



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ENDÜSTRİYEL ATIK YÖNETİMİ VE SIFIR ATIK
STRATEJİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrfan ÖKSÜM

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hasan KOÇYİĞİT

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 222301725 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi İrfan ÖKSÜM tarafından hazırlanan “**ENDÜSTRİYEL ATIK YÖNETİMİ VE SIFIR ATIK STRATEJİLERİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hasan KOÇYİĞİT

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Doç. Dr. Ahmet AYGÜN

Bursa Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Doç. Dr. Oğuzhan GÖK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 17/12/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere uygun olarak yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İrfan ÖKSÜM

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı hazırlarken bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, yol göstericiliğiyle bana rehberlik eden ve her aşamada destek olan değerli danışmanım Doç. Dr. Hasan KOÇYİĞİT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu süreçte manevi desteğini ve bilgi birikimini benden hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim. Bu çalışmayı tamamlamamda emeği geçen herkese en içten saygı ve sevgilerimle...

İrfan ÖKSÜM

AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	5
2.1 Atık Yönetimi Uygulamaları.....	8
2.1.1 Geleneksel atık yönetimi	11
2.1.2 Teknolojik atık yönetimi	12
2.2 Endüstriyel Atık Yönetimi	13
2.2.1 Geri dönüşüm ve geri kazanım	16
2.2.2 Düzenli depolama	18
2.2.3 Yakma	19
2.2.4 Kaynakta azaltma	20
2.2.5 Piroлиз	20
2.2.6 Kompostlaştırma.....	21
2.3 Endüstriyel Atıkların Tehlike Sınıflandırması	22
2.3.1 Tehlikeli endüstriyel atıkların kaynakları	23
2.3.2 Tehlikeli atıkların çevre ve insan sağlığına etkileri.....	25
2.3.3 Tehlikeli kabul edilen atıkların özellikleri	29
2.3.4 Atık kodları ve tehlike hiyerarşisi	31
2.4 Sıfır Atık	35
2.4.1 Türkiye’de sıfır atık politikaları.....	37
3. MALZEME VE YÖNTEM	39
3.1 Araştırmanın Konusu	40
3.2 Araştırmanın Amacı.....	40
3.3 Araştırmanın Problemi.....	40
3.4 Veri Kaynakları	41
3.5 Veri Toplama Yöntemi	41
3.6 Veri Analizi Yöntemi	43
3.7 Araştırmanın Sınırlılıkları	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	47
4.1 Tesis 1 Atık Yönetimi Uygulamaları.....	50
4.2 Tesis 2 Atık Yönetimi Uygulamaları.....	55
4.3 Tesis 3 Atık Yönetimi Uygulamaları.....	62
4.4 Tesis 4 Atık Yönetimi Uygulamaları.....	72
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ	93

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL ATIK YÖNETİMİ VE SIFIR ATIK STRATEJİLERİ

İrfan ÖKSÜM

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hasan KOÇYİĞİT

ÖZET

Endüstriyel atık yönetimi, işletmelerin üretim süreçlerinden kaynaklanan atıkların toplanarak geçici depolama alanlarına taşınması, burada çeşitli hacim küçültme uygulamalarına tabi tutulması ve ardından geri dönüşüm tesislerine yönlendirilmesiyle bütüncül bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Bu araştırma, endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkilerini en aza indirmeyi amaçlayan sürdürülebilir yönetim yaklaşımlarını ele almakta ve özellikle sıfır atık kavramının sanayi sektöründeki uygulanabilirliğini incelemektedir. Nitel araştırma deseni çerçevesinde, 2020-2025 dönemine ait ulusal ve uluslararası raporlar, politika belgeleri, kurumsal sürdürülebilirlik raporları ile akademik yayınlar doküman incelemesi yöntemiyle değerlendirilmiş ve elde edilen veriler betimsel analizle tematik olarak yapılandırılmıştır. Araştırma, hem uygulayıcılara hem akademik alana yol gösterici bilgiler sunmayı hedeflemektedir. İncelenen firmaların kişisel hakları doğrultusunda isimlendirmelerine yönelik tesis ifadesi kullanılmış ve analiz sırasına göre numaralandırılmıştır. Tesis 1, Tesis 2, Tesis 3 ve Tesis 4 gibi firmaların uygulamaları karşılaştırıldığında, sıfır atık stratejilerinin ortak yönü; kaynağında atık oluşumunun önlenmesi, geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreçlerinin güçlendirilmesi, yenilenebilir enerji kullanımı ve döngüsel ekonomi odaklı tedarik zinciri modellerinin geliştirilmesi olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde çevresel etkiler azaltılmış, kaynak verimliliği artırılmış ve maliyet avantajı sağlanmıştır. Ayrıca söz konusu firmalar, sosyal sorumluluk boyutunu da ön plana çıkararak yerel topluluklara destek olmuş, yeşil istihdam yaratmış ve çevresel farkındalığı artırmaya yönelik girişimlerde bulunmuştur. Elde edilen bulgular, endüstriyel atık yönetiminin yalnızca bertaraf süreçleriyle sınırlı kalmayıp, üretimden tedarik zincirine, enerji tüketiminden ürün tasarımına kadar uzanan bütüncül bir sürdürülebilirlik anlayışı gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda atık yönetimi, yalnızca çevresel yükümlülüklerin yerine getirilmesi anlamında değil, aynı zamanda işletmelere rekabet avantajı sağlayan ve marka değerini güçlendiren stratejik bir unsur haline gelmiştir. Bununla birlikte süreç içerisinde firmaların artan ölçüde teknoloji ve yenilikçi çözümlere yönelerek atık yönetim sistemlerine entegre ettikleri görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Atık Yönetimi, Sıfır Atık Stratejileri, Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve İnovasyon, Döngüsel Ekonomi

Aralık, 2025; 93

M.Sc. THESIS

INDUSTRIAL WASTE MANAGEMENT AND ZERO WASTE STRATEGIES

İrfan ÖKSÜM

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hasan KOÇYİĞİT

ABSTRACT

Industrial waste management is defined as a holistic process in which wastes generated from production activities are collected, transported to temporary storage areas, subjected to various volume-reduction practices, and subsequently directed to recycling facilities. This study addresses sustainable management approaches aimed at minimizing the environmental impacts of industrial activities, with a particular focus on examining the applicability of the zero-waste concept within the industrial sector. Within the framework of a qualitative research design, national and international reports, policy documents, corporate sustainability reports, and academic publications covering the period 2020–2025 were analyzed through document analysis, and the resulting data were thematically structured using descriptive analysis. The study aims to provide guiding insights for both practitioners and the academic community. In line with the protection of corporate rights, the firms examined were anonymized using the term “facility” and numbered according to the order of analysis (Facility 1, Facility 2, Facility 3, and Facility 4). A comparative assessment of these facilities reveals that the common elements of zero-waste strategies include preventing waste generation at the source, strengthening recycling and reuse processes, increasing the use of renewable energy, and developing circular economy–oriented supply chain models. Through this approach, environmental impacts were reduced, resource efficiency was enhanced, and cost advantages were achieved. Moreover, the facilities emphasized the social responsibility dimension by supporting local communities, creating green employment opportunities, and promoting environmental awareness. The findings demonstrate that industrial waste management extends beyond disposal practices and requires a comprehensive sustainability perspective encompassing production processes, supply chains, energy consumption, and product design. In this context, waste management has evolved not merely as a means of fulfilling environmental obligations but as a strategic instrument that provides competitive advantage and strengthens corporate brand value. Additionally, the findings indicate that firms are increasingly integrating technology and innovative solutions into their waste management systems throughout the process.

Keywords: Industrial Waste Management, Zero Waste Strategies, Sustainability, Technology and Innovation, Circular Economy

December, 2025; 93

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Atık yönetimi hiyerarşisi.	16
Şekil 2.2. Atığın tehlike değerlendirmesine yönelik izlenen adımlar.	33
Şekil 4.1. Yıllara göre endüstriyel atık yönetimi hizmet büyümesi.	48
Şekil 4.2. Küresel endüstriyel atık yönetimi pazarının bölgesel dağılımı.	49
Şekil 4.3. Tesis 1'in yıllara göre emisyon miktarı (metrik ton).	52
Şekil 4.4. Tesis 2, Latitude 5000 ve Precision 3560 modelleri.	57
Şekil 4.5. Tesis 3 Sound Bar ürününde ve ambalajında plastik geri dönüşüm.	63
Şekil 4.6. Tesis 3 atık yönetimi ve ürün yeniden kullanım stratejisi.	65
Şekil 4.7. Tesis 3 elektronik atıkların geri dönüşüm süreci.	67
Şekil 4.8. Tesis 3, iş yerlerindeki atık yönetim süreci.	68
Şekil 4.9. Hoparlör ve hava temizleyici ambalajında kullanılan kağıt yastıklama.	72
Şekil 4.10. Tesis 4 Heinrich piramidi.	74
Şekil 4.11. Tesis 4 atık yönetim piramidi.	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Geleneksel atık yönetimi ve teknolojik atık yönetimi farkları.	10
Çizelge 2.2. Tehlikeli maddelerin sağlık etkileri.	26
Çizelge 2.3. Tehlikeli atıkların HP1-HP15 tehlike özellikleri.	29
Çizelge 2.4. Atık listesinin bölüm başlıkları.	31
Çizelge 4.1. Tesis 3, bölgesel elektronik atık yönetimi performansı (ton).	70
Çizelge 4.2. Tesis 3, geri dönüştürülmüş plastik kullanımı (ton).	70
Çizelge 4.3. Tesis 4 tehlikeli atık miktarı (ton).	77
Çizelge 4.4. Tesis 4 tehlikesiz atık miktarı (ton).	77
Çizelge 5.1. Tesislerin karşılaştırılması ve genel sonuç değerlendirmesi.	79



SİMGELER VE KISALTMALAR

A.Ş.	Anonim Şirketi
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BT	Bilgi Teknolojileri
CEO	Genel Müdür
CEPN	Clean Electronics Production Network
CFA	Doğrulayıcı Faktör Analizi
CRC	Chilseo Geri Dönüşüm Merkezi
ÇSB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
CO₂	Karbondioksit
ÇYSP	Çevre Yönetim Sistemi Programı
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EEE	Elektronik ve Elektrikli Ekipman
EFA	Açıklayıcı Faktör Analizi
EHS	Çevre, Sağlık ve Güvenlik
EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
EPR	Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu
EPS	Genleştirilmiş Polistiren
FY24	Dell Technologies 2024 Sürdürülebilirlik Raporu
GEHS	Küresel Çevre, Sağlık ve Güvenlik
GRI	Küresel Raporlama Girişimi
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
IoT	Nesnelerin İnterneti
IPR	Bireysel Üretici Sorumluluğu
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
ISWA	Uluslararası Katı Atık Birliği
KG	Kilogram
LCA	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
MFA	Malzeme Akış Analizi
MOTAT	Mobil Atık Takip Sistemi
m³	Metre Küp
mg/L	Miligram Bölü Litre
MWh	Megavat Saat
NRDC	Doğal Kaynakları Koruma Konseyi
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
OSTİM	Ortadoğu Sanayi ve Ticaret Merkezi
PCB	Baskılı Devre Kartı
PCR	Geri Dönüştürülmüş Plastikler
PE	Polietilen
PET	Polietilen Tereftalat
PP	Polipropilen
PS	Polisitiren
PVC	Polinivil Klorür
RBA	Responsible Business Alliance
SER	Sürdürülebilirlik ve Etik Sorumluluk
TRUE	Sıfır Atık Sertifikasyon Programı

UL2799	Underwriters Laboratories Sıfır Atık Doğrulama Standardı
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VSQG	Çok Küçük Miktarda Tehlikeli Atık Üreticisi
WFD	Atık Çevre Direktifi
%	Yüzde
°C	Santigrat
≤	Küçük ya da Eşittir
≥	Büyük ya da Eşittir



1. GİRİŞ

İnsan nüfusunun hızla ve katlanarak artması, beraberinde gelen yoğun sanayileşme ve kentleşme süreçleriyle birleştiğinde, büyük ölçekte atık üretimini beraberinde getirmiştir (Bulut ve Şengül, 2023). Bu küresel gelişmelere paralel olarak bireylerin tüketim alışkanlıklarında da önemli değişiklikler gözlemlenmektedir (Yakan, 2017). Carver (1894) doğada atığın aslında bulunmadığı; atık olarak nitelendirilen materyallerin başka bir ürün için hammadde kaynağı olarak değerlendirilebileceğini ifade etmiştir. Carver, atıkları “kılık değiştirmiş kaynaklar” olarak tanımlamış ve ağaç yapraklarından çiftlik gübresine kadar pek çok unsurun yeniden değerlendirilmesine yönelik görüşler sunmuştur. Benzer şekilde, 1930’lu yıllarda Henry Ford da otomobil üretiminden arta kalan parçaları kullanarak soya fasulyesi küspesi üretmiş; ayrıca atık şişelerin tekrar kullanımı ve diğer atık materyallerin geri kazanımı yoluyla ekonomik kazanç sağlamıştır. Bu çalışmalarıyla Carver ve Ford, günümüzde “sıfır atık” yaklaşımının öncü düşünürleri olarak değerlendirilebilmektedir (Yaman ve Olhan, 2010).

Endüstriyel atık yönetimi, bir işletmenin üretim süreçlerinden kaynaklanan atıkların tesisten toplanarak geçici depolama alanlarına taşınmasını, burada çeşitli hacim küçültme tekniklerinin uygulanmasını ve ardından bu atıkların geri dönüşüm ya da ısı enerjisi geri kazanım noktalarına iletilmesini kapsayan bütüncül bir süreci ifade etmektedir. Bu kapsamda değerlendirilen atık türleri arasında; kağıt-karton, polietilen (PE) naylonlar, metaller camlar ile polipropilen (PP), mobilya ve polistiren (PS) gibi farklı plastik türleri yer almaktadır. Atık yönetim süreci, atıkların üretim kaynaklarında güvenli biçimde ayrıştırılarak toplanmasını, geçici depolama sahalarında türlerine göre detaylı ayırım işlemlerinin gerçekleştirilmesini ve ardından enerji verimliliği ile karbon ayak izinin azaltılması hedeflerine uygun şekilde, çeşitli teknolojik ekipmanlar aracılığıyla hacimlerinin küçültülmesini içermektedir (Yelkenci, 2024). Nihai aşamada ise bu atıklar, çevresel ve yasal standartlara uygun, lisanslı geri dönüşüm tesislerine ya da ısı enerjisi geri kazanım merkezlerine transfer edilmektedir.

Günümüz işletmeleri açısından, atık türlerinin niteliğine ve özelliklerine uygun endüstriyel atık yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi büyük önem arz

etmektedir. Zira bu tür atıklar, çevresel dengeyi bozma ve insan sağığına zarar verme potansiyeline sahip olduğundan, yetkilendirilmiş ve lisanslı geri dönüşüm tesislerine usulüne uygun şekilde sevk edilmeleri gerekmektedir. Kurumların endüstriyel atık yönetimine ciddi zaman ve kaynak ayırmalarının temelinde de bu gereklilik yatmaktadır. Etkin bir atık yönetimi sistemi, sadece çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sunmakla kalmaz; aynı zamanda maliyetleri düşürerek operasyonel verimliliğı artırır (Yelkenci, 2024). Bunun temel sebebi ise atıkların uygun yöntemlerle bertaraf edilmesinin, bu atıkların kontrolsüz biçimde birikmesine izin verilmesinden çok daha ekonomik ve sürdürülebilir bir çözüm sunmasıdır.

Atık kavramı, hem bilimsel literatürde hem de ulusal ve uluslararası hukuk düzenlemelerinde farklı perspektiflerle ele alınmakta olup oldukça çeşitli tanımlamalara sahiptir. En yalın haliyle atık, insanların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullandığı maddelerin, artık kullanılmayan ya da kullanıldıktan sonra atılan kısmı olarak ifade edilmektedir. Yaygın tanımlardan birine göre atık, kullanıldıktan sonra elden çıkarılan maddelerdir. Bu yaklaşım çerçevesinde atık; artık değersiz kabul edilen, ekonomik ya da işlevsel bir değeri kalmamış ve bulunduğu ortamdan uzaklaştırılması arzu edilen unsurlar olarak değerlendirilir. Ancak bu dar tanım, atık olgusunun çok boyutlu yapısını tam olarak yansıtmamaktadır (Afşin, 2014). Daha kapsamlı bir bakış açısıyla atık; çevreye bırakıldığında değişime veya bozulmaya yol açabilecek miktarda olan, sıvı, katı, gaz ya da radyoaktif türdeki istenmeyen maddeleri kapsamaktadır. Aynı zamanda, sahipleri tarafından artık gereksiz görülen, bertaraf edilmek istenen ve çevresel zararların önlenmesi hedefiyle özel işlem süreçlerine tabi tutulan, somut unsurlar olarak da tanımlanmaktadır (Afşin, 2014; Erdoğan ve Ejder, 1997). Nihayetinde, insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak, sanayi, ticaret, sosyal hizmetler ya da konut temelli işlemler dahil olmak üzere, ortaya çıkan ve çevreden uzaklaştırılması gereken maddeler olarak atık kavramı geniş bir anlama sahiptir.

Atık yönetimi, yerel yönetimler ve sanayi kuruluşları açısından en öncelikli çevresel sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Türkiye’de sanayileşme süreciyle birlikte hızlı bir şekilde endüstriyel ekonomiye geçiş yaşanmış ve bu dönüşüm, üretim odaklı politikaların benimsenmesiyle üretim hacmi ve ürün çeşitliliğinde belirgin bir artış beraberinde getirmiştir. Üretimdeki bu artış ise endüstriyel kaynaklı atıkların

miktarında kayda değer bir yükselişe yol açmıştır. Sanayileşmenin doğurduğu çevresel etkiler sonucunda ortaya çıkan kirlilik, yaşam alanlarının doğal dengesini bozarak, çevre sorunlarını göz ardı edilemeyecek bir seviyeye taşımıştır (Meriç ve Kayranlı, 2003).

Sanayileşme sürecinde en etkili yaklaşım, işletmelerin üretim verimliliğini artırırken aynı zamanda çevresel etkileri en aza indirecek çevre dostu teknolojilerin benimsenmesidir. Bu tür teknolojiler, hammadde, enerji ve genel olarak doğal kaynakların minimum düzeyde tüketilmesini sağlayarak sürdürülebilir üretim modellerine katkı sunmaktadır (Yakan, 2017). Endüstriyel atıkların oluşumunu azaltmak, insan sağlığına zarar verebilecek atıkların ortaya çıkmasını engellemek, çevreye olumsuz etkileri olan ürünlerin üretiminden kaçınmak ve doğal kaynakları etkin ve bilinçli bir şekilde kullanmak büyük önem taşımaktadır (Aksakal, 2002). Bu hedeflere ulaşabilmek için ise az atık üreten veya hiç atık oluşturmeyen temiz üretim olanakları sunan teknolojilerin tercih edilmesi gerekmektedir.

Atık yönetimi, içerdiği katı, sıvı, gaz ya da radyoaktif maddelerin her biri için farklı teknikler ve uzmanlık alanları gerektiren çok yönlü bir süreçtir. Bu kapsamda, özellikle kaynağında geri kazanım uygulamaları çerçevesinde atık türlerinin ayrı ayrı toplanması mümkündür. Kaynağında geri dönüşümün etik bir şekilde uygulanabilmesi için toplumda atık yönetimi bilinci ve eğitimi, küresel kaynak yönetimi perspektifi açısından giderek daha kritik bir önem kazanmaktadır. Sürdürülebilir bir atık yönetimi anlayışı, atıkların henüz kaynağında oluşumunu azaltarak çevreye bırakılan atık miktarını minimize etmeyi hedeflemektedir. İnsan sağlığına zarar verecek düzeyde çevreyi kirleten atıkların etkin biçimde yürütülmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye’de bu kapsamda 2017 yılında halkın atık yönetimine dair farkındalığını artırmayı amaçlayan “Sıfır Atık Projesi” uygulanmaya başlanmıştır. Bu projeyle hem çevresel koruma sağlanması hem de ekonomik kazanımlar elde edilmesi hedeflenmiştir (Bulut ve Şengül, 2023).

Araştırma, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıkların çevresel etkilerini en aza indirmeyi amaçlayan sürdürülebilir yönetim yaklaşımlarını ele almakta ve bu kapsamda sıfır atık kavramının sanayi sektöründeki uygulanabilirliğini

incelemektedir. Araştırmada, gerek ulusal gerekse uluslararası literatürde yer alan başarılı atık yönetimi uygulamaları ve politika örnekleri analiz edilerek, endüstriyel atık yönetiminin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca sıfır atık projesinin sektörel düzeydeki yansımaları değerlendirilerek, proje kapsamında elde edilen kazanımlar ve karşılaşılan güçlükler analiz edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, endüstriyel atıkların etkin biçimde yönetilmesine katkı sağlamak, atık oluşumunun kaynağında önlenmesi ve geri kazanım süreçlerinin verimliliğinin artırılmasına yönelik politika ve stratejilerin geliştirilmesine zemin oluşturmaktır. Araştırma, hem uygulayıcılara hem de araştırmacılara yol gösterici bilgiler sunmayı hedeflemektedir.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Hem ülkemizde hem de uluslararası literatürde, endüstriyel atıkların yönetimi ve bertarafına ilişkin çok sayıda bilimsel çalışmaya yer verildiği görülmektedir. Özellikle ülkelerin kendi sınırları içerisindeki endüstriyel atıkların mevcut durumu, bu atıkların çevresel etkileri ve etkin yönetimlerine yönelik çözüm önerileri doğrultusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, endüstriyel atık sorununun farkı coğrafyalarda nasıl ele alındığını ortaya koymakta ve sürdürülebilir atık yönetimi politikalarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Troschinetz ve Mihelcic, (2009) tarafından Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 23 gelişmekte olan ülkeye yönelik olarak gerçekleştirilen araştırmada, kişi başına günlük ortalama evsel katı atık üretiminin 0,77 kg düzeyinde olduğu, geri kazanım oranlarının ise %5 ile %40 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ile Uluslararası Katı Atık Birliği (ISWA) iş birliğinde yayımlanan "Global Waste Management 2024" raporunda ise, dünya genelindeki şehir kaynaklı katı atık üretiminin 2023 yılı itibarıyla yaklaşık 2,1 milyar tona ulaştığı bildirilmiştir. Bu miktarın mevcut eğilimler devam ettiği takdirde 2050 yılına kadar 3,8 milyar tona yükseleceği öngörülmüştür. Aynı raporda, döngüsel ekonomi yaklaşımlarının ve sıfır atık stratejilerinin yaygın biçimde benimsenmesi durumunda yalnızca çevresel faydalar sağlanamayacağı, aynı zamanda yıllık net 108,5 milyar Amerikan doları tutarında ekonomik kazanç elde edilebileceği de vurgulanmıştır (URL-9).

Rensburg vd. (2020) Güney Afrika'nın Durban kentinde gerçekleştirdikleri araştırmada, bölge sakinlerinin ve sahil ziyaretçilerinin tek kullanımlık plastik ürünlere karşı genel olarak olumsuz bir tutum sergiledikleri, bu ürünlerin çevresel etkilerine dair yüksek düzeyde farkındalık gösterdikleri ve tüketimi azaltmaya yönelik güçlü bir eğilim içinde oldukları belirlenmiştir. Karasık (2022) çalışmasında ise, Türkiye'de yürütülen sıfır atık projesi kapsamında, 2018 yılı itibarıyla belediye atıklarının yalnızca %12'sinin geri kazanıldığı, kalan yaklaşık %88'lik kısmın ise 2.000'in üzerinde açık depolama sahasında bertaraf edildiği ortaya konmuştur. Öte yandan, Şolt, (2023) çalışmasındaki, İstanbul'un 39 ilçe merkezine yönelik 2022 yılı verilerine dayanan değerlendirmede; ambalaj, cam, tekstil, elektronik gibi atık

türlerinde sistematik ayrıştırma ve toplama mekanizmalarının geliştirildiği, bu doğrultuda şehir genelinde döngüsel ekonomiye geçiş açısından kayda değer bir ilerleme sağlandığı tespit edilmiştir.

Gündüz ve Varınca (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, organize sanayi bölgelerinde uyulması gereken yasal yükümlülükler, örnek olay olarak Tuzla Mermerciler Organize Sanayi Bölgesi üzerinden ele alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, söz konusu sanayi bölgesine ait endüstriyel atık yönetim planı detaylı biçimde incelenmiş ve bu kapsamda kurulan atık yönetim şirketi aracılığıyla atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi süreçlerinin organize bir yapıya kavuşturulmasının sanayi işletmeleri açısından iş gücü, maliyet ve zaman bakımından önemli ölçüde tasarruf sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Gökşin (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren firmaların üretim süreçleri detaylı biçimde analiz edilmiştir. 2008 yılına ait tehlikeli atık türleri ve miktarlarına ilişkin veriler, lisanslı bertaraf tesislerine atık teslimi sırasında doldurulan resmi formlardan elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler aracılığıyla sektörel ve aylık bazda tehlikeli atık oluşumunun izlenmesi sağlanmış; yapılan analizler sonucunda, organize sanayi bölgesinde en tehlikeli atığın otomotiv sektöründe meydana geldiği tespit edilmiştir.

Kayabınar (2010) tarafından yapılan çalışmada, Ankara OSTİM Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren talaşlı imalat, demir döküm, metal kaplama ve kauçuk sanayileri örneklem olarak ele alınarak, bu sektörlerde oluşan tehlikeli atıkların türleri ve miktarları detaylı şekilde incelenmiştir. Araştırma kapsamında, her bir sektördeki üretim süreçleri ayrı ayrı analiz edilmiş; girdi-çıkı ilişkisi üzerinden süreçlerin atık üretim potansiyeli değerlendirilmiştir. Oluşan atıklar; ana proses kaynaklı, yan proses kaynaklı ve proses dışı atıklar şeklinde kategorize edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, incelenen sektörler arasında en yüksek miktarda tehlikeli endüstriyel atığın, özellikle metal talaşı ve atık yap karışımları şeklinde, talaşlı imalat sanayisinde ortaya çıktığı vurgulanmıştır.

Çelik ve Demirarslan (2013) tarafından yürütülen bu çalışmada, endüstriyel katı atıkların oluşumundan yok edilmesine kadar geçen tüm süreçlerin ilgili yasal

mevzuata uygun olarak gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği değerlendirilmiş ve uygulamada karşılaşılan sorunlara dikkat çekilmiştir. Araştırmada, endüstriyel atıklardan kaynaklanan çevresel kirliliğin azaltılabilmesi için işletme sahipleri ve çalışanlara yönelik eğitim programlarının düzenlenmesi, etkin atık yönetim planlarının oluşturulması, çevre dostu teknolojilerin kullanımının teşvik edilmesi ve devlet denetimlerinin artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Ancak tüm bu önlemlerin alınmasına rağmen, endüstriyel atıkların tamamen ortadan kaldırılmasının mümkün olmadığı, yalnızca etkilerinin azaltılabileceği ifade edilmiştir.

Spyridis vd, (2024) çalışmasında, Endüstri 4.0 teknolojisiyle geri dönüşüme odaklanılan yapay zeka destekli otomatik ayıklama sistemlerinin, tekstil atıklarının sınıflandırılmasında yüksek doğruluk ve işlem verimliliği sağlandığı ortaya konulmuştur. Bu gelişme, endüstriyel atık akışlarında sürdürülebilirliği destekleyen teknolojik dönüşmelerin mümkün hale geldiğini göstermektedir. Ayrıca sanayi alanında “endüstri simbiyozu” yaklaşımı kapsamında; atık, enerji ve malzeme döngüsünün optimize edilmesine yönelik uygulamalar da dikkat çekmektedir. Bu bağlamda Kalundborg Eko-Sanayi Parkı örneği, farklı işletmeler arasında gerçekleştirilen yan ürün paylaşımları sayesinde hem çevresel hem de ekonomik anlamda ileri düzeyde kazanımlar elde edilebileceğini somut biçimde ortaya koymaktadır (Valenzuela-Venegas vd., 2016).

Nassani vd. (2023) gerçekleştirdiği enerji sektöründe faaliyet gösteren 450 firmayla olan bir araştırmada, yeşil teknolojilerin sıfır atık yönetimi üzerinde doğrudan etkili olduğu, bu etkileşimin yeşil tedarik zinciri aracılığıyla pekiştirildiği ve kurumsal sosyal sorumluluk niyetlerinin söz konusu süreci olumlu yönde desteklediği tespit edilmiştir. Çalışmada özellikle, yeşil teknoloji kullanımı ile sıfır atık yönetimi arasında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir ilişki bulunduğu, bu ilişkinin yeşil tedarik zinciri uygulamalarıyla daha da güçlendiği vurgulanmıştır. Öte yandan, Kumar vd. (2025) çalışmasında ise sıfır atık hedeflerine ulaşmak amacıyla uluslararası, ulusal ve yerel ölçekte benimsenen yeni teknolojiler analiz edilmiştir. Bu kapsamda, ürün yaşam döngüsünün başlangıcından itibaren atık oluşumunun önlenmesi, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve kompostlama süreçlerinin bütüncül bir anlayışla ele alınması gerektiği ifade edilmiştir.

İkizoglu, (2024b) tarafından yürütülen çalışmada, 330 katılımcı ile gerçekleştirilen anket sonuçları doğrultusunda atık azaltımına yönelik yedi temel davranış boyutu tanımlanmış ve geliştirilen ölçeğin yüksek düzeyde güvenilirliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Söz konusu ölçek; bireysel motivasyon, memnuniyet düzeyi, beklentiler, farkındalık düzeyi, elektronik atık bilgisi, tesislerin varlığı ve bu tesislere erişim gibi çeşitli alt boyutları kapsamaktadır. Aynı araştırmacının farklı bir araştırmasında İkizoglu, (2024a), Türkiye genelinde bireylerin sıfır atık tutum ve davranışlarını ölçmeye yönelik sekiz maddelik bir ölçek geliştirilmiş; açıklayıcı ve doğrulayıcı faktör analizleri (EFA ve CFA) kullanılarak ölçeğin geçerlilik ve güvenirlik düzeyi test edilmiştir. Elde edilen bulgular, yaş eğitim seviyesi ve yerleşim bölgesine göre anlamlı farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur. Maçın vd. (2025) araştırmasında ise kurumların “Zero Waste to Landfill” hedeflerine ulaşabilmesi adına Malzeme Akış Analizi (MFA) ile Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) yöntemlerinin birlikte uygulanması önerilmiş; bu bütüncül metodolojinin, atık azaltım stratejilerinin teknik ve çevresel etkilerini sistematik biçimde değerlendirme noktasında etkili olduğu vurgulanmıştır.

2.1 Atık Yönetimi Uygulamaları

Atıklar; üretim ve tüketim süreçleri ile kimyasal ve fiziksel özellikler gibi çeşitli kriterlere bağlı olarak sınıflandırılabilir. Bu bağlamda atıklar genel hatlarıyla; katı atıklar, sıvı ve gaz halindeki atıklar ile ambalaj atıkları şeklinde gruplandırılabilir. Kaynağı ister evsel, ister ticari ya da endüstriyel olsun, atık kavramı; hammadde, yakıt ve su gibi kaynakların kullanımı sonrasında işlevselliğini yitirmesi ve dolayısıyla birey ya da kurum açısından ekonomik değerini kaybetmesi şeklinde tanımlanmaktadır. UNEP atıkları, “sahibi tarafından artık istenmeyen, ihtiyaç duyulmayan, kullanılmayan ve bu nedenle atılması veya ortamdaki uzaklaştırılması gereken maddeler” olarak tanımlamaktadır (Gündüzalp ve Güven, 2016).

Atık yönetimi; evsel, tıbbi, tehlikeli ve tehlikesiz atıkların azaltılması, kaynağında ayrı toplanması, geçici depolanması, gerekli durumlarda aktarma istasyonlarının kurulması, atıkların taşınması, geri kazanımı, bertarafı ile bu süreçlerde görev alan tesislerin işletilmesi; ayrıca bertaraf sonrası kapatma, bakım, izleme ve denetim

aşamalarını kapsayan kapsamlı bir yönetim sürecidir (Afşin, 2014). Artan atık miktarı ve çeşitliliği karşısında, atık yönetimi küresel ölçekte çözüm bekleyen kritik bir çevresel sorun haline gelmiş ve bu alanda yenilikçi, sürdürülebilir yaklaşımlara duyulan ihtiyaç giderek artmıştır (Cheng vd., 2022; Codinhoto vd., 2021; Olawade, vd., 2024a).

Atık yönetimi alanında karşılaşılan temel zorluklardan biri, özellikle gelişmekte olan bölgelerde yeterli altyapının bulunmamasıdır. Bu durum, atıkların etkin biçimde toplanması ve bertaraf edilmesini engellemekte; yetersiz finansal kaynaklar ve altyapı eksikliği sebebiyle kaçak döküm ve çevre kirliliği gibi olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Küresel ölçekte standartlaşmış atık yönetimi uygulamalarının olmayışı, farklı bölgelerde uygulamaların verimlilik ve etkinlik düzeyinde ciddi farklılıklar yaratmaktadır (Olawade, vd., 2024b). Bununla birlikte, atık bileşenlerinin giderek daha karmaşık hale gelmesi, özellikle biyolojik olarak parçalanamayan ve tehlikeli maddelerin artışı, hem bertaraf hem de geri dönüşüm süreçlerini daha karmaşık ve maliyetli hale getirmektedir. Ayrıca, atıkların ayrıştırılmasındaki güçlükler ve kirlilik sorunları geri dönüşüm faaliyetlerinin etkinliğini azaltmakta ve elde edilen malzemelerin kalitesini düşürmektedir. Son olarak, toplumsal farkındalık ve çevre eğitimi konularındaki yetersizlikler, atıkların doğru şekilde işlenmemesi ve bertaraf edilmemesiyle sonuçlanmakta; bu durum da çevresel tahribatı ve insan sağlığı üzerindeki riskleri artırmaktadır (Ziraba vd., 2016).

Atık yönetimi, geleneksel ve teknolojik açıdan Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, önemli farklılıklar barındırmaktadır. Geleneksel sistemler çoğunlukla düzenli depolama ve yakmaya dayalıyken, manuel süreçler nedeniyle zaman, maliyet ve çevresel etkiler açısından verimsizdir (Gürcan ve Açiksöz, 2023). Buna karşılık, teknolojik atık yönetimi yapay zeka, sensör sistemleri ve veri analitiği gibi yenilikçi araçlarla süreci daha etkin hale getirmektedir. Teknolojik sistemler, atıkların kaynağında ayrıştırılması, toplanması ve geri kazanımını optimize ederken çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunar (Olawade, vd., 2024a). Bu farklar, atık yönetiminin yalnızca bertaraf değil, bütüncül bir kaynak yönetimi süreci olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 2.1. Geleneksel atık yönetimi ve teknolojik atık yönetimi farkları.

Bileşen	Geleneksel Atık Yönetimi	Teknolojik Atık Yönetimi
Yönetim Yapısı	Genellikle yerel yönetimlerin sınırlı koordinasyonu ile yürütülmekte; özellikle kırsal alanlarda görülmektedir.	Yapay zeka, IoT ve büyük veri analitiği destekli entegre sistemlerle merkezi ve dinamik bir yönetim sağlanmaktadır.
Toplama Süreci	Konteynerler gelişigüzel ziyaret edilmekte, doluluk durumu bilinmediği için zaman ve yakıt kaybı yaşanmaktadır.	Sensörlerle donatılmış akıllı çöp kutuları ve yapay zeka destekli güzergah optimizasyonu sayesinde, gerçek zamanlı verilerle yönetilmektedir.
Ayrıştırma Yöntemleri	Ayrıştırma işlemleri çoğunlukla iş gücüne dayalıdır; zaman alıcı, maliyetli ve hata oranı yüksektir.	Görüntü tanıma ve makine görüşü tabanlı sistemler, atıkları otomatik ve yüksek hassasiyetle ayırarak geri dönüşüm verimliliğini artırmaktadır.
Bertaraf Teknikleri	Ağırlıklı olarak düzenli depolama ve yakma yöntemleri kullanılmakta; bu uygulamalar ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır.	Kaynakta ayrıştırma, ileri biyolojik işlemler ve enerji geri kazanımı gibi düşük çevresel etkili yöntemler tercih edilmekte ve çevre dostu süreçler yaygınlaşmaktadır.
Çevresel Etki	Metan ve karbon salınımı, sızıntı suları ve toksin yan ürünlerle çevresel sürdürülebilirlikte tehdit oluşturur.	Gerçek zamanlı izleme ve tahmine dayalı analizlerle kirlilik kontrol altına alınarak, çevresel etikler azaltılır ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlanır.
Maliyet ve Verimlilik	İş gücü ağırlıklı sistemler ve düzensiz uygulamalar sebebiyle operasyonel maliyeti yüksektir. Geri kazanım oranı düşüktür.	Yapay zeka destekli sistemler sayesinde rota ve kaynak optimizasyonu yapılarak, hem maliyeti düşürür hem de kaynak verimliliği artırmaktadır.
Kullanıcı Katılımı	Vatandaşlar çoğunlukla pasif konumda olup sürece yalnızca atık teslimi düzeyde katılmaktadır.	Akıllı uygulamalar ve veri temelli sistemlerle bireyler sürece aktif biçimde entegre edilerek farkındalık sağlanır.
Sistemsal Sınırlılıklar	Gelişmekte olan bölgelerde yaygın kontrolsüz depolama, altyapı eksiklikleri ve çevresel adalet sorunları mevcuttur.	Teknolojik yatırımlar yüksek olsa da uzun vadede sürdürülebilirlik, ölçeklenebilirlik ve veriyle yönetilen sistemsal iyileştirmeler sağlamaktadır.

2.1.1 Geleneksel atık yönetimi

Geleneksel atık yönetimi, farklı yönetim birimlerinin koordinasyonu ile yürütülen bir dizi faaliyeti kapsamaktadır. Kentsel alanlarda bu sistem; atığın oluştuğu noktadan toplanması, taşınması, ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, kaynakların yeniden kazanılması ve nihai bertaraf işlemlerini içermektedir. Kırsal bölgelerde ise bu hizmetler daha sınırlı olup, genellikle atıkların sadece belirli alanlarda geçici olarak depolanmasıyla sınırlı kalmaktadır. Toplumun büyük bir kesimi atık yönetimini yalnızca atıkların toplanmasından ibaret bir hizmet olarak görmekte ve bu sürecin sistematik bir şekilde planlandığının farkında olmamaktadır (Yılmaz ve Bozkurt, 2010). Ancak mevcut geleneksel sistemler, atıkların etkin şekilde bertaraf edilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması noktasında yetersiz kalmaktadır. Bu yaklaşımda çöp konteynerleri, doluluk oranı gözetilmeksizin tek tek kontrol edilmekte; bu da zaman ve yakıt israfına sebebiyet vermekte, ayrıca taşma durumları çevre ve görüntü kirliliğine yol açmaktadır (Gürcan ve Açıksöz, 2023).

Geleneksel atık yönetimi sistemleri, büyük ölçüde düzenli depolama ve yakma yöntemlerine dayanmaktadır. Günümüzde dünya genelinde atıkların yaklaşık %50'si bu iki yöntemle bertaraf edilmekte olup, özellikle depolama sahaları ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu alanlarda metan ve karbondioksit gibi sera gazlarının salınımı artmakta; sızıntı suları ise yer altı su kaynaklarını kirleterek toprak ve hava kalitesini olumsuz etkilemektedir (Ram vd., 2021). Yakma tesisleri her ne kadar yaygın olarak kullanılmakta olsa da, NRDC tarafından yapılan çalışmalar, bu tesislerin çevreye zararlı kalıcı organik kirleticiler yaydığını ve bu durumun çevresel adalet açısından önemli problemler doğurduğunu ortaya koymaktadır (URL-8; Tait vd., 2025). Gelişmiş yakma teknolojileri, örneğin sabit ızgaralı sistemler veya akışkan yataklı fırınlar, enerji geri kazanımı potansiyeli taşımaktadır; ancak emisyon kontrolü yeterince sağlanmadığında toksik yan ürünlerin oluşmasına sebebiyet verebilmektedir.

Geleneksel atık yönetimi yaklaşımlarının sınırlılıkları, çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. Hariyani vd., (2025) çalışmasında, geleneksel yöntemin düşük verimlilik, sınırlı geri kazanım kapasitesi ve entegre kaynak yönetimi eksikliği gibi temel sorunlara sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, yetersiz altyapı, kontrolsüz yakma ve açık alanda depolama gibi uygulamalar, hava ve su kirliliği, iklim değişikliği ve halk sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebebiyet vermektedir. Bu sorunlara alternatif olarak, Avrupa'daki birçok şehir, sıfır atık hedefli ve biyolojik işleme dayalı yöntemlere yönelerek; atığın kaynağında ayrıştırılması, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve geleneksel bertaraf yöntemlerine olan bağımlılığın azaltılmasını amaçlamaktadır (Alaghemandi, 2024). Ancak, birçok ülkede bu dönüşüm süreci henüz tamamlanamamış olup, geleneksel sistemlere olan yapısal bağımlılık devam etmektedir.

2.1.2 Teknolojik atık yönetimi

Özellikle son yıllarda teknolojinin yapay zeka temelli gelişmesi ile beraber, atık yönetimi uygulamalarında ve bu alandaki yapısal sorunların çözümünde dönüştürücü bir çözüm yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Chew vd., 2023). Yapay zekanın veri işleme, örüntü tanıma ve karar destek sistemleri gibi yetkinliklerden yararlanılarak, atık yönetimi süreçleri hem operasyonel verimlilik hem de kaynak kullanımı açısından daha etkili ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine daha uyumlu hale getirilebilmektedir (Özcan, 2022). Bu kapsamda geliştirilen uygulamalara dair güncel eğilimler, yapay zekanın atık yönetimindeki etkisinin giderek arttığını ve geleceğe yönelik yüksek bir potansiyel barındırdığını göstermektedir (Paul ve Bussemaker, 2020). Akıllı atık toplama sistemlerinden otomatik ayrıştırma teknolojilerine, öngörüye dayalı veri analizlerinden kaynak planlamasına kadar birçok alanda yapay zeka, atık yönetimi sistemlerini daha esnek, ölçeklenebilir ve çere dostu bir yapıya dönüştürmektedir (Olawade, vd., 2024a).

Yapay zekanın atık yönetiminde öne çıkan başlıca uygulama alanlarından biri, atık toplama süreçlerine entegrasyonudur. Geleneksel toplama yöntemleri sıklıkla düşük verimlilik, plansız güzergah oluşturma ve düzensiz toplama periyotları gibi çeşitli sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır (Cubillos, 2020). Ancak yapay zeka destekli sistemler bu sorunlara yenilikçi çözümler sunmakta; toplama güzergahlarını optimize ederek operasyonel verimliliği önemli ölçüde artırmaktadır. Sensör teknolojileriyle donatılmış ve yapay zeka algoritmalarıyla entegre çalışan akıllı çöp konteynerleri,

doluluk seviyelerini anlık olarak takip edebilmekte, bu sayede toplama faaliyetleri daha etkin şekilde planlanmakta ve kaynak kullanımı optimize edilebilmektedir (Pamintuan vd., 2019).

Teknolojik gelişmelerde bir diğer öne çıkan uygulama alanı ise atık ayrıştırma süreçlerine entegrasyondur. Geleneksel ayrıştırma yöntemleri büyük ölçüde manuel iş gücüne dayalı olup; bu durum süreci hem zaman açısından maliyetli hem de hata oranı yüksek hale getirmektedir. Ancak son yıllarda görüntü tanıma ve makine görüşü gibi yapay zeka tabanlı teknolojiler, ayrıştırma süreçlerinde otomasyon düzeyini artırmak ve sınıflandırma doğruluğunu geliştirmek amacıyla yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Geliştirilmiş görüntü tanıma algoritmaları, görsel verileri analiz ederek atık türlerini yüksek hassasiyetle ayırt edebilmekte; bu sayede geri dönüştürülebilir, organik ve geri dönüştürülemeyen materyallerin etkin biçimde ayrılmasını sağlamaktadır (Sundaralingam ve Ramanathan, 2023).

Yapay zekanın atık yönetiminde önemli katkı sunduğu bir diğer teknolojik alan ise atık izleme sistemleridir. Gerçek zamanlı veri toplama yeteneğine sahip bu sistemler, IoT cihazları ve sensör ağlarıyla entegre biçimde çalışarak atık üretimi, toplanması ve bertaraf süreçlerine ilişkin detaylı veriler elde edilmesini sağlar (Olawade, vd., 2024a). Elde edilen bu veriler, yapay zeka algoritmaları tarafından işlenerek atık yönetim operasyonlarının daha verimli ve etkili biçimde yürütülmesine yönelik stratejik iç görüler sunmaktadır. Ayrıca, tahmine dayalı analiz modelleri; geçmiş eğilimleri ve anlık verileri kullanarak atık üretim kalıplarını öngörebilmekte, böylece kaynak planlaması ve operasyonel karar alma süreçleri daha doğru ve veri temelli şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Ghanbari vd., 2023).

2.2 Endüstriyel Atık Yönetimi

Tarih boyunca hiçbir toplum ya da kültür tamamen atıksız bir yaşam sürdürememiş olsa da, sanayi çağından önce atıkların varlığı insanlar açısından nadiren kaygı verici bir mesele olmuştur. Bu durumun temelinde, 19.yüzyıl ve öncesindeki üretim ve tüketim pratiklerinin doğası yatmaktadır. Söz konusu dönemlerde, hane halkı tarafından çok az miktarda atık üretilmekteydi ve üretilen atıklar genellikle yeniden kullanım ya da geri dönüştürme yöntemleriyle değerlendiriliyordu. Örneğin, yemek

artıklarının çorba yapımında ya da hayvan yemi olarak kullanılması, ömrünü tamamlamış eşyaların çocuk oyuncaklarına dönüştürülmesi, kırılan ürünlerin onarılması ve dayanıklı tüketim mallarının kuşaklara arasında aktarılması oldukça yaygındı. Ayrıca, tarım ve hayvancılıkta organik gübre tercih edilmekte; saman inşaat malzemesi, eski kıyafetler ise kağıt yapımında hammadde olarak kullanılmaktaydı. Sabun üretiminde kemikler, haşere kontrolünde ise kül gibi maddeler öne çıkmaktaydı. Ancak bu döngü, nüfus artışı, kentleşme ve özellikle montaj hattı gibi seri üretimi mümkün kılan teknolojilerin ortaya çıkmasıyla birlikte kırılmaya başlamıştır (Mauch, 2016). Sanayi Devrimi sonrasında insanlar, büyük miktarlarda doğal kaynak, hammadde ve enerji kullanarak endüstriyel üretimi ve kentleşmeyi hızlandırmışlardır. Bu dönüşümle paralel olarak gelişen tüketim kültürü ise, pratik, ucuz ve tek kullanımlık ürünleri benimseyen, bu ürünleri kısa süreli kullanımdan sonra atmayı alışkanlık haline getiren bir toplumsal yapıyı doğurmuştur (Bilgili, 2020).

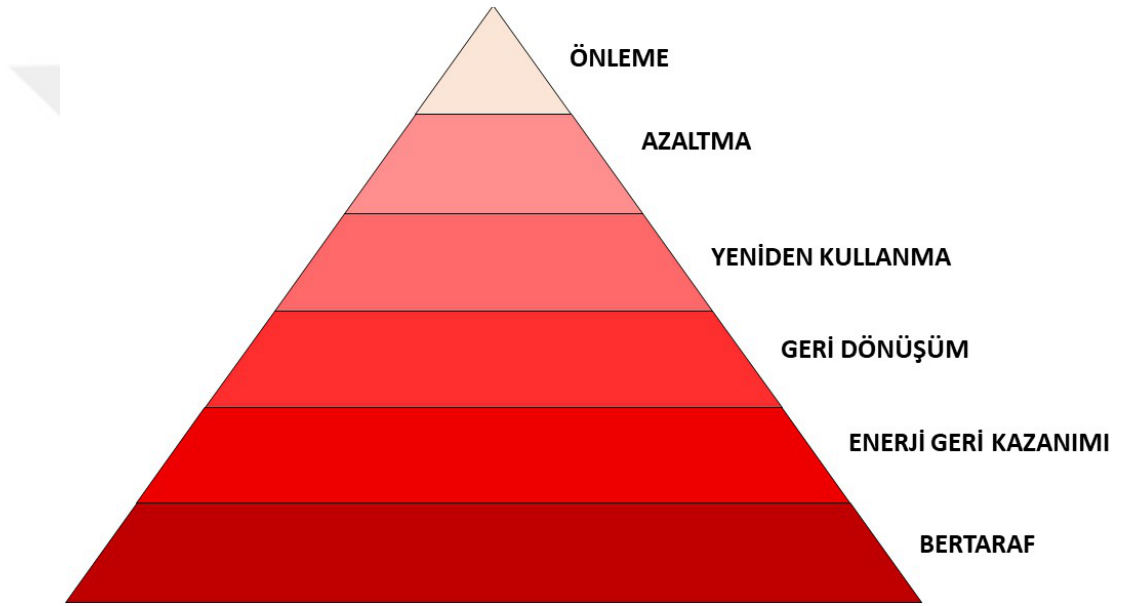
Bu doğrultuda atık, bireylerin artık ihtiyaç duymadığı ya da gelecekte kullanılmayacağını düşündüğü için elden çıkarmak istediği maddeleri ifade etmektedir (Mishra vd., 2020). Daha kapsamlı bir yaklaşımla atık, üretim ve tüketim süreçleri sonucunda oluşan; fiziksel, kimyasal ya da biyolojik özellikleri sebebiyle bırakıldıkları çevrenin doğal yapısını ve kullanım kapasitesini olumsuz yönde etkileyebilecek, doğrudan ya da dolaylı zarar oluşturabilecek katı, sıvı, gaz ve atık enerji formlarındaki maddeleri kapsamaktadır (Bilgili, 2020).

Sanayileşme, bir ülkenin ekonomik büyümesini hızlandıran temel dinamiklerden biridir. Sanayi sektörü, kişi başına düşen geliri artırmakta, istihdam olanaklarını genişletmekte ve yaşam standartlarının yükselmesine katkı sunmaktadır. Sanayi faaliyetleri genellikle büyüklük, mülkiyet yapısı ve üretimde kullanılan hammaddeler temelinde sınıflandırılmakta olup, temel sanayi kolları arasında kimya sanayisi önemli bir yer tutmaktadır. Kimya sanayisi; sentez, ekstraksiyon, damıtma gibi çeşitli kimyasal işlemler aracılığıyla ürün üretimini gerçekleştirmektedir. Ancak bu üretim süreçleri, kullanılan kimyasallar sebebiyle çevre ve insan sağlığı açısından çeşitli riskler barındırmaktadır. Kimya sanayisinden kaynaklanan endüstriyel atıklar; katı, sıvı ve gaz formunda olabilirken, içerik bakımından da organik ve inorganik maddeleri barındırmaktadır. Bu atıklar çoğunlukla toksik, kanserojen, çevresel açıdan yönetimi

güç ve zararlı niteliktedir (Iloms vd., 2020). Sıvı atıklar, genellikle temizlik, soğutma ve hijyen işlemlerinde kullanılan sulardan kaynaklanmakta olup; toksik organik azot bileşikleri, katran, süspansiyon, yağ, fenol, tuz, asit, baz, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, siyanür ve amonyak gibi maddeleri farklı oranlarda içerebilmektedir. Katı atıklar, üretimde kullanılan hammaddelerin atık ürünleri olarak rotaya çıkmakta ve ahşap, metal, plastik, kağıt, kauçuk, cam ile tekstil gibi çeşitli malzemeleri içermektedir. Gaz halindeki atıklar ise üretim süreci sırasında açığa çıkan egzoz emisyonları olup, karbondioksit, karbon monoksit, kükürt dioksit ve hidrojen sülfür gibi zararlı gazları içermektedir (Timotius ve Sukmarani, 2021).

Günümüzde endüstriyel atık, en ciddi çevresel tehditlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Toprak, hava ve su kaynaklarının kalitesini olumsuz yönde etkileyerek hem ekosistem sağlığını hem de insan yaşamını tehdit etmektedir (Timotius ve Sukmarani, 2021). Küresel ölçekte hızla artan sanayileşme, çevre üzerinde önemli tahribatlara yol açmış ve çevresel sorunların yaygınlaşmasına sebebiyet vermiştir. Özellikle endüstriyel kaynaklı gaz emisyonları, sinir sistemi fonksiyonlarını bozabilir; solunum güçlükleri ve görme bozuklukları gibi sağlık sorunlarına yol açabilirken, bitki ve hayvan gelişimini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Öte yandan, endüstriyel atık sular ve katı atıklar, sucul ortamlarda çözünmüş oksijen seviyesinin düşmesine neden olarak, mikro ve makro organizmaların kitlesel ölümlerine sebebiyet verebilir. Bu durum; insan sağlığı üzerinde hastalık risklerini artırmakta, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bozulmalara neden olmakta, flora ve fauna hücrelerinde mutasyonlara yol açmakta ve ekosistemlerin kimyasal dengesini tehdit etmektedir (Shah, 2016). Ayrıca, içme suyu kaynaklarının tükenmesine ve iklim değişikliği etkilerinin şiddetlenmesine de katkıda bulunmaktadır. Bu sebeple, çevresel etkilerin azaltılabilmesi için endüstriyel atıkların etkin artımı büyük önem taşımaktadır. Atık oluşumunun azaltılması ve etkili bir yönetim sisteminin uygulanması, sürdürülebilir bir çevre için zorunludur. Nitekim sürdürülebilir atık yönetimi, endüstriyel kirlenmenin azaltılmasına katkı sunmakta; enerji kullanımında verimliliği artırmakta ve çevre dostu üretim süreçlerinin benimsenmesini desteklemektedir (Hidayat vd., 2019).

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere, önleme, azaltım, yeniden kullanım, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve bertaraf gibi atık yönetimi stratejileri de endüstriyel atıkların sürdürülebilir yönetimi için başvurulan temel yaklaşımlar arasındadır. Atıkların bertarafına yönelik tercih edilecek yöntemler, büyük ölçüde atığın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Yadav ve Kumar, 2017). Bu sebeple, söz konusu çalışma; katı ve gaz halindeki endüstriyel atıklar başta olmak üzere, endüstriyel atıkların önlenmesi, azaltılması, geri kazanımı ve sürdürülebilir yönetimine odaklanmakta; sanayi alanında çevresel ve kurumsal sürdürülebilirliğin desteklenmesine katkı sunmayı amaçlamaktadır.



Şekil 2.1. Atık yönetimi hiyerarşisi.

2.2.1 Geri dönüşüm ve geri kazanım

Küresel ölçekte faaliyet gösteren büyük endüstriyel işletmelerin çevresel güvenliğinin sağlanmasında temel önceliklerden biri, insan kaynaklı çevresel etkilerin başlıca nedenlerinden biri olan atıkların etkin şekilde yönetilmesidir (Akdeniz, 2024). Atık yönetiminde çevresel ve ekonomik kaynakların en verimli biçimde kullanılabilmesi, atıkların hangi öncelik sırasına göre ele alınacağını belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, atık yönetimi hiyerarşisi; atıkların oluşumunu mümkün olduğunca kaynağında azaltmayı esas alan ve atık yönetim süreçlerine yön veren temel bir çerçeve sunmaktadır. Atık oluşumunun tamamen engellenemediği durumlarda ise

öncelikle yeniden kullanım imkanlarının değerlendirilmesi, bu da mümkün değilse geri dönüşüm süreçlerinin desteklenmesi hedeflenmektedir (Ahmadi, 2017). Ancak tüm bu kazanım odaklı uygulamalara rağmen, en ideal yaklaşım atıkların hiç oluşmadan kaynağında önlenmesidir. Atık önleme stratejisi, malzemelerin, bileşenlerin ya da son ürünlerin atık haline dönüşmesini engellemeye yönelik önleyici tedbirlerin alınmasını kapsamaktadır.

Üretim süreçleri sonucunda ortaya çıkan atıklar, endüstriyel işletmelerin ekonomik faaliyetlerinin yönetiminde ayrı bir unsur olarak değerlendirilmelidir; zira bu atıklar, ilerleyen dönemlerde potansiyel bir kaynak işlevi görebileceği gibi, yönetim sürecinde ek maliyetlerin oluşmasına da sebebiyet verebilmektedir (Anishchenko vd., 2019). Geri dönüşüm ise, kullanım ömrünü tamamlamış veya atık olarak sınıflandırılmış ürünlerin daha düşük ya da daha yüksek kalitedeki malzemelere dönüştürülmesini amaçlayan işlemler bütünüdür. Bu süreç, atık olarak değerlendirilen ürünlerin ikincil hammadde niteliği kazanarak yeniden üretim ve tedarik zincirine kazandırılması şeklinde tanımlanabilir (Aka, 2022). Endüstriyel atıkların bertarafı ve geri kazanımı, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması ve küresel toplumun dengeli gelişiminin desteklenmesi açısından kritik bir mesele olarak öne çıkmaktadır (Akdeniz, 2024). Bu durum, özellikle endüstriyel kuruluşlar açısından daha büyük bir önem arz etmektedir; zira dünya genelinde farklı türdeki endüstriyel atıkların miktarı hızla artış göstermekte ve bu birikim, çevresel ve ekonomik açıdan ciddi sonuçlar doğurmaktadır.

Endüstriyel atıkların geri dönüşümü, doğal kaynakların korunması açısından hayati bir öneme sahiptir. Farklı malzemelerden oluşan pek çok endüstriyel ürün, geri dönüşüm sistemleri aracılığıyla yeniden işlenerek malzeme olarak ekonomiye kazandırılabilir. Bu sayede, doğal hammadde kaynaklarının tükenme riski önemli ölçüde azaltılmaktadır. Ancak, endüstriyel atıkların tümü için geri dönüşüm her zaman uygulanabilir değildir. Literatürde bu durum, endüstriyel malzemelerin geri dönüşüm uygunluğuna göre üç ana kategoride ele alınmaktadır (Aka, 2022; Lu vd., 2000);

- Hem teknik hem de ekonomik açıdan geri dönüşüme elverişli malzemeler (plastik, kağıt ve birçok metal türü).

- Teknik olarak geri dönüştürülebilir olmakla birlikte ekonomik açıdan uygun olmayan malzemeler (ambalaj türleri)
- Teknik olarak geri dönüşümü mümkün olmayan malzemeler (deterjanlar, koruyucu kimyasallar ve gübreler).

Bu sınıflandırma, geri dönüşüm stratejilerinin belirlenmesinde ve atık yönetimi politikalarının geliştirilmesinde önemli bir rehber işlevi görmektedir.

Endüstriyel atıkların geri dönüşümünde öncelikle teknik olarak uygun malzemelerin belirlenmesi ve ardından bu sürecin ekonomik açıdan uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Atıkların ekonomik uygunluğu belirlemede, Atık Çevre Direktifinde yer alan temel ilkeler dikkate alınmalıdır. Bu direktif, atıkların geri dönüştürülebilir hale gelmesini ve ikincil hammadde olarak ekonomiye kazandırılmasını teşvik etmek amacıyla “atık sonu” kriterlerini tanımlamaktadır (URL-11). Bu kriterlere göre; bir nesnenin belirli amaçlar için yaygın şekilde kullanılması, bu nesneye yönelik bir pazarın ya da talebin bulunması, teknik gereklilikleri karşılaması ve yürürlükteki yasal düzenlemelere uygun olması ile çevreye veya insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde kullanılması beklenmektedir. Ancak bu koşulları sağlayan atıkların geri dönüştürülmesi hem çevresel hem de ekonomik açıdan anlamlı olacaktır. Geri dönüştürülmüş malzemeler, orijinal ürün biçimlerinden farklı yapılar kazanarak yeni kullanım alanlarında değerlendirilebilir; bu da onları teknik ihtiyaçlara uygun hale getirerek yeniden kullanımı mümkün kılar (Graedel vd., 2011). Böylece bu tür malzemeler, sahip oldukları işlevsellik doğrultusunda Pazar içinde talep oluşturabilir ve ekonomik değer kazanabilir. Ayrıca, belirli standartlara ve düzenlemelere uygun olarak yürütülen dönüşüm süreçleri, ürün güvenilirliği artırarak piyasada tercih edilebilirliğini de önemli ölçüde yükseltmektedir.

2.2.2 Düzenli depolama

Günümüzde depolama yöntemleri arasında en güvenilir ve çevresel açıdan en uygun olan yaklaşım, düzenli depolama sistemidir. Bu yöntem, evsel atıkların bertarafında uygulanan tekniklerle benzerlik gösterse de, en temel farklılık depolama sahasının taban yapısında ortaya çıkmaktadır. Düzenli depolama alanlarında daha fazla sayıda

katman ve kontrol birimi bulunmakta, ayrıca atıkların birbirine karışmadan ayrı ayrı depolanması esas alınmaktadır. Bu doğrultuda, her bir atık türünün hangi alana yerleştirildiğinin açık biçimde belirlenmesi ve sahaya ait ayrıntılı bir atık haritasının oluşturulması gerekmektedir (Arutan, 2013).

Düzenli depolama sahaları, mühendislik ilkelerine göre inşa edilen çok katmanlı yapılar ve sızıntı suyunu yönlendiren drenaj sistemlerinden oluşmaktadır. Bu yapıların temel amacı, atıkların çevresel faktörlerden izole edilmesini sağlamak ve oluşabilecek sızıntı suyu ile gaz emisyonlarının yol açabileceği riskleri denetim altına almaktır. Böylece, sızıntı suyunun neden olabileceği yer altı suyu ve toprak kirliliği önlenmiş olur. Ancak düzenli depolama tesislerinin inşasında kapasite planlaması, teknik tasarım ilkeleri ve uygun yer seçimi gibi unsurların dikkate alınması büyük önem taşımaktadır (Yakan, 2017).

Atıkların yer altı ve yer üstü ortamlarında, insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyecek şekilde belirli teknik standartlara uygun olarak depolanması, düzenli depolama olarak ifade edilmektedir. Bu yöntem, atık yönetim sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Yakma ve biyolojik arıtma gibi dönüştürme yöntemleri sonucunda ortaya çıkan atık ürünler de dikkate alındığında, belirli bir orandaki atığın mutlaka düzenli depolama sahalarında nihai olarak bertaraf edilmesi gerekmektedir (Özyardımcı ve Bilgin, 2023).

2.2.3 Yakma

İnsinerasyon olarak da adlandırılan yakma işleminde, organik içerikli maddeler yüksek sıcaklıkta yakılarak karbondioksit ve su buharına dönüştürülür. Ortaya çıkan karbondioksit ve su buharı baca yoluyla atmosfere salınırken, yanma süreci sırasında oluşabilecek klor, fosfor, dioksin gibi zararlı kimyasal bileşenler ise özel gaz arıtma sistemleri aracılığıyla tutulur. Yanma sırasında tamamen parçalanmayan atık kalıntıları ise kül formunda birikir ve bu atıklar uygun yöntemlerle sistemden uzaklaştırılır (Gökşin, 2009).

Endüstriyel atıkların geri kazanımı veya dönüşümünün mümkün olmadığı durumlarda, bu atıklar yakma yöntemiyle bertaraf edilmektedir. Ancak bu süreç, yalnızca Çevre,

Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından belirlenen kriterlere uygun atıkların lisanslı yakma tesislerinde gerekli teknik koşullar altında ve uygun sıcaklıklarda bertaraf edilmesiyle gerçekleştirilebilir (Yakan, 2017). Özellikle kalıcı organik kirleticiler ile çeşitli tehlikeli maddeler, 1200 °C üzerindeki sıcaklıklarda yakıldığında neredeyse %100'e yakın giderim verimi elde edilebilmektedir. Dolayısıyla, gelişmiş ülkelerde tehlikeli atıkların nihai bertarafında yakma yöntemi yaygın ve etkin bir uygulama olarak tercih edilmektedir (Gökşin, 2009).

2.2.4 Kaynakta azaltma

Atık yönetiminin en temel unsurlarından biri, atıkların henüz oluşmadan, kaynağında engellenmesine yönelik stratejileri kapsayan atık önleme yaklaşımıdır. Geleneksel kirlilik kontrolü yaklaşımı, çevresel kirlilik ortaya çıktıktan sonra buna çözüm üretmeye odaklanmakta ve bu doğrultuda bertaraf süreçleriyle ilgili maliyetleri artırmaktadır. Buna karşılık, kaynakta azaltmayı esas alan yaklaşım, kirleticilerin oluşumunu önleyerek çevresel etkilerin kaynağında minimize edilmesini amaçlamaktadır (Shammas vd., 2008).

Kaynakta azaltma yaklaşımı kapsamında, işletmeler tarafından çevresel etkileri en aza indirecek üretim malzemelerinin tercih edilmesiyle, yenilenebilir kaynakların kullanımının teşvik edilmesi ve zararlı emisyonların ortadan kaldırılması hedeflenmektedir (Değirmenci, 2022). Bu strateji, çevre dostu üretim süreçlerinin geliştirilmesini destekleyerek hem doğal kaynakların korunmasına hem de toksik atıkların oluşumunun önlenmesine katkı sağlamaktadır.

2.2.5 Piroliz

Piroliz, organik içerikli çevresel atıkların oksijensiz bir ortamda 400-800 °C sıcaklık aralığında ısı enerjisi uygulanarak katı, sıvı ve gaz fazlara ayrıştırılması sürecidir. Elde edilen ürünlerin türü ve miktarı; atığın bileşimine, uygulanan sıcaklık derecesine ve kullanılan ekipmanların özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu parametreler doğrultusunda, süreç verimliliği ve ürün çıktıları kontrol edilebilir hale gelmektedir (Saxena, 2025; Yakan, 2017).

Piroliz yöntemi sıklıkla gazifikasyon ile karıştırılrsa da, aralarındaki temel fark enerji yönüdür: gazifikasyon işlemi ısı açığa çıkarırken, piroliz süreci dışardan ısı gerektirir. Bu sebeple her iki yöntem farklı termokimyasal dönüşüm süreçleri olarak değerlendirilmelidir. Piroliz yöntemi, oksijensiz bir ortamda dışarıdan ısı enerjisi verilerek gerçekleştirilirken; gazifikasyon ise sınırlı oksijen içeren ortamlarda, atıkların yüksek sıcaklıkta çeşitli tekniklerle parçalanması esasına dayanmaktadır (Güden, 2011).

2.2.6 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, tarımsal, kentsel ve ticari kaynaklı atıklarda bulunan ayrışabilir organik bileşenlerin; bakteri, mikroorganizma ve daha üst düzey biyolojik organizmalar aracılığıyla stabilize edilerek mineralize humusa dönüştürülmesi süreci olarak tanımlanır. Kompost, doğrudan bir gübre niteliği taşımamakla birlikte, toprağın fiziksel yapısını iyileştirme amacıyla kullanılmaktadır. Ancak, kompostta yeterli düzeyde azot, fosfor ve potasyum gibi besin elementlerinin ilavesiyle, daha nitelikli ve verimli bir gübre elde etmek mümkündür (Uygun, 2012). Kompostlaştırma uygulamasının temel hedefleri arasında; organik atıkların hacminin azaltılması ve toprak yapıcı forma dönüştürülmesi, katı atıklarda bulunabilecek zararlı mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi, kötü kokuların giderilmesi, besin değerlerinin korunması ve toprak iyileştirici veya gübre niteliğinde ürünlerin elde edilmesi yer almaktadır (Eraslan, 2012).

Kompostlama işlemi, hem oksijenli hem de oksijensiz ortam koşullarında gerçekleştirilebilmekle birlikte, uygulamada çoğu kompostlama sistemi oksijenli olarak yürütülmektedir. Bunun temel sebepleri arasında, oksijensiz süreçlerde organik maddenin birim ağırlığı başına daha az enerji üretilmesi, ara ürünlerin oluşması sebebiyle kötü koku problemlerin ortaya çıkması, kompost oluşum sürecinin oldukça uzun sürmesi ve mikroorganizmaların faaliyet sırasında gereken yüksek sıcaklık seviyelerine ulaşamaması yer almaktadır. Uygulamada, “kompost” denildiğinde çoğunlukla oksijenli yani aerobik kompostlama yöntemine atıf yapılmaktadır (Argun vd., 2017).

2.3 Endüstriyel Atıkların Tehlike Sınıflandırması

Zehirli, bulaşıcı, tahriş edici, patlayıcı, yanıcı, kanserojen, teratojenik veya mutajenik özellikler taşıyan endüstriyel tehlikeli atıklar; insan sağlığı ve çevre üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratma potansiyeline sahiptir. Bu tür atıklar, sınır değerler içinde bulunsalar dahi, endüstriyel süreçler sonucunda çevreye salınan tehlikeli ürünler ya da ürün niteliği taşımayan zararlı çıktılar olarak tanımlanmaktadır (Karaman, 2023). Dolayısıyla endüstriyel tehlikeli atık, çevresel ve biyolojik sistemler üzerinde tehdit oluşturan, endüstriyel faaliyetlerin bir sonucu olarak ortaya çıkan istenmeyen maddeler veya yan ürünler şeklinde ifade edilebilir.

Tehlikeli atıklar; toksisite, fiziksel ve kimyasal özellikler, kanserojen potansiyel ya da çevresel kalıcılık gibi nitelikler sebebiyle çeşitli olumsuz etkilere yol açabilen organik veya inorganik bileşenler içermektedir. Bu atıklar; patlama ya da yangın riski, enfeksiyon yayılımı, kimyasal kararsızlık, reaksiyonel tehlike veya korozyon gibi durumların yanı sıra, akut ya da kronik toksik etkiler, kanser oluşumu, genetik mutasyonlar ve doğumsal anomaliler gibi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Ayrıca, ekosistemlerin bozulması ve doğal kaynakların zarar görmesi de bu atıkların çevresel sonuçları arasındadır (Salihoğlu, 2019). Bu özelliklerin ötesinde, bir maddenin bulunduğu ortam veya kullanım amacı da onun tehlikeli atık olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceğini belirlemektedir. Örneğin, tarımsal üretimde kullanılan bir pestisit, yer altı veya yüzey sularına karıştığında çevresel açıdan zararlı bir atığa dönüşebilmektedir. Öte yandan, aynı nitelikteki bir tehlikeli madde, endüstriyel üretim süreçlerinde ekonomik değeri olan bir girdi olarak değerlendirilebilmektedir.

Tehlikeli atıkların tanımlanmasında atığın fiziksel formu belirleyici bir unsur değildir; esas olan, atığın “tehlikeli” olarak nitelendirilmesine yol açan özelliklerin açıkça ortaya konulabilmesidir. Bu özellikler arasında kamuoyunun en çok kaygı duyduğu unsur toksisite, özellikle de kanserojenlik potansiyelidir. Bununla birlikte, toksik özellikler dışında kalan başka nitelikler de bir atığın tehlikeli olarak sınıflandırılmasına sebep olmaktadır. Örneğin, kolay alev alabilen, yüksek yanıcılık gösteren, kimyasal reaksiyona girmeye eğilimli, patlama riski taşıyan, aşındırıcı, radyoaktif, enfeksiyona

yol açabilen, tahriş edici ya da biyolojik organizmalarda birikme eğilimi olan atıklar da tehlikeli atık kapsamına girmektedir (Salihoğlu, 2019).

Tehlikeli endüstriyel atıklara örnek olarak; metal yüzey işlemlerinde ortaya çıkan ağır metal içeriğine sahip çözeltiler, tekstil sektöründeki boyama işlemleri sonrasında oluşan toksik nitelikli atık sular, petrol türevlerinin işlendiği rafineri ve tesislerden kaynaklanan kullanılmış yağlar, baskı ve kaplama sanayisinden elde edilen solvent bazlı maddeler ile kimya endüstrisinde kullanılan reaktif ve aşındırıcı kimyasallar gösterilebilir. Bu atıklar, sahip oldukları yanıcı, koroziv, toksik ya da ekotoksik özellikleri sebebiyle çevreye kontrolsüz biçimde bırakıldıklarında ciddi ekolojik ve halk sağlığı riskleri doğurmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı [ÇŞB], 2015). Dolayısıyla, bu tür atıkların yönetimi yalnızca üretim sahasında değil; geçici depolama, taşıma, ön işlem ve nihai bertaraf gibi tüm aşamalarda sıkı yasal denetimlere tabi tutulmaktadır. Bu çerçevede, tehlikeli endüstriyel atıkların yönetiminde “beşikten mezara” ilkesi temel alınmakta; sürecin her bir adımının belgelenebilir, izlenebilir ve çevre mevzuatına uygun şekilde yürütülmesi zorunlu kılınmaktadır. Atık üreticileri başta olmak üzere tüm ilgili paydaşlar, yönetmeliklerle belirlenmiş yükümlülüklerini yerine getirmekle sorumludur ve bu sorumlulukların ihlali durumunda çevresel ve hukuki yaptırımlarla karşı karşıya kalmaları söz konusudur (Karaman, 2023).

2.3.1 Tehlikeli endüstriyel atıkların kaynakları

Metal işleme endüstrisinde gerçekleştirilen torna, freze, yüzey taşlama ve kaplama gibi operasyonlar sonucunda; ağır metaller, kesme sıvıları, yağlar ve ince metal tozları gibi tehlikeli atıklar meydana gelmektedir. Bu tür atıklar genellikle aşındırıcı, toksik ve ekotoksik özelliklere sahiptir (Razzak vd., 2022). Özellikle galvanizleme ve nikel kaplama gibi yüzey işlem prosesleri sonrasında ortaya çıkan atıklar, yüksek düzeyde çevresel ve sağlık riski taşımaktadır. Benzer şekilde, petrol ve petrokimya tesislerinde yürütülen rafinasyon ve kimyasal üretim süreçleri sırasında kullanılmış solventler, atık yağlar, asidik ve bazik çözeltiler ile uçucu organik bileşikler açığa çıkmaktadır. Bu atıklar, hem yanıcı hem de toksik tehlike sınıflarına dahil olup, özellikle hava ve su ortamlarında ciddi düzeyde kirlетici etki yaratmaktadır (Oladimeji vd., 2024).

Boya ve vernik sanayinde, solvent bazlı boya üretimi ve uygulama süreçleri sonucunda oluşan atık solventler, pigment artıkları ve uçucu organik bileşik emisyonları tehlikeli atık kapsamında değerlendirilmektedir. Üretim hatlarında kullanılan çözücüler ile temizlik amaçlı sıvılar, yüksek oranda yanıcılık ve toksisite özellikleri göstermektedir (Pilon vd., 2024). Tekstil sektöründe ise boyama ve apre işlemleri sırasında, ağır metal içeren boyalar, azo boyar maddeler ve toksik yardımcı kimyasallar gibi çevresel açıdan riskli atıklar ortaya çıkmaktadır. Özellikle tekstil baskı tesislerinden kaynaklanan atık mürekkepler, önemli ölçüde ekolojik etki yaratmaktadır. Elektronik ve elektrikli ekipman üretimi (EEE) kapsamında yürütülen baskılı devre kartı (PCB) imalatı, lehimleme ve asitle temizleme gibi işlemler sırasında ise kurşun, cıva, kadmiyum ve brom içeren bileşiklerden oluşan atıklar oluşmakta; bu atıklar hem toksik yapılarıyla hem de çevresel kalıcılıklarıyla ciddi tehdit oluşturmaktadır (Lellis vd., 2019).

İlaç ve kimya sanayinde gerçekleştirilen kimyasal sentez, formülasyon ve dolum işlemleri sonucunda reaktif kimyasallar, kullanılmamış ya da artık çözücüler, kontamine ambalaj malzemeleri ve farmasötik nitelikli atıklar meydana gelmektedir. Bu atıklar genellikle toksik, kanserojen ve koroziv tehlike sınıflarına dahil edilmekte olup, hem insan sağlığı hem de çevresel güvenlik açısından yüksek risk taşımaktadır (Ionescu ve Cazan, 2024). Akü ve pil üretimi süreçlerinde ise, özellikle kurşun-asit aküler ve lityum pillerin üretiminde kurşun, cıva, kadmiyum gibi ağır metaller ile elektrolit solüsyonlar gibi aşındırıcı sıvılar önemli düzeyde tehlikeli atık oluşturur. Bu maddeler, hem çalışan sağlığı hem de çevre üzerinde büyük tehdit oluşturmaktadır. Otomotiv sektöründe ise araç montajı, onarımı ve bakımı sırasında ortaya çıkan atık yağlar, fren hidrolikleri, antifrizler, boya kalıntıları ve kirlenmiş temizlik bezleri tehlikeli atık kapsamında değerlendirilir (Kang vd., 2013).

Metalürji ve döküm sanayinde gerçekleştirilen yüksek sıcaklıklı ergitme, cüruf oluşumu ve yüzey temizleme gibi işlemler sonucunda; metal tozları, ağır metal içeren cüruflar, yanıcı gazlar ve kimyasal banyo artıklarından oluşan çeşitli tehlikeli atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar, genellikle tahriş edici, toksik ve ekotoksik tehlike sınıflarına dahil olup, çevresel ve sağlık açısından ciddi riskler barındırmaktadır. Ayrıca süreçte kullanılan flakslar ve ergitici kimyasalların kalıntıları da benzer şekilde zararlı potansiyele sahiptir. Öte yandan, kömür, termik ve jeotermal gibi enerji

santrallerinde oluşan kül, cüruf ve baca gazı artırım çamurları da içerdikleri ağır metaller, sülfatlar ve florürler sebebiyle tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir. Özellikle uçucu kül ve filtre tortusu gibi kalıntılar, hassaslaştırıcı ve diğer kategorilerinde sınıflandırılmakta ve dikkatli şekilde yönetilmesi gerekmektedir (şensoy ve Balbay, 2025).

Kağıt ve selüloz endüstrisinde gerçekleştirilen üretim süreçlerinde kullanılan klor, sodyum hidroksit, kireç taşı ve beyazlatıcı kimyasallar, çeşitli tehlikeli atıkların oluşumuna yol açmaktadır. Ayrıca, ökeltme tanklarından çıkan tortular ile kontamine hale gelmiş kağıt hamurları da çevresel açıdan risk taşımaktadır (Sharma ve Singh, 2021). Plastik ve polimer sanayisinde ise, PVC, poliüretan ve epoksi reçinelerinin üretiminde kullanılan katalizörler, solventler diizosiyanatlar ve stiren gibi kimyasal bileşenlerin hem üretim esnasında hem de atık formunda kalıntıları ortaya çıkmakta; bu maddeler genellikle yanıcı, oksitleyici ve kanserojen tehlike sınıflarında değerlendirilmektedir (Kayhan ve Demirer, 2016). Öte yandan, yüzey temizliği ve endüstriyel bakım hizmetlerinde kullanılan kostik çözeltiler, asidik maddeler, yağ çözücüler, solvent bazlı temizlik ürünleri ile kirlenmiş bez ve sünger gibi materyaller de özellikle bakım-onarım atıkları kapsamında tehlikeli atık kategorisine girmektedir.

2.3.2 Tehlikeli atıkların evre ve insan sağlığına etkileri

Tehlikeli atıkların yetersiz biçimde depolanması, taşınması, işlenmesi, arıtılması ya da bertaraf edilmesi; yer altı su kaynaklarına, toprağa ve atmosfere zararlı kirleticilerin sızmasına neden olarak hem çevresel bütünlüğü hem de insan sağlığını ciddi şekilde tehdit edebilmektedir. Toksik nitelikteki atıklar, kirlenmiş su kaynakları aracılığıyla canlı organizmalar tarafından emilebilir; hava ve toprak yoluyla geniş nüfus kitlelerini etkileyebilir. Bu kirleticiler, bulundukları ortamdan sızarak yayılabilir veya taşınarak farklı ekosistemlere ulaşabilir ve özellikle tarım ürünleri aracılığıyla doğrudan ya da dolaylı olarak insan besin zincirine karışma riski taşır. Tehlikeli atıklara maruz kalınması durumunda; atığın içeriğine bağlı olarak cilt tahrişi, dermatolojik hastalıklar, solunum yolu rahatsızlıkları, hormonal ve sinir sistemi bozuklukları, karaciğer tahribatı, bilişsel gerilik, istemsiz kilo kaybı ve çeşitli kanser türleri gibi çok sayıda ciddi sağlık problemi ortaya çıkabilmektedir (Hasan vd., 2020).

Zehirli maddelerin çevresel ortamlardan başlayarak insan vücuduna ulaşmasına kadar geçen süreçler dizisi “maruziyet yolu” olarak tanımlanırken, bu maddelerin doğrudan vücuda giriş yaptığı yollar ise maruziyet rotası” olarak adlandırılmaktadır. İnsan sağlığı açısından kritik olan bu süreçte, çevresel kirleticiler üç temel yolla vücuda girebilmektedir; solunum sistemi aracılığıyla, sindirim sistemi yoluyla ve deri teması ile. Kirleticiler bu rotalar üzerinden vücuda girdiklerinde, ağız yoluyla alınan bir kimyasal örneği solunum sistemi boyunca ilerleyip kana karışabilir. Gerek doğrudan kimyasal maddeler gerekse bunları ara ürünleri, dolaşım sistemi aracılığıyla vücuttaki çeşitli organ ve dokulara taşınabilmekte; kemiklerde ya da yağ dokusunda uzun süreli olarak depolanabilmektedir. Bu maddelerin vücuttan atılımı ise genellikle dışkı, idrar veya terleme yoluyla gerçekleşmektedir. Kadınlarda ise anne sütü, kimyasal maddelerin vücuttan uzaklaştırıldığı önemli bir biyolojik atılım rotası olarak değerlendirilmektedir (Salihoğlu, 2019). Çizelge 2.2’de endüstriyel atıkların düzensiz bir şekilde doğaya salınımı sonucu ortaya çıkan kimyasal maddelerin insan sağlığı üzerindeki etkileri belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Tehlikeli maddelerin sağlık etkileri.

Madde Adı	Kaynak	Sağlık Etkileri
Kurşun	Boya, düşük kaliteli benzin, metal işleme tesisleri, sanayi bacaları	Merkezi sinir sistemi üzerinde toksik; çocuklarda zihinsel gerilik, koma,
Kadmiyum	Piller, gübre, plastik ve akü üretimi	Akciğer kanseri riski, böbrek ve karaciğer hasarı,
Krom	Metal kaplama sanayi, paslanmaz çelik üretimi, deri işleme tesisleri	Kanserojen etki; cilt, burun mukozasında ülser;
Çinko	Galvanizleme sanayi, çinko dumanı çıkan metal işlemleri	Deri ve solunum yolu tahrişi; kadmiyum, arsenik,
Arsenik	Tarım kimyasalları, madencilik, su arıtma	Karaciğer ve sinir sistemi hasarı, damar hastalıkları, cilt kanseri
Cıva	Termometre, floresan lamba, madencilik, kimyasal üretim	Nörotoksik etkiler; fetüste beyin hasarı; titreme, duygusal bozukluk
Poliklorlu Bifeniller	Transformatör yağı, kondansatör, elektronik, floresan lamba	Karaciğer tahribatı, sindirim ve deri yolu zehirlenmesi,
Pestisitler	Tarım ilaçları, insektisit üretimi	Sinir sisteminde hasar, kanser, üreme ve endokrin sistem bozuklukları,
Petrokimyasallar	Solvent, boya, deterjan, plastik, ilaç sanayi	Kösemi, koordinasyon kaybı, kas sistem bozukluğu
Atık Yağ	Motor yağı, sanayi makineleri, atölyeler	Su kaynaklarını kirleterek, deniz canlıların yok olmasına sebep olur.

Bu kapsamda kurşun, özellikle merkezi sinir sistemi üzerinde zehirli etkiler gösteren ağır bir metal olarak öne çıkmaktadır. Sindirim yoluyla vücuda alındığında toksisite yaratmakta ve düşük düzeyde maruziyetlerde dahi çeşitli rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Geçmişte, otomotiv sektöründe kullanılan düşük kaliteli yakıtlar kurşunun hava kirleticisi olarak yaygınlaşmasına yol açmış; ancak kurşunsuz benzin kullanımına geçilmesiyle bu sorun büyük ölçüde azaltılmıştır. Buna rağmen, sanayi bölgelerinde gerekli çevresel önlemler alınmadığında kurşun emisyonları halen ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Toz formunda bulunduğu ısı ve alevle temas ettiğinde yanıcı özellik gösterebilir. Özellikle bebekler, küçük çocuklar ve hamile kadınlar gibi hassas gruplarda, kalıcı davranışsal bozukluklar, nörolojik tahribat ve çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilir. Yüksek dozda maruz kalınması durumunda ise zihinsel gerilik, nöbet, koma ve ölüm gibi ağır sonuçlar ortaya çıkabilmektedir (LaGrega vd., 2010).

Kadmiyum, vücuda besin zinciri aracılığıyla ya da karın içi, cilt altı, kas içi veya damar içi gibi çeşitli yollarla girebilir. Özellikle uzun süreli ve yüksek düzeyde maruz kalınması, akciğer kanseri riskinin artmasına neden olabilmektedir. Krom ise başlıca iki oksidasyon durumu ile karşımıza çıkmaktadır; üç değerlikli krom ve altı değerlikli krom olarak nitelendirilir. Altı değerlikli formu, yüksek dozlarda alındığında sindirim sistemi kanserine yol açabilir; ayrıca ciltte ve burun mukozasında ülserasyonlara, dermatolojik reaksiyonlara sebebiyet verebilmektedir. Kalsiyum kromat ve benzeri kromat tuzları solunduğunda kanserojen etki gösterir. Özellikle krom sanayisinde çalışan akciğer kanseri vakalarının görüldüğü bilimsel çalışmalarla ortaya konulmuştur (Hasan vd., 2020).

Çinko, özellikle dumanlarının solunması durumunda solunum yollarında tahrişe ve ciltte irritasyona sebebiyet verebilmektedir (Ahsan vd., 2009). Arsenik ise cilt ve sindirim sistemi üzerinde toksik etkiler göstermekte olup, cilt altı, kas içi veya karın içi yollarla vücuda alındığında ciddi sağlık riskleri yaratmaktadır. Arsenik, özellikle su kaynaklarına atılan atıklarda birikim gösterdiğinde karaciğer ve sinir sistemi hasarına, damar hastalıklarına ve deri kanserine neden olabilmektedir. Cıva güçlü bir nörotoksin olup, anne karnındaki fetüslerde beyin hasarlarına, yetişkin bireylerde ise

duygu durum bozuklukları gibi nörolojik belirtilere yol açabilmektedir (Hong vd., 2014).

Poliklorlu bifeniller, sindirim, solunum ya da deri teması yoluyla vücuda alındığında zehirli etkiler gösteren ve insanlar üzerinde kanserojen olabileceği şüphesi taşıyan kimyasal bileşiklerdir. Özellikle cilt ve karaciğer üzerinde zararlı etkiler oluşturduğu bilinmekte olup; yüksek dozda maruziyet durumunda mide bulantısı, kusma, kilo kaybı, sarılık, karın ağrısı ve ödem gibi belirtiler gözlemlenebilir. Pestisitler ise özellikle organofosfat ve karbamat bileşikler içeren türleriyle sinir sisteminde ciddi tahribata ve kanser riskine neden olabilmektedir. Benzen başta olmak üzere çeşitli petrokimyasal maddeler de, düşük seviyelerdeki maruziyetlerde dahi kanser gelişimini tetikleyebilecek özelliktedir (Hasan vd., 2020).

Atık yağlar, açık alanlara, kanalizasyon sistemlerine ya da düzenli depolama sahalarına kontrolsüz şekilde döküldüğünde, hem yüzeysel hem de yer altı su kaynaklarına sızarak ciddi çevresel kirlenmelere yol açabilmektedir. Yapılan araştırmalar, yalnızca 3.8 litre atık yağın yaklaşık 3.8 milyon litre suyu kirletmeye yettiği ve bu miktarın suyu içilemez hale getirdiğini göstermektedir. Deniz ekosistemlerinde yaşayan canlılar, yalnızca 1 mg/L düzeyinde düşük yağ konsantrasyonlarına maruz kaldıklarında bile fizyolojik olarak olumsuz etkilenebilmektedir (Hasan vd., 2020; Yürür vd., 2021).

2014 yılı itibarıyla Avrupa genelinde yaklaşık 342.000 kirlenmiş saha tespit edilmiştir; bu da her 10.000 kişiye yaklaşık 5,7 kirlenmiş saha düştüğünü göstermektedir (Fazzo vd., 2017). 2011 yılında 33 Avrupa ülkesinden elde edilen verilere göre, toprak ve yeraltı suyu kirliliğine en fazla katkıda bulunan faaliyetler, belediye ve endüstriyel atıkları da içeren atık bertaraf işlemleri (%38) ile madencilik, petrol çıkarımı ve üretimi, enerji santralleri gibi çeşitli endüstriyel ve ticari faaliyetlerdir (%34). Ancak benzer nitelikteki verilere düşük ve orta gelirli ülkelerde daha seyrek ulaşılabilmektedir (Van vd., 2014). Örneğin, Asya, kıtasında yer alan yedi ülkede yapılan çalışmalar, tehlikeli atıklarla kirlenmiş toplam 679 saha tespit etmiş; bunların 169'unda kurşun kontaminasyonuna rastlanmıştır. Bu alanlarda, yaklaşık 245.949 çocuğun kurşuna maruz kaldığı tahmin edilmiştir. Maruz kalma düzeylerinin, özellikle

bilişsel gelişim açısından zeka puanında azalmaya yol açabilecek akut ve kronik sağlık etkileri yaratacak düzeyde olduğu değerlendirilmiştir (Caravanos vd., 2013).

DSÖ tarafından 2007 yılında yayımlanan “Atık ve Sağlık” başlıklı rapor, düzenli depolama alanlarının sağlık üzerindeki etkilerine dair mevcut bilimsel çalışmaları değerlendirmiş ve şu sonuca varmıştır: Her ne kadar yöntemsel kısıtlamalar bulunsada, bu tür alanların yakın çevresinde ikamet etmenin sağlık açısından olumsuz etkilerle ilişkili olabileceğine dair bazı bulgular mevcuttur. Bu bulgular, özellikle kanserden ziyade üreme sağlığı üzerinde etkiler açısından daha belirgin olmakla birlikte, nedenselliği kesin biçimde ortaya koymak için yeterli değildir. Bununla birlikte, birçok Avrupa ülkesinde düzenli depolama alanlarına potansiyel olarak maruz kalan nüfusun büyüklüğü ve mevcut araştırmaların gerçek riskleri belirleme konusundaki sınırlı gücü dikkate alındığında, olası sağlık sonuçlarının göz ardı edilmemesi gerektiği vurgulanmaktadır (DSÖ, 2007).

2.3.3 Tehlikeli kabul edilen atıkların özellikleri

Tehlikeli ve tehlikesiz atıkların doğru şekilde ayrıştırılması, etkin ve sürdürülebilir bir atık yönetimi için temel bir gerekliliktir. Bu bölümde, bir atığın tehlikeli olarak sınıflandırılmasına neden olan özellikler ile atıkların sınıflandırılmasında esas alınan temel yaklaşımlar incelenecektir. 02.04.2015 tarihli ve 29314 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği çerçevesinde, Çizelge 2.3’de atıklar HP1’den HP15’e kadar belirlenen tehlike özellikler göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma doğrultusunda atığın taşıdığı risk düzeyi ve uygulanacak bertaraf yöntemi belirlenmektedir. Bu düzenleme kapsamında, hem atık üreticilerine hem de bertaraf tesislerine önemli yükümlülükler ve sorumluluklar getirilmektedir.

Çizelge 2.3. Tehlikeli atıkların HP1-HP15 tehlike özellikleri.

HP Kodu	Tehlike Özelliği	Açıklama
HP1	Patlayıcı	Isı, sürtünme veya darbe ile patlayarak çevreye zarar verebilir.
HP2	Oksitleyici	Diğer maddelerle reaksiyona girerek yangına veya patlamaya neden olabilir
HP3	Alevlenir	Kolayca yanabilir veya tutuşabilir

Çizelge 2.3 (devam). Tehlikeli atıkların HP1-HP15 tehlike özellikleri.

HP4	Tahriş Edici	Cilt veya gözle temas ettiğinde tahrişe neden olur.
HP5	Zararlı	Yutulması, solunması veya deriyle teması durumunda sağlık sorunlarına yol açabilir.
HP6	Toksik	Düşük dozda bile ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir.
HP7	Kanserojen	Kansere yol açabilecek maddeler içerir.
HP8	Aşındırıcı	Ciltte ciddi yanıklara, metallere zarar verebilir
HP9	Enfeksiyöz	İnsan ve hayvanlarda hastalığa yol açabilecek mikroorganizmalar içerir.
HP10	Üreme Üzerinde Zararlı	Üreme sistemini etkileyebilir, doğum kusurlarına yol açabilir.
HP11	Mutajenik	Genetik bozukluklara ve DNA hasarına neden olabilir.
HP12	Gaz Oluşturucu	Asitlerle temas ettiğinde toksik gaz çıkaran maddeleri içerir.
HP13	Hassaslaştırıcı	Alerjik reaksiyonlara sebep olabilir.
HP14	Ekotoksik	Su canlıları başta olmak üzere çevreye zarar verir.
HP15	Diğer Tehlikeler	Yukardakiler dışında başka tehlikeler taşıyan maddeleri içerir.

Tehlikeli atıkların tanımlanmasında “özellikler” temelli yaklaşımın çeşitli avantajları bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri, tehlike özelliğini belirlemeye yönelik testlerin, atığın türü ne olursa olsun uygulanabilir nitelikte olmasıdır. Mevzuat kapsamında aranılan özellikler ve uygulanması gereken test yöntemleri belirlendikten sonra, atık üreticileri ya da yöneticileri bu testleri uygulayarak herhangi bir atığın tehlikeli olup olmadığını tespit edebilmektedir. Bu tür testler yalnızca atığın tehlikeli sınıfına girip girmediğini değil, aynı zamanda hangi spesifik özelliği sebebiyle tehlikeli olduğunu da belirlemeye yardımcı olmaktadır. Bu sebeple Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA), başlangıçta tehlikeli atıkların tanımlanmasında temel yöntem olarak “özellikler yaklaşımını benimsemeyi planlamış; bu kapsamda tüm tehlikeli atık özelliklerini kapsayacak test metodlarını geliştirmeye çalışmıştır. Ancak, bu süreçte çeşitli zorluklarla karşılaşmıştır. Bu zorluklardan biri, örneğin bir atığın kanserojen olup olmadığını belirlemek için karmaşık ve yoğun laboratuvar analizlerinin gerekmesi ve bu tür analizlerin tüm atık üreticileri tarafından düzenli şekilde yapılmasının pratik olmamasıdır. Bu sebeple EPA, yalnızca özellik testlerine değil,

aynı zamanda belirli atık türlerini kapsayan atık listelerine de dayanan ikili bir tanımlama sistemi geliştirmiştir. Avrupa Birliği de benzer bir yaklaşımı benimseyerek yasal düzenlemelerini bu doğrultuda şekillendirmiştir. Türkiye ise tehlike atık mevzuatını Avrupa Birliği standartlarıyla uyumlu hale getirerek aynı sistemi uygulamaya koymuştur (Salihoğlu, 2019).

2.3.4 Atık kodları ve tehlike hiyerarşisi

Muhtemel tehlikeli atık olarak sınıflandırılan atıklar için, uygun atık kodunun belirlenebilmesi amacıyla, öncelikle bu atıkların tehlikelilik özelliklerinin ve ilgili maddelerin konsantrasyon düzeylerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Avrupa Atık Kataloğu ve Türkiye’de yürürlükte olan Atık Yönetimi Yönetmeliği’ne göre atıklar, 20 ana kategori altında gruplandırılmaktadır (ÇŞB, 2015). Bu kategoriler, atıkların kaynağına ve türüne göre sistematik biçimde sınıflandırılmakta olup, ilgili bölümlere ilişkin detaylar Çizelge 2.4’de sunulmaktadır.

Çizelge 2.4. Atık listesinin bölüm başlıkları.

Bölümler	Başlıklar
(01)	Madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar
(02)	Tarım, bahçivanlık, su ürünleri, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda üretimi ve işleme sonucu ortaya çıkan atıklar
(03)	Ahşap işleme ve kağıt, karton, kağıt hamuru, panel ve mobilya üretiminden kaynaklanan atıklar
(04)	Deri, kürk ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıklar
(05)	Petrol rafinasyonu, doğal gaz saflaştırma ve kömürün pirolitik işlenmesinden kaynaklanan atıklar
(06)	İnorganik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar
(07)	Organik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar
(08)	Astarlar (boyalar, vernikler ve vitrifiye emayeler), yapışkanlar, yalıtıcılar ve baskı mürekkeplerinin imalatı, formülasyon tedarik ve kullanımından kaynaklanan atıklar
(09)	Fotoğraf endüstrisinden kaynaklanan atıklar
(10)	Isıl işlemlerden kaynaklanan atıklar
(11)	Metal ve diğer malzemelerin kimyasal yüzey işlemi ve kaplanması işlemlerinden kaynaklanan atıklar; demir dışı hidrometalurji

Çizelge 2.4 (devam). Atık listesinin bölüm başlıkları.

(12)	Metallerin ve plastiklerin fiziki ve mekanik yüzey işlemlerinden ve şekillenmesinden kaynaklanan atıklar
(13)	Yağ atıkları ve sıvı yakıt atıkları (yenilenebilir yağlar, 05 ve 12 hariç)
(14)	Atık organik çözücüler, soğutucular ve itici gazlar (07,08 hariç)
(15)	Atık ambalajlar ile başka bir şekilde belirtilmemiş emiciler, silme bezleri, filtre malzemeleri ve koruyucu giysiler
(16)	Listede başka bir şekilde belirtilmemiş atıklar
(17)	İnşaat ve yıkıntı atıkları (kirlenmiş alanlardan çıkartılan hafriyat dahil)
(18)	İnsan ve hayvan sağlığı ve/veya bu konulardaki araştırmalardan kaynaklanan atıklar (doğrudan sağlığa ilişkin olmayan mutfak ve restoran atıkları hariç)
(19)	Atık yönetim tesislerinden, tesis dışı atık su arıtma tesislerinden ve insan tüketimi ve endüstriyel kullanım için su hazırlama tesislerinden kaynaklanan atıklar
(20)	Ayrı toplanmış fraksiyonlar dahil belediye atıkları (evsel atıklar ve benzer ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar)

Atık listesi, 20 ana bölüm altında düzenlenmiş olup, toplamda 839 farklı atık kodu içermektedir. Bu listede yer alan her atık, altı haneli bir atık koduyla tanımlanmakta ve bu kod, atığın ait olduğu iki haneli ana bölüm ve dört haneli alt bölüm başlıklarıyla birlikte bütünsel bir sınıflandırma sunmaktadır. Kodlama sisteminin ilk iki hanesi, atığın kaynaklandığı sektörü belirtirken, sonraki iki hane bu sektörün alt faaliyet alanını ifade eder; son iki hane ise spesifik atık türünü göstermektedir. Atıklarla ilgili tüm işlemlerde, bu altı haneli kodun eksiksiz ve doğru biçimde kullanılması zorunludur. Ayrıca Şekil 2.2’de (Salihoğlu, 2019) bahsedildiği üzere, atık listesinde (A) harfiyle işaretlenen atıklar, içeriklerindeki tehlikeli madde oranına bakılmaksızın doğrudan tehlikeli atık sınıfına girmektedir. (M) ve (N) harfleriyle belirtilen atıkların ise tehlikeli olup olmadıklarının belirlenmesi için tehlike özelliklerinin analiz edilmesi gerekmektedir (ÇŞB, 2015).



Şekil 2.2. Atığın tehlike değerlendirmesine yönelik izlenen adımlar.

Atık listesinde bir atık için uygun altı haneli atık kodunun belirlenebilmesi amacıyla, belirli bir hiyerarşik yaklaşım izlenmektedir.

- Buna göre, öncelikle 01 ila 12 ve 17 ila 20 arasındaki bölümler incelenerek, atığın kaynağına ve özelliklerine en uygun atık kodu tespit edilir.
- Eğer bu bölümler içerisinde uygun bir kod bulunmazsa, değerlendirme süreci 13,14 ve 15. bölümler ile devam eder.
- Bu bölümlerden de atığa karşılık gelen bir kod tespit edilmezse, atık 16. bölüm kapsamında ele alınır.
- Son aşamada, eğer 16. bölümde de atık tanımlanamıyorsa, atık listesinde yer alan ana faaliyet başlıklarına uygun olmak koşuluyla ve “99, başka türlü tanımlanamayan atıklar” ifadesiyle biten atık kodu kullanılabilir; ancak bu kod yalnızca Bakanlığın onayı ile geçerli sayılır. Ayrıca, 99 ile biten bu atıkların tehlikeli olup olmadığının belirlenebilmesi için, içerdiği tehlikeli maddelerin konsantrasyonlarına dayalı analitik testlerle belgelenmesi zorunludur (ÇŞB, 2015).

Tehlikeli atık eşik konsantrasyonları ise, atık yönetmenliğine göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır;

- a) Parlama noktası ≤ 55 °C,
- b) Yüksek seviyede zehirli olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun $\geq \%0,1$ olması,
- c) Zararlı olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun $\geq \%3$ olması,
- d) R35'e göre aşındırıcı olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun $\geq \%1$ olması,
- e) R35'e göre aşındırıcı olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki konsantrasyonun $\geq \%5$ olması,
- f) R41'e göre tahriş edici olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun $\geq \%10$ olması,
- g) R36, R37 ve R38'e göre tahriş edici olarak sınıflandırılan bir veya daha fazla maddedeki toplam konsantrasyonun $\geq \%20$ olması,
- h) Kategori 3'de kanserojen etkisinin olduğu bilinen bir maddedeki toplam konsantrasyonun $\geq \%1$ olması,
- i) R60 ya da R61'e göre üreme yetisini azaltıcı olarak sınıflandırılan kategori 1 ya da 2 maddesindeki konsantrasyonun $\geq \%0,5$ olması,
- j) R46'ya göre kalıtsal değişikliklere yol açıcı olarak sınıflandırılan kategori 1 ya da 2 maddesindeki konsantrasyonun $\geq \%0,1$ olması,
- k) R40'a göre kalıtsal değişikliklere yol açıcı olarak sınıflandırılan kategori 3 maddesindeki konsantrasyonun $\geq \%1$ olması,

R kodları, atıkların taşıdığı risk durumunu tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Kontamine metal talaşlarına yönelik yapılan analizlerde, eğer kontaminasyon düzeyi toplam konsantrasyonun $\%1$ veya üzerinde ise, söz konusu atık tehlikeli olarak sınıflandırılır. Ancak, kontaminasyona ilişkin daha sıkı bir sınır değerin tanımlanmış olması durumunda, bu daha kısıtlayıcı limit esas alır. Öte yandan, arıtma çamurlarına yönelik değerlendirmelerde, analizler $\%50$ kuruluk seviyesine göre yapılmakta ve elde edilen sonuçlar ilgili sınır değerler çerçevesinde yorumlanmaktadır (ÇŞB, 2015).

2.4 Sıfır Atık

Sıfır atık kavramı, kökenini otomotiv sektöründe ortaya çıkan yalın üretim yaklaşımından almaktadır. Bu yaklaşım, atığın üretim süreçlerinde kaçınılmaz olduğu düşüncesini reddetmiş ve atığın ortadan kaldırılabilir bir unsur olduğunu savunmuştur (Song vd., 2015). “Sıfır atık” ifadesinin günümüzdeki anlamına en yakın kullanımlarından biri, 1970’lerin sonu ile 1980’lerin başında çevre aktivisti Paul Palmer’in öncülüğünde ortaya çıkmıştır. Palmer ve onunla birlikte hareket eder çevreci gruplar ile bazı sivil toplum kuruluşları, atığın tamamen ortadan kaldırılması ya da minimum seviyeye indirilmesi hedefiyle atık azaltımı ve geri dönüşüm temelleri uygulamaları desteklemiştir. 1990’lı yıllarda ise sıfır atık hareketi, küresel ölçekte artan atık üretimine karşı bir tepki olarak, toplumsal taban hareketleriyle daha geniş bir ivme kazanmıştır (Aktaş, 2024).

Günümüzde hem dünyada hem de Türkiye’de sanayileşme, kentleşme, hızlı nüfus artışı ve göç hareketlerinin etkisiyle atık yönetimi önemli bir çevresel sorun haline gelmiştir. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak atık miktarının azaltılması ve çevreye olan etkilerinin en aza indirilmesi amacıyla birçok alanda çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Son yıllarda, atıkların geri dönüşüm yoluyla yeniden değerlendirilerek ekonomik kazanç sağlanması hedefiyle sıfır atık yaklaşımı küresel ölçekte yaygınlık kazanmıştır. Sıfır atık, ülkelerin atıkları asgari düzeye indirmesini ve bu atıklardan geri dönüştürülebilir olanların ekonomiye kazandırılmasını esas alan; sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakmayı amaçlayan bütüncül bir atık yönetimi felsefesi olarak tanımlanmaktadır (Alphan, 2025).

Sıfır atık kavramı, ürünlerin ve üretim süreçlerinin, atığın oluşumunu önleyecek ve ortadan kaldıracak şekilde sistematik olarak tasarlanmasını ve yönetilmesini; ayrıca atık akışında yer alan tüm kaynakların geri kazanılmasını ifade etmektedir. Bu yaklaşım, ürünlerin kolaylıkla sökülebilir, yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir biçimde tasarlanmasını mümkün kılan dönüşümleri teşvik ederek küresel ölçekte bir harekete dönüşmüştür. Daha yalın bir ifadeyle, sıfır atık; bir ürünün

yaşam döngüsü boyunca, hiçbir aşamasında gereksiz ya da istenmeyen atığın ortaya çıkmamasını amaçlayan bir çevresel yönetim felsefesidir (Zaman ve Lehmann, 2013).

Sıfır atık yaklaşımı, sürdürülebilir atık yönetimi çerçevesinde geliştirilen; önleme, azaltma, yeniden kullanım, yeniden tasarım, yenileme, geri dönüşüm, onarım, yeniden üretim, yeniden satış ve yeniden dağıtım gibi çok sayıda kavramı kapsamaktadır. Bu sebeple, sıfır atık stratejisi yalnızca geri dönüşüm faaliyetlerini teşvik etmekle sınırlı kalmaz; aynı zamanda atığın oluşumunu kaynağında engellemek amacıyla ürünlerin tasarımından üretim sürecine ve dağıtım aşamasına kadar tüm yaşam döngüsünün yeniden yapılandırılmasını hedeflemektedir (UNECE, 2011).

Sıfır atık stratejisi, bireylerin ve hane halklarının atık üretimini en düşük seviyeye indirmeyi amaçlayan ilke ve uygulamaları içermektedir. Bu anlayış, sıfır ya da sıfıra yakın atık üretimine ulaşmayı hedeflemenin yanı sıra, atığı hem yeniden değerlendirilebilir bir kaynak olarak hem de modern toplumun yapısal verimsizliklerinin bir göstergesi olarak ele almaktadır. Sıfır atık yaklaşımı yalnızca bireysel yaşamda yapılan değişimlerle sınırlı olmayıp, aynı zamanda işletmelerin ve toplulukların daha sürdürülebilir uygulamaları benimsemelerini teşvik etmeyi de kapsamaktadır (Zaman ve Lehmann, 2013). Bu çerçevede; ürünlerin daha uzun ömürlü ve geri dönüştürülebilir şekilde yeniden tasarlanması, organik atıkların azaltılmasına yönelik kompostlama programlarının uygulanması ve çevresel etkilerin azaltılması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması gibi uygulamalar öne çıkmaktadır. Genel anlamda sıfır atık, sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunması ve bilinçli tüketim temelli bir yaşam biçimi olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, insan faaliyetlerinin çevresel etkilerini en aza indirmeyi ve gelecek kuşaklara daha sağlıklı, yaşanabilir bir dünya bırakmayı amaçlayan etkili adımların bütünüdür (Aktaş, 2024).

Sıfır atık kavramı, çeşitli şekillerde yorumlanabilmektedir. Her ne kadar kelime anlamı itibarıyla hiçbir atığın üretilmediği bir sistemi ifade etse de, çoğu uygulama bu kavramı daha çok mecazi ve idealist bir çerçevede ele almaktadır (Kerdlap vd., 2019). Bu yaklaşımın temelinde, insan kaynaklı sistemlerin doğadaki döngüsel yapıyı taklit ederek yalnızca geri dönüştürülebilir nitelikte atık üretmesi ve böylece tehlikeli

atıkların düzenli depolama ihtiyacı doğurmaksızın yönetilebilmesi hedefi yer almaktadır. Sıfır atık düşüncesinin temel ortak noktası ise, atığı doğrusal sistem anlayışında olduğu gibi işe yaramaz bir yan ürün olarak değil; kapalı döngüsel bir sistem içinde değerlendirilebilecek potansiyel bir kaynak olarak ele almaktadır (Iqbal vd., 2020).

2.4.1 Türkiye’de sıfır atık politikaları

Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma ve çevresel gelişme hedefleri doğrultusunda, Cumhurbaşkanlığı Külliyesi ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı bünyesinde eş zamanlı olarak başlatılan sıfır atık projesi, Türkiye’nin çevre alanındaki en kapsamlı ve bütüncül girişimlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu proje, üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak ve gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakmak amacıyla gerekli hedef ve uygulamaları bir çatı altında toplamaktadır. Proje kapsamında, “Sıfır Atık Yönetim Sistemi’nin” kurulması ve yaygınlaştırılmasına ilişkin temel ilkelerin ve uygulama esaslarının belirlenmesini sağlamak üzere, sıfır atık yaklaşımının toplumun tüm kesimlerince benimsenmesini ve yaygın olarak uygulanmasını amaçlayan “Sıfır Atık Yönetmeliği” 2019 yılında yürürlüğe girmiştir (Alphan, 2025).

Türkiye’nin kalkınma politikaları doğrultusunda yürürlüğe giren On İkinci Kalkınma Planı, sıfır atık projesine ilişkin faaliyet ve çalışmalara özel bir önem atfetmektedir. Bu kapsamda, sıfır atık bilincinin toplumun tüm kesimlerinde yaygınlaştırılması amacıyla farkındalık artırıcı faaliyetlerin hayata geçirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, sıfır atık yaklaşımının tüm eğitim kademelerinde müfredata entegre edilmesi ve bu doğrultuda eğitim çalışmalarının yaygınlaştırılması öngörülmektedir. Plan çerçevesinde, 2028 yılı itibarıyla atıkların geri kazanım oranının %42,5 seviyesine ulaşması hedeflenmektedir. On İkinci Kalkınma Planı’nda atık yönetimi uygulamaları kapsamında çevrenin ve doğal kaynakların korunmasının gerekliliği açık biçimde vurgulanmakta; atık sorunlarının büyümeden kontrol altına alınması ve mevcut çevresel problemlere çözüm üretilmesi yönünde stratejik hedefler ortaya konulmaktadır (Çağlayan, 2024).

Çevre kirliliği, sera gazı emisyonları ve küresel ısınmanın etkisiyle, yeryüzündeki tatlı su kaynaklarında ciddi azalmalar yaşanmaktadır. Bu durumun temel sebebi, insan faaliyetlerinin doğal dengeyi bozması ve buna bağlı olarak çölleşme sürecinin hızla artış göstermesidir. Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte atık üretimi de paralel şekilde artmakta ve çevre kirliliği daha da derinleşmektedir (A. Yılmaz, 2015). Bu olumsuz gelişmeler sonucunda, mevcut tatlı su kaynakları giderek tükenme riskiyle karşı karşıya kalmaktadır. Ancak, sıfır atık projesi kapsamında yürütülen çalışmalar istenen hedeflere ulaşır ve etkin biçimde uygulanırsa, çölleşme oranlarının azaltılması, çevresel kirliliğin önlenmesi ve tatlı su kaynaklarının korunması yönünde önemli katkılar sağlanabilir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Araştırma, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesine yönelik sürdürülebilir yönetim yaklaşımlarını incelemek amacıyla hazırlanmıştır. Bu kapsamda sanayi sektöründe sıfır atık yaklaşımının uygulanabilirliği ulusal ve uluslararası raporlar, akademik literatür ve sektörel örnekler ışığında sistematik biçimde ele alınmıştır. Çalışmada yöntem olarak nitel araştırma yöntemi benimsenmiştir. Nitel araştırma, olguların bulundukları bağlam içinde anlaşılmasını ve çözümlenmesini öncelikli hale getiren bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Yıldırım ve Simsek, 2011). Robson ve McCartan'a (2016) göre ise nitel araştırmalarda tek bir mutlak gerçeklikten söz edilemez; araştırmacıların farklı bakış açılarıyla şekillenen çoklu gerçeklikler söz konusudur. Bu nedenle, nitel araştırmanın temel hedefi anlamaktır; bireylerin olguları nasıl algıladıkları, yorumladıkları, onlara ne tür anlamlar yükledikleri ve bu anlamlandırma sürecinde hangi eylemlerde bulunduklarını açıklığa kavuşturmadır.

Bu araştırma, nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde betimsel analiz yöntemi kullanılarak yürütülmüştür. Bu kapsamda, başarılı atık yönetimi uygulamaları ve çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla ele alınmış; sıfır atık projesinin sektörel etkileri, sağladığı faydalar ve karşılaşılan zorluklar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, endüstriyel atıkların etkin yönetimine katkı sağlamak, atık üretimini kaynağında azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek ve geri kazanım süreçlerinin verimliliğini artırmak amacıyla öneriler oluşturulmasına temel teşkil etmektedir. Betimsel analiz yaklaşımında, veriler önceden belirlenen temalar doğrultusunda özetlenip yorumlanmakta ve gözlenen olguların öne çıkan yönlerini yansıtmak amacıyla doğrudan alıntılara sıklıkla başvurulmaktadır (Robson ve McCartan, 2016; Yıldırım ve Simsek, 2011). Bu yöntemin amacı, bulguları düzenlenmiş, açıklanmış ve yorumlanmış biçimde okuyucuya sunmaktır. Bu doğrultuda, veriler öncelikle sistematik biçimde betimlenmekte, ardından açıklamalar ve yorumlarla neden-sonuç ilişkileri ortaya konularak belirli sonuçlara ulaşılmakta; temaların ilişkilendirilmesi, anlamlandırılması ve geleceğe yönelik öngörülerde bulunulması araştırmacının değerlendirmeleri arasında yer almaktadır.

3.1 Araştırmanın Konusu

Bu çalışmanın konusunu, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir atık yönetimi yaklaşımları oluşturmaktadır. Bu çerçevede, sıfır atık stratejilerinin sanayi sektöründe uygulanabilirliği ele alınarak, çevresel etkilerin en aza indirilmesine katkı sağlayacak yöntem ve süreçlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

3.2 Araştırmanın Amacı

Araştırmada, endüstriyel atıkların çevresel, ekonomik ve toplumsal boyutlarda ortaya çıkardığı olumsuz etkiler ele alınmıştır. Bu bağlamda çalışmanın amacı; sektörde uygulanmış başarılı atık yöntemlerini inceleyerek, söz konusu uygulamaların hangi koşullar altında şekillendiğini ve hangi sonuçlar doğrultusunda başarıya ulaştığını ortaya koymaktır. Elde edilen verilerin, örnek kurumlar tarafından benimsenmesiyle atığın yarattığı toplumsal zararların en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bu yönüyle araştırma, alanyazına yol gösterici bir katkı sunmaktadır.

3.3 Araştırmanın Problemi

Endüstriyel faaliyetler, modern toplumların ekonomik gelişiminin temel unsurlarından biri olmakla birlikte ürettikleri atıkların miktarı ve içerdiği zararlı bileşenler sebebiyle ciddi çevresel riskler taşımaktadır. Endüstri kaynaklı atıkların önemli bir bölümü yalnızca hacim açısından değil, barındırdığı toksik unsurlar sebebiyle de ekosistem üzerinde de kalıcı zararlar bırakmakta; hava, su ve toprak kalitesini doğrudan olumsuz etkilemektedir. Bu durum, ekolojik dengenin bozulmasının yanı sıra insan sağlığı açısından da uzun vadeli tehditler ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla endüstriyel atık yönetimi, yalnızca çevresel bir gereklilik değil, aynı zamanda ekonomik ve toplumsal boyutlarıyla da stratejik bir sorun alanı olarak öne çıkmaktadır. Atıkların etkin biçimde yönetilememesi, işletmelerde maliyetlerin artmasına, kaynak kullanımında verimsizliğe ve küresel rekabet gücünün zayıflamasına yol açmaktadır. Buna karşılık, sıfır atık stratejilerinin sanayiye entegre edilmesi, yalnızca çevresel yükleri azaltmakla kalmayıp, yeni iş alanları ve istihdam fırsatları oluşturma potansiyeli de taşımaktadır. Bu bağlamda, araştırmanın temel problemi; sürdürülebilir atık yönetimi hedeflerinin

endüstrinin tüm alanlarında tam anlamıyla hayata geçirilememesi, sıfır atık stratejilerinin sektöre entegrasyonunda yaşanan zorluklar ve mevcut uygulamalarının uzun vadeli çevresel, ekonomik ve toplumsal sonuçlarının yeterince değerlendirilememiş olmasıdır.

3.4 Veri Kaynakları

Araştırmada kullanılan veriler, ikincil kaynaklardan derlenmiştir. Ulusal ölçekte, sektöre ilişkin yayımlanan raporlar ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Türkiye Çevre Ajansı ve TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü gibi kurumların çalışmaları, ayrıca literatürde yer alan akademik yayınlar incelenmiştir. Uluslararası düzeyde ise Birleşmiş Milletler Çevre Programı, Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü, Avrupa Çevre Ajansı ve Uluslararası Katı Atık Derneği gibi kuruluşların yayımladığı veri setleri ve politika belgelerinden yararlanılmıştır. Bunun yanında, sektörde başarılı atık yönetimi uygulamalarını hayata geçiren kurumların izledikleri stratejiler de değerlendirilerek veriler elde edilmiştir.

3.5 Veri Toplama Yöntemi

Nitel araştırmalarda genellikle üç temel veri türü toplanmaktadır; “çevresel veriler”, “süreç verileri” ve “algısal veriler” (LeCompte ve Goetz, 1982) Çevresel veriler, araştırmanın gerçekleştirildiği sosyal, kültürel, psikolojik, demografik ve fiziksel özelliklere ilişkin olup, süreç ve algısal verilere zemin oluşturmakta ve farklı bağlamlarda karşılaştırma yapma imkanı sunmaktadır. Süreç verileri, araştırma sürecinde meydana gelen olayları ve bu olayların araştırma grubunun nasıl etkilediğini ortaya koyarken; algısal veriler, katılımcıların süreç hakkındaki düşünce ve değerlendirmelerini içermektedir. Bu üç tür verinin elde edilebilmesi için ise araştırmacının çeşitli nitel veri toplama yöntemlerinden yararlanması gerekmektedir.

Bu doğrultuda, çalışmanın veri toplama sürecinde nitel araştırma kapsamında doküman incelemesi yönteminden yararlanılmıştır. Doküman incelemesi, araştırması amaçlanan olgu veya olgulara ilişkin bilgi içeren yazılı materyallerin sistematik analizini kapsamaktadır (Yıldırım ve Simsek, 2011). Hangi dokümanların veri kaynağı olarak değerlendirileceği ise araştırma problemi ile doğrudan bağlantılıdır. Bailey'e

(1982) göre doküman incelemesi, diğer veri toplama yöntemleri arasında anket çalışmalarında olduğu gibi geniş bir örneklem oluşturma imkanı sunmaktadır. Özellikle günümüzde yazılı ve görsel materyallerin çeşitliliği ve yoğunluğu, araştırmacılar için önemli bir fırsat olup, ilgili konuya ilişkin üretilmiş farklı türde materyallere ulaşmayı ve böylece örneklem kapsamını genişletmeyi mümkün kılmaktadır. Bu durum, nitel araştırmalarda sıkça karşılaşılan ve çoğunlukla dar örneklem yapısından kaynaklanan “genelleme” sorununu belirli ölçüde azaltabilmektedir.

Araştırmada elde edilen veriler, endüstriyel atık yönetimi ve sıfır atık konularına ilişkin güncel stratejiler ve veri kaynaklarına dayandırılmıştır. Robson ve McCartan'a (2016) göre doküman incelemesi yönteminde, araştırma konusu ile ilgili en güncel içeriklere odaklanmak esastır. Onlara göre bu tür çalışmalar nitel araştırma kapsamında değerlendirilen ve insanlar yerine literatür üzerinde gerçekleştirilen bir tür “anket” niteliği taşımaktadır. Bu yaklaşımdan hareketle, araştırmada ele alınan başarılı atık yönetimi stratejileri, 2020-2025 yılları arasında uygulamaya konulan örnekler ve sıfır atık politikaları üzerinden incelenmiştir.

Uluslararası kuruluşların başarılı atık yönetimi stratejilerinin temelinde yer alan planlamalar ve bu doğrultuda hayata geçirilen uygulamalar dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda analiz edilecek başarılı atık yönetimi örnekleri, örnek olay yöntemi aracılığıyla seçilmiştir. Robson ve McCartan'a (2016) göre örnek olay çalışması, belirli bir olgunun kendi bağlamı içerisinde çeşitli veri kaynaklarından yararlanılarak derinlemesine incelenmesi gereken esnek bir araştırma stratejisidir. Doküman analizi gibi farklı veri toplama tekniklerini bir arada kullanma imkanı sunmaktadır. Yin, (1984) örnek olay çalışmalarında araştırmacının mümkün olduğunca çoklu veri toplama yöntemlerini birlikte kullanması gerektiğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde Hartley, (1995) örnek olay çalışmalarında ve genel olarak nitel araştırma desenlerinde birden fazla veri toplama yönteminin kullanılmasının araştırmaya önemli katkılar sağlayacağını belirtmektedir. Bu yaklaşım sayesinde araştırmacının veri tabanı zenginleşmekte, elde edilen bulgular farklı bakış açılarından yorumlanabilmekte ve alternatif sonuçlara ulaşabilmektedir. Böylelikle,

araştırmanın güvenilirliği ve geçerliği de önemli ölçüde güçlenmektedir (Yıldırım ve Simsek, 2011).

3.6 Veri Analizi Yöntemi

Toplanan veriler, betimsel analiz yöntemi çerçevesinde temalar altında incelenerek firmaların uyguladığı endüstriyel atık yönetimi stratejilerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Robson ve McCartan'a (2016) göre, betimsel analizde verilerin temalara ayrılması, temel anlamların ortaya çıkarılmasına yönelik bir yaklaşımdır ve hem realist bir perspektiften katılımcıların deneyim, algı ve gerçekliklerini aktarmak hem de inşacı bir bakış açısıyla toplumsal söylemlerin bu deneyim ve anlamları nasıl şekillendirdiğini irdelemek amacıyla kullanılabilir. Yıldırım ve Simsek'e (2011) göre ise betimsel analizde tematik çerçevenin oluşturulması, verilerin tanımlayıcı amaçla seçilmesi, anlamlı ve tutarlı bir bütünlük içinde bir araya getirilmesiyle mümkündür. Robson ve McCartan (2016) verilerin temalar üzerinden analizini beş aşamada tanımlamaktadır: İlk aşamada araştırmacı, transkripsiyon yaparak, veriyi defalarca okuyarak ve ilk notları alarak veriye aşinalık kazandırır. İkinci aşamada, veriler sistematik biçimde kodlanır: bu kodlar yeniden türetilerek ya da literatür ve araştırma sorularına dayalı olarak önceden belirlenmiş bir biçimde oluşturulabilir. Üçüncü aşamada, kodlar temalara dönüştürülür, bu temaların verilerle uyumu gözden geçirilir ve gerekirse yeniden düzenlenir. Dördüncü aşamada temalar arası ilişkiler kurularak tematik ağlar veya haritalar oluşturulur ve temalar hiyerarşik düzeylerde yapılandırılabilir. Son aşamada ise entegrasyon ve yorumlama süreci gerçekleştirilir; araştırmacı temalar arasındaki bağlantıları ortaya koyarak elde edilen örüntüleri araştırma problemi ile ilişkilendirir ve bu doğrultuda analitik bir anlatı geliştirir.

Bu doğrultuda araştırmada incelenen başarılı endüstriyel atık yönetimi yapan firmalar belirlenen temalar doğrultusunda incelenmiştir;

- Atık türleri ve yönetim biçimleri
- Sıfır atık uygulamalarının yansımaları
- Teknoloji ve inovasyon kullanımı

- Çevresel ve sosyo-ekonomik etkiler

Araştırmada, başarılı atık yönetimi uygulayan kurumların hangi tür endüstriyel atıklarla karşılaştıkları ve bu atıkları yönetirken geri dönüşüm, yeniden kullanım, bertaraf gibi hangi yöntemleri tercih ettikleri incelenmiştir. Ayrıca, sıfır atık yaklaşımının işletme süreçlerine, maliyetlere, çevresel performansa ve günlük uygulamalara nasıl yansıdığı değerlendirilmiştir. Akıllı sistemler, dijital izleme mekanizmaları ve yeni geri dönüşüm teknolojileri gibi yenilikçi yöntemlerin sahadaki yansımaları literatür bulgularıyla desteklenmiştir. Çevre kirliliğinin azaltılması, enerji tasarrufu, maliyet avantajı ve istihdam yaratma gibi etkiler göz önünde bulundurulurken; finansman yetersizlikleri, teknik altyapı eksiklikleri, mevzuat sınırlılıkları, iş gücü ihtiyacı ve farkındalık düzeyindeki yetersizlikler gibi uygulamayı güçleştiren faktörler de dikkate alınmıştır.

3.7 Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırma ampirik veri içermemekte olup, nitel araştırma kapsamında ikincil veriler üzerinden sınırlandırılmıştır. Bu doğrultuda, endüstriyel atık yönetiminde başarılı olarak değerlendirilen uygulamaların incelenmesi ikincil veri temelli olarak gerçekleştirilmiş ve bu sayede örneklem geniş bir veri tabanı ile desteklenmiştir. İkincil veri, en basit tanımı ile, başka bir araştırmacı veya kurum tarafından toplanmış verilerin yeniden analiz edilmesi olarak açıklanmaktadır (Hakim, 2000) Bu tür veriler çoğunlukla arşivlerde yer almakta ve toplama sürecine ilişkin bilgilerle birlikte araştırmacıların kullanımına sunulmaktadır. Bununla birlikte, mevcut herhangi bir veri seti de ikincil analiz için kullanılabilir. Özellikle akademik çalışmalarda ikincil veriye dayalı araştırmalar avantajlı olabilir; ancak bazı durumlarda yeni veri toplamanın zorunlu kılınması, bu yöntemin sınırlayıcı yönlerinden biri olarak görülmektedir.

İkincil veri kullanımının en önemli avantajı, araştırmacıya veri toplama sürecine girmeksizin doğrudan analiz ve yorumlamaya odaklanma olanağı sunmasıdır. Hakim, (1982, 2000) aktardığı örnekler arasında;

- Mevcut raporların bulgularını yeniden gözden geçirmek veya genişletmek,

- Tek bir veri setini tekrar kullanarak ya orijinal sonuçlarını test etmek ya da farklı araştırma sorularına yanıt aramak,
- Düzenli aralıklarla yapılan anketlerin birkaç yılını birleştirerek alt grupları incelemek,
- Mevcut veri setini farklı kaynaklardan elde edilen ek verilerle zenginleştirmek,
- Birden fazla veri setini bir araya getirerek belirli bir konudaki kanıtları bütüncül bir biçimde değerlendirmek yer almaktadır.

Robson ve McCartan'a (2016) göre, ikincil veriler aracılığıyla önceden fark edilmeyen eğilimler ve örüntüler ortaya çıkarılabilmektedir. Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıkların yönetimiyle sıfır atık stratejilerinin uygulanabilirliği, yalnızca saha verilerine değil, aynı zamanda çok boyutlu ve kapsamlı bilgi setlerinin analizlerine de ihtiyaç duymaktadır. Bu çerçevede ulusal ve uluslararası düzeyde yayımlanan raporlar, akademik araştırmalar, politika belgeleri ve istatistiksel veriler, konunun çevresel, ekonomik ve toplumsal boyutlarının bütüncül bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. İkincil verilerin sunduğu bu geniş perspektif sayesinde farklı ülkelerdeki başarılı uygulama örnekleri ve politika modelleri incelenebilmekte, buradan hareketle Türkiye’de endüstriyel atık yönetiminin geliştirilmesine yönelik çıkarımlar yapılabilmektedir.

Araştırmanın bir diğer sınırlılığı, bulguların güncelliğine ilişkin kısıtlamadan kaynaklanmaktadır. Çalışmada incelenen başarılı atık yönetimi örnekleri, yalnızca 2020-2025 yılları arasında bu faaliyetleri gerçekleştiren kurumlarla sınırlıdır. Bu durum, araştırmanın güvenirliğini doğrudan etkilemekte olup, sektörde başarılı atık yönetimi uygulayan kurumların sayısının sınırsız olmasıyla doğru orantılıdır. Bu nedenle, örnek olay incelemelerinde alan yazında belirtilen geçerlilik ve güvenirlilik ilkeleri doğrultusunda çeşitli önlemler alınmıştır. Yıldırım ve Simsek'e (2011) göre örnek olay araştırmalarında araştırmacının çalıştığı konu ile etkileşim süresini arttırması, veri setinin genişletilmesine, incelenen durum sayısının çoğaltılmasına ve araştırmada doyum noktasına ulaşılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca onlara göre, araştırmacı veri toplama sürecinde “veri çeşitlemesi” yöntemini de kullanabilir. Veri çeşitlemesi, birden fazla veri toplama tekniğinin bir arada kullanılması ve elde edilen

verilerin birbirini destekleyici ve doğrulayıcı biçimde sunulması olarak tanımlanmakta olup, araştırmanın güvenilirliği açısından önemli bir unsur olarak görülmektedir.

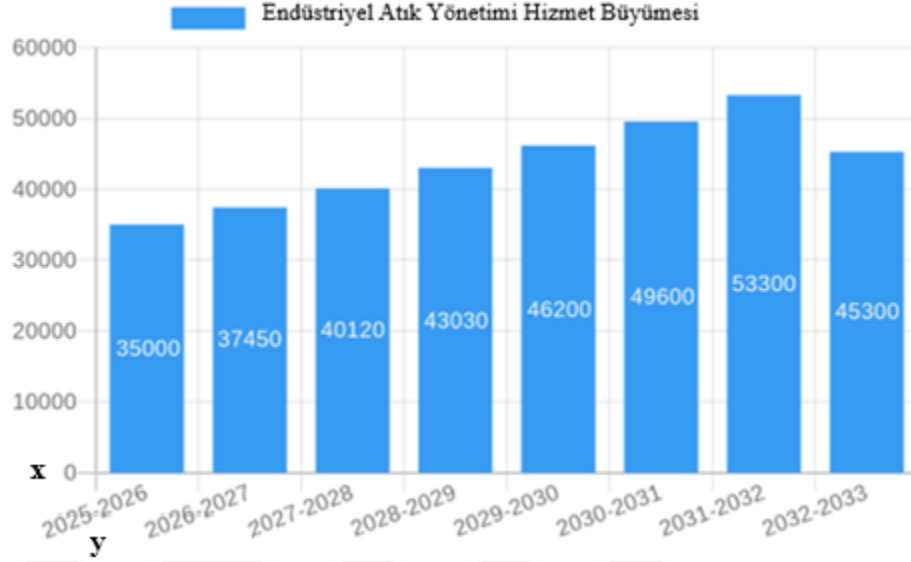
Bu doğrultuda, araştırmada çok sayıda veri seti toplanarak kullanılmıştır. Güvenirlilik ve geçerlilik, elde edilen bulguların bilimsel değerini ve uygulanabilirliğini doğrudan belirleyen unsurlar olarak önem taşımaktadır. Çalışmada kullanılan ikincil verilerin farklı ülkeler ve kurumlar tarafından üretilmiş olması, doğruluk ve tutarlılık açısından dikkatli bir seçim sürecini gerekli kılmıştır. Güvenirlilik, verilerin resmi kurumlar, uluslararası kuruluşlar ve hakemli akademik yayınlar gibi güvenilir kaynaklardan temin edilmesiyle sağlanmaya çalışılmıştır. Geçerlilik ise, seçilen verilerin araştırma amacına uygunluğu, yani endüstriyel atık yönetimi ile sıfır atık stratejilerinin çevresel, ekonomik ve toplumsal boyutlarını ortaya koyabilecek nitelikte olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Endüstriyel atık yönetimi hizmetleri pazarı; atıkların toplanması, taşınması, arıtılması, geri dönüştürülmesi, bertaraf edilmesi ve buna bağlı danışmanlık faaliyetlerini kapsayan geniş bir ürün ve hizmet yelpazesini içermektedir. Bu kapsamda şirketler, farklı endüstriyel atık yönetimi ihtiyaçlarına yönelik özel çözümler geliştirmektedir. Sürecin önemli bir boyutunu, katı düzenlemelere uyum sağlamak amacıyla özel elleçleme ve bertaraf yöntemleri gerektiren tehlikeli atık yönetimi oluşturmaktadır. Bunun yanında, endüstriyel tesislerden kaynaklanan tehlikesiz atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesine odaklanan uygulamalar da yürütülmektedir. Geri dönüşüm ve kaynak geri kazanımı ise değerli materyallerin yeniden ekonomiye kazandırılması ve düzenli depolamaya yönlendirilen atık miktarının en aza indirilmesi açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Son olarak, danışmanlık ve entegre hizmetleri, işletmelerin çevresel düzenlemelere uyum sağlamalarına ve atık yönetimi süreçlerini daha verimli hale getirmelerine katkı sunan temel unsurlar arasında yer almaktadır.

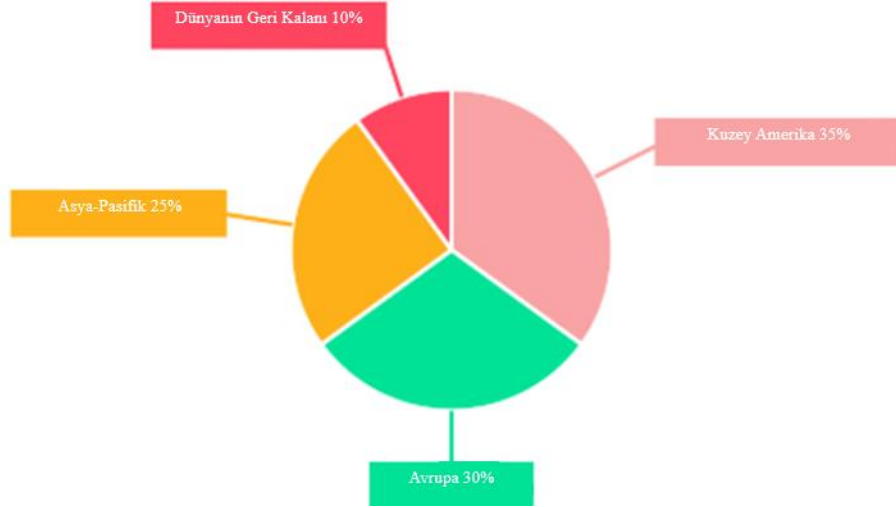
Küresel endüstriyel atık yönetimi hizmetleri pazarı, artan endüstriyel faaliyetler, sıkı çevresel düzenlemeler ve sürdürülebilir bertaraf uygulamalarına yönelik yükselen farkındalık sayesinde güçlü bir büyüme trendi sergilemektedir. 2025 yılı için 500 milyar dolar olarak öngörülen Pazar büyüklüğünün, 2025-2033 dönemi boyunca %7 oranında bileşik yıllık büyüme kaydederek 2033 yılında yaklaşık 850 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (URL-2). Bu genişleme; e-ticaretin ve buna bağlı ambalaj atıklarının artışı, kaynak geri kazanımı ve geri dönüşümü ön plana çıkaran döngüsel ekonomi modellerinin giderek benimsenmesi ile imalat, kimya ve enerji gibi sektörlere özgü atık yönetimi çözümlerine olan talebin artışı tarafından desteklenmektedir. Ayrıca, atıktan enerji üretimine yönelik teknolojilerdeki ilerlemeler ve gelişmiş atık ayırma ile işleme kapasiteleri pazarın büyümesine katkıda bulunmaktadır. Bunun yanında, gelişmiş atık yönetimi yazılımları ve veri analitiğinin giderek daha fazla benimsenmesi, sektörde verimliliği ve şeffaflığı artırarak kaynak tahsisini optimize etmekte ve çevresel etkilerin azaltılmasını sağlamaktadır. Endüstriyel atık yönetimi hizmetleri pazarı, artan sanayileşme, sıkılaştırılan çevresel düzenlemeler ve sürdürülebilir uygulamalara yönelik büyüyen farkındalık sayesinde güçlü bir büyüme

trendi sergilediği yıllara göre verilen Şekil 4.1’de atık yönetimi hizmet büyümesi grafiğinde görülmektedir.



Şekil 4.1. Yıllara göre endüstriyel atık yönetimi hizmet büyümesi.

Tahmin dönemi olan 2025-2033 yılları arasında çeşitli faktörlerin etkisiyle hızlı bir büyüme beklenmektedir. Öncelikle, dögüsel ekonomi ilkelerine artan vurgu, sanayi sektörlerini atık azaltma, yeniden kullanım ve geri dönüşüm stratejilerini benimsemeye yönlendirmektedir. Ayrıca, küresel ölçekte hükümetlerin daha sıkı çevre düzenlemeleri ve uyumsuzluklara yönelik yaptırımları, işletmeleri sorumlu atık yönetimine yatırım yapmaya teşvik etmekte ve bu da özellikle tehlikeli atık yönetimi dahil özel bertaraf hizmetlerine olan talebi artırmaktadır (URL-2). Bunun yanı sıra, atıktan enerjiye dönüşüm teknolojileri ve gelişmiş geri dönüşüm süreçleri gibi teknolojik yenilikler verimliliği artırmakta ve çevresel etkileri azaltmaktadır. Son olarak, işletmelerin ve tüketiciler arasında artan çevresel sürdürülebilirlik bilinci, şeffaf ve sorumlu atık yönetimi uygulamalarına yönelik talebi güçlendirmektedir. Şekil 4.2’de (URL-2) verilen grafiğe göre, %35 ile Kuzey Amerika, en yüksek paya sahip bölge olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 4.2. Küresel endüstriyel atık yönetimi pazarının bölgesel dağılımı.

Bu durum, bölgedeki sıkı çevre düzenlemeleri, ileri teknolojilerin kullanımı ve sürdürülebilirlik uygulamalarına yönelik yüksek farkındalık ile açıklanabilir. Avrupa %30 ile ikinci sırada yer almakta olup, döngüsel ekonomi politikaları, AB'nin yeşil mutabakat hedefleri ve atık yönetimine yönelik katı yasal çerçeve, Avrupa'nın güçlü konumunu desteklemektedir. Asya-Pasifik ise hızla büyüyen endüstriyel üretim kapasitesi, artan nüfus ve kentleşme ile birlikte yüksek atık hacmi üretmektedir. Bölgenin Pazar payı Kuzey Amerika ve Avrupa'nın gerisinde olsa da, gelecekte en hızlı büyüme potansiyeline sahip bölge olarak değerlendirilebilir. Bu kıtaların yanı sıra, dünyanın geri kalanı ise büyük bir bölge olması ile beraber en düşük paya sahip bölgedir. Bu oran, atık yönetimi altyapısının sınırlı olduğu, düzenlemelerin yeterince gelişmediği ve uygulamaların henüz olgunlaşmadığı ülkeleri işaret etmektedir.

Bu bölümde, endüstriyel atık yönetimini başarılı gerçekleştiren firmalar ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Başarı skalası EPA'nın atık yönetimi kategorisinde ödül almış ve endüstride önde gelen firmalardan seçilmiştir. Bu doğrultuda, uluslararası bağlamda Tesis 1, Tesis 2 ve Tesis 3 firmalarının raporları, bildirileri ve faaliyetleri incelenmiştir. Ulusal bakımda ise sürdürülebilirlik raporlarında faaliyetlerini bildiren ve bu doğrultuda uygulamalarını gerçekleştiren Tesis 4 firması seçilip ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Seçilen örnekler, atık türleri ve yönetim biçimleri, sıfır atık uygulamalarının yansımaları, teknoloji ve inovasyon kullanımı ve çevresel, sosyo-ekonomik etkiler bağlamında değerlendirilmiştir.

4.1 Tesis 1 Atık Yönetimi Uygulamaları

Tesis 1, 1967 yılında kimyager Van Vlahakis tarafından daha güvenli ve çevreyle uyumlu temizlik ürünleri üretme amacıyla kurulmuş bir şirkettir. Bitki bazlı ve toksik madde içermeyen formüllerle çamaşır deterjanları, bulaşık temizleyicileri, ev hijyen ürünleri ve el sabunların üreten firma, “yeşil temizlik” ve “sürdürülebilir tüketim” alanlarında öncü kuruluşlardan biri olarak öne çıkmaktadır (URL-3). Tüm üretim tesisleri karbon nötr, su nötr ve TRUE Platinum Zero Waste sertifikalarına sahip olan Tesis 1, çevresel etkilerini en aza indirmeye yönelik güçlü bir sıfır atık yaklaşımı benimsemektedir (URL-4). Bu kapsamda şirket; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbon ve su salınımlarının telafisi, ayrıca atıkların %99’dan fazlasının düzenli depolama sahaları ve yakma tesislerinden uzaklaştırılarak alternatif yöntemlerle değerlendirilmesi gibi bütüncül stratejiler uygulamakta ve endüstriyel atık yönetimi alanında dikkat çekici bir örnek oluşturmaktadır.

Tesis 1’in kuruluşundan itibaren temel hedefi, çevre dostu ürünler geliştirmek olmuştur. Şirketin CEO’su Hanks, bu vizyonu şu şekilde ifade etmektedir: “Ürünlerimizde, ambalajlarımızda ve faaliyetlerimizde daha fazla yenilik hayata geçiriyoruz. Sıfır atık prensipleri ve %100 yenilenebilir enerji kullanımı çerçevesinde; daha düşük karbon ayak izine sahip ürünler ve geleceğimiz açısından anlamlı bir fark yaratabilecek, topluma karşı sorumlu ambalajlar üretiyoruz. Küresel ısınma ve çevresel adaletsizliklere mücadele için bireylerin daha bilinçli seçimler yapması her zamankinden daha acil bir gereklilik haline gelmiştir. Bu doğrultuda, emisyonların azaltılması, güçlü iklim politikalarının desteklenmesi ve iklim değişikliğinin etkilerini en yoğun şekilde yaşayan dezavantajlı topluluklar için mücadele edilmesi firmamızın temel misyonunu oluşturmaktadır (URL-6).” Firmanın kuruluş sürecinde de bu vizyonu destekleyen unsurlar dikkat çekmektedir. Kurucu Van Vlahakis, annesinin temizlikte sirke, limon suyu ve zeytinyağı gibi doğal malzemeler kullanmasından esinlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’ne göç ettikten sonra kimyasal temizlik ürünleri üreten bir fabrikada çalışmaya başlayan Vlahakis, söz konusu maddelerin insan sağlığı üzerindeki zararlı ve toksik etkilerine tanıklık etmiştir. Bu deneyim, onun çevreyle uyumlu ve sağlığa zarar vermeyen temizlik ürünleri geliştirerek toplumu daha

sürdürülebilir ve güvenli temizlik yöntemlerinin mümkün olduğuna ikna etme çabasının temelini oluşturmuştur (ECOS, 2024).

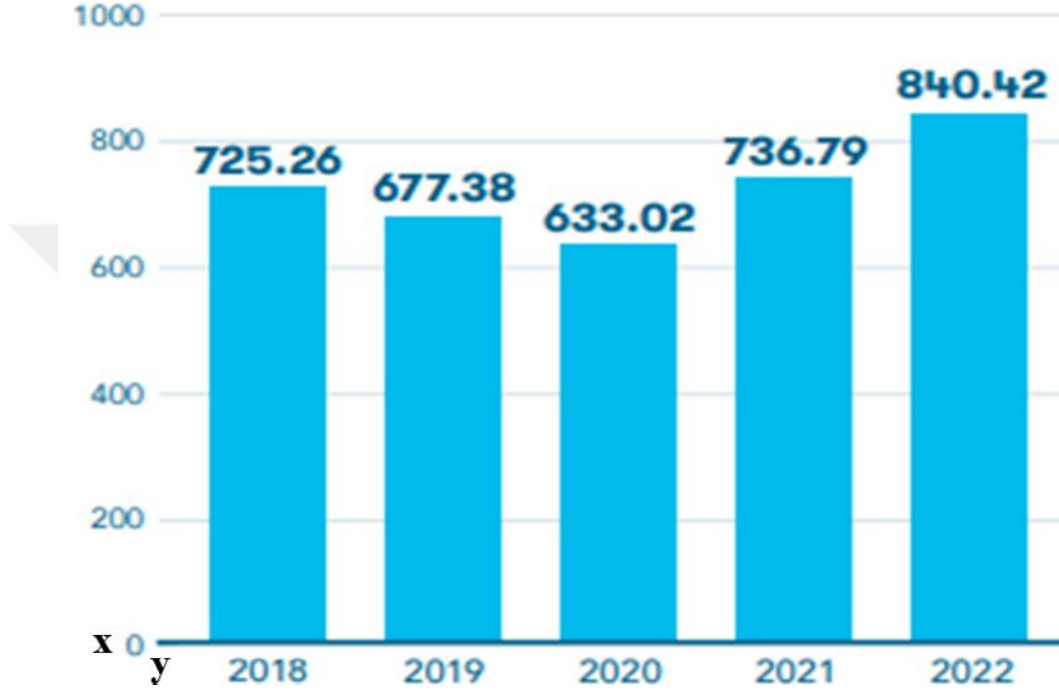
EPA'nın verilerine göre Tesis 1, sıfır atık politikası doğrultusunda tesislerinde önemli başarılar elde etmiştir. Kaliforniya tesisinde atıkların %97,8'i çöp sahalarına yönlendirilmekten kurtarılmış; 106 tondan fazla malzeme geri dönüştürülmüş, 100 tondan fazlası yeniden kullanılmış veya iade edilmiş, ayrıca 4,9 ton kullanılmamış ya da pazarlanamayan ürün yerel sivil toplum kuruluşlarına bağışlanmıştır. Benzer şekilde Illinois tesisinde atıkların %97,7'si çöp sahalarına yönlendirilmeyerek 228 tonun üzerinde malzeme geri dönüştürülmüş, 114 tondan fazlası yeniden değerlendirilmiş veya iade edilmiştir. Parsippany, New Jersey tesisinde ise atıkların %98,3'ü çöp sahalarından uzaklaştırılmış; 127 tondan fazla malzeme geri dönüştürülmüş, 172 tondan fazlası yeniden kullanılmış veya iade edilmiş, ayrıca 4,5 ton ürün kar amacı gütmeyen kuruluşlara bağışlanmıştır. Tesis 1'in tüm bu uygulamaları, yeniden değerlendirme, azaltma, yeniden kullanım ve geri dönüşüm ilkelerine dayalı sıfır atık yaklaşımının hem çevresel hem de ekonomik fayda sağladığını göstermektedir (URL-5).

Tesis 1 firması, çevresel sorumluluklarını üç farklı kapsam çerçevesinde ele alarak atık yönetimi ve yenilenebilir enerji stratejileri belirlemiştir.

- Birinci kapsam, doğrudan emisyonlar olarak nitelendirilip, tesislerdeki enerji tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonu içermekte olup, bu kapsamda doğal gaz kullanımı ve elektrik dışındaki araçların tüketimi örnek gösterilmektedir.
- İkinci kapsam, dolaylı emisyonlar olarak nitelendirilip, kamu hizmeti sağlayıcılarından temin edilen enerjinin üretimi sırasında ortaya çıkan sera gazı emisyonlarını içermektedir.
- Üçüncü kapsamda yine dolaylı emisyonlar olarak nitelendirilip, içerik ve ambalajdan lojistiğe kadar tüm aşamalarda ortaya çıkan sera gazı etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmektedir.

Bu yaklaşımla Tesis 1, özellikle karbondioksit başta olmak üzere sera etkisine katkıda bulunan gazların anlaşılması ve kontrol altına alınmasına odaklanmıştır. Dolayısıyla,

üretim süreçlerinin çevresel etkilerinin ayrıntılı biçimde incelenmesi, gezegen üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik hedeflerin belirlenmesi ve karbon ayak izinin azaltılması yönündeki çalışmalar, firmanın küresel ölçekte çevresel farkındalık yaratma çabalarının temelini oluşturmaktadır. Şekil 4.3’de (ECOS, 2024) verilen grafikte 2022 yılı itibarıyla Tesis 1’in raporladığı atık ve çevre yönetimi performansı dikkat çekici sonuçlar ortaya koymuştur.



Şekil 4.3. Tesis 1’in yıllara göre emisyon miktarı (metrik ton).

Karbon yönetimi kapsamında, doğrudan emisyonları ifade eden birinci kapsam altında 840,42 metrik ton CO₂ salınımı gerçekleşmiş, dolaylı piyasa temelli emisyonları ifade eden ikinci kapsamda ise herhangi bir emisyon bildirilmemiştir. Şirket, ofis ve üretim tesislerinde %100 oranında yenilenebilir enerji kullanarak toplamda 2.435 MWh enerji tedarik etmiştir. Ayrıca, yenilikçi ürün formülleri ve ambalaj tasarımları sayesinde 468,73 metrik ton sera gazı emisyonunun önüne geçilmiştir. Atık yönetimi açısından, atıkların %98’i düzenli depolama alanları ve yakma tesislerine yönlendirilmeden bertaraf edilmiştir. Su kaynakları bakımından ise kritik risk altındaki ekosistemlere yaklaşık 14 milyon galon su geri kazandırılmış, yine formülasyon ve ambalajdaki yenilikler sayesinde 584,274 milyon galon su tasarrufu sağlanmıştır. Bu veriler,

firmanın sürdürülebilirlik ve sıfır atık hedefleri doğrultusunda karbon, atık ve su yönetiminde kayda değer çevresel kazanımlar elde ettiğine işaretir.

Tesis 1, belirlediği kapsamlar doğrultusunda özellikle birinci kapsama ilişkin çalışmalarda, tesislerin ısıtılmasında kullanılan doğal gaz kaynaklı emisyonların azaltılmasını hedeflemiştir. Bu çerçevede, propanla çalışan forkliftler her yenileme döneminde elektrikli ve batarya ile çalışan forkliftlerle değiştirilmiş, böylece hem çevresel etkilerin azaltılması hem de tesis içi hava kalitesinin iyileştirmesi sağlanmıştır. Ayrıca, doğal gaz kullanımının telafisi amacıyla her yıl tüketimlerinin %110'u Doğrulanmış Karbon Standartı (VCS) kapsamında karbon denkleştirmesi ile karşılanmıştır. Bu uygulamalar, firmanın karbon nötrlüğe ulaşma hedefini ve sürdürülebilir operasyonlara verdiği önemi açıkça ortaya koymaktadır.

İkinci kapsam, elektrik, buhar, ısıtma ve soğutma temininden kaynaklanan doğal sera gazı emisyonlarını içermektedir. Firmanın açıkladığı verilere göre, 2013 yılından itibaren sıfır atık politikası doğrultusunda piyasa temelli emisyonlar sürekli olarak sıfır düzeyinde tutulmuştur. Bu durum, tesislerin tamamen yenilenebilir enerji ile işletilmesine, tesis içi güneş enerjisi üretiminden yararlanılmasına ve yenilenebilir enerji yatırımlarına dayandırılmaktadır. Nitekim 2022 yılında Yenilenebilir Enerji Sertifikası (REC) yatırımlarının büyük bir kısmı Florida'daki Hammock'da bulunan fotovoltaik parktan sağlanmış, böylece %100 yenilenebilir enerji kullanımı belgelenmiş ve ek temiz enerji istihdamının oluşmasına katkı sağlanmıştır. Ayrıca firmanın Kaliforniya'daki tesisi, Ampion Renewable Energy iş birliğiyle Kaliforniya Topluluk Güneş Programı'na dahil olmuş ve El Mirage CA'daki Sheep Creek Topluluk Güneş Çiftliği'nin %100 hisselerine sahip olarak bölgesel yenilenebilir enerji girişimlerini desteklemiş ve yerel topluluk için daha temiz bir elektrik şebekesinin gelişimine doğrudan katkı sunmuştur. Tesis 1, bu çalışmalar sonucunda 2022 yılında ikinci kapsam emisyonlarını son beş yılın en düşük seviyesine indirdiğini bildirmiş ve bu gelişmeyi, faaliyet gösterilen elektrik şebekelerinde yenilenebilir enerji oranlarının artmasıyla ilişkilendirmiştir. Ancak, söz konusu azalmanın yalnızca yapısal dönüşümden kaynaklanmadığı, COVID-19 pandemisi ile ofis çalışanlarının hibrit çalışma düzenine geçişinin de elektrik tüketimini azaltan bir etken olduğu belirtilmiştir. Nitekim 2020-2022 döneminde elektrik kullanımında %12'nin üzerinde

bir düşüş gerçekleşmiş, bu çerçevede firmanın e-atık yönetimi sürecine de dolaylı olarak katkı sunduğu ifade edilmiştir.

Üçüncü kapsam emisyonları; satın alınan ham maddeler ve ambalajlardan oluşan atıklar, iş seyahatleri, çalışanların işe gidiş gelişleri, bitmiş ürünlerin taşınması ve satılan ürünlerin kullanım süreçlerinden kaynaklanan sera gazı salınımlarını kapsamaktadır. Firmanın raporuna göre toplam emisyonların yaklaşık %10'u plastik ambalajlardan kaynaklanmaktadır. Bu sebeple, plastik ambalaj kullanımını en düşük seviyeye indirmeyi hedefleyen Tesis 1, zorunlu kullanım alanlarında ise geri dönüştürülmüş malzeme tercih etmektedir. Ayrıca, ürünlerin dağıtım sürecinde ortaya çıkan emisyonları azaltmak amacıyla üretim tesislerini stratejik olarak Kaliforniya, Washington, Illinois ve New Jersey gibi ABD'nin kilit bölgelerinde konumlandırmıştır. Bu stratejik yaklaşım, nakliye mesafelerinin kısaltılmasına, yakıt tüketiminin azaltılmasına ve dolayısıyla emisyonların düşürülmesine katkı sağlamaktadır.

Tesis 1, atık yönetimi ve geri dönüşüm süreçlerini sürekli iyileştirmeyi hedefleyen bir strateji benimsemekte olup, bu yaklaşımın bir göstergesi olarak TRUE Platin düzeyinde Sıfır Atık sertifikasına sahiptir. Şirket raporlarına göre, 2022 yılında 2.200 tondan fazla malzeme geri dönüşüm yoluyla yeniden ekonomiye kazandırılmış ve bu sayede atmosfere 48 metrik ton karbon salımı engellenmiştir. Tüketici boyutunca ise ürün ambalajlarının, ürünün raf ömrü dikkate alınarak tasarlanması esas alınmıştır. Şişeler yaygın olarak geri dönüştürülebilen #1 PET ve #2 HDPE plastiklerinden üretilirken, kapaklarda #5 PP kullanılmış, ayrıca %100 plastikten üretilen pompa ve sprey şişeleri, karışık malzeme içermemesi sayesinde kolayca geri dönüştürülebilir hale getirilmiştir. Tesis 1, 2022 yılı boyunca sürdürdüğü sıfır atık uygulamaları kapsamında düzenlediği geri dönüşüm eğitim seminerleri ile atık geri kazanım oranını %98'e ulaştırmıştır. Bunun yanı sıra, plastik kaplar, çelik variller, ahşap paletler ve karton ambalajlar gibi sevkiyat malzemeleri tedarikçilere iade edilerek tedarik zincirinde yeniden kullanım sağlanmış, piyasaya sürülemeyen ürünler ise tesislerde toplanarak kar amacı gütmeyen kuruluşlara bağışlanmıştır.

Tesis 1'in atık yönetimi uygulamaları değerlendirildiğinde, firmanın yalnızca üretim sürecinden kaynaklanan atıkları azaltmakla sınırlı kalmadığı; ambalaj tasarımı, enerji kullanımı ve tedarik zinciri süreçlerini de kapsayan kapsamlı ve bütüncül bir strateji benimsediği görülmektedir. Tesislerinde %97'nin üzerinde atık saptırma oranına ulaşması, farklı atık türlerinin etkin şekilde ayrıştırılarak geri dönüşüm veya yeniden kullanım süreçlerine yönlendirildiğini göstermektedir. Plastik, metal, ahşap ve karton gibi sevkiyat malzemelerinin tedarikçilere iade edilerek döngüsel biçimde kullanılması, ürün ambalajlarının geri dönüştürülebilir tek tip malzemelerden üretilmesi ve pazarlanamayan ürünlerin yerel kuruluşlara bağışlanması, atık yönetimine sosyal sorumluluk boyutunu da kazandırmaktadır. Bununla birlikte, fosil yakıtlı ekipmanların elektrikli alternatiflerle değiştirilmesi ve tüm tesislerde %100 yenilenebilir enerji kullanımına geçiş, atık yönetimini yalnızca fiziksel atıkların bertarafıyla değil, enerji kaynaklı emisyonların azaltımıyla da ilişkilendirmektedir.

Şirketin sıfır atık vizyonu; ambalajlarda tek tip geri dönüştürülebilir plastik tercih edilmesi, pazarlanamayan ürünlerin bağış yoluyla toplumsal faydaya dönüştürülmesi ve lojistik süreçlerde malzemelerin yeniden kullanılması gibi çok boyutlu uygulamalarla somutlaşmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde yalnızca atık bertaraf maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlanmakla kalmamış, aynı zamanda karbon emisyonları ile enerji tüketimi de azaltılmıştır. Sıfır atık politikalarının çevresel yansımaları; su tasarrufu, yenilenebilir enerjiye geçiş ve karbon nötr operasyonlarla güçlendirilirken, sosyo-ekonomik yansımaları ise yeşil istihdamın desteklenmesi, yerel topluluklara katkı sağlanması ve çevresel ilkelerin uygulanması şeklinde görülmektedir.

4.2 Tesis 2 Atık Yönetimi Uygulamaları

Tesis 2, merkezi ABD'nin Teksas eyaletinde bulunan ve bilgisayar, sunucu, veri depolama, yazılım ile bilgi teknolojileri hizmetleri alanlarında küresel ölçekte faaliyet gösteren bir teknoloji şirkettir. Şirket, faaliyetlerini iki ana iş birimi üzerinden yürütmektedir: masaüstü bilgisayarlar, dizüstü bilgisayarlar, tabletler ve çevre birimleri ile sunucular, veri depolama sistemleri ve ağ çözümleri, olarak nitelendirilebilir. Donanım üretiminin yanı sıra bulut altyapısı, veri depolama,

güvenlik hizmet modelleri kapsamında bilişim teknoloji çözümleri sunan firma, küresel ölçekte stratejik bir teknoloji sağlayıcısı olarak vurgulanmaktadır (URL-10).

Tesis 2 sürdürülebilirlik politikalarıyla da öne çıkmaktadır. Özellikle ürün tasarımlarında geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılması, atıkların kaynağında azaltılmasına yönelik uygulamalar ve kapalı döngü geri dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesi, şirketin çevresel sorumluluk anlayışını güçlendirmiştir (URL-5). Bu yaklaşımı EPA tarafından 2021 yılında elektronik atıkların geri dönüşümündeki hizmeti dolayısıyla ödüllendirilmiştir.

Şirket, ambalajlarında yenilenebilir, geri dönüştürülmüş ve sürdürülebilir malzemelerin kullanımı artırmayı hedefleyerek yalnızca kurumsal ölçekte değil, küresel düzeyde de okyanus ve su yollarındaki plastik kirliliği sorununa dikkat çekmiştir. 2050 yılına kadar okyanuslarda balıkların toplam ağırlığından daha fazla plastik bulunacağı öngörülmekte olup, günümüzde bu miktarın 86 milyon metrik tonu aştığı tahmin edilmektedir (URL-1). Su şişeleri, yiyecek kapları ve benzeri plastik atıkları, okyanus ekosistemini kirleterek mikro plastiklere dönüşmekte ve deniz yaşamını tehdit etmektedir. Bu bağlamda Tesis 2, plastik atıkların okyanuslara ulaşmasını önlemek ve döngüsel ekonomiye kazandırılmasını sağlamak amacıyla toplumsal bir girişim başlatmıştır. Şirket, kar amacı gütmeyen Lonely Whale organizasyonu ile işbirliği yaparak NextWave Plastics girişimini hayata geçirmiştir. Bu konsorsiyum, dünya genelindeki şirketleri bira raya getirerek okyanus ve su yollarındaki plastik kirliliği sorununa çözüm bulmayı amaçlayan sektörel iş birliğine dayalı ve açık kaynaklı bir tedarik zinciri ağı geliştirmiştir. Böylece, geri dönüştürülmüş okyanus plastiklerinin ticari ölçekte değerlendirildiği ve sosyal sorumluluk odaklı ilk küresel tedarik zinciri kurulmuştur.

Tesis 2, söz konusu girişimler çerçevesinde 2022 yılında 2,27 milyar su şişesine eşdeğer miktarda plastiğin okyanusa karışmasını engellemiştir. Günümüzde bu ağ, Endonezya, Haiti, Filipinler, Danimarka ve Şili'nin de aralarında bulunduğu 21 ülkeye yayılmış durumdadır. Ağ kapsamında, ürün ve ambalajlarda kullanılmak üzere naylon 6 ve 66, #1 PET, #2 HDPE ve #5 PP türlerinde plastik sağlayan 25 geri dönüştürülmüş okyanus plastiği tedarikçisi yer almaktadır (URL-1). Plastiklerin suda parçalanarak

mikro plastiklere dönüşmesi sebebiyle, Tesis 2 toplama noktalarını belediye atık yönetimi hizmeti bulunmayan plajlar, nehir kıyıları ve suyollarının 50 kilometrelik çevresinde konumlandırmıştır. Şirket, okyanusa karışma riski olarak plastiklerin ambalaj ve ürünlerinde kullanımını artırarak 2030 yılına kadar ambalajlarının %100'ünü ve ürünlerinin %50'sini geri dönüştürülmüş veya yenilenebilir malzemelerden üretmeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda 2023 yılında geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımını genişleterek EcoLoop taşıma çantaları, Latitude ve Precision dizüstü bilgisayar modelleri ile Optiflex masaüstü bilgisayar kasalarının fan muhafazalarında bu malzemeleri kullanmış ve üretim miktarını iki katından fazla artırmıştır. Toplamda, 39,2 milyon plastik şişeye eşdeğer plastiğin döngüsel ekonomide tutulması ve okyanuslara karışmasının önlenmesi sağlanmıştır. Şekil 4.4'de görünen Tesis 2'nin Latitude 5000 ve Precision 3560 serisi dizüstü bilgisayarları, sürdürülebilir tasarım anlayışını yansıtan yenilikçi bileşenlerle işlenmektedir.



Şekil 4.4. Tesis 2, Latitude 5000 ve Precision 3560 modelleri.

Bu ürünlerde, kağıt üretim sürecinin yan ürünü olan tall yağından elde edilen biyoplastik kapaklar kullanılmış; kapaklarda %21 biyoplastik, %30 tüketici sonrası geri dönüştürülmüş plastik ve %20 geri kazanılmış karbon fiber tercih edilmiştir. Söz konusu uygulamalar sonucunda 24,2 milyon mil araç sürüşüne eşdeğer CO₂ emisyonunun önlenmesi, 5.564 hanenin bir yıllık enerji tüketimine denk enerji tasarrufu ve 226 olimpiik yüzme havuzunu dolduracak miktarda suyun korunması sağlanmıştır. Bu ürünler, Tesis 2'nin 2008 yılında tüketici sonrası geri dönüştürülmüş plastik içerikli ürünlerle başlattığı yenilikçi ürün serisinin en güncel örneğini

oluşturmaktadır (URL-5). Şirket, o tarihten itibaren geri kazanılmış karbon fiber, geri dönüştürülmüş elektronik atık plastikleri ve okyanusa karışma riski bulunan plastiklerden üretilen ambalaj malzemelerini kullanmış; yakın dönemde ise ürünlerinde geri dönüştürülmüş nadir toprak elementlerinin kullanımına yönelik pilot projeler başlatmıştır.

Plastik kullanımının azaltılmasına yönelik çalışmalar; malzeme azaltımı, ikame ve ürünlerde geri dönüştürülmüş içerik oranının artırılması adımlarını kapsamaktadır. Malzeme azaltımı, ürünlerin tasarım veya üretim sürecinde daha az malzeme kullanılması anlamına gelmekte olup, genellikle sadeleştirilmiş tasarım ve üretim yöntemleriyle sağlanmaktadır. İkame ise plastiklerin, daha sürdürülebilir nitelikte geri dönüştürülmüş ya da yenilenebilir malzemelerle değiştirilmesini ifade etmektedir. Bu doğrultuda, tüketim sonrası geri dönüştürülmüş (PCR) plastikler; su şişeleri ve tek kullanımlık plastikler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilerek ürün portföyü genelinde kullanıma entegre edilmiştir. FY24 itibarıyla, Tesis 2 ürünlerinde toplam 22,7 milyon kg PCR plastik kullandığını bildirmiştir.

Tesis 2'nin endüstriyel atık yönetimi uygulamaları incelendiğinde, şirketin farklı atık türlerini bütüncül bir strateji çerçevesinde ele aldığı görülmektedir. Özellikle plastik atıklar, firmanın öncelikli yönetim alanlarından birini oluşturmuştur. Su şişeleri, gıda kapları ve benzeri tüketim kaynaklı plastiklerin okyanuslara ulaşmadan toplanarak "NextWave Plastics" girişimi kapsamında küresel bir tedarik zincirine dönüştürülmesi, plastiğin yalnızca bertaraf edilmesini değil, aynı zamanda döngüsel ekonomiye yeniden kazandırılmasını sağlamaktadır. Bu süreçte PET, HDPE, PP ve naylon gibi plastik türleri işlenerek ürün ve ambalajlarda yeniden kullanılmaktadır.

Tesis 2'nin, ambalaj atıklarının yönetimi kapsamında yenilenebilir, geri dönüştürülmüş ve sürdürülebilir malzemeleri ambalaj tasarımlarına entegre etmiş; polistiren gibi tek kullanımlık malzemelerin kullanımını azaltarak EcoLoop taşıma çantaları ve bilgisayar muhafazalarında okyanus plastiği kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu yaklaşım, ambalaj kaynaklı atıkların azaltılmasına katkı sağlamış ve küresel plastik kirliliğin önlenmesine destek olmuştur. Tesis 2, elektronik atıkların yönetiminde kapalı döngü geri dönüşüm uygulamalarını hayata geçirmekte;

tüketim sonrası geri dönüştürülmüş plastikleri, geri kazanılmış karbon fiberleri ve son dönemde pilot çalışmalar kapsamında geri dönüştürülmüş nadir toprak elementlerini yeni ürün bileşenlerine entegre etmektedir. Bu yaklaşım sayesinde, kullanım ömrünü tamamlayan cihazların doğrudan atığa dönüşmesi engellenerek, söz konusu materyaller yeni üretim süreçlerinde hammadde olarak yeniden değerlendirilmiştir.

Tesis 2 (2024) FY24 Sıfır Atık raporunda, işletmenin sıfır atık politikalarına öncelik verdiği vurgulanmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen program, atık oluşumunu düzenli olarak ölçmekte ve atık yönetimine dair kritik çevresel etkileri raporlamaktadır. Atık azaltımına yönelik raporlama standartlarının Küresel Raporlama Girişimi'nin (GRI 306) esaslarıyla uyumlu olduğu belirtilmiştir. Sürdürülebilirlik ve Etik Sorumluluk (SER) uzmanları, tedarikçilere güvenli bertaraf yöntemlerini uygulama ve atık miktarını düşürme konularında rehberlik etmektedir. Ayrıca, tedarikçilerle iş birliği içerisinde, depolama sahalarına gönderilmesi muhtemel atıkların azaltılması veya yeniden kullanımına yönelik alternatiflerin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, katı ve tehlikeli atıkların yönetimine ilişkin sektör standartları çerçevesinde tedarikçi eğitimleri düzenlenmekte; tedarikçilerden ise çevresel etkileri konusunda şeffaflık sağlamaları ve GRI standartlarına uygun sürdürülebilirlik raporları yayımlamaları beklenmektedir. Tesis 2'nin Sıfır Atık Programı, tedarikçilerin yaşam sonu geri kazanım stratejileri kapsamında kompostlama, anaerobik sindirim, yakma, yeniden kullanım ve geri dönüşüm uygulamalarını benimsemelerine de destek sunmaktadır.

Tesis 2'nin FY24 Sıfır Atık raporunda bildirdiğine göre;

- Tesis 2, stratejik iş ortakları arasında yer alan 21 tedarikçinin depolama sahalarına yönlendirdikleri atık miktarını azaltmalarına katkı sağlamıştır. Bu kapsamda söz konusu tesisler, şirketin sıfır atık yaklaşımını desteklemek amacıyla yürütülen programa dahil edilmiştir.
- Ayrıca, 9 tedarikçi tesisi atık yönetim sistemleri kapsamında UL2799 veya TRUE sertifikasyonunu elde etmiş ve katı atıklarının tamamını depolama sahalarına yönlendirmeksizin bertaraf ederek %100 oranında uzaklaştırmayı başarmıştır.

- Harcamalar açısından değerlendirildiğinde, doğrudan malzeme tedarikçilerinin %89,9'u sürdürülebilirlik uygulamalarını GRI standartları doğrultusunda raporlanmıştır. Buna paralel olarak, Tesis 2'nin doğrudan malzeme tedarikçilerinin %54,8'i faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların azaltması konusunda kayda değer ilerlemeler sağladıklarını beyan etmiştir.

Tesis 2, küresel çevre politikası çerçevesinde çevrenin korunmasına ve kirliliğin önlenmesine öncelik vererek faaliyetlerini sürdürmektedir. Şirket, küresel ve bölgesel düzeyde yürürlükte olan atık yönetimi düzenlemelerine uyum sağlayarak, değer zinciri boyunca hem tehlikeli hem de tehlikeli olmayan atıkların oluşumunu en aza indirmeyi hedeflemektedir. Tesis 2'nin tesislerinde uygulanan yerinde geri dönüşüm girişimleri, tehlikeli olmayan atıkların miktarını önemli ölçüde azaltmakta; geri dönüştürülmeyen kısımlar ise yakma veya düzenli depolama yöntemleriyle sorumlu bir biçimde bertaraf edilmektedir. Atıkların "tehlikeli" olarak sınıflandırılması, geçerli ABD federal, eyalet, bölgesel ve yerel düzenlemelerine göre yapıldığı bildirilmiştir. Bu kapsamda Tesis 2'de tehlikeli atıklar; elektronik atıklar, atık yağlar, hasarlı piller, boya ve tiner gibi çözücüler ile temizlik kimyasalları ve aydınlatma kaynaklı atıkları içerebilmektedir. Söz konusu atıklar, yetkin geri dönüşüm tesisleri aracılığıyla uygun şekilde geri kazandırılmakta ya da bertaraf edilmektedir. Geri dönüştürülemeyen kısımlar ise yerel çevre mevzuatına uygun olarak imha edildiği gözlemlenmiştir.

Tesis 2'nin (2024) sürdürülebilirlik raporunda bildirildiği üzere, küresel düzeyde, asgari miktarda tehlikeli atık üretmekte olup, ABD'de EPA düzenlemeleri kapsamında "çok küçük miktarda üretici (VSQG)" olarak sınıflandırılmaktadır. Şirketin tüm küresel üretim tesisleri ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi sertifikasına sahip olduğu görülmektedir. Bu sertifika, tehlikeli atıkların yönetimi ve izlenmesine yönelik süreçleri de kapsamaktadır. Tesis 2, faaliyet gösterdiği tüm bölgelerde yürürlükteki yerel atık yönetimi düzenlemelerine tam uyum göstermekte; ayrıca tüm tesisleri için bağlayıcı olan Küresel Çevre, Sağlık ve Güvenlik (GEHS) Standartlarını uygulamaktadır. Bu standartlar arasında, tehlikeli atık yönetimi ile tehlikeli madde acil durumlarına ilişkin süreçleri tanımlayan örnekler de yer almakta olup, GEHS-S1002: Kimyasal ve Tehlikeli Maddeler Yönetimi ile GEHS-S1005: Atık Yönetimi ve Atık Azaltım Standartları bunlara örnek teşkil etmektedir.

Tesis 2'nin EHS (Çevre, Sağlık ve Güvenlik) ekipleri, küresel ölçekte tüm tesislerde tehlikeli atık yönetiminin denetlenmesi amacıyla tesisler organizasyonu ile yakın bir iş birliği yürütmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen risk değerlendirmeleri doğrultusunda, ISO 45001 ve ISO 14001 sertifikaları ile Responsible Business Alliance (RBA) standartlarına bağlı kalınarak üretim süreçlerinde tehlikeli madde kullanımının asgari düzeye indirilmesini sağlamışlardır. Ayrıca Tesis 2, tehlikeli kimyasalların üretimden tamamen çıkarılması ya da daha az riskli alternatiflerle ikame edilmesi amacıyla Clean Electronics Production Network (CEPN) sürecini takip etmektedir.

Şirketin tehlikeli atık yönetimi ise sistematik bir şekilde yürütülmekte; atık yağlar, hasarlı piller, boya ve çözücüler gibi kimyasal içerikli atıklar, federal ve yerel düzenlemelere uygun biçimde sınıflandırılarak yetkili geri dönüşüm tesisleri aracılığıyla bertaraf edilmekte veya uygun yöntemlerle geri kazanılmaktadır. Tesis 2, plastik, elektronik atık, ambalaj, biyoplastik, karbon fiber ve tehlikeli kimyasallar gibi farklı atık türlerini önleme, yeniden kullanım, kapalı döngü geri dönüşüm, malzeme ikamesi ve güvenli bertaraf yöntemleriyle ele alarak endüstriyel atık yönetiminde çok boyutlu ve sürdürülebilir bir model geliştirmiştir.

Tesis 2'nin (2024) FY24 Atık Yönetimi ve Atık Yönlendirme raporunda, geri dönüştürülmüş metallerin kullanımının, yeni hammaddelerin madenciliği ve işlenmesine olan bağımlılığını azalttığı vurgulanmaktadır. Bu kapsamda, FY24 itibarıyla %50 oranında geri dönüştürülmüş bakır içeren 1 milyondan fazla güç kablosu sevk edilmiştir. Çelik kullanımında ise, geri dönüştürülmüş içeri koranı sertifikalandırılarak belirlenmiş ve FY24'te endüstri genelinde bir ilk olarak bilgisayar ekranlarında %50 geri dönüştürülmüş içerikli çeliğe yer verilmiştir. Alüminyumda ise düşük emisyonlu ve geri dönüştürülmüş içerikli uygulamalar öne çıkmakta; tamamen hidroelektrik kullanılarak üretilen alüminyumun kullanım alanı genişletilmiş, bazı dizüstü bilgisayar modellerinde %50 ila %75 oranında geri dönüştürülmüş veya hidroelektrik ile üretilmiş alüminyum entegre edilmiştir. Bu yaklaşım, geleneksel kömür temelli üretim süreçlerine kıyasla alüminyum kaynaklı emisyonları %90'a kadar azaltarak karbon ayak izini önemli ölçüde düşürmektedir.

Yenilenebilir kaynakların kullanımına yönelik çalışmalar, petrol bazlı plastiklere olan bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Yenilenebilir malzemeler nesiller boyunca doğal olarak yeniden üretilmekte, ancak bu durum her zaman biyolojik olarak parçalanabilir veya kompostlanabilir anlamına gelmemektedir. Tesis 2'nin iş ortakları aracılığıyla yürüttüğü sertifikasyon programları, bu kaynakların sürdürülebilir şekilde yeniden üretildiğini doğrulamaktadır. Tesis 2'nin temel hedefi, geri dönüştürülebilir nitelikte yenilenebilir malzemeler kullanmaktır. Bu kapsamda, tedarikçilerle iş birliği içinde havacılık ve diğer sektörlerden geri kazanılan karbon fiber, yüksek hacimli dizüstü bilgisayarların kapaklarında değerlendirilmiş ve FY24 raporu bildirisinde, ürünlerde toplam 492.250 kg geri kazanılmış karbon fiber kullanılmıştır. Ayrıca, Hint yağı bitkisi, tall oil ve metan yakalama süreçlerinden elde edilen yağlar, petrol bazlı plastiklere biyotabanlı alternatifler olarak ürünlerin alt kısımlarında, kapaklarında ve klavyelerinde uygulanmıştır.

4.3 Tesis 3 Atık Yönetimi Uygulamaları

Tesis 3, 2021 yılında EPA tarafından Sürdürülebilir Atık Yönetimi kategorisinde ödüle layık görülmüştür. Şekil 4.5'de görülen, şirketin geliştirdiği Sound Bar ürünlerinde, hem cihazın kendisine hem de ambalajında geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılmıştır. Her bir Sound Bar'ın dış kumaşı, yeniden işlenmiş ve plastik şişeden üretilmekte olup, bu yaklaşım yılda yaklaşık 550.000 plastik şişenin geri dönüştürülmesine olanak sağlamaktadır. Ürün ayrıca en az %15 oranında tüketici sonrası geri dönüştürülmüş içerik barındırmaktadır. Ambalaj tasarımında ise polistiren yerine geri dönüştürülmüş kalıplanmış kağıt hamuru kullanılmıştır (URL-5). Böylece tek kullanımlık genleştirilmiş polistirenin yıllık 30 ton azaltılacağı ön görülmüştür. Tesis 3, insan ve çevre sağlığına yönelik olumsuz etkileri en aza indirmeyi, ürünün onarılabilirliğini ve geri dönüştürülebilirliğini öncelik haline getirerek Sound Bar serisini atık yönetimi açısından örnek bir uygulama haline getirmiştir.



Şekil 4.5. Tesis 3 Sound Bar ürünü ve ambalajında plastik geri dönüşüm.

Tesis 3, 2021 yılında 20.000 tondan fazla kullanılmış televizyon, monitör ve diğer elektronik cihazı toplayarak geri dönüştürme işlemini gerçekleştirmiştir. Bu e-atıkların düzenli depolama alanlarına yönlendirilmeden geri kazanılması, 55.000 metrik tondan fazla CO₂ emisyonunun önlenmesini sağlamış olup bu miktar yaklaşık 9.400 hanenin bir yıllık elektrik tüketimine eşdeğer emisyonu karşılık gelmektedir. Şirketin bu alandaki katkıları; yüksek miktarda kullanılmış elektronik cihazın yeniden kullanım ve geri dönüşüm için toplanması ve e-atıkların tamamının yetkili üçüncü taraf geri dönüşüm tesislerine yönlendirilmesidir (Taylor, 2021).

Dikkate değer bir diğer husus, Tesis 3'ün tedarik zincirinin çevresel performansını iyileştirmeyi hedefleyen “Green Program Plus” adlı sürdürülebilirlik yönetim programıdır. Bu kapsamda, EPA tarafından örnek gösterilen uygulamalardan biri, şirketin her yıl buzdolabı üretim süreçlerinde binlerce ton geri dönüştürülmüş plastik kullanması ve buzdolabı ambalajlarında %50'nin üzerin geri dönüştürülmüş malzemeye yer vermesidir.

Tesis 3, dünyanın ilk “Küresel e-Stewards Kuruluşu” unvanını almıştır. Basel Action Network tarafından geliştirilen e-Stewards standardı, elektronik geri dönüşümcüleri kapsayan en katı uluslararası sertifikasyon programı olarak kabul edilmektedir. Bu standart, toksik elektronik atıkların gelişmekte olan ülkelere ihracatını ve kontrolsüz dökülmesini engellemeyi, kişisel verilerin korunmasını sağlamayı ve geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin zararlı maddelere maruz kalmasını önlemeyi güvence altına almaktadır (Taylor, 2021).

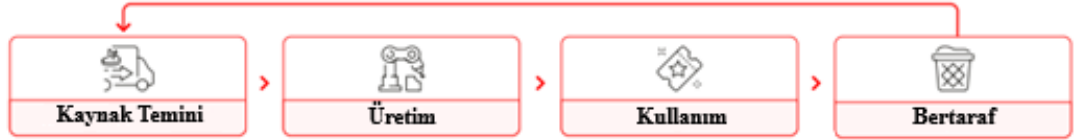
Tesis 3 (2025) sürdürülebilirlik raporunda, kaynak döngüsüne dayalı sürdürülebilir bir gelecek inşa etme kararlılığını açıkça ortaya koymuş ve bu hedef doğrultusunda net bir stratejik yön belirlenmiştir. Şirket, ürün yaşam döngüsünün tüm aşamalarını kapsayan kapsamlı bir kaynak döngüsü stratejisi geliştirerek bunu sistematik biçimde uygulamaktadır. Atık yönetim sistemlerinin iyileştirilmesi ile e-atıkların geri kazanımı ve geri dönüşümünün artırılması yoluyla kaynak verimliliğini yükseltmeyi ve çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Tesis 3, ürünlerinin tüm yaşam döngüsü boyunca kaynak döngüsü stratejisini etkin biçimde uygulamaktadır. Malzeme seçiminde yüksek geri dönüştürülebilirlik kapasitesine ve güçlü karbon azaltma potansiyeline sahip kaynaklara öncelik verilmekte; atık geri kazanım durumu ve ekonomik uygulanabilirlik analizleri temel alınarak geri dönüştürülebilir bileşenlerin yeniden kullanımını teşvik etmektedir. Üretim aşamasında, modüler tasarım yaklaşımı ve verimli üretim süreçleri, artık malzemelerin geri kazanılmasına olanak sağlamakta ve bu malzemeler yeniden kullanılabilir materyal olarak geri dönüştürülmektedir. Kullanım sürecinde, ürün dayanıklılığının artırılması, onarım kılavuzlarının sunulması ve ev aletleri için abonelik hizmetlerinin geliştirilmesi yoluyla ürün ömrü uzatılmakta ve kaynak verimliliği yükseltilmektedir. Bertaraf aşamasında ise şirket, Chilseo Geri Dönüşüm Merkezi (CRC) merkezli güçlendirilmiş atık toplama ve geri dönüşüm faaliyetleri aracılığıyla sürdürülebilir döngüsel ekonomiye katkı sağlamaktadır.

Tesis 3, tüm iş alanlarında kaynak döngüsünü güçlendirmek amacıyla sistematik bir atık yönetim sistemi uygulamaktadır. Şirket, her tesiste ortaya çıkan atıkların tür ve miktarlarını düzenli olarak kaydederek denetlemekte; bu verileri, mevcut atık yönetimi uygulamalarını kapsamlı biçimde değerlendirmek ve sürekli iyileştirme fırsatlarını belirlemek için kullanmaktadır. Tesislere özel olarak geliştirilen atık azaltım yol haritaları, her tesisin karakteristik özelliklerine uyarlanmış olup üretim süreçlerinde optimizasyon yapılmasına ve çevre dostu malzemelerin kullanımının artırılmasına odaklanmaktadır. Bunun yanı sıra, çalışan farkındalığını yükseltmek ve sorumlu atık yönetimi uygulamalarını teşvik etmek amacıyla düzenli olarak özelleştirilmiş eğitim programları yürütülmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, kaynak verimliliğini en üst

düzeye çıkaran ve çevresel etkileri en aza indiren döngüsel ekonomi iş modelinin temel stratejilerinden biri haline gelmiştir.

Tesis 3, elektronik ürünlerin bertaraf sürecinde çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla “Küresel E-Atık Toplama ve Bertaraf Politikası’nı” uygulamaktadır. Bu politika, üreticilerin e-atıkların geri kazanımından sorumlu tutulduğu Bireysel Üretici Sorumluluğu (IPR) ilkesine uygun şekilde yürütülmektedir. 2024 yılsonu itibariyle şirket, 56 ülkede 91 bölgede e-atık toplama ve geri dönüşüm sistemleri oluşturmuş ve bu bilgilere resmi web sitesi üzerinden erişim sağlamıştır. Söz konusu politika, Tesis 3’ün e-atık geri kazanımı ve geri dönüşümüne ilişkin düzenlemelere uyma bildirisini, IPR sistemini desteklemesini ve müşterilere küresel ölçekte geri dönüşüm rehberliği sunmasını içermektedir. Ayrıca, Küresel E-Atık Yerel Toplama ve Sistemleri, bölgesel geri dönüşümcülere yönelik ayrıntılı gereklilikleri ve yerel geri dönüşüm uygulamalarına ilişkin bilgilerin paylaşımını kapsamaktadır. Tesis 3 (2025) sürdürülebilirlik raporunda belirtildiği üzere, şirket ürünlerin üretim aşamasında kaynak verimliliğini artırmak, atıkları en aza indirmek ve atık yönetimi ile yeniden kullanım süreçlerini içeren, Şekil 4.6’de görülen, kapsamlı bir strateji benimsemiştir (URL-7).



Şekil 4.6. Tesis 3 atık yönetimi ve ürün yeniden kullanım stratejisi.

Bu strateji, kaynak temini ile başlamaktadır. Malzemeler, geri dönüştürülebilirlik ve karbon ayak izi gibi çevresel kriterler dikkate alınarak seçilmekte; atık geri kazanım durumu analiz edilerek yeniden kullanılabilir parçalar sürece tekrar dahil edilmektedir. Üretim aşamasında ise modüler tasarım, verimli üretim hatları ve kalite yönetim sistemleri uygulanmakta; böylece parçaların değiştirilebilirliği kolaylaştırılmakta, üretim sırasında oluşan artık malzemeler toplanarak yeniden üretime kazandırılmakta ve geri dönüştürülmüş materyallerin kullanımına öncelik verilmektedir. Kullanım sürecinde ürünler uzun ömürlü olacak şekilde tasarlanmakta, standart kalite yönetim sistemleri uygulanmakta ve modüler tasarımlar, tamir

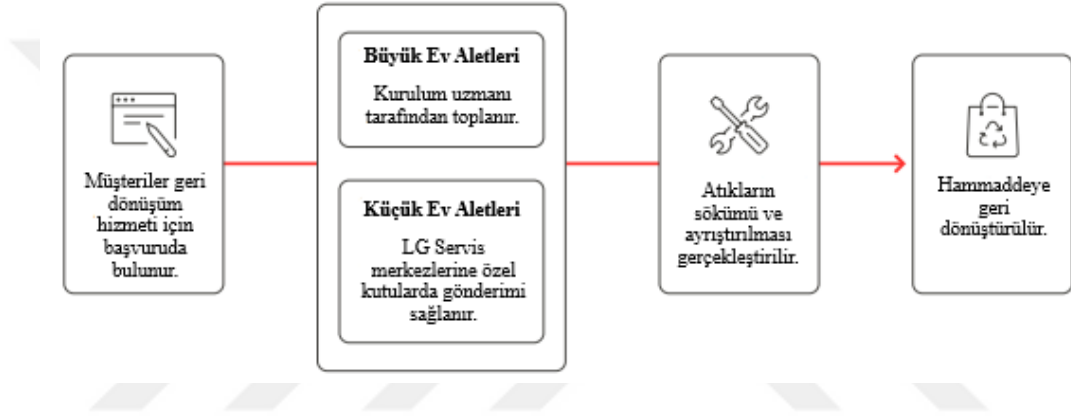
kılavuzları, yedek parça temini ile adil fiyatlandırma sayesinde tamir edilebilirlik teşvik edilmektedir. Ayrıca tüketiciler, atık azaltımı ve dögüsel ekonomi girişimlerine katılım amacıyla abonelik sistemlerine yönlendirilmektedir. Bertaraf aşamasında ise Tesis 3, Chilseo Geri Dönüşüm Merkezi aracılığıyla bölgesel atıkları toplayarak geri dönüşüm sistemlerini güçlendirmekte; toplanan e-atıkları yeni parça üretiminde değerlendirmekte ve ambalaj malzemelerini yeniden işleyerek hammadde olarak sürece dahil etmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, küresel ölçekte kapalı dögü kaynak yönetimi sistemini desteklemektedir.

Tesis 3, önceden belirlenen atıkla ilgili risklere dayalı bir yanıt sistemi oluşturmuş ve etkin bir biçimde uygulamaktadır. Şirketin tüm iş sahalarında, ilgili risklerin sistematik biçimde kontrol edilebilmesi amacıyla atık verilerindeki eğilimleri sürekli olarak izlemekte ve atık yönetimi tedarikçileri düzenli değerlendirmelerden geçirilmektedir.

Tesis 3, çevresel risk yönetimine yönelik proaktif yaklaşımının bir unsuru olarak atık verilerini sistematik biçimde yönetmektedir. Bu yaklaşımın merkezinde, güvenilir verilere dayalı olarak zamanında müdahaleyi mümkün kılan sürekli izleme sistemi bulunmaktadır. Şirketin her iş sahasında, atık oluşumu, bertaraf ve geri dönüşüm verileri düzenli olarak merkezi bir BT sistemine girilmekte; bu veriler entegre bir platformda otomatik biçimde toplanarak birleştirilmektedir. Ortaya çıkan sapmalar ve dalgalanmalar ise veri bütünlüğünü korumak amacıyla ilgili birimler tarafından düzenli şekilde izlenip değerlendirmektedir. Söz konusu atık veri yönetim süreci, Tesis 3'ün çevresel risklere etkin biçimde yanıt verme kapasitesini güçlendiren kritik bir temel oluşturmaktadır.

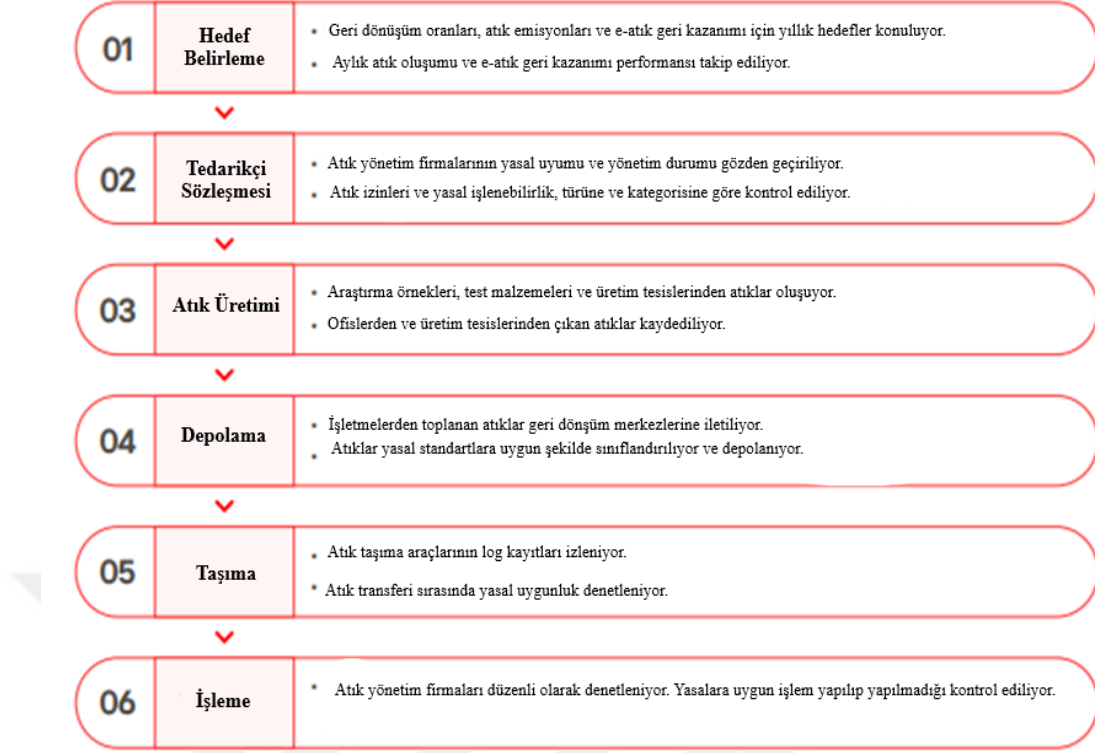
Daha nesnel ve seçici bir seçim süreci sağlamak amacıyla Tesis 3, 2024 itibarıyla atık yönetimi tedarikçilerinin seçimi ve yönetimine ilişkin kriterlerini güçlendirmiştir. Bu doğrultuda tüm iş sahaları, yalnızca ulusal otoriteler tarafından yetkilendirilmiş atık yönetimi tedarikçileriyle çalışmakta ve uyumluluk ile operasyonel uygulamaları değerlendirmek amacıyla yılda en az bir kez düzenli denetimler gerçekleştirmektedir. Ayrıca, çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve çevre dostu atık işleme süreçlerinin güvence altına alınması için her tedarikçiye özel olarak uyarlanmış rehberlik sağlanmakta; bu sayede sürekli gözetim ve iyileştirme süreçleri desteklenmektedir.

2003 yılından bu yana Tesis 3, ücretsiz elektronik atık geri dönüşüm hizmeti sunarak “EPR” (Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu) programına katılım sağladığını bildirmiştir. Bu politika, üretici ve ithalatçıların ürünlerinin kullanımından kaynaklanan atıkların geri kazanımı ve geri dönüştürülmesinden sorumlu tutulmasını öngörerek, kaynak döngüsünü teşvik etmekte ve çevresel etkilerin en aza indirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu kapsamda Tesis 3, geri dönüşüm oranlarını artırmaya yönelik Şekil 4.7’deki ücretsiz e-atık geri kazanım hizmeti yürütmekte; aynı zamanda geri kazanım sürecinde ortaya çıkabilecek potansiyel çevresel riskleri proaktif biçimde tespit ederek kontrol altına almaktadır.



Şekil 4.7. Tesis 3 elektronik atıkların geri dönüşüm süreci.

Ürün geliştirme aşamasında geri dönüştürülebilirlik kriteri dikkate alınmakta ve atık azaltım önlemleri tasarım sürecine entegre edilmektedir. Ayrıca, geri kazanım ve geri dönüşüm süreçlerinin sürekli olarak izlenmesi ve denetlenmesi, geri kazanılamayan ya da yanlış işlenen atıklardan kaynaklanabilecek risklerin en aza indirilmesini sağlamaktadır. Geri kazanılan e-atıklar, CRC’ye yönlendirilmekte; burada yalnızca atıkların geri dönüştürülmesi değil, aynı zamanda içerdiği tehlikeli maddelerin çevre dostu yöntemlerle işlenmesi sağlanarak geri kazanım sürecindeki riskler azaltılmaktadır. Şekil 4.8’de Tesis 3’ün iş yerlerinde uyguladığı atık yönetim süreci adım adım gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Tesis 3, iş yerlerindeki atık yönetim süreci.

Şirket, kaynak döngüsü uygulamalarındaki yetkinliğini artırmak ve süreci sistematik biçimde yönetmek amacıyla somut hedefler belirlemekte ve performansını düzenli olarak izlemektedir. Şirket, temel kaynak döngüsü göstergelerine dayalı olarak belirlenen hedeflere yönelik ilerlemeyi sürekli karşılaştırıp değerlendirerek, bu hedeflere ulaşmadaki uygulama kapasitesini güçlendirmektedir.

Tesis 3, tesislerinde atıkları titizlikle ayrıştırarak geri dönüştürülebilir kaynak kullanımını da teşvik etmektedir. Şirketin başlıca yurtiçi tesislerinde, yakma sürecinde açığa çıkan ısı geri kazanılmakta ve operasyonlarda yeniden değerlendirmekte ya da dışarıya enerji kaynağı olarak sağlanarak enerji verimliliği artırılmaktadır. 2024 yılında, %95 atık geri dönüşüm hedefine henüz ulaşamayan denizaşırı iştiraklerde özel geri dönüşüm iyileştirme planları uygulanmış; bu planlar sürekli izleme ve uygulamaya dönük girişimlerle desteklenerek performansın istikrarlı biçimde geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, Tesis 3 2024 yılında yurtiçi ve uluslararası tüm tesislerinde %97,4 geri dönüşüm oranına ulaşarak 2030 için öngörülen %95'lik hedefi planlanandan çok önce aşmıştır. Şirket, 2025 yılında da

çeşitli ve sürekli geri dönüşüm girişimleriyle %95'in üzerinde bir geri dönüşüm oranını sürdürmeyi hedeflemektedir.

Tesis 3, her iş sahasında çok sayıda atık azaltma faaliyeti yürütmektedir:

- Pyeongtaek Dijital Park, Hanuri tesisinde, içecek servisinde kullanılan yaklaşık 1,36 milyon adet tek kullanımlık plastik bardak, yeniden kullanılabilir alternatiflerle değiştirilerek tek kullanımlık plastik tüketiminin azaltılmasına yönelik önemli bir adım atılmıştır.
- Changwon Smart Park 1 tesisinde, 2024 yılında ambalajlama yöntemlerinin iyileştirilmesiyle sahada oluşan 66 ton hatalı vinil ambalaj atığı başarıyla azaltılmıştır. 2025 yılında ise, yeni tedarikçilerle iş birliği yapılarak daha önce düzenli depolama alanlarına yönlendirilen 167 ton atık camın geri dönüşüm süreçlerine kazandırılması hedeflenmektedir.
- Pyeongtaek Chiller tesisinde, 2024 yılında boyama sürecinde kullanılan palet malzemeleri ahşaptan çeliğe dönüştürülmüş; bu sayede yeniden kullanım imkanı sağlanmış ve yakma yoluyla bertaraf edilen 20 ton ahşap atığın oluşumu önlenmiştir.
- Magok Science Park, Gasan Ar-Ge Kampüsü, Seocho Ar-Ge Kampüsü, Yangjae Ar-Ge Kampüsü, Pyeongtaek Dijital Park ve Pyeongtaek Chiller tesisleri, tuvaletlerde kullanılan kağıt havluların kapalı döngü geri dönüşüm sistemiyle toplanmasını sağlamak amacıyla Bi:Cycle Kampanyası'na katılmış; böylece geri dönüşüm uygulamaları güçlendirilmiştir.

Tesis 3, atık geri dönüşüm uygulamalarında şeffaflığı ve güvenilirliği güvence altına almak amacıyla “Zero Waste to Landfill” (ZWTL) sertifikasını her yıl küresel güvenlik sertifikasyon kuruluşu UL aracılığıyla yenilemektedir. Şirket, bu girişimi yalnızca Güney Kore bölgesinde değil, uluslararası düzeydeki tüm iş sahalarında da yaygınlaştırmaktadır. 2024 yılında Güney Kore’de Changwon Smart Park 2 ve Gumi Future Park 1 Platin sertifika, Changwon Smart Park 1, Pyeongtaek Dijital Park, Pyeongtaek Chiller ve Magok Science Park ise Altın sertifika ile belgelendirilmiştir. 2025 yılı itibarıyla Tesis 3’ün yurtiçi Ar-Ge merkezlerinin de ZWTL sertifikasyon sürecine dahil edilmesi planlanmaktadır. Yurtdışında ise Brezilya Manaus tesisi ile

Çin'deki Taizhou ve Tianjin tesisleri 2024 yılında Platin düzeyinde sertifika almıştır. Çizelge 4.1'de Tesis 3'ün 2022-2024 yılları arasında yaklaşık 1.5 milyon ton e-atık topladığı görülmektedir.

Çizelge 4.1. Tesis 3, bölgesel elektronik atık yönetimi performansı (ton).

Bölge	2022	2023	2024
Avrupa	152,19	101,90	124,09
Güney Kore	121,83	126,85	125,14
Kuzey Amerika	27,58	30,64	28,33
Asya	148,22	134,11	151,77
Rusya	23,68	10,29	92,00
Latin Amerika	16,55	51,36	95,91
Afrika	7,39	7,30	7,230

Tesis 3, 2006-2030 dönemi için toplam 8 milyon ton e-atık geri kazanım hedefi belirlemiştir. 2024 itibarıyla şirket, bu hedef doğrultusunda 5,01 milyon ton elektronik atık geri kazanımını gerçekleştirmiştir. Hedefe ulaşmak amacıyla Tesis 3, Kore dahil 56 ülkede 91 farklı noktada e-atık geri kazanım programları yürütmekte ve bu bölgelerdeki yönetim performansını düzenli olarak bildirmektedir. Çizelge 4.2'de firmanın 2022-2024 yılları arasında geri dönüştürülmüş plastik kullanımı ve o döneme kadar geri dönüştürülen plastiklerin kullanım değerleri ton bakımından verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tesis 3, geri dönüştürülmüş plastik kullanımı (ton).

Kategori	2022	2023	2024
Geri dönüştürülmüş plastik kullanımı	32,99	54,42	74,08
Geri dönüştürülmüş plastik hammaddelerin kullanımı	16,07	21,63	27,46
Geri dönüştürülmüş plastiğin kümülatif kullanımı	59,00	114,00	188,00

Tesis 3, toplanan elektronik atıklardan elde edilen geri dönüştürülmüş plastikleri yeni ürünlerin üretiminde kullanarak hem kaynak döngüsüne katkı sağlamakta hem de

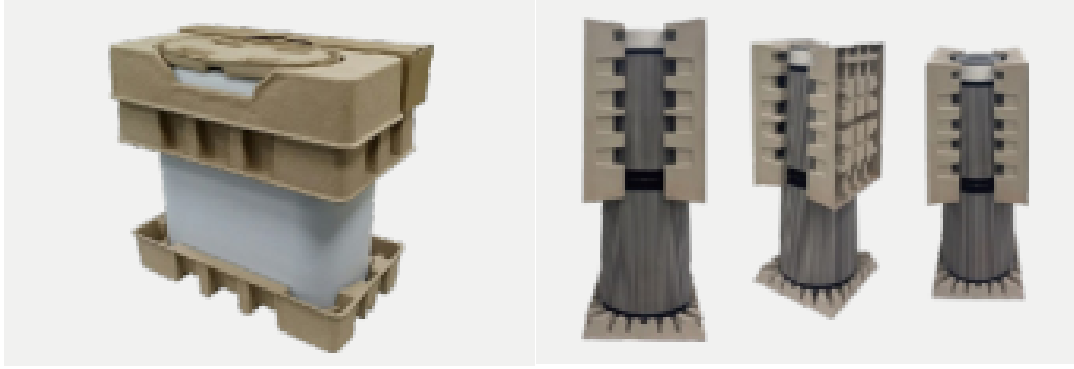
Çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Ŗirket, 2021-2030 yılları arasında toplam 600.000 ton geri dönüştürülmüş plastik kullanmayı hedeflemiş olup, 2024 yılı itibarıyla bu kapsamda 188.000 ton geri dönüştürülmüş plastiği üretim süreçlerine dahil etmiştir.

Tesis 3, evre dostu ürünlerin geliştirilmesini sürekli olarak ilerletmekte ve mevcut ürünlerin tasarımı ile malzemelerini, atık oluşumunu en aza indirecek ve kaynak verimliliğini artıracak şekilde sürekli iyileştirmektedir.

- TV modeli 50UR8250KNA üzerinden gerçekleştirilen geliştirmeler sonucunda, bir önceki model olan 50LF6500 ile karşılaştırıldığında ürün ağırlığında yaklaşık 2,8kg, ürün hacminde 0,013 m³ ve ambalaj ağırlığında 0,11kg oranında azalma sağlanmıştır. Ayrıca, televizyonun dış plastik kapağında 0,71kg geri dönüştürülmüş plastik kullanılmıştır.
- Klima modeli FQ18EV4EEN üzerinde gerçekleştirilen geliştirmeler sonucunda ise önceki model FQ18HDNHEN ile karşılaştırıldığında ürün ağırlığında 8,5kg, ürün hacminde 0,025 m³ ve ambalaj ağırlığında 2,1kg oranında azalma sağlanmıştır. Buna ek olarak, geri dönüştürülmüş plastik kullanımında 0,37kg artış gerçekleştirilmiştir.

Bu geliştirmeler sayesinde Tesis 3, kaynak verimliliğini ve çevresel sürdürülebilirliğini devam ettirmiştir. Ŗirket, rnlerin korunmasını ve dayanaklığını güvence altına alırken atık miktarını en aza indirmek amacıyla evre dostu ambalaj tasarımlarını ve sürdürülebilir malzemelerin kullanımını aktif biçimde teşvik etmektedir. Ŗirket, teknoloji geliştirme ve malzeme tedarik süreçlerini iş birimleri arasında güçlendirerek bu iyileştirmeleri tüm ürün yelpazesine yaymayı ve evre dostu ambalajlara geçiş sürecini hızlandırmayı hedeflemektedir.

Tesis 3, plastik atıkların azaltılması amacıyla ambalajlarında kağıt ve geri dönüştürülmüş malzeme kullanımına yönelmektedir. 2021 yılından itibaren dizüstü bilgisayarlar, soundbarlar ve şekil 4.9’de görülen taşınabilir hoparlörler gibi küçük ölçekli ürünlerde kalıplanmış kağıt yastıklama uygulanmış; 2023 yılında ise endüstride bir ilk olarak 20kg’lık “Montblanc” hava temizleyicisini destekleyebilen yüksek dayanımlı kağıt yastıklama geliştirmiştir.



Şekil 4.9. Hoparlör ve hava temizleyici ambalajında kullanılan kağıt yastıklama.

Bu teknoloji, günümüzde süpürge, klima ve iç üniteler gibi orta ölçekli cihazlara genişletilmekte olup, 70kg'a kadar olan büyük ürünlerde de kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Plastik yastıklamanın kaçınılmaz olduğu durumlarda ise Tesis 3, %50'nin üzerinde tüketim sonrası plastik içeren geri dönüştürülmüş EPS kullanmakta; bu sayede darbe emme performansı korunurken kaynak tüketimi azaltılmaktadır. 2024 yılında geri dönüştürülmüş EPS yastıklama, çamaşır kurutucu ambalajında pilot olarak test edilmiş ve performans açısından başarıyla doğrulanmıştır. Şirket, bu uygulamanın çamaşır makineleri ve buzdolapları gibi diğer ürün gruplarına da yaygınlaştırılmasını planlamaktadır.

4.4 Tesis 4 Atık Yönetimi Uygulamaları

Tesis 4, hammadde tedarikinden işlenmesine ve çelik fabrikalarına sevkiyatına kadar entegre hizmetler sunan, Bursa merkezli bir geri dönüşüm şirkettir. Şirketin 2023 yılı sürdürülebilirlik raporunda, “döngüsel ekonomi” ve “sıfır atık” ilkelerinin sürdürülebilirlik stratejisinin merkezinde konumlandırıldığı vurgulanmaktadır. Bu çerçevede, atıkların kaynağında ayrıştırılması, yeniden kullanım ve geri dönüştürme yöntemleri aracılığıyla hem kaynak verimliliğinin artırılması hem de çevresel etkilerin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, tehlikeli ve tehlikesiz atıkların lisanslı kuruluşlar tarafından güvenli biçimde yönetilmesi ve “Sıfır Atık Belgesi” gibi sertifikasyon süreçleriyle desteklenmesi, Tesis 4'ün endüstriyel atık yönetimine bütüncül ve sistematik bir yaklaşımla odaklandığını ortaya koymaktadır.

Tesis 4 (2023) sürdürülebilirlik raporunda, üretim süreçlerinde biyolojik olarak çözünebilen ve geri dönüştürülebilir malzemelerin tercih edilmesiyle atık miktarının azaltıldığı ve doğal kaynakların korunmasına katkı sağlandığı ifade edilmektedir. Bu yaklaşımın, döngüsel ekonomiyi desteklemenin yanı sıra sürdürülebilir üretim uygulamalarının gücünü de ortaya koyduğu vurgulanmaktadır. Şirketin “Doğal Bileşen İçeren Compoundların Hazırlanması” projesi kapsamında biyolojik olarak çözünebilen ve geri dönüştürülebilir malzemeler geliştirilmiş; böylece hem üretim atıkları azaltılmış hem de doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanmıştır. Ayrıca, “Mold in Color” projesi ile geleneksel boyama işlemlerine ihtiyaç duyulmadan üretim yapılması sağlanmış, böylece kimyasal kullanımı ve atık oluşumu önemli ölçüde minimize edilmiştir.

Tesis 4, “üretirken çevreyi koruma” ilkesini benimseyerek, “çevre sorumluluğu herkesindir” anlayışıyla üzerine düşen yükümlülükleri yerine getirmektedir. Şirket, sürdürülebilirlik yaklaşımını destekleyen stratejik hedefleri arasında yer alan “toplum ve çevreye odaklanmak” ilkesi doğrultusunda, çevresel etkilerini en aza indirmeye yönelik en yüksek hassasiyeti göstermekte ve sürekli iyileştirme prensibiyle çalışmalarını sürdürmektedir. Tüm çevresel faaliyetler, 2003 yılından bu yana sahip olunan ISO 14001 Çevre Yönetim Standardı kapsamında oluşturulan çevre politikası kriterlerine uygun şekilde yönetildiği bildirilmiştir.

Tesis 4’ün Çevre Yönetim Sistemi; Çevre Politikası, Sera Gazı Yönetimi ve İklim Değişikliği Politikası, atık yönetimi, doğal kaynakların etkin kullanımı, çevresel boyut ve etkiler, yasal yükümlülükler ve ISO 14001 standartlarının gerekliliklerinden oluşmaktadır. İlgili yasa ve yönetmelikler ayrıntılı olarak incelenmekte, Tesis 4’ü doğrudan ilgilendiren hükümler Çevre Yönetim Sistemi Programı (ÇYSP) kapsamında belirlenen aksiyonlarla takip edilmektedir. Faaliyetlerden kaynaklanabilecek çevresel boyut ve etkiler; ilgili yönetmelik maddeleri, her sürecin girdi ve çıktıları, işletme koşulları, acil durumlar ile iç ve dış denetim sonuçları dikkate alınarak çevre yönetim temsilcisi başkanlığında gerçekleştirilen çevre kurullarında değerlendirilmektedir. Belirlenen çevresel boyutlar puanlandırılmakta ve ortaya çıkan çevresel etki değerlendirme puanlarına göre “önemli” ve “çok önemli” olarak sınıflandırılan boyutların etkilerinin azaltılması veya kontrol altına alınması için

gerekli aksiyonlar planlanmaktadır. Şekil 4.10'de yer alan Heinrich Piramidi, Tesis 4'ün de benimsediği bir yaklaşımdır.



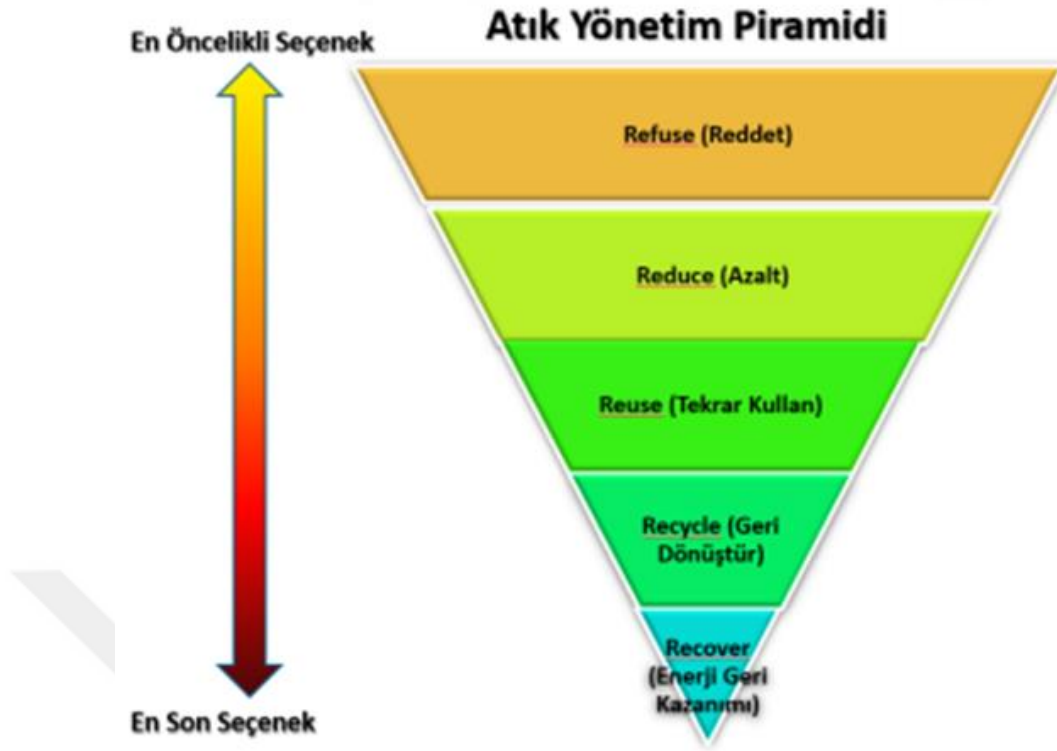
Şekil 4.10. Tesis 4 Heinrich piramidi.

Piramidin tabanında yer alan güvensiz davranışlar, güvensiz koşullar ve ramak kala olayların önceden tespit edilmesiyle üst kademelerdeki kaza, ciddi kaza ve çevresel felaket risklerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım, pratikte endüstriyel atık kontrolü sonucunda ortaya çıkabilecek olası felaketlerin önlenmesine yönelik olarak önleyici faaliyetler, davranış odaklı güvenlik gözlemleri, düzenli denetimler ve eğitimler gibi uygulamalarla desteklenmektedir. Tesis 4, faaliyetlerinden kaynaklanabilecek çevresel boyut ve etkileri bu yöntemle kontrol altına almayı amaçlamıştır.

Tesis 4, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda atık yönetimi stratejilerini döngüsel ekonomi ve sıfır atık ilkeleriyle entegre bir biçimde uygulamaktadır. Bu yaklaşım, kaynakların daha verimli kullanılmasını, atıkların kaynağında azaltılmasını ve çevresel etkilerin en aza indirilmesini hedeflemektedir. Atık hiyerarşisi kapsamında tüm atıklar

yeniden kullanım, geri dönüşüm veya geri kazanım süreçleriyle değerlendirilmektedir. Atıkların kaynağında ayrıştırılması ve bilinçlendirme çalışmaları sayesinde hem atık miktarı azaltılmakta hem de maliyet tasarrufu sağlanmaktadır. Tesis 4, döngüsellğe dayalı sürdürülebilir üretim ve tüketim alışkanlıklarını teşvik eden “Sıfır Atık” yaklaşımını benimseyerek israfın önlenmesini, atıkların azaltılmasını yeniden kullanılmasını ve geri dönüştürülmesini desteklemektedir. Bu kapsamda şirket, “Sıfır Atık Belgesi” almaya hak kazanmıştır. Atık hiyerarşisine uygun şekilde yürütülen bu süreçte, işletmelerde oluşan tehlikeli ve tehlikesiz atıklar lisanslı kuruluşlar aracılığıyla yönetilmekte ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Entegre Çevre Bilgi Sistemi üzerinden beyan edilmektedir.

Tesis 4, tüm atıklarını kaynağında ayrı toplamaktadır ve atık kutusu kullanım performansı aylık olarak takip edilerek bölümler bazında yayımlanmaktadır. Bu performans sonuçları her ay çevre panolarında duyurulmakta ve çalışanlarla paylaşılmaktadır. Şirket, yemekhanelerden çıkan bitkisel atık yağların yönetiminde, yemek tedarikçisi firmalarla yaptığı sözleşmelerde Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği’ne uyulacağı taahhüdünü almakta; ayrıca, yemek firmalarının atık yağları lisanslı kuruluşlara gönderdiğine dair MOTAT kayıtlarını Tesis 4’e sunmalarını sağlamaktadır. Çevrenin korunmasına yönelik gönüllü bir uygulama olarak, çalışanların evlerinde biriktirdikleri bitkisel atık yağları da firmaya getirmeleri teşvik edilmekte ve bu atıkların lisanslı firmalara ulaştırılması sağlanmaktadır. Üretim süreçlerinde gerçekleştirilen optimizasyon çalışmalarıyla hurda ve fire oranları kaynağında azaltılmış; bu kapsamda 2023 yılı geri dönüşüm oranı %99,96 olarak gerçekleştirildiği bildirilmiştir. Tesis 4, atık yönetimi stratejilerini Şekil 4.11’da gösterilen yollar doğrultusunda yürütmektedir.



Şekil 4.11. Tesis 4 atık yönetim piramidi.

Bu kapsamda, Atık Takibinin Dijitalleştirilmesi amacıyla SELES uygulaması ile barkodlu atık tartım süreci başlatılmış ve atık takibi dijital platforma taşınmıştır. Böylece, hangi lokasyon veya hattan ne kadar atık çıktığı izlenebilmekte ve atık azaltım çalışmaları daha etkin şekilde yönetilebilmektedir. Önceden manuel olarak yürütülen atık toplama süreçlerinin otomasyonu sayesinde tüm süreç anlık olarak tek bir dijital platform üzerinden kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, Geri Dönüşümlü Ahşap Paletlerin Atık Oranlarının Azaltılması kapsamında, paletler atık sahasına gönderilmeden önce kontrol edilmekte, yeniden kullanılabilir olanlar ayrıştırılarak şirketler grubunda ihtiyaç doğrultusunda değerlendirilmekte ve böylece atık miktarı azaltılmaktadır. Sürdürülebilir atık yönetimi çalışmaları çerçevesinde tedarikçilerle birlikte geri dönüşümlü ambalaj süreçleri üzerinde çalışmalar yürütülmekte; tedarikçilerden gelen karton kutu, separatör ve ahşap paletlerin azaltılması veya yeniden kullanılması hedeflenmektedir. Tek kullanımlık ürünler yerine separatörlerin çoklu kullanımına olanak sağlanarak hem çevresel fayda hem de maliyet avantajı elde edilmektedir. Çizelge 4.3’de şirketin tehlikeli atık miktarı ton bazlı verilmiştir.

Çizelge 4.3. Tesis 4 tehlikeli atık miktarı (ton).

Tehlikeli Atık Miktarı	2021	2022	2023
Toplam tehlikeli atık	14,21	14,65	18,92
Enerji amaçlı geri kazanılan atıklar	14,20	14,64	18,91
Elektronik atıklar	0,00	0,04	0,43

Tesis 4'ün endüstriyel atık yönetimine ilişkin verileri, tehlikeli ve tehlikesiz atıklar olmak üzere iki ayrı tabloda sunulmaktadır. Tesis 4'ün tehlikeli atıklara ilişkin raporu, 2021-2023 yılları arasında toplam tehlikeli atık miktarında artış eğilimi olduğunu göstermekte; söz konusu atıkların büyük bölümünün enerji amaçlı geri kazanıldığı ve elektronik atık miktarının yıllar içerisinde kayda değer bir artış sergilediği dikkat çekmektedir. Çizelge 4.4'de verilen tehlikesiz atıklara ilişkin rapor ise aynı dönemde geri dönüştürülen ve geri kazanılan atık miktarları ile düzenli depolamaya yönlendirilen atıkları kapsamaktadır.

Çizelge 4.4. Tesis 4 tehlikesiz atık miktarı (ton).

Tehlikesiz Atık Miktarı	2021	2022	2023
Toplam tehlikesiz atık	54,28	44,81	69,67
Düzenli depolama sahasına giden atık	73,96	122,98	139,00
Geri dönüştürülen/kazanılan atıklar	54,28	44,81	69,67

Özellikle 2023 yılında tehlikesiz atık miktarında belirgin bir artış gözlemlenmesine karşın, geri dönüşüm oranlarının da yükselmiş olması dikkat çekmektedir. Her iki tablo birlikte değerlendirildiğinde, Tesis 4'ün hem tehlikeli hem de tehlikesiz atıkların yönetiminde bütüncül ve sistematik bir yaklaşım benimsediği; atıkların geri kazanımına öncelik vererek endüstriyel atık yönetimini döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde yürüttüğü görülmektedir.

Tesis 4, iklim değişikliğinin su kaynaklarının mevcudiyetini ve kalitesini doğrudan etkilediğini kabul ederek su yönetimini kritik bir öncelik olarak ele almaktadır. Artan sıcaklıklar ve değişken yağış rejimleri, su talebini doğrudan etkileyerek su kıtlığı risklerini artırmaktadır. Bu sebeple şirket, değer zincirinde iklim değişikliği ile mücadele stratejilerini sürdürülebilir su yönetimi politikalarıyla entegre biçimde uygulayarak çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı hedeflemektedir. Çevre Politikası

kapsamında sürdürülebilir kaynak kullanımı sağlamak amacıyla doğal kaynak tüketimini kontrol altında tutma taahhüdünde bulunmaktadır. Tesis 4’de endüstriyel atık su oluşmamakta olup, yalnızca yemekhane, tuvalet ve lavabolarda kullanılan sulardan kaynaklanan evsel nitelikli atık sular kanalizasyon sistemi aracılığıyla OSB arıtma tesisine iletilmekte ve burada arıtılarak su döngüsüne geri kazandırılmaktadır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma, endüstriyel atıkların çevresel, ekonomik ve toplumsal boyutlarını çok yönlü biçimde ele almış; betimsel analiz yöntemiyle seçilmiş başarılı kurum örnekleri tematik bir çerçevede incelenmiştir. Çalışmanın amacı, bu uygulamaların hangi kurumsal ve yasal koşullar altında şekillendiği, hangi teknolojik ve süreç odaklı yeniliklerle desteklendiği ve hangi performans göstergeleri üzerinden başarıya ulaştığını ortaya koymaktır. Bulgular, atık türleri ve yönetim yöntemleri, sıfır atık politikalarının yansımaları, teknoloji ve inovasyon kullanımı ile çevresel ve sosyo-ekonomik etkiler kavramları altında incelenmiştir. Kaynağında önleme, yeniden kullanım ve kapalı döngü geri dönüşüm stratejilerinin kurumsal yönetim, dijital izleme sistemleri ve tedarik zinciri iş birlikleriyle güçlendirildiğinde belirgin ölçüde verimlilik artışı ve etki azaltımı sağladığını göstermektedir. Çizelge 5.1’de tesislerin karşılaştırılması ve genel sonuç değerlendirilmesi verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tesislerin karşılaştırılması ve genel sonuç değerlendirmesi.

Kriter	Tesis 1 (Uluslararası)	Tesis 2 (Uluslararası)	Tesis 3 (Uluslararası)	Tesis 4 (Uluslararası)
Sıfır Atık	Operasyon + ambalaj + tedarik zinciri bütünlüklü sıfır atık	Plastik/ambalaj ve e-atıkta döngüsellik, tedarik zinciri ölçekli model	Ürün yaşam döngüsü (tasarım-üretim-kullanım-bertaraf) kaynak döngüsü	Kaynağında ayrıştırma + lisanslı yönetim
Kaynağında Önleme	Ambalaj tasarımında sadeleşme ve geri dönüştürülebilirlik odaklı uygulamalar	Malzeme azaltımı + ikame + geri dönüştürülmüş içerik oranı artırımı	Modüler tasarım, ambalaj hafifletme, tek kullanımlıkları azaltma	Hurda/fire optimizasyonu, tek kullanımlı yerine çoklu kullanım
Geri Dönüşüm	Sevkiyat malzemelerinde iade/bağış uygulamaları	Kapalı döngü geri dönüşüm; okyanusa karışma riski olan plastiğin geri kazanımı	E-atık toplama ve geri kazanım; geri dönüştürülmüş plastik kullanımının artırılması	Atıkların yeniden kullanım/geri dönüşüm/geri kazanım önceliği
Teknoloji/İnovasyon	Yenilenebilir enerji geçişi; süreç ve ambalaj inovasyonu	NextWawe gibi tedarik zinciri ağı; ürün bileşenlerinde yenilikçi malzemeler	Merkezi veri izleme; tesis bazlı iyileştirme planları; sertifikasyon süreçleri	Barkodlu tartım + dijital atık takibi (SELES); süreç otomasyonu
Tedarik Zinciri	Lojistikte yeniden kullanım ve emisyon azaltımına dönük yapı	Tedarikçi eğitimleri, raporlama/standart uyumu, iş ortaklarıyla dönüşüm	Tedarikçi seçimi ve denetim kriterleri; yetkili tedarikçi zorunluluğu	Tedarikçilerle geri dönüşümlü ambalaj/palet azaltımı ve yeniden kullanım çalışmaları

Çizelge 5.1 (devam). Tesislerin karşılaştırılması ve genel sonuç değerlendirmesi.

Sertifikasyonlar	TRUE Platinum vb. sertifikasyonlar;	ISO 14001 ve kurum içi EHS standartları; EPA ödülü	UL sertifikaları; Stewards; EPA ödülü	ZWTL e-	ISO 14001; Sıfır Atık Belgesi,
Sosyal Etki	Bağış ve eğitimlerle toplumsal katkı	Plastik kirliliği odağında toplumsal girişimler	Ücretsiz e-atık geri dönüşüm; veri güvenliği	geri veri	Çalışan farkındalığı ve iç iletişim; evsel bitkisel atık
Katkı/Çıkarım	Ölçülebilir hedefler + sertifikalı yüksek performans	Küresel ölçekte dolaşım zinciri kurma gücü	Yaşam döngüsü temelli sistem + veriyle yönetim + küresel toplama ağı	+	Yerelde uygulama/dijital takip güçlü; raporlama dili yer yer daha genel kalıyor.

Tesis 1'in atık yönetimi stratejilerinden çıkarım yapıldığında, atık türlerinin ayrıştırılması ile geri dönüşüm ve yeniden kullanım yöntemlerinin sistematik biçimde önceliklendirildiği görülmektedir. Sıfır atık vizyonu doğrultusunda tüm tesislerinde %97'nin üzerinde atık saptırma oranına ulaşılması, plastik, metal, ahşap ve karton gibi farklı malzemelerin döngüsel süreçlerle yeniden değerlendirilerek düzenli depolamadan uzaklaştırıldığını göstermektedir. Bu süreç, yenilenebilir enerji kullanımı ve karbon dengeleme uygulamalarıyla desteklenmiş; barkotlu atık izleme sistemleri, elektrikli ekipmanların kullanımı ve ambalajda tek tip geri dönüştürülebilir plastik tercih edilmesi gibi yenilikçi adımlarla güçlendirilmiştir. Çevresel etkiler bakımından sera gazı emisyonlarının telafisi, enerji tüketiminde yenilenebilir kaynaklara yönelim ve su verimliliği uygulamaları öne çıkarken; sosyo-ekonomik açıdan, atık bertaraf maliyetlerinde kayda değer tasarruf sağlanmış, yerel topluluklarla yapılan ürün bağışları aracılığıyla sosyal fayda yaratılmış ve istihdamda yeşil dönüşüm süreçleri desteklenmiştir.

Tesis 2'nin atık yönetimi uygulamaları değerlendirildiğinde, şirketin elektronik atıklar, plastikler, ambalaj malzemeleri ve tehlikeli atıklar gibi farklı kategorileri kapsayan çok yönlü bir strateji benimsediği görülmektedir. Özellikle “NextWave Plastics” girişimi dahilinde, okyanus ve su yollarına karışma riski taşıyan plastiklerin toplanarak ürün ve ambalajlarda yeniden kullanılması, atıkların yalnızca bertaraf edilmesini değil, aynı zamanda döngüsel ekonomi kapsamında yeniden sisteme kazandırılmasını sağlamaktadır. Sıfır atık vizyonu doğrultusunda, tedarikçilerle iş birliği içerisinde atık azaltımına yönelik programlar yürütülmekte; UL2799 ve TRUE

sertifikasyonlarına uyumlu süreçler geliştirerek küresel ölçekte sıfır atık hedeflerinin desteklendiği görülmektedir. Teknoloji ve inovasyon boyutunda biyoplastik kapaklar, geri dönüştürülmüş karbon fiberler, nadir toprak elementlerinin yeniden kullanımı ve dijital raporlama sistemleri gibi yenilikçi çözümler öne çıkmakta, bu sayede ürün tasarımlarında kaynak verimliliği artırılmaktadır. Çevresel etkiler açısından karbon emisyonlarında dikkate değer azalmalar, enerji ve su tasarrufu ile malzeme ikamesine dayalı sürdürülebilirlik kazanımları sağlanmıştır. Sosyo-ekonomik açıdan ise, atık bertaraf maliyetlerinin azaltılması, küresel tedarik zincirinde şeffaflık ve sorumluluk kültürünün güçlendirilmesi, yerel topluluklarda plastik kirliliğinin önlenmesi ve yeşil istihdamın desteklenmesi ön plana çıkmaktadır.

Tesis 3'ün atık yönetimi stratejileri incelendiğinde ise elektronik atıklar, plastikler ve ambalaj malzemeleri başta olmak üzere çeşitli atık türlerinin sistematik biçimde ele alındığı görülmektedir. E-atık toplama ve geri dönüşümü programları, hem düzenli depolamaya yönlendirilen miktarları azaltmış hem de karbon emisyonlarında kayda değer düşüşler sağlamıştır. Sıfır atık stratejisi kapsamında, ZWTL sertifikaları ve küresel ölçekte yürütülen e-atık politikaları, atıkların kaynağında azaltılmasının yaygınlaştırdıklarını ortaya koymuştur. Teknoloji ve inovasyon boyutunda modüler ürün tasarımları, biyoplastik kullanımı, kalıplanmış kağıt yastıklama gibi ambalaj çözümleri ve dijital atık veri yönetim sistemleri öne çıkmıştır.

Tesis 4 ise, şirketin tehlikeli ve tehlikesiz atıkları lisanslı kuruluşlar aracılığıyla ayrı ayrı yöneterek atık türleri ve yönetim biçimleri açısından bütüncül bir yaklaşım benimsediği belirlenmiştir. Sıfır atık konusunda aldıkları belge, üretim firelerinin azaltılması, sevkiyat malzemelerinin yeniden kullanımı ve çalışanların evsel atık yağ toplama süreçlerine katılımının teşvik edilmesi, bu anlayışın kurumsal kültüre entegre edildiğini göstermektedir. Teknoloji ve inovasyon boyutunda da ulusal çapta olmasına rağmen SELES uygulamasıyla barkotlu atık takibi, dijital izleme sistemleri ve geri dönüştürülmüş ahşap paletlerin kullanımını öne çıkıştır. Böylece atıkların kaynağında azaltılması sağlanmaktadır. Çevresel etkiler açısından yüksek geri dönüşüm oranları, tehlikeli atıkların enerji geri kazanımında değerlendirilmesi, evsel nitelikli atık suların OSB arıtma tesislerinde döngüsel olarak yeniden kazandırılması ve doğal kaynak tüketiminin azaltılması dikkat çekmektedir. Sosyo-ekonomik boyutta

ise maliyet avantajı, çalışanlar arasında çevresel sorumluluk bilincinin yaygınlaştırılması, topluluklara gönüllü katkılar ve yeşil üretim anlayışının güçlendirilmesi öne çıkmaktadır.

Tesis 1, Tesis 2 ve Tesis 3, uluslararası ölçekte faaliyet gösteren şirketler olarak endüstriyel atık yönetimi ve sıfır atık stratejilerini küresel standartlarla uyumlu bir şekilde yapılandırırken; Tesis 4, ulusal bir firma olarak Türkiye'deki mevzuat ve sertifikasyon süreçleri doğrultusunda özgün bir model geliştirmiştir. Ortak nokta olarak, tüm firmaların atıkların ayrıştırılması, geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreçlerine öncelik verdikleri ve sıfır atık vizyonunu benimsedikleri görülmektedir. Ancak Tesis 1, karbon nötrlüğü hedefi ve %100 yenilenebilir enerji kullanımıyla çevresel bütünlüğe odaklanırken; Tesis 2, küresel tedarik zincirini kapsayan plastik toplama girişimleri ve döngüsel ekonomi uygulamalarıyla dikkat çekmektedir. Tesis 3 ise ürün yaşam döngüsünü merkeze alan tasarım yaklaşımları ve elektronik atık geri dönüşüm programlarıyla ayrılmaktadır. Tesis 4 ise bu uygulamaları daha sınırlı ölçekte, ancak dijital atık takibi, tehlikeli-tehlikesiz atık ayrımı ve yüksek geri dönüşüm oranlarıyla Türkiye bağlamında etkili biçimde hayata geçirmektedir.

Endüstriyel atık yönetimi ve sıfır atık stratejileri üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, uluslararası firmalarda gözlemlenen bütüncül atık azaltım yaklaşımlarının, sürdürülebilir atık yönetimi literatüründe öne çıkan kavramlarla örtüştüğü görülmektedir. Nabi ve ark. (2023), yeşil teknolojilerin benimsenmesi ve yeşil tedarik zincirinin entegrasyonunun kurumsal sıfır atık performansını doğrudan olumlu yönde etkilediğini, ayrıca kurumsal sosyal sorumluluk niyetlerinin bu ilişkiyi güçlendirdiği ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, Tesis 1'in karbon nötrlük hedefleri ve yenilenebilir enerjiye geçişi; Tesis 2 ve Tesis 3'ün geri dönüştürülmüş malzemelerin entegrasyonu ile tedarikçileri kapsayan sıfır atık uygulamalarını; Tesis 4'ün ise dijital izleme sistemleri ve yüksek geri dönüşüm oranlarıyla şekillenen ulusal ölçekli modeli, literatürde vurgulandığı gibi teknolojik yenilik, tedarik zinciri iş birliği ve sürdürülebilir taahhütler aracılığıyla başarının mümkün olduğunu doğrulamaktadır. Benzer biçimde, Almansour ve Akrami'nin (2024) çalışması da sıfır atık politikalarının ulusal stratejiler, döngüsel ekonomi çerçeveleri ve üretici sorumluluğu sistemleriyle desteklenmesinin yalnızca atık miktarını azaltmakla kalmayıp çevresel

ve ekonomik kazanımlar da sağladığını göstermektedir. Bu bulgular doğrultusunda, araştırmada incelenen kurumsal modeller ile literatürde öne çıkan teorik yaklaşımlar arasında güçlü bir uyum bulunduğu; ancak ulusal ölçekli firmalar açısından ölçek ve sertifikasyon erişimi bağlamında sınırlılıklar olmasına rağmen, yerel koşullara uygun ve etkili çözümler geliştirilebileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

Bu araştırmada ulaşılan bulgular doğrultusunda, endüstriyel atık yönetimi ve sıfır atık stratejilerinin geliştirilmesine yönelik öneriler şu şekilde sıralanabilir;

- Uluslararası firmaların ölçek avantajları ve küresel sertifikasyonlara erişim imkanları dikkate alındığında, Türkiye’de faaliyet gösteren işletmelerin de benzer sertifikasyon süreçlerine dahil olabilmeleri için devlet destekli teşvik mekanizmalarının ve düzenleyici stratejilerin güçlendirilmesi gerekmektedir.
- Tesis 4 örneğinde olduğu gibi barkotlu atık takibi ve dijital izleme uygulamalarının yaygınlaştırılması, ulusal ölçekte entegre bir atık izleme sisteminin kurulmasıyla firmaların süreçlerinin daha şeffaf ve karşılaştırılabilir bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir.
- Tesis 1, Tesis 2 ve Tesis 3 örneklerinde görüldüğü üzere, sıfır atık politikalarının kurumsal kültüre entegre edilmesi ekonomik ve sosyal kazanımlar sağlamaktadır. Burada çıkarımla Türkiye’deki işletmeler açısından sıfır atık yaklaşımının yasal yükümlülüklerin ötesine geçerek gönüllülük esasına dayalı bir kültür haline getirilmesi önemlidir.
- Uluslararası ve ulusal firmalar açısından ölçek farklılıklarının sıfır atık uygulamalarının başarı düzeyine etkisinin daha kapsamlı araştırmalarla incelenmesi mümkündür. Bu alandaki literatür oldukça sınırlı olduğundan, mevcut çalışma bu yönüyle alana özgü bir katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, sektörlerdeki uygulamaların karşılaştırmalı olarak ele alınması, endüstriyel atık yönetimine yönelik literatürün zenginleşmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Afşin, C., 2014. Endüstriyel Atık Yönetimi ve Tüdemsaş Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Ahmadi, M., 2017. Evaluating the performance of 3Rs waste practices: Case study-region one municipality of Tehran, *Advances in Recycling and Waste Management*, 2, 130, 2.
- Ahsan, S. A., Lackovic, M., Katner, A. ve Palermo, C., 2009. Metal fume fever: A review of the literature and cases reported to the Louisiana Poison Control Center, *Journal of the Louisiana State Medical Society*, 161, 6, 348-351.
- Aka, D. Ç., 2022. Endüstriyel katı atık geri dönüşümünün çevresel ve ekonomik performansa etkisini belirlemeye yönelik bir sistem dinamiği modeli önerisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Akdeniz, A., 2024. Sürdürülebilir Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm, *Akademik Bakış Turizm Sektörü*, 1.
- Aksakal, Y., 2002. Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde Entegre Katı Atık Yönetimi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Aktaş, D. E., 2024. Zero Waste or Recycling? An Exploration of Zero Waste Practices in Turkey, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara.
- Alaghemandi, M., 2024. Sustainable solutions through innovative plastic waste recycling technologies, *Sustainability*, 16, 23, 10401.
- Almansour, M. ve Akrami, M., 2024. Towards Zero Waste: An In-Depth Analysis of National Policies, Strategies, and Case Studies in Waste Minimisation, *Sustainability*, 16, 22, 10105.
- Alphan, Y., 2025. Samsun İlinde Sıfır Atık Uygulamalarının Mevcut Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Sinop Üniversitesi, Sinop.
- Anishchenko, V., Marhasova, V., Fedorenko, A., Puzyrov, M. ve Ivankov, O., 2019. Ensuring Environmental Safety Via Waste Management, *Journal of Security & Sustainability Issues*, 8, 3.
- Argun, Y. A., Karacali, A., Calisir, U. ve Kilinc, N., 2017. Composting as a waste management method, *Journal of International Environmental Application and Science*, 12, 3, 244-255.
- Arutan, P., 2013. Tehlikeli atık ara depolama tesisine kabulü yapılan atıkların envanteri, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.

- Awuchi, C. G., Hannington, T., Awuchi, C. G., Igwe, V. S. ve Amagwula, I. O., 2020. Industrial waste management, treatment, and health issues: Wastewater, solid, and electronic wastes, *European Academic Research*, 8, 2, 1081-1119.
- Bailey, K., 1982. *Methods of social research*, 2. Baskı, The Free Press, New York, USA.
- Bilgili, M. Y., 2020. Sıfır Atık Yaklaşımının Kökenleri ve Günümüzdeki Anlamı, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20, 40, 683-703.
- Bulut, A. ve Şengül, H., 2023. Atık Yönetimi ve Sıfır Atık Projesinin Değerlendirilmesi: İstanbul İli Örneği, *Sağlık ve Sosyal Refah Araştırmaları Dergisi*, 5, 1, 85-97.
- Caravanos, J., Chatham-Stephens, K., Ericson, B., Landrigan, P. J. ve Fuller, R., 2013. The burden of disease from pediatric lead exposure at hazardous waste sites in 7 Asian countries, *Environmental Research*, 120, 119-125.
- Carver, G. W., 1894. *Plants as Modified by Man*, Lisans Tezi, The University of Iowa, Iowa, USA, Iowa State University Library Digital Collections, URL adres: <https://n2t.net/ark:/87292/w9rp9f> Erişim Tarihi: 12.06.2025.
- Cheng, K. M., Tan, J. Y., Wong, S. Y., Koo, A. C. ve Amir Sharji, E., 2022. A review of future household waste management for sustainable environment in Malaysian cities, *Sustainability*, 14, 11, 6517.
- Chew, X., Khaw, K. W., Alnoor, A., Ferasso, M., Al Halbusi, H. ve Muhsen, Y. R., 2023. Circular economy of medical waste: Novel intelligent medical waste management framework based on extension linear Diophantine fuzzy FDOSM and neural network approach, *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 21, 60473-60499.
- Codinhoto, R., Becher, O., Heron, J. N. ve Donato, V., 2021. BIM bin: Waste management through BIM and digital twin, ss. 265-294, in: *Handbook of Research on Developing Smart Cities Based on Digital Twins*, IGI Global, Hershey, PA, USA.
- Cubillos, M., 2020. Multi-site household waste generation forecasting using a deep learning approach, *Waste Management*, 115, 8-14.
- Çağlayan, M., 2024. İklim Değişikliği ve Sıfır Atık Politikalarının Türkiye’de Yerel Yönetimler Düzeyinde İncelenmesi, Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, Bartın.
- Çelik, B. ve Demirarslan, K. O., 2013. Endüstriyel Katı Atık Yönetimine Genel Bir Bakış.
- ÇŞB, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015. Atık Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 29314, 02.04.2015.

- Değirmenci, B., 2022. İmalat İşletmelerinde Atık Yönetimi: Literatürde Yer Alan Çalışmaların İncelenmesi, Bucak İşletme Fakültesi Dergisi, 5, 2, 176-195.
- Dell Technologies, 2024. Environmental, Social and Governance Report (FY24 ESG Report), Kurumsal Sürdürülebilirlik (ESG) Raporu, Dell Technologies Inc.
- DSÖ, Dünya Sağlık Örgütü 2007. Nüfus Sağlığı ve Atık Yönetimi: Bilimsel Veriler ve Politika Seçenekleri, WHO Çalıştay Raporu.
- Earth Friendly Products (ECOS) (2024). Sustainability Report: Our Journey to a Climate Positive Clean, Cypress, United States.
- Eraslan, M., 2012. Entegre Katı Atık Yönetim Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Erdoğan, İ. ve Ejder, N., 1997. Bilimde Tanımlama ve Tanımla Gelen Sınırlamalar: Atık Yaklaşımı ve ÇED Örneği, Karadeniz Teknik Üniversitesi Peyzaj Bölümü.
- Ermetal A.Ş. (2023). 2023 Sürdürülebilirlik Raporu, Bursa, Türkiye.
- Fazzo, L., Minichilli, F., Santoro, M., Ceccarini, A., Della Seta, M., Bianchi, F., Comba, P. ve Martuzzi, M., 2017. Hazardous waste and health impact: A systematic review of the scientific literature, Environmental Health, 16, 1, 107.
- Ghanbari, F., Kamalan, H. ve Sarraf, A., 2023. Predicting solid waste generation based on the ensemble artificial intelligence models under uncertainty analysis, Journal of Material Cycles and Waste Management, 25, 2, 920-930.
- Gökşin, I., 2009. Gebze Organize Sanayi Bölgesi Tehlikeli Atık Envanterinin Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- Graedel, T. E., Allwood, J., Birat, J.-P., Buchert, M., Hagelüken, C., Reck, B. K., Sibley, S. F. ve Sonnemann, G., 2011. What Do We Know About Metal Recycling Rates?, Journal of Industrial Ecology, 15, 3, 355-366.
- Güden, H. Ö., 2011. Amasya Merzifon Organize Sanayi Bölgesinde Endüstriyel Atık Yönetiminin İncelenmesi ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Gündüz, E. ve Varınca, K., 2007. Organize Sanayi Bölgelerinde Katı Atık Yönetimi ve Tuzla Mermerciler Organize Sanayi Bölgesi Örneği, AB Sürecinde Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, İstanbul.
- Gündüzalp, A. A. ve Güven, S., 2016. Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya Belediyesi ve semt tüketicileri örneği, Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi, 9, 1, 1-19.

- Gürcan, C. ve Açıksöz, S., 2023. Akıllı atık yönetimi ve örnek uygulamalar, Kent Akademisi, 16, 1, 577-594.
- Hakim, C., 1982. Secondary Analysis in Social Research: A Guide to Data Sources and Methods with Examples, Unwin Hyman, London, UK.
- Hakim, C., 2000. Research Design: Successful Designs for Social and Economic Research, 2. Baskı, Routledge, London, UK.
- Hariyani, D., Hariyani, P., Mishra, S. ve Sharma, M. K., 2025. A Literature Review on Waste Management Treatment and Control Techniques, Sustainable Futures, 100728.
- Hartley, J. F., 1995. Case Studies in Organizational Research, Sage, London, UK.
- Hasan, M. A., Mallick, J., Ahmed, M. ve Saleem, M., 2020. Hazardous Wastes and its Impact on Human Health, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 804, 1, 012056.
- Hidayat, Y. A., Kiranamahsa, S. ve Zamal, M. A., 2019. A study of plastic waste management effectiveness in Indonesia industries, AIMS Energy, 7, 3.
- Hong, Y.-S., Song, K.-H. ve Chung, J.-Y., 2014. Health effects of chronic arsenic exposure, Journal of Preventive Medicine and Public Health, 47, 5, 245.
- Ikizoglu, B., 2024a. Investigation of zero waste management behavior in Turkey, Global Nest Journal, 26, 3.
- Ikizoglu, B., 2024b. The Development of a Zero Waste and Sustainable Waste Management Behavior Scale in Türkiye, Sustainability, 16, 23.
- Iloms, E., Ololade, O. O., Ogola, H. J. ve Selvarajan, R., 2020. Investigating industrial effluent impact on municipal wastewater treatment plant in Vaal, South Africa, International Journal of Environmental Research and Public Health, 17, 3, 1096.
- Ionescu, A.-M. ve Cazan, C., 2024. Pharmaceutical Waste Management: A Comprehensive Analysis of Romanian Practices and Perspectives, Sustainability, 16, 15.
- Iqbal, M. W., Kang, Y. ve Jeon, H. W., 2020. Zero waste strategy for green supply chain management with minimization of energy consumption, Journal of Cleaner Production, 245, 118827.
- Kang, D. H. P., Chen, M. ve Ogunseitan, O. A., 2013. Potential Environmental and Human Health Impacts of Rechargeable Lithium Batteries in Electronic Waste, Environmental Science & Technology, 47, 10, 5495-5503.

- Karaman, A., 2023. Malatya İli Tehlikeli Atık Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Karasik, R., 2022. Plastic pollution policy country profile: Turkey, Ni Pb, 22-11.
- Kayabınar, A., 2010. Ankara OSTİM OSB'nin Seçilmiş Öncelikli Sektörlerinde Tehlikeli Atık Üretiminin Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Kayhan, E. ve Demirer, A., 2016. Polimer işleme sektörlerindeki meslek hastalıkları, kazalar ve iş güvenliği, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20, 3, 497-507.
- Kerdlap, P., Low, J. S. C. ve Ramakrishna, S., 2019. Zero waste manufacturing: A framework and review of technology, research, and implementation barriers for enabling a circular economy transition in Singapore, Resources, Conservation and Recycling, 151, 104438.
- Kumar, R., Gupta, G., Hussain, A., Rani, A., Thapliyal, A., Gunsola, D., Chattaraj, S., Ganguly, A., Panneerselvam, P., Guerra-Sierra, B. E. ve Mitra, D., 2025. Pioneering zero-waste technologies utilization and its framework on sustainable management: International, national and state level, Discover Applied Sciences, 7, 3.
- LaGrega, M. D., Buckingham, P. L. ve Evans, J. C., 2010. Hazardous Waste Management, Waveland Press, Long Grove, IL, USA.
- LeCompte, M. D. ve Goetz, J. P., 1982. Problems of Reliability and Validity in Ethnographic Research, Review of Educational Research, 52, 1, 31-60.
- Lellis, B., Fávaro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A. ve Polonio, J. C., 2019. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms, Biotechnology Research and Innovation, 3, 2, 275-290.
- Lu, Z., Cai, J., Yu, Q. ve Xie, A., 2000. The influences of materials flow in steel manufacturing process on its energy intensity, Acta Metallurgica Sinica, 36, 4, 370-378.
- Maçın, K. E., Arıkan, O. A. ve Damgaard, A., 2025. An MFA–LCA framework for goal-oriented waste management studies: ‘Zero Waste to Landfill’ strategies for institutions, Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, 43, 7, 1034-1047.
- Mauch, C., 2016. Introduction: The call for zero waste, RCC Perspectives, 3, 5-12.
- Meriç, G. ve Kayranlı, B., 2003. Endüstriyel Katı Atık Yönetimi, Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Adana, 5.

- Mishra, K., Banerjee, A., Ranga, M. M., Jhariya, M. K., Yadav, D. K. ve Raj, A., 2020. Solid waste management scenario in Ambikapur, Surguja, Chhattisgarh: A sustainable approach, ss. 297-336, in: Climate Change and Agroforestry Systems, Apple Academic Press, Boca Raton, FL, USA.
- Nassani, A. A., Hussain, H., Condrea, E., Grigorescu, A., Yousaf, Z. ve Haffar, M., 2023. Zero waste management: Investigation of green technology, the green supply chain, and the moderating role of CSR intentions, Sustainability, 15, 5, 4169.
- Oladimeji, T. E., Oyedemi, M., Emetere, M. E., Agboola, O., Adeoye, J. B. ve Odunlami, O. A., 2024. Review on the impact of heavy metals from industrial wastewater effluent and removal technologies, Heliyon, 10, 23.
- Olawade, D. B., Fapohunda, O., Wada, O. Z., Usman, S. O., Ige, A. O., Ajisafe, O. ve Oladapo, B. I., 2024a. Smart waste management: A paradigm shift enabled by artificial intelligence, Waste Management Bulletin, 2, 2, 244-263.
- Olawade, D. B., Wada, O. Z., Ore, O. T., David-Olawade, A. C., Esan, D. T., Egbewole, B. I. ve Ling, J., 2024b. Trends of solid waste generation during COVID-19 pandemic: A review, Waste Management Bulletin, 1, 4, 93-103.
- Özcan, T., 2022. Nesnelerin İnterneti Özellikli Sensörlerin Akıllı Atık Yönetimine Katkısı, Yapı Bilgi Modelleme, 4, 1, 14-22.
- Özyardımcı, E. E. ve Bilgin, H., 2023. Katı Atık Yönetimi: Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Örneği, Akademik Hassasiyetler, 10, 23, 28-51.
- Pamintuan, M., Mantiquilla, S. M., Reyes, H. ve Samonte, M. J., 2019. i-BIN: An intelligent trash bin for automatic waste segregation and monitoring system, 2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), 1-5.
- Paul, M. ve Bussemaker, M. J., 2020. A web-based geographic interface system to support decision making for municipal solid waste management in England, Journal of Cleaner Production, 263, 121461.
- Pilon, L., Day, D., Maslen, H., Stevens, O. P., Carslaw, N., Shaw, D. R. ve Sneddon, H. F., 2024. Development of a solvent sustainability guide for the paints and coatings industry, Green Chemistry, 26, 18, 9697-9711.
- Ram, C., Kumar, A. ve Rani, P., 2021. Municipal solid waste management: A review of waste to energy (WtE) approaches, Bioresources, 16, 2, 4275.
- Razzak, S. A., Faruque, M. O., Alsheikh, Z., Alsheikhmohamad, L., Alkuroud, D., Alfayez, A., Hossain, S. Z. ve Hossain, M. M., 2022. A comprehensive review

- on conventional and biological-driven heavy metals removal from industrial wastewater, *Environmental Advances*, 7, 100168.
- Robson, C. ve McCartan, K., 2016. *Real World Research*, 4. Baskı, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK.
- Salihoğlu, G., 2019. Tehlikeli Atık Yönetimi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 55 s., Ankara.
- Saxena, S., 2025. Pyrolysis and beyond: Sustainable valorization of plastic waste, *Applications in Energy and Combustion Science*, 21, 100311.
- Shah, M. P., 2016. Industrial wastewater treatment: A challenging task in the industrial waste management, *Advances in Recycling and Waste Management*, 2, 115.
- Shammas, N. K., Wang, L. K., Aulenbach, D. B. ve Selke, W. A., 2008. Treatment of nickel-chromium plating waste, ss. 529-556, in: *Advances in Hazardous Industrial Waste Treatment*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Sharma, P. ve Singh, S. P., 2021. Pollutants characterization and toxicity assessment of pulp and paper industry sludge for safe environmental disposal, ss. 207-223, in: Haq, I. ve Kalamdhad, A. S. (Ed.), *Emerging Treatment Technologies for Waste Management*, Springer, Singapore.
- Song, Q., Li, J. ve Zeng, X., 2015. Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy, *Journal of Cleaner Production*, 104, 199-210.
- Spyridis, Y., Argyriou, V., Sarigiannidis, A., Radoglou, P. ve Sarigiannidis, P., 2024. Autonomous AI-enabled industrial sorting pipeline for advanced textile recycling, 2024 20th International Conference on Distributed Computing in Smart Systems and the Internet of Things (DCOSS-IoT), 455-461.
- Sundaralingam, S. ve Ramanathan, N., 2023. A deep learning-based approach to segregate solid waste generated in residential areas, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 13, 2, 10439-10446.
- Şensoy, B. ve Balbay, Ş., 2025. Industrial Wastes in Türkiye and Characterization Methods, *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, 7, 102-125.
- Şolt, H. B. H., 2023. Evaluation of the Zero Waste Project in Istanbul District Municipalities from the Perspective of Sustainable Urban Planning, *Sustainability*, 15, 15, 1-18.
- Tait, P. W., Salmona, J., Sandhu, M., Guscott, T., King, J. ve Williamson, V., 2025. Economic, Environmental, and Sociopolitical Aspects of Waste Incineration: A Scoping Review, *Sustainability*, 17, 12, 5528.

- Taylor, J., 2021. Environmental Protection Agency Honors LG for Responsible Electronics Recycling Leadership, LG Electronics USA, 3 s., LG Electronics.
- Timotius, E. ve Sukmarani, G., 2021. Industrial waste treatment management: A review, Journal of Science and Applied Engineering, 4, 1, 01-08.
- Troschinetz, A. M. ve Mihelcic, J. R., 2009. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries, Waste Management, 29, 2, 915-923.
- UNECE, 2011. İklim Dostu Kentler: Kentleri Daha Az Enerji ve Karbon Yoğun, İklimsel Zorluklara Daha Dayanıklı Hale Getirmek, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu, Cenevre.
- Uygun, S., 2012. Ülkemizde Kompost Üretimi Yapan Bazı Tesislerdeki Mekanizasyon Uygulamalarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Valenzuela-Venegas, G., Salgado, J. C. ve Díaz-Alvarado, F. A., 2016. Sustainability indicators for the assessment of eco-industrial parks: Classification and criteria for selection, Journal of Cleaner Production, 133, 99-116.
- Van, L. M., Prokop, G., Rabl-Berger, S., Kibblewhite, M. ve Louwagie, G., 2014. Progress in the management of contaminated sites in Europe.
- Yadav, R. ve Kumar, K., 2017. Treatment of industrial wastes: Issues, challenges & solutions, World Journal of Pharmaceutical Research, 6, 5, 1414-1436.
- Yakan, M., 2017. Endüstriyel Atık Yönetimi–Sinop Organize Sanayi Bölgesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Sinop Üniversitesi, Sinop.
- Yaman, K. ve Olhan, E., 2010. Atık Yönetiminde Sıfır Atık Yaklaşımı ve Bu Anlayışa Küresel Bir Bakış, Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, 3, 1, 53-57.
- Yelkenci, H. Y., 2024. Endüstriyel Atık Yönetiminde İş Güvenliği, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H., 2011. Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri, 8. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Yılmaz, A., 2015. Küresel Isınmanın Dünya Su Rezervleri Üzerindeki Etkileri, Kent Akademisi, 8, 22, 63-72.
- Yılmaz, A. ve Bozkurt, Y., 2010. Türkiye’de Kentsel Katı Atık Yönetimi Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (KÜKAB) Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 15, 1, 11-28.
- Yin, R., 1984. Case Study Research: Design and Methods, Sage, Beverly Hills, CA, USA.

- Yürür, E. E., Abalı, Y. ve Çağlayan, B., 2021. Denizel Ekosistem Üzerine Olumsuz Etkisi Olan Bitkisel Atık Yağların Biyodizel Olarak Geri Kazanımı, Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1, 31, 1-12.
- Zaman, A. U. ve Lehmann, S., 2013. The zero waste index: A performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city', Journal of Cleaner Production, 50, 123-132.
- Ziraba, A. K., Haregu, T. N. ve Mberu, B., 2016. A review and framework for understanding the potential impact of poor solid waste management on health in developing countries, Archives of Public Health, 74, 1.
- URL-1 <<https://www.dell.com/en-us/blog/five-years-of-progress-recycling-ocean-bound-plastics/>>, Erişim tarihi: 17.07.2025.
- URL-2 <<https://www.datainsightsmarket.com/reports/industrial-waste-management-service-1413094>>, Erişim tarihi: 22.08.2025.
- URL-3 <<https://www.merryfield.com/stories/2tqlQf9or03JAgFpuWgkeA/get-to-know-ecos-r-the-pioneer-in-green-cleaning>>, Erişim tarihi: 05.07.2025.
- URL-4 <<https://www.ecos.com/our-story/>>, Erişim tarihi: 06.07.2025.
- URL-5 <<https://www.epa.gov/circulareconomy/success-stories-reducing-waste>>, Erişim tarihi: 03.06.2025.
- URL-6 <<https://www.ecos.com/wp-content/uploads/2024/03/ECOS-Sustainability-Report-2022FINAL.pdf>>, Erişim tarihi: 05.06.2025.
- URL-7 <https://www.lg.com/content/dam/lge/global/sustainability/pdf/2024-2025_LGE_Sustainability_Report_English.pdf>, Erişim tarihi: 15.06.2025.
- URL-8 <<https://www.nrdc.org/bio/daniel-rosenberg/burned-why-waste-incineration-harmful>>, Erişim tarihi: 31.05.2025.
- URL-9 <<https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024>>, Erişim tarihi: 02.06.2025.
- URL-10 <<https://www.itpro.com/hardware/everything-you-need-to-know-about-dell>>, Erişim tarihi: 25.07.2025.
- URL-11 <<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng>>, Erişim tarihi: 28.06.2025.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : İrfan ÖKSÜM

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Bölümü, 2012.

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre
Mühendisliği Anabilim Dalı, 2025.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Alka Çevre (17.07.2012 – 30.07.2013) / Çevre Mühendisi
2. Haliç Çevre (21.08.2013 – 14.12.2013) / Çevre Mühendisi
3. Serra Mühendislik (16.12.2013 – Devam ediyor) / Çevre Mühendisi

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Öksüm, İ. ve Koçyiğit, H., 2025. Endüstriyel Atık Yönetimi ve Sıfır Atık Stratejileri,
4. Uluslararası / 16. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Samsun, Türkiye,
15–17 Ekim.