T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAYSERİ İLİ EVSEL KATI ATIK YÖNETİMİ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Hazırlayan
Emine IRBAŞ

Danışman
Doç. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2018
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAYSERİ İLİ EVSEL KATI ATIK YÖNETİMİ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Emine IRBAŞ

Danışman
Doç. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK

Ağustos 2018
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Emine IRBAŞ



YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

"Kayseri İli Melikgazi İlçesi Evsel Katı Atık Yönetimi İçin Yaşam Döngüsü Analizi" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Emine IRBAŞ

Danışman

Doç. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK

Çevre Bilimleri ABD Başkanı

Prof. Dr. Fatih ALTUN

Doç. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK danışmanlığında **Emine IRBAŞ** tarafından hazırlanan **"Kayseri İli Melikgazi İlçesi Evsel Katı Atık Yönetimi İçin Yaşam Döngüsü Analizi "** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

27 / 08 / 2018

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK

Üye : Doç. Dr. Niğmet UZAL .....

Üye : Doç. Dr. Nuray ATEŞ .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 04/09/2018 tarih ve 2018/39-22 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

04./09./2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK ve aileme sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca çalışmada kullanılan verileri sağlayan Melikgazi Belediyesi ve Çevre Mühendisi Ramazan AYDIN'a teşekkür ederim.

Emine IRBAŞ

Ağustos 2018, KAYSERİ

KAYSERİ İLİ MELİKGAZİ İLÇESİ EVSEL KATI ATIK YÖNETİMİ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Emine IRBAŞ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2018
Danışman: Doç. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK

ÖZET

Nüfus, kentleşme ve endüstriyel gelişmenin hızla artması katı atık problemini de beraberinde getirmiştir. Üretilen katı atık miktarının sürekli artması atık yönetiminde yaygın olarak uygulanan toplama, taşıma ve depolamanın yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu durumda atık üretiminden başlayarak, atık yönetim sistemleri, çevreye etkileri en az düzeye indirgenene kadar izlenmeli, kontrol edilmeli ve en uygun sistemler seçilmelidir. Bu çalışmada, Kayseri İli Melikgazi İlçesi örneğinde evsel katı atık yönetimi alternatifleri yaşam döngüsü analizinde incelenmiştir. Katı atık yönetim alternatifleri olarak dört adet senaryo belirlenmiştir. Senaryo 1, atıkların tamamının sadece depolandığı, Senaryo 2, geri dönüşebilir atıkların kısmen kaynağında ayrıştırıldığı ve kalan atıkların düzenli depolandığı ve Senaryo 3, atıkların %100 kaynağından ayrıştırma ile düzenli depolandığı, Senaryo 4 ise atıkların %100'ü kaynağından ayrıştırıldıktan sonra %50'sinin kompostlama ve %50'sinin ise düzenli depolama ile bertaraf edildiği uygulamalardır. Bu senaryolar yaşam döngüsü analizinde değerlendirilirken, hesaplama yöntemi olarak IWM (Integrated Waste Management - Entegre Atık Yönetimi) modeli kullanılmıştır. Melikgazi Belediyesi için Senaryo 3 ve Senaryo 4'ün hem enerji tüketimi hem de çevresel etkileri açısından diğer alternatiflere göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yaşam Döngüsü Analizi, IWM modeli, Kayseri, Katı atık

LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR KAYSERİ MELİKGAZİ MUNICIPALITY SYSTEM SOLID WASTE MANAGEMENT

Emine IRBAŞ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, August 2018
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK

ABSTRACT

Solid waste problem has become increased in recent years with rapid increase in population, urbanization and industrial development. The continuous increase in the amount of solid waste leads to *i*nadequate collection, transportation and storage of wastes. It is important that starting from waste generation, waste management systems should be monitored, controlled and optimized to the extent that environmental impacts are minimized. In this study, the alternative management scenarios for solid wastes were examined using life cycle assessment approach in the Melikgazi District, Kayseri. Four scenarios were identified. In Scenario 1, all wastes are collected and landfilled. In Scenario 2, recylabile wastes are partially separated at the source and the remaining wastes are landfilled. In Scenario 3, 100% of recyclable wastes are separated at the source and other wastes are landfilled. In Scenario 4, after separation of recylable wastes, other wastes are composted or landfilled. The scenarios were evaluated with life cycle assessment method using,IWM (Integrated Waste Management) model. For Melikgazi Municipality, Scenario 3 and 4 provided more advantages alternatives in terms of energy comsumption and environmental impacts.

Keywords: Life Cycle Assessment, IWM model, Kayseri, Solid Waste

İÇİNDEKİLER

KAYSERİ İLİ MELİKGAZİ İLÇESİ EVSEL KATI ATIK YÖNETİMİ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI ii
KABUL ONAY iii
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
TABLOLAR LİSTESİ ix
ŞEKİLLER LİSTESİ x
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Yaşam Döngüsü Analizi Hakkında Genel Bilgiler 3
1.1.1. Yaşam Döngüsü Analizi Nedir? 3
1.1.2. Yaşam Döngüsü Analizinin Yapısı ve Standardizasyonu 5
1.1.3. Yaşam Döngüsü Analizinin Metodolojisi 6
1.1.3.1. Amaç ve Kapsam Belirleme 6
1.1.3.2. Envanter Analizi 7
1.1.3.3. Etki Analizi 7
1.1.3.4. Yorumlama 8
1.2. Evsel Katı Atıklarının Yaşam Döngüsü 9
1.3. Literatür Özeti 11
1.3.1. Uluslararası Alanda Yapılan Çalışmalar 11
1.3.2. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar 15

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Entegre Atık Yönetimi (IWM) Modelinin Genel Yapısı 19

2.2. Entegre Atık Yönetimi (IWM) Modeli Girdi Verileri 20

2.2.1. Atık Miktarı ve İçeriği 20

2.2.2. Atık Toplama ve Transfer Sistemi 21

2.2.3. Malzeme Ayırma Tesisi 21

2.2.4. Materyallerin Geri Dönüşümü 21

2.2.5. Kompostlama Sistemi 21

2.2.6. Düzenli Depolama 22

2.2.7. Elektrik Enerjisi Kaynağı 23

2.3. Fonksiyonel Birim ve Sistem Sınırları 23

2.4. Senaryoların Belirlenmesi 23

2.5. Çalışmada Kullanılan Veriler 24

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Enerji Tüketimi 30

3.2. Küresel Isınma Potansiyeli 34

3.3. Asidifikasyon Potansiyeli 38

3.3. Ötrofikasyon 43

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER 48

KAYNAKÇA 50

ÖZGEÇMİŞ 55

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. ISO 14040 Standartlarının serisi 5
Tablo 2.1. Atıkların fiziksel özellikleri ve yapılan varsayımlar 20
Tablo 2.2. Yaşam Döngüsü envanterinde kullanılan düzenli depolama hava emisyonları 22
Tablo 2.3. Yaşam döngüsü analizinde modelinde kullanılan depolama gazı ve sızıntı suyu üretimi, sızıntı bileşimi ve nihai katı atık verileri 23
Tablo 2.4. Çalışmada kullanılan katı atık karakterizasyonu ve yıllık atık üretim değerleri 25
Tablo 2.5. Katı atık yönetim senaryolarında atık miktarları ve uygulanan bertaraf yöntemleri 26
Tablo 2.6. Katı atık yönetim senaryolarında toplama ve transfer için kullanılan veriler yapılan varsayımlar 27
Tablo 2.7. Katı atık yönetim senaryolarında ayrıştırma, kompostlama ve düzenli depolama için kullanılan veriler ve yapılan varsayımlar 28
Tablo 2.8. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı 28
Tablo 2.9. Envanter emisyonlarının sınıflandırılması 29
Tablo 2.10. Çevresel etki katsayıları 29

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yaşam döngüsü analizinin uygulama alanlarına göre kullanım sıklığı 4
Şekil 1.2. Yaşam döngüsü analizi aşamaları/sistem sınırları 4
Şekil 1.3. Yaşam döngüsü analizi metodolojisi 6
Şekil 1.4. Belediye katı atıkları için yaşam döngüsü 10
Şekil 1.5. Belediye katı atıkları yönetiminde, yaşam döngüsü envanter bileşenleri 11
Şekil 3.1. Senaryo 1-a enerji tüketimi 31
Şekil 3.2. Senaryo 1-b enerji tüketimi 31
Şekil 3.3. Senaryo 2 enerji tüketimi 32
Şekil 3.4. Senaryo 3 enerji tüketimi 33
Şekil 3.5. Senaryo 4 enerji tüketimi 33
Şekil 3.6. Yaşam döngüsü analizi net enerji tüketimi 34
Şekil 3.7. Senaryo 1-a küresel ısınma potansiyeli 35
Şekil 3.8. Senaryo 1-b küresel ısınma potansiyeli 35
Şekil 3.9. Senaryo 2 küresel ısınma potansiyeli 36
Şekil 3.10. Senaryo 3 küresel ısınma potansiyeli 37
Şekil 3.11. Senaryo 4 küresel ısınma potansiyeli 37
Şekil 3.12. Yaşam döngüsü analizi net küresel ısınma potansiyeli 38
Şekil 3.13. Senaryo 1-a asidifikasyon potansiyeli 39
Şekil 3.14. Senaryo 1-b asidifikasyon potansiyeli 40
Şekil 3.15. Senaryo 2 asidifikasyon potansiyeli 41
Şekil 3.16. Senaryo 3 asidifikasyon potansiyeli 42
Şekil 3.17. Senaryo 4 asidifikasyon potansiyeli 42
Şekil 3.18. Yaşam döngüsü net asidifikasyon potansiyeli 43
Şekil 3.19. Senaryo 1-a ötrofikasyon potansiyeli 44
Şekil 3.20. Senaryo 1-b ötrofikasyon potansiyeli 44
Şekil 3.21. Senaryo 2 ötrofikasyon potansiyeli 45
Şekil 3.22. Senaryo 3 ötrofikasyon potansiyeli 46

Şekil 3.23. Senaryo 4 ötrofikasyon potansiyeli.....46
Şekil 3.24. Yaşam döngüsü net ötrofikasyon potansiyeli 47

GİRİŞ

Nüfus, kentleşme ve endüstriyel gelişmenin hızla artması katı atık problemini de beraberinde getirmiştir. Üretilen katı atık miktarının sürekli artması atık yönetiminde yaygın olarak uygulanan toplama, taşıma ve depolamanın yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu durumda atık üretiminden başlayarak, atık yönetim sistemleri, çevreye etkileri en az düzeye indirgenene kadar izlenmeli, kontrol edilmeli ve en uygun sistemler seçilmelidir.

Atık yönetimi için en uygun sistem seçilirken kullanılabilecek yaklaşımlardan biri yaşam döngüsü analizidir. Yaşam döngüsü analizinin amacı, sürdürülebilir kalkınma çerçevesi içerisinde, ürünün hayatı boyunca oluşturacağı etkileri değerlendirmek, uygulamak ve yaygınlaştırmaktır [1,2]. Yaşam döngüsü analizinin, katı atık yönetim sistemlerini analiz eden ve değerlendiren, aynı zamanda bertaraf yöntemleri arasında en uygun olanı tercih eden ve sürdürülebilir alternatifleri gösteren bir analiz olarak kullanılması mümkündür [3,4].

Bu tez çalışmasında, Kayseri İli Melikgazi İlçesi katı atık yönetim sistemi için yaşam döngüsü analizi konu edilmektedir. Tez çalışmasının amacı, Melikgazi İlçesi katı atık yönetimi/bertaraf sistemi ve bu sisteme alternatif olabilecek sistemler için yaşam döngüsü analizi ile değerlendirme yapmaktır. Melikgazi İlçesi 2017 yılı TÜİK verilerine göre, 562.598 kişi nüfusu [5] ile yıllık yaklaşık 165.000 ton evsel katı atık üretimine sahiptir. Melikgazi Belediyesi pilot olarak başladığı kaynağından ayrıştırma ve geri dönüşüm sistemini, köyler hariç diğer mahallelerinde uygulamaktadır. Mevcut durumda Melikgazi Belediyesi 2016 yılına kadar Büyükşehir Belediyesine ait olan vahşi depo sahasına, depolama yapmıştır ve 2016 yılında yine Büyükşehir Belediyesine ait olan katı atık düzenli depolama sistemini kullanmaktadır.

Bu tez çalışmasında yaşam döngüsü analizi kullanılarak farklı katı atık yönetim alternatifleri karşılaştırılacaktır. Çalışma sonucunda, Kayseri'de sürdürülebilir katı atık yönetimi için öneriler sunulacaktır.

Tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, tez konusu ile ilgili genel bilgiler verilmektedir. İkinci bölümde, çalışmada kullanılacak olan veriler ve yöntem ile bunların uygulanış biçimleri açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, elde edilen bulgular sunulmuş ve yorumlama yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise sonuçlar ve öneriler sunulmaktadır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Yaşam Döngüsü Analizi Hakkında Genel Bilgiler

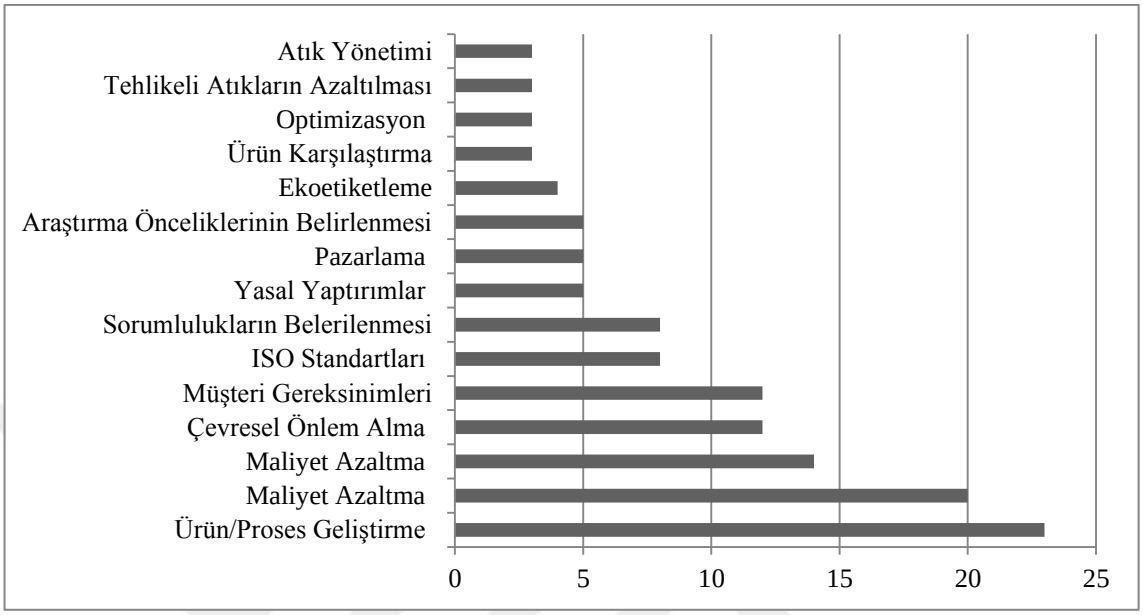
1.1.1. Yaşam Döngüsü Analizi Nedir?

Yaşam döngüsü analizi yaklaşımını kullanan ilk çalışmalar 1960'ların sonuna doğru yapılmış ve 1990'lı yıllarından beri karmaşık sistemlerde gittikçe daha çok tercih edilen ve sürekli geliştirilen, yenilenen bir yöntem haline gelmiştir [6]. Yaşam döngüsü analizi, Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) (SETAC) tarafından "bir ürünün, işlemin veya faaliyetin çevresel yükünü, enerjiyi, kullanılan maddeleri ve çevreye verilen atıkların türlerini ve miktarlarını belirleyerek, çevresel gelişmeleri etkileyecek olanakları değerlendirip uygulayacak, objektif bir işlem" olarak tanımlanmaktadır [7, 8, 9]. Yaşam döngüsü analizi, bir ürün ya da sürecin yaşam döngüsü boyunca oluşabilecek çevresel etkilerini değerlendirirken tüm boyutlarıyla ve detaylı bir şekilde incelemektedir [10].

Yaşam döngüsü analizi, tüm çevresel yükleri ve dolayısıyla ürünlerin veya süreçlerin yaşam döngüsü boyunca tüm çevresel etkileri ölçebilen, bütüncül bir yaklaşımdır [11] Yaşam döngüsü analizi tam olarak bilimsel bir araç değil, bir ürünün veya sistemin çevre üzerindeki etkileri için bir bilim tabanlı değerlendirme yöntemidir [12]. Özellikle karar verme sürecinde strateji planlamasında katı atık yönetimi sistemleri için giderek daha fazla kullanılmaktadır.

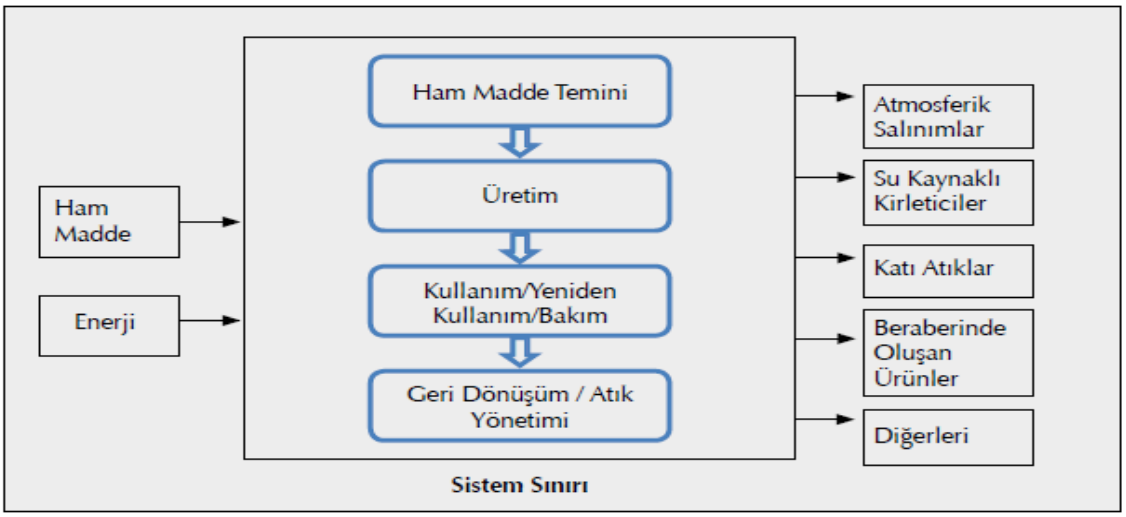
Yaşam döngüsü analizi ile gerçekleştirilebilen kapsamlı ve bütünsel değerlendirme, olası değişikliklerin yol açacağı çevresel etkilerin farklı senaryolar için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini ve ilgili karar alma süreçlerine yansıtılabilmesini de sağlar. Yaşam döngüsü analizi, birçok alanda kullanılmaktadır. Yaşam döngüsü analizinin uygulama alanlarına göre kullanım sıklığı Şekil 1.1'deki gibidir [2]. Şekil 1.1'e göre en çok tercih edilen uygulama alanı, ürün/proses geliştirme ve maliyet azaltmadır. En az

tercih edilen ise, atık yönetimi, optimizasyon, tehlikeli atıkların karşılaştırılması ve ürün karşılaştırma alanlarıdır.



Şekil 1.1.Yaşam döngüsü analizinin uygulama alanlarına göre kullanım sıklığı [2]

Yaşam döngüsü analizi, hammadde temini aşamasından başlayarak, çevresel etkileri ile bütün ekonomik yönlerini de hesaba dâhil ederek, üretim (imalat), tüketim (kullanım), tekrar kullanım ve atık yönetimi sürecinde bertaraf edilmesine kadar, kullanıcılar tarafından değerlendirilmesini sağlayan faydalı bir yöntemdir [9]. Bir ürün için yaşam döngüsü analizi aşamaları/sistem sınırları Şekil 1.2'deki gibidir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi yaşam döngüsü sisteminde ürünün hammadde halinde çevresel etkisi başlamakta, ürün başka bir forma dönüşerek etkisi devam etmektedir.



Şekil 1.2. Yaşam döngüsü analizi aşamaları/sistem sınırları [13, 14]

1.1.2. Yaşam Döngüsü Analizinin Yapısı ve Standardizasyonu

Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO), geniş bir alanda ürün ve etkinliklerin standartlaşmasını amaçlayan, hem sanayileşmiş hem de gelişmiş ülkelerdeki ulusal kuruluşları bünyesinde toplayan, dünya çapında özel bir organizasyondur [10, 15]. ISO çalışmaları 1994'te başlamış ve ISO 14000 serisi içerisinde Yaşam Döngüsü Analizi ile ilgili birçok standardı (14040 serisi) içermektedir [10, 15, 16, 17].

ISO, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi üzerine ISO 14040 serisini yayımlamıştır. Bu çalışma kapsamında ülkemizde, EN ISO 14040:1997'den çevrilerek 1998'den itibaren "Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensipler ve Çerçeve" adıyla TS EN ISO 14040 ile 14043 arasında tanımlanmıştır. ISO 14040 standartları serisi Tablo 1.1'de gösterilmektedir [10, 18].

Tablo 1.1. ISO 14040 Standartlarının serisi [10]

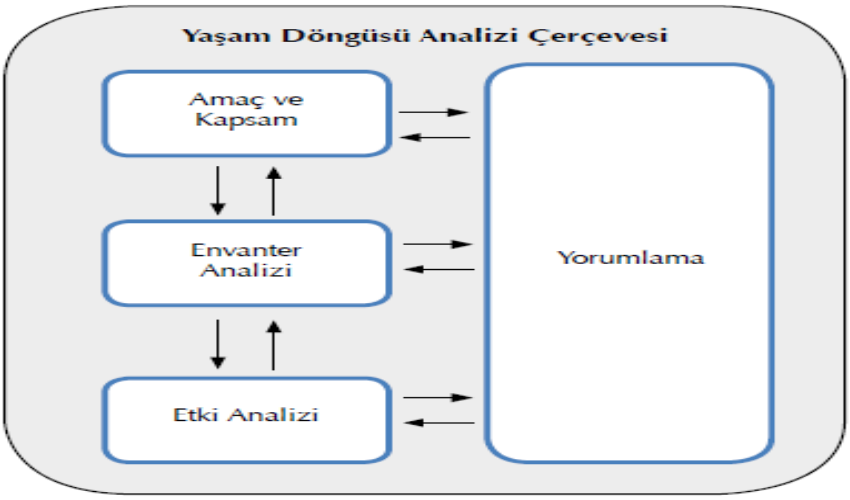
ISO 14040 STANDARTLARI SERİSİ	
ISO 14040 (2006)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensipler ve Çerçeve
ISO 14040 (1998)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensipler ve Çerçeve (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO/DIS 14041 (1998)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Amaç ve Kapsam Tanımı ve Envanter Analizi (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14042 (2000)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14043 (2000)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Yorumu (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14044 (2006)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme - Gereksinimler ve Kılavuzlar
ISO 14047 (2003)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Etki Değerlendirme - ISO 14042 Uygulama Örnekleri
ISO/TS14048 (2002)	Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme – Veri Belgeleme Biçimi
ISO 14049 (2003)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Etki Değerlendirme - ISO 14041 Amaç ve Kapsam Tanımı ve Envanter Analizi Uygulama Örnekleri

ISO 14040 serisi, yaşam döngüsü analizi çalışmalarının gelişmesi ve bildirilmesi için genel bir çerçeve, prensip ve gerekliliklerini belirtmektedir. ISO 14040 amacı, bir

yaşam döngüsü değerlendirmesinin yürütülmesi, incelenmesi, sunulması ve kullanılması için bilgi sağlamaktadır [19].

1.1.3. Yaşam Döngüsü Analizinin Metodolojisi

2000 yılında, Çevresel Toksikoloji ve Kimya Birliği (SETAC) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) [20], dünya genelinde en iyi yaşam döngüsü analizi uygulamasını gerçekleştirmek için bir araya gelmiş ve çalışmalar sonucu, Şekil 1.3'deki gibi yaşam döngüsü analizi dört aşama olarak belirlenmiş ve geliştirilmiştir [2, 19]. Bu aşamalar amaç ve kapsam belirleme, envanter analizi, etki analizi ve yorumlama olarak sıralanabilir. Aşağıda bu aşamalar ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.



Şekil 1.3.Yaşam döngüsü analizi metodolojisi [13, 14]

1.1.3.1. Amaç ve Kapsam Belirleme

Yaşam döngüsü analizi ilk aşamasıdır. Bu aşama, çalışmanın amacını, kapsamını, sınırlarını ve yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak olan çevresel etkilerin karar verme sürecine nasıl bağlanacağına dair yöntemin belirlendiği aşamadır. Amaç ve kapsam belirlemek, kaynak ve zaman ihtiyacını ve tüm analiz aşamalarına yol göstererek güvenli ve anlamlı sonuçların elde edilmesini sağlar. Alınan her karar, çalışmanın nasıl yönetileceğini ve nihai sonuçların uygunluğunu etkileyecektir [14].

Bir yaşam döngüsü analizi/değerlendirmesi çalışmasında ürünün/sistemin çevresel yüklerinin belirlenmesi, karşılaştırma yapılabilmesi için öncelikle işlevsel birimin tanımlanması gereklidir. İşlevsel birim, amaç ve kapsam tanımı aşamasında

belirlenmelidir ve aynı zamanda ölçülebilir olmalıdır. İşlevsel birim, farklı ürünün bir ürünlerin karşılaştırma yapabilmek için bir ölçek olması açısından önemlidir. Bir sonraki aşama olan veri çözümlemedeki toplanan girdi ve çıktı verileriyle ilişkili olmak üzere referans sağlayacaktır [10]. Yaşam döngüsü analizi tekrarlanabilinen bir yöntem olmasından dolayı ilave bilgi, çalışmanın kapsamı gözden geçirilmelidir [2, 19].

1.1.3.2. Envanter Analizi

Envanter analizi, yaşam döngüsü analizinin ikinci aşamasını oluşturmaktadır. Bu alana verilerin toplanmasını, sistem sınırlarının incelenmesini, hesaplamalar, verilerin geçerliliğini, çalışılmakta olan sistemle ilgili veriler kısımlarını içermektedir. Envanter analizi kapsamında yaşam döngüsünün tüm aşamalarındaki materyal tüketimi, atık ve emisyon profillerinde kullanılacak olan veriler toplanmaktadır ve irdelenmektedir.

Envanter analizi, oluşturabilmek için en kaliteli verilerin toplanması gerekir. Verilerin kalitesi, kesinlik, bütünlük, temsil edilebilirlik, uygunluk/tutarlılık ve tekrarlanabilirlik kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmelidir [2,19].

Bir ürün sisteminin ilgili girdi ve çıktı verileri, sistemle ilgili kaynak kullanımını, havaya, suya ve toprağa olan salınımları içermelidir. Toplanan veriler nitel veya nicel olabilir. Envantere dahil edilen nitel ve nicel veriler, sistem sınırlarında verilen her bir proses için toplanmalıdır. Envanter analizi sonucunda, çevreye bırakılan kirleticilerin yanı sıra, harcanan enerji ve malzeme miktarını içeren bir liste oluşturulur [14].

1.1.3.3. Etki Analizi

Etki analizi, yaşam döngüsü analizinin üçüncü aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşama envanter analizi sonucu toplanan verilerin, potansiyel çevre etkilerinin değerlendirilmesine ilişkin esasları içermektedir. Bir diğer ifade ile yaşam döngüsü etki analizi, envanter verisinin karakterizasyonunun yapılmasıdır [19].

Yaşam döngüsü etki analizi yapısı ve prosedürü şeffaf olmalı ve geniş bir uygulama aralığı için esneklik ve kolaylık sağlamalıdır [19, 21]. Yaşam döngüsü etki analizi, etki kategorilerinin birbirleriyle karşılıklı olarak, ağırlıklı değerlendirilmelerini içerir. Bunun amacı, farklı yasam döngüsü etki kategorilerini, önem sırasına göre sıralamak ve gruplandırmaktır [10].

Aşağıda yaşam döngüsü etki analizini oluşturan aşamalar verilmiştir [14]:

- Etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması – İlgili çevresel etki kategorilerinin tanımlanması(örneğin, küresel ısınma, asidifikasyon, karasal zehirlilik vb.)
- Sınıflandırma –Yaşam döngüsü envanteri sonuçlarının etki kategorileri ile ilintilendirilmesi (örneğin, tüm karbondioksit emisyonlarını, küresel ısınmaya katkılarını gösterecek şekilde sınıflandırma). Bu aşamada çoğunlukla dikkate alınan kategoriler küresel ısınma, asitleşme, enerji tüketimi, ötrofikasyon, ekotoksik etkiler, insan üzerinde toksik etkiler, alan kullanımı
- Karakterizasyon – Bilimsel karakterizasyon faktörleri kullanarak her bir etki kategorisinin modellemesi (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya potansiyel etkilerinin modellenmesi)
- Normalizasyon– Karşılaştırılabilen potansiyel etkileri açıklamak (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya olan etkilerini karşılaştırmak)
- Gruplandırma – Göstergelerin sınıflandırılması ve sıralanması (örneğin, göstergelerin konuma göre yani yerel, bölgesel ve küresel bazda sınıflandırılması)
- Ağırlıklandırma – En önemli potansiyel etkileri vurgulama
- Yaşam döngüsü etki analizi sonuçlarını değerlendirme ve raporlandırma

1.1.3.4. Yorumlama

Yorumlama yaşam döngüsü analizinin son aşamasıdır. Yorum aşamasında, bir sistemin envanter analizi ve etki analizi sonuçlarından elde edilen bilgiyi nitelendirmek, kontrol etmek, değerlendirmek ve hedef ve kapsam bölümünde belirtildiği gibi sunmaya yönelik sistematik bir prosedürdür [10]. Yapılan etki analizinden bulunan sonuçların, bütünlük, hassasiyet ve uygunluk açısından kontrolünün yapılmasında, yorumlanmasında, bu sonuçlara dayalı önerilerin sunulmasında ve raporun hazırlanmasında uyulması gerekli hususları bu bölümde açıklanmalıdır [10].

Yorum, yaşam döngüsünün diğer üç aşaması arasında gerçekleştirilir. Envanter analizlerinden ve etki değerlendirmesinden bulunanlar, hedef ve kapsam tanımında belirtilenleri ile karşılaştırılır, uygun değilse envanter analizi sistem sınırları gözden geçirilerek tekrar geliştirilme işlemi yapılmalıdır [10, 19]. Bu tekrarlayıcı süreçte, hedef

ve kapsam aşamasında belirtilen gereksinimleri sistem kontrolü, aşağıda belirtilen maddeler çerçevesinde incelenmelidir; [19]

1. Önemli çevresel konuların belirlenmesi
2. Bütünsellik, hassasiyet ve tutarlılık açısından metodolojinin ve sonuçların değerlendirilmesi
3. Sonuçların hedef ve kapsam tanımındaki gereksinimlerle uyumluluğu kontrol edilmelidir.

Yukarıdaki işlemler sağlanıyorsa sonuç olarak bir rapor yazılmalı, sağlanmıyorsa 1. ve 2. basamağa geri dönülmelidir. Bu işlem 3. basamak sağlanıncaya kadar tekrarlanmalıdır [19].

1.2. Evsel Katı Atıklarının Yaşam Döngüsü

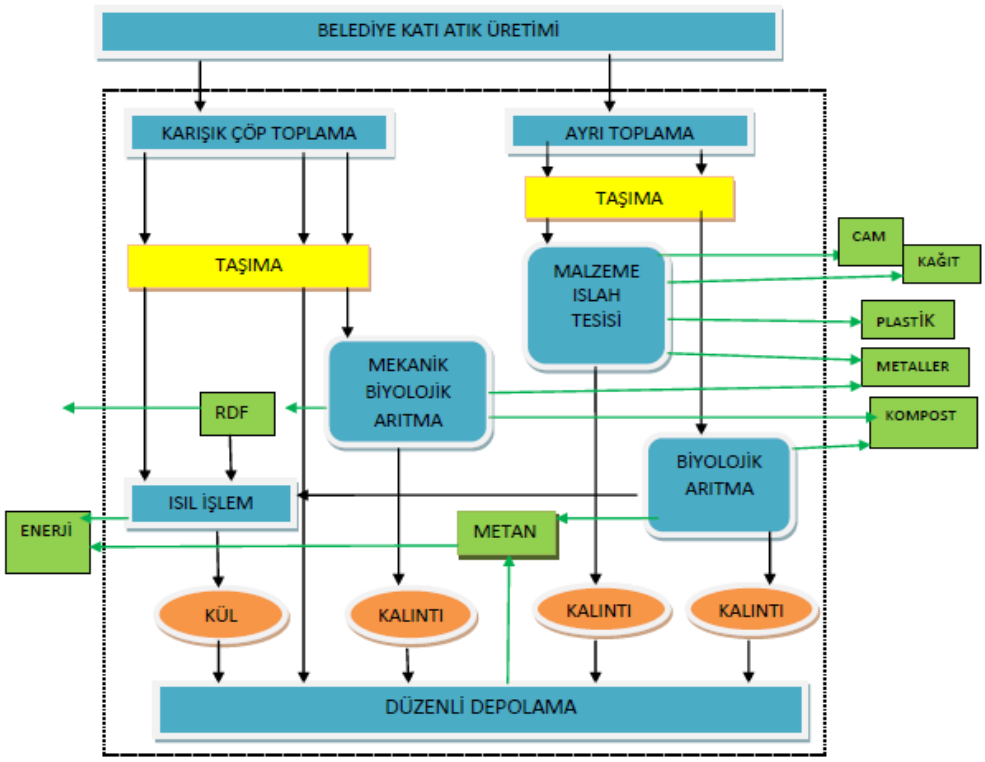
Yaşam döngüsü analizi 1995'den beri sürdürülebilir evsel katı atık yönetimi için kullanılmıştır [22]. Yaşam döngüsü analizi evsel katı atık yönetiminde uygulama için ideal bir araçtır. Çünkü coğrafi konumlar, atıkların özellikleri, enerji kaynakları, bazı bertaraf seçeneklerinin varlığı ve atık yönetiminde elde edilen ürünler için pazar büyüklüğü bölgeden bölgeye çok farklıdır [23].

Katı atık yönetimi, teknik, ekonomik ve sosyal açıdan göz önünde bulundurulması gereken karmaşık ve çok disiplinli bir sorundur. Evsel katı atık yönetimi en az üç aşamadan oluşur; toplama, taşıma ve arıtma. Süreç boyunca, çok sayıda etki vardır; Örneğin, atıkların toplanması, farklı tipteki torba ve konteynırların üretimi, kullanımı, nakil araçlarının kullanımı ve transfer istasyonlarının yapımı, bakımı ve yıkımı nedeniyle çeşitli türlerde çevresel sonuçlara sahiptir [24, 25]. Atık yönetimi planlamasının önemli bir yönü, atık yönetiminin bu tür çevresel etkilerini azaltmak için özel önlemlerin alınması gereken alanların tanımlanmasını sağlamaktır [25].

Belediye katı atık yaşam döngüsü alanı Şekil 1.4'de noktalı çizgilerle belirtilmiştir. Yaşam döngüsü analizi sistem sınırı, atık yönetim sistemi ile çevre veya diğer ürün sistemleri arasındaki ara yüzüdür. Yaşam döngüsü, bir ürün veya malzeme, çöpe atıldıktan sonra başlar. Şekil 1.4'de olduğu gibi belediye atıkları karışık veya ayrı toplama yapılır. Her bir toplama yöntemini bir alt kategori olan taşıma sistemi izler. Gelişmiş ülkelerde belediye atıkları yönetim sisteminde, karışık atık ya düzenli depo

sahasına ya da atık enerji tesisine veya mekanik biyolojik arıtma tesisine gönderilir. Kaynağından ayrı toplanan atıklar, metal, kağıt, plastik cam gibi atılar ise geri dönüşüm tesisine, mutfak atıkları, bahçe atıkları gibi organik içerikli ise biyolojik arıtma tesisine gönderilir [26].

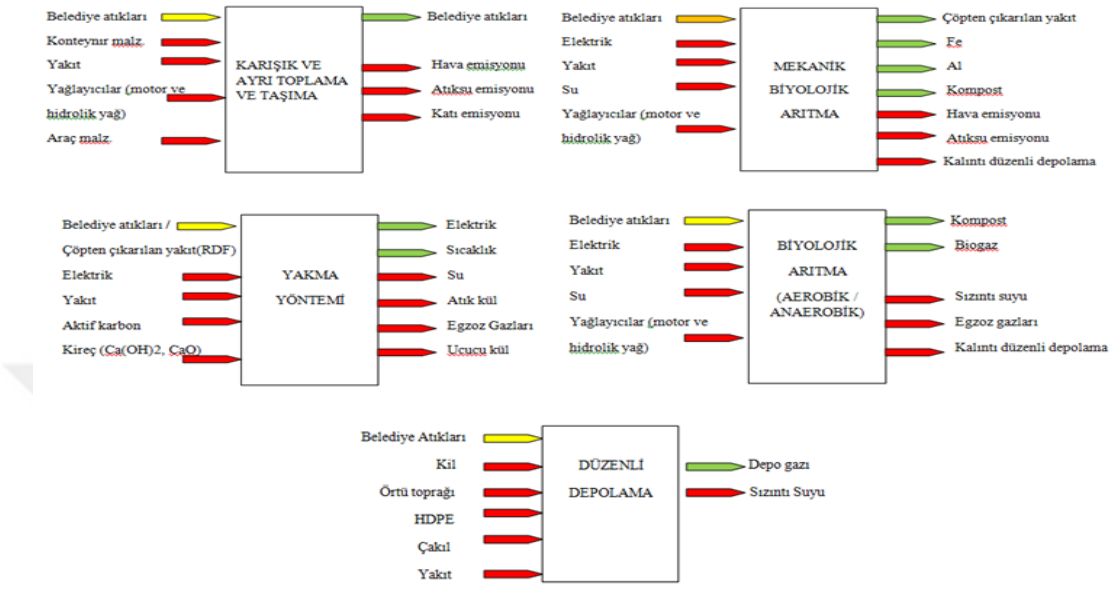
Şekil 1.4'de gösterildiği gibi her atık yönetim aşamasında oluşan ürünler yeşil kutularda sunulmuştur. Her yöntem sonucunda oluşan artıklar ise düzenli depo sahasına gitmektedir. Belediye atıklarının yaşam döngüsünün sonucu, faydalı bir ürün, atık depolama materyali veya hava ve suya bir emisyon haline dönüşerek atık olmayı bırakmasıdır [27]. Bu nedenle düzenli depolama alanı, malzeme veya enerji kazanımından kaynaklanan ürünlerin üretimi, belediye atıklarının yaşam döngüsünün sonudur [26].



Şekil 1.4. Belediye katı atıkları için yaşam döngüsü [26, 27]

Belediye katı atıkları için uygulanacak yaşam döngüsü analizinde, kaynakların kullanımını ve havaya, suya, toprağa ve faydalı ürünlere salınan emisyonların salınımı değerlendirilir. Tüm bu girdiler (malzeme ve enerji kaynakları) ve çıktılar (emisyon ve ürünler) yaşam döngüsü envanteri sırasında tanımlanmalı ve sayısallaştırılmalıdır. Her

yönetim kademesinin yaşam döngüsü envanter bileşenleri Şekil 1.5'de verilmiştir. Yaşam döngüsü envanteri oluşturulurken bu parametreler dikkat alınmalıdır [26].



Şekil 1.5.Belediye katı atıkları yönetiminde, yaşam döngüsü envanter bileşenleri [26]

Atık yönetim sistemlerinde enerji ve materyal girdilerine ek olarak işletmeler için sermaye, ekipman ve altyapı gerektirir. Bu ekipman ve altyapının tamamı doğal kaynakları tüketir ve ilgili yaşam döngüleri sırasında çevreye emisyon salımı yapar. İkincil çevresel yükler olarak da bilinen bu emisyonlar, birincil yüklere kıyasla küçük olduğu varsayıldığından, belediye atıkları yönetiminde yaşam döngüsü analizinden dışlanmaya eğilimlidir [26, 27].

1.3. Literatür Özeti

Aşağıda katı atık yönetimde yaşam döngüsü analizinin kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar sunulmaktadır. Çalışmalar uluslararası alanda yapılanlar ve Türkiye'de yapılanlar şeklinde iki kısımda incelenmiştir.

1.3.1. Uluslararası Alanda Yapılan Çalışmalar

Clift vd. [28], entegre katı atık yönetimi için yaşam döngüsü değerlendirmesini uygulamıştır. Bu çalışmada yaşam döngüsü analizi uygulama metodolojisi, entegre katı atık yönetimi için geliştirilmiş ve İngiltere Çevre Ajansı tarafından kullanılan, uluslararası platformda son gelişmeler özetlenmiştir. Çalışma sonucunda yaşam

döngüsü analizinin, atık yönetimi için iyi karar vermede bir yol gösterici olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Weitz vd. [29], belediye katı atık yönetiminin Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'ndeki sera gazı emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma, son 25 yılda ABD'de belediye katı atık yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarındaki değişiklikleri izlemek için bir yaşam döngüsü metodolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, ABD toplulukları tarafından alınan evsel katı atık yönetimi eylemlerinin atık üretiminde neredeyse 2 kat artışa rağmen potansiyel sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Evsel katı atık yönetiminden elde edilen sera gazı emisyonları 1974 yılında 36 milyon metrik ton karbon eşdeğeri ve 1997 yılında 8 metrik ton karbon eşdeğeri olarak tahmin edilmiştir.

Finnveden vd. [30], katı atıkların enerjisini yaşam döngüsünde değerlendirmişlerdir. Çalışmanın amacı, İsveç'te katı yönetiminin yaşam döngüsü değerlendirmesi çerçevesinde incelemektir. Çalışmaya düzenli depolama, geri dönüşüm, yakma ve kompostlama sistemleri dâhildir. Genel sonuçların enerji ile elde edilen sonuçlara göre genel enerji kullanımı, küresel ısınmaya katkıda bulunan gazların emisyonları ve toplam ağırlıklı sonuçlar ile ilgili olarak, çalışmaya göre kağıt ve plastik malzemelerin geri dönüşümünün genel olarak olumlu olduğu belirtilmiştir. Yakma, genel enerji kullanımı, küresel ısınmaya katkıda bulunan gazların emisyonları ve toplam ağırlıklı sonuçlar ile ilgili olarak, çalışmaya göre toprak dolgu üzerinde genel olarak olumludur. Elde edilen sonuçlar atık yönetim politikasının kararlarının yanı sıra stratejik kararlar içinde önemli olmuştur. Elde edilen sonuçlar atık hiyerarşisinin genel bir kural olarak geçerli olduğunu bir kez daha göstermiştir.

Thorneloe vd. [31], ABD'de malzeme ve atık yönetimi için karar destek aracını uygulamıştır. Bu makale, Amerika Çevre Ajansı (U.S. EPA – Research Triange Institute (RTI)) tarafından MSW-DST (Belediye Katı Atık Karar Destek Sistemi)'nin yaşam döngüsü çevre ve maliyet değişimlerini karşılaştırmak için varsayımsal orta ölçekli bir toplum için ön yönetim stratejisini değerlendirerek nasıl kullanılabileceğinin bir örneğini sunmaktadır. Bu makalenin amacı, MSW-DST'nin malzeme ve atık yönetimi için seçenekleri değerlendirirken çoklu kriterleri (maliyetler ve çevresel etkiler) belirlemek ve dengelemek için nasıl kullanılabileceğini göstermektir. Yönetim stratejilerinin değerlendirilmesinde MSW-DST kullanımı, bir topluluğun çevresel

etkinliklerini artıracak ve maliyeti en aza düşürecek belli bir alana özgü stratejileri belirlemesine yardımcı olabilir.

Kaplan vd. [32], Delawere için katı atık yönetimi planlaması yaşam döngüsü analizi kullanımında desteklemesini araştırmıştır. Bu çalışmada, Delaware Eyaleti için entegre katı atık yönetimi için alternatif planların, sera gazı emisyonları dahil olmak üzere maliyet ve çevresel performans dikkate alınarak belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla bir optimizasyon modeli kullanılmıştır. Delaware'deki üç ilçede, maliyet, depolama sahası saptama gereksinimleri, sera gazı emisyonları ve alternatif arıtma işlemlerinin (örneğin geri dönüşüm, kompostlama ve yanma) mevcudiyeti üzerindeki kısıtlamalar dikkate alınarak verimli katı atık yönetimi planlarını tanımlamak için ayrı ayrı modellenmiştir. Sonuç olarak, nüfusun sadece bir kısmı için düzenli depolama stratejisi uygulamasının, bir bölgeye özgü çöp toplama hedefinin karşılanması için en uygun maliyetli olduğu görülmektedir. Atıktan enerjiye uygulanması, sera gazı emisyonlarının azaltılması için en uygun maliyetli fırsatı sunmaktadır.

Hong [33], Çin'de dört belediyenin katı atık yönetim senaryoları yaşam döngüsü değerlendirmesinde araştırılmıştır. Çalışmada, Çin'de kullanılan atık yönetimi;(1) düzenli depolama, (2) yakma , (3) kompostlama + düzenli depolama, (4) kompostlama + yakma şeklinde dört senaryonun etkisi değerlendirilmek için karşılaştırılmıştır. Sonuçlara genel olarak bakıldığında, küresel ısınma kategorisinde, doğrudan metan gazı emisyonları nedeniyle depolama sahasında en yüksek potansiyel etkisi gözlemlenmiştir. Metan gazından elektrik geri kazanımı, küresel ısınmanın potansiyel etkisini azaltmak için temel faktör olmuştur. Bu nedenle, depolama alanlarının çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için metan gazı kullanımının elektriği kurtarmak için kullanılması tavsiye edilir.

Chen [25], beş belediye katı atık yönetim sistemlerinin yaşam döngüsünde değerlendirmiştir. Bu çalışma, belediye katı atık yönetimi için, çöplük alanlarındaki aşırı yükteki mevcut ikilemi çözebilecek ve geri dönüşüm, yeniden kullanım ve azaltma ile ilgili yetkililerin ihtiyaç duyduğu hedefleri gerçekleştirebilecek farklı alternatifleri analiz etmektedir. Her bir alternatifin çevresel performansını değerlendirmek için uygulanan metodoloji, yaşam döngüsü değerlendirmesidir. Dört alternatif senaryo ve bir temel senaryo seçilmiştir ve bunlar Dr. Jane Powell (2007-2013) tarafından geliştirilen STRIVE modeli ile farklı etki kategorileri temelinde karşılaştırılmıştır. Depolama gazı

toplama verimliliği, enerji geri kazanım kapasitesi ve geri dönüşüm oranı konusunda bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuçlar, yaşam döngüsü analizi, STRIVE'dan toplanan sonuçlar ve duyarlılık analizi, kapsamlı (dinamik olarak entegre edilmiş) bir yaklaşımın Nanjing'in ihtiyaçlarına en uygun olacak şekilde, uzun vadede daha düşük çevresel etkilerin yanı sıra ekonomik faydalar sağladığını teyit etmektedir.

Othman vd. [34], bazı Asya ülkelerinde entegre katı atık yönetiminde yaşam döngüsü değerlendirmesi araştırılmıştır. Çalışmada, bazı katı atık yönetim seçenekleri Asya ülkelerine özgü olduğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle sürdürülebilir senaryolar belediye katı atık yönetimi için önerilmektedir. Bu çalışma, bölgede yerel, bölgesel ve ulusal otoriterler ya da sektörlerde karar vericiler için atık yönetimi konusunda temel oluşturacaktır.

Saer vd. [35], bir gıda atık kompost sisteminde çevresel etki noktalarını yaşam döngüsü değerlendirmesinde incelemişlerdir. Çalışmada 13 ay dönemi için, 7 farklı kompost yığını oluşturulmuştur. Literatürde metan için ayrışma emisyon faktörleri, Azotoksit ve Amonyak için minumum, ortalama ve maxsimum emisyon senaryoları belirlenmiştir. Kompostlamada oluşan karbondioksit emisyonları biyojenik olduğu için değerlendirmeye dâhil edilmemiştir. Tüm senaryolar için, kompostlaşma sürecindeki emisyonlar ortalama ve maxsimum emisyon senaryoları altında küresel ısınma potansiyeli, asitlenme ve ötrofikasyon etkisi kategorilerine en fazla katkıda bulunan, en büyük çevresel etkiye sahip olmuştur. Bu çalışma yaşam döngüsü değerlendirmesi ile kompost ayrışma işleminde CH_4, NO_2 ve NH_3 emisyonlarının etkilerini ve ihtiyacını en aza indirme önemini gerektiğini sonucuna ulaşmıştır.

Naghibzadeh vd. [36], İran'nın Kahraj Şehri için belediye katı atık yönetim sistemi yaşam döngüsü analizinde değerlendirilmiştir. Çevresel yüke göre üç senaryo tanımlanmış ve karşılaştırılmıştır; su kirliliği, hava kirliliği, tüketilen enerji ve atık artıklardır. Senaryo 1'de toplama sistemi optimizasyonu, Senaryo 2'de taşıma sistemi optimizasyonu ve Senaryo 3'de ise atık sistemi iyileştirme optimizasyonunda çevresel etkiler karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Çevresel açıdan bakıldığında, geri dönüşümün atık yönetimi için en iyi alternatiflerden biri olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca kirletici maddelerin yükünün hafifletilmesinde ve atık yönetimi sisteminde enerji kullanımında kompostlamanın önemli bir rolü olduğu kanısına varılmıştır.

Stypka [37], sürdürebilir kalkınma aracı White vd. (1995) tarafından geliştirilmiş entegre katı atık yönetim modelini (IWM 1) araştırmıştır. Çalışmada, Polonya Krakow ve İsveç Stockholm belediyelerinin katı atık yönetim sistemlerini IWM-1 modelinde karşılaştırmıştır. Analiz edilen tüm durumlarda, evsel katı atık sisteminin çevresel yükünün ekonomik olandan önemli ölçüde daha küçük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.. Toplama aşaması, tüm atık bertaraf sürecinin en pahalı ve en çevreci talep aşamasıdır. Model, geri dönüşümün çevresel faydalarını açıkça göstermektedir.

Özetle, uluslararası literatürde yaşam döngüsü analizinin katı atık yönetiminde kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bu işlemi hızlandırmak ve sürekli devam ettirebilmek için geliştirilmiş özel yazılımlar ortaya çıkmıştır. Bu durum yaşam döngüsü analizi sonuçlarının uygulamada önemli hale geldiğinin göstergesidir.

1.3.2. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar

Türkiye'de katı atık yönetiminde yaşam döngüsü analizinin kullanımı ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar aşağıda sıralanmaktadır.

Özeler vd. [9], yaşam boyu değerlendirme yönetiminin evsel katı atık yönetiminde Ankara örneğini incelemişlerdir. Çalışmada, Ankara'nın katı atık yönetim sistemi için farklı katı atık yönetim sistemi senaryoları geliştirilmiş ve hayat boyu değerlendirme yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı, hem çevresel açıdan hem de ekonomik açıdan Ankara için en uygun katı atık yönetim sistemi seçeneğinin belirlenmesidir. Çalışma sonucunda hayat boyu değerlendirmenin entegre katı atık yönetim sistemlerinde başarıyla uygulanacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Çokaygil [2], atık yönetim planlamasında yaşam döngüsü analizini araştırmıştır. Çalışmada, gıda sektöründe meyve suyu ambalajı olarak kullanılan cam şişe ve bariyer katmanlı karton kutu olmak üzere iki farklı ambalaj tipi ile peynir ambalajı olarak kullanılan tamamen plastik (PP), teneke-plastik (PE) ve karton-plastik (PA/PE) olmak üzere üç farklı ambalaj tipinin yaşam döngüsü analizleri yapılmıştır. Sistemdeki envanter analizleri, atık senaryoları, değerlendirme ve karşılaştırma işlemleri, ISO 14040 Yasam Döngüsü Değerlendirmesi Standardına uygun olarak üretilmiş olan SimaPro 6.0.4 adlı bir yazılımla gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucunda ambalaj

atıklarının bertarafında, yeniden kullanım ile geri dönüşüm oranları arttırılmalı ve enerji geri kazanımsız yakmada kesinlikle tercih edilmemeli kanısına varılmıştır.

Özkan [38], kentsel katı atık yönetimi sistemlerinin oluşturulmasında farlı karar verme tekniklerinin kullanımı araştırmıştır. Çalışmada, Eskişehir'in kentsel katı atık karakterizasyonu belirlenmiş olup bu verilere göre atık yönetimi için beş farklı senaryo, yaşam Döngüsü Analizi, Electre III yöntemleri ile değerlendirilmiş ve Lingo 9.0 yazılımıyla bir karar destek sisteminin yapısı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, Senaryo 3 (%15 geri kazanım + %77 kompostlama + %8 düzenli depolama) en uygun atık yönetimi olarak belirlenmiştir. Bu çalışma aracılığıyla mevcut durumda atık toplama ve taşıma rotalarında iyileştirme yapılmış ve düzenli depolama sahası yer seçimi gerçekleştirilmiştir.

Banar vd [39], Eskişehir katı atık yönetimi için yaşam döngüsü değerlendirmesini araştırmışlardır. Çalışmada, beş farklı alternatif senaryo geliştirilmiştir. Bu senaryolar; atıkların toplama ve taşınması ile geri kazanım tesisi, geri dönüşüm, kompostlama, yakma ve düzenli depolama işlemleri şeklindedir. Yaşam döngüsü analizi için SimaPro7 programını kullanmışlardır. Alternatif senaryolar CKM 2000 metodu ile karşılaştırılmıştır ve bu karşılaştırmalar abiyotik tükenmesi, küresel ısınma, insan toksitesi, asitlenme, ötrifikasyon ve fotokimyasal ozon tabaksının incelmesi noktasında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya göre, kompostlama yöntemi çevresel açıdan daha tercih edilebilir bir seçenektir.

Ün [40], atıksu arıtma tesislerinde yaşam döngüsü analizini incelemiştir. Araştırmada, yaşam döngüsü analizi metodu farklı atıksu arıtma teknoloji ve standartların çevresel zararlarını ve faydalarını değerlendirmek için tercih edilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, atıksu arıtımında kullanılabilecek en iyi yöntemler açıklanmış ve atıksu arıtma tesislerinin gerekliliğine dikkat çekilmiştir.

Gündüz Balpetek [19], tekstil sanayisinde sürdürebilir kalkınma için yaşam döngüsü değerlendirmesini araştırmıştır. Çalışmada yaşam döngüsü değerlendirmesi ile sınırlı olan doğal kaynakların etkin kullanımı, atık yönetimi, enerji verimliliği ve endüstrilerin çevre yüklerinin azaltılması konusunda farkındalık kazandırmaya yönelik çalışmalara bir çerçeve oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Polat [15], bitümlü sıcak karışımların çevresel yaşam döngüsü analizini çalışmıştır. Bu çalışmada, farklı içeriklere sahip asfalt üretimlerinin, yaşam döngüsü analizlerinin değerlendirilmesi bir bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Bu analizler kullanılarak, etki değerlendirmesi ile çevreye en az emisyon yayan asfalt tipinin belirlenmesine ve birbirleri ile kıyaslanmasını araştırmıştır.

Yiğit [41], demir dökümhanelerinin çevresel etkisi, yaşam döngüsü değerlendirmesi hedefine yönelik olarak incelenmiştir. Çalışmada iki farklı dökümhaneden envanter verisi toplanmıştır. Tesislerde proseslere yönelik fark,ikinci tesiste ikincil kum geri kazanım uygulamasının olmasıdır. Hesaplamalar SimaPro yazılımı kullanılarak yapılmış ve etki hesaplama yöntemi olarak Impact 2002+ seçilmiştir. Bu çalışma sonucunda, literatürde mevcut en iyi teknik olarak belirtilen ikincil kum geri kazanımı uygulamasının yaşam döngüsü açısından çevreye daha çok etkisi olduğunu göstermiştir.

Çil [10], Yalova kentsel katı atık yönetim alternetiflerini çevresel yaşam döngüsü analizi çerçevesinde incelemiştir. Bu çalışmada, kentsel katı atığın mevcut durumu incelenmiş, yönetmelikler ve ekonomik şartlar göz önünde bulundurularak kentsel katı atık azaltma senaryoları geliştirilmiştir. Senaryo 1' de mevcut duruma göre kaynağında toplanan ambalaj atığının %50 arttırıldığı durumdur. Senaryo 2'de, mevcut duruma göre kaynağından ayrı toplama oranın %75 artırılması hedeflenmiştir. Senaryo 3'de, ikinci senaryodaki kaynağından ayrı toplama oranı %75 olarak devam etmekte, evsel katı atık bileşenindeki yaklaşık %15 atığın düzenli depolama tesisinde bertaraf edileceği düşünülmüştür. Düzenli depolama tesisinin hemen yanında organik arıtma amacıyla bir kompost tesisi düşünülmüştür. Mevcut kentsel katı atığın %60 oranında organik atık olduğundan dolayı biyolojik arıtma planlanmıştır. Çalışma sonucunda; biyolojik arıtmanın etkisi, kaynağında ayrı toplama senaryolarından daha iyi olumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yıldırım [42], atıksu arıtma sistemlerinin seçiminde karar destek sistemleri ve hayat boyu değerlendirme yaklaşımını kullanmıştır. Bu çalışmada, nüfusu 2000'den küçük yerleşimleri, hassas alanlar veya turizmin bulunduğu yerleşim yerlerinde işletilebilecek arıtma yöntemleri olarak vejetasyonlu arazi uygulaması, az hassas ve hassas alana deşarj eden yapay sulak alan, stabilizasyon havuzu, dönen biyolojik disk, az hassas ve hassas alana deşarj eden aktif çamur prosesi, uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi ve

membran biyoreaktör sistemleri hayat boyu değerlendirme analizinde incelenmiştir. Hayat boyu değerlendirme analizinde SimaPro7.0 yazılımı kullanılarak çevresel etkiler değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, sadece arıtma alternatiflerinin hayat boyu değerlendirme yeterli olmadığı ve bölgesel faktörlerinde dikkate alınarak kullanıcıya en uygun arıtma alternatifleri sunulmuştur.

Erses Yay [43], Sakarya- Serdivan ilçesi ambalaj atıkları yönetiminin çevresel etkileri yaşam döngüsü analizinde araştırılmıştır. Bu çalışmada 3 adet senaryo belirlenmiştir. Senaryo 1'de; ambalaj atıklarının Sakarya- Sedirvan ilçesi gerçek verilerine göre toplama- ayırma –geri dönüşüm tesisinde işlenmesi ve geri kalan atıklarının mevcut düzenli depo sahasında depolandığı kabul edilmiştir. Senaryo 2'de; Ambalaj atıkları yönetmeliğine göre % 52 oranında geri kazanımın yapıldığı, geriye kalan atıkların depolandığı kabul edilmiştir. Senaryo 3'de ise; ambalaj atıklarının karışık evsel atıklarla birlikte mevcut düzenli depolama sahasında depolandığı kabul edilmiştir. Sonuç olarak, ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanması veya evsel atıklardan ayrıştırılmasını sağlayacak ön ayırma tesislerinin belediyenin çöp depolama sahalarında kurulması, işletilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Özetle, ülkemizde konu ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Kayseri evsel katı atıkları için bertaraf alternatiflerinin, yaşam döngüsü analizini kullanarak karşılaştırılması ve uygun sistemin seçilmesidir. Bu amaçla, dört farklı evsel katı atık yönetimi sistemi senaryosu oluşturulmuş ve karşılaştırılmıştır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Bu çalışmada Kayseri ili Melikgazi ilçesi katı atık yönetimde yaşam döngüsü analizi kullanarak yönetim alternatifleri karşılaştırılmaktadır. Çalışmada yaşam döngüsü analizi IWM (Integrated Waste Management - Entegre Atık Yönetimi) modeli [44, 45] kullanılarak yürütülmüştür. Aşağıda öncelikle IWM modeli hakkında genel bilgiler sunulmaktadır. Daha sonra Melikgazi ilçesi için bu sisteme girdi olarak verilen bilgiler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.1. Entegre Atık Yönetimi (IWM) Modelinin Genel Yapısı

IWM Modeli, hem çevresel hem de ekonomik yaşam döngüsü envanterlerini içeren Microsoft Excel programında çalışan bir bilgisayar modelidir. Model White vd. [44, 45] tarafından geliştirilmiştir ve farklı katı atık yönetimi seçeneklerinin genel çevresel etkilerinin ve ekonomik maliyetlerinin tahmin edilmesine izin vermektedir [9, 44].

Yaşam döngüsü boyunca katı atık akışı, modelde takip edilir. Katı atığın yaşam döngüsündeki aşamaların her biri, giriş soruları içeren bir kutu ile temsil edilir ve bunların cevapları, dikkate alınan katı atık yönetim sistemini tanımlar [9, 44].

Model yapısındaki kutular, ön sınıflandırma ve toplama, ayırma, malzeme geri dönüşümü, biyolojik arıtma, yakma ve düzenli depolamadır. Her aşamada, materyaller geri kazanıldıkça, atık akımından çıkarılır ve geri kazanılmış bir materyal akışına girilir. Süreçlerden gelen diğer çıktılar, biriktikleri emisyon ve enerji için ilgili sütunlara girilir. [44]

Yaşam döngüsünün sonunda, tüm materyaller atık akışı sütunlarını terk etmiş veya ürünlere ya da emisyon sütunlarına girmiş olacaklardır. Model daha sonra seçilen bölgenin atık yaşam döngüsü envanterini üretmek için enerji tüketimini, enerji

üretimini, geri kazanılan malzemeleri, kompost miktarlarını, havaya emisyonları, suya emisyonları ve nihai katı atıkları düzenler [44].

IWM modelinin amaçları şu şekilde açıklanmaktadır [44]:

- Çevresel performansı emisyon ve enerji tüketimi açısından tahmin etmek
- Ekonomik maliyetleri öngörmek
- Farklı belediye katı atık yönetim sistemlerini karşılaştırılmasına izin vermek
- Çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanmasını desteklemek
- Entegre atık yönetimi içerisindeki etkileşimleri göstermek
- Tek tek ürün yaşam döngüsü envanterinde kullanılmak üzere atık yönetim verileri sağlamak.

2.2. Entegre Atık Yönetimi (IWM) Modeli Girdi Verileri

2.2.1. Atık Miktarı ve İçeriği

İlk olarak model uygulama alanında üretilen atık miktarı ve içeriği bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Modelde seçilen atık yöntemlerinin atık miktarı belirlenir. Bu kapsamda toplam atık miktarı ve atık kompozisyonu ton/yıl birimi ile sisteme eklenmektedir.

Atıkların özellikleri ile ilgili modelde bazı ön bilgiler bulunmaktadır. Bu bilgiler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Atıkların fiziksel özellikleri ve yapılan varsayımlar [44, 45]

Özellik	Kağıt	Cam	Metal (Demir)	Metal (Diğer)	Sert Plastik	Plastik Film	Tekstil	Organik Atık	Diğer Atık
Nem içeriği (%)	30	10	15	10	15	25	25	65	30
Kalorifik değer (MJ/kg) (kuru)	12	0	0	0	30	27	15	5,6	5,2
Kalorifik değer (MJ/kg) (ıslak)	10,5	-0,5	-0,5	-0,5	28	25	13,5	3,7	4
Karbon içeriği (%) (kuru)	44	0	0	0	80	85	44	44	40
Kül içeriği (%)	8,4	90	85	90	6,0	9,0	7,5	7,7	42

2.2.2. Atık Toplama ve Transfer Sistemi

İkinci aşamada katı atık toplama araçlarının katettikleri mesafe bilgisine (km/yıl cinsinden) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kısımda farklı atık tiplerinin (çöp, geri dönüşebilir atık ve bahçe atıkları) ayrı ayrı toplanmasına ve taşınmasına izin verecek şekilde bilgi girişine izin vermektedir. Bu bilgiler yanında araçların kullandıkları yakıt türü ve birim km başına kullanılan yakıt miktarı da modele eklenmektedir. İncelenen alanda transfer istasyonu bulunması durumunda transfer istasyonu ve depo sahası arasındaki mesafe de eklenebilmektedir.

2.2.3. Malzeme Ayırma Tesisi

Üçüncü aşamada malzeme ayırma tesisi hakkında bilgiler istenmektedir. Bunlar kullanılan enerji/yakıt tüketimi (ör. elektrik, dizel, doğal gaz (%)) hakkındadır. Ayrıca model, geri dönüşüme gönderilen atıkların miktarı ve geri dönüşebilir atık (kurtarma) oranını almakta ve bu değerleri toplam enerji tüketimi hesabında kullanmaktadır. Giriş katı atık miktarının tahmini %5'si kalıntı (geri dönüştürülemeyen-çöp) olarak alınır. Model, toplanan her malzemenin bu miktarını ortadan kaldırır ve uygun şekilde yakma veya depolama akışlarına ekler, gönderilen tesisin uzaklık (km) bilgisi istemektedir.

2.2.4. Materyallerin Geri Dönüşümü

Sistem geri dönüşebilir atıkların yeniden üretim tesisine olan uzaklık bilgisi istemektedir. Sisteme, her materyal için kullanılan yeniden işleme tesisine km cinsinden ortalama mesafeyi (tek yön) eklenir. Model enerji tüketimini ve emisyonlarını hesaplar. Model daha sonra modelin geri kalanında tahmin edilen geri kazanılan malzemenin geri dönüşümü ile ilişkili enerji tüketimindeki tasarrufları hesaplar. Geri dönüşüm tesisine taşınan enerji tüketimi ve emisyonları, geri dönüşüm sürecinden beklenen gerçek tasarrufları sağlamak için çıkarılır ve bunlar, toplam enerji tüketimi ve emisyonlarının yanındaki atık yönetim sisteminde nihai çıktı kutusunda görüntülenir [44].

2.2.5. Kompostlama Sistemi

Kompostlama sistemi seçildiği durumda üretilen kompost ve bu işlem sırasında harcanan enerji miktarları dikkate alınmaktadır. Kalıntıların, kompost tesisinden depolama sahasına olan uzaklığını(km) tek yönlü eklemektedir.

2.2.6. Düzenli Depolama

Model, ayrılmış veya işlenmemiş atık miktarını ve kompozisyonunu otomatik olarak hesaplamaktadır. Bu artık atığın tamamının doğrudan doğruya depolama tesisine gönderildiği kabul edilir. Atıklar için ön işlem, transfer istasyonu kullanılırsa elektrik tüketimi, yakıt tüketimi ve depo sahasına olan uzaklık eklenir. Model, tüm atıkları işlemek için tüketilen toplam enerji / yakıt miktarını hesaplar ve bunu modeldeki yakıt / enerji tüketimine ekler. Depolama alanına giden nakliye için, kullanıcı depolama sahasına giden tek yönlü mesafeye girer. Model, 40 tonluk bir kamyon kapasitesi varsayılarak ve geri dönüş yükünün taşınmadığı varsayılarak tüketilen yakıtı hesaplar [44]. Hava ve su emisyonlarını ve nihai katı atık hacmini hesaplamak için Tablo 2.2 ve 2.3'deki bilgiler kullanılmıştır.

Tablo 2.2. Yaşam Döngüsü envanterinde kullanılan düzenli depolama hava emisyonları [44, 45]

	Gaz kompozisyonu	
Hava Emisyonları (g)	Depo Gazı (mg/Nm^3)	Parlama / Gaz motoru (mg/Nm^3 giriş gazı)
Partiküller	-	4.3
CO	12.5	800
CO_2	883930	1964290
CH_4	392860	0
NO_X	-	100
SO_X	-	25
HCI	65	12
HF	13	0.021
H_2S	200	0.33
HC	2000	60
Klorlu HC	35	10
Enerji Kurtarma (kW elektrik- h/Nm^3)	-	1.5

Tablo 2.3. Yaşam döngüsü analizinde modelinde kullanılan depolama gazı ve sızıntı suyu üretimi, sızıntı bileşimi ve nihai katı atık verileri [44, 45]

Düzenli depolama giriş materyalleri										
	Belediye Katı Atıkları ve kalıntı sıralaması							Atık Arıtma Kalıntıları		
	Kağıt	Cam	Metal	Plastik	Tekstil	Organik	Diğer	Kompost	Alt kül	Filtre Kül/toz
Depo Gazı geneli (Nm^3/ton)	250	0	0	0	250	250	0	100	0	0
Sızıntısuyu geneli (m^3/ton)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Sızıntısuyu bileşimi (g/m^3)										
Biyolojik oksiyen ihtiyacı	3167	0	0	0	3167	3167	0	1900	24	24
Kimyasal oksijen ihtiyacı	6000	0	0	0	6000	6000	0	3800	48	48
Askıda katı madde	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Toplam organik bileşikleri	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.39	0.021	0.021
Adsorblanabilir organik halojenler	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.86	0.011	0.011

2.2.6. Elektrik Enerjisi Kaynağı

Model elektrik enerjisinin hangi kaynaklardan elde ettiğini dikkate almaktadır. Elektrik enerjisi kaynaklarının % olarak oranları sisteme eklenebilmektedir.

2.3. Fonksiyonel Birim ve Sistem Sınırları

Senaryolarda kullanılan fonksiyonel birim Kayseri İli Melikgazi ilçesi sınırlarında üretilen evsel katı atıkların miktarı ton/ yıl olarak tanımlanmıştır. Katı atıkların yaşam döngüsü analizi için seçilen sistem sınırları; ürünün değerini kaybettiği andan başlayarak atık halini alması ve kararlı depolama sahası halini alana kadar ya da hava veya su emisyonlarına dönüşmesine kadar veya tekrar bir değer edinene kadar olarak belirlenmiştir.

2.4. Senaryoların Belirlenmesi

Bu çalışmada Kayseri İli Melikgazi ilçesi evsel katı atığının yaşam döngüsü analizi/değerlendirmesi yapılmıştır. Mevcut evsel katı atık yönetimi ile geliştirilen farklı katı atık yönetim senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolar aşağıdaki gibidir;

Senaryo 1-a: Toplama + Transfer + depolama (gaz ve enerji kontrolü yok)

Senaryo 1-b: Toplama + Transfer + depolama (gaz ve enerji kontrolü var)

Senaryo 2: Mevcut durum; kısmi kaynağında ayrıştırma + düzenli depolama sistemi (gaz ve enerji kontrolü var)

Senaryo 3: %100 oranında kaynağında ayrıştırma + düzenli depolama (gaz ve enerji kontrolü var)

Senaryo 4: %100 oranında kaynağında ayrıştırma + %50 oranında kompostlaştırma + %50 oranında düzenli depolama (gaz ve enerji kontrolü var)

Seçilen senaryolar Kayseri için kullanılan katı atık bertaraf yöntemleridir. Senaryo 1'de 2016 yılına kadar kullanılan mevcut durum olan depolama sistemi verilmiştir. Senaryo 2'de ise Melikgazi Belediyesi'nin kulanmış olduğu katı atık bertaraf sistemi verilmiştir. Senaryo 3 ise Kayseri düzenli depolama tesisi ve Senaryo 4 'de ise kompostlaştırma (%50) tesisi ve düzenli depolama (%50) tesisleri tercih edilmiştir.

Melikgazi Belediyesi katı atık yönetimi için belirlenen senaryolar yaşam döngüsü analizi çerçevesi içerisinde değerlendirilmiş olup, her bir senaryo için IWM modeli çalıştırılmıştır. Senaryolar, çevresel performanslarına göre karşılaştırılmıştır. Bu çevresel etkiler aşağıdaki gibidir:

- Enerji tüketimi
- Küresel ısınma etkisi
- Asidifikasyon etkisi
- Ötrofikasyon etkisi

2.5. Çalışmada Kullanılan Veriler

Kayseri İlinin en büyük ilçelerinden biri olan Melikgazi İlçesi'nin toplam yüzölçümü 600.427.260 m^{2}'dir. İlçe kuzeyinde Kocasinan ilçesi bulunmakta olup, Sivas-Malatya çevre yolu sınır teşkil etmektedir. İlçenin batısında İncesu, güneyinde Hacılar ve Develi, güneydoğusunda Talas, doğusunda Bünyan İlçesi bulunmaktadır. İlçenin güneyinde tek bir kütle durumunda yükselen Erciyes, 3916 m. yükseklikte olup, çeşitli dönemlerde lav

ve tüf püskürten eski bir yanardağdır. İklimi karasal olup, bozkır bitki örtüsü görülmektedir. İlçede yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve kar yağışlı geçer [46].

Melikgazi İlçesi 2017 yılı TÜİK [5] verilerine göre, nüfusu 562.598 kişidir. İlçeye bağlı 1 belediye ve 81 mahalle bulunmaktadır [47].

Melikgazi Belediyesi'nden elde edilen verilere göre evsel katı atıklarını 41 adet evsel katı atık toplama aracıyla (sıkıştırmalı) günlük 470 ton, aylık 14.100 ton, yıllık yaklaşık 165.000 ton evsel katı atık toplanarak Altınoluk ve İldem bölgelerinde bulunan aktarma istasyonuna getirilmektedir. Toplanan katı atıklar, aktarma istasyonlarından düzenli depo sahasına sevk edilmektedir [47]. İlçede katı atıkların kaynağından ayrıştırma faaliyeti için 15 adet araç ile kaynağında ayrıştırılan atıkları toplanmaktadır. Kaynağından ayrıştırma faaliyeti, 51 mahallede yapılarak günlük 18 ton, aylık 534 ton, yıllık 6192 ton atık geri dönüşüm malzemesi olarak toplanmaktadır. Katı atıkların kaynağından ayrıştırma işlemi, belediyeye bağlı bulunan köylerde uygulanmamaktadır ve kaynağından ayrıştırma işlemi toplam nüfusun yaklaşık olarak %80'ine tekabül etmektedir.

Türkiye genelinde, yapılan atık karakterizasyon çalışmalarında atık oranlarının tüketim alışkanlıklarındaki değişiklikler, gelir düzeyindeki değişiklikler, göç, sosyoekonomik yapı vb. etkenlerden dolayı değişiklik göstermektedir. Kayseri İli için yapılan daha önceki çalışmalarda detaylı, güvenilir bir katı atık karakterizasyon çalışması sonucu bulunmadığı için, literatür taraması yapılmış ve sosyoekolojik yapısı açısından Kayseri'ye en yakın şehir olarak Bursa İli için yapılan karakterizasyon çalışması sonucu [48] (Tablo 2.4) kullanılmıştır.

Tablo 2.4. Çalışmada kullanılan katı atık karakterizasyonu ve yıllık atık üretim değerleri

Katı Atık Türü	Geri Dönüşebilir Atık Oranları (%)	Melikgazi Belediyesi Geri Dönüşebilir Atık Miktarı (Ton)
Kağıt –karton	6,19	10.213,5
Cam	2,90	4.785
Pet	0,52	858
Poşet	8,72	14.388
Plastikler	2,15	3.548
Metaller	0,78	1.303,5
Organik Madde	52,15	86.047
Diğer Atıklar	26,59	43.857

Melikgazi Belediyesi'nden elde edilen verilere göre üretilen günlük katı atık miktarı yaklaşık 165.000 tondur. Tablo 2.4'e göre toplam atıkların %21.27'si geri dönüşebilir niteliktedir. 165.000 tonluk yıllık atık üretimine göre Kayseri ili Melikgazi İlçesi için geri dönüşebilir atık miktarı 35.096 tona tekabül etmektedir. Ancak halihazırda Melikgazi Belediyesi'nce toplanan yıllık geri dönüşebilir atık miktarı 6.192 ton'dur. Diğer bir ifadeyle toplam geri dönüşebilir atıkların %17,6'sı geri kazanılmaktadır.

Melikgazi Belediyesi için oluşturulan senaryolarda kullanılan atık miktarına ilişkin bilgiler Tablo 2.5'de verilmiştir. Senaryo1-a ve 1-b'de atıkların tamamı depolanmaktadır. Senaryo 2'de geri dönüşebilir atıkların bir kısmı ayrı toplanmakta, Senaryo 3'de ise tamamı ayrı toplanmaktadır. Daha sonra kalan atıklar düzenli depolama tesisine gönderilmektedir. Senaryo 4 ise geri dönüşebilir atıklar ayrıldıktan sonra kalan atıklar kompostlama ve düzenli depolama işlemleri ile bertaraf edilmektedir.

Tablo 2.5. Katı atık yönetim senaryolarında atık miktarları ve uygulanan bertaraf yöntemleri

Atık Miktarı	**Senaryo 1-a**	**Senaryo 1-b**	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**	**Senaryo 4**
Toplam Atık Miktarı (ton/yıl)					
Ayrı Toplanan Geri Dönüşebilir Atık Miktarı (ton/yıl)	0	0	6.192	35.096	35.096
Kompostlama Uygulanan Atık Miktarı (ton/yıl)	0	0	0	0	64.952
Düzenli Depolamaya Giden Atık Miktarı (ton/yıl)	165.000	165.000	158.808	129.904	64.952

Toplama ve transfer ile ilgili araçlarca kat edilen yol bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Melikgazi Belediyesi'nden 2015 yılında çöp araçlarının yaptıkları yol ile ilgili ölçüm değerleri alınmıştır. Çöp araçları yaklaşık 1.430.000 km/yıl yol kat etmiştir. Buna karşılık geri dönüşüm araçlarının seyahat bilgilerine ulaşılamamıştır. Aynı bölgeleri haftada bir defa ziyaret ettikleri varsayımına göre atıkların geri dönüşebilir kısmı için varsayım yapılmıştır. Buna göre Senaryo 2'de 180.000 km/yıl, Senaryo 3 ve 4'de ise

304.161 km/yıl yol aldıkları kabul edilmiştir. Çöp toplama araçlarının yakıt tüketim değerleri Melikgazi Belediyesi'nce toplanmış yakıt kullanım verileri kullanılarak hesaplanmıştır (1,958 km/litre). Geri dönüşebilir atık toplama araçları için ise 2,5 km/litre şeklinde IWM modeli tarafından önerilen değer kullanılmıştır. Aktarma istasyonunda kullanılan dizel, elektrik enerjisi bilgileri IWM modelince önerilen değerlerdir. Aktarma istasyonu ve düzenli depo sahası arasındaki mesafe 20 km olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2.6. Katı atık yönetim senaryolarında toplama ve transfer için kullanılan veriler yapılan varsayımlar

Toplama & Taşıma	**Senaryo 1-a**	**Senaryo 1-b**	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**	**Senaryo 4**
Çöp kamyonlarınca katedilen yol (km/yıl)	1.430.000	1.430.000	1.250.000	1.125.839	1.125.839
Geri dönüşüm kamyonları (km/yıl)	0	0	180.000	304.161	304.161
Yakıt tüketimi-kamyon (dizel) (km/litre)	1,958	1,958	1,958	1,958	1,958
Yakıt tüketimi-tır (dizel) (km/litre)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Aktarma istasyonu tüketilen enerji-dizel (litre/ton)	0,124	0,124	0,124	0,124	0,124
Aktarma istasyonu tüketilen enerji-elektrik (kwh/ton)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Atıkların transfer uzaklığı (km)	20	20	20	20	20

Ayırma tesisi, kompostlama tesisi ve düzenli depolama tesisi ile ilgili Melikgazi Belediyesi'ne ait ölçülmüş veri bulunmamaktadır. Bu işlemler için IWM modelinin önerdiği değerler kullanılmıştır. Bu değerler Tablo 2.7'de sunulmaktadır.

Tablo 2.7. Katı atık yönetim senaryolarında ayrıştırma, kompostlama ve düzenli depolama için kullanılan veriler ve yapılan varsayımlar

Ayırma Tesisi	**Senaryo 1-a**	**Senaryo 1-b**	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**	**Senaryo 4**
Enerji tüketimi (elektrik)(kwh/ton)	25	25	25	25	25
Enerji tüketimi (Doğal gaz) (m^3/ton)	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264
Kompostlama	**Senaryo 1-a**	**Senaryo 1-b**	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**	**Senaryo 4**
Enerji tüketimi (kwh/ton)	Yok	Yok	Yok	Yok	21
Düzenli Depolama	**Senaryo 1-a**	**Senaryo 1-b**	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**	**Senaryo 4**
Karbon biriktirme	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Gaz kurtarma	Yok	Var	Var	Var	Var
Gaz kurtarma verimi (%)	0	50	50	50	50
Enerji kurtarma	Yok	Var	Var	Var	Var
Enerji kurtarma verimi (%)	0	30	30	30	30
Yıllık Yağış (mm)	400	400	400	400	400
Sızıntı suyu toplama sistemi	Var	Var	Var	Var	Var
Sızıntı suyu toplama verimi (%)	50	50	50	50	50
Tüketilen enerji (Dizel) (litre/ton)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Tüketilen enerji (Doğal gaz) (m^3/ton)	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028
Tüketilen enerji (Elektrik) (kwh/ton)	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29

Kayseri İli'de kullanılan elektrik enerjisinin kaynakları hakkında detaylı bir bilgiye ulaşılamamıştır. Bu nedenle TEİAŞ tarafından Türkiye için elektrik enerjisi üretim bilgileri 2016 yılı değerleri kullanılmıştır (Tablo 2.8).

Tablo 2.8. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı [48]

Enerji Kaynağı	Oran (%)
Kömür	33,6
Sıvı Yakıtlar	0,7
Doğal Gaz	32,5
Hidrolik	0,9
Yenilenebilir/Atık/Atık Isı	24,5
Jeotermal	1,8
Rüzgar	5,7
Güneş	0,4
Toplam	100

Çalışmada, tüm senaryolar için her bir katı atık yönetim aşamasının çevresel etkilerinin hesaplaması için modelde elde edilen etki profilleri ile etki kategorileri katsayıları kullanılmıştır. Modelde ton başına verilen emisyonlar Tablo 2.9'de, çevresel etki katsayıları ise Tablo 2.10'da verilmiştir. Aşağıdaki etki kategorileri incelenmiştir;

- Net enerji kullanımı / yenilenemeyen enerji kaynakları tükenme potansiyeli (GJ)
- Küresel ısınma potansiyeli (kg CO_2- eşdeğeri)
- Asidifikasyon potansiyeli (kg SOx-eşdeğeri)
- Ötrofikasyon potansiyeli (kg O_2-eşdeğeri)

Tablo 2.9. Envanter emisyonlarının sınıflandırılması [44]

Net Enerji Tüketimi	Küresel Isınma Potansiyeli	Asidifikasyon Potansiyeli	Ötrifikasyon Potansiyeli
	CH_4	NO_x	NO_x
	CO_2	SO_x	Kimyasal oksijen ihtiyacı
	N_2O	HCI	NH_3-N(aq)
		HF	NO_3^-
		NH_3 (gaz)	NH_3(gaz)
		H_2S	PO_4^-

Tablo 2.10. Çevresel etki katsayıları [44, 49]

Özellik	Net Enerji Tüketimi	Küresel Isınma Potansiyeli	Asidifikasyon Potansiyeli	Ötrifikasyon Potansiyeli
CH_4		21		
CO_2		1		
NO_x			0.70	
N_2O		310		
SO_x			1.00	
Kimyasal oksijen ihtiyacı				1
Fosil yakıt	1			
HCI			0.88	
HF			1.60	
H_2S			1.88	
NH_3-N(aq)				15
NO_3^-				4.4
NH_3 (gaz)			1.88	16
PO_4^{-3}				46

3. BÖLÜM

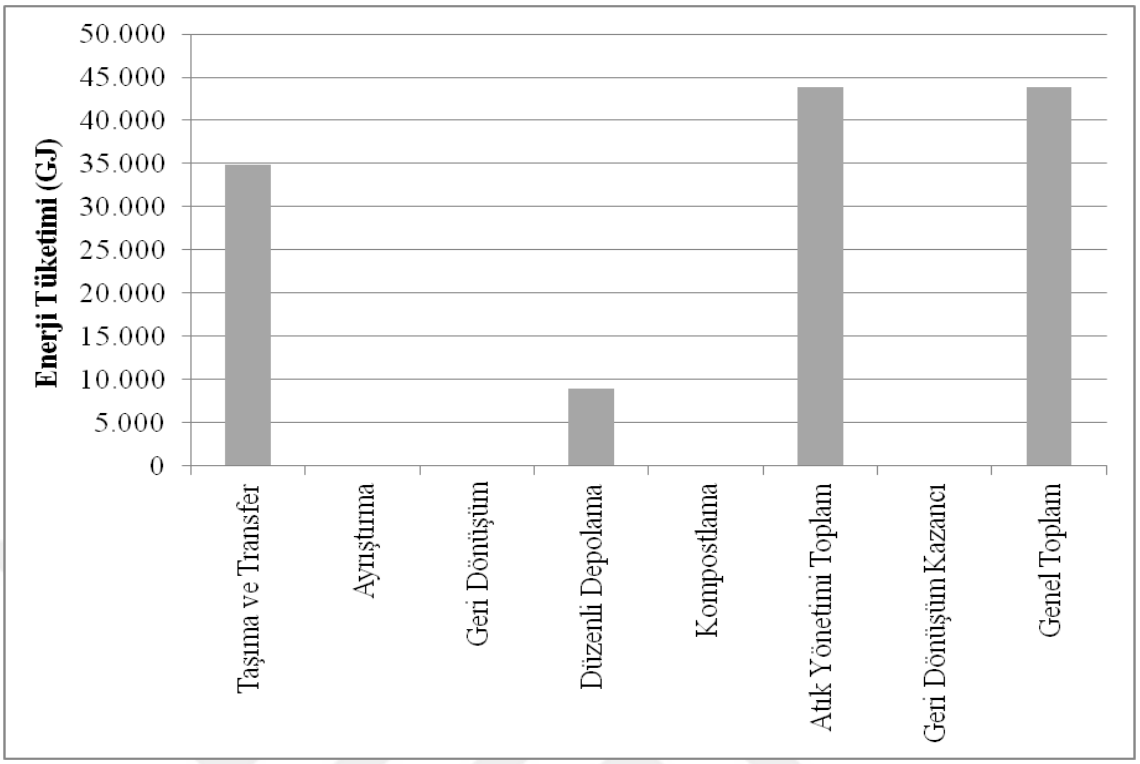
BULGULAR

Bu çalışmada, Kayseri Melikgazi ilçesi katı atık yönetimi için IWM modeli kullanılarak yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Envanter analizinde toplanmış olan verilerin çevresel etkileri IWM modeli ile tespit edilmiştir. Mevcut durum ve katı atık yönetimi için önerilen senaryolar için sonuçlar enerji tüketimi, küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli olmak üzere çevresel etki kategorilerine göre ayrılmıştır. Etki değerlendirme aşamasında her bir senaryonun çevresel profilleri oluşturulmuştur ve karşılaştırılmıştır.

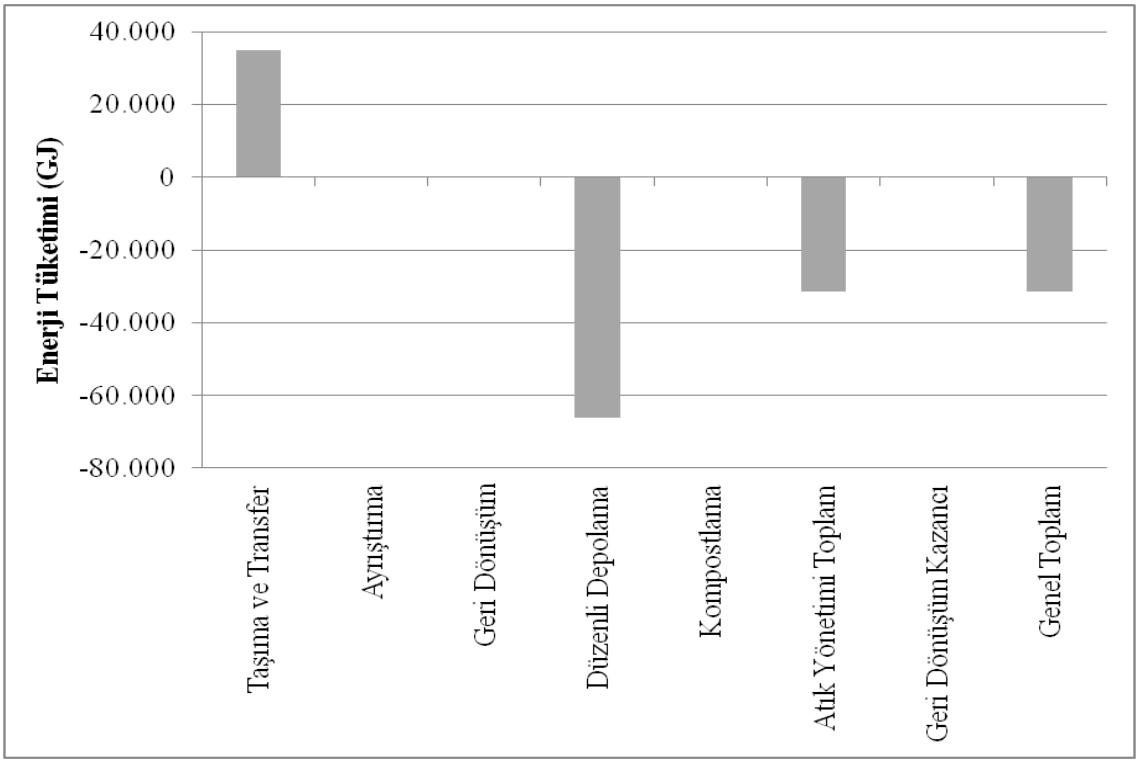
3.1. Enerji Tüketimi

Katı atık yönetim sistemlerinde enerji kullanımı söz konusudur ve bu çalışmada da her bir senaryo için enerji tüketim değerleri hesaplanmış olup, sonuçlar her bir senaryolar için sırasıyla Şekil 3.1 - 3.5'de verilmiştir.

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de Senaryo 1-a ve 1-b için sonuçlar sunulmaktadır. Senaryo 1-a ve Senaryo 1-b'de, atıklara sadece taşıma & transfer ve düzenli depolama uygulanmaktadır. Bu nedenle enerji tüketimi sadece bu işlemlerde gerçekleşmiş ve ayrıştırma, geri dönüşüm ve kompostlama için enerji tüketimi model tarafından sıfır olarak hesaplanmıştır. Senaryo 1-a ve 1-b için enerji tüketimi taşıma & tranfer işleminde en yüksektir. Senaryo 1-a'da gaz toplama ve enerji üretimi olmadığı için sadece enerji tüketimi gerçekleşmektedir ve enerji tüketimi genel toplamı pozitifdir. Senaryo 1-b'de, düzenli depolama sisteminde enerji üretimi, enerji tüketiminden fazla olduğu için enerji tüketimi genel toplamı negatiftir, yani toplamda enerji kazanımı söz konusudur.

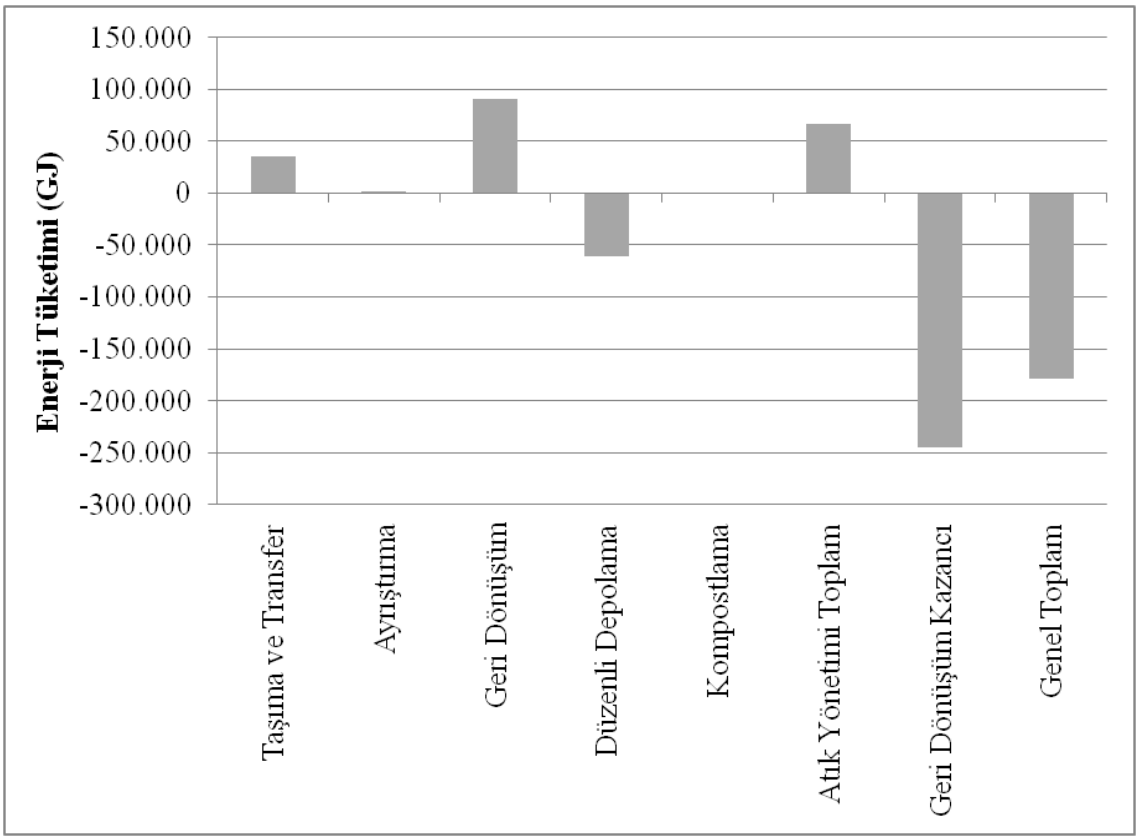


Şekil 3.1. Senaryo 1-a enerji tüketimi



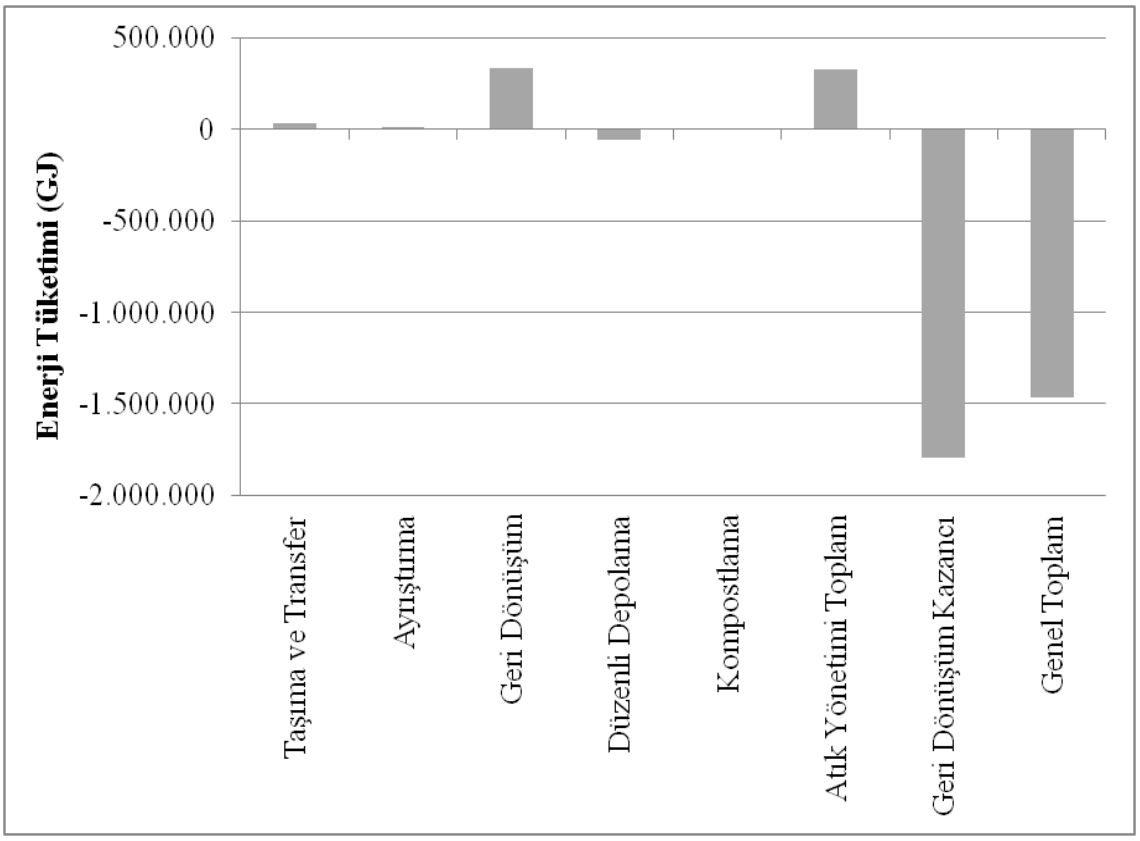
Şekil 3.2. Senaryo 1-b enerji tüketimi

Şekil 3.3'de Senaryo 2'nin enerji tüketimi verilmiştir. Senaryo 2 Melikgazi İlçesinin mevcut durumunu göstermektedir. Mevcut durumda, Melikgazi verilerine göre %21oranında kaynağından ayrıştırma yaptığı ve ayrıştırdığı atıkların %18'inin geri dönüştürüldüğü görülmektedir. Düzenli depolama sonrası %30 verimle enerji kazanımı olduğu kabul edilmiştir. Senaryo 2 için en yüksek enerji tüketimi geri dönüşüm sisteminde, en yüksek enerji kazanımı ise yine geri dönüşümden kaynaklanmaktadır. Genel toplamda enerji kazanımı söz konusudur.

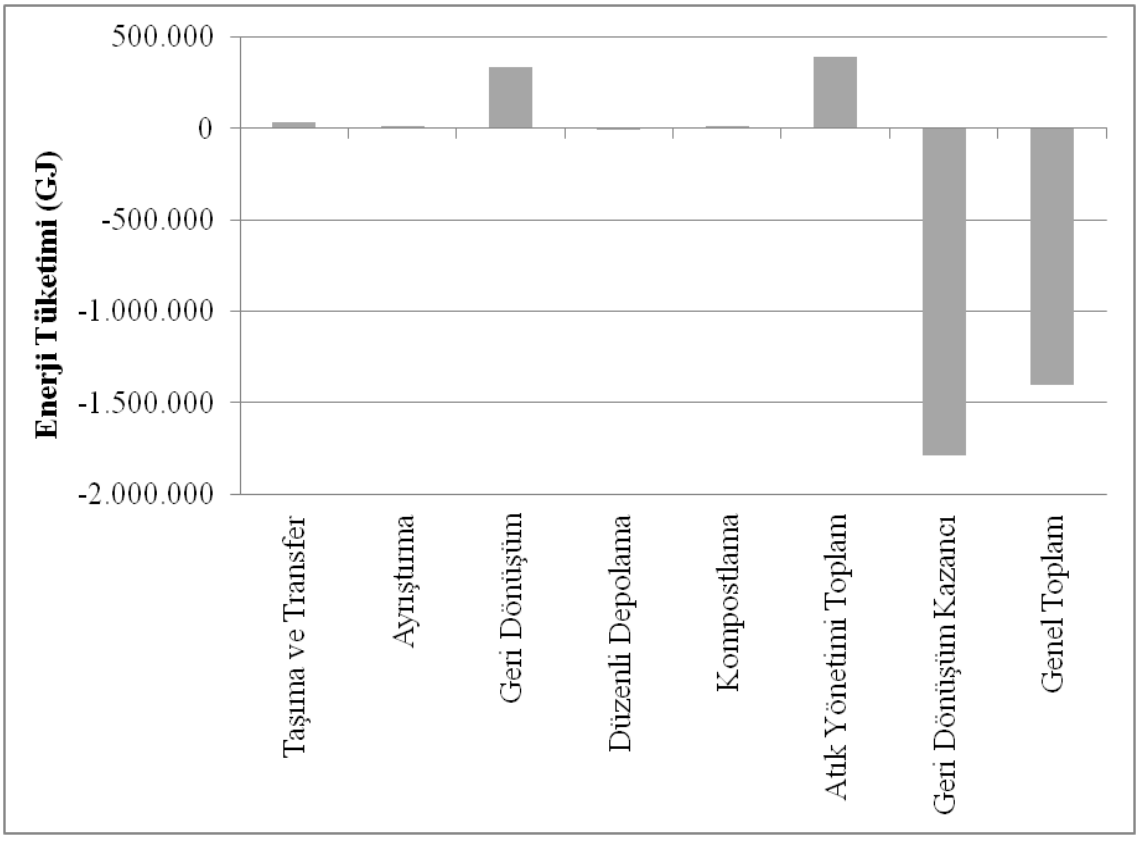


Şekil 3.3. Senaryo 2 enerji tüketimi

Senaryo 3 ve Senaryo 4, geri dönüşebilir atıkların %100 ayrıştırıldığı senaryolardır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de görüldüğü gibi Senaryo 3 ve Senaryo 4'de taşıma & transfer, ayırma tesisi, geri dönüşüm işlemlerinde enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Senaryo 4 de ek olarak kompostlamada enerji tüketimi mevcuttur. En yüksek enerji tüketimi geri dönüşüm sisteminde gerçekleştirilmiştir. Enerji üretimi düzenli depolama kısmında ve en yüksek üretim ise geri dönüştürülen maddelerin kullanımından gerçekleşmektedir. Genel toplamda her iki senaryoda da enerji kazanımı söz konusudur.

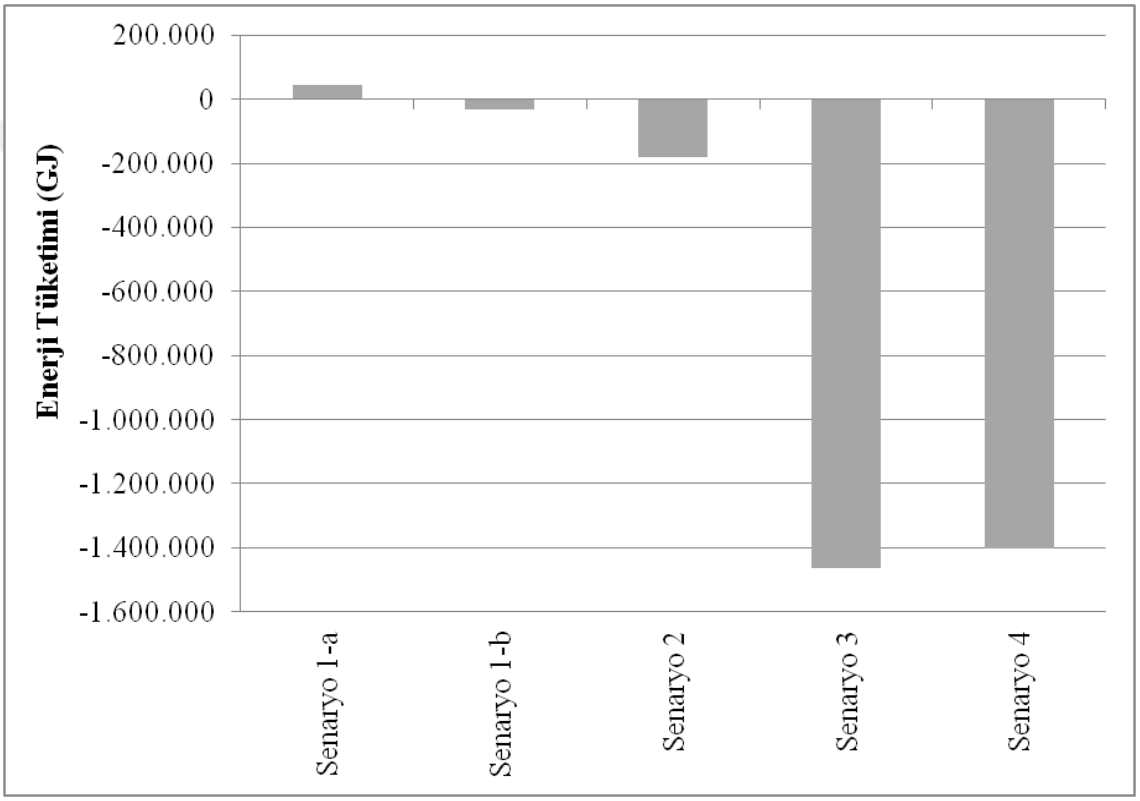


Şekil 3.4. Senaryo 3 enerji tüketimi



Şekil 3.5. Senaryo 4 enerji tüketimi

Şekil 3.6'da senaryolara göre yaşam döngüsü analizi net enerji tüketimi gösterilmektedir. Senaryo 1-a'da enerji üretiminin olmadığı sadece enerji tüketimi gerçekleştiği söylenebilir. Enerji tüketim birimi toplam atık başına Senaryo 1-a'da 0,3 GJ/ton atık, Senaryo 1-b'de -0,2 GJ/ton atık, Senaryo 2'de -1,1 GJ/ton atık, Senaryo 3'de -8,9 GJ/ton atık ve Senaryo 4'de ise -8,5 GJ/ton atık'dır. Senaryo 3'de düzenli depolamadan elde edilen enerjinin, kompostlaştırma işlemini içeren Senaryo 4'e göre daha fazla olduğu söylenebilir.

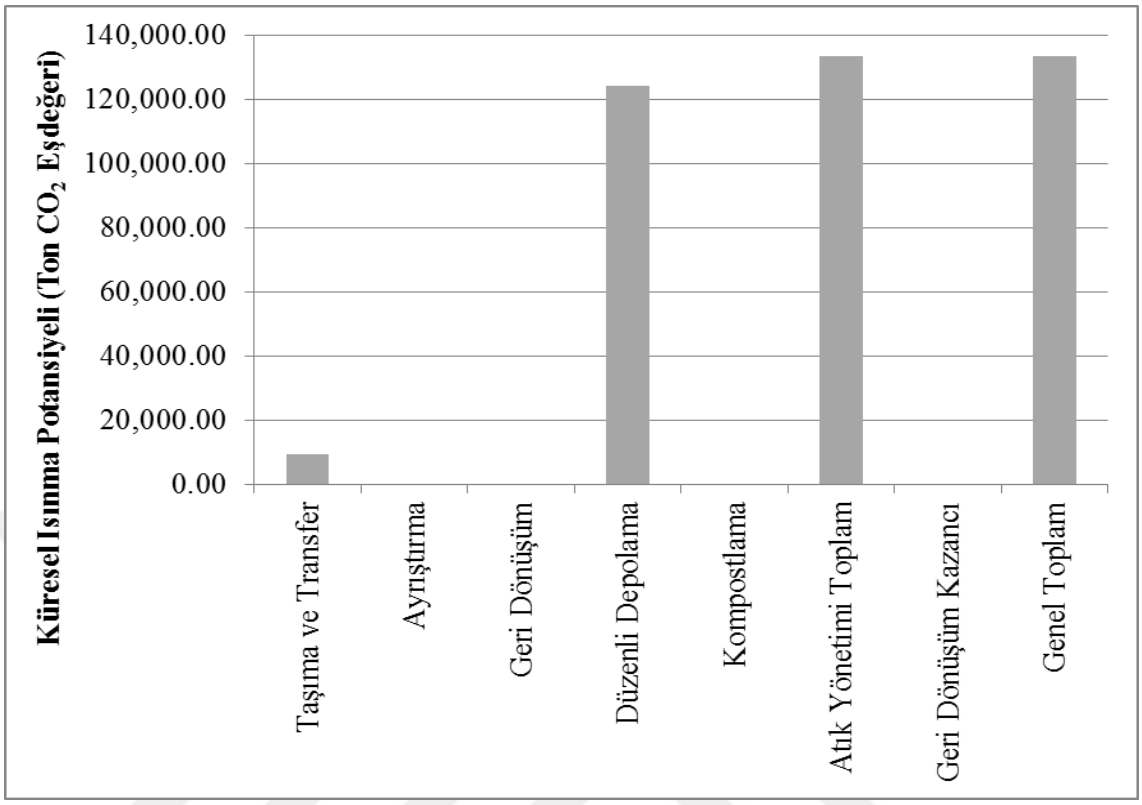


Şekil 3.6. Yaşam döngüsü analizi net enerji tüketimi

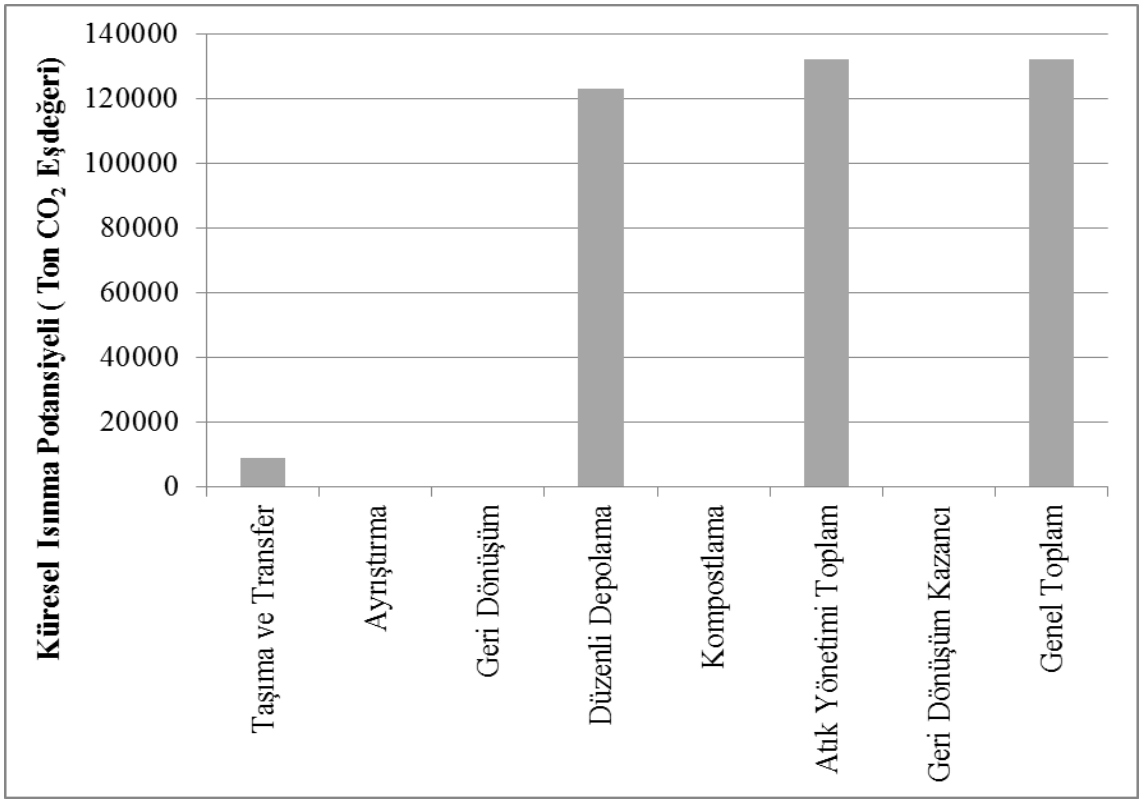
3.2. Küresel Isınma Potansiyeli

Melikgazi Belediyesi için oluşturulan katı atık yönetim senaryolarının küresel ısınmaya etkisi incelenmiştir. Küresel ısınma potansiyelini etkileyen en büyük etkenler metan ve karbondioksit gazlarıdır. Her bir senaryo için oluşturulan küresel ısınma potansiyeli değerleri Şekil 3.7 - 3.11'de verilmiştir.

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de senaryo 1-a ve 1-b için küresel ısınma potansiyeli sunulmaktadır. Her iki senaryoda da küresel ısınma potansiyeline en yüksek katkı, CO_2/CH_4 salınımı gerçekleşen düzenli depolama sisteminden gelmektedir. CO_2 salınımının gerçekleştiği taşıma & transfer işlemi ikinci en büyük katkıyı yapmaktadır.

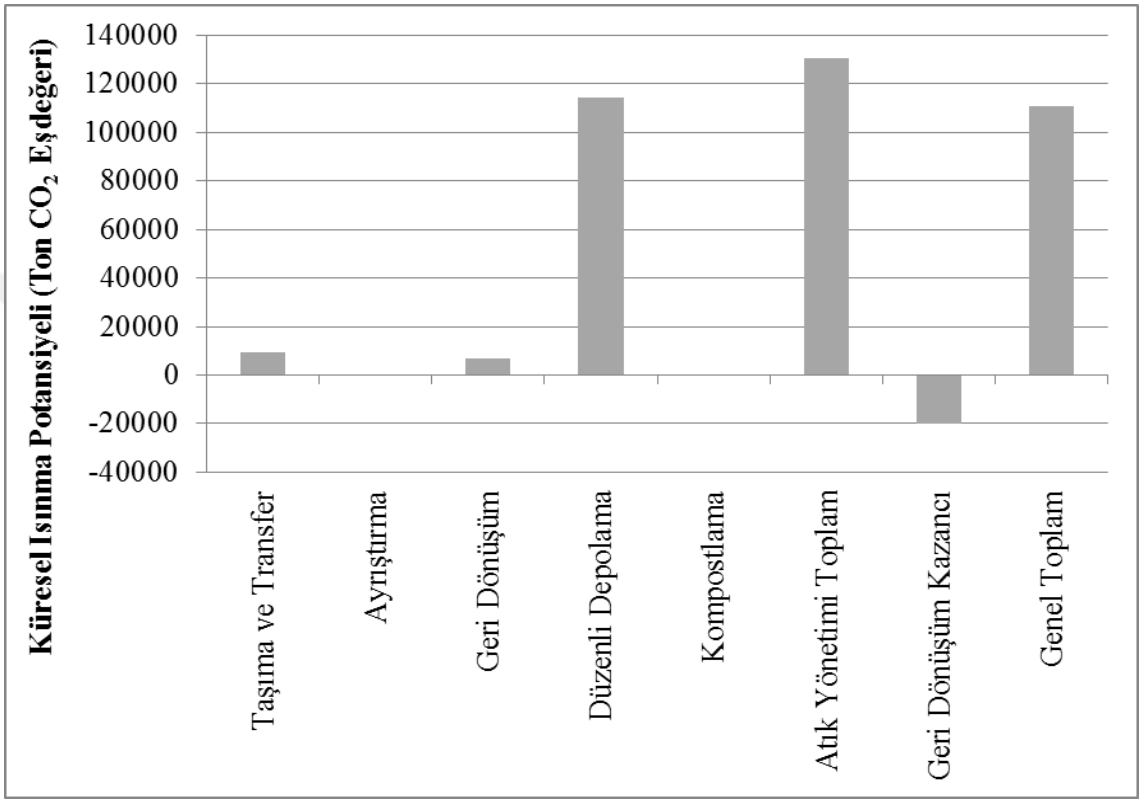


Şekil 3.7. Senaryo 1-a küresel ısınma potansiyeli



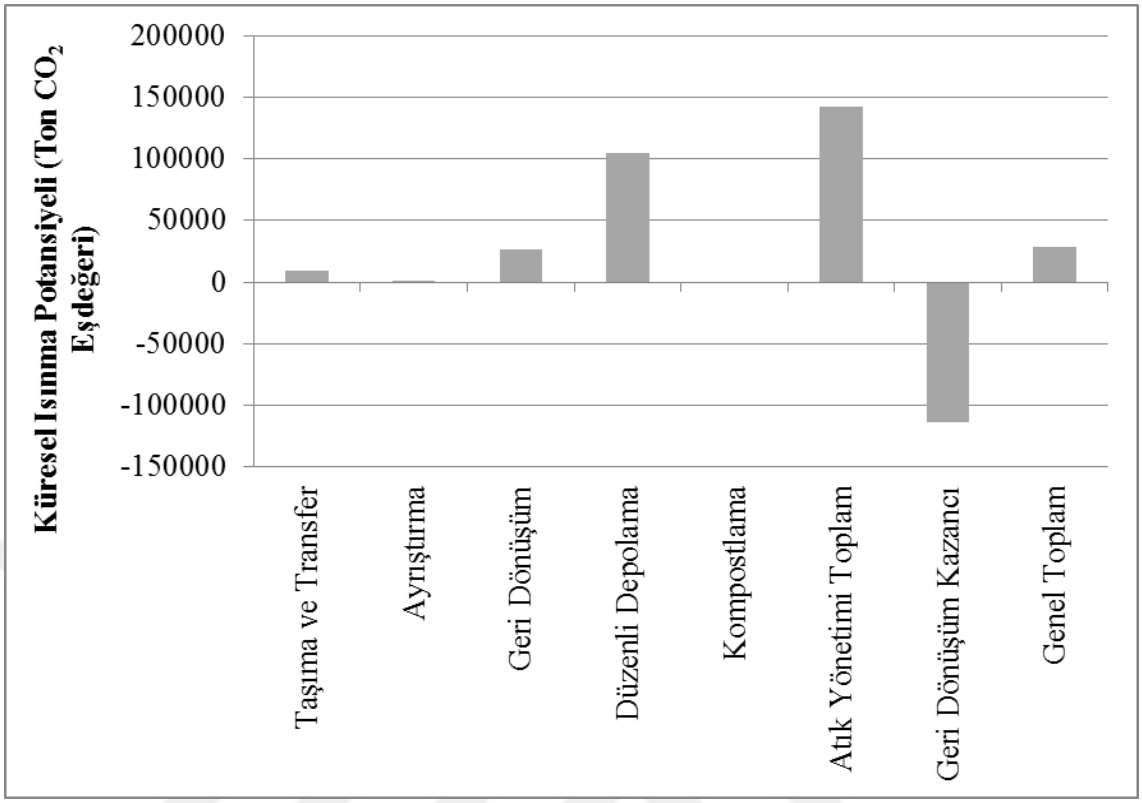
Şekil 3.8. Senaryo 1-b küresel ısınma potansiyeli

Mevcut durumu yansıtan Senaryo 2'de (Şekil 3.9) küresel ısınma katkısı sırasıyla en fazla düzenli depolama, taşıma & transfer, geri dönüşümden kaynaklanmaktadır. Geri dönüşümden kaynaklı bir miktar CO_2 salınımına negatif katkı olsa da, genel toplamda yaklaşık 110.000 ton CO_2 eşdeğeri etki ortaya çıkmaktadır.

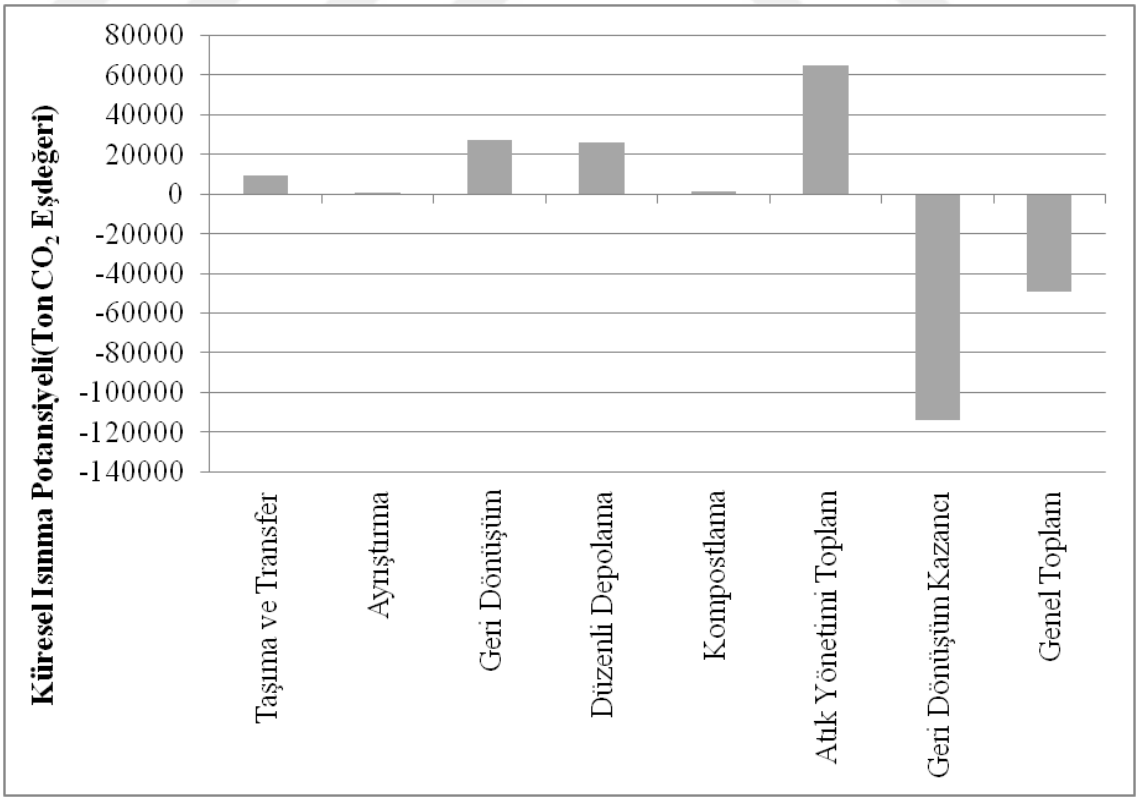


Şekil 3.9. Senaryo 2 küresel ısınma potansiyeli

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'da görüldüğü gibi Senaryo 3 ve Senaryo 4'de küresel ısınma potansiyeline en yüksek katkı, düzenli depolama ve geri dönüşüm sisteminden gelmektedir. Küresel ısınmaya olumlu etki ise geri dönüştürülen maddelerin kazancından sağlanmaktadır. Senaryo 3'de genel toplamda küresel ısınmaya katkı pozitiftir, ancak senaryo 1-a ve 1-b ve 2'ye göre son derece azalmış durumdadır. Senaryo 4'de ise kompostlama işleminin uygulanması düzenli depolama kaynaklı etkiyi azaltmış ve genel toplamda negatif bir değer (CO_2/ CH_4 tutulumu) sağlanmasına neden olmuştur.

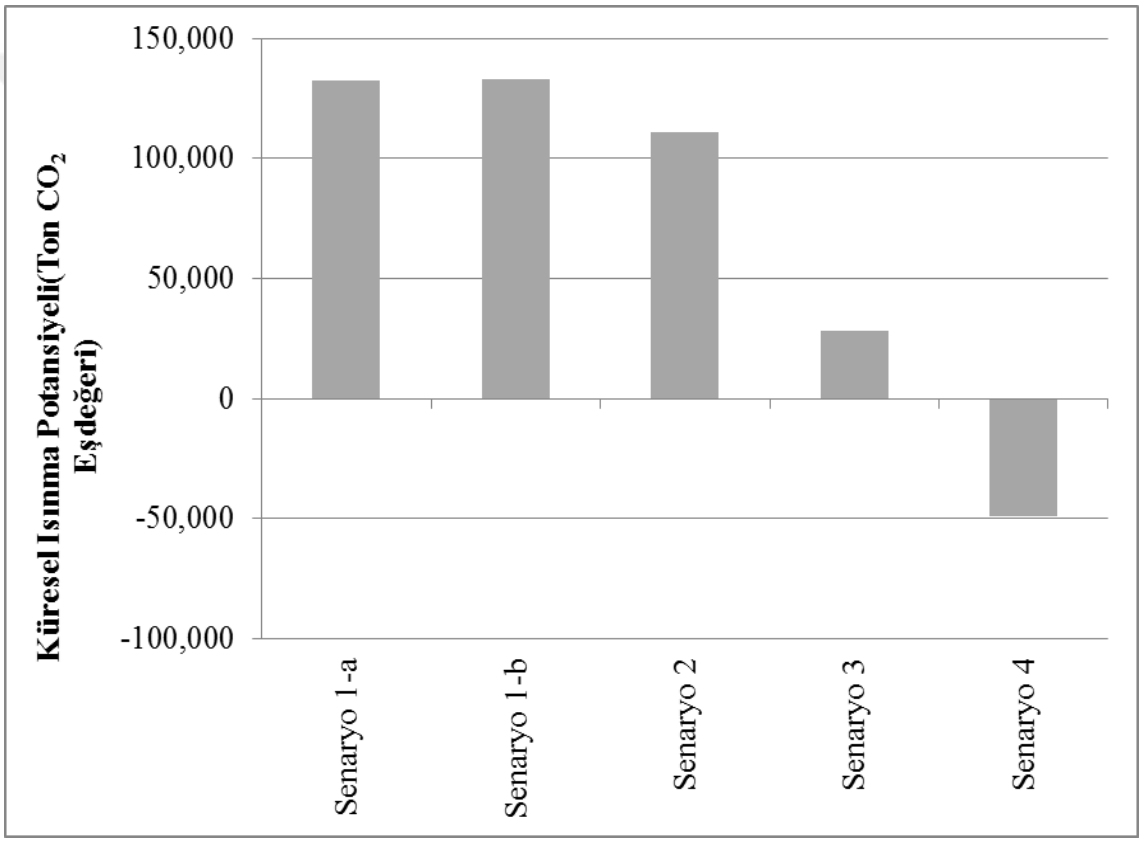


Şekil 3.10. Senaryo 3 küresel ısınma potansiyeli



Şekil 3.11. Senaryo 4 küresel ısınma potansiyeli

Şekil 3.12'de katı atık yönetim senaryoları için küresel ısınma potansiyeli topluca gösterilmektedir. Küresel ısınma potansiyeli toplam atık başına Senaryo 1-a'da 0,8 ton CO_2 eşdeğeri/ton atık, Senaryo 1-b'de 0,8 ton CO_2 eşdeğeri/ton atık, Senaryo 2'de 0,7 ton CO_2 eşdeğeri/ton atık, Senaryo 3'de 0,2 ton CO_2 eşdeğeri/ton atık ve Senaryo 4'de ise -0,3 ton CO_2 eşdeğeri/ton atık'dir. Küresel ısınma potansiyeli sadece Senaryo 4'de negatiftir. Bu durum ise sadece Senaryo 4'de kompostlaştırmanın bulunmasından kaynaklanmaktadır. Kompostlama işleminin atık yönetimine dahil edilmesi küresel ısınmaya katkı sağlayan CO_2/ CH_4 gazlarının salınımı engellemiştir.



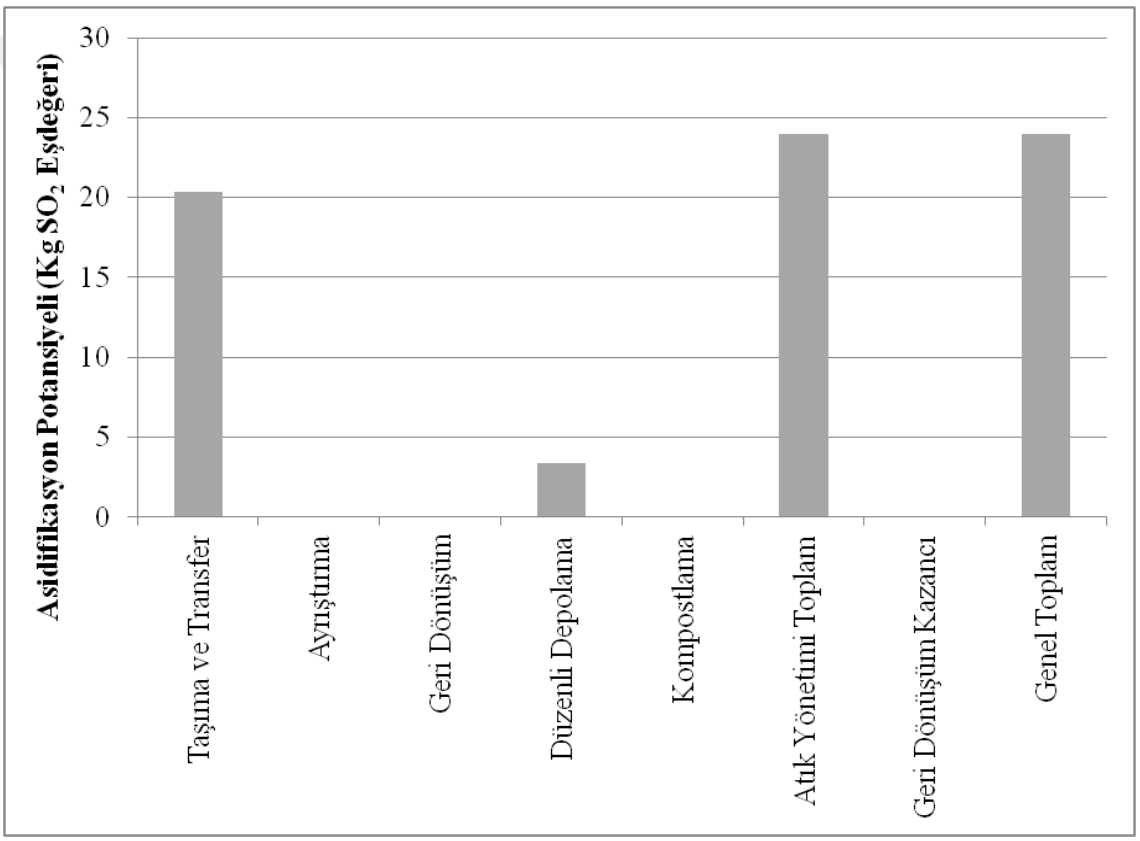
Şekil 3.12. Yaşam döngüsü analizi net küresel ısınma potansiyeli

3.3. Asidifikasyon Potansiyeli

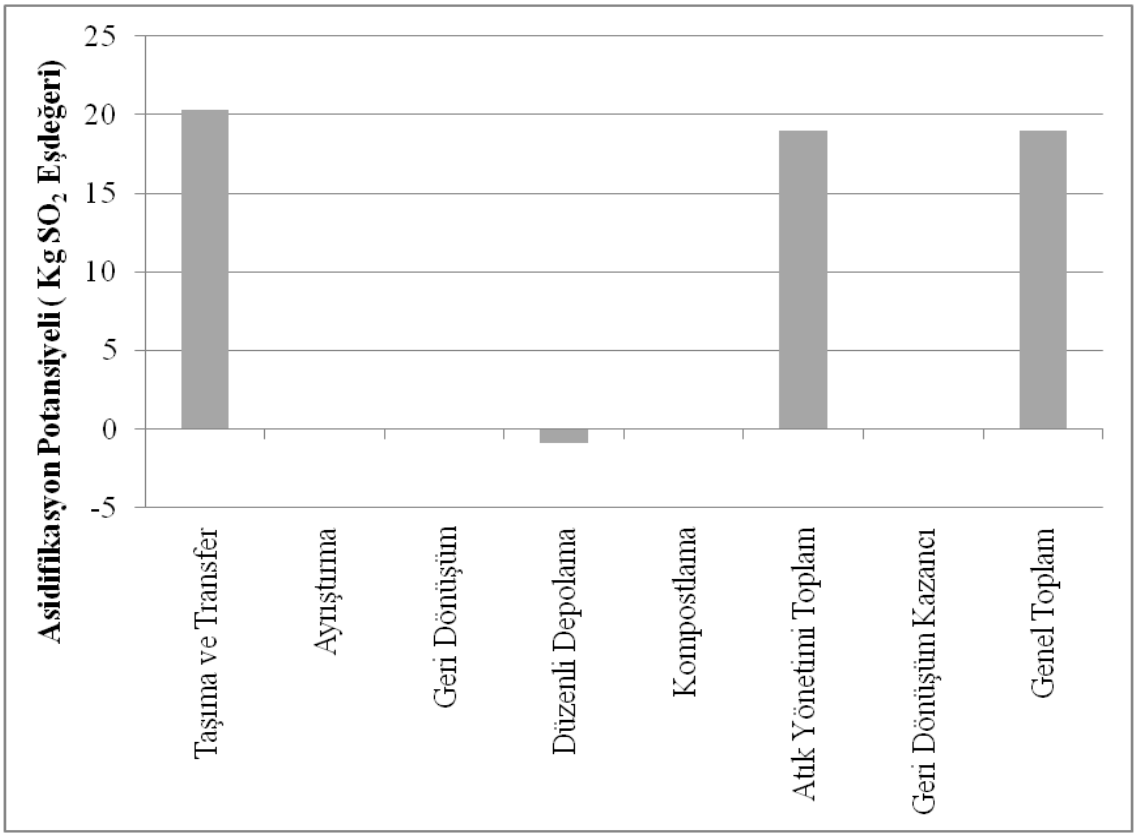
Melikgazi Belediyesi için katı atık yönetim alternetiflerinde asidifikasyon potansiyeli IWM modeli ile hesaplanmıştır. Asidifikasyona neden olan emisyonlar SO_x, NO_x, amonyak ve HCl'den kaynaklanmaktadır. Bir kirleticilerin asitlendirme potansiyeli, H + iyonları oluşturma kapasitesiyle ölçülebilir. Asitleşme potansiyeli, SO_2'ye göre kg

başına üretilen H + iyonlarının sayısı olarak tanımlanır [50]. Çalışmada her bir senaryo için oluşturulan asidifikasyon potansiyeli Şekil 3.13- 3.17'de verilmiştir.

Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de Senaryo 1- a ve 1-b ye asidifikasyon potansiyeli verilmiştir. Senaryo 1-a ve 1-b de katı atıkların taşınması & transferi sırasında asidifikasyon potansiyeline en yüksek katkı sağlanmıştır. Senaryo 1-a da düzenli depolama sisteminde asidifikasyon potansiyeli pozitif iken senaryo 1-b de depo gazlarının tutulmasından dolayı negatif değer almıştır. Genel toplamda her iki senaryoda da pozitif etki göstermiştir.

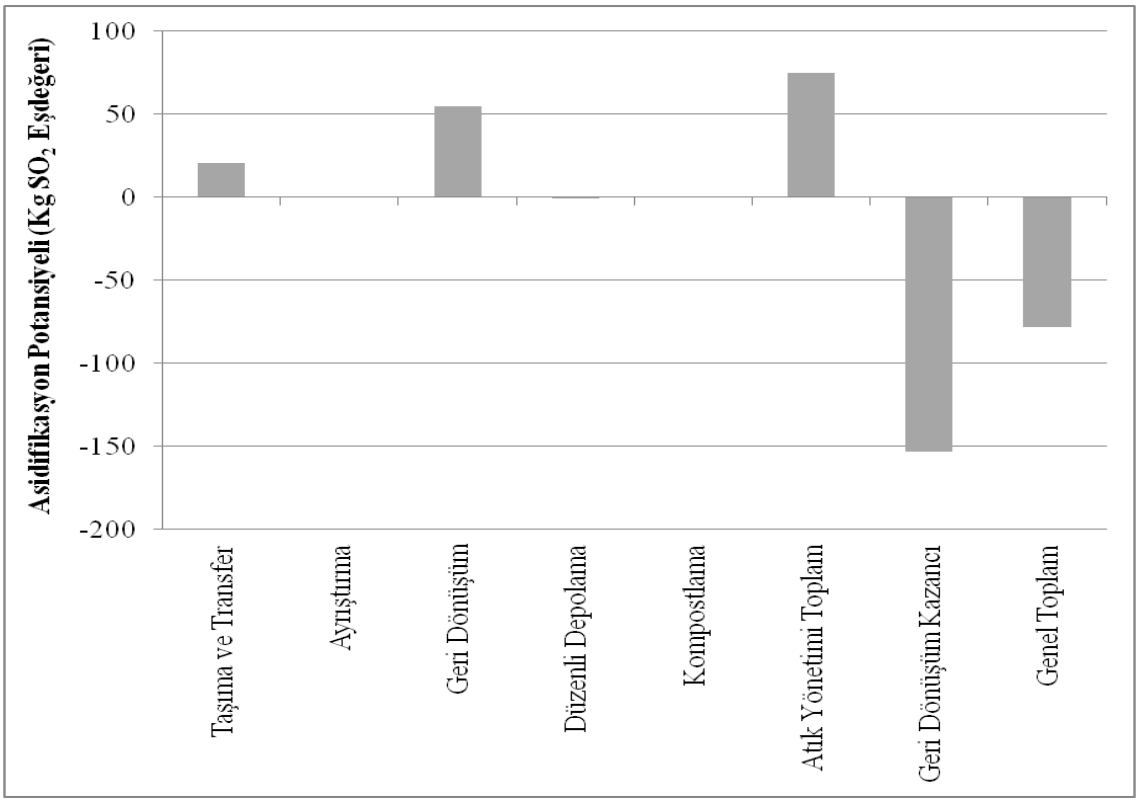


Şekil 3.13. Senaryo 1-a asidifikasyon potansiyeli



Şekil 3.14. Senaryo 1-b asidifikasyon potansiyeli

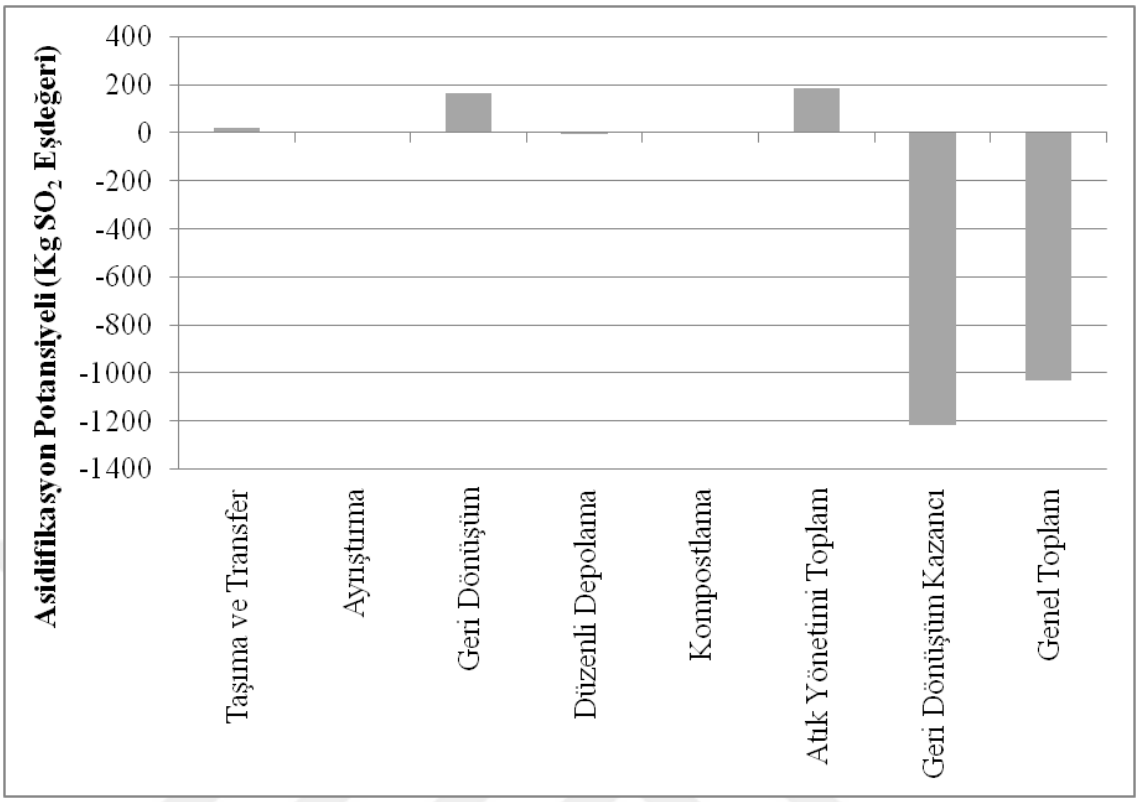
Senaryo 2' ait asidifikasyon potansiyeli Şekil 3.15'de verilmiştir. Asidifikasyon potansiyeline en yüksek pozitif etki sırasıyla, geri dönüşüm (54,62 kg SO_2 eşdeğeri), taşıma & transfer (20,36 kg SO_2 eşdeğeri) ve ayrıştırma(0,34 kg SO_2 eşdeğeri), en düşük etki ise sırasıyla geri dönüşüm kazancı (-153,01 kg SO_2 eşdeğeri) ve düzenli depolama (0,72 kg SO_2 eşdeğeri) oluşmuştur. Genel toplama bakıldığında ise negatif etki gerçekleşmiştir.



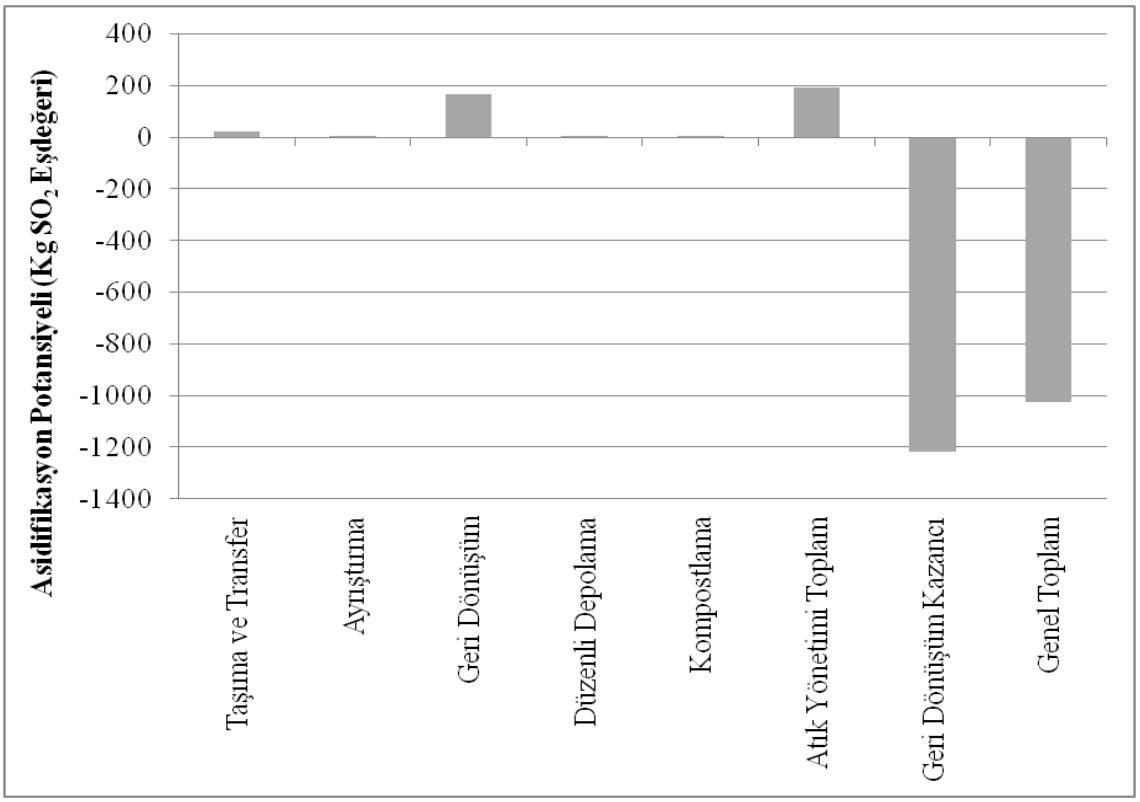
Şekil 3.15. Senaryo 2 asidifikasyon potansiyeli

Senaryo 3'de %100 oranında kaynağında ayrıştırma ve düzenli depolama sistemi seçilmiştir. Şekil 3.16'da senaryo 3'e ait asidifikasyon potansiyeli verilmiştir. Senaryo 3'de taşıma & transfer (20.52 kg SO_2 eşdeğeri), ayrıştırma (2,26 kg SO_2 eşdeğeri) ve geri dönüşüm (165,90 kg SO_2 eşdeğeri) sistemlerinde pozitif etki göstermiştir. En yüksek asidifikasyon potansiyeli etkisi geri dönüşüm sisteminden kazanılmaktadır. En düşük etkisi ise geri dönüşüm kazancı (-1216,43 kg SO_2 eşdeğeri) ve düzenli depolama (0,85 kg SO_2 eşdeğeri) sisteminden kaynaklanmaktadır. Senaryo 3 'ün genel toplamında asidifikasyon potansiyeline katkısı negatiftir.

Senaryo 4 'de, senaryo 3'den farklı olarak düzenli depolama sahasına giden atık miktarı %50 oranında kompostlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 3.17'de asidifikasyon potansiyeli verilmiştir. Senaryo 3 'e göre asidifikasyon potansiyeli taşıma& transfer, ayrıştırma ve geri dönüşüm sistemleri senaryo 4'de de yaklaşık olarak aynı değerlerde olup pozitif etki söz konusudur. Aynı zamanda düzenli depolama sisteminde asidifikasyon değeri 0,52 kg SO_2 eşdeğeri atık miktarına bağlı olarak pozitif değer almıştır. Senaryo 3 de olduğu gibi senaryo 4 'de genel toplamda negatif bir etki gerçekleşmektedir.

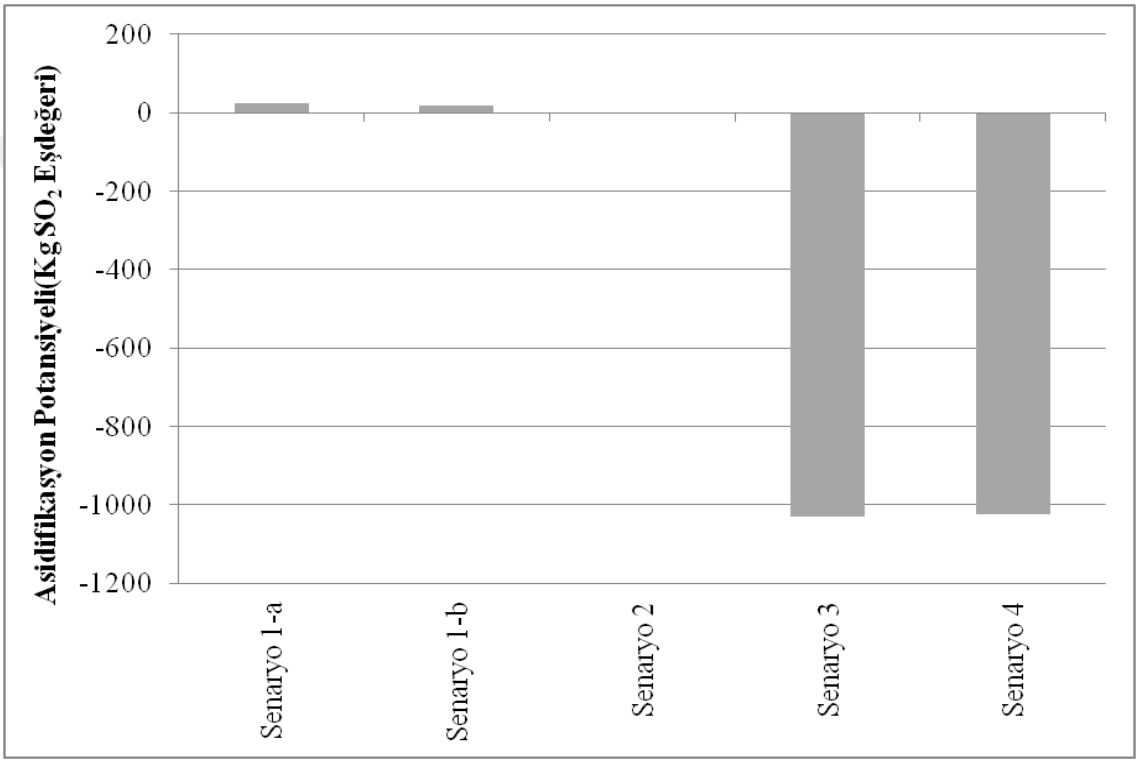


Şekil 3.16. Senaryo 3 asidifikasyon potansiyeli



Şekil 3.17. Senaryo 4 asidifikasyon potansiyeli

Şekil 3.18'de senaryolara göre yaşam döngüsü analizine net asidifikasyon potansiyeli verilmiştir. Asidifikasyon potansiyeli etkisi toplam atık başına Senaryo 1-a'da 145 mg SO_2 eşdeğeri /ton atık, Senaryo 1-b'de 115 mg SO_2 eşdeğeri /ton atık, Senaryo 2'de -5 mg SO_2 eşdeğeri /ton atık, Senaryo 3'de -6236 mg SO_2 eşdeğeri /ton atık ve Senaryo 4'de ise -6206 mg SO_2 eşdeğeri /ton atık'dır. Yaşam döngüsü analizinde asidifikasyon potansiyeli etkisi senaryo 1'de pozitif iken Senaryo 2, Senaryo 3 ve Senaryo 4 'de negatif etki gerçekleşmektedir.



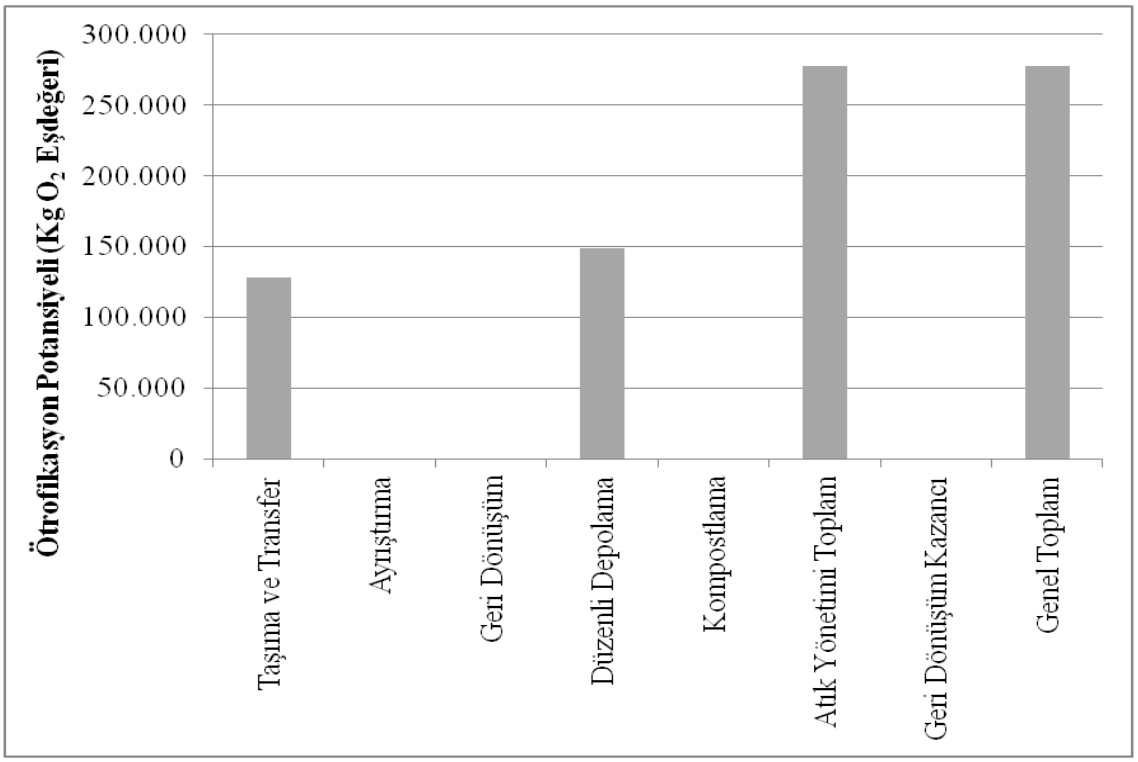
Şekil 3.18. Yaşam döngüsü net asidifikasyon potansiyeli

3.3. Ötrofikasyon

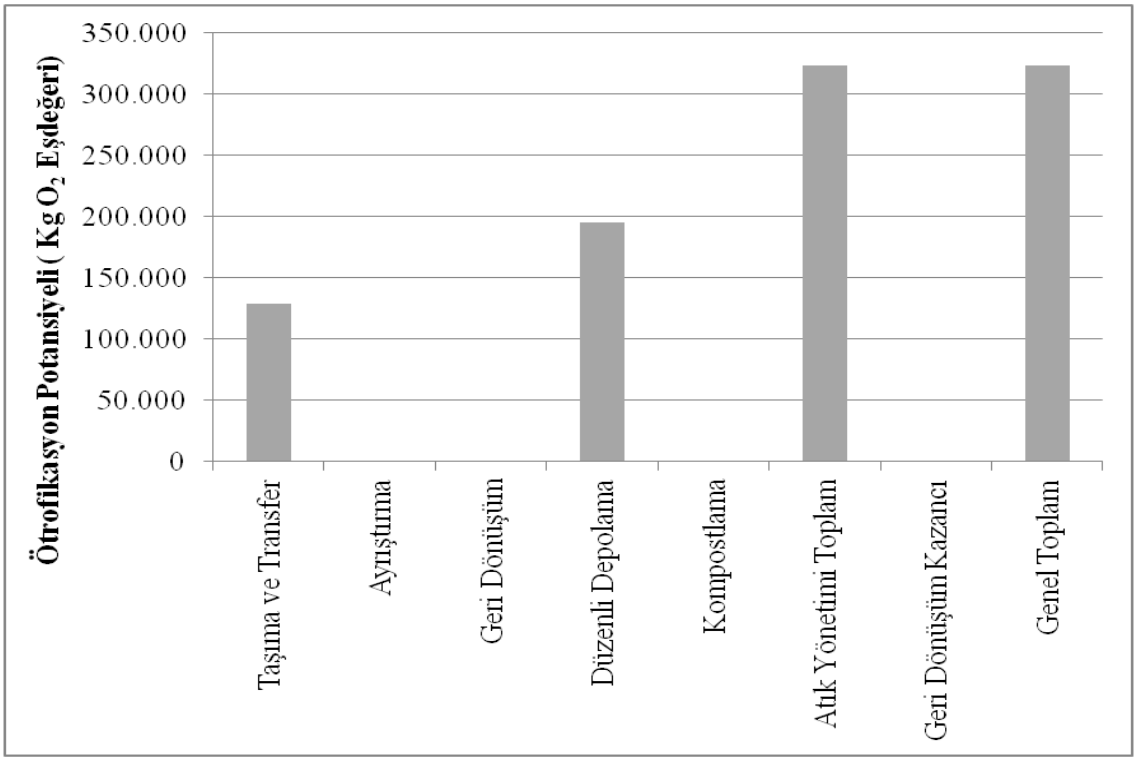
Ötrofikasyon, karasal ve sucul ekosistemleri etkileyebilen bir olgudur. Ötrofikasyon sonuçları azot eşdeğeri olarak ifade edilmektedir Ötrofikasyona neden olan hava kirleticileri arasında NO_x ve amonyak yer almaktadır [39]. Çalışmada elde edilen ötrofikasyon ile ilgi bilgiler Şekil 3.19-3.23'de verilmiştir.

Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'da Senaryo 1-a ve 1-b'ye ait ötrofikasyon potansiyeli verilmiştir. Ötrofikasyon değeri düzenli depolama ve taşıma & transfer sisteminde pozitif etki oluşturmaktadır. Her iki senaryoda diğer bertaraf sistemlerini kullanılmadığı

için sistem sıfır kabul etmiştir. Genel toplamda senaryo 1-a ve 1-b asidifkasyon potansiyeline olumsuz katkı sağlamaktadır.

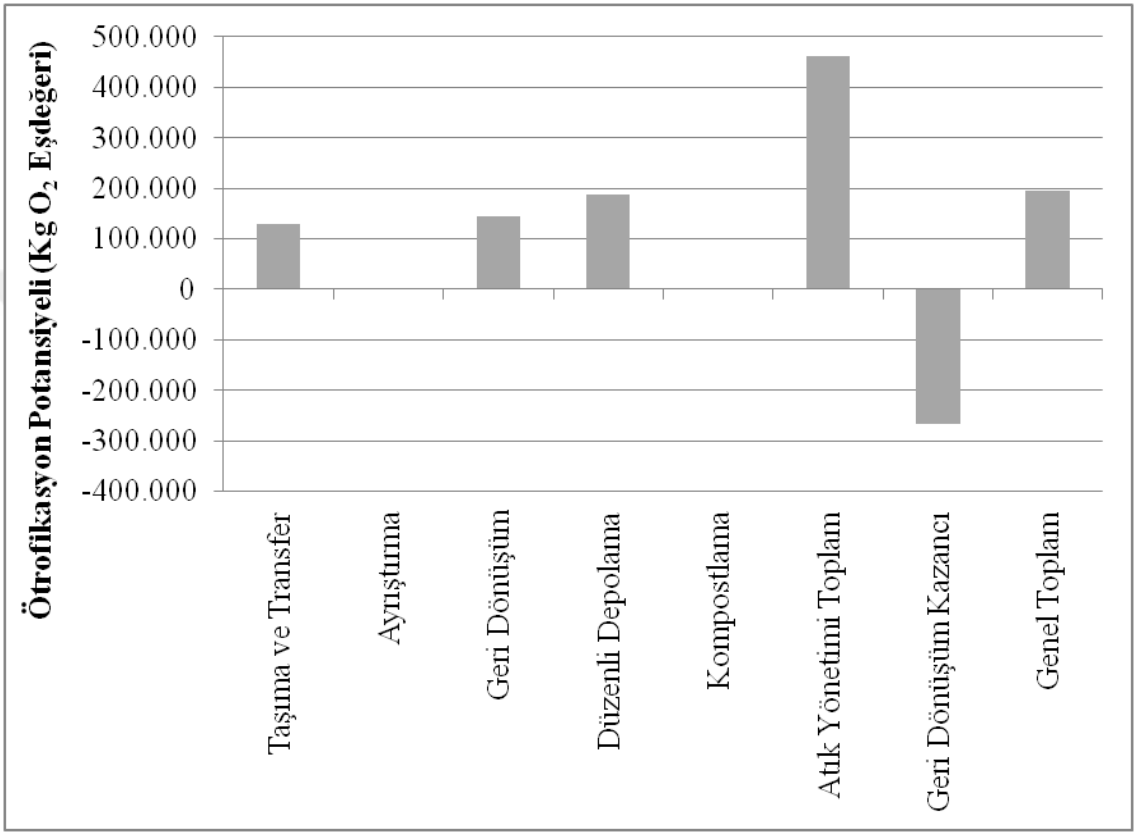


Şekil 3.19. Senaryo 1-a ötrofikasyon potansiyeli



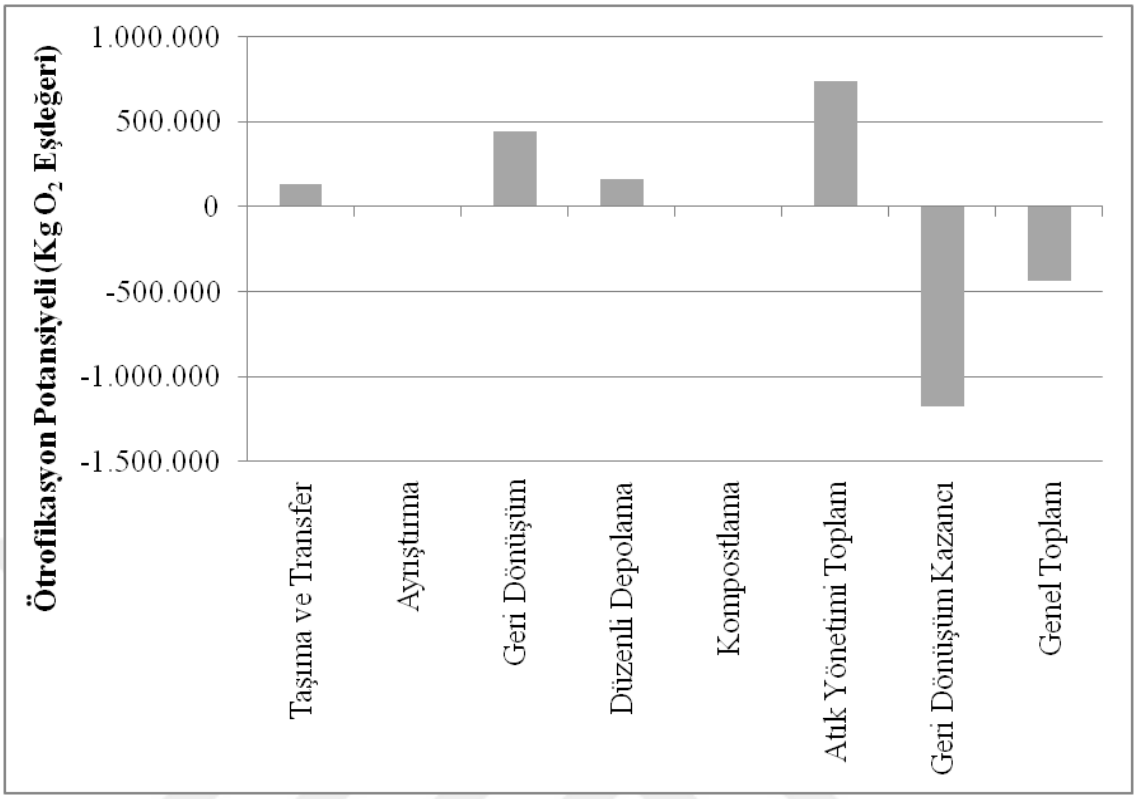
Şekil 3.20. Senaryo 1-b ötrofikasyon potansiyeli

Şekil 3.21 ‘de Senaryo 2’e ait ötrofikasyon potansiyeli verilmiştir. Şekil 3.21 ‘e göre en yüksek ötrofikasyon potansiyeli sırasıyla düzenli depolama, geri dönüşüm ve taşıma & transfer sistemlerinde oluşmaktadır. Senaryo 2’de sadece geri dönüşüm kazancında ötrofikasyon potansiyeli negatif etki almaktadır.

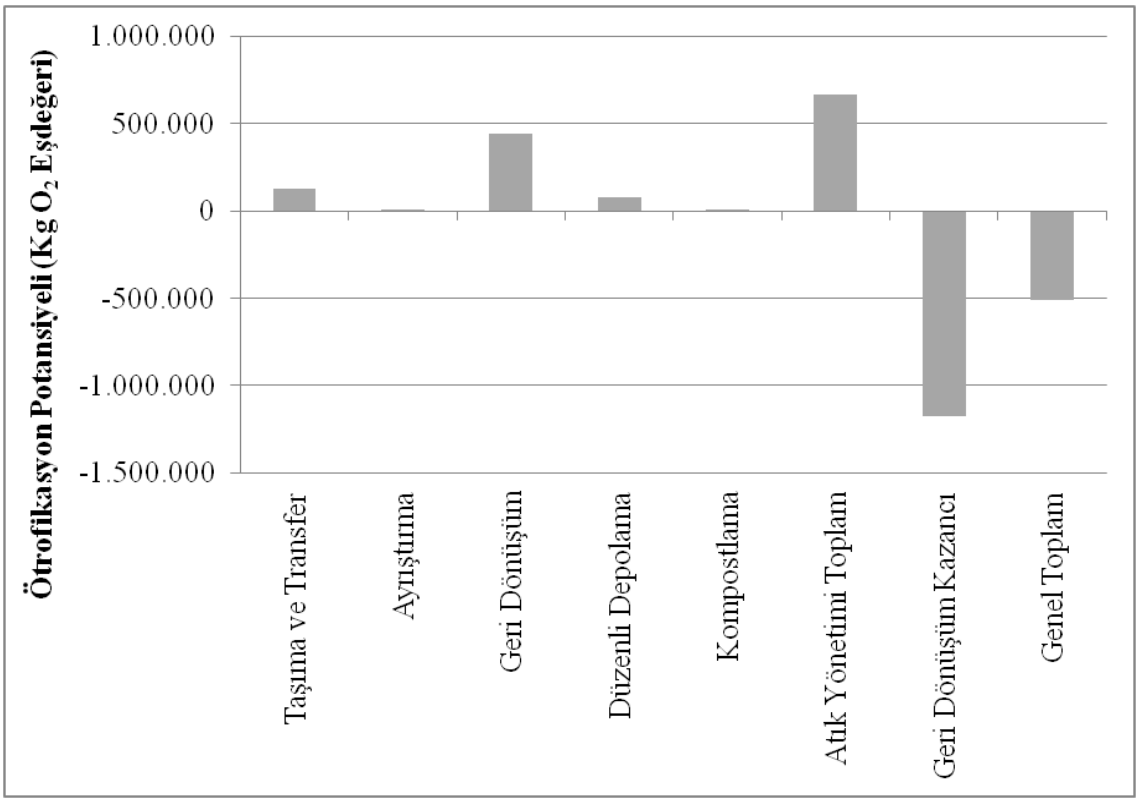


Şekil 3.21. Senaryo 2 ötrofikasyon potansiyeli

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de Senaryo 3 ve Senaryo 4’e ait ötrofikasyon potansiyeli gösterilmiştir. Ötrofikasyon potansiyeline Senaryo 3 ve 4 ‘de geri dönüşüm, depolama ve taşıma sistemlerinden katkı sağlamaktadır. Her iki senaryoda da ötrofikasyon potansiyeline negatif etki geri dönüşüm kazancında gerçekleşmektedir.

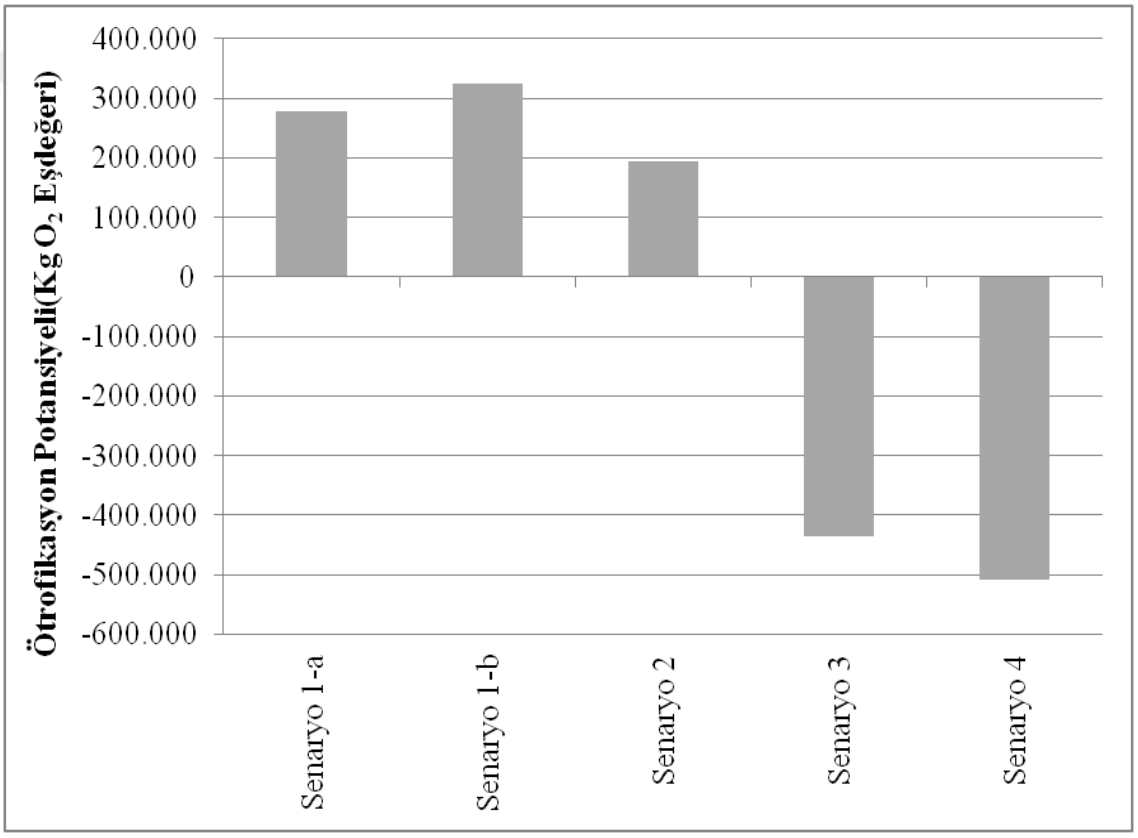


Şekil 3.22. Senaryo 3 ötrofikasyon potansiyeli



Şekil 3.23. Senaryo 4 ötrofikasyon potansiyeli

Şekil 3.23'de senaryolara göre yaşam döngüsü analizi net ötrofikasyon potansiyeli verilmiştir. Ötrofikasyon değeri toplam atık başına, senaryo 1-a'da 1,7 kg O_2 eşdeğer/ ton atık, senaryo 1-b 'de 2,0 kg O_2 eşdeğeri/ ton atık, senaryo 2'de 1,2 kg O_2 eşdeğer/ ton atık, senaryo 3'de -2,6 kg O_2 eşdeğer/ ton atık ve senaryo 4'de ise -3,1 kg O_2 eşdeğer/ ton atık'dır. Senaryo 3 ve Senaryo 4'de kaynağında ayrıştırma sisteminin %100 seçilmesinden dolayı ötrofikasyon potansiyelini katkısı düşük olduğu söylenebilir. Senaryo 4'de kompostlaştırma işleminin olması, düzenli depolamaya sistemine göre ötrofikasyon potansiyeline katkısı daha düşük olduğu söylenebilir.



Şekil 3.24. Yaşam döngüsü net ötrofikasyon potansiyeli

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, IWM modeli kullanılarak Kayseri Melikgazi İlçesi için katı atık yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Uygulanan katı atık bertaraf yöntemine bağlı olarak Melikgazi katı atık yönetim sistemi dört senaryo ile incelenmiştir.

Yaşam döngüsü etki kategorileri için senaryoların çevresel profilleri; yenilenemeyen enerji kaynakları tükenme potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli açısından incelenmiştir. Emisyonlar öncelikle bu etkilere göre kategorize edilmiş ve daha sonra emisyon faktörleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, yaşam döngüsü analizinde dört senaryo incelenmiştir. Senaryo 1-a'da Melikgazi ilçesi katı atıklarının sadece toplanması ve taşınması ile depolama yapıldığı kabul edilmiştir. Senaryo 1-b'de, senaryo 1-a'dan farklı olarak depo gazının toplandığı ve enerji üretiminin gerçekleştiği kabul edilmiştir. Senaryo 2'de Melikgazi Belediyesi'nin mevcut atık yönetim sistemi oluşturulmuştur; kısmı kaynağında ayrıştırma, düzenli depolama (gaz toplama ve enerji üretimi var) şeklindedir. Senaryo 3'de; %100 kaynağında ayrıştırma oranı, düzenli depolama (gaz toplama ve enerji üretimi var) şeklindedir. Senaryo 4'de ise, senaryo 3'den farklı olarak %50 oranında kompostlaştırma, %50 oranında düzenli depolama şeklinde seçilmiştir. Senaryo 2, 3 ve 4 de kaynağında ayrıştırma sisteminde atıklar taşıma & transfer, ayırma tesisi ve geri dönüşüm tesisine gönderilmiştir. Sistemde kalıntı atıklar düzenli depolama tesisine gönderilmiştir.

Çalışmada yaşam döngüsü analizinde, enerji tüketimi açısından en düşük enerji tüketimi senaryo 3 olmuştur. Küresel ısınma potansiyeline en düşük katkı ise senaryo 4

gerçekleşmiştir. Asidifikasyon potansiyeli açısından bakıldığında en düşük etki senaryo 3 de verilmiştir. Ötrofikasyon potansiyelinde ise senaryo 4 en düşük katkı sağlamıştır.

Çalışmada senaryo 2 sonuçlarına genel olarak bakıldığında, Melikgazi İlçesi bünyesinde oluşturulan geri dönüşüm veriminin %17,64 olması, belediye ait eleman ve ekipman dışında, dış kaynaklardan (sokak toplayıcıları) geri dönüşebilir atıkların toplandığını söylenebilir. Melikgazi Belediyesi için en uygun katı atık bertaraf sistemi olarak en az küresel ısınma, ötrofikasyon potansiyeline ve diğer çevresel etkilerde en düşük katkı sağlayan Senaryo 4 ve Senaryo 3 önerilmektedir.

Bu çalışmada atık yönetimi alternatifleri sadece çevresel açıdan modellenmiştir. Bu nedenle, katı atık yönetiminin ekonomik ve sosyal etkilerini dikkate alan diğer karar verme araçları ile desteklenebilir.

Genel olarak, materyallerin ve enerjinin geri kazanımı, sonuçların gösterdiği gibi çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olur. Çevresel performansın iyileştirilmesine dayanan kriterler, bir topluluğun hedeflerine ve kısıtlamalarına bağlı olarak hangi senaryonun tercih edildiğini belirlemesine yardımcı olmak için sahaya özel olarak geliştirilmelidir. Çevresel sonuçlar, tüm yaşam döngüsü yüklerini, atık ve malzeme yönetimini sağlar.

Belirli bir topluluğun gerçek sonuçları değişse de, genel eğilimlerin gerçekçi olduğu düşünülmektedir. Yönetim stratejilerinin değerlendirilmesinde IWM Model kullanımı, bir topluluğun çevresel faydaları en üst düzeye çıkaracak ve maliyeti en aza indirecek şekilde sahaya özel stratejileri belirlemesine yardımcı olabilir.

KAYNAKÇA

1. James, K.L., 2003. Environmental Life Cycle Cost in the Australian Food Packaging Supply Chain. Victoria University, Faculty of Business and Law, Doctoral Thesis, Australia, 316 s.
2. Çokaygil, Z., 2005, Atık Yönetimi Planlamasında Yaşam Döngüsü Analizi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 147 s.
3. Rigamonti, L., Grosso, M., Giugliano, M., 2010. Life cycle assessment of sub-unitscomposing a MSW management system. **Journal of Cleaner Production 18,** 1652-1662.
4. Lundie, S., Peters, G.M., 2007. Life cycle assessment of food waste management options. **Journal of Cleaner Production 18**, 1652-1662.
5. TÜİK, 2017. **http://www.tuik.gov.tr**
6. Guinee, J.B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici R., Ekvall T. ve Rydberg T., 2011. Life cycle assessment: past, present, and future. **Environmental Science Technology, 45**, 90–96.
7. SETAC (The Society for Environmental Toxicology and Chemistry, **http://www.setac.org**) (1991). A Technical Framework for Life Cycle Assessment Report of Workshop in Washington.
8. Barton, J. R., Dalley, D., Patel, V. S., 1996. Life cycle assessment for waste management, **Waste Management 16** (1-3), 35-50.
9. Özerler D., Yetiş, Ü., Demirer, G.N, 2001. Hayat Boyu Değerlendirme Yönteminin Evsel Katı Atık Yönetiminde Uygulanması: Ankara Örnek Çalışması, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Ankara .
10. Çil, S., 2013. Yalova Kentsel Katı Atık Yönetim Alternatiflerinin Çevresel Yaşam Döngüsü Analizi ile İncelenmesi. Gebze Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 80 s.

11. Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W. T, Suh S., Weidema, B. P., Pennington, A. W., 2004. Life cycle assessment – Part1: Framework, goaland scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, **30**, 701-720.

12. Winkler, J., Bilitewski, B., 2007. Comparative evaluation of life cycle assessmen tmodels for solid waste management. **Waste Management**, **27**, 1021-1031.

13. U.S. Environmental Protection Agency, 2006. Life Cycle Assessment: Principlesand Practice, EPA/600/R-06/060, May 2006, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, USA.

14. Demirer,G.,2011. Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Klavuzu AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu için Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları - I

15. Polat, M.Ö., 2013. Bitümlü Sıcak Karışımların Çevresel Yaşam Döngüsü Analizi. Gebze Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 87s.

16. Sonnemann, G., Castells, F., Schuhmacher, M., 2004. Integrated Life-Cycleand Risk Assessment For Industrial Processes, CRC Press LLC, Florida

17. Türk Standartlari Enstitüsü 2007. TS EN ISO 14040: Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme- Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensipler ve Çerçeve, Ankara, Türkiye.

18. TSE, (2007a), TS EN ISO 14040: Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme - Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensipler ve Çerçeve.

19. Gündüz Balpetek, F., Alay, E., Özdoğan, E., 2012. Sürdürülebilir kalkınma için yaşam döngüsü değerlendirmesi ve tekstil sanayi. **Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6**(2), 37-49.

20. UNEP, United Nations Environment Programme, **http://www.unep.org.**

21. TS EN ISO 14042 Türk Standardı, 2003, "Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi", Ankara.

22. Güereca, L. P., Gassó, S., Baldasano, J. M., Jiménez-Guerrero, P., 2006. Life cycle assessment of two biowaste management systems for Barcelona, Spain. **Resources, Conservation and Recycling**, **49**, 32-48.

23. Mendes, M.R., Aramaki, T., & Hanaki, K. 2004. Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in Sao Paulocity as determined by LCA. **Conservation and Recycling**, **41**, 47-63.

24. Rives, J., 2010. LCA comparison of container systems in municipal solid waste management. **Waste Management, 30** (6): 949-957.

25. Chen, X, 2012,'Life Cycle Assessment (LCA) of Five Municipal Solid Waste Management Systems (MSWMS): A Case Study of Nanjing, China'. Doğu Anglia Üniversitesi Çevre Bilimleri Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, Norwich, 48s.

26. Konstadinos, A., 2011. 'Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management, Integrated Waste Management-1, Mr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-469-6.

27. McDougall, F.R., White, P., Franke, M., Hindle P., 2001. Integrated Waste Management: A Life Cycle Inventory (2nd ed.). BlackwellScience, Oxford UK

28. Kaplan, P.Ö.,Ranjithan, S.R., Barlaz, M. A., 2009. Use of life-cycle analysisto support solid waste management planning for Delaware, **Environmental Science Technology, 43**, 1264–1270.

29. Thorneloe, S.A.,Weitz, K., Jambeck, J., 2007. Application of the US decision support tool for materials and waste management, **Science Direct Waste Management 27**, 1006-1020.

30. Weitz, K. A., Thorneloe, S .A., Nishtala, S. R., Yarkosky, S., Zannes, M., 2002. The impact of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in the United States. **Journal of theAir & Waste Management Association, 52** (9),1000-1011.

31. Naghibzadeh, S. S., Krorasani, N., Youseft, J., Mousavi, B. S., Badehian, Z., 2014. Life cycle assessment of municipal waste management system (casestudy: Karaj, Iran). **Jasemıssn 1119-8362**, (18), 559-565.

32. Clift, R., Doig, A., Finnveden, G., 2000. Theapplication of life cycle assessmentto integrated solid waste management. **Institution of Chemical Engineers Trans IChemE, 78**.

33. Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P., Moberg, A., 2005. Life cycle assessment of energy from solid waste –part 1: general methodology and results. **Journal of Cleaner Production, 13**, 213–229.

34. Hong, J., Li, X., Zhaojie, C., 2010. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. **Waste Management 30,** 2362–2369.

35. Othman, S., N., Noor, Z., Z., Abba, A., H., Rafiu, O., Y., Mohd, A.,A., H., 2013. Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries. **Journal of Cleaner Production 41**, 251-262.

36. Saer, A., Lansing, S., Davitt, N., H., Graves, R., E., 2013. Life cycleassessment of a food waste composting system: environmental impact hotspots. **Journal of Cleaner Production 52**, 234-244.

37. Stypka, T., Integrated solıd waste management model as a tool of sustaınable development, Department of Environmental Engineering, CracowUniversity of Technology. **Warszawska 24**, 31-155.

38. Özkan, A, 2008. Kentsel Katı Atık Yönetimi Sistemlerinin Oluşturulmasında Farklı Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Eskişehir, 202 s.

39. Banar, M., Cokaygil, Z., Ozkan, A., 2009. Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey, **Waste Management 29**, 54-62.

40. Ün, Y., 2009. Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment Plants. Dokuz Eylül University Natural and Appliend Sciences, Graduate Thesis, İzmir, 131 s.

41. Yiğit, Ç., 2013. Life cycle assessmentin ferrous foundry industry. Middle East Technıcal University, Natural and Appliend Sciences, Graduate Thesis, Ankara, 102 s.

42. Yıldırım, M., 2015. Atıksu Arıtma Sisteminin Seçiminde Karar Destek Sistemleri ve Hayat Boyu Değerlendirme Yaklaşımının Kullanılması. Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Antalya, 195 s.

43. Erses Yay, A., S., 2017. Yaşam döngüsü analizinin ambalaj atıklarının yönetiminde kullanılması. **Sakarya Üniversitesi**, **Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21** (5), 1008–1017.

44. Özeler D., 2001. Life cycle assessment of municipal solid waste treatment methods: Ankara case study., A master of science thesis, Co-advised by Prof. Dr. Ülkü Yetis, METU, Ankara, Turkey.

45. White p., Franke M., Hindle P., 1995. Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory, Blackie Academic and Professional.

46. **http://www.kayseri.gov.tr/melikgazi-ilcesi**

47. Melikgazi Belediyesi, Faaliyet Raporu, **http://www.melikgazi.bel.tr/Faaliyet-Raporlari**

48. TEİAŞ, Türkiye elektrik üretim kaynakları, **https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri**

49. IPCC,**https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf** (s. 73-79)

50. Bauman, H., Tillman, A., 2004. The Hitch Hiker's Guide to LCA. Student litteratur AB, Sweden.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Emine IRBAŞ

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri: 02.04.1988 - Tokat

Medeni Durum: Bekar

e-mail: emine.irbas@hotmail.com

Yazışma Adresi: Üçevler Mah.903 Sk. No:39/3 Esenyurt/İSTANBUL

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Üniversite Erciyes, Çevre Mühendisliği Bölüm	2018
Lisans	Üniversite Erciyes, Çevre Mühendisliği Bölüm	2012
Lise	Lise Turhal Atatürk Lisesi, TOKAT	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013-Halen	Düzsan Metal Geri Dönüşüm	6 yıl
2012-2013	İmpaş Su Arıtma Sistemi Ltd.ŞTİ.	0,5 yıl

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. TOKAT TEMA DERNEĞİ ADINA aşağıdaki makaleler yazılmış ve yayınlanmıştır.
   a. Geri Kazanım Nedir? TOKAT HÜRSÖZ Gazetesi Sayfa 3 -25.02. 2010
   b. Dünya ve Türkiye'de Su, TOKAT HÜRSÖZ Gazetesi Sayfa 3 -26.02.2010
   c. Nasıl Tasarruf Ederiz?, TOKAT HÜRSÖZ Gazetesi Sayfa 3 -27.02.2010
2. **Irbaş, E**., Yılmaz, M. A., Ardahanlılar, A., Eroğlu, E., Dadaser-Celik F. (2011). Üniversite yerleşkelerinde üretilen geri dönüşebilir katı atıkların karakterizasyonu: Erciyes Üniversitesi örneği, ÇESKO 2011 – Üniversite Öğrencileri IV. Çevre Sorunları Kongresi Bildiri Kitabı, 5-6 Mayıs 2011, pp. 53-57.
3. **Irbaş, E**., Yılmaz, M.A., Ardahanlılar, A., Eroğlu, E. VE Dadaşer-Çelik, F. (2012). Erciyes Üniversitesi merkez yerleşkesi için geri dönüşebilir katı atık envanteri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. Cilt 28, Sayı 2, 2012.
4. **Irbaş E**. 'Farklı Katı Atık Bertaraf Yöntemleri Sonucu Oluşan Sızıntı Sularının Karşılaştırılması' Fatih Üniversitesi Öğrenci Sempozyumu (ÇESKO 7), 2012.
5. Yıldırım R., **Irbaş E**. ve Dadaser-Celik F. Erciyes Üniversitesi Yemekhane Atıklarının Kompostlaştırılması. UKAY-2012 (4. Ulusal Katı Atık Kongresi), 17-20 Ekim 2012, Antalya.