

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

**YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE
SÜRDÜRÜLEBİLİR KATI ATIK YÖNETİMİ;
KOCAELİ İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ece Begüm BAKKALOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı

: ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı

: Dr. Öğr. Üyesi Aliye Suna ERSES YAY

Şubat 2022

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE
SÜRDÜRÜLEBİLİR KATI ATIK YÖNETİMİ;
KOCAELİ İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ece Begüm BAKKALOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ece Begüm BAKKALOĞLU

30/12/2021

TEŞEKKÜR

Tez sürecim boyunca bilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Aliye Suna Erses Yay’a, eğitim hayatım boyunca bende emeği olan tüm öğretmenlerime, aynı zamanda tez çalışmamda kullanmak üzere veri paylaşımında bulunan Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı ve belediye iştiraki İzaydaş’a, teşekkür ederim.

Doğduğum andan beri mutlu bir hayat sürmem için çırpınıp çabalayan, beni sevgisi ile donatan biricik anneme, varlığına doyamadığım ve her zaman layık olmaya çalıştığım kıymetli babama ve aileme sonsuz teşekkür ederim. Tanıdığım günden beri mutluluğuma mutluluk katan her an destekçim olan ve tüm hayatımda benimle olacağını bildiğim yol arkadaşına sevgiyle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1. Atık kavramı	5
2.1.1. Atık nedir.....	5
2.1.2. Atıkların sınıflandırılması	6
2.1.2.1. Katı atıklar.....	7
2.1.2.1.1. Kentsel katı atıklar.....	7
2.1.2.1.2. Endüstriyel katı atıklar	9
2.1.2.1.3. Kentsel katı atıklar.....	9
2.1.2.1.4. Tarımsal (zirai) atıklar.....	9
2.1.2.1.6. Tıbbi atıklar	10
2.1.2.2. Sıvı atıklar	11
2.1.2.3. Gaz atıklar	11
2.2. Sürdürülebilirlik kavramı.....	12
2.3. Atık yönetimi	15

2.3.1. Atıkların bertarafı	16
2.3.1.1. Düzenli depolama.....	16
2.3.1.2. Kompostlaştırma	18
2.3.1.3. Yakma	19
2.3.2. Atık yönetiminde ulusal ve uluslararası yönetmelikler	20
2.3.3. Entegre katı atık yönetimi	23
2.4. Life Cycle Assessment (LCA) kavramı ve tarihçesi	25
2.4.1. LCA tanımı	25
2.4.2. LCA'nın tarihçesi	26
2.4.3. LCA çeşitleri ve kullanım alanları.....	27
2.4.4. LCA üzerinde çalışan kuruluşlar	29
2.5. Yapılmış örnek çalışmalar	30
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	40
3.1. Amaç ve kapsam.....	40
3.1.1. Çalışma alanı	41
3.2. Veri toplama	42
3.2.1. Düzenli depolama	44
3.2.2. LFG enerji üretim	46
3.2.3. Çöp suyu arıtma tesisi.....	48
3.2.4. Yakma tesisi	50
3.3. Etkilerin değerlendirilmesi	50
3.4. Analiz ve yorum	51
 BÖLÜM 4.	
BULGULAR VE TARTIŞMA	52
4.1. Küresel ısınma potansiyeli.....	54
4.2. Asidifikasyon potansiyeli	55
4.3. Ötrofikasyon potansiyeli.....	57
4.4. Abiyotik kullanım potansiyeli	59
4.5. Ozon tabakası deplasyon potansiyeli.....	60

4.6. Fotokimyasal oksidasyon oluşturma potansiyeli	61
4.7. Duyarlılık analizi sonuçları	61
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEçMİş	73



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbon Dioksit
H ₂ S	: Hidrojen Sülfür
EPD	: Environmental Product Declaration
LCA	: Life Cycle Assessment
ISO	: International Organization of Standardisation
SETAC	: Society for Environment Toxicology and Chemistry
US EPA	: United States Environmental Protection Agency
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TSE	: Türkiye Standartları Enstitüsü
İzaydaş	: İzmit Atık ve Artıkları Arıtma, Yakma ve Değerlendirme A.Ş.
KKA	: Kentsel katı atık
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
US EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
İSTAÇ AŞ	: İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
AB	: Avrupa Birliği
EPA	: Environmental Protection Agency
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
REPA	: Kaynak ve Çevresel Profil Analizleri
CO ₂	: Karbondioksit
GWP	: Küresel ısınma potansiyeli
AP	: Asitleşme potansiyeli
EP	: Ötrofikasyon potansiyeli
FEC	: Yakıt-enerji tüketimi
PET	: Polietilen tereftalat
PE	: Polietilen

MCGF	: Meteorolojik koşullar ve jeolojik oluşumlar
İSU	: İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi
MBR	: Membran biyoreaktör
NF	: Nanofiltrasyon
TKN	: Toplam kjeldahl azotu
NH ₃ -N	: Amonyak azotu
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
NH ₃	: Amonyum
HCl	: Hidroklorik asit
CFC	: Kloroflorokarbon
HCFC	: Hidrokloroflorokarbon
CH ₃ Br	: Halon metil bromür
CO	: Karbon monoksit
SO ₂	: Kükürt dioksit
NO	: Nitrojen oksit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları.....	14
Şekil 3.1. Sistem sınırları	41
Şekil 3.2. Kocaeli katı atık bertaraf tesisleri	42
Şekil 3.3. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi kentsel katı atık sınıflandırılması	43
Şekil 3.4. Kentsel katı atık lot planı	45
Şekil 3.5. Kentsel katı atık lotunun taban kesiti.....	46
Şekil 3.6. Çöp suyu arıtma prosesi ana akış şeması.	49
Şekil 3.7. Çöp suyu arıtma tesisi genel görünümü.....	49
Şekil 4.1. Yaşam döngüsü karakterizasyon analiz sonuçları	53
Şekil 4.2. Yaşam döngüsü normalizasyon analiz sonuçları	53
Şekil 4.3. Düzenli depolama yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan asidifikasyon potansiyeli, Senaryo 1.	56
Şekil 4.4. Geri dönüşüm ile birlikte düzenli depolama yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan asidifikasyon potansiyeli, Senaryo 2.	57
Şekil 4.5. Tümüyle yakma yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan asidifikasyon potansiyeli, Senaryo 3	57
Şekil 4.6. Düzenli depolama yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan ötrofikasyon potansiyeli, Senaryo 1.	58
Şekil 4.7. Geri dönüşüm ile birlikte düzenli depolama yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan ötrofikasyon potansiyeli, Senaryo 2.	59
Şekil 4.8. Tümüyle yakma yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan ötrofikasyon potansiyeli, Senaryo 3.	59
Şekil 4.9. Katı atık yönetim senaryolarının Impact 2002 metodolojisi ile kıyaslama grafiği-Karakterizasyon.....	62
Şekil 4.10. Katı atık yönetim senaryolarının Impact 2002 metodolojisi ile kıyaslama grafiği-Normalizasyon.....	63

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kentsel katı atıkların kaynakları ve türleri	8
Tablo 2.2. Tıbbi atık göstergeleri.....	10
Tablo 2.3. Katı atık yakma tesisinde yürütülen faaliyetler	19
Tablo 2.4. Türkiye’de atık yönetimi konusunda yönetmelikler.....	20
Tablo 2.5. Entegre katı atık yönetimi unsurları.....	24
Tablo 3.1. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi kentsel katı atıkların yıllara göre ortalama miktarı.....	43
Tablo 3.2. 2016-2020 yılları arasında Kocaeli depolama sahası atık miktarları.....	44
Tablo 3.3. Depo alanındaki lotların alan ve hacimleri	45
Tablo 3.4. Kocaeli deponi gaz değerleri	47
Tablo 3.5. Kocaeli depolama sahası için tesiste üretilen brüt enerji miktarı ve satılan enerji.....	47
Tablo 3.6. Dilovası depolama sahası için tesiste üretilen brüt enerji miktarı ve satılan enerji.....	48
Tablo 3.7. 2016-2020 yılları arasındaki çöp suyu miktarları	48
Tablo 3.8. Yıllara göre tesiste arıtılan çöp suyu ve çıkan arıtma çamuru miktarları	48
Tablo 3.9. Çöp sızıntı suyu giriş parametreleri	50

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yaşam döngüsü analizi, sürdürülebilir atık yönetimi, bertaraf yöntemleri, entegre atık yönetimi, katı atık.

Katı atıkların toplanması ve bertaraf edilmesi sosyal, ekonomik, kültürel ve çevresel olarak kozmopolit yapıları nedeniyle büyük şehirlerin ciddi sorunları arasındadır. Çevresel ve sosyal açıdan etkin bir ayrıştırma-toplama ve geri dönüşüm ve bertaraf yöntemini ortaya koymak için katı atık bertaraf yönteminin seçimi, geri dönüştürülmüş ambalaj malzemesi miktarları, kaynak tüketimleri, ilgili emisyonlar, çalışma koşulları, sosyal kabul edilebilirlik ve insan hakları gibi konuları içeren bütüncül bir yaklaşımla analiz edilerek gerçekleştirilmelidir.

Sunduğumuz tez kapsamında mevcut ve alternatif katı atık yönetim sistemleri incelenmiş; küresel, çevresel ve insan üzerindeki etkiler açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elimizdeki araştırma temel olarak uzun vadeli bir saha gözlemine, veri toplamaya ve mevcut sistem analizine dayanmaktadır. Mevcut sistem analizinin ardından araştırma alanı için alternatif senaryo da belirlenmiştir. Analiz edilmek ve etkileri kıyas edilmek üzere üç ayrı senaryo belirlenmiştir. Tüm belediye katı atıkların doğrudan düzenli depolanması, katı atıkların hedef 23 planına uygun olarak %35'nin geri dönüşüme kazandırılması sonrasında doğrudan depolanması ve son olarak da tüm katı atık materyallerinin tamamının yakılması şeklindedir. Senaryoların çevresel etkileri Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi metodolojisi kullanılarak belirlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarında, doğrudan düzenli depolama ve geri dönüşüm sonrasında düzenli depolama işleminin küresel ısınma ve fotokimyasal oksidasyon potansiyeli gibi çevresel etkilerinin olumsuz yönde daha etkili olduğunu görülmüştür. Öte yandan asidifikasyon, ötrofikasyon ve ozon tabakasına etkileri yönüyle katı atıkların tamamının yakılması senaryosu daha dezavantajlı bulunmuştur.

Sonuç olarak, lokalizasyona uygunluğu değerlendirerek entegre sistemlerin kurulması muhtemel en optimal katı atık yönetim sistemi olacaktır.

SUSTAINABLE SOLID WASTE MANAGEMENT WITH LIFE CYCLE ANALYSIS FOR KOCAELI PROVINCE

SUMMARY

Keywords: Life cycle analysis, sustainable waste management, disposal methods, integrated waste management, solid waste.

Solid waste collection and disposal are severe problems among metropolitan cities due to their social, economic, cultural, and environmental cosmopolitan structures. To reveal an environmentally and socially effective sorting-collection and recycling and disposal method, a holistic approach to the selection of solid waste disposal method includes the amounts of recycled packaging material, resource consumptions, related emissions, working conditions, social acceptability human rights should be analyzed and realized.

Within the thesis's scope, existing and alternative solid waste management systems were examined and compared in terms of global, environmental, and human impacts. The research at our disposal was mainly based on long-term field observation, data collection, and analysis of existing systems. After the current system analysis, an alternative scenario for the research area was also determined. He would identify three strategies for analyzing and comparing their effects: direct landfilling of solid waste in the entire municipality, natural storage of solid waste after recycling 35% following the target 23 plan, and finally incineration of all solid waste materials. Both environmental impacts of the scenarios were determined using the Life Cycle Assessment methodology.

The study results showed that direct storage and storage after recyclable waste decomposition are more effective in the negative impact of environmental effects such as global warming and photochemical oxidation potential. On the other hand, the scenario of incineration of all solid wastes was more disadvantageous in terms of environmental effects such as acidification, eutrophication, and ozone layer effects.

As a result, establishing integrated systems by assessing suitability for localization will likely be the most optimal solid waste management system.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Uygun olmayan KKA yönetimi önemli olumsuz çevresel etkilere, sağlık ve güvenlik problemlerine yol açtığından (böcekler tarafından yayılan hastalıklar ve kemirgenlerin çöp yığınlarındaki farklı formdaki kirlilikleri ve hastalıkları taşıması gibi) artan kentsel katı atığın (KKA) sürdürülebilir yönetimi önemli bir sosyal ve çevresel sorun haline gelmiştir. Entegre katı atık yönetimi, atıkların güvenli bertarafının ötesinde sürdürülebilir yönetimin en büyük adımlarından biridir ve “beşikten mezara” sorumluluğunu vurgulayarak atık sorununa çözüm önermektedir. Entegre katı atık yönetimi, belirli hedeflere ulaşılması ile ilgili olarak uygun ve uygulanabilir yöntemleri, teknolojileri ve yöntem yaklaşımlarını geniş bir yelpazede bir araya getirmektedir (McDougall ve ark. 2001). Bu yaklaşım, pratikte yaşam döngüsü değerlendirmesi gibi yaşam döngüsü düşünme ve çevre sistem analiz araçları ile kentsel katı atık karar verme sürecine entegre edilebilir.

KKA yönetiminin küresel uygulamaları, bölgeden bölgeye, ülkeden ülkeye, yerel ve özel koşullara (doğal, sosyal, ekonomik) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Kolikkathara ve ark., 2009). Kentsel katı atıkların hacmini azaltmak için yakma, atık minimizasyonu, atık geri kazanım ve geri dönüşüm gibi pek çok metot bulunmaktadır. Bununla birlikte düzenli depolama katı atık bertarafı için dünya çapında KKA yönetimi için en yaygın olarak kabul edilen bir uygulama olmuştur. Çünkü katı atık bertarafı için nispeten basit ve ekonomik bir yoldur. Dahası, düzenli depolama geri dönüşümsüz atıklar için nihai bertaraf yöntemidir. Yakın zamana kadar KKA’ya Türkiye’nin geleneksel yöntemi ya açık alanlara (2000’in üzerinde) ya da denizlere dökmek olmuştur. 1993’de İstanbul’da Ümraniye-Hekimbaşı çöp toplama alanında gaz sıkışmasından dolayı meydana gelen patlamada 39 kişinin ölmesi ile KKA problemi ele alınmaya başlanmıştır (Kocasoy ve Curi, 1995).

Elde ettiğimiz 2018 TÜİK verilerinde bahsedilen rapora göre atık hizmeti verilen belediyelerde toplanan 32 milyon 209 bin ton atığın %0,2'si ise açıkta yakılarak, gömülerek, dereye veya araziye dökülerek, %67,2'si düzenli depolama tesislerine, %20,2'si belediye çöplüklerine ve %12,3'ü geri kazanım tesislerine gönderilerek bertaraf edilmiştir (TÜİK, 2018).

Atık bileşimi hakkında bilgi; en uygun atık azaltma politikalarının uygulanması, uygun atık arıtmayı seçme ve bertaraf için gereklidir. Çünkü KKA; lokasyona, mevsime, ayrıştırma prosedürüne ve başka birçok faktöre göre önemli ölçüde değişmektedir. Bununla birlikte, atık kompozisyonu ile ilgili güvenilir verilerin bulunmaması, KKA yönetiminin bölgesel ve ulusal değerlendirmesini zorlaştırmaktadır. Türkiye’de birçok gelişmekte olan ülkede olduğu gibi katı atıkların büyük bir kısmı organik olmasına rağmen, atık kompozisyonu hakkında güvenilir veri tabanı bulunmaması KKA yönetiminde bir organizasyon ve planlama eksiğinin olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışma çevreye daha az zararlı bir atık yönetim sistemini amaçlamaktadır. Çalışmanın temel amacı mevcut atık yönetim sistemine bir alternatif olarak farklı atık yönetim (bertaraf) senaryoları geliştirerek atık yönetim planlamasında yaşam döngüsü değerlendirmesinin (LCA) bir araç olarak kullanılmasının araştırılmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmanın sonunda uygun bertaraf yöntemi, Sima Pro 9.0.0.49 yazılımı tarafından CML-IA yöntemi ile geliştirilen yaşam döngüsü değerlendirme modeli kullanılarak KKA içeriği ve miktarına göre belirlenmiştir.

Çevresel yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), son otuz yılda hızlı bir şekilde gelişmiştir.

LCA, 1970'lerde yalnızca enerji analizinden kapsamlı bir çevresel yük analizine doğru gelişirken, 1980'lerde ve 1990'larda tam teşekküllü yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve yaşam döngüsü maliyet modelleri tanımlanmıştır. Özellikle 21. Yüzyılın son on yılında sosyal-LCA hız kazanmıştır (Guinee, J. B., 2011). Tüketici ürünlerinin çevresel etkilerinin incelenmesinin 1960'lara ve 1970'lere kadar uzanan bir geçmişi vardır. Özellikle karşılaştırmalı bir bağlamda (“A ürünü, B ürününden daha mı iyi?”), uzun ve bazen şiddetli tartışmalara yol açmıştır.

Örneğin, floresan ampul türü daha uzun ömürlüdür ve geleneksel akkor tiplerinden daha az enerji tüketir ve fakat üretim için daha fazla kaynak gerektirmekte ve daha fazla ağır metal içermektedir.

Diğer klasik örnekler, bebek bezleri (kâğıt yerine pamuk) ve süt ambalajlarıdır (cam yerine plastik ve karton). Bu ürünlerin çoğu için çevresel etkilerin büyük bir kısmının ürünün kullanımında değil, üretiminde, nakliyesinde veya bertarafında olduğu kabul edilmiştir. Yavaş yavaş, bir ürünün veya birkaç alternatif ürünün yaşam döngüsünü ele almanın önemi, 1980'lerde ve 1990'larda bir sorun haline gelmiştir. Bundan, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), “bir ürün sisteminin yaşam döngüsü boyunca girdi ve çıktıların ve potansiyel çevresel etkilerinin derlenmesi ve değerlendirilmesi” fikri ortaya çıkmıştır.

Dünyanın her yerindeki hükümetler LCA kullanımını teşvik etmektedir. LCA, giderek artan bir şekilde Avrupa Birliği, ABD, Japonya, Kore, Kanada, Avustralya'da ve Hindistan ve yakın zamanda Çin gibi gelişen ekonomilerde çevre politikası veya gönüllü eylemlerde temel bir unsur haline gelmiştir.

LCA'nın popülaritesi ile birlikte daha yaratıcı kullanımı da ortaya çıkmıştır: Artık atık yakma, inşaat malzemeleri, askeri sistemler ve turizm üzerine LCA çalışmalarını görmekteyiz. Ayrıca, önceki çalışmalar yalnızca birkaç çevresel etki kategorisiyle (kümülatif enerji kullanımı ve katı atık gibi) sınırlıyken, şimdi daha karmaşık etkilerin (örneğin biyolojik çeşitlilik ve gürültü) yükselişini ve ekonomik ve sosyal etkilere genişlemeyi görmekteyiz. Son olarak, faaliyet-emisyon ve emisyon-etki ilişkilerinin düz orantılılığından ekonomik mekanizmaları, ekosistem restorasyon sürelerini ve daha fazlasını içeren dinamik, bölgeselleştirilmiş, doğrusal olmayan modellere kadar temel modellerin karmaşıklığında bir artış görülmektedir.

LCA birçok çalışmada etkili kentsel atık yönetimi için bir araç olarak kullanılmaktadır. Çünkü alternatif atık yönetim sistemlerinin çevresel değerlendirme amacıyla potansiyel iyileştirmelere ihtiyaç duyan ana alanların belirlenmesi için yardımcı olmaktadır. (Koci ve Trecakova, 2011). Örneğin, LCA farklı atık arıtma

teknolojilerinin çevresel etkilerini karşılaştırmak, geliştirmek ve en çevre dostu teknolojiyi belirlemek, stratejik kararlar için modellenmiş çıktılar kullanmak ve gerçek durumları tanımlamak için kullanılmıştır.

Çalışmamızın amacı enerji üretimine önem veren kentsel katı atık yönetimlerinin çevresel etkilerini belirlemektir. Spesifik amaç ise kentsel katı atıkların bertarafında yaygın olarak kullanılan düzenli depolama ve yakma metotlarının karşılaştırmalı olarak çevresel etkilerini hesaplamaktır.



BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Atık Kavramı

2.1.1. Atık nedir?

Atık, Türkiye’de ilk defa 1983 tarihli 2872 sayılı Çevre Kanunu’nda ifade edilmiştir. Bu Kanun’a göre atık, “herhangi bir faaliyet sonunda çevreye bırakılan veya atılan zararlı maddedir. Atık kelimesinin sözlük anlamı, “faydasız kalıntı, düşük değerde veya kullanım dışı” olarak ifade edilmektedir. Ayrıca atık, “kişilerin uzaklaştırmak ya da atmak üzere gözden çıkardığı, uygunsuz bertaraf ettiği ve çevreye zarar verilen maddedir. Atıklar birçok çeşitli ölçütler göz önüne alınarak sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Bunu belirleyen ölçütler, yapısal özellikler, üretim, tüketim, oluştuğu alan, tehlike gibi özellikler olmaktadır (Sayar, 2012).

Ortamdan uzaklaştırılması gereken ve genel olarak insanların sosyal ve ekonomik faaliyetleri ürünü olarak ortaya çıkan ve işe yaramaz hale gelen, kullanım süresi dolan ve içinde yaşadığımız maddelere genel olarak atık denir. 2015 yılında yayınlanan Atık Yönetimi Yönetmeliğine göre atık; Gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya salınan veya bertaraf edilmesi gereken herhangi bir madde veya malzeme olarak tanımlanmaktadır.

Atık kavramı ile ilgili yapılan tanımlar dikkate alındığında, bu kavramın iki temel boyutu olduğunu göstermektedir. Birincisi, bir materyalin kullanıcı için birincil işlevini kaybetmesidir. İkincisi, birincil işlevi için atık olarak kabul edilen bir malzeme, ikincil bir işlemde kullanılabilir. Başka bir deyişle, bir kişi için atık olan bir ürün, bir başkası için hammadde haline gelebilir (Bontoux ve Leone, 1997: 8). Bu

bağlamda kavramsal olarak atık, çöp olarak nitelendirilen ve sahibinin elden çıkarttığı materyallerden daha farklı bir anlama gelmektedir.

Dünya nüfusunun artışı ile birlikte serbest piyasa koşullarında ekonomik faaliyetler devam etmekte ve atık üretimi yaygınlaşmaktadır. Atık yönetiminin yok olması durumunda ortaya çıkan sonuçlar atık konusunu oldukça önemli hale getirmiştir (Abas ve Wee, 2014). Atıklar iyi bir biçimde yönetilmediği takdirde doğacak sonuçlara örnek olarak 1997 yılında Pasifik Okyanusu'nda keşfedilen, %90'ı plastiklerden oluşan çöp adası gösterilebilmektedir (Kılınç, 2011).

Atıklar yöntemine uygun bir biçimde bertaraf edilmezlerse, toprağın yüzey ve yer altı suların kirlenmesine, depolama sahasında oluşan gaz içindeki yüksek metan nedeniyle kirlenmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple, meydana gelen atıkların çevre ve toplum açısından tehdit edici vasfını yitirip ekonomik bir girdiye dönüşmesini sağlamak bütün ülkelerin temel ekonomik politikası olmalıdır. Türkiye ve benzeri gelişmekte olan ülkelerin de öncelikli politikası, sürdürülebilir kalkınmanın temelinde sürdürülebilir katı atık yönetmektir (Güzel, 2011).

2.1.2. Atıkların sınıflandırılması

Hayat standardının yükselmesi, nüfusun artması, tüketim maddelerinin çeşitlilik göstermesi, şehirleşme gibi sebeplerle atık maddelerde gittikçe artış yaşanmaktadır. Belirli bir orandaki atıkların ekosistem tarafından temizlenme süresi yaklaşık 1 ya da daha fazla yılı bulmaktadır. Atık sayısı, ekosistemlerin temizleme gücünün üzerine çıkarak atık yoğunluğu hız kazanmıştır.

Atıkların çevreye verdiği zararın büyüklüğü yadsınamamaktadır. Atıkların sınıflandırmaya tabi tutulması ile çeşitli politikalar yürütülmüştür ve zararın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Atıklar başlıca 3 sınıflandırmaya tabi tutulmuştur (Karasu, 2013); sıvı atıklar, gaz atıklar, katı atıklar.

2.1.2.1. Katı atıklar

Endüstriyel, kentsel ve ticari işlevler sonucu tüketici tarafından işe yaramadığı sebebiyle çevreye atılan, fakat insan sağlığına zarar veren atıklardır. Ayrıca toplumsal yararlar sebebiyle düzenli bir şekilde çevreden uzaklaştırılması gerekmektedir. Katı atıklar, gömülerek veya bir yere atılarak imha edilmesi gereken maddelerdir. Katı atıkların geri kazanılması gereken kaynaklar şeklinde değerlendirilmesi daha çok kabul görmüş faaliyetler arasındadır (Yurdakul, 2012).

Katı atıklar genellikle katıdır, ancak atık su arıtma ve kimyasallardan kaynaklanan çamurları da içerir (Christensen, 2011: 4). Bu noktada belirtmek gerekir ki katı atık kavramı genellikle maddenin katı haldeki atıkları vurgularken, su veya herhangi bir sıvı kadar viskoz ve gazlı olmayan atıkları da kapsar.

Katı atıklar oluştukları yere göre sınıflandırılmaktadır:

- Kentsel katı atıklar,
- Tarımsal atıklar,
- Endüstriyel atıklar,
- İnşaat atıkları,
- Tıbbi atıklar.

2.1.2.1.1. Katı atıklar

Bütün canlılar hayatlarını sürdürmek amacıyla beslenir ve atıklarını bertaraf etmek üzere yeryüzüne bırakır. Bu bağlamda gerçekleştirilen her türlü insan faaliyetlerinden kaynaklanan, kullanıcı için herhangi bir kullanım değeri olmayan, istenmeyen, kullanışsız olarak atılan bütün atıklar kentsel katı atık olarak adlandırılabilir (Alpaslan, 2005).

11.08.1983 tarih ve 18132 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda Kentsel katı atık "tehlikeli ve zararlı atık kapsamına girmeyen konut,

sanayi, işyeri, piknik alanları gibi yerlerden gelen katı atık” şeklinde tanımlanmıştır (Bilgili,2020).

Tablo 2.1. Kentsel katı atıkların kaynakları ve türleri (Alpaslan, 2005)

Kaynak	Atık üreticileri	Katı atık türleri
Yerleşim bölgesi	Kalabalık aileler ve tek kişilik aileler	Plastik, ahşap, cam, metal, gıda, kağıt, karton, tekstil, deri, bahçe, kül, özel atıklar (örn; yığın malzemeleri, Kentsel tehlikeli atıklar, tüketici elektroniği, piller, yağ ve beyaz eşya)
Endüstriyel	Elektrik santralleri, Kimyasal santraller, inşaat alanları, hafif ve ağır imalat,	Temizlik atığı, ambalaj, gıda atığı, tehlikeli atıklar, inşaat ve yıkım malzemeleri, kül ve özel atıklar
Ticari	Dükkan ve işletmeler, marketler ve ofis binaları, restaurantlar, oteller	Ahşap, cam, metal atıkları, kağıt, karton, gıda, özel ve tehlikeli atıklar
Kurumsal	Okullar ve hastaneler, hükümet binaları ve hapishaneler	Kağıt, karton, gıda, cam, ahşap, metal atıklar, özel ve tehlikeli atıklar
İnşaat ve yıkım	Yol yapımı, bakım ve onarım alanları, yeni inşaat alanları, bina enkazları	Ahşap, çelik, beton, toprak
Belediye hizmetleri	peyzaj, parklar, plajlar, cadde temizliği, diğer dinlenme alanları, su ve atık su arıtma tesisleri	peyzaj ve ağaç park, sokak atıkları, plaj ve dinlenme yerine ait genel atıklar, budanmaları, su ve atık su tesislerinden kalan çamur
Proses	Ağır ve hafif imalat, enerji santralleri, kimyasal yüklerle çalışan tesisler, rafineriler, mineral işleme	Endüstriyel proses atığı, hurda malzemeler

Tablo 2.1.’de Kentsel katı atıkların oluşumuna neden olan kaynak ve üreticiler yer almaktadır. Bu bağlamda kentsel katı atıklar, değişken olmakla beraber atık üreticilerinin gelir ve hayat standartlarına bağlı olarak değişmektedir (Dünya Bankası, 2005).

2.1.2.1.2. Kentsel katı atıklar

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA) belediye katı atıkları, endüstriyel, tehlikeli ve inşaat/hafriyat atıkları, yaygın olarak kullanılan ve bertaraf edilmesi amaçlanan atıklar, mobilya, bilgisayar, otomobil lastiği ve beyaz eşya gibi ürünler, ambalaj atıkları, gıda artıkları, çimen vb. bahçe atıkları olarak tanımlar. (US EPA, 2011: 2).

2.1.2.1.3. Endüstriyel katı atıklar

Sanayi faaliyetleri sonucunda oluşan atıklardır. Endüstriyel katı atık yönetiminde çevrenin ve doğal kaynakların korunması bağlamında arıtma tesisi ve geri kazanım faaliyetleri önem taşımaktadır (Kayranlı ve ark., 2011). Ağır endüstri tesisleri ve hafif endüstri tesisleri ile farklı imalathanelerden açığa çıkan çamurlar ve katı maddeler endüstriyel katı atık içine girmektedir (Güzel, 2011). Endüstriyel katı atıklar oluşumlarına göre 3 gruba ayrılırlar:

- Hava kirliliği kontrol araçlarından kaynaklanan katı atıklar,
- Sanayi birim işlemler ve süreçlerinden kaynaklanan katı atıklar,
- Endüstriyel su arıtma tesislerinden çıkan çamurlar.

2.1.2.1.4. Tarımsal (zirai) atıklar

Hayvansal ve bitkisel ürünlerin elde edilmesi ve işlenmesi neticesinde oluşan atıklardır. Bu atıklar, tarlalardan, zirai alanlardan, çiftliklerden ve bağlardan kaynaklanmaktadır. Genellikle bitkisel atıklar ve sulama atıklarını içermektedir (Ercan, 2016). Koyun, inek ve tavuk çiftliklerinin atıkları, saman ve hayvan dışkısı bakımından zengindir. Tarımsal atıklar, besi çiftliklerinden kaynaklanan hayvanların ölü vücutlarını da kapsamaktadır. Gübreleme ve sulamadan dolayı farklı kimyasalları içeren bu atıkların belli bir kısmı zararlı etkilere sahiptir (Tenikler, 2007). Tarımsal katı atıklar daha geniş bir ifadeyle, meyve, sebze, et, kümes hayvanları, süt ve süt ürünleri ile diğer tarımsal ve hayvansal ürünlerin yetiştirilmesi ve işlenmesinden

kaynaklı, ekonomik değeri toplama, taşıma ve endüstriyel işleme maliyetlerinden görece düşük olan üretim dışı çıktılarıdır (Loehr, 1978: 261).

2.1.2.1.5. Tıbbi atıklar

2017 tarihli 29959 sayılı Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, “Enfeksiyon yapıcı atıklar, patolojik atıklar ve kesici-delici atıklar” tıbbi atıklar olarak nitelendirilmektedir (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2017). Sağlık kurumlarında ortaya çıkan atıklar, tehlikeli atıklar, ambalaj atıkları, kentsel nitelikli atıklar, tıbbi atıklar olarak sınıflandırılmakta ve birbirleriyle karışmadan temel kaynağında özel kutu ve torbalarda toplanmaktadır. Aynı yönetmeliğe göre, tıbbi atıkların kaynağında kırmızı renkli, üzerinde “Uluslararası Biyotehlike” amblemi bulunmalıdır. Ayrıca “Dikkat Tıbbi Atık” ibaresi bulunan özel plastik torbalarda biriktirilmelidir.

Delici ve kesici atıklar, özel alt sınıf olarak diğer tıbbi atıklardan farklı toplanır. Lamine kartondan ya da plastik yapılmış, üstünde aynı uyarı işareti bulunan özel kutularda toplanmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2008).

Tablo 2.2. Tıbbi Atık Göstergeleri (2012-2016) (TÜİK, 2017)

	2012	2014	2016
Sağlık kuruluşu sayısı	1449	1498	1527
Tıbbi atık miktarı (ton)	68929	74495	81024
Hasta başına ortalama tıbbi atık miktarı	0,2	0,19	0,18
Düzenli depolama tesisinde bertaraf edilen	50982	50656	54440
Belediye çöplüğünde bertaraf edilen	12198	16323	14019
Yakma tesisinde bertaraf edilen	5745	7515	12566

Tablo 2.2.'de 2016 yılının sonuna doğru hastanelerde kullanılan tıbbi atıkların miktarları verilmiştir. Araştırma kapsamında toplam 4 yıl içinde sağlık kuruluşlarında 81 bin ton tıbbi atık toplanmıştır. Tıbbi atıkların çöplüklerde veya depolama tesislerinde bertaraf edildiği görülmüştür (TÜİK, 2017).

2.1.2.2. Sıvı atıklar

Kimyasal strüktürü akışkan özellikte olan, ihtivasındaki yabancı nesneleriyle zararsız ve zararlı çevresel etkilere yol açan atıklardır. Sıvı atıklar genel olarak, kentsel kullanımlar ve endüstriyel üretim sonucu ortaya çıkmaktadır. Su kaynaklarının yapısı üzerinde negatif etkiye yol açan sıvı atıklar, yer altı sularına karışıp, toprağın kirlenmesine yol açabilir. Doğal çevrede, insan ve diğer canlı varlıkların sağlıkları üzerinde bozucu etkiye neden olabilmektedir. Kentsel kullanımda sıvı atıkların en güzel örnekleri, insan dışkısı ve deterjan atıkları olarak verilebilmektedir (Tenikler, 2007).

2.1.2.3. Gaz atıklar

Sanayileşme sürecinde veya sonucunda ortaya çıkan katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılması halinde gerçekleşen yakıtlardır. Gaz atıklar, yakıt yakma tesislerinde gerçekleşen uygulamalar sonucunda alıcı ortama bırakılan gaz halindeki atıklardan da oluşmaktadır (Ercan, 2016).

Katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılmasıyla ortaya çıkan gaz atıklar çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bu hastalıklar; solunum yolları hastalıkları, sindirim sistemi hastalıkları, kanserojen etki, korozyon, asit yağmurları gibi hastalıklardır. Başlıca gaz atıkları şunlardır (Karasu, 2013):

- Kükürt oksitleri ve hidrojen sülfür,
- Karbonmonoksit,
- Partikül şeklindeki kirletici emisyonlar,
- Azot oksitler,
- Hidrokarbonlar,
- Organik hidrokarbonlar,
- Klor gazı ve halojenli bileşenler.

Kısaca bütün atık çeşitlerinin doğaya ve insan sağlığına oldukça zararı bulunmaktadır. Bu bağlamda atıkların bertaraf edilmesi ve geri dönüşüme kazandırılması gereklidir. Ancak atıkların bertaraf edilmesi yönündeki en büyük endişelerden biri atıkların yakılması esnasında ortaya çıkan toksik kimyasalların oluşturduğu yönünde olmasıdır. Bu esnada ortaya çıkan dioksinler çevreye ve insan sağlığına büyük tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca atıkların uygunsuz bertaraf edilmesi, bazen insanlarda kalıcı hastalıkların oluşmasına neden olmakta bazen de çevrenin tahribatına ve doğada yaşayan canlı varlıkların yok olmasına neden olmaktadır. Özellikle insan yapımı klorlu atıkların yakılması neticesinde etrafa yayılan dioksinler, gaz emisyonları ve furanlar zararın ortaya çıkmasında birincil kaynağı oluşturmaktadır (Tenikler, 2007).

2.2. Sürdürülebilirlik Kavramı

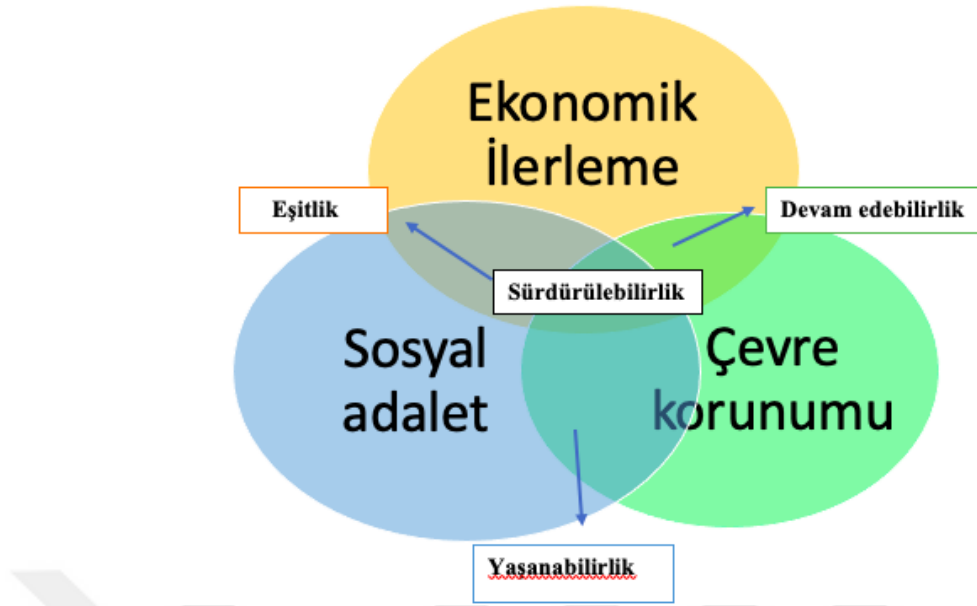
Çevresel bozulmanın da arttığı dünyamızda, son dekatlarda, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramları en çok tartışılan konular arasındadır. Sosyal bilimcilerden doğa bilimcilerine, politikacılardan yerel ve uluslararası çevre örgütlerine, hükümet ve hükümetler arası kuruluşlara kadar geniş yelpazede konu merkezi olmasının nedeni, sürdürülebilirlik konusu enerji, ekonomi ve çevre üçgeninin merkezinde yer almasıdır. Sürdürülebilirlik kavramının çok boyutlu doğası gereği bu konuda çalışan farklı disiplinler farklı yaklaşımlar ve farklı tanımlar geliştirmiştir. Bu çok boyutluluk nedeniyle, bir yandan kavramın çerçevesi konusunda halen anlaşmazlıklar devam ederken, diğer yandan tartışmanın tarafları tanımladıkları çerçeve üzerinden sürdürülebilirliği ölçmeye yönelik bir yaklaşım ortaya koymakta, çeşitli hedefler belirlemekte ve politika önermektedirler (Yeni,2014).

Türkçe literatürde genel kabul gören birebir karşılığı olmamakla birlikte, “sürekli [daimî, mütemadiyen, devamlı, kesintisiz] olma kabiliyeti veya becerisi” şeklinde tercüme edebileceğimiz sürdürülebilirlik kavramı, Latince “sustain” sözcüğüne karşılık gelmektedir. Bu kavramın İngilizceye geçişi de oldukça yakın zamanda gerçekleşti. Bu kavram ilk olarak 1980'lerin ortalarında Oxford Sözlüğü'nün çevrimiçi versiyonunda kullanıldı. Söz konusu sözlükte sürdürülebilirlik, “belirli bir oranda veya düzeyde sürdürülebilmek” olarak telaffuz edilmektedir (Şen, Kaya ve Alpaslan, 2018).

Sürdürülebilirlik kavramı genel olarak bir durumu veya süreci belirsiz bir süre için sürdürme kapasitesini ifade eder. Bu genel anlamda sürdürülebilirlik birçok farklı şekilde algılanabilir ve tanımlanabilmektedir. Sürdürülebilirlik temel olarak ekoloji ve ekolojik sistemlerin işlevlerini, süreçlerini ve üretkenliklerini gelecekte de devam ettirebilme yeteneği olarak algılanmaktadır. Artık, dünya kaynaklarının ve çevrenin insan faaliyetleri sonucunda tükenme sınırına doğru hareket ettiği konusunda genel bir fikir birliği vardır. Bu noktadan hareketle sürdürülebilirlik ancak doğanın sunduğu kaynakların kendiliğinden yenilenmesini sağlayacak hızda kullanılmasıyla sağlanabilmektedir. Sosyal olarak sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarına zarar vermeden mevcut insan neslinin ihtiyaçlarını karşılamak olarak tanımlanabilmektedir. Kavram ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, sürdürülebilir kalkınma kavramı ile birlikte ele alınabileceği gibi, üretim sürecinde yenilenebilir kaynaklara yönelmek ve üretim faaliyetinin çevresel etkilerinden sorumlu olmak olarak da tanımlanabilmektedir (Yavuz, 2010).

Bunun sebebini ise çevre ve kalkınma konularını farklı açılardan değerlendirmeye başlamak olarak ifade etmek mümkündür. Çevre sorunlarının sınırsız olması, ayrıca kaynakların kıt olması, yaşanabilirlik ve sürdürülebilirlik konularına alert oluşturmuş ve çevre sorunlarına çözüm olarak sürdürülebilir kalkınmanın yolunu açmıştır. Sürdürülebilirlik;

- Kaynakların tüketimini minimize etme ve tüm emisyonlar ve atıklar dahil olmak üzere tüm çevresel sorunları en aza indirme anlamında çevresel sürdürülebilirlik;
- Doğal kaynakların korunması ve geliştirilmesi açısından ekolojik sürdürülebilirlik,
- Kabul edilebilir maliyetler açısından ekonomik sürdürülebilirlik olarak ifade edilen ve toplumun tüm sektörlerine hizmet eden, toplumların özelliklerine ve kapasitelerine göre yapılabilecek bir anlayış olarak tanımlanan bir kavramdır (Akdoğan ve Güleç, 2007).



Şekil 2.1. Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları

1987 senesinde yayımlanan ve Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu başkanı Gro Harlem Brundtland tarafından açıklanan “Ortak Geleceğimiz” adlı raporda sürdürülebilir kalkınma; “İnsanlığın, gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneği” olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilirlik, ancak doğal sermayeyi tüketmeyen, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını elinden almayan, ekonomi ve ekosistem arasındaki dengeyi koruyan ekolojik sürdürülebilir kalkınma ile sağlanabilir. “Çevre Korunumu”, “Ekonomik Gelişme” ve “Sosyal Adalet”, sürdürülebilir kalkınma adına birbiriyle ilişkili üç ana kavram olarak öne sürülmektedir (Çakır, 2012).

Sonuç olarak sürdürülebilirlik, “Kaynakların tüketimi ve oluşan emisyon ve atıkların tamamını kapsayan tüm çevresel olumsuzlukların en aza indirilmesi açısından çevresel sürdürülebilirlik; doğal kaynakların korunarak geliştirilmesi açısından ekolojik sürdürülebilirlik, maliyetlerin kabul edilebilir ve toplumun tüm sektörlerine hizmet edecek olması açısından ekonomik sürdürülebilirlik olarak ifade edilmekte ve toplumların özelliklerine göre ve kapasitelerine uygun yapılabilir, katılımcı plan ve programlarla toplumsal sürdürülebilirliğin birbirini tamamlayıcı olduklarını kabul

eden anlayış” (Palabıyık, 2001: 109) olarak tanımlanmakta ve bir çok disiplinin çalışma alanına girmektedir.

2.3. Atık Yönetimi

Atık yönetimi, tehlikeli, tehlikesiz, kentsel ve tıbbi atıkların minimizasyonu, kaynağında ayrı bir biçimde toplanması, atıklar için aktarma merkezlerinin oluşturulmasını içeren bir yönetim şeklidir. Atık yönetimi kapsamına giren konular, atıkların taşınması, bertaraf edilmesi, bertaraf tesislerinin işletilmesi, atıkların geri kazanılması, tesislerin kapatılması, kapatma sonrası bakım, izleme ve kontrol süreçleridir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2008).

Gelişmekte olan ülkelerin doğal kaynaklardan uzun bir şekilde faydalanabilmek için atık israfına son vermeleri gereklidir. Maddi değeri olan ürünleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerinin uygulanması esas olmalıdır (Kırlioğlu ve Fidan, 2009). Toplanıp taşınması ve bertaraf edilmesi ekonomik olarak büyük bir yük gibi görünse de toplum sağlığı açısından önemlidir. Aynı zamanda atıkların uygun bir şekilde değerlendirilememesi durumunda ekonomik bir değer kaybı söz konusudur. Atıkların yönetimi boyunca geçirilen sürede bütün işlemlerin maliyet ve sorumluluğu yerel yönetimlere aittir. Yerel yönetimler, gittikçe artan katı atık miktarı karşısında çözüm üretmek zorunda kalarak çözümü özel sektörlerle iş birliğinde bulmuşlardır. Atık yönetimi sistem yaklaşımı ile bağdaştırılmalıdır. Sistem yaklaşımı, atık üretimi, işlenmesi ve bertarafı gibi atık yönetiminin temel unsurlarının yanı sıra kaynakların korunması, çevrenin korunması, enerji ve verimlilik artışı gibi konuların da entegre edildiği bir yaklaşımdır. Atık yönetiminde sistem yaklaşımı, katı atıkların doğal çevreden uzaklaştırılmasını kapsamaktadır. Ayrıca insan ve çevre sağlığını koruyarak ekonomik kalkınmaya olumlu katkılar sağlamaktadır (Agrawal, 1990).

Katı atık yönetimi, katı atıkların bilim, sanat ve mühendislik ilkelerine uygun olarak toplanması, ara depolanması, taşınması, geri kazanılması, kompost haline getirilmesi, yakılması ve düzenli depolanmasıdır (Armağan ve ark., 2006: 17).

2.3.1. Atıkların bertarafı

Katı atık yönetiminin en önemli faktörlerinden birisi de geri kazanılması mümkün olmayan atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermeden bertaraf edilmesidir. Bu bağlamda bertaraf teknolojileri gündeme gelerek atıkların geri dönüşüme kazandırılması sağlanmaktadır. Hangi teknolojinin nerede, nasıl ve hangi kapasitede seçileceği, ekonomik ve teknik araştırmayı gerektiren bir konudur. Atıklarda teknolojiyi saptayan en önemli parametre bölgenin katı atığının hangi özellikte olduğu ile ilgilidir. Bundan dolayı, katı atığın özelliğinin iyice araştırılmadan seçilmesi bertaraf teknolojilerinde zararlara neden olacaktır (Eller, 2008). Ayrıca çevreyi de olumsuz yönde etkileyecektir.

Katı atıkların bertaraf yönetiminde yaygınlıkla kullanılan 3 yöntem bulunmaktadır (İSTAÇ AŞ, 2009):

- Düzenli depolama
- Geri kazanım ve
- Termal bertaraf yöntemleri

Her katı atık çeşidine göre bertaraf yöntemleri de değişiklik göstermektedir. Katı atıklar ve bertaraf yöntemleri uygulamalarına göre farklıdır. Örneğin, kağıtların bertaraf edilmesi kolay ancak uzun sürebildiğinden en uygun bertaraf yöntemi yakmadır. Ancak teneke gibi atıklar başka durumlarda kullanılamadığı halde bertaraf yöntemi olarak gömme seçilmektedir (Topbaş ve ark., 1998, İSTAÇ,2009).

2.3.1.1. Düzenli depolama

Hızla artan nüfusa karşılık ekonomik koşullarında ve teknolojiye büyük çaplı değişimler meydana gelmektedir. Çevre tahribatının hız kazanması, suyu, toprağı ve havayı tehdit etmektedir. Çevrenin kirlenmesi, insan hayatı için gerekli ortamın bozulması anlamındadır. Ekonomik avantajlar sebebiyle katı atıkların bertaraf edilmesinde en yaygın ve uygun yöntem düzenli depolamadır. Düzenli depolamanın

kurulmasında amaç, yüzey suları ve yer altı sularının kalitesini korumak, hava kalitesini korumak ve gaz toplama amacıyla sistemler ile enerji kazanmaktır. Depo sahasının uzun süreli ve etkili bir şekilde kullanılması depolanacak alanın genişliğine bağlıdır. Ayrıca depolama sona erdiğinde dahi sahanın değerlendirilmesi atıkların bertarafında olumlu katkı sağlayacaktır (Arıkan, 2013).

Düzenli depolama ile atıkların birçoğunun depolanması mümkün ve uygun olabilmektedir. Düzenli depolanmış atıklar, cadde ve sokak süprüntüleri, yanıcı olmayan atıklar ve küllerdir. Kimi durumda atıkların düzenli depolanması zararlı ve tehlikeli sonuçlara neden olabilmektedir. Örnek olarak, çeşitli atık türleri karışık bir şekilde bir arada toplandığında, tehlikeli bir durum ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda boşaltma mahallelerin seçiminde bölge halkı rahatsız edilmemelidir (Behrouzfar, 1994).

2010 tarihinde çıkarılan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre önce tıbbi atık sızıntı suyunun yer altı suyuna karışmasını önlemek amacıyla depo tabanının mineral sızdırmazlık ve plastik geçirimsizlik tabakaları ile geçirimsiz hale getirilmiştir (Akcan, 2012). Düzenli bir depolama alanında yer alan özellikler şunlardır (Bozkurt, 2012):

- Depolama gazının toplanması, tasfiye edilmesi, değerlendirilmesi (Yakma, meşalesi, toplama boruları, kolektörler, değerlendirme ünitesi),
- Depo tabanının geçirimsiz olması (Drenaj tabakası, geçirimsiz mineral zemin, sentetik örtü),
- Süreç için ilgili binalar (Kantar, laboratuvar, garaj, ayırma tesisi, sosyal ve idari binalar, tamirhane, stok),
- Sızıntı suyunun toplanması için gerekli tasfiye ve sistemin kurulması (Toplama boruları, arıtma tesisi, kolektörler),
- Araçlar,
- Depolama alanının üst örtüsü.

Düzenli depolama alanları ortalama 20 ile 30 yıl arası düşünülüp tasarlanmaktadır. Proje alanına koyulan tesis dolup ömrü tükendiği zaman, çevre ve insan sağlığına etki etmeyecek biçimde rehabilite edilerek topluma kazandırılır. Depolama tesisinin ömrü tamamlandığı takdirde hangi yöntem ve tekniklerle üstünün ve çevresinin kapatılması gerektiği yönetmeliklerle belirlenmiştir (Can, 2015). Düzenli depolama yöntemi, kompostlaştırma ve yakma gibi bertaraf yöntemleri göz önüne alındığında ekonomik anlamda en uygun ve en çok tercih edilen yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Gelişmiş ülkelerde katı atık üretimi ve katı atık bertaraf yöntemleri hakkında yapılan çalışmalar sonucunda ülkelerin katı atıklarının %73'ünün düzenli depolama yöntemi kullanılarak bertaraf edildiği görülmektedir. Depolama sahasının işletilmesinde çevre ve insan sağlığının potansiyel riskleri bulunmaktadır. Bu riskler (Güneş, 2012):

- Metal ve organik bileşikler, patojenler bünyesinde yer alan ve yer altı sularının kirlenmesine neden olan sızıntı suyunun oluşumu,
- Depolama alanları taban örtüleri boyunca sızıntı suyunun artmasına sebep olan atık kütlelerin yavaş akması,
- Uzun periyotlu alan ihtiyacı ve maliyetinin olmasıdır.

2.3.1.2. Kompostlaştırma

Bu işlem, organik esaslı atıkların oksijenli ortamda ayrıştırmasıyla yüksek verimli toprak düzenleyicisinin ortaya çıkarılması olarak adlandırılmaktadır (Palabıyık ve Altunbaş, 2004). Kompostlaştırma, yabancı ürünlerin atıklardan olabildiğince ayıklanması, atıkların belli yığınlar halinde yeterli havalanma ve nem ile fermente edilip çürütülerek gübreye dönüştürülmesi işlemidir. Bu işlemlerden sonra kompost yapımında kullanılmayacak olan teneke ve cam gibi atıklar tekrar endüstriye geri kazandırılmaktadır (Topbaş ve ark., 1998).

Kaynağında ayrılan organik katı atıklar, tarım ve gıda sektöründen çıkan atıklar, pazardan gelen atıklar, park ve bahçe atıkları, otel ve restoran mutfaklarından ortaya çıkan atıklardır. Bu katı atıkların kompostlaştırma özellikleri vardır (Güner, 2008). Her çeşit et artıkları, katı haldeki yağlar, kemikler, süt ve süttten yapılmış yiyecekler,

hastalıklı bitkiler kompost yapılmayan atıklardır. Kompost, arazinin ıslah edilmesinde, bahçe yapımında, düşük kalitedeki toprakları tarıma elverişli hale getirmede kullanılmaktadır. Yaklaşık olarak 1 yılda dünyada 3 ila 4 bin ton biyolojik katı maddenin ve yarım milyon ton kompostun tarım arazilerinde verimliliği arttırmak için kullanıldığı öngörülmektedir (MEB, 2009).

Kompostlaştırma yöntemleri olarak statik, dinamik yöntemler, statik dinamik kombine sistemler ve yöntemler gibi çeşitli teknikler kullanılır. Günümüzde birçok kompostlaştırma yöntemleri mevcuttur (Erdin, 1981). Bu teknikler:

- Kapsüllenmiş yığın kompostlaştırma yöntemi,
- Tambur kompostlaştırma yöntemi,
- Tünel kompostlaştırma tekniği,
- Açık yığın kompostlaştırma yöntemi,
- Anaerobik kompostlaştırma yöntemi,
- Hücre ve konteynır bioorganik atık kompostlaştırma yöntemi,
- Brikollar kompostlaştırma tekniği.

2.3.1.3. Yakma

Yakma işlemi, atıkların bertaraf edilmesi için kullanılan yöntemlerden biridir. Yakma tekniğiyle, birçok katı atık bertaraf edilmektedir. Uygun çevre şartları sağlandıktan sonra yakma işlemi gerçekleştirilmektedir. Yakmanın ardından oluşan gaz emisyonları, gaz ölçüm istasyonlarından seyredilmektedir. Yakma sonucu ortaya çıkan gaz emisyonları mevzuatta belirtilen limit değerlerini geçmemelidir (Görmüş, 2018).

Tablo 2.3. Katı atık yakma tesisinde yürütülen faaliyetler (Görmüş, 2018)

Katı atıkların kabulü ve geçici depolama
Katı atıkların (gerekliyorsa ön işlemden geçirilerek ayrıştırılması) yakılması
Katı atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan ısının faydalı kullanımı
Yanma işlemi ile birlikte ortaya çıkan kirletici gazların arıtımı
Yanma işlemi ile birlikte ortaya çıkan katı atıkların bertarafı

2.3.2. Atık yönetiminde ulusal ve uluslararası yönetmelikler

Türkiye’de atık yönetimi hususunda yasal düzenlemeler çok eski tarihlerden başlamaktadır. 1930 senesinde kabul edilen 1580 sayılı Belediye Kanunu ile 1593 sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanunu’nda yönetmeliğe dair belli düzenlemeler yer almaktadır. Kanuna göre, atıkların toplanması, halk sağlığının korunması, atıkların depolanması, gerekli önlemlerin alınması gereklidir. 1930 yılından itibaren gerçekleştirilen bütün yasal düzenlemelerde atık yönetimine yönelik doğrudan veya dolaylı hükümler yer almıştır (Tablo 2.4.). Yönetmelik kapsamında çevre ve insan sağlığının korunması temel alınmıştır (Ünver, 2010).

Tablo 2.4. Türkiye’de atık yönetimi konusunda yönetmelikler

Yönetmelik tarihi	Yönetmelik
2.02.2019	Atıksu Altyapı ve Kentsel Katı Atık Bertaraf Tesisleri Tarifelerinin Belirlenmesinde Uyulacak Usul ve Esaslara İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik
14.11.2018	Kalıcı Organik Kirleticiler Hakkında Yönetmelik
21.12.2015	Atık Yönetimi Yönetmeliği
22.05.2012	Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği
6.10.2010	Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik
3.08.2010	Kentsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik
4.06.2010	Tarımda Kullanılan Org. Gübreler ile Toprak Düzenleyicilerin Denetimine Dair Yönetmelik
26.03.2010	Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
30.12.2009	Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik
30.07.2008	Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği
27.12.2007	Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkındaki Yönetmelik

Yönetmeliklerde sürdürülebilir katı atık yönetiminin temelleri yer almaktadır. Mevzuatlar sayesinde daha iyi bir çevre ve sürdürülebilir bir yaşam sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca doğal kaynakların korunması gerektiğine vurgu yapılarak hammadde ihtiyacını azaltma gibi konularda ilerleme kaydedilmiştir.

Türkiye’de atık yönetimine dair mevzuat kapsamında:

- 2872 Sayılı Çevre Kanunu’nun 8.maddesine: Her türlü atık artığı veya atığı dolaylı ya da doğrudan depolamak, alıcı ortama vermek yasaktır.

- 5491 sayılı Çevre Kanunu'nda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanunun 11.maddesindeki değişikliğe göre; belediyeler ve büyükşehir belediyeleri, kentsel katı atık bertaraf tesislerini, kurdurmak, kurmak, işletmek ve işletmek ile yükümlüdürler.
- 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu'nun 7.maddesine göre: Katı atık yönetim planı yapmak, katı atıkları kaynakta toplamak, aktarma istasyonuna taşımak, katı atıkları değerlendirmek, depolamak, bertaraf etmek amacıyla tesisler kurdurmak belediyelerin görevidir.
- 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun 14.ve 15.maddelerine göre: Belediyeler, katı atıkların toplanmasını, taşınmasını, geri kazanmasını, ortadan kaldırılmasını sağlayarak atıkların yönetimi ile ilgili bütün hizmetleri yapmaktadır.
- 2464 sayılı Belediye Gelirleri Kanunu, Çevre ve Temizlik Vergisi (ÇTV)'nin 97.maddesine göre: “Çevreyi kirleten maddi tazminatı öder”, prensibiyle atık üreticilerinin atık yönetimi konusunda hizmete katılımı sağlanmaktadır.
- 5237 sayılı Türk Ceza Kanunu'nun 181. ve 182. maddelerine göre: Çevreyi kasıtlı olarak kirleten kişilere yönelik, kasten veya taksirli olarak çeşitli cezalar düzenlenmiş ve cezai yaptırım uygulanması öngörülmüştür (Atık Yönetimi Eylem Planı 2008-2012, 2008).

1983 yılında mevzuata koyulan 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda 2006 yılında yapılan değişiklikle “ambalaj atıklarının ayrı kaynakta toplanması zorunluluğu” getirilmiştir. Atıkların toplanması konusundaki sorumluluklar 2004 yılında çıkartılan 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu ve 2005 yılında çıkartılan 5393 sayılı Belediye Kanunu'nda pay edilmiştir. Bu kanuna göre, belediyeler, atıkların toplanıp bertaraf edilmesinde sorumlu olan kurumlardır. Fakat yapılan mevzuat dahilinde büyükşehir belediyelerin atıkların toplanması konusunda ilçe ve ilk kademe belediyelerinde sorumlu tutulmuştur. Atıkların bertarafı ise büyükşehir belediyelerinin sorumluluğuna bırakılmıştır (Gündüzalp ve Güven,2016).

Atık yönetimi konusunda başlıca uluslararası sözleşmeler, atık konusu BM üyesi devletlerin katılımıyla 1992 yılında Rio'da gerçekleştirilen Dünya Çevre ve Kalkınma Konferansı ile gündeme gelmiştir. Rio Deklerasyonu'nda “Atıklarda İş birliği”

başlığıyla Gündem 21 belgesinde “Çöp, Katı Atık ve Kanalizasyon Yönetimi” konu başlıklarında ele alınmıştır (Keating, 1993). Gündem 21’de atıkların güvenli bir biçimde imha edilmesi, atıkların geri kazanılması, atıkları önleme ve azaltma anlayışı geliştirilmiştir. Tarihi Rio Zirvesi’nden tam yirmi yıl sonra, tüm dünya bu konuda nasıl bir yol izleneceğini tartışmak ve bir karara varmak için yeniden bir araya gelmiştir. Dünya Zirvesi 2012, dördüncü zirvedir ve sürdürülebilir kalkınma konusundaki uluslararası çabalarda önemli bir kilometre taşı olmuştur (<https://www.eea.europa.eu,2012>).

Atık yönetimi;

- Atıkların arıtılması, işlenmesi, bertaraf edilmesi,
- Atıkların minimizasyonu,
- Atıkların geri kazanımı ve geri dönüşümü,
- Atık hizmetlerinin kapasitesinin genişletilmesi gibi aşamalardan oluşmuştur.

Atık yönetimi kapsamında gerçekleştirilen diğer bir sözleşme Montreal Protokolü’dür. Bu protokol, çevre konusunda oluşturulmuş en başarılı çok taraflı anlaşma olarak belirlenmiştir. Montreal Protokolü’nün odağı ozon tabakası yönünde oluşmuş ve ozon tabakasını inceleyen maddelerin azaltılmasına yönelik çalışmalar yer almıştır. İlk olarak 1976 yılında başlayan ve 1987 yılında Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü, uluslararası sözleşmeler ile geçerlilik kazanmıştır. İlerleyen yıllarda, bilimsel toplantılarla salınımların azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Türkiye bu protokole, 19 Aralık 1991 tarihinde taraf olarak yapılan bütün değişiklikleri kabul etmiştir (Memiş, 2016).

Avrupa Birliği, var olan katı atık politikalarının yeterli gelmediğini belirterek atık kaynağının önlenmesi konusundaki yaklaşımlarda bulunulmuştur. Atık yönetimi kapsamında, Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı (2016-2023) hazırlanmıştır. Eylem Planı’na göre, atıkların önlenmesi ve geri dönüşümü yedi tematik stratejiden biri olarak belirlenmiştir. Belirlenen strateji ile; atığın geri dönüşümü, geri kazanımı, atık yakma, düzenli depolama, atığın önlenmesi gibi hiyerarşik atık yönetimi

benimsenmiştir. Eylem Planı dahilinde Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımının İlerletilmesi – Atığın Önlenmesi ve Geri Dönüşümü Tematik Stratejisi adıyla bir tebliğ yayınlanmıştır. Strateji’de atık, kirletici bir madde olarak belirlenmiş, aynı zamanda yararlanılması gereken bir ürün olarak ele alınmıştır. Yaşam döngüsü boyunca çevreye olan zararın en aza indirilmesi için geri dönüşüm işlemlerine odaklanılmıştır (Aydın ve Çamur, 2016, https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/haberler/ulusal_at-k_yonet-m-eylem).

AB ölçeğinde atık yönetimi şöyle özetlenebilir (Akpulat, 2017):

- Her yıl yaklaşık 600 milyon ton atık kaybedilmektedir.
- Kentsel atıkların %40’ı geri dönüştürülebilir vasıftadır, bazı ülkeler bu oranı %80’e kadar çıkarabilmiş iken bazı ülkelerde %5 olabilmektedir.
- 6 üye ülke %3’ten daha az 18 üye ülke de (bazıları %90’ın üzerinde olmak üzere) %50’den daha fazla depolama yapılmaktadır.
- Tüm plastik atıkların %25’i geri dönüştürülmektedir, %50’si düzenli depolamaya gitmektedir.
- Büyük şirketler atıklarının %45’ini satarken KOBİ’ler %25’ini satılmaktadır.

2.3.3. Entegre katı atık yönetimi

Entegre atık yönetimi, atık yönetiminin bütün olarak değerlendirildiği, elemanların etkinlik ve verimlilik açısından kabul ettirildiği bir kavramdır. Entegre atık yönetiminde atık yönetiminin amaç ve hedefleri tanımlanmaktadır. Entegre atık yönetiminin amacı, sistem içinde oluşan atıkların yok edilip, ekonomiye ve çevreye olan zararını minimize etmektir (Bozkurt, 2012).

Entegre katı atık yönetimi planlaması, katı atıkların içeriği ve miktarı, bölgesel ve yerel özellikleri, sosyal ve çevresel özellikleri dikkate alınarak var olan imkanlarla atıkların üretildiği kaynakta biriktirilmesinden başlayıp, toplama, taşıma, işleme ve uzaklaştırma süreçlerini kapsayan planlama şeklidir (EPA, 1989).

Entegre atık yönetiminin uygulanabilmesi için, yönetim amaçlarının belirlenmiş, uygun biçimde olması gereklidir. Entegre atık yönetimi, bölgesel, çevresel, yerel, ulusal, uluslararası durumları etkileyerek planlama yapar. Bu atık yönetiminde, merkezi yönetim, sivil toplum kuruluşları, yerel yönetim, özel sektör ve kişiler birlikte sorumluluk almaktadırlar (Palabıyık, 2001).

Tablo 2.5. Entegre katı atık yönetimi unsurları

Atık oluşumu
Biriktirme
Toplama
Depolama
Geri kazanım /tekrar kullanım
Kaynağında ayırım
Transfer istasyonu
Kompostlaştırma

Günümüzde entegre atık yönetiminin uygulanması için başlıca 8 temel unsur önemli olarak görülmüştür (Tablo 2.5.). Atık oluşumunun toplanmasının ardından depolama tesislerine götürülerek geri kazanım haline dönüştürülür veya kaynağında ayrıştırılarak, transfer istasyonlarına takviye edilir. Kompostlaştırma işlemi ile atıklar değerlendirilir.

Verimli bir entegre katı atık yönetim sisteminin başlıca özellikleri (TBB, 2015);

- Bütüncül bir sistem olmalı: Katı atık yönetimi, yerleşimde oluşan katı atıkları oluşturan tüm malzeme ve üretim kaynaklarını kapsayacak şekilde planlanmalıdır.
- Ekonomik bir değer oluşturabilmeli: Katı atık sisteminden faydalanan ekonomik değerler, geri kazanılabilen malzemelerden, komposttan elde edilebilecek biyogazdan oluşan girdilerdir. Bu girdilerden temin edilen gelir, yatırımın maliyeti ve piyasa koşulları ile yakından ilgilidir. Bu nedenle planlama aşamasında ekonomik değerlendirmenin iyi yapılması gereklidir.
- Esnek olmalıdır: Katı atık yönetiminde, zaman içinde meydana gelecek olan mekansal, çevresel ve atık özelliklerinde belirli bir dereceye kadar değişime uyum sağlayacak kadar esnek olmalıdır.

- Bölgesel planlama yapılmalıdır: Toplanan atık miktarının büyüklüğü, planlamanın o boyutta verimli olmasını sağlar. Atık üretimi miktarı öncelikle bölgenin nüfusuna bağlıdır. Bu nedenle şehir dışı planlamalarda geniş bölge planlaması yapılmalıdır. Bazı araştırmacılar, entegre yönetime bağlı nüfusun 500.000 kişiden az olmamasını önermektedir (Mc Daugall, 2001).

Entegre atık yönetimi stratejileri ise aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Ulusoy, 2017):

- Atık oluşumunun önlenmesi,
- Katı atığın hacim ve ağırlığının azaltılması,
- Atıkların geri kazanılması,
- Düzenli depolama,
- Gaz emisyonları ve sızıntı suları düzeyinin azaltılması.

Sürdürülebilir şehirlerde sürdürülebilir katı atık yönetimi beş adımda aşağıdaki gibi gerçekleştirilebilir (Akpulat, 2017):

- Sağlıklı veri tabanları oluşturmak,
- Bu verilere göre ilgili planların hazırlanması,
- Planlarda öngörülen altyapı yatırımlarının hayata geçirilmesi,
- Ulusal ve yerel ölçekte kurumsal ve teknik kapasiteyi arttırmak,
- Toplumsal farkındalık çalışmalarının gerçekleştirilmesi.

2.4. Life Cycle Assessment (LCA) Kavramı ve Tarihçesi

2.4.1. LCA tanımı

Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Analysis), bir faaliyetin bütün çevresel boyutlarını, hammaddenin kaynağından elde edilmesinden, oluşan tüm atıkların tekrar doğaya karışmasına kadar değerlendiren sistemdir. Değerlendirme süreci, ürünün işlenip üretilmesinden, kullanılıp bertaraf edilmesine kadar bütün süreci içerir. Suya, toprağa ve havaya olan bütün etkileri içermektedir. LCA'lar doğrudan veya dolaylı

olarak ürünlerin etkilerini belirlemek ve ölçmek amacıyla kullanılmaktadır (Çokaygil, 2005).

LCA' nın sistematik yaklaşımı, belli bir sistemin ya da etkilerinin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlamaktadır. Ürünün çevresel etkilerinin toplam analizini vermektedir (Bishop 2000).

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), çevresel performanslara bağlı gelişen atık arıtma teknolojilerini incelemek için etkili bir araç niteliğindedir (Zaman, 2010).

LCA, ürün, hizmet veya sistemin bütün yaşam döngülerini, birbiriyle bağlantılarını bir bütün içinde değerlendirmektedir. Ürünün yaşamının sona ermesine kadar olan süreçlerde ortaya çıkabilecek çevresel etkileri kümülatif olarak ortaya koymaktadır. Geleneksel çevresel etki değerlendirmesinde göz önünde bulundurulmayan hammadde eldesi, nihai bertarafı ve sevkiyatı gibi aşamalar LCA yöntemiyle değerlendirmeye alınmaktadır (Alpaydın, 2014).

2.4.2. LCA'nın tarihçesi

LCA, 1960'lı yılların sonuna doğru geliştirilmiştir. LCA, Uluslararası Standartları Organizasyonu (ISO) tarafından yönetilen Çevre Yönetim Sisteminin içine ISO 14040 serisi olarak yerleştirilmiştir (James, 2003).

1960'lı yılların sonundan 1970'li yılların başına kadar Kaynak ve Çevresel Profil Analizleri (REPA), LCA'yı haber veren ilk sektör olmuştur. Önceleri Midwest Araştırma Enstitüsü tarafından sonra Franklin Associates Danışmanlık Şirketi tarafından yönetilmiştir. Mobil Corporation ve Coca Cola REPA çalışması yapan firmalardan biri olmuştur. LCA'ya ilk ilgi gösteren Gaines, Sundstorm ve Lundholm olmuştur. Gaines 1981 yılında, Sundstorm ve Lundholm 1985 yılında LCA çalışmalarına metot belirleme ve karar verme için kullanılan REPA ile devam etmiştir. REPA çalışmalarında, atık üretim konuları, hammadde talepleri, enerji girdileri gibi

konular ele alınmıştır. Çevresel etkinin sınıflandırılmasıyla kompleks analiz yapma girişimleri LCA metodolojisinin gelişme sürecinden sonra olmuştur (Güler 2004).

1990 yılında LCA' nın standartları geliştirilmiştir. İlk olarak 1990'lı yıllarda net enerji analizleri ortaya çıkmış ve bunun yeterli gelmemesi üzerine su ve hava emisyonları da eklenmiştir. 1990 yılında Kimya ve Çevresel Toksikoloji Birliği (SETAC), 1996 yılında da ISO, LCA için bir araya gelip metodoloji geliştirmiştir. LCA, değerlendirme ve analizden oluşan hatlar belirgin bir biçimde ortaya koyulmuştur (Çokaygil, 2005).

2.4.3. LCA çeşitleri ve kullanım alanları

LCA' nın uygulandığı alanlar ISO 14040'da tanımlanarak 4 ana başlık altında toplanmıştır. Bu bağlamda LCA yani yaşam döngüsü değerlendirmesi, kamuya yaşam döngüsünde farklı noktalarda ürünlerin çevresel boyutlarını geliştirmek amacıyla olasılıkları belirlemede, stratejik planlamada kullanılmaktadır. Öncelik belirleme, hizmetlerin ve ürünlerin tasarımı, var olan tasarımların yenilenmesi gibi hususlarda özel ve kamu sektöründe karar verilmesinde ölçüm tekniklerini içerecek biçimde çevresel performans göstergesiyle ilgili kamu politikasının oluşturulmasında, pazarlamada kullanılır (ISO, 2006).

Aralarında net bir ayrım yapılmamakla beraber, yalnızca detay düzeylerine göre birbirine bağlı 3 farklı LCA çeşidi bulunmaktadır:

- Kavramsal,
- Detaylı,
- Basitleştirilmiş.

LCA'nın geliştirilip standardizasyonuna dayanan çoğu çalışma, LCA' ya yöneliktir. Pratikte, metodolojiye uygun az detaylı LCA çalışması yayınlanmıştır.

LCA' yı günlük yaşama geçirmek için bazı yazılımlar kullanılmaktadır. Örneğin, GaBi, Lcait, SimaPro, Team gibi. Bu modelleme ve hesaplamalar yapıp grafikler

çıkartan yazılımlara rağmen en önemlisi iyi bir veri kaynağının varlığıdır. LCA' nın en vakit alan parçası veri toplamaktır. LCA, sistemlerin çevresel etkilerini anlamaya yarayan, olanak sağlayan tek yaklaşımdır. LCA ile yapı endüstrisinin oluşturduğu sağlıklı yapı doğanın ve çevrenin etkilerinin belirlenmesinde önemlidir. Bu kapsamda, tasarımcı uygun yapı ürünlerini doğru ve kolay bir şekilde seçebilmektedir. Tasarımcı, kullanıcı ve üreticinin çevre bilincinin artmasına yönelik öneriler geliştirmeli ve bilinçlenmelidir. Çevre korumasına ilişkin zorunlulukların meydana gelmesini sağlayarak yapı sanayisindeki ürünlerin, üretim teknolojilerinin geliştirilip değişmesine yol açabilmelidir.

Endüstride kullanılabilen ürünlerin çevreye olan etkilerini belirlemek ve azaltmak amacıyla, ekolojiye zarar veren ürünlerin seçilmesini sağlamak YDD' nin önemli amacıdır. LCA' ya yönelik yazılım ve model geliştirmek gerekmektedir. Bu modellerin başlıcaları, Bees, Athena, BRE, Pre, LEED, Analytica Modelleri, TEAM, Wooley, Eco-Quantum, GB Tool, March ve Curwell'dir (Özçuhadar, 2007).

LCA, deterjanlar, ambalajlar, atık yönetim senaryoları, yiyecekler, yapılar, yakıtlar ve ulaşım gibi birçok farklı proses ve ürünlere uygulanabilmektedir. Ayrıca proses ve ürün geliştirme, eko-tasarım, eko-etiketleme, stratejik karar verme, pazarlama ve kamusal faaliyetler gibi uygulamalarda da kullanılabilir. Son yıllarda artan projelendirme ve planlama aracı olarak da kullanılabilir (James, 2003).

LCA çalışmalarında sınırlama ve uygulama yapılırken, amaç ve kapsamının belirlenmesi, sonuçların sunumu, dikkat çekilmek istenen kitlenin eğitim düzeyi gibi faktörlere önem verilmelidir. LCA çalışmasında yapılan uygulamalar şunlardır (Alpaydın, 2014):

- Sanayide, ürün tasarımı, bunların yenilenip geliştirilmesi, stratejik planlama,
- Bir ürünün ekolojik yönü için bir etiketleme programının hazırlanması,
- Kamu sektöründe, araştırma projeleri, kalkınma finansmanı ve idari düzenlemeler gibi konulara karar verme.

2.4.4. LCA üzerinde çalışan kuruluşlar

SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry): 1970 yılında çevresel konularla ilgilenen kimyagerler, çevre bilimciler, mühendisler, toksikologlar ve biyologlar, disiplinler arası iletişimi sağlamak ve boşluğu doldurmak amacıyla 1979 yılında çalışmalar yapmışlardır. Bu kapsamda Kuzey Amerika’da SETAC kurulmuştur. 1990 yılında Florida, Pensacola ve ABD’de, 2003 yılında ise Brüksel’de idari ofisleri kurulmuştur (SETAC, 1993).

ISO (The International Organization for Standardization): ISO, Uluslararası Standartlar Örgütü olup geniş çerçevede etkinliklerin ve ürünlerin standartlaşmasını amaçlayan bir kuruluştur. 1946 yılında Cenevre’de kurulan ISO, çalışmalara 1994 yılında başlamış ve LCA standartlarının tam ve ilk serisini oluşturmayı hedeflemiştir. 14000 seri ile birçok standart ve çevre yönetim sistemine dahil olan 14001 standardını içermektedir. Teknolojik ihtiyaçlardan ötürü ISO standartları, 5 yılda bir gözden geçirilerek ilgili değişiklik yapılmaktadır (ISO, 2003).

UNEP (United Nations Environment Development): LCA alanında önemli bir rol oynayan üçüncü kuruluştur. Merkezi Nairobi’de olan UNEP, Kenya’da önem teşkil etmiştir. UNEP’in 6 bölge ofisi bulunmakla birlikte birçok ülkede ofisi bulunmaktadır. UNEP’in amacı, BM’de çevre durumunu küresel anlamda her daim odaklanması, çevre problemleri hakkında uluslararası toplumun dikkatinin çekilmesini, hem uluslararası hem de ulusal çevre politikasının ve hukukunun gelişiminin sağlanmasıdır (UNEP, 2012).

UNEP, kısmi olarak gelişmiş ülkelerdeki LCA uygulamaları üzerine çoğunlukla odaklanmaktadır. UNEP’in önemli bir katkısı da 1996 yılında kullanıcıların LCA’ yı okuması için bir rehber niteliğinde olan “Life Cycle Assessment: What it is, and what to do about it” başlıklı yayınıdır. SETAC ve UNEP şu anda daha büyük ve yeni bir görev olan yaşam döngüsü ile iş birliği yapmaktadır. UNEP, SETAC Yaşam Döngüsü İnisiyatifinin amacı, hizmet ve ürünlerin bütün yaşam döngüsü boyunca imkanlarının

ve risklerinin değerlendirilmesi için gerekli pratik araçlarını geliştirip yaygınlaştırmaktır (Bozkurt, 2007).

2.5. Yapılmış Örnek Çalışmalar

Katı atıklarda LCA uygulanmasına yönelik Maalouf ve El-Fadel'in (2019) çalışması, dikkat çeken çalışmalardan biri olmuştur. Katı atık yönetimi, etkilerin ve karbon emisyonlarının azaltılmasını amaçlayan çabalarla özellikle son yıllarda fazla bir şekilde ilerlemiştir. Verilen çabalar yetersiz yöntem uygulamaları sebebiyle gelişmekte olan ülkelerin ekonomilerine nispeten sınırlı kalmıştır. Maalouf ve Fadel'in çalışmasında da katı atıkların çevreye etkilerini araştırmak amacıyla duyarlılık analizi ile birlikte gelişen entegre sistemleri tanımlanmış ve yaşam döngüsünü belirlemek amacıyla LCA yaklaşımı benimsenmiştir. Çalışma sonucunda çevreye en yüksek etkiler, geri dönüşüm ve kompostlaştırma işleminden sonra ortaya çıktığı görülmüştür (Maalouf ve El-Fadel, 2019).

Khandelwal ve arkadaşlarının (2018) çalışmasında bütün dünyada katı atık üretiminin büyük artış göstermesiyle birlikte sürdürülebilir bir çevre yönetim anlayışının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çevresel etkilerin ölçülmesi amacıyla LCA aracılığı ile sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Karar vericiler üzerinde önemli etkiye sahip olan LCA' da minimum etkilerle en iyi yöntem stratejisi seçmek için çaba sarf edilmiştir. Kentsel katı atık yönetimi sisteminin çevresel performansı değerlendirilmiş ve LCA metodolojisi ile 2003 yılından itibaren yayınlanan 153 çalışma analiz edilmiştir. LCA çalışmasının yapıldığı ülkeler, düşük gelirli, düşük orta gelirli, yüksek orta gelirli ve yüksek gelirli ülkeler olarak 4 grubu ayrılmıştır. LCA çeşitlerinden en çok uygulanan modelin Sima Pro model olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucuna göre, entegre atık yönetimi özellikle yüksek gelirli ülkelerde çok fazla tercih edildiği tespit edilmiştir. Katı atık yönetimine ilişkin yapılan birçok LCA çalışması Asya ve Avrupa' da yapılmıştır (Khandelwal, vd., 2018).

Özeler ve arkadaşları (2005) çalışmalarında katı atık yönetiminin bertaraf edilme tekniklerinden yola çıkarak insan ve çevre sağlığına etkilerini araştırmıştır. Ankara'

da uygulanan bu çalışmada yaşam döngüsü değerlendirmesi ile atıkların bertaraf edilmesi üzerine senaryolar oluşturulmuştur. Çalışma sonucuna göre, malzemelerin geri dönüşümü ve kaynakların azaltılması katı atıkların bertaraf edilmesinde en uygun yöntem olarak belirtilmiştir (Özeler vd., 2005).

Mali ve Patil'in (2016) çalışmasının temelinde katı atık yönetim sisteminin LCA metodolojisi ile değerlendirme yer almıştır. Hindistan' ın Kolhapur şehrinde gerçekleştirilen çalışmada depolama sahası tespit edilmiş sızıntı suyunun analizi için çalışmalar yapılmıştır. Sızıntı suyunun özellikleri standartlara göre daha fazla olduğu tespitine ulaşılmıştır. LCA yöntem çeşitlerinden Sima Pro yazılımı kullanılarak çevresel etkilerin farklı etki kategorileri üzerinden analiz yapılmıştır. Çalışma sonucuna göre, çevresel etki analize uygun tedavi yöntemi ortaya koyularak enerji kazanımı potansiyeli olan gazlaştırma ve kompostlaştırmanın en uygun yöntem olduğu belirtilmiştir (Mali ve Patil, 2016).

Banar ve arkadaşlarının (2008) çalışmasında belediye katı atık yönetim stratejisinin belirlenmesi kapsamında LCA metodu kullanılmıştır. Eskişehir' de yapılan çalışmaya göre, toplam 750 ton atık üretildiği ortaya çıkmış ve Türkiye' nin gelişmekte olan şehirlerinden biri olduğu tespit edilmiştir. Katı atıkların düzensiz çöp alanına atılmasından dolayı MSW yönetimine ihtiyaç duyulmuş mevcut atık yönetimine karşı beş farklı senaryo geliştirilmiştir. SimaPro7 kütüphaneleri kurularak yaşam döngüsü envanterinde arka plan verileri elde edilmiştir. Çalışmanın amacı, katı atık yönetiminin sosyal ve ekonomik etkilerini dikkate alarak karar verme araçları ile desteklemektir. Katı atık yöntemi alternatifleri yalnızca çevresel açıdan incelenerek ekonomik ve sosyal etkilerinin analizi yapılmıştır (Banar vd., 2008).

Blanco ve arkadaşlarının (2008), katı atık yönetimine yönelik yaptığı çalışmada organik atık kompostlama teknolojilerinin son yıllarda geliştirildiği belirtilmiştir. Toplumların ürettiği atık miktarı ve atıkların arıtılması, bertaraf edilmesi konusunda endişenin artması, atık çalışması yapmayı gerektirmiştir. Çalışmada LCA, Akdeniz bölgesindeki bitkilere uygulanarak organik ürünlerden elde edilen kompostların

çevresel etkileri araştırılmıştır. Kısmi olarak önerilebilen iyileştirme sonuçları elde edilmiştir (Blanco vd., 2008).

Yang ve arkadaşları (2013), atık çeşitleri üzerinde yoğunlaşmış ve kömürleşme işlemi incelenmiştir. Kömürleşme, lağımda ortaya çıkan çamurları suya dönüştürerek yapılan bir işlemdir. Çalışmada kömürleşme işleminin çevresel etkileri incelenerek değerlendirmelerde bulunulmuştur. Tayvan’ da gerçekleştirilen bu çalışmada katı atıkların bertaraf edilmesi yalnızca yakma ile mevcut olmayıp kömürleşme ve çamur artıma işlemlerinden oluşmuştur. LCA değerlendirilmesi yazılımından IMPACT 2002 ve SimaPro kullanılarak yaşam döngüsü değerlendirilmiştir. Çalışma sonucuna göre atık su çamur arıtmasının karbonizasyonun en iyi yaklaşım olduğu tespit edilmiştir. Lağım çamurlaşmasının enerjiye dönüştürülmesi halinde daha iyi sürdürülebilir bir yaşam elde edileceği olgusuna varılmıştır (Yang vd., 2013).

Manfredi ve arkadaşlarının (2008) çalışmasında katı atık depolama teknolojileri yaşam döngüsü envanterinde değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, LCA yönteminin kullanarak 6 adet depolama yönteminin çevresel etkisi araştırmaktır. Çalışmada Easewaste yazılımı kullanılmış ve yaşam döngüsü değerlendirmesi analiz edilmiştir (Manfredi vd., 2008).

Ren (2012) çalışmasında plastik üretiminin çevreye yaydığı sonuçlar üzerinde durulmuştur. Her yıl yaklaşık 300 milyon ton plastik üretimi, kullanımı, sağlık sorunu, enerji kaynakları ve elden çıkarılmasından dolayı çevreye etkisi oldukça büyüktür. Amerika’da plastik üretimi etkilerinden dolayı oldukça azaltılarak geri dönüşüm işlemi uygulanmakta ve çevre dostu olma yolunda gidilmektedir. Kopenhag’ da gerçekleştirilen bu çalışmada, belediyenin plastik üretim ve geri dönüşüme kazandırdığı işlemler ele alınmıştır. Belediye atık işlemlerinde yakma işlemi kullandığı için çalışmada LCA metodu kullanılmıştır. Çalışmada plastikler için iklim değişikliğinin etkisi araştırılmış, kentsel atıklarla karıştırılan plastiklerin insan sağlığı üzerindeki zararı tespit edilmiştir (Ren, 2012).

Honkimo (2013) atık çalışmalarına yeni bir düşünce anlayışı geliştirerek Nokia Siemens Network' un ambalaj malzemelerinin çevreye ve insan sağlığına etkilerini araştırmıştır. Nokia standart ürün teslimatları için ambalaj malzemelerinin çevre dostu olduğunu ifade etmiştir. Çalışmanın amacında ambalaj malzemelerini LCA metoduyla tanımlamak ve oluşturmaktır. Bu çalışmanın kapsam alanı Çin' de gerçekleştirilmiştir. Çin' de kullanılan ambalaj malzemeleri değerlendirilerek, SimoPro aracıyla LCA modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar direksiyon ekibinde analiz edilerek, belgelenmiş ve gözden geçirilmiştir. Sonuç olarak, Nokia Siemens Networks tarafından kullanılan ambalaj malzemelerinin çevre dostu olduğu onaylanmıştır. Ancak her zaman için sürdürülebilir paketleme yöntemi bulmak oldukça önemlidir (Honkimo, 2013).

Zaman (2010), araştırmasında farklı atık arıtma teknolojisinden yararlanarak yaşam döngüsünü değerlendirmiştir. SimaPro yazılımında incelenen çalışmada, çevresel yükün farklı etkilerinin kategorilendirilmesi amaçlanmıştır. LCA' nın çevresel performanslara dayalı atık arıtma teknolojisini analiz etmek için etkili bir araç olduğu tespit edilmiştir (Zaman, 2010).

Poroy (2019) Bursa kentinde uygulanan katı atık yönetim modelini incelemiştir. Kentin katı atık yönetimi ihtiyaçlara cevap verirken, çevre üzerinde büyük bir yük olduğu tespit edilmiştir. Bursa' da kentsel katı atık yönetiminin neden olduğu çevresel yükün analizi ve azaltılması amacıyla yapılması gerekenler belirtilmiştir. Çalışma kapsamında çevresel yük, LCA ve deponi gazı etkisi modellemesi analiz edilmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi için SimaPro 8.5.0. yazılımı, deponi gazının değerlendirilmesi için EPA LandGEM modeli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda katı atıkların bertaraf edilmesinin ozon tabakasındaki incelmeye büyük bir zararının olduğu tespit edilmiştir (Poroy, 2019).

Yay (2015) Sakarya ilinde oluşan kentsel katı atıklar için 5 farklı atık yönetim senaryosunun çevresel etkilerini yaşam döngüsü analizi kullanarak hesaplamıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi için Sima Pro 8.0.2. yazılımı ve CML-IA metodu kullanılmıştır. Yöntemin etki grupları abiyotik tükenme, küresel ısınma, ozon tabakası

tahribatı, insan toksisitesi, tatlı su ekotoksisitesi, karasal ekotoksiste, insan ekotoksisitesi, deniz ekotoksisitesi, kimyasal oksidasyon, asidifikasyon ve ötrofikasyondur. Çalışmanın sonuçlarına göre yakma ve düzenli depolama en kötü nihai bertaraf yöntemi olarak belirtilmiş, kompostlaştırma ve geri dönüşüm ise daha iyi performans göstermiştir. Geri dönüşüm, kompostlaştırma, yakma ve düzenli depolama yöntemlerinin uygulandığı entegre sistem çevreye en az zararlı yöntem olarak belirtilmiştir.

Eshet ve arkadaşlarının (2006) İsrail’de aktarma istasyonlarına yakın yerleşim alanlarının arsa ve konut fiyatları üzerinden etkisi incelenmiştir. Çevresel kalite ve emlak fiyatlarındaki değişim yerleşme alanlarına kurulan aktarma istasyonlarının şehir estetiğini bozduğunu belirtmiştir (Öner, 2019).

Abduli ve arkadaşlarının (2011), Tahran’ da katı atık yönetimi üzerine yaptığı çalışmada, yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları yer almıştır. LCA hakkında yapılan senaryolar kompostlama ve düzenli depolama ile bir araya geçmiş senaryolardır. Çalışmanın temel amacı, Tahran’ daki katı atık yönetim sistemini iyileştirmek için kentsel katı atık stratejilerini karşılaştırarak öneriler getirmektir. Çalışmada Ecoindicator 99 yöntemi kullanılmıştır (Abduli vd., 2011).

Ripa ve arkadaşları (2016) İtalya’ nın Napoli kenti için katı atık yönetimi için çalışmalarda bulunulmuştur. Çalışmanın amacı, LCA ile çevre dostu atık yönetim sistemini belirlemektir. Bu çalışmada Napoli belediyesi ile ortak hareket ederek atıkların bertaraf edilmesine yönelik uygulanan tüm yöntemlerin tek tek analizi yapılmıştır (Ripa vd., 2016).

Rajcoomar ve arkadaşları (2016), Mauritius adasına yönelik katı atık yönetimi çalışması yapmışlardır. Çalışmanın temel amacı yaşam döngüsü envanteri ile katı atık yönetim sistemini karşılaştırmak, değerlendirmek ve çevreye bakış açısıyla Mauritius Adasına en uygun katı atık yönetim sisteminin belirlemektir. Çalışma kapsamında oluşturulan senaryoların çevresel etkileri karşılaştırılmıştır (Rajcoomar vd., 2016).

Pelesaraei ve ark. (2017), kentsel katı atıkların yönetimi için değerlendirmelerde bulunmuşlardır. İran' ın Tahran kentinde gerçekleştirilen araştırmanın amacı, yakma ve düzenli depolama tesislerinin kentsel katı atık yönetimine sağladığı katkının belirtilmesidir. Çalışmada kentsel katı atık yönetimine ilişkin SimaPro ve Easewaste yazılımı kullanılmıştır (Pelesaraei vd., 2017).

Komilis (2008) çalışmasında kentsel katı atıkların nakliyesini organize etmek amacıyla kavramsal modelleme üzerinde durmuştur. Atık nakliye süresi ve maliyetine dayalı iki kavramsal tam sayılı model geliştirerek katı atıkların çözüm sürecinde modelleme yöntemi ile sonuca ulaşmıştır. Kentsel katı atıkların yönetiminde aktarma istasyonlarının sayısının tahmin edilmesinde modelleme yöntemlerini destek aracı olarak görmüştür (Komilis, 2008).

Liamsanguan ve Gheewala (2004) çalışmasında belediyelerde katı atık yönetimine yönelik sistemleri yaşam döngüsü envanterinde uygulamışlardır. Çalışmanın temel amacı, çevresel yükleri ve olası çevresel etkileri değerlendirmektir. LCA kullanılarak yapılan çalışmada MSW yönetim sistemi yaşam döngüsü değerlendirme perspektifine göre analiz edilmiştir. Phuket' te gerçekleştirilen bu çalışmada MSW yöntemi için 2 teknik kullanılarak yakma ve düzenli depolamanın hem enerji tüketimi hem de sera gazı emisyonuna bakış açılarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Karşılaştırmalar doğrultusunda elde edilen sonuçlara göre, katı atıklar konusu doğrudan üzerinde önemle durulması gereken konular arasındadır. Bu durum direkt olarak LCA metoduna dayanmaktadır. Enerji tüketimi göz önünde bulundurularak katı atıkların yönetimi konusu önemli bir konu olarak analiz edilmelidir.

Fisher ve arkadaşlarının (2007) taşınabilir atık pillerin toplanması ve geri dönüştürülmesi için yaşam döngüsü analizi değerlendirmelerinde pillerin toplama ve geri dönüşüm işlemlerinde maliyet karşılaştırmaları belirlenmiş ve 2006-2030 yılları arasında İngiltere' de taşınabilir batarya atıklarının çevresel etkileri incelenmiştir. Değerlendirmenin kapsamı, atık bataryaların toplanması, ayrıştırılması ve geri dönüştürülmesi yönetimlerini içermektedir. Yapılan çalışmada 198-248kg CO₂ tasarrufu yapılabileceği belirlenmiş olup pil ve atık yönetimi maliyetlerinde olağan bir

artış olabileceği ancak bunun finansal maliyetlerde, çevresel ve sosyal boyutlarda karşılanabilir bir miktar tasarrufla sonuçlanacağı belirtilmiştir.

Malla ve arkadaşlarının (2019) Nepal Kathmandu Belediyesi katı atık yönetiminin yaşam döngüsü değerlendirmesi konulu araştırmalarında; toplama, taşıma ve depolama alanlarından oluşan bir işletme (1), geri dönüşüm ile birlikte geri enerji kazanımı (2) ve kompostlama ve depolama alanlarından oluşan konjektif imha sistemi (3) senaryoları belirlenmiş olup her senaryonun maliyetleri, çevresel etkilerden küresel ısınma potansiyeli (GWP), asitleşme potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP) ve yakıt-enerji tüketimi (FEC) hesaplanmıştır. Çevresel etkilerin ölçülmesinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında; Senaryo 3'ün Senaryo 1 ve Senaryo 2'den daha çevre dostu olduğu, minimum çevresel etkileri bulunduğu ve daha ucuz yakıt maliyeti tespit edilmiştir.

Rana ve arkadaşlarının (2019) Hindistan' ın Tricity bölgesindeki belediye katı atık yönetimi stratejilerinin yaşam döngüsü değerlendirmelerinde farklı atık yönetimi senaryoları uygulanmış olup analiz edilen etki kategorileri küresel ısınma, asitlenme, ötrofikasyon ve insan toksisitesi belirlenmiştir. Önerilen alternatif senaryolar arasında, geri dönüşüm, kompostlama ve sıhhi depolama alanlarının bir araya getirilmesi senaryosu en az çevresel etkileri göstermiştir. Sonuçlar, mevcut atık yönetimi senaryosundaki enerji geri kazanımı yoluyla önemli çevresel tasarrufların sağlandığını göstermekte olup geri dönüşüm oranı bağlamında yapılan duyarlılık analizi; geri dönüşüm oranını %90'dan %10'a gerilediğini göstermiştir.

Rosado ve arkadaşlarının (2019) Brezilya' nın Sao Paulo Eyaleti' nin geniş bir bölgesinde inşaat ve yıkım atığı yönetiminin yaşam döngüsü değerlendirmesi konulu araştırmalarında; potansiyel çevresel etkiler, iki spesifik yaşam döngüsü etki değerlendirme metodolojisi, CML taban çizgisi (v3.03) ve Impact 2002+ (v2.12) kullanılarak değerlendirilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar, geri kazanılmış malzemelerden özellikle çelik, cam ve plastik geri dönüşümü ile ilgili etkilerin önemini vurgulamıştır.

Falahi ve Avami'nin (2020) Tahran' da gömülü enerji yaklaşımı kullanarak belediyelerin katı atık yönetim sistemlerini inceledikleri hibrit yaşam döngüsü değerlendirmelerinde finansal sınırlara göre maksimum çevresel faydaların yanı sıra en uygun maliyetli teknolojilere ulaşmak için optimum yolu aramışlardır. Yapılan çalışmada genel olarak, kompostlama ve kaynak ayrımı kombinasyonu Tahran' daki en sürdürülebilir ve çevre dostu yol olarak belirlenmiştir.

Hindistan' daki metropol şehirlerde üretilen belediye katı atıklarının çoğu bilimsel olmayan bir şekilde atılarak çevre ve sağlık felaketlerine yol açmaktadır. Kentsel katı atıkların önemli bir kısmı olan plastik atıklar büyük tehlike kaynağıdır. Mumbai' de her gün yaklaşık 700 ton plastik atık üretilmektedir. Ancak plastik atıklar, piroliz yoluyla enerji ve petrol, gaz ve kömür gibi katma değerli ürünler üretme potansiyeline sahip değerli bir kaynak olabilmektedir. Bununla birlikte, uygun bir politika kılavuzunun geliştirilebilmesi için ekonomik ve çevresel boyutları karşılaştırarak bu seçeneğin uygunluğunu değerlendirmek amacıyla Kulkarni ve Shastri (2019) tarafından yaşam döngüsü analizi uygulanmıştır. Kentsel katı atıkların işlevsel birimi 1 ton plastik atık olarak seçilmiş olup ton plastik atık başına 7047 INR (Hindistan Rupisi) net kar elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır. LCA sonuçları, iklim değişikliği, tatlı su ekotoksitesitesi ve insan toksisitesi (kanserojenik) için sırasıyla 52.34 kg CO₂, 29.53 CTUe (insan toksisite potansiyeli) ve 1.78×10^{-6} CTUh (ekotoksisite potansiyeli) olduğunu göstermektedir.

Aryan, Yadav ve Samadder' in (2019) yaptıkları çalışmada; Hindistan' daki Dhanbad şehrindeki mevcut ve önerilen plastik atık yönetimi senaryolarının çeşitli etki kategorileri üzerindeki olası çevresel etkilerini değerlendirmek için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi tekniği kullanmışlardır. Polietilen Tereftalat (PET) ve Polietilen (PE) malzemelerinin ele alındığı değerlendirmede; dört plastik atık yönetimi senaryosunun etkileri karşılaştırılmış olup plastik atıkların geri dönüşümü çalışma alanında en iyi seçenek olarak bulunmuştur. Enerji geri kazanım seçeneği olmayan yakma ise en kötü seçenek olarak bulunmuştur.

Paes ve arkadaşlarının (2020) LCA ve LCC kullanarak çevresel ve ekonomik göstergeleri entegre eden belediye katı atık yönetim sistemlerini analiz etmeye yönelik Brezilya' nın Sorocaba kentinde gerçekleştirdikleri çalışmada; işletme maliyetleri, dışsallıklar ve toplam sosyal maliyet elde edilmiş ve analiz edilmiş, her seçeneğin ekonomik ve çevresel sorunları entegre bir şekilde incelenmiştir. Çevresel etkilerdeki en önemli azalmanın, geri dönüşüm yoluyla kuru atıkların yeniden kullanım oranlarının daha yüksek olduğu (% 70) senaryolarda meydana geldiği ortaya konmuştur. Bu bağlamda kompostlama, mekanik biyolojik arıtma ve geri dönüşümün en iyi seçenek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Zarea ve arkadaşlarının (2019) İran Ahvaz' daki atık yönetim sisteminin mevcut durumunu ve çevre üzerindeki etkisini ve ayrıca yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) yöntemini kullanarak potansiyel çevresel etkileri kantitatif olarak hesaplamak amacıyla yedi alternatif senaryoyu değerlendirdikleri araştırmalarında emisyonlar entegre atık yönetimi modeli ile hesaplanmış, kaynak tüketimi, küresel ısınma, asitlenme potansiyeli, fotokimyasal oksidasyon ve eko-toksisite olmak üzere beş etki kategorisinde sınıflandırılmıştır. Kaynak tüketimi ve yenilenemeyen kaynakların tükenmesi açısından, üçüncü senaryo (biyogaz toplamadan kompostlama ve depolama), geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve enerjiye dönüşüm nedeniyle en kötü performansı göstermiştir. Sera gazı emisyonları ve küresel ısınma üzerindeki etki açısından, senaryo 1 (biyogaz toplama olmadan düzenli depolama) ve senaryo 2 (biyogaz toplama ile düzenli depolama), tüm atık miktarının bertaraf edilmesinin, üretilen en fazla sera gazı miktarıyla sonuçlandığını göstermiştir. Ayrıca, depolama alanlarından %50 gaz ve enerji geri kazanımı, toparlanmayan yönteme kıyasla, küresel ısınma endeksini %12 oranında azaltmıştır. Çalışmada atıklardan enerji üretmeye dayanan senaryolar, sera gazı emisyonları ve küresel ısınma üzerindeki etkisi açısından oldukça olumlu bir performans gösterdiği ifade edilmiştir.

Alesia ve arkadaşlarının (2019), jeolojik ve meteorolojik koşulların belediye atık yönetim sistemlerine etkisini yaşam döngüsü analizi ile değerlendirdikleri çalışmalarında Kuveyt'teki yerel belediyelerde altı farklı senaryo ve iki faktörün etkisi (meteorolojik koşullar ve jeolojik oluşumlar-MCGF) dahil edilmiştir. ISO 14040

yönergelerine uygun olarak sunulan sonuçlar, MCGF'yi içermemenin abiyotik kaynak tükenmesinin gerçek etkisini neredeyse %25 oranında azalttığını ve fotokimyasal oksidasyonu ve insan toksisitesini yaklaşık %9 oranında azalttığını göstermektedir. %95 güven düzeyi ile eşleştirilmiş t-testi uygulanarak yapılan hipotez testleri, abiyotik tükenme sonuçlarındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.



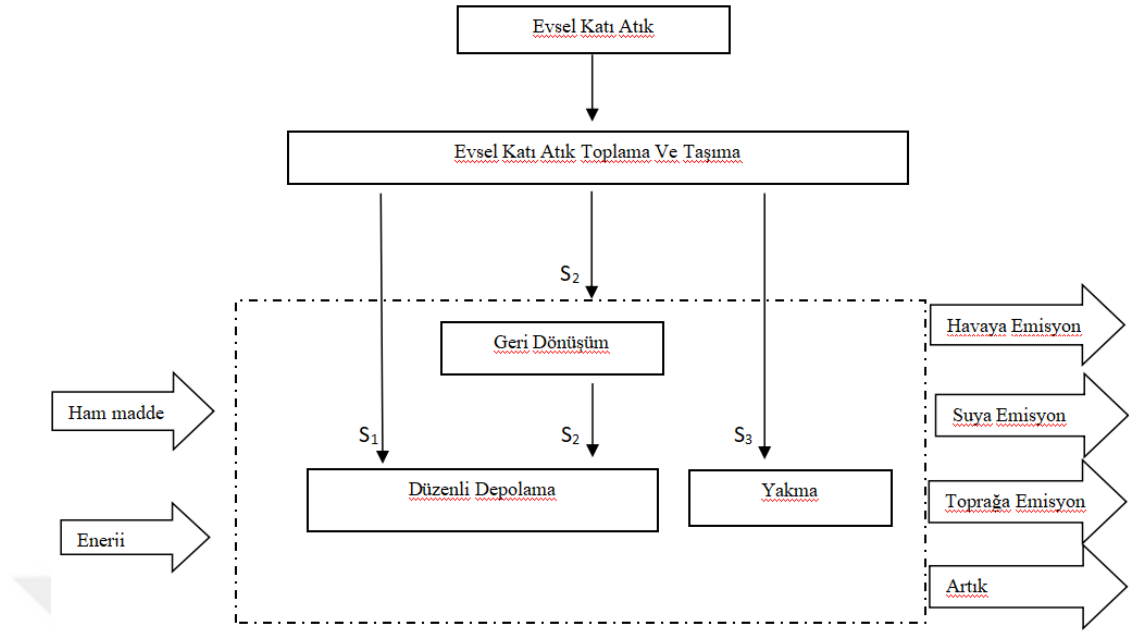
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Amaç ve Kapsam

Çalışmanın öncelikli amacı enerji üretimine önem veren kentsel katı atık yönetimlerinin çevresel etkilerini belirlemektir. Bu çalışmanın spesifik amacı ise kentsel katı atıkların bertarafında yaygın olarak kullanılan düzenli depolama ve yakma metotlarının karşılaştırmalı olarak çevresel etkilerini hesaplamaktır. Çalışma alanı olarak Kocaeli, İzmit seçilmiştir. Fonksiyonel birim olarak Kocaeli, İzmit'te toplanan bir ton kentsel katı atığı belirlenmiştir. Çalışmanın sistem sınırı ise Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi, kentsel katı atıkların yönetimi için belirlenen senaryolardaki geri dönüşüm, yakma, düzenli depolama bertaraf yöntemlerini kapsamaktadır.

Senaryolar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Senaryo 1: Kaynağında ayrıştırma yapılmadan kentsel katı atıkların enerji geri kazanımı ile doğrudan düzenli depolama sahasında bertarafının gerçekleştirilmesi olarak belirlenmiştir.
- Senaryo 2: Kentsel katı atığı ulusal atık yönetimi ve eylem planı 2023 verilen hedefleri doğrultusunda %35 geri dönüşümü ve kalan atıkların enerji geri kazanımı ile düzenli depolanması olarak belirlenmiştir.
- Senaryo 3: Kentsel katı atığının tamamının yakma yöntemi ile bertaraf edilmesi olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Sistem sınırları

3.1.1. Çalışma alanı

Kocaeli ili, Marmara Bölgesi'nin Çatalca-Kocaeli Kesimi'nde, 29° 22' - 30° 21' doğu boylamları, 40° 31' - 41° 13' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Doğu ve güneydoğusunda Sakarya, güneyinde Bursa, batısında Yalova ili, Kocaeli Körfezi, Marmara Denizi ve İstanbul ili, kuzeyinde ise Karadeniz ile çevrilidir. Kocaeli'nin yüzölçümü 3.397 km²'dir. Şehir, ülkenin en büyük endüstriyel ve ticari şehirlerinden biridir. 2019 yılı itibari ile 1.953.035 nüfusa sahiptir (Vikipedi, 2020).

Kocaeli ili genelinde üretilen ortalama 1.700 ton/gün kentsel katı atığı; Solaklar (Kocaeli) ve Çiçektepe (Dilovası) mevkielelerinde bulunan "Katı Atık Düzenli Depolama Sahaları"nda yürürlükteki ve ilgili mevzuatta belirlenen usul ve esaslar çerçevesinde bertaraf edilmektedir. Kocaeli İlçesi Solaklar Mahallesi'nde bulunan Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi'nde; Gebze, Çayırova, Darıca ve Dilovası kapsayacak şekilde toplam 4 belediye sınırları içerisinde oluşan atıklar, Başiskele, Derince, Gölcük, Kocaeli, Kandıra olmak üzere 8 belediyeye ait Çiçektepe, Dilovası İlçesi'nde bulunan Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi'nde bertaraf işlemine tabi tutulmaktadır. Karamürsel, Kartepe ve Körfez'e ait kentsel katı atıklardan gelen sızıntı suyu 500

m³/gün kapasiteli arıtma tesisinde Membran Biyoreaktör (MBR) + Nanofiltrasyon (NF) prosesi ile arıtılmaktadır. Tesisin çıkış suyu "İSU Atıksuların Kanalizasyona Deşarjı Yönetmeliği" nde belirtilen parametrelerde ve sınır değerlerde kanalizasyon hattına verilmektedir. (Kocaeli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2018). Kocaeli katı atık bertaraf tesisleri aşağıdaki haritada gösterilmiştir (Şekil 3.2.);

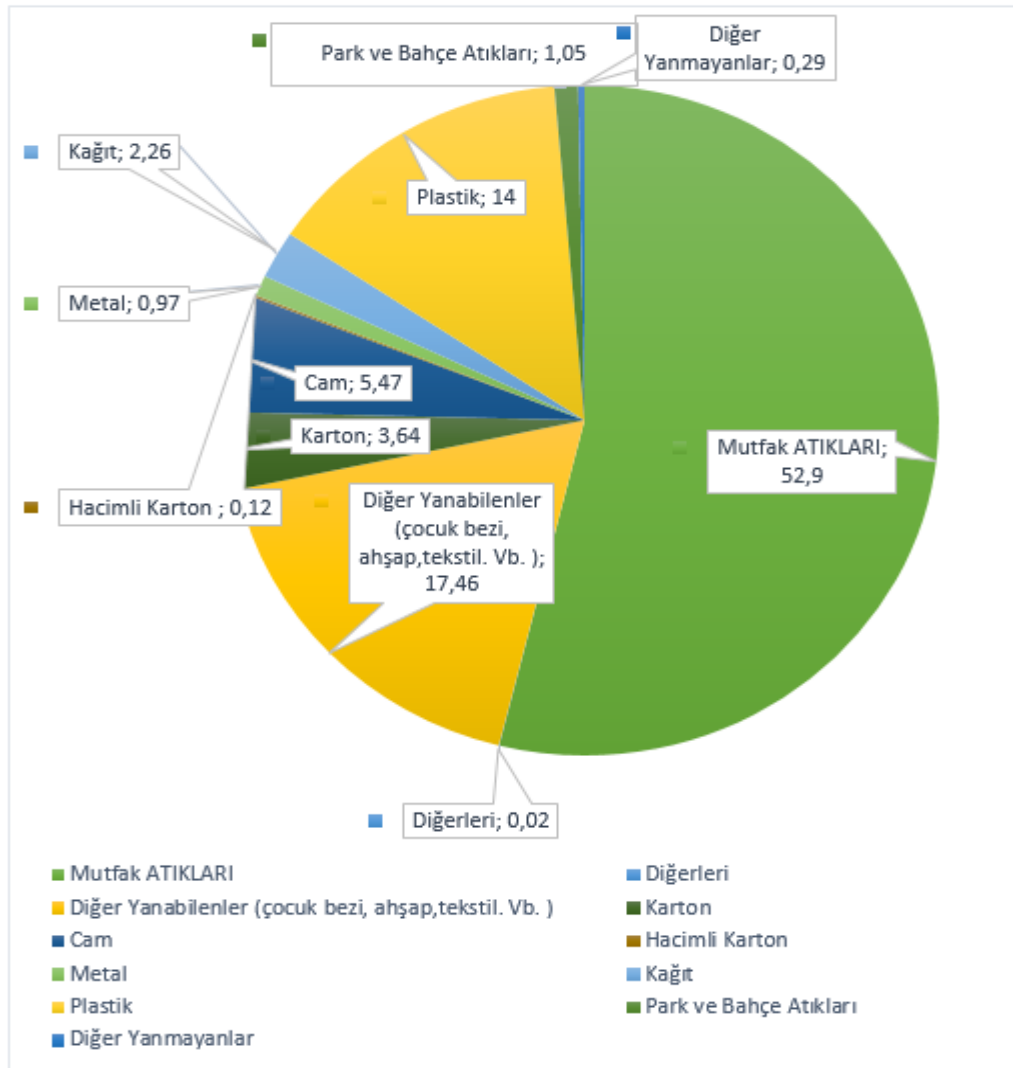


Şekil 3.2. Kocaeli katı atık bertaraf tesisleri

3.2. Veri Toplama

Yaşam döngüsü analizinde envanter verileri Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Kocaeli Çevre Durum Raporu, İzaydaş, literatür ve SimaPro 9.0.0.49 veri tabanından toplanmıştır.

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi kentsel katı atık karakterizasyonu Şekil 3.3.'te verilmiştir. Kentsel katı atıkların yıllara göre ortalama miktarı Tablo 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi kentsel katı atık sınıflandırılması

Tablo 3.1. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi kentsel katı atıkların yıllara göre ortalama miktarı

YILLAR	TOPLAM (KG/YIL)	ORTALAMA (KG/AY)	ORTALAMA (KG/GÜN)	Kg.kişi.gün
2007	454.683.765	37.890.314	1.263.010	
2008	472.485.790	39.373.816	1.312.461	0,88
2009	476.064.230	39.672.019	1.322.401	0,87
2010	501.129.180	41.760.765	1.392.026	0,89
2011	517.019.210	43.084.934	1.436.164	0,9
2012	547.543.520	45.628.627	1.520.954	0,93
2013	551.745.300	45.978.775	1.532.626	0,91
2014	572.932.820	47.744.402	1.591.480	0,92
2015	592.992.190	49.416.016	1.647.201	0,93
2016	609.582.020	50.798.502	1.693.283	0,92
2017	605.489.850	50.457.488	1.681.916	0,89
2018	640.951.750	53.412.646	1.780.422	0,93
2019	606.949.010	50.579.084	1.685.969	
ORTALAMA	549.966.818	45.830.568	1.527.686	0,91

3.2.1. Düzenli depolama

Kocaeli’nde oluşan katı atıklar, İlçe Belediyeleri tarafından toplanmakta ve aktarma istasyonlarına ya da doğrudan bertaraf tesisine getirilmektedir.

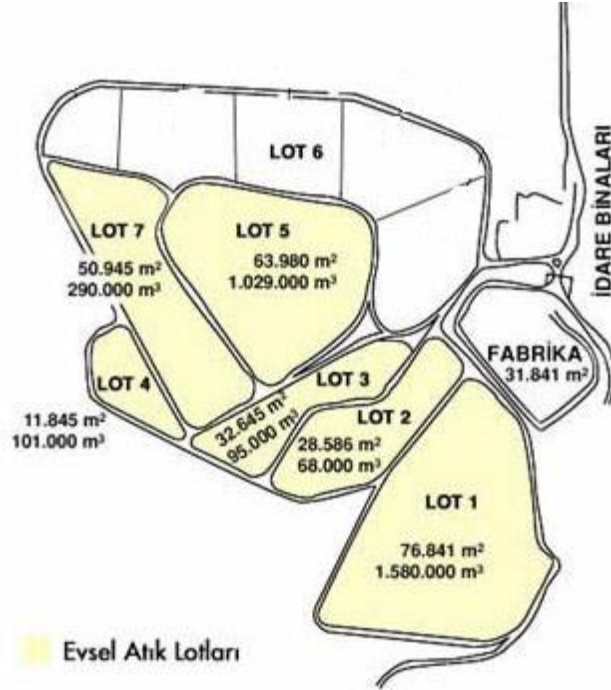
Kocaeli Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde oluşan katı atıklar, Kocaeli/Solaklar ve Dilovası/Çiçektepe’de bulunan Katı Atık Bertaraf Tesisleri’nde Haziran 2017 tarihine kadar düzenli depolama yöntemiyle ve Dilovası/Çiçektepe’de bulunan tesise atık alımından itibaren bertarafı gerçekleştirilmiştir. Söz konusu tarihte lokasyon durdurulmuştur. Katı atıkların bertarafı şu anda Kocaeli ilçesindeki tesiste yapılmaktadır. 2019 Ocak ayı itibarıyla Kocaeli İlçesi Solaklar Mevkiinde bulunan “Katı Atık Düzenli Depolama Tesis”i’nde bertaraf edilen katı atık miktarı 1.750 ton/gün, ~ 640.000 ton/yıl düzeyine ulaşmış bulunmaktadır.

TC Kocaeli Kentsel ve Tehlikeli Katı Atık Düzenli Depolama Tesisleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından tahsis edilen 800.000 m²’lik 363.007 m²’lik alan üzerine 1997 yılında inşa edilmiştir. Düzenli depolama sahasına kabul edilen kentsel ve tehlikeli atıklar, atık türüne göre uygun lotta çalışma alanına aktarılmaktadır. Kentsel atıklar için 3.163.000 m³ kapasiteli 6 lot (Aradaki yollarla ve lot 1 deplase işleminden sonra toplam kapasite 4.753.000m³), tehlikeli atıklar için 969.919 m³ kapasiteli bir lot bulunmaktadır. 2020 yılında toplam; 663.720 ton Kentsel nitelikli atık (II. Sınıf), 56.819 ton Tehlikeli Atık (I.Sınıf) Kocaeli Düzenli Depolama Alanlarında depolanma yöntemi ile bertaraf edilmiştir (Tablo 3.2.) (2020 İZAYDAŞ faaliyet raporu).

Tablo 3.2. 2016-2020 yılları arasında Kocaeli depolama sahası atık miktarları (İZAYDAŞ, 2020)

Kocaeli Depolama Sahası	Birim	2016	2017	2018	20019	2020
Tehlikeli Atık Miktarı I.sınıf	Ton	21.824	20.900	56.719	59.058	56.819
Kentsel Nitelikli End.Atık Mik. II.Sınıf	Ton	45.074	24.040	32.253	19.408	15.992
Kentsel Atık Miktarı II.Sınıf	Ton	385.092	524.756	670.385	633.468	663.720

Tesise ait Kentsel katı atık lot planı Şekil 3.4.’te verilmektedir.



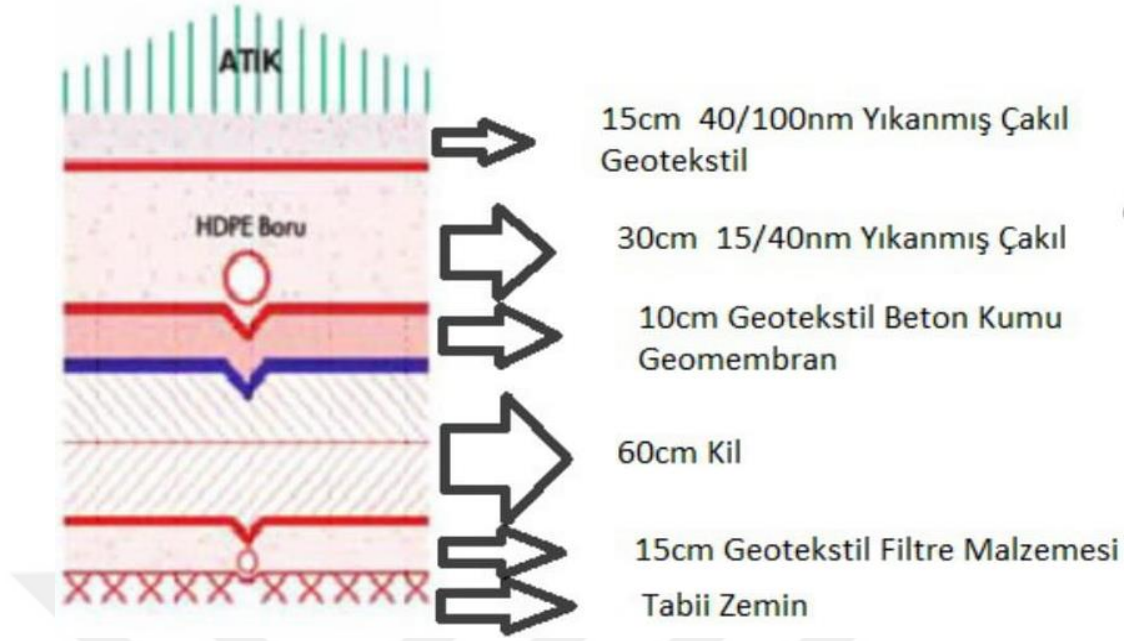
Şekil 3.4. Kentsel katı atık lot planı (İzaydas, 1999)

Her bir lotun taban alanı ve hacmi Tablo 3.3.'de verilmektedir.

Tablo 3.3. Depo alanındaki lotların alan ve hacimleri (izaydas, 1999)

Lot No	Alan (m ²)	Hacim (m ³)
1	76.841	1.580.000
2	28.586	68.000
3	32.645	95.000
4	11.845	101.000
5	63.980	1.029.000
7	50.495	290.000
Toplam	264.392	3.163.000

Depolama alanının toprak geçirimsizliğini sağlamak için parsel zeminine takip eden sıra ile filtre malzemesi, jeotekstil, sıkıştırılmış kil, jeomembran, beton kum, arındırılmış çakıl ve yıkamaya tabi tutulmuş çakıl serilmiştir. Sıkıştırılmış kil tabakasının üzerine serilmiş koruyucu tabaka ile geçirimsiz taban üzerine sızıntı suyunu toplamak için drenaj boruları döşenmektedir. Bu drenaj borularının çevresine filtre malzemesi yerleştirilmiştir. Kentsel katı atık lotunun taban kesiti Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Kentsel katı atık lotunun taban kesiti

İş makineleri yardımı ile serme/sıkıştırma işlemleri uygulanarak koku ve olumsuz çevre koşullarının önüne geçilmesi için ara örtü toprağı ile kaplanmaktadır. 25-32 yıl olarak tahmin edilen depolama süreci tamamlandığında yeşillendirilecek bu alan Türkiye Cumhuriyeti tarafından kullanılacaktır. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na iade edilecektir. Kocaeli' de hali hazırda kullanılan düzenli depolama kapasitesinin azalması nedeniyle alternatif yerlerin ve bertaraf yöntemlerinin araştırılması gerekli hale gelmiştir (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi,2020).

3.2.2. LFG enerji üretim

Katı atıklar içindeki organik bileşiklerin oksijensiz ortamda parçalanması neticesinde çöp gazları ya da depo gazları denilen son ürünler ortaya çıkmaktadır. Kentsel çöp gazlarının depolanmasından sonraki ilk birkaç ayda başlayan gaz çıkışı, yaklaşık 20 yıl sürmektedir. Pratikte ölçülen toplam gaz miktarıysa depolanan 1 ton çöp başına 60-80 m³ arasında değişmektedir.

Çöp gazı yüzlerce farklı gazdan oluşmaktadır. Çöp gazı tipik olarak hacimen % 45-60 metan, % 40-60 karbondioksit ihtiva etmektedir. Çöp gazı aynı zamanda azot, oksijen, amonyak, sülfürler, hidrojen, karbon monoksit ve metan olmayan organik bileşikler

(NMOC), triklorobenzen, benzen ve vinil klorür gibi az miktarda gaz içermektedir. Bu gazlar içinde en tehlikelisi metandır. Metan, oksijenin iki katı, havanın on katı ile karıştırıldığında en ufak bir kıvılcımla patlamaktadır. Havadaki metan oranı 5.553 ile % 14 arasında ise yanarak patlamaktadır. Yani havadaki metan % 5,53'ten az ise tehlike yoktur. % 14'ün üzerindeyse yanar şeklinde yorumlanabilir. Metanın tipik ısıl ölümlü 21,000 kJ/m³ tür. Yoğunluğu ise 1,017 kg/m³ tür. Alevlenme sıcaklığı 600 °C'dir. Tablo 3.4.'de Kocaeli için deponi gaz değerleri verilmiştir.

Tablo 3.4. Kocaeli deponi gaz değerleri

	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	TOPLAM(Nm ³ /h)
Max değer	52.7	39.4	3.29	1.972
Min değer	45.1	34.5	1.43	1.569
Ortalama	47.5	36.2	2.49	1.766

İZAYDAŞ Kocaeli ve Dilovası Kentsel Katı Atık Depolama Sahası Çöp Gazından (LFG) Elektrik Üretim Tesisi İnşaatı ve İşletmesi için 23.06.2010 tarihinde ihale yapılmıştır. İhale sonucunda Kocaeli Depolama Tesisi elektrik bağlantıları yapılmış ve 02.03.2012 tarihinde elektrik üretimi tamamlanmıştır. 2020 yılında üretilen toplam brüt enerji miktarı 33.663.420 kWh/yıl olmuştur (Tablo 3.5.).

Tablo 3.5. Kocaeli depolama sahası için tesiste üretilen brüt enerji miktarı ve satılan enerji

Yıl	Brüt üretilen enerji (kWh/yıl)	Satılan enerji (kWh/yıl)
2016	33.893.550	32.454.720
2017	40.264.270	38.635.970
2018	38.824.960	37.284.780
2019	26.251.650	24.902.720
2020	33.663.420	32.056.240

(*) Trafo ve bara kayıpları sonrası şebekeye verilen net elektrik enerjisini ifade etmektedir.

Dilovası Depolama Alanı'nda iki adet gaz motoru bulunmaktadır. Motorlar 1.063 MW kurulu güce sahip olup, tesis yılda 8.000 saatin üzerinde tam kapasite ile çalışmaktadır. Dilovası Depolama Tesisi, elektrik bağlantıları ve elektrik üretiminin tamamlanması sonucunda 24.10.2015 tarihinde elektrik üretimine başlamıştır. 2020 yılında üretilen toplam brüt enerji miktarı 3.939.120 kWh/yıl olmuştur (Tablo 3.6.).

Tablo 3.6. Dilovası depolama sahası için tesiste üretilen brüt enerji miktarı ve satılan enerji

Yıl	Brüt Üretilen Enerji (kWh/yıl)	Satılan Enerji (kWh/yıl)
2016	9.108.490	8.707.540
2017	12.516.251	11.979.709
2018	10.220.073	9.728.296
2019	6.177.303	5.762.160
2020	3.939.120	3.649.438

(*) Trafo ve bara kayıpları sonrası şebekeye verilen net elektrik enerjisini ifade etmektedir.

3.2.3. Çöp suyu arıtma tesisi

Solaklar mevkiinde bulunan atık deposunda oluşan sızıntı suları, lot içindeki HDPE borular vasıtasıyla toplanmakta ve lot dışındaki toplama bacasına aktarılmaktadır. Toplama bacasından yine HDPE borular vasıtası ile sızıntı suları cazibeyle ön arıtım tesisi ünitesi dengeleme havuzlarına gelmektedir. Kolektör hatları ile toplanan sızıntı suları arıtma tesisine iletilmektedir. Sızıntı suyu arıtma tesisinde ön arıtmadan geçirilerek kolektör hattı ile İSU 42 Evler atık su arıtma tesisine iletilmektedir. Dilovası'nda oluşan sızıntı suları havuzda toplanmakta ve vidanjörlerle Solaklar sahasında kurulu arıtma tesisine taşınmaktadır (Tablo 3.7., 3.8.).

Tablo 3.7. 2016-2020 yılları arasındaki çöp suyu miktarları

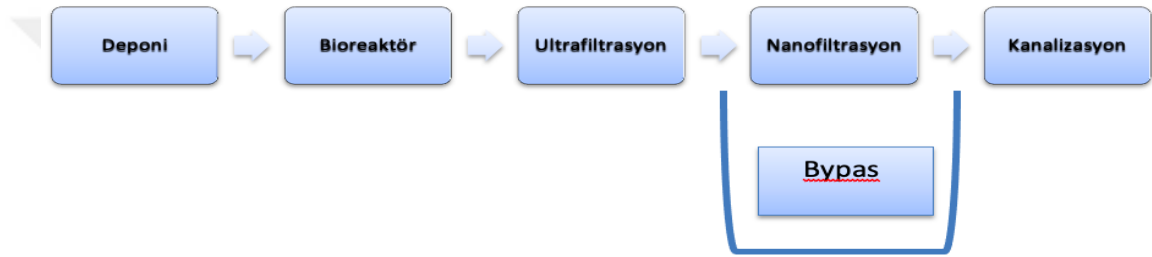
Yıl	Dilovası çöp suyu miktarı (ton)	Gebze çöp suyu miktarı (ton)
2016	78.617	342
2017	60.476	1.296
2018	43.352	3.504
2019	22.504	2.553
2020	11.914	3.211

Tablo 3.8. Yıllara göre tesiste arıtılan çöp suyu ve çıkan arıtma çamuru miktarları

Yıl	Arıtılan çöp suyu miktarı (m ³)	Çıkan çamur suyu miktarı (m ³)
2016	61.559	1.042.510
2017	93.509	940.420
2018	82.177	18.580
2019	130.201	765.370
2020	160.340	602.200

Sahada yapılan prototip çalışmalar, literatür incelemeleri ve referans MBR uygulamaları dikkate alınarak Kocaeli kentsel atıklarının depolanmasında oluşan çöp sızıntı sularının arıtımı için en uygun yöntemin membran biyoreaktör prosesi olduğuna karar verilmiştir. 2014 yılında yapımı tamamlanan MBR çöp sızıntı suyu arıtma tesisi devreye alınmıştır ve istenen deşarj değerleri sağlanarak çöp sızıntı suyunun arıtması

yapılmaktadır. Atık su arıtma tesisi 500 m³/gün kapasiteye göre dizayn edilmiştir. Tesisin çıkış suyu Kocaeli su ve kanalizasyon idaresi (İSU) kanalizasyon hattına verildiğinden, proje İSU atık sularının kanalizasyon deşarj yönetmeliğindeki parametreler ve sınır değerler esas alınarak hazırlanmıştır. Saflaştırma işlemi olarak membran biyoreaktör (MBR) ve nanofiltrasyon (NF) kombinasyonu seçilmiştir. Proses sonucu oluşacak biyolojik çamur ve nanofiltrasyon atıkları konsantre düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir. Tesisten çıkan arıtılmış su, kollektör hattı ile İSU' nun kanalizasyon hattına verilmektedir. Proses ana akış şeması Şekil 3.6.'da tesis genel görünümü ise Şekil 3.7.' dir.



Şekil 3.6. Çöp suyu arıtma prosesi ana akış şeması.



Şekil 3.7. Çöp suyu arıtma tesisi genel görünümü

Tesis projelendirmede esas alınan çöp suyu giriş parametreleri Tablo 3.9.'da yer almaktadır.

Tablo 3.9. Çöp sızıntı suyu giriş parametreleri

Parametre	Birim	Düşük	Ortalama	Yüksek
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (KOİ)	mg/l		15.000	
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/l	1.000	7.500	10.000
İnert KOİ	mg/l		1.500	
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/l		1.000	
Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	mg/l	800	1.650	1.800
Amonyak Azotu (NH ₃ -N)	mg/l	650	1.500	1.750
Toplam Fosfor	mg/l	0,21	10	24
Alkalinite (CaCO ₃)	mg/l	6.800	8.100	8.500

3.2.4. Yakma tesisi

Senaryo 3 için yakma işlemi kullanılacaktır. Kentsel katı atıklar için enerji geri kazanımlı yakma tesisinin kullanımı varsayılacaktır. Bu çalışmada düzenli depolama ve yakma metodolojileri karşılaştırılmıştır. Yakma senaryosu için veriler Ecoinvent kütüphanesinden “Municipal Solid Waste (waste senario) {TR} | treatment of municipal solid waste, incineration | Cut off S” seçilmiştir. Elektrik sarfiyatları için ise “Electricity medium voltage “TR” market for/conseq S” seçilmiş ve hesaplama yapılmıştır.

3.3. Etkilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışma sonucu katı atıklardan elde edilen çevresel etkiler CML-IA hesaplama yöntemi ile hesaplanmış, yöntemin etki grupları abiyotik tükenme, küresel ısınma, ozon tabakası tahribatı, insan toksisitesi, tatlı su ekotoksisitesi, karasal ekotoksiste, insan ekotoksisitesi, deniz ekotoksisitesi, kimyasal oksidasyon, asidifikasyon ve ötrofikasyondur.

Çalışma verileri analizinde iki analiz stratejisi kullanılmıştır: Bunlar normalizasyon ve karakterizasyondur.

- Normalizasyon

Araştırmalarda genel olarak farklı evrenden veriler oluşmaktadır, pratikte değerlendirme ölçütlerinin aynı ölçüm biriminde olması nadir karşımıza çıkmaktadır.

Ortak karar verebilme ve bu sorunun üstesinden gelebilmek için farklı ölçüm birimlerine sahip olan değerlendirme ölçütlerinin bir arada incelenebilmesine olanak sağlayan çok ölçütlü karar verme yöntemlerine ihtiyaç vardır. Normalizasyon teknikleri, tüm alternatifler arasındaki ilişkileri değerlendirmek için geliştirilmiştir. Çevresel ve sosyal etkiler için karşılaştırılabilir tek bir puana ulaşmak ve sonuçları özetlemek için etki puanlarının normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon, belirli göstergelerin büyüklüklerinin, onları ortak bir ölçekte ifade etmek için referans bilgilerine göre hesaplanmasına dayanmaktadır. Daha sonra, puanlar farklı birimlerde olsalar bile kolayca karşılaştırılabilir. Bu çalışmada araştırılan katı atık LCA değerleri “minimum-maksimum lineer normalizasyon yöntemine” göre normalize edilmiştir.

- Karakterizasyon

Karakterizasyon, büyük bir veri yöntemidir, belirli bir veri grubunun özelliklerini ve davranışını etkili bir şekilde tanımlayan parametreler üretmek için kullanılmaktadır. Elde edilen verilerin (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya potansiyel etkilerinin modellenmesi) her birinin etki kategorisinin modellenmesi bilimsel karakterizasyondur.

3.4. Analiz ve Yorum

Bu bölüm sonuçların hassasiyet ve güvenilirliğini test etmek amacıyla duyarlılık analizini içermekte etki değerlendirme yöntemi değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışmada CML-IA yöntemi kullanılmakta, duyarlılık analizi içinse IMPACT 2002 kullanılmıştır. IMPACT 2002 yaşam döngüsü etki değerlendirme metodolojisi, tüm yaşam döngüsü envanter sonuçlarını (temel akışlar ve diğer müdahaleler) 14 orta nokta kategorisi aracılığıyla dört hasar kategorisine bağlayan birleşik bir orta nokta/hasar yaklaşımının uygulanabilir bir tekniğidir.

BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

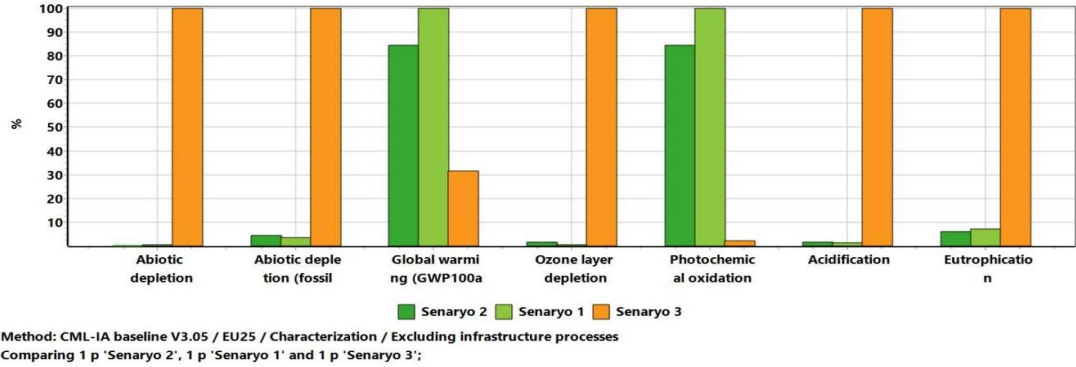
Bu çalışmada Kocaeli ili örneği için katı atık yönetiminin alternatifleri yaşam döngüsü analizi yaklaşımı ile değerlendirilmiş olup çevresel etkileri açısından karşılaştırmaları yapılmıştır. Çalışmamızın amacı farklı alternatiflerin karşılaştırılması sonucu Kocaeli ili örneği için en optimal olabilecek katı atık yönetimini tespit etmektir.

Bu çalışmada katı atık yönetiminde 3 ana senaryo kullanılmıştır:

- Senaryo 1: Kentsel katı atıkların kaynağında ayrıştırma yapılmadan enerji geri kazanımı ile doğrudan düzenli depolama sahasında bertarafının gerçekleştirilmesi yöntemi olarak belirlenmiştir.
- Senaryo 2: Kentsel katı atığın verilen hedefler doğrultusunda %35 oranda geri dönüşümü ve ardından kalan atıkların enerji geri kazanımı ile düzenli depolanması yöntemi olarak belirlenmiştir.
- Senaryo 3: Kentsel katı atığın tamamının yakma yöntemi ile bertaraf edilmesi olarak belirlenmiştir.

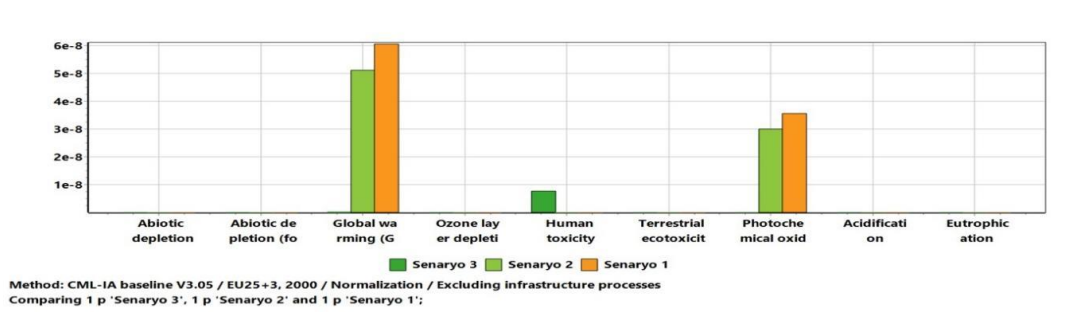
Bu çalışmanın etki parametrelerine göre karakterizasyon sonuçları Şekil 4.1.' de verilmiş olup katı atık yönetimi sonuçları CML-IA yöntemiyle analiz edildiğinde karakterizasyon verilerine göre Senaryo 3 ile katı atık yönetimi, yani atığın tamamının yakma ile bertaraf edilmesi yönteminin ötrofikasyon, asidifikasyon, insan toksisitesi, abiyotik tükenme ve ozon tabakası hasarı açısından en yüksek etki katkısında olduğu görülmüştür. Katı atık yönetiminde atığın tamamının yakma yöntemi toksisite değeri diğer senaryolara göre daha yüksek olması nedeni ile optimizasyona ihtiyacı vardır. Literatüre baktığımızda Senaryo 3'ü ülkemiz verileri ile kıyaslayacağımız çalışma sayısı azdır; ülkemizde katı atıkların tamamının yakılması ile bertaraf etme yöntemine dair yaşam döngüsü değerlendirmesi çok sayıda bulunmamaktadır. Bununla birlikte

düzenli depolama, geri dönüşüm ve yakma senaryolarını detayları ile çalışan Yay 2015 yılında sunduğu çalışmasında sonuçlarımızı desteklemektedir. Yay, küresel ısınma, insan ve çevre toksisiteleri yönü ile düzenli depolama ve yakmanın en kötü bertaraf yöntemi olduğunu, kompostlaştırma ve geri dönüşümün ise daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (Yay, 2015).



Şekil 4.1. Yaşam döngüsü karakterizasyon analiz sonuçları

Katı atık yönetimi sonuçları CML-IA yöntemiyle analiz edildiğinde normalizasyon verilerine göre Senaryo 1 ile katı atık yönetimi ile (yani enerji geri kazanımı ile düzenli depolama ile) küresel ısınma ve fotokimyasal oksidasyona katkı en yüksek, Senaryo 3 ile katı atık yönetimi ile (yani kentsel katı atığın tamamının yakma yöntemi ile) bertaraf edilmesi yönteminin ise en düşüktür. Kentsel katı atık yönetiminin normalizasyon verileri ile değerlendirme grafiği Şekil 4.2.' de verilmiştir. Kocaeli ili katı atık yönetiminde % 35 geri dönüşüm ile kalan atığın yakma yöntemi tavsiye edilebilir yöntemdir.



Şekil 4.2. Yaşam döngüsü normalizasyon analiz sonuçları

Katı atık yönetimi ile ilgili ülkemizde çalışmalar hız almakla birlikte (Yay, A. 2015, Salihoğlu, G, 2019) en çok veri yabancı literatürden elde edilmektedir. Devlet politikası olarak çevre duyarlılığın yüksek olması Avrupa bölgesinde bu çalışmalara önem verilmesinin zeminini oluşturmaktadır. Çoğu çalışmada farklı yöntemler kullanılmakla birlikte, bir bölgenin katı atık yönetiminin karşılaştırılmasında yaşam döngüsü analizi sık kullanılmıştır. Bu konudaki en geniş kapsamlı çalışma muhtemelen Lauren ve ark. (2014) aittir; 212 yaşam döngüsü analiz çalışmasının karşılaştırıldığı çalışmalarında her bir yerel koşullardaki (atık bileşimi ve enerji sistemi gibi) değişkenlerin sonuçları etkilediği ve dolayısı ile katı atık yönetim sistemi için bir genelleme yapılmasını engellediğini göstermiştir. Bu çalışmanın verdiği bir çıkarım da şudur: Yaşam döngüsü analizi, farklı bölgelerdeki saklama ve geri dönüşüm sistemleri karşılaştırmaktan daha çok lokal olarak değerlendirilmeli, farklı alternatiflerin çevresel etkileri ortaya konmalı ve böylece lokal anlamda optimal katı atık yönetim sistemini ortaya koymalıdır.

Mevcut çalışmada da Kocaeli ili örneği için üretilen farklı yönetim senaryo alternatifleri birbirleriyle karşılaştırılmış, aralarında farklılıklar ortaya konulmuş, ısı ve enerji tüketimi, çevresel etkiler ve toksisiteleri açısından en önemli olan işlemlerin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Tüm verilerin karşılaştırılmış analizi Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.' te gösterilmiştir.

4.1. Küresel Isınma Potansiyeli

Katı atık yönetim sistemlerinde enerji kullanımı öncelikle atıkların toplanması ve taşınması sırasında ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte düzenli depolama işleminde oluşan metan gazı enerji geri kazanımı için kullanılabilir. Küresel ısınma potansiyelini etkileyen en büyük etkenler metan ve karbondioksit gazlarıdır. Her bir senaryo için küresel ısınma potansiyeli değerleri hesaplanmış, net küresel ısınma potansiyelleri normalizasyon ve karakterizasyon yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Bu verilere göre normalize değerlerde global ısınmaya en büyük katkıda bulunan yöntem, dolayısı ile en kötü katı atık yönetim senaryosu sırasıyla Senaryo 1, ardından Senaryo 2 ve en az zarar potansiyeli ile Senaryo 3 görülmektedir. Karakterizasyon ile analiz

edilmiş verilerin sonucunda da potansiyel değişmemekte ve küresel ısınma potansiyeli anlamında en kötü senaryo Senaryo 1, yani enerji geri kazanımı ile düzenli depolama görülmekle birlikte, en güvenli senaryo Senaryo 3, yani tüm atığı yakma yöntemi olarak tespit edilmiştir.

Katı atıkların düzenli depolanması sırasında ortaya çıkan metan ve karbondioksit gazlarının küresel ısınma potansiyelini arttırdığı bilinmektedir. Daha önceki literatür verilerini de destekler nitelikte, bizim çalışmamızda da düzenli depolanan atık miktarının artması ile birlikte küresel ısınma potansiyelinin arttığı ortaya çıkmıştır. Oysaki kaynaktan atıkların azaltılması, diğer bir deyişle geri dönüşebilir atıkların ayrıştırılması söz konusu olduğunda küresel ısınma potansiyeli azalmaktadır. Katı atık yönetimlerinin çevresel etkilerini ve küresel ısınma potansiyellerini inceleyen bazı araştırmacılar kompostlama + düzenli depolamanın daha az zararlı çevresel etkiye yol açtığını, metan emisyonları nedeniyle tüm atıkların düzenli depolanmasının yoğun küresel ısınmaya neden olduğunu ortaya koymuşlardır (Abduli, 2020, Maalouf ve El-Fadel, 2019). Bizim çalışmamızın sonuçlarında da küresel ısınma potansiyeli anlamında en kötü senaryo senaryo 1, yani enerji geri kazanımı ile doğrudan düzenli depolama yöntemi bulunmuştur. Katı atıkların belli oranda geri dönüşüme kazandırılması işlemi sonrasında depolama işlemi, yani Senaryo 3 de, Senaryo 1'e göre daha az olmakla birlikte, küresel ısınmaya olumsuz katkıda bulunduğu ve kötü senaryo olduğu tespit edilmiştir. Küresel ısınma yan etkisi olarak en güvenli senaryo, minimal katkısı ile Senaryo 3, yani atığın tamamını yakma yöntemi olarak tespit edilmiştir.

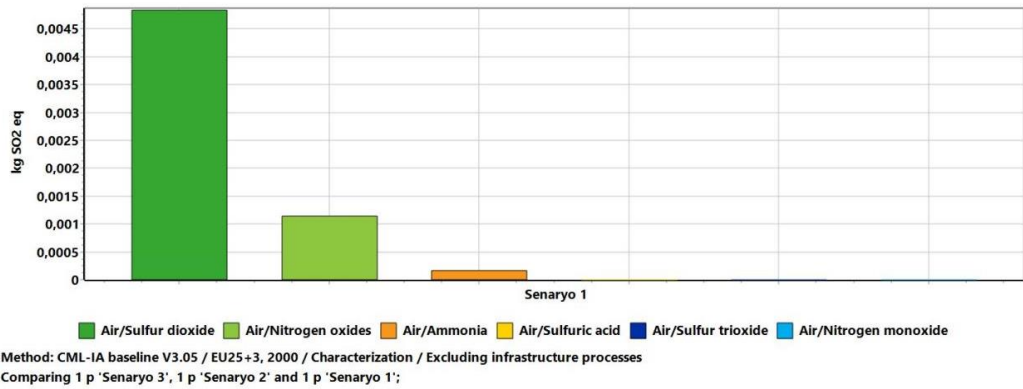
4.2. Asidifikasyon Potansiyeli

Asidifikasyon; SO_2 ' ye göre kg başına üretilen H^+ iyonlarının sayısı olarak tanımlanmaktadır ve bir kirlenici maddenin asitlendirme potansiyeli, H^+ iyonu ortaya çıkarma potansiyeliyle ölçülmektedir. Katı atık çıktılarında kaynaklanan SO_x , NO_x , NH_3 ve HCl asidifikasyona neden olan emisyonlardır (Bauman ve Tillman 2004). Bu gazlar çeşitli atık toplama süreçleri sonucu ortaya çıkmaktadır (Taşıma, enerji kullanımı ve atık yakma gibi). Çalışmamızda da yaşam döngüsünde her bir senaryo

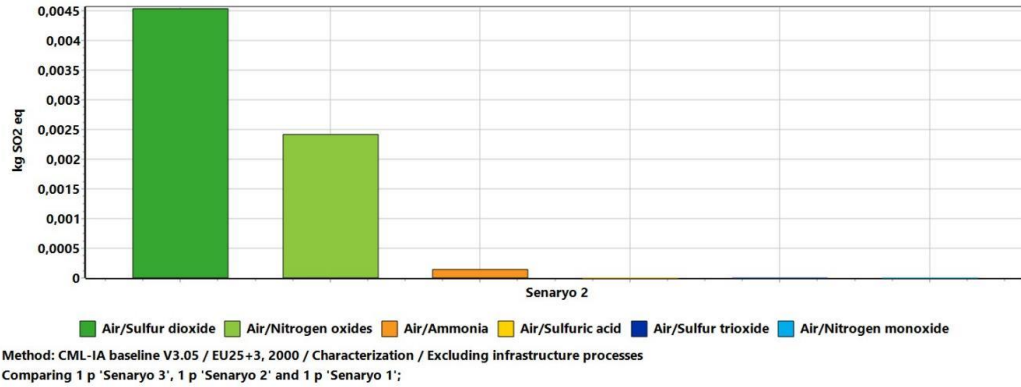
için ayrı ayrı asidifikasyon potansiyeli hesaplanmış, normalizasyon ve karakterizasyon yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Bizim çalışmamızda sonuçlar, katı atık yönetiminde 3 senaryoda da asidifikasyon potansiyeli normalize verilerde sıfıra yakın, karakterizasyonda ise düzenli depolamada en düşük, yakma işleminde ise, yani senaryo 3'te en yüksek saptanmıştır. Buna göre, yakma işleminin asidifikasyon potansiyelini arttırdığı sonucu çıkmaktadır. Türkiye'de yakma işlemi yaygınlaşmaması nedeni ile Türkiye literatür verilerinde asidifikasyona en fazla etki eden işlemler taşıma ve toplama işlemi olarak gösterilmiş, geri dönüşüm işlemi ise asidifikasyon potansiyelini azaltan en önemli işlem olarak rapor edilmiştir (Irbaş E, 2021). Katı atık yönetiminde yakma işlemini kullanan 55 Afrika ülkesinden gelen ve 2012 yılından bu yana yapılmış tüm çalışma verilerini derleyen bir çalışmada Cudjoe ve ark. (Cudjoe, 2021) yakma işleminin asit gaz emisyonları ortaya çıkarmada ve küresel ısınmaya en yüksek katkıda bulunan işlem olarak rapor etmişlerdir.

Kentsel katı atık yönetimi bizim çalışmamızdaki senaryolarda oluşan asidifikasyon potansiyelinin sülfür dioksit, nitrojen oksit, amonyum, sülfirik asit, sülfür trioksit ve nitrojen monoksit özelinde detaylı bilgisi Şekil 4.4.-4.6.'da gösterilmiştir.

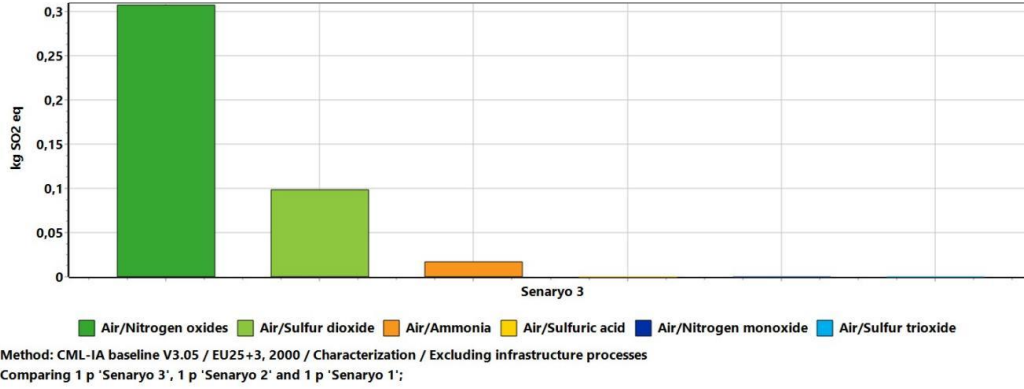
Bu verilere göre Senaryo 3'e göre katı atık bertaraf yönteminin, yani tüm kentsel katı atıkların doğrudan yakılmasının asidifikasyon potansiyeli Senaryo 1 ve 2'ye göre, yani doğrudan düzenli depolama ve geri dönüşüm maddelerinin eliminasyonu sonrasında depolama yöntemlerine göre yaklaşık 100 kat daha yüksektir.



Şekil 4.3. Düzenli depolama yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan asidifikasyon potansiyeli, Senaryo 1.



Şekil 4.4. Geri dönüştürme ile birlikte depolama yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan asidifikasyon potansiyeli, Senaryo2.



Şekil 4.5. Tümüyle yakma yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan asidifikasyon potansiyeli, Senaryo 3

4.3. Ötrofikasyon Potansiyeli

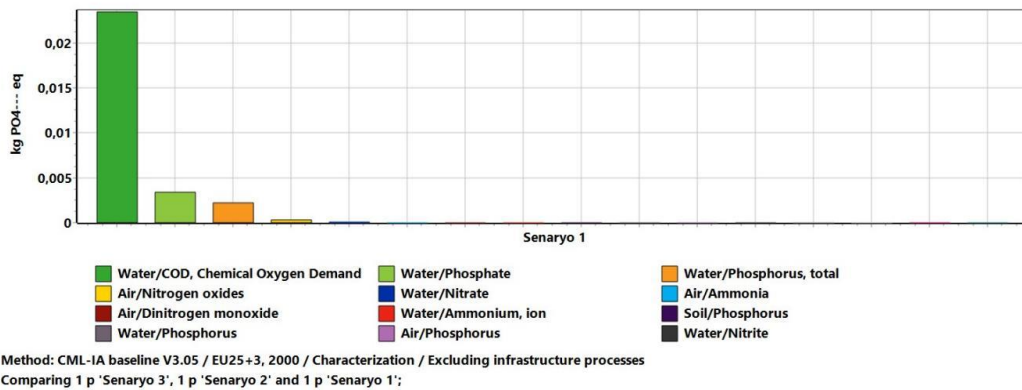
Su ortamındaki besin zenginleşmesi sucul ötrofikasyon olarak tanımlanabilir. Ötrofikasyon, karasal ve sucul ekosistemleri önemli düzeyde etkileyebilen bir olgudur. Artan biyokütle üretimi, biyokütle ayrışması sırasında ilave oksijen tüketimi nedeniyle su ortamındaki oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olabilir. Ötrofikasyona neden olan hava kirleticileri arasında NO_x ve NH_3 yer almaktadır ve ötrofikasyon potansiyeli azot eşdeğeri olarak ifade edilmektedir (Pre Sustainability, 2014b; Goedkoop et al. 2013).

Senaryo 1 ve Senaryo 2’de düzenli depolama ile ve çoğu geri dönüşebilir atıkların kaynakta ayrıştırılmasından dolayı ötrofikasyon potansiyelinin katkısının düşük olduğu belirlenmiştir. Senaryo 3’te ise geri dönüşümün sağlanması sonrasında bile yakma işleminin olması ötrofikasyon potansiyeline katkısının çok yüksek olduğu tespit edilmiştir.

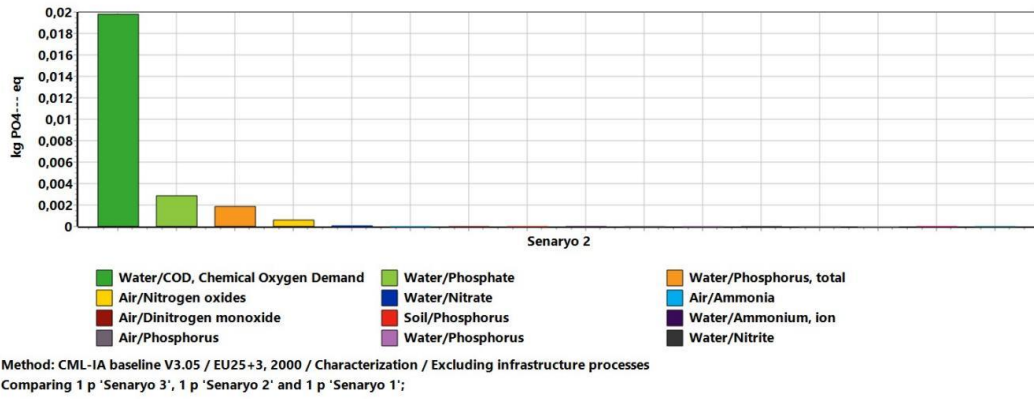
Benzeri çalışmada, Banar, Özeler, Irbaş ve arkadaşları, her ne kadar düzenli depolamanın ötrofikasyona katkısını düşük tespit etseler de, geri dönüşebilir atıklarının tamamının ayrıştırılması sonrası yarısını düzenli depolama veya kompostlama işleminin uygulanması ötrofikasyona negatif katkı sağladığı, yani geri dönüşebilir materyallerin ayrıştırılması işlemi ile birlikte depolama ve kompostlama katı atık bertaraf işleminde çevre ötrofikasyon etkisi yönüyle en optimal seçenek olarak sunulabilmektedir (Irbaş,2021, Banar, 2009, Özeler, 2006).

Kentsel katı atık yönetimi bizim çalışmamızdaki senaryolarda oluşan ötrofikasyon potansiyelinin detaylı bilgisi Şekil 4.6.-4.8.’de gösterilmiştir.

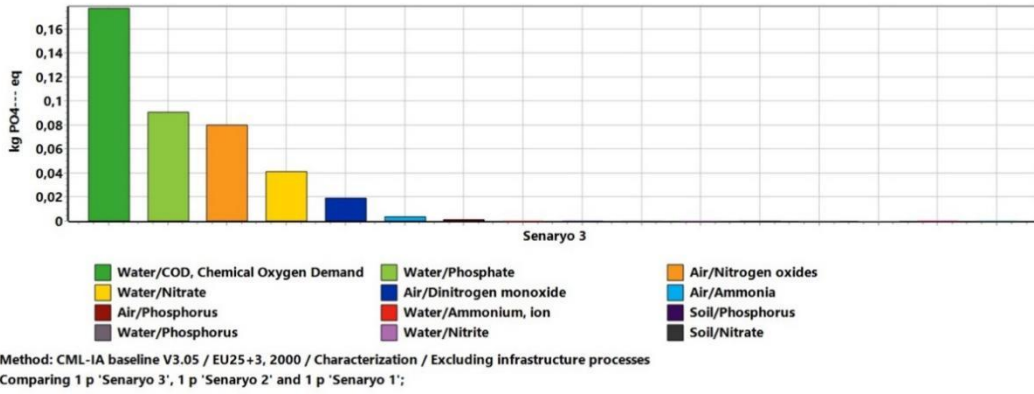
Bu verilere göre Senaryo 3’e göre katı atık bertaraf yönteminin, yani tüm kentsel katı atıkların doğrudan yakılmasının asidifikasyon potansiyeli Senaryo 1 ve 2’ye göre, yani doğrudan düzenli depolama ve geri dönüşüm maddelerinin eliminasyonu sonrasında depolama yöntemlerine göre yaklaşık 8 kat daha yüksektir.



Şekil 4.6. Düzenli depolama yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan ötrofikasyon potansiyeli, Senaryo 1.



Şekil 4.7. Geri dönüştürme ile birlikte depolama yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan ötrofikasyon potansiyeli, Senaryo2.



Şekil 4.8. Tümüyle yakma yöntemi ile katı atık yönetimi sonucu oluşan ötrofikasyon potansiyeli, Senaryo 3.

4.4. Abiyotik Kullanım Potansiyeli

Abiyotik kullanım, sistemdeki girdiler nedeniyle minerallerin ve fosil yakıtların çıkarılması ile ilgili bir olgudur. Yaşam döngüsü analizinde cansız kaynakların tükenmesi, çevresel etki değerlendirmesinde dikkate alınan etki kategorilerinden biri olmuştur. Bununla birlikte, abiyotik kaynak tükenmesi en çok tartışılan etki kategorilerinden biridir çünkü karakterizasyon faktörlerini türetmek için bilimsel olarak optimal "doğru" bir yöntem tespit edilememiştir. Bunun birkaç nedeni vardır: (1) Abiyotik tükenme, ekonomi-çevre sistemi sınırını aşan bir sorundur çünkü, kaynak rezervleri, bunların çıkarılması için gelecekteki teknolojilere bağlıdır; (2) tükenme sorununu tanımlamanın farklı yolları vardır ve hepsi farklı açılardan

gerekçelendirilebilir; (3) bir tükenme tanımını nicelleştirmenin farklı yolları vardır ve bunların hiçbirisi, gelecekteki kaynaklar için varsayılan kullanılabilirliğe, talebe ve gelecekteki teknolojilere bağlı olduğundan, bunların hiçbirisi deneysel olarak doğrulanamamaktadır (Van L, 2016). Katı atık bertaraf yöntemleri arasında 12 farklı senaryoyu karşılaştırarak çalışmış olan De Feo ve ark. Yakma işlemi olmadan, düzenli depolama, kompostlama, taşıma ve saklama ve özellikle de geri dönüştürülebilir kaynakların tamamının ayrıştırılması işlemlerinin abiyotik kullanma potansiyelleri yönü ile en yararlı senaryo olduğunu rapor etmişlerdir (G. De Feo,2006).

Bizim çalışmamızda, katı atık bertaraf yöntemi olarak Senaryo 1 ve Senaryo 2' nin seçilmesi, yani enerji geri kazanımı sonrası düzenli depolama ve çoğu geri dönüştürülebilir atıkların kaynakta ayrıştırılması sonrası düzenli depolama uygulanması abiyotik kullanımını düşük düzeyde etkilediğini, Senaryo 3 uygulandığında ise abiyotik kullanım potansiyelinin son derece yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.5. Ozon Tabakası Deplasyon Potansiyeli

Ozon tabakasında deplasyon, incelmesi potansiyeli genel olarak Kloroflorokarbonların (CFC), hidrokloroflorokarbonların (HCFC) ve halon metil bromür (CH_3Br) emisyonların çıktı olarak oluşması ile ilgili bir olgudur. Genel olarak asidifikasyon potansiyeli ile paralel gitmektedir. Yurtdışı çalışmaları da Türkiye verileri gibi ayrıştırma, kompostlaştırma yöntemlerinin uygulanması düzenli depolamaya göre daha az toksik olduğu göstermiştir. Yakma yönteminin ise bu senaryolar arasında en çok ozon, insan ve ekotoksositeye sahip olduğu yurtdışı kaynaklı veriler arasındadır (Abduli MA, 2011, Irbaş E, 2021, Banar, 2009, Özeler, 2006).

Bizim de analizimize göre, Senaryo 1 ve Senaryo 2' nin seçilmesi yani enerji geri kazanımı sonrası düzenli depolama ile ve çoğu geri dönüştürülebilir atıkların kaynakta ayrıştırılması sonrası düzenli depolama yöntemi ile ozon tabakasına minimal zarar verildiği, Senaryo 3 uygulandığında ise ozon tabakasına verilen hasarın son derece yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.6. Fotokimyasal Oksidasyon Oluşturma Potansiyeli

Fotokimyasal oksidasyon, veya fotokimyasal toksisite oluşturma potansiyeli büyük ölçüde karbon monoksit (CO), ozon, kükürt dioksit (SO₂), nitrojen oksit (NO), amonyum (NH₃) ve metan olmayan uçucu organik bileşiklerin hidrokarbon gibi reaktif maddelerin oluşumu ile ilgili olgudur. Fotokimyasal oksidasyon için en baskın girdiler yakıt tüketimi, malzeme tüketimi ve son olarak depolama alanıdır. Literatür verilerinde, katı atık yönetiminde ayrışabilir ve geri dönüşebilir kaynakların ayrıştırılması, sertifikasyonla toplanması, gruplarla taşınması ve depolanması yöntemleri seçildikçe fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyelinin de azaldığı ortaya konmuştur (Geyhan E, 2016, Yadav P, 2018).

Benzeri olarak, bizim çalışmamızda da yakma işleminin uygulanması, yani Senaryo 3 ile katı atık bertaraf yönteminde fotokimyasal toksisite geliştirme potansiyeli en düşük orandadır; minimal düzeyde tespit edilmiştir. Buna zıt olarak düzenli depolama uygulandığında; Senaryo 1’ de enerji geri kazanımı sonrasında düzenli depolamada en çok olmak üzere, Senaryo 2’ de de geri dönüşebilir kaynakların ayrıştırılması sonrasında düzenli depolama uygulaması ile de yüksek oranda fotokimyasal reaksiyon olduğu tespit edilmiştir.

4.7. Duyarlılık Analizi Sonuçları

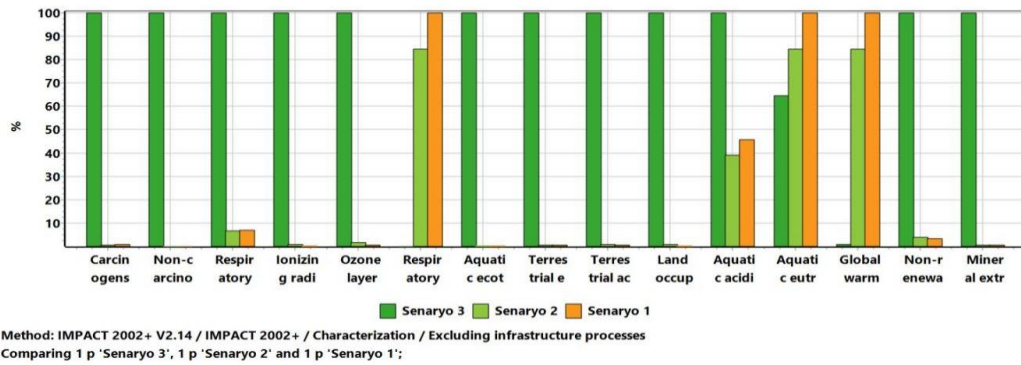
Duyarlılık etki analizi olan IMPACT 2002 metodunda, özellikle insan toksisitesinin ve ekotoksisitenin karşılaştırmalı değerlendirilmesi için kavramlar ve yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemle insan hasarı ve hasar ciddiyeti faktörlerini hem kanserojen hem de kanserojen olmayan faktörler için ayrı ayrı, beraberinde de doz-tepki eğim faktörlerinin en iyi tahminleri hesaplanır. Kirleticilerin insan gıdalarına geçişi artık sadece tüketim bilgilerine dayanmamaktadır, tarımsal ve hayvancılık üretim düzeylerini hesaba katmaktadır ve buradaki düzeyleri de hesaba katmaktadır. Bu analiz sonucu hem insan toksisitesi hem de ekotoksisite etkisi faktörleri, varsayımlardan ziyade ortalama tepkilerle çıkan sonuçlara dayanmaktadır. Diğer midpoint kategorileri, mevcut karakterize etme yöntemlerinden uyarlanmıştır. Tüm

midpoint puanları, bir referans maddenin birimlerinde ifade edilir ve dört hasar kategorisi insan sağlığı, ekosistem kalitesi, iklim değişikliği ve kaynaklarla ilgilidir. Normalleştirme orta noktada veya hasar seviyesinde gerçekleştirilebilir (Joliet O. 2003).

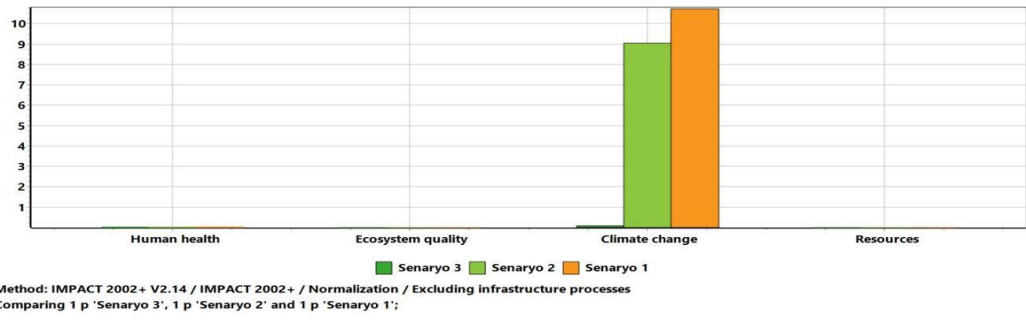
Çalışmada ortaya çıkan sonuçların güvenilirliğini ve hassasiyetini değerlendirmek adına duyarlılık analizleri uygulanmıştır. Çalışmanın genelinde CML-IA yöntemi kullanılmış ve duyarlılığı analize etmek için yukarıda detaylı bahsedilen IMPACT 2002 analizi kullanılmıştır.

Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.'da duyarlılık analizi sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu verilere göre iklim değişikliğine en yüksek etkiyi Senaryo 1 ardında da Senaryo 2' ye göre katı atık yönetimi vermekte, Senaryo 1'in ise iklim değişikliği üzerine olumsuz etkisinin hemen hemen hiç olmadığı saptanmıştır.

Mevcut bilgileri karakterizasyon analizi ile duyarlılığı irdelendiğinde ise küresel ısınma, solunum havası üzerine etki, su kaynakları asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyeli en yüksek yöntem yine sırasıyla Senaryo 1 ve 2' de en düşük ise Senaryo 3' te saptanmıştır. Buna göre düzenli depolama ile katı atık bertaraf etme yöntemi (geri dönüşüm kaynakların eliminasyonu ile beraber olduğunda daha az olmakla birlikte) çevresel etkileri daha az olmakta ve fakat iklim değişikliği, küresel ısınma, su ve insan toksisitesi üzerine yüksek olumsuz etkiler göstermektedir.



Şekil 4.9. Katı atık yönetim senaryolarının Impact 2002 metodolojisi ile kıyaslama grafiği-Karakterizasyon



Şekil 4.10. Katı atık yönetim senaryolarının Impact 2002 metodolojisi ile kıyaslama grafiği-Normalizasyon

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızda, Kocaeli ili için katı atık yönetim alternatifleri yaşam döngüsü analizi kullanılarak ve CML-IA yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Uygulanan katı atık bertaraf yöntemine bağlı olarak Kocaeli ili katı atık yönetim sistemi üç senaryo ile incelenmiştir. Uygulanan senaryolarda, yaşam döngüsü etki grupları olarak abiyotik tükenme, küresel ısınma, ozon tabakası tahribatı, insan toksisitesi, tatlı su ekotoksisitesi, karasal ekotoksisite, insan ekotoksisitesi, deniz ekotoksisitesi, kimyasal oksidasyon, asidifikasyon ve ötrofikasyon potansiyelleri incelenmiştir.

Çalışmamızda, Senaryo 1 ve Senaryo 2' de (katı atıkların düzenli depolanması ve geri dönüşümü sonrası depolanması yöntemleri) çevre ve insan üzerine olan etkileri birbirine yakın değerlerde olmakla birlikte geri dönüşümle katı atık yükünün % 35 azaltılarak depolanması yöntemi (Senaryo 2) daha çevre ve insan dostu olarak saptanmıştır.

Düzenli depolama senaryoları (senaryo 1 ve 2) yakma senaryosu ile karşılaştırıldığında abiyotik tükenme, ozon tabakası hasarı, insan ve tatlı su toksisitesi, asidifikasyon ve ötrofikasyon etkisinin senaryo 1 ve 2' de avantajlı iken, küresel ısınma ve fotokimyasal oksidasyonda ise dezavantajlı olduğu saptanmıştır.

Ülkemizde pilot uygulama olarak başlanan sürdürülebilir çevre yönetimi için Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi IBB-İSTAÇ İstanbul örneği bulunmaktadır. Sunulan raporların yakma teknolojisinin çevre dostu olduğu emisyon değerlerini AB normlarında tutmaya çalıştığını göstermektedir (IBB-İSTAÇ,2021). Mevcut çalışmada (Kocaeli ili özelinde) belediyelerin yaşam döngüsü analizi ile katı atık yönetimini en optimal yöntemle değerlendirmesi maksadı ile yapılmıştır. Sunacağımız önerilerin belediyenin atık yönetimini planlarken geri dönüşüm,

depolama, yakma gibi entegre katı atık yönetim sistemlerinin planlanması ve optimize edilmesinde yararlı etkilerin olacağına inanıyoruz.

Bu çalışmada atık yönetimi alternatifleri sadece çevresel açıdan modellenmiş ve irdelenmiştir. Mevcut sonuçları, bir sonraki aşamada, katı atık yönetiminin ekonomik ve sosyal etkilerini de dikkate alan ileri çalışmalar ile desteklemek en optimal katı atık yönetim sistemini planlamada daha da değerli olacaktır.



KAYNAKLAR

- Abas, M. A., Wee, S. 2014. Municipal Solid Waste Management in Malaysia: An Insight Towards Sustainability.
- Abduli, M. A. , N. A., Yonesi, M., Akbari A. 2011. Life cycle assessment (LCA) of solid waste management strategies in Tehran: landfill and composting plus landfill. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1-4): 487–498.
- Agrawal, S. K. 1990. Waste management: A systems perspective. *Industrial Management & Data Systems*, 90(5).
- Akcan, A. 2012. Samsun’da tıbbi atık yönetiminin incelenmesi ve maliyet bileşenleri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Alpaslan, M. N. 2005. Katı Atıkların Yönetimi. İzmir.
- Alpaydın, Ö. 2014. Gaziantep ili için entegre katı atık yönetiminde yaşam döngüsü değerlendirmesi uygulanması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Arıkan, E. 2013. Çok kriterli karar verme teknikleri ile katı atık bertaraf etme teknolojisi seçimi ve bir uygulama. Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012), 2008.
- Aydın, A. H., Çamur, Ö. 2016. Avrupa Birliği çevre politikaları ve çevre eylem programları üzerine bir inceleme. An Investigation on European Union Environmental Policy and Environmental Action Programs, 21-44.
- Banar, M., Özkan, A., Çokaygil, Z. 2008. Life cycle assessment of solid waste management options for Eskişehir Turkey. *Waste Management*, 29(1):54-62.
- Bauman H., Tillman A., (2004), *The Hitch Hiker's Guide to LCA: An orientation in life cycle assessment methodology and application*, Studentlitteratur AB, Sweden, 543ss.
- Behrouzfar, A. A. 1994. Sağlık İdareciliği Kapsamında kent ve hastane katı atık yönetimi. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bilim Uzmanlığı Tezi.

- Bishop, P. L. 2000. Pollution prevention: Fundamentals and practice. McGraw-Hill, Singapore.
- Blancol, P., Anton, A., Rieradevall, J. 2008. LCA of the application of compost from organic municipal solid waste in horticulture fertilization. International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, 12–14.
- Bozkurt, S. 2012. Kentsel nitelikli katı atıkların geri dönüşüm olasılıkları ve bertaraf yöntemlerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Can, S. 2015. Mersin’de çevre yönetimi çerçevesinde katı atık sorunu: Çok boyutlu bir değerlendirme. Mersin Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Cindil, B. 2010. Çevre ve atıkları ile katı atık tanımlar türleri. <http://www.cindil.net/tanimt.html>. Erzurum Katı Atık Belediyeler Birliği, Erişim tarihi: 10.07.2019.
- Çokaygil, Z. 2005. Atık yönetimi planlamasında yaşam döngüsü analizi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Dan Cudjoe, Patience Mensah Acquah, Environmental impact analysis of municipal solid waste incineration in African countries, Chemosphere, Volume 265, 2021, 129186, ISSN 0045-6535
- De Feo, G., & Malvano, C. (2009). The use of LCA in selecting the best MSW management system. Waste management, 29(6), 1901-1915.
- Dünya Bankası, 2005, Kentsel katı atıkların türleri. www.worldbank.com.tr. Erişim tarihi: 10.07.2019.
- Eller, E. 2008. Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı çerçevesinde AB ve Türkiye’deki katı atık yönetimi politikaları: Ankara ve Manchester Büyükşehir Belediyeleri örnekleriyle. Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- EPA, Environmental Protection Agency, 1989. The solid waste dilemma: An agenda for action. 330-SW-89-019.
- Ercan, M. 2011. Tehlikeli atık bertaraf tesislerinin iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmesi. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Uzmanlık Tezi.
- Erdin, E. 1981. Kompost ve kompostlaştırma hakkında özlü bilgiler. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Gamze Kızılcam, 2020-Yüksek lisans Tezi- Türkiye’de atık yönetimi uygulamaları ve atıklardan enerji üretimi (Kocaeli-İzaydaş Örneği) izaydas.com.tr

- Geyhan, E. Y. (2016). Lca comparison of municipal solid waste management strategies: a case study.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A., Struijs, J., Zelm, R., 2013. Recipe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (version 1.08) Report I: CharacterizationGörmüş, T. 2018. Atık yönetimi: Sorunlar ve çözüm arayışları: Antakya örneği. Mustafa Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Guinee, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., ... & Rydberg, T. (2011). Life cycle assessment: past, present, and future.
- Güler, G. 2004. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ve Çevre Mühendisliği Açısından Uygulama Alanları, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskisehir, Türkiye.
- Güner, Y. 2008. Pendik ilçesi Kentsel nitelikli katı atıkların geri kazanılabilirliğinin araştırılması. T.C. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Güneş, S. 2012. Tunceli il merkezi katı atık yönetiminde geri kazanılabilirliğin araştırılması. Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Gündüzalp, A. A., & Güven, S. (2016). Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya belediyesi ve semt tüketicileri örneği. Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi, 9, 1-19.
- Güzel, E. 2011. Endüstriyel atıkların gazlaştırılması ve gazlaştırma prosesi katı çıktılarının (char, siklon tozu ve klinker) karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Honkimo, P. 2013. Assesment of packaging material life cycle. Oulu University of Applied Sciences Degree program in Industrial Management.
- <https://www.eea.europa.eu/tr/isaretler/isaretler-2012/makaleler/kuresel-surdurulebilirlige-giden-yol> 2012. Erişim Tarihi: 08.10.2021.
- H.Ü iktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt25, sayı1, s-39-69/Asuman Akdoğan, Sevcan Güleç/Sürdürülebilir katı atık yönetimi ve belediyelerde yöneticilerin katı atık yönetimiyle ilgili tutum ve düşüncelerinin analizine yönelik bir araştırma
- Irbaş, E., & DADASER-CELİK, F. (2021). Kentsel Katı Atık Yönetim Senaryolarının Yaşam Döngüsü Analizi: Melikgazi İlçesi (Kayseri) Örneği. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(2), 266-277.
- İSTAÇ A.Ş. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye, 2009

- ISO, 2003. Life cycle impact assesment. Environmental Management.
- ISO, 2006. Life cycle assesment. Environmental Management.
- James, K. L. 2003. Environmental Life Cycle Cost in the Australian food packaging supply chain. Victoria University, Faculty of Business and Law, Doctoral Thesis.
- Jeswani, H. K., & Azapagic, A. (2016). Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK. *Waste Management*, 50, 346-363.
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. (2003). IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. *The international journal of life cycle assessment*, 8(6), 324-330.
- Karasu, A. 2013. Çevresel atıklar, nedenleri, çevresel atıkların geri dönüştürülmesi ve yenilenebilir enerji olanaklarının araştırılması. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kayranlı, B., Tankut, G., Pampal, S., 2011. Endüstriyel Katı Atıklar ve Geri Dönüşüm Borsasının İşletilmesi. Gazi Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- Keating, M. 1993. Yeryüzünde değişimin gündemi: Gündem 21 ve diğer Rio anlaşmalarının popüler metinleri. UNEP Türkiye Komitesi, Ankara.
- Kemirtlek, A. Entegre katı atık yönetimi. İSTAÇ A.Ş., İstanbul.
- Khandelwal, H., Dhar, H., Thalla, K. 2019. Sunil Kum Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical revi. 209(1): 630-654.
- Kılınç, İ. 2011. Çöp Ekomisi ya da Atık “Dedikleri”. Epos Yayınları, Ankara.
- Kırlioğlu, H., Fidan, M.E. 2009. Atık yönetimi ve muhasebesi: Sakarya’daki işletmeler üzerinde bir araştırma. *Akademik İncelemeler Dergisi*, 4 (2):14-36.
- Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ile Kocaeli Akademik Odalar Birliği,Kocaelinde yapılması düşünülen atık bertaraf tesisleri yer seçim raporu(3 Ocak 2020)
- Kocasoy, G., Curi, K., The Ümraniye Hekimbaşı open dump accident. *Waste Management & Research*, 13, 4, 305-314, 1995.
- Koci, V., Trecakova, T. 2011. Mixed municipal waste management in the Czech Republic from the point of view of the LCA method, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(12):113-124.
- Kollikkathara, N., Feng, H., Stern, E. 2008. A purview of waste management evolution: Special Emphasis on USA, 29(2): 974-85.

- Komilis, D.P. 2008. Conceptual modeling to optimize the haul and transfer of municipal solid waste. *Waste Management*, 28: 2355-2365.
- Laurent A. Bakas I., Clavreul J., Bernstad A., Niero M., Gentil E., Hauschild M.Z., Christensen T.H., (2014), Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives, *Waste Management*, 34(3), 573-588.
- Liamsanguan, C.; Gheewala, S. 2007. Environmental assessment of energy production from municipal solid waste incineration. *Int. J. LCA.*, 12 (7): 529-536.
- Maalouf, A., El-Fadel, M. 2019. Life cycle assessment for solid waste management in Lebanon: Economic implications of carbon credit. *Waste Management & Research*, 37(1):14-26.
- Mali, S., Patil, S. 2016. Life-cycle assessment of municipal solid waste management. *Waste and Resource Management*, 169(4):1-10 .
- Manfredi S., C.T.H. 2008. Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling. *Waste Management*, 29: 32–43.
- Mcdougall, F. R., White, Peter R., Franke, M., Hindle, P. 2001. *Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory*. Second Edition, UK.: Blackwell Science.
- Memiş, L. 2016. Sürdürülebilir kentsel kalkınma ve atık yönetiminde ağ yönetişimi: Giresun ili örneği. Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Muhammed Yunus Bilgili, Katı atık yönetiminde kullanılan bazı kavramlar ve açıklamaları-Avrasya Terim Dergisi.2020,8(2):88-97
- Nur Güler. 2008.Yüksek Lisans Tezi, Kentleşme sürecinde katı atık yönetimi ve Kocaeli örneği
- Öner, B. 2019. Katı atık aktarma istasyonlarında yaşam döngüsü değerlendirmesi: Bursa Batı Bölgesi örneği. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Özçuhadar, T. 2007. Sürdürülebilir çevre için enerji etkin tasarımın yaşam döngüsü sürecinde. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Özeler, D., Yetiş, Ü., Demirer, G. N., 2005. Life cycle assesment of municipal solid waste management methods: Ankara case study. *Environment International*, 32:405- 411.
- Palabıyık, H. 2001. Belediyelerde kentsel katı atık yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi örneği. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Palabıyık, H., Altunbaş, D. 2004. Kentsel katı atıklar ve yönetimi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Kişisel Web Sayfası.
- Pelesaraei A. N., B. R., Bandbafha H. H., Afrasyabi H., Chau K. 2017. Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management - A case study in Tehran Metropolis of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 148: 427-440.
- Poroy, Z. 2019. Bursa’da kentsel katı atık yönetimi için yaşam döngüsü değerlendirmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Pre Sustainability, 2014a. Handbook for Product Social Impact Assessment. Sustainability Consultant at PRé Sustainability. Version 2.0 - September 2014
- Rajcoomar A., Ramjeawon T., 2016. Life cycle assessment of municipal solid waste management scenarios on the small island of Mauritius. *Waste Management & Research*, 35(3): 313-324.
- Ren, H. 2012. Plastic Waste Recycling and Greenhouse Gas Reduction Taking Copenhagen as an example from life cycle assessment perspective. MSc in Environmental Management Department of Development and Planning, Aalborg University, Denmark.
- Ripa M., F.G., Vacca V., Ulgiati S. 2016. The relevance of site-specific data in Life Cycle Assessment (LCA). The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 142: 445-460.
- Salihoğlu, G., Poroy, Z., & Salihoğlu, N. K. (2019). Kentsel atık yönetiminde yaşam döngüsü değerlendirmesi: Bursa analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(6), 692-699.
- Sayar, Ş., 2012. Kentleşme Sakarya İli entegre atık yönetimi ve ambalaj atıklarının geri dönüşümü. Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 1993. www.setac.org.tr. Erişim tarihi: 15.07.2019.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008. Atık Yönetimi Eylem Planı. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2009. Çevre Koruma ve Katı Atık Toplama. Ankara. http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/cevrekoruma/moduller/kati_atik_toplama.pdf, Erişim tarihi: 11.07.2019.
- Tenikler, G. 2007. Türkiye’de tehlikeli atık yönetimi ve Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırmalı bir analiz., Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi.

- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, RG.22.07.2005 tarih ve 27555 Sayı.
- Topbaş, M. T., Brohi, R., Karaman, R. 1998. Çevre kirliliği, Çevre Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Tuba Öztürk,2006,Doktora tezi,Kocaeli Kentsel ve tehlikeli katı atık düzenli depolama tesisi sızıntı sularının elektro ve kimyasal koagülasyon yöntemleri ile arıyabilirliğinin incelenmesi
- Türkiye Belediyeler Birliği, 2015. Katı atık geri dönüşüm ve arıtma teknolojileri. Korza Yayıncılık.
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2017. Türkiye’de bilinen bilinmeyen tehlikeli atık istatistikleri. www.tuik.gov.tr Erişim tarihi: 11.07.2019.
- UNEP, 2012. Annual report www.unenvironment.org.tr , Erişim tarihi: 15.07.2019.
- Ulusoy, G. 2017. Belediye atıkları yönetimi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Ünver, D. 2010. Antalya kentinde uygulanmakta olan katı atık yönetim sistemlerinin çevresel ve ekonomik açıdan incelenmesi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Van Oers, L., & Guinée, J. (2016). The abiotic depletion potential: background, updates, and future. Resources, 5(1), 16.
- Wang, N. Y., Shih, C. H., Huang, Y.F. 2013. Environmental Effects of Sewage Sludge Carbonization and Other Treatment Alternatives, 6: 871-883.
- Yadav, P., & Samadder, S. R. (2018). Environmental impact assessment of municipal solid waste management options using life cycle assessment: a case study. Environmental Science and Pollution Research, 25(1), 838-854.
- Yay, A. S. E. (2015). Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. Journal of Cleaner Production, 94, 284-293.
- Yurdakul, M. 2012. Kentsel katı atıkların sürdürülebilir yönetim ilkelerinin incelenmesi- Antalya örneği. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Zaman, A. U. 2010. Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method. Int. J. Environ. Sci. Tech., 7 (2): 225-234.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ece Begüm BAKKALOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü/Çevre Mühendisliği	Devam Ediyor
Yüksek Lisans	Gedik Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Fakültesi/ İş Sağlığı ve Güvenliği	2019
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi/Çevre Mühendisliği	2012
Lise	Arsal Anadolu Lisesi	2006

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Düzce Eğitim Danışmanlık ve Sağlık Hizmetleri Ltd. Şti.	Şirket Sahibi
2013-2014	Ekolojik Enerji A. Ş.	Çevre Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce