0,10
Filmler	0,83	5,77	0,87			0,02		1,33	8,82
Kombine ambalajlama							16,17		16,17
Kütle tarafından polimer türü, kilogram	3,86	5,86	4,30	0,10	0,40	3,25	0,22	16,17	1,58
									35,74

Plastik ürünlerin ana grupları LDPE filmler (%16,14), ardından PP'den kavanozlar, şişeler ve sert ambalajlar (%9,59) ve HDPE (%8,48) geliyordu. Beklenmedik bir şekilde, örnekte çok katmanlı ambalajların istisnai yüksek bir yüzdesi (%45,24) bulunuyordu. Plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının polimer türüne göre dağılımı (kütle yüzdeleri) Şekil'de sunulmaktadır⁴Ambalaj atıklarının büyük grupları LDPE (%16,39), PP (%12,03), HDPE (%10,80) ve PET (%9,09) idi. Analiz edilen maddelerin %4,42'si için polimer türü belirlenemedi.

Tallinn'deki tek aileli hanelerden ayrı toplanan atık örneğinin toplam kütlesi 46,63 kg'dı. Plastik olmayan maddelerin kütlesi 20,10 kg'ı oluştururken, plastik ve çok katmanlı ambalajlar 26,53 kg'dı, yani toplam örnek kütlelerinin %56,89'unu oluşturuyordu. Tallinn'deki tek aileli hanelerden ayrı toplanan atık örneğindeki plastik ve çok katmanlı ambalajların bileşimi Tablo'da sunulmaktadır⁷.



Şekil 4.Tallinn'deki çok aileli hanelerden toplanan numunelerdeki plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının polimer türüne (kütle yüzdeleri) göre dağılımı.

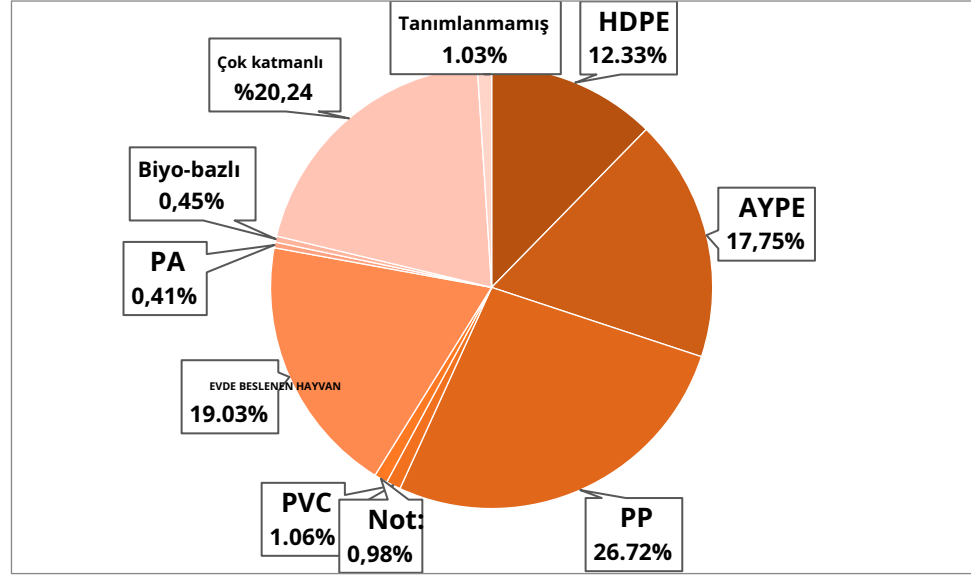
Tablo 7.Tallinn'deki tek aileli hanelerden ayrı toplanan atık örneğindeki plastik ve çok katmanlı ambalajların bileşimi (kütle, kg).

TALLINN, Tek veAile Evi tutar												
Ambalajlama Kategoriler	Polimer Tipi								Çok katmanlı Ambalajlama	Olumsuz Tanımlanmış	Yığın ile Paketleme g Tipi	
	HDPE	AYPE	PP	PVC	PS	EVDE BESLENME ATIKLARI	PA	ABS	PVDF			
	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	kilogram	KG	kilogram	kilogram	kilogram
Kavanozlar	0,47		0,19				0,48					1.14
Şişeler	0,24		0,21				1.30					1.75
Katı ambalajlama	1.57		5.07	0.28	0.26	2.99		0,08				10.25
Köpük												
Filmler	0,99	4.71	1.62				0,28	0,11	0,04		0,27	8.02
Kombine ambalajlama										5.37		5.37
Kitle tarafından polimer tür. kg	3.27	4.71	7.09	0.28	0.26	5.05	0.11	0.08	0.04	5.37	0,27	26,53

Plastik ürünlerin ana grupları PP (%21,37), PET (%17,98) ve HDPE (%8,59) ve LDPE filmlerden (%17,75) kavanozlar, şişeler ve sert ambalajlardı. Çok katmanlı ambalajlar toplam kütlenin %20,24'ünü oluşturuyordu. Az miktarda biyobazlı filmin (ABS: %0,31 ve PVDF: %0,15) de tespit edildiğini belirtmek önemlidir. Plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının polimer türüne göre dağılımı (kütle yüzdeleri) Şekil'de sunulmuştur. Ambalaj atıklarının büyük grupları PP (%26,72), PET (%19,03) ve LDPE (%17,75) idi. Öğelerin %1,03'ü için polimer türü tanımlanmamıştır.

Tallinn'deki tek aileli ve çok aileli hanelerden toplanan plastik ve çok katmanlı ambalaj atığına ilişkin verilerin karşılaştırılması, bu iki gruptaki vatandaşların tüketim ve toplama alışkanlıklarının önemli ölçüde farklı olduğunu ortaya koydu. PP'den kavanozlar, şişeler ve sert ambalajlar (%23,29) tek aileli hanelerden gelen plastiklerin ana grubunu oluştururken, çok aileli hanelerde bu oran yalnızca %9,60'tı. İkinci büyük

Tek aileli hanelerden gelen plastik atık kategorisi PP kavanozlar, şişeler ve sert ambalajlardı (%20,62), çok aileli haneler için ise bu kategori yalnızca %9,59'du. Tek aileli hanelerden gelen plastik ambalaj atıklarının üçüncü büyük kategorisi PET şişeler ve sert ambalajlar (%17,98) ve PET filmler sadece %1,05'i oluşturdu. Çok aileli hanelerden toplanan PET şişe ve sert ambalajların oranı daha düşüktü (%9,09) ve PET filminden hiçbir madde tespit edilmedi.



Şekil 5. Tallinn'deki tek aileli hanelerden toplanan örneklerde plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının polimer türüne (kütle yaşlarına) göre dağılımı.

Çok katmanlı ambalajların yüzdelerinin karşılaştırılması, çok sayıda hanenini-i-aile bu maddelerden iki katından fazla (45,24%) topladığını, aileli hanelere (20,24%) o tek-kıyasla topladığını gösterdi. Tek hanelerden tanımlanamayan plastik atık payı e-aile %1,02 iken çok aileli hanelerden %4,42 idi, kat kat daha yüksekti. Kaunas'ta dört olduğu gibi, tanımlanamayan polimer tipi maddelerin yüzdesi, görsel gözlemlerle birleşik birlikte, tek aileli hanelerden ayrı toplanan atıkların çok aileli hanelerden plastik toplanan plastik atıklarda daha iyi ayrıldığını ve daha temiz olduğunu varsaymayışon'a gitmek desteklemektedir.

4. Tartışma

Baltık ülkelerindeki üç şehirden elde edilen verilerin analizi, şehirler arasında polimer türü ve ambalaj kategorisinin bileşimini gösterdi. Çarşamba o önemli ölçüde. Verilerdeki yüksek varyasyon, Baltık Denizi Bölgesi'ndeki diğer farklı şehirlerden bildirilen sonuçlara dayanarak da kabul edildi. Ulusal mevzuat; yerel düzenlemeler; atık toplama sistemleri; mevsimsellik; gıda ürünleri, içecekler ve ambalajların üretimi ve ithalatı ve vatandaşların alışkanlıkları gibi çeşitli faktörler, belediye atıklarının bileşimi üzerinde etkilidir. Bu, plastik ve çok katmanlı ambalaj atığı toplama-ayırma-geri dönüşüm sisteminin geliştirilmesi ve uygulanmasının konuma özgü güvenilir veriler gerektirdiği anlamına gelir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçların diğer yazarların bulgularıyla karşılaştırılması benzer eğilimleri ortaya koydu. Küresel olarak, karışık MSW akışlarındaki plastik oranı %7 ile %22 arasında değişmektedir [53]. Örneğin, ABD'de plastik, karışık evsel katı atıkların %13'ünü oluşturmaktadır ve çoğunluğu LDPE, ardından HDPE, diğer ve PP'dir (sırasıyla toplam atık kütlelerinin %2,9'u, %2,5'i, %2,5'i ve %1,8'i) [54]. Benzer şekilde, İsveç'in bir şehrinde, karışık katı atıklardaki plastik payı %13,8 olup, toplam atık kütlelerinin türe göre dağılımı şu şekildedir:

LDPE, %26; PP, %24,9; diğerleri, %22; PET, %14 ve HDPE, %8,9 [55]. Finlandiya'dan alınan bir diğer örnek, genel MSW akışında plastik ambalaj atıklarının yaygınlığındaki oldukça benzer eğilimleri göstermektedir; polimer türüne göre dağılım şu şekildedir: LDPE, %27,6; PP, %21,7; PET, %13,4 ve HDPE, %6,9 [33]. Delgado ve diğerlerine göre [56], 2017 yılı verilerine göre AB'de polimer türüne göre MSW'deki plastik fraksiyonunun bileşimi şu şekilde değişmektedir: LDPE, %38-43; HDPE, %15-20; PET, %12-17; PS, %12-17 ve PP, %5-10. Çeşitli bilimsel ve pratik kaynaklara dayanarak, atıkların morfolojik bileşiminin ülkelerin coğrafi, ekonomik, sosyal ve diğer durumlarıyla güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu belirtmekte fayda var [57]. Araştırmamız, belirli bir coğrafi bölgedeki plastik ve çok katmanlı ambalaj atığı sisteminin mevcut durumuna ilişkin içgörüler sunmaktadır.

Karışık MSW ve ayrı toplanan atıklardaki plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarını inceledikten sonra, çok ve tek aileli hanelerden alınan örnekler, karışık MSW örneklerindeki plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının kütle payının, daha yüksek değerlerin gözlemlendiği ayrı toplanan örneklerle kıyasla daha düşük olduğunu gösteren net bir eğilim ortaya koydu. En yüksek kütle payı, çok aileli hanelerden alınan örneklerde gözlemlendi.

Beklendiği gibi, karışık MSW akışlarındaki plastiklerin büyük bir kısmı kirlenmiş, deforme olmuş veya parçalanmıştı ve bu da etiketlemeyi elle okuyarak polimer tipinin belirlenmesini imkansız hale getirdi. Etiketlemenin görsel olarak tanınmasıyla polimer tipinin belirlenmesi, MSW akışlarında öğelerin yarısından fazlasının okunamayan etiketlere sahip olduğunu ortaya koydu. Elde edilen veriler görsel gözlemlerle birleştirildiğinde, tek aileli hanelerden ayrı toplanan atıkların çok aileli hanelerden gelen atıklara kıyasla daha temiz ve orijinal şekliyle daha iyi korunduğu varsayımını doğruladı.

Kaunas ve Tallinn'deki çok aileli ve tek aileli hanelerden gelen plastiklerin bileşimi, Kopenhag belediyesinde elde edilen sonuçlarla kısmen örtüşmektedir. Kaynakta ayrılmış plastik atıklar için plastiklerin bileşimi şu şekildeydi: PET, %31; PE, %27; PP, %34 ve diğerleri, %5 [58]. Başka bir çalışmada farklı Danimarka geri dönüşüm merkezlerinden gelen plastik kategorileri analiz edildi: sert plastikler, plastik filmler ve PVC. Sert plastik için PP öğeleri baskındı (%48) ve diğer plastik türleri az miktarda mevcuttu: HDPE (%22), PVC (%8), PS (%6) ve PET (%3). Polimerik filmler için şu sonuçlar elde edildi: LDPE (%63), PP (%25), HDPE (%7) ve PET (%5) [59]. Başka bir çalışma, gıda artıklarıyla kirlenmiş plastik ambalajlarla ilgiliydi. Birkaç atık akışını analiz etti, bunlardan biri anaerobik sindirim (AD) için temizlenmiş karışık plastiklerdi (CMP'ler). Farklı plastik türlerinin bileşimi şu şekildeydi: LDPE (%64), PP (%12), PET (%2) ve diğer polimerlerin bir karışımı (%9) [60].

5. Sonuçlar

Çalışma, üç Baltık şehrinde (Kaunas, Daugavpils ve Tallinn) belediye plastik ve çok katmanlı ambalaj atıklarının bileşiminde önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. Bu, belirli belediyede etkili bir ambalaj atığı yönetim sisteminin geliştirilmesinin güvenilir ve yerelleştirilmiş verilere dayanması gerektiğini savunmaktadır.

Ana sonuçlar, ayrı toplanan plastik ve çok katmanlı ambalaj atığı sisteminin, karışık belediye katı atık (MSW) akışlarından toplanan atıklara kıyasla daha yüksek miktarlarda ve daha iyi kalitede atık sağladığını göstermiştir. Bu, daha iyi ve daha uyumlu ayrı toplanan ambalaj atığı sistemlerinin, polimer türü tanımlamasının iyileştirilmesi ve plastik atık geri dönüşüm oranlarının artırılması için ön koşullar olduğu anlamına gelir.

Tek aileli haneler genellikle çok aileli hanelere kıyasla daha temiz ve daha iyi ayrılmış atık üretir ve bu da ayırma ve geri dönüşüm süreçlerinin verimliliğini artırır. Çok aileli hanelerde tanımlanamayan plastik atık payı tek aileli hanelere kıyasla daha yüksektir (örneğin Tallinn'de %4,42 ve Kaunas'ta %10,96)

(örneğin Tallinn'de %1,03 ve Kaunas'ta %5,80). Bu, atık kalitesini ve ayırma uygulamalarını iyileştirmek için çok aileli hanelerde hedefli müdahalelere ve farkındalık programlarına olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Yakın kızılötesi (NIR) spektrometrisi gibi teknolojilerin kullanımı, polimer tipi tanımlamasını önemli ölçüde iyileştirerek, görsel tanıma yöntemine kıyasla tanımlanmamış plastiklerin yüzdesini azaltır. Ancak, plastik atık kontaminasyonu polimer tipi tanımlamasını ve plastik geri dönüşüm zincirindeki sonraki adımları sınırlar. Literatür taraması, belediye plastik atık kontaminasyonunun değerlendirilmesiyle ilgili prosedürlerin oluşturulması için ilkel çabalar olduğunu ortaya koydu. Bu nedenle, belediye plastik atık kontaminasyonunun değerlendirilmesi için standart bir protokol ve tekniklerin geliştirilmesi, yetkililer ve bilim topluluğu için acil görevlerden biridir.

Bu çalışmanın bulguları, ayrı toplanan plastik atıklar için sistemlerde iyileştirmeler yapılması ve plastik ayırma kapasitelerini artırmak için ileri teknolojik yöntemlerin uygulanması ihtiyacını vurgulamaktadır. Aynı zamanda, ayırma işlemi sırasında polimer türlerinin daha iyi tanınması ve plastik malzemelerin daha doğru karakterizasyonu, geri dönüşüme hazır malzeme sayısını artıracaktır. Ayrıca karar vericilerin her polimer türü için en uygun işlem seçeneklerini seçmelerine yardımcı olacaktır.

Yazar Katkıları:Kavramsallaştırma, LK; metodoloji, AT ve LK; doğrulama, EC-V., AD ve JB; biçimsel analiz, AT, YK ve PL; araştırma, AT, PL, GD, VV ve LK; kaynaklar, GD; veri düzenleme, GD; yazma - orijinal taslak hazırlama, PL; yazma - inceleme ve düzenleme, VV ve LK; görselleştirme, EC-V.; denetim, AD; proje yönetimi, JB Tüm yazarlar, makalenin yayınlanmış versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman:Bu araştırma için herhangi bir dış finansman sağlanmamıştır.

Kurumsal İnceleme Kurulu Beyanı:Uygulanamaz.

Bilgilendirilmiş Onay Beyanı:Uygulanamaz.

Veri Kullanılabilirliği Beyanı:Bu çalışmada sunulan orijinal katkılar makalede yer almaktadır. Daha fazla bilgi için ilgili yazara başvurulabilir.

Teşekkürler:Çalışma, AB tarafından ortak finanse edilen Interreg Baltık Denizi Bölgesi Projesi BALTIPLAST çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Makalenin yazarları, Tallinn Stratejik Yönetim Ofisi'nden Mikk-Erik Saidla'ya, "Cin" depolama sahasının üretim bölümünden Valerjans Gedzjuns'a şükranlarını sunar.Örneklem düzenlemeleri için Daugavpils'deki "İşi", "Kauno švara" JSC'den Aida Stiklienė ir Vaiga Jazdauskaitė, Kaunas Bölgesel Atık Yönetim Merkezi'nden Laurynas Virbickas ve Kaunas Teknoloji Üniversitesi'nden Shahzaib Khan.

Çıkar Çatışmaları:Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kısaltmalar

Bu yazıda aşağıdaki kısaltmalar kullanılmıştır:

MBT	Mekanik biyolojik arıtma
MSW	Belediye katı atıkları
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
AYPE	Düşük yoğunluklu polietilen
PP	Polipropilen
Not:	Polistiren
PA	Poliamid
	Polietilen tereftalat
PLA	Polilaktik asit
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
PVDF	Poliviniliden florür veya poliviniliden diflorür

EVDE BESLENEN HAYVAN

Referanslar

1. Pow, C.J.; Fellows, R.; White, H.L.; Woodford, L.; Quilliam, R.S. Nehir taşkınları ve plastik kirliliği—Tarım alanlarına potansiyel insan patojeni bakterilerin taşınması. *Çevre. Kirlilme*. **2025**, *366*, 125518. [ÇaprazRef] [PubMed]
2. Lyshtva, P.; Voronova, V.; Barbir, J.; Filho, W.L.; Kröger, S.D.; Witt, G.; Miksch, L.; Saborowski, R.; Gutow, L.; Frank, C.; ve diğerleri. Farklı ortamlarda bir poli(3-hidroksibutirat-ko-3-hidroksivalerat) (PHBV) bileşiğinin bozunması. *Heliyon* **2024**, *10*, e24770. [ÇaprazRef] [PubMed]
3. Altman, R. Tarihi biyo-bazlı plastik efsanesi Ne temiz ne de çevreci olan ilk biyo-bazlı plastikler, günümüze dair dersler sunuyor. *Bilim* **2021**, *373*, 47–49. [ÇaprazRef] [PubMed]
4. Nielsen, T.D.; Hasselbalch, J.; Holmberg, K.; Strippel, J. Siyaset ve plastik krizi: Plastik yaşam döngüsü boyunca bir inceleme. *Wiley Interdiscip. Rev. Enerji Çevre*. **2020**, *9*, e360. [ÇaprazRef]
5. Banka, M.S. (Ed.) *Çevresel Mikroplastik: Desen ve Süreç*, Çevresel Kirliliğin Giderilmesi ve Yönetimi; Springer: Cham, İsviçre, 2022. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-78627-4> (17 Ocak 2025'te erişildi).
6. Kulkarni, A.; Quintens, G.; Pitet, L.M. Sorunlu Bir Atık Akışını Çeşitlendirmek İçin Polyester Geri Dönüşümündeki Trendler. *Makromoleküller* **2023**, *56*, 1747–1758. [ÇaprazRef]
7. Torkelis, A.; Dvarionienė, J.; Denafas, G. Plastik ve Kompozit Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümünü Etkileyen Faktörler. *Sürdürülebilirlik* **2024**, *16*, 9515. [ÇaprazRef]
8. Blagoeva, N.; Georgieva, V.; Dimova, D. GSYİH ile Belediye Atığı Arasındaki İlişki: Bölgesel Farklılıklar ve Atık Yönetimi Politikaları Üzerindeki Etkileri. *Sürdürülebilirlik* **2023**, *15*, 15193. [ÇaprazRef]
9. Avrupa Parlamentosu ve Konsey. Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 19 Kasım 2008 tarihli Atık ve Bazı Direktiflerin Yürürlükten Kaldırılması Hakkındaki 2008/98/EC Direktifi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng> (17 Ocak 2025'te erişildi).
10. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi. 20 Aralık 1994 tarihli Ambalaj ve Ambalaj Atıkları ile ilgili 94/62/EC sayılı Direktif. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://data.europa.eu/eli/dir/1994/62/2018-07-04/eng> (17 Ocak 2025'te erişildi).
11. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi. 26 Nisan 1999 tarihli Atıkların Depolanması Hakkında 1999/31/EC Direktifi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://data.europa.eu/eli/dir/1999/31/2024-08-04/eng> (17 Ocak 2025'te erişildi).
12. Kroell, N.; Chen, X.; Küppers, B.; Schlögl, S.; Feil, A.; Greiff, K. Hafif ambalaj atığı ayırma tesislerinde plastik ön konsantrelerin yakın kızılötesi tabanlı kalite kontrolü. *Kaynak. Koru. Geri dönüştür.* **2024**, *201*, 107256. [ÇaprazRef]
13. Bollmann, U.E.; Simon, M.; Vollertsen, J.; Bester, K. Kentsel sular yoluyla Baltık Denizi'ne organik mikro kirlleticilerin ve mikro plastiklerin girişinin değerlendirilmesi. *Mar. Kirliliği. Boğa*. **2019**, *148*, 149–155. [ÇaprazRef] [PubMed]
14. Schernewski, G.; Radtke, H.; Robbe, E.; Haseler, M.; Hauk, R.; Meyer, L.; Piehl, S.; Riedel, J.; Labrenz, M. Bir Haliç ve Baltık Denizi'ndeki Görünür Plastiklerin Emisyonu, Taşınması ve Birikimi - Bir İzleme ve Modelleme Yaklaşımı. *Çevre Yönetim* **2021**, *68*, 860–881. [ÇaprazRef]
15. Filho, W.L.; Voronova, V.; Barbir, J.; Moora, H.; Kloga, M.; Kliučininkas, L.; Klavins, M.; Tirca, D.-M. Baltık Denizi Bölgesi'nde plastik kirliliğini ele almak için alınan yumuşak önlemlerin kapsamı ve etkinliğinin değerlendirilmesi. *Mar. Kirliliği. Boğa*. **2024**, *209* Nokta A, 117090. [ÇaprazRef]
16. Sobrino-Monteliu, M.; Navarro, A.; Rodriguez, B.; Tejera, G.; Herrera, A.; Rodríguez, A. Deniz kuşu biyolojik izlemesi, Kanarya Akıntısı boyunca benzer plastik kirliliğine işaret ediyor. *Mar. Kirliliği. Boğa*. **2025**, *211*, 117424. [ÇaprazRef] [PubMed]
17. Stasiškienė, Ž.; Barbir, J.; Draudvilienė, L.; Chong, Z.K.; Kuchta, K.; Voronova, V.; Filho, W.L. Avrupa'da Biyo Bazlı ve Biyolojik Olarak Parçalanabilir Plastik Atık Yönetimine İlişkin Zorluklar ve Stratejiler. *Sürdürülebilirlik* **2022**, *14*, 16476. [ÇaprazRef]
18. Biakhmetov, B.; Li, Y.; Zhao, Q.; Dostiyarov, A.; Flynn, D.; You, S. Geri dönüştürülmemiş belediye plastik atıklarından kaynak geri kazanımının ulaşım ve süreç modelleme destekli tekno-ekonomik değerlendirmesi. *Enerji Dönüşümleri Yönetim* **2025**, *324*, 119273. [ÇaprazRef]
19. Avrupa Çevre Ajansı. Almanya. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.eea.europa.eu/publications/many-eu-member-states/germany> (17 Ocak 2025'te erişildi).
20. Avrupa Çevre Ajansı. Letonya. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.eea.europa.eu/publications/many-eu-member-states/latvia> (17 Ocak 2025'te erişildi).
21. Shen, M.; Huang, W.; Chen, M.; Song, B.; Zeng, G.; Zhang, Y. (Mikro)plastik krizi: Küresel sera gazı emisyonlarına ve iklim değişikliğine göz ardı edilemez katkı. *J. Clean. Prod.* **2020**, *254*, 120138. [ÇaprazRef]
22. Badejo, O.; Hernández, B.; Vlachos, D.G.; Ierapetritou, M.G. Plastik atıkların yönetimi için sürdürülebilir tedarik zincirlerinin tasarımı: Düşük yoğunluklu polietilen örneği. *Sürdür. Üret. Tüket.* **2024**, *47*, 460–473. [ÇaprazRef]
23. Plastics Europe. Döngüsel Ekonomi Raporu: Tam Rapor. 2024. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2024/03/CEreport_fullreport_2024_light-1.pdf (17 Ocak 2025'te erişildi).
24. Avrupa Çevre Ajansı (EEA). Birçok AB Üye Devleti Belediye Atıkları ve Ambalaj Atıkları için Geri Dönüşüm Hedeflerini Karşılama Yolunda Değil. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.eea.europa.eu/publications/many-eu-member-states> (17 Ocak 2025'te erişildi).

25. Van Fan, Y.; Jiang, P.; Tan, RR; Aviso, KB; You, F.; Zhao, X.; Lee, CT; Klemeš, JJ Plastik atık oluşumunun tahmini ve çevresel tehlikelerin azaltılmasına yönelik müdahaleler. *J. Hazard. Mater.* **2022**, *424* Nokta A, 127330. [ÇaprazRef]
26. Lyshtva, P.; Voronova, V.; Kuusik, A.; Kobets, Y. Başlık Titrasyon Yöntemi Kullanılarak Kontrollü Kompostlama Koşullarında Poli(bütilen süksinat) ve Poli(laktik asit) Karışımlarının Biyolojik Bozunmasının Değerlendirilmesi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://ssrn.com/özet=5031775> (17 Ocak 2025'te erişildi).
27. Biswas, PP; Chen, W.-H.; Lam, SS; Lim, S.; Chang, J.-S. Yapay sinir ağları kullanılarak petrol üretimi için seçilmiş plastik pirolizinin ve polietilenin katalitik ve katalitik olmayan pirolizinin karşılaştırmalı analizi. *Bilim. Toplam Çevre.* **2025**, *958*, 177866. [ÇaprazRef] [PubMed]
28. Meng, M.; Yang, L.; Wei, B.; Cao, Z.; Yu, J.; Liao, X. Plastik baraka üretim sistemleri: Ağır metallerin topraktan sebzelere geçişi ve insan sağlığı risk değerlendirmesi. *Ekotoksikol. Çevre. Saf.* **2021**, *215*, 112106. [ÇaprazRef]
29. Kladnik, V.; Dworak, S.; Schwarzböck, T. Kamusal atıkların bileşimi - Avusturya'dan bir vaka çalışması. *Atık Yönetim* **2024**, *178*, 210–220. [ÇaprazRef]
30. Gritsch, L.; Breslmayer, G.; Rainer, R.; Stipanovic, H.; Tischberger-Aldrian, A.; Lederer, J. Geri dönüşüm için plastik ambalaj atıklarının kritik özellikleri: Avusturya'daki bir kentsel katı atık sisteminde içecek dışı plastik şişeler üzerine bir vaka çalışması. *Atık Yönetim* **2024**, *185*, 10–24. [ÇaprazRef] [PubMed]
31. Jędrzak, A.; Połomka, J.; Dronia, W. Üretilen atıkların ve seçici olarak toplanan atıkların miktarının ve morfolojik bileşiminin mevsimsel değişkenliği. *Atık Yönetimi Araş.* **2023**, *41*, 1349–1359. [ÇaprazRef]
32. Zhang, L.; Liu, Y.; Zhao, Z.; Yang, G.; Ma, S.; Zhou, C. Büyük örneklemli anketler ve laboratuvar test yöntemlerini entegre ederek Çin'deki evsel plastik ambalaj atıklarının miktarlarının ve bileşimlerinin tahmin edilmesi. *Kaynak. Koru. Geri dönüşür.* **2023**, *198*, 107192. [ÇaprazRef]
33. Dahlbo, H.; Poliakova, V.; Mylläri, V.; Sahimaa, O.; Anderson, R. Finlandiya'da tüketici sonrası plastik ambalaj atıklarının geri dönüşüm potansiyeli. *Atık Yönetim* **2018**, *71*, 52–61. [ÇaprazRef]
34. Denafas, G.; Ruzgas, T.; Martuzevičius, D.; Shmarin, S.; Hoffmann, M.; Mykhaylenko, V.; Ogorodnik, S.; Romanov, M.; Neguliaeva, E.; Chusov, A.; ve diğerleri. Dört Doğu Avrupa şehrinde belediye katı atık üretiminin ve bileşiminin mevsimsel değişimi. *Kaynak. Koru. Geri dönüşür.* **2014**, *89*, 22–30. [ÇaprazRef]
35. Edjabou, ME; Boldrin, A.; Astrup, TF Danimarka'daki evsel atıkların mevsimsel değişiminin bileşimsel analizi. *Kaynak. Koru. Geri dönüşür.* **2018**, *130*, 70–79. [ÇaprazRef]
36. Saleem, J.; Tahir, F.; Baig, MZK; Al-Ansari, T.; McKay, G. Geri dönüşürümüş plastik peletlerin çevresel ayak izinin değerlendirilmesi: Yaşam döngüsü değerlendirme perspektifi. *Çevre. Teknoloji. Yenilik.* **2023**, *32*, 103289. [ÇaprazRef]
37. Zaman, AU Küresel atık yönetim sistemlerinden kaynak geri kazanımının çevresel ve ekonomik faydalarına ilişkin kapsamlı bir çalışma. *J. Clean. Prod.* **2016**, *124*, 41–50. [ÇaprazRef]
38. Rahimi, A.; García, JM Yeni malzeme üretimi için atık plastiklerin kimyasal geri dönüşümü. *Nat. Rev. Kimya.* **2017**, *1*, 0046. [ÇaprazRef]
39. PreZero. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://prezero-international.com/tr/basin/2022/prezero-hafif-ambalajlama-icin-avrupa'nin-en-yeni-siralama-tesis-kuruluyor> (17 Ocak 2025'te erişildi).
40. SiteZero. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.svenskplastatervinning.se/tr/site-sifir/> (17 Ocak 2025'te erişildi).
41. Dünya Bankası Grubu. Uluslararası Kalkınma, Yoksulluk ve Sürdürülebilirlik. Dünya Bankası. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.worldbank.org/en/home> (17 Ocak 2025'te erişildi).
42. Ana sayfa—Eurostat. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://ec.europa.eu/eurostat> (17 Ocak 2025'te erişildi).
43. Seyring, N.; Dollhofer, M.; Weißenbacher, J.; Bakas, I.; McKinnon, D. Avrupa Birliği-28 Üye Devletleri ve başkentlerinde ambalaj ve diğer geri dönüşürülebilir atıklar için toplama şemalarının değerlendirilmesi. *Atık Yönetimi Res. J. A Sürdürülebilir Çevre Ekonomisi* **2016**, *34*, 947–956. [ÇaprazRef]
44. Winterstetter, A.; Veiga, JM; Sholokhova, A.; Šubelj, G. Avrupa'da deniz çöpüne katkıda bulunan başlıca faktör olarak yanlış yönetilen plastik ambalaj atıklarının ülkeye özgü değerlendirilmesi. *Ön. Sürdür.* **2022**, *3*, 1039149. [ÇaprazRef]
45. Rubčinskaitė, R.; Urbšienė, L. Baltık Devletlerinin ekonomik senkronizasyonu için önemli olan nedir. *Deneyse* **2024**, *51*, 645–678. [ÇaprazRef]
46. Aplinkos Apsaugos Agentūra. Suvestinė Pagal Atliekų Kodus. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/atliekos/atlieku-apskaita/atlieku-apskaitos-duomenys/suvestine-pagal-atlieku-kodus/> (17 Ocak 2025'te erişildi).
47. G. eologMeteorolojiIjas Centrs Latvijas Vides. Latvijas Vides, G eologMeteorolojiIjas Merkezleri. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://videscentrs.lv/gmc.lv> (17 Ocak 2025'te erişildi).
48. İklim Bakanlığı. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://kliimaministerium.ee/tr/> (17 Ocak 2025'te erişildi).
49. ASTM D5231-92 (2016); İşlenmemiş Katı Belediye Atığının Kompozisyonunun Belirlenmesi İçin Standart Test Yöntemi. ASTM International: West Conshohocken, PA, ABD, 2016. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.astm.org/d5231-92r16.html> (17 Ocak 2025'te erişildi).
50. BASF'nin trinamix'i mobil NIR spektroskopisini plastik ayırma işlemine genişletiyor. *Ekle. Polim.* **2020**, *2020*, 11–12. [ÇaprazRef]

51. Adarsh, İngiltere; Kartha, VB; Santhosh, C.; Unnikrishnan, VK Spektroskopi: Plastik atık yönetimi için umut vadeden bir araç. *TrAC Trendleri Anal. Kimya***2022**, *149*, 116534. [[ÇaprazRef](#)]
52. Song, YK; Hong, SH; Eo, S.; Shim, WJ Mikroplastikler için spektroskopik analiz yöntemlerinin karşılaştırılması: Manuel, yarı otomatik ve otomatik Fourier dönüşümü kızılötesi ve Raman teknikleri. *Mar. Kirliliği. Boğa***2021**, *173 B Noktası*, 113101. [[ÇaprazRef](#)]
53. Areeprasert, C.; Asingsamanunt, J.; Srisawat, S.; Kaharn, J.; Inseemeeesak, B.; Phasee, P.; Khaobang, C.; Siwakosit, W.; Chiemchaisri, C. Bangkok Transfer İstasyonunda Belediye Plastik Atık Kompozisyonu Çalışması ve Pirolizle Enerji Geri Kazanımı Olanağı. *Enerji İşlemleri***2017**, *107*, 222–226. [[ÇaprazRef](#)]
54. Bodzay, B. Polimer Atığı: Kontrollü Parçalama mı Yoksa Geri Dönüşüm mü? 2017. Çevrimiçi olarak mevcuttur:<http://www.europia.org/ijdst>(17 Ocak 2025'te erişildi).
55. Esguerra, JL; Carlsson, A.; Johansson, J.; Anderberg, S. İsveç şehrinde geri dönüşüm hedeflerine ulaşmak için karışık belediye katı atıklarındaki plastik ambalajların karakterizasyonu, geri dönüştürülebilirliği ve önemi. *J. Clean. Prod.***2024**, *468*, 143014. [[ÇaprazRef](#)]
56. Delgado, C.; Barruetabeña, L.; Salas, O.; Kurt, O. *Mevcut ve Ortaya Çıkan Polimer Geri Kazanım Proseslerinin Çevresel Avantajları ve Dezavantajlarının Değerlendirilmesi*; Yayın Ofisi: Lüksemburg, 2007.
57. Mihai, F.-C. Atık Yönetimi Çalışmalarında Yeni Bir Yaklaşım Olarak Atık Coğrafyası. *Pap. Geogr. Semin. Dimitrie Cantemir***2012**, *33*, 39–46. [[ÇaprazRef](#)]
58. Eriksen, MK; Astrup, TF Kaynakta ayrılmış, sert plastik atıkların karakterizasyonu ve geri dönüşüm girişimlerinin değerlendirilmesi: Ürün tasarımı ve kaynak ayırma sisteminin etkileri. *Atık Yönetimi***2019**, *87*, 161–172. [[ÇaprazRef](#)]
59. Faraca, G.; Astrup, T. Geri dönüşüm merkezlerinden gelen plastik atıklar: Plastik geri dönüştürülebilirliğinin karakterizasyonu ve değerlendirilmesi. *Atık Yönetimi***2019**, *95*, 388–398. [[ÇaprazRef](#)]
60. Tretsiakova-McNally, S.; Lubarsky, H.; Vennard, A.; Cairns, P.; Farrell, C.; Joseph, P.; Arun, M.; Harvey, I.; Harrison, J.; Nadjai, A. Gıda Artıklarıyla Kirlenmiş Plastik Atık Ambalajlarının Ayrılması ve Karakterizasyonu. *Polimerler***2023**, *15*, 2943. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]

Yasal Uyarı/Yayıncının Notu:Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca bireysel yazar(lar) ve katkıda bulunan(lar)a aittir ve MDPI ve/veya editör(ler)e ait değildir. MDPI ve/veya editör(ler), içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan herhangi bir kişi veya mal yaralanmasından sorumlu değildir.