



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE VE ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

PENDİK İLÇESİ KENTSEL SERA GAZI EMİSYON ENVANTERİNİN HAZIRLANMASI VE KATI ATIK YÖNETİMİNİN KARBON DENGELEME (OFFSET) POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Zehra KÜLÜNK

Temmuz-2022



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE VE ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

PENDİK İLÇESİ KENTSEL SERA GAZI EMİSYON ENVANTERİNİN HAZIRLANMASI VE KATI ATIK YÖNETİMİNİN KARBON DENGELEME (OFFSET) POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Zehra KÜLÜNK

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Senem TEKSOY BAŞARAN

Temmuz-2022

ONAY

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans öğrencisi olan Fatma Zehra KÜLÜNK'ün hazırladığı ve jüri önünde savunduğu “Pendik İlçesi Kentsel Sera Gazı Emisyon Envanterinin Hazırlanması ve Katı Atık Yönetiminin Karbon Dengeleme (Offset) Potansiyelinin Belirlenmesi” başlıklı tez başarılı kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Ü. Senem TEKSOY BAŞARAN
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

İMZA

.....

Üyeler:

Prof. Dr. Seval SÖZEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Özgür AKTAŞ
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 6.7.2022

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde hazırladığım bu Yüksek Lisans tezinin bizzat tarafımdan ve kendi sözcüklerimle yazılmış orijinal bir çalışma olduğunu ve bu tezde;

- 1- Çeşitli yazarların çalışmalarından faydalandığımda bu çalışmaların ilgili bölümlerini doğru ve net biçimde göstererek yazarlara açık biçimde atıfta bulunduğumu;
- 2- Yazdığım metinlerin tamamı ya da sadece bir kısmı, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmışsa bunu da açıkça ifade ederek gösterdiğimi;
- 3- Alıntılanan başkalarına ait tüm verileri (tablo, grafik, şekil vb. de dahil olmak üzere) atıflarla belirttiğimi;
- 4- Başka yazarların kendi kelimeleriyle alıntıladığım metinlerini kaynak göstererek atıfta bulunduğum gibi, yine başka yazarlara ait olup fakat kendi sözcüklerimle ifade ettiğim hususları da istisnasız olarak kaynak göstererek belirttiğimi,

beyan ve bu etik ilkeleri ihlal etmiş olmam halinde bütün sonuçlarına katlanacağımı kabul ederim.

Temmuz, 2022

Fatma Zehra KÜLÜNK

TEŞEKKÜR

Tez çalışma sürecimde değerli bilgilerini, ilgi ve desteğini ve kıymetli zamanlarını benden esirgemeyen değerli tez danışmanım; Dr. Öğr. Üyesi Senem TEKSOY BAŞARAN'a,

Eğitimim için özveri gösteren üzerimde büyük emeği olan değerli Annem Selma Emir ve Babam Necati Emir'e, teknik destekleri için kardeşim Ahmet Fazıl'a, desteğini her zaman hissettiren eşimin kıymetli anne ve babası Perihan ve Ali Külünk'e,

Daima yanımda manevi desteğini hissettiğim ve beni her daim motive eden İkiizim Sedanur'a,

Onlardan esirgediğim saatlere anlayış gösterdiği için ve her zaman yanımda olan sevgili eşim Hasan Külünk ve oğlum Ömer Selim'e

En içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma Zehra KÜLÜNK

Temmuz,2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ONAY	
ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI.....	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	i
KISALTMALAR	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
Külünk, Fatma Zehra	vii
Külünk, Fatma Zehra	ix
BÖLÜM 1: GİRİŞ	1
BÖLÜM 2: LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1. İklim Değişikliği ve Küresel Etkileri	5
2.2. Sera Gazları ve iklim değişikliğine etki potansiyelleri.....	6
2.3. Küresel İklim Değişikliği Mücadelesi ve Mevcut Durum.....	9
2.4. İklim Değişikliği ile Mücadelede Şehirler ve Yerel Yönetimler	10
2.5. İstanbul İli Sera Gazı Emisyon Envanteri	11
2.6. Atık Yönetiminin Kentsel Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi	13
BÖLÜM 3 GEREÇ VE YÖNTEM.....	16
3.1. GPC Envanter oluşturma yaklaşımı	19
3.2. Hesaplama yaklaşımı	25
3.3. Faaliyet verileri	27
3.4. Emisyon Faktörleri.....	28
3.5. Envanterde Veri Kalitesi ve Belirsizlik.....	29
3.6. Yenilenebilir Enerji Odaklı Emisyon Azaltımı	30
BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Pendik İlçesi Sera Gazı Emisyon Envanteri	37
4.2. Güneş Enerjisi Kaynaklı Emisyon Azaltımı Tahmini	41

4.3. Atık Yönetimi Kaynaklı SG Emisyonu Azaltma Potansiyeli	43
4.3.1. Katı Atık Karakterizasyonu ve Atık Azaltma Modeli Verileri	43
4.3.2. Senaryolar.....	47
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ.....	83



KISALTMALAR

AFOLU	: Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı
AR6	: 6. Değerlendirme Raporu
CDM	: Temiz Kalkınma Mekanizması
EPDK	: Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
EPA	: Amerikan Ulusal Çevre Koruma Ajansı
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
GPC	: Toplum Ölçekli Sera Gazı Emisyonu Envanterleri Küresel Protokolü
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IPPU	: Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KIP	: Küresel Isınmaya Etki Potansiyeli
NID	: Net Isıl Değer
NIR	: Ulusal Envanter Raporu
OF	: Oksidasyon Faktörü
ÇF	: Çevrim Faktörü
SG	: Sera Gazı
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Pendik İlçesi Genel Bilgiler.....	18
Tablo 3.2. GPC Sektörler ve alt-sektörler	19
Tablo 3.3. Sera gazı salım kaynaklarının sınırları.....	20
Tablo 3.4. Sera gazı emisyon kaynakları ve envanterdeki uygulamaları.....	23
Tablo 3.5. Seragazı emisyonlarının belirlenmesinde kullanılan hesaplama yaklaşımları	25
Tablo 3.6. Faaliyet verilerine ilişkin birim ve referanslar.....	27
Tablo 3.7. Sera gazı emisyon hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörleri.....	28
Tablo 3.8. Sera gazı KIP değerleri	29
Tablo 3.9. Veri Kalitesi Değerlendirme	30
Tablo 3.10. Rüzgar gücü ile elektrik üretiminde uluslararası sınıflandırma.....	33
Tablo.3.11. WARM'da Modellenen Yönetim Seçeneklerinden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları	36
Tablo 4.1. Pendik ilçesi sera gazı emisyon değerleri	37
Tablo 4.2. Pendik sera gazı emisyonlarının ana sektörler göre dağılımı	38
Tablo 4.3. Pendik sera gazı emisyonlarının sera gazlarına göre dağılımı.....	40
Tablo 4.4. Pendik Belediyesi potansiyel PV uygulama sahaları.....	42
Tablo. 4.5. Temel ve Alternatif Senaryoların Özeti.....	43
Tablo. 4.6. Katı Atık Bileşenleri	44
Tablo.4.7. Katı Atık Bileşenlerinin Yüzdeleri	45
Tablo 4.8. Mevcut Atık Yönetimi Sera Gazı Emisyonları.....	47
Tablo 4.9. Kaynak Azaltma Senaryoları SG Emisyonları	54
Tablo 4.10. Geri Dönüşüm Senaryoları SG Emisyonları.....	61
Tablo 4.11. Atık Yönetiminde 2 Özet Senaryonun SG Emisyonları	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. İstanbul 2020 yılı Sera Gazı Envanteri Sektörel Dağılımı (İBB)	12
Şekil 2.2. İstanbul İli Sera gazı Emisyonu Yıllara göre Dağılımı.....	13
Şekil 2.3. Atık süreçleri ve sera gazı emisyonları ile ilişkisi	14
Şekil 3.1: İstanbul ili ve Pendik ilçesinin yerleşimi	16
Şekil 3.2. Pendik ilçesi nüfus artışı	17
Şekil 3.3. Pendik ilçesi arazi kullanımı	18
Şekil 3.4. Sera gazı salımlarının kaynakları ve sınırları	20
Şekil 3.5. GPC’de tanımlı sera gazı kaynakları ve kapsamlar	21
Şekil 3.5. Pendik ilçesi solar haritası	31
Şekil 3.6. İstanbul rüzgar enerjisi haritası yıllık ortalama a. Rüzgar hızı dağılımı b. Rüzgar güç yoğunluğu dağılımı	32
Şekil 3.7. Pendik ilçesi rüzgar haritası	33
Şekil 4.1.Pendik ilçesi sera gazı emisyonlarının kaynaklara göre dağılımı	39
Şekil 4.2. Pendik ilçesi sera gazı emisyonlarının kaynaklara göre kaynaklara dağılımı	40
Şekil 4.3. Pendik ilçesi PVGIS raporu	41
Şekil.4.4. WARM programında kullanılan Pendik ilçesi 2020 yılı atık yüzdeleri	46
Şekil 4.5. Mevcut Atık Yönetimine Göre Sera Gazı Emisyonları	48
Şekil 4.6. Senaryo 1 – Karışık Kağıt %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları	49
Şekil 4.7. Senaryo 2 – Mutfak Atıkları %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları	50
Şekil 4.8. Senaryo 3 – Plastik Atıkları %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları	51
Şekil 4.9. Senaryo 4 – Metal Atıklar %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları	52
Şekil 4.10. Senaryo 5 – Cam Atıklar %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları.....	53
Şekil 4.11. Senaryo 6 – İnşaat Atıkları %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları.....	54
Şekil 4.12. Kaynak Azaltma Senaryoları ile (Mutfak Atıkları dahil) SG Emisyonları	55
Şekil 4.13. Kaynak Azaltma Senaryoları ile (Mutfak Atıkları hariç) SG Emisyonları	55
Şekil 4.14. Kaynak Azaltma Senaryolarından Kaynaklanan Enerji Tasarrufu.....	56

Şekil 4.15. Senaryo 7 – Kağıt Atıklar %10 Geri Dönüşüm Emisyonları.....	57
Şekil 4.16. Senaryo 8 –Plastik Atıklar %10 Geri Dönüşüm Emisyonları.....	58
Şekil 4.17. Senaryo 9, 10, 11 – Elektronik, Metal ve Cam Atıklar %10 Geri Dönüşüm Emisyonları	59
Şekil 4.18. Senaryo 12 – İnşaat Atıkları %10 Geri Dönüşüm Emisyonları.....	60
Şekil 4.19. Senaryo 13 – Karışık geri dönüşüm Atıkları %10 Geri Dönüşüm Emisyonları.....	62
Şekil 4.20. Geri dönüşüm Senaryoları	62
Şekil 4.21. Geri dönüşüm Senaryoları için Enerji Tasarrufu	63
Şekil 4.22. Senaryo 14, 15 – (a) Mutfak atıklarının ve Park bahçe atıklarının %10 (b) Mutfak atıklarının %50 Kompost Emisyonları.....	64
Şekil 4.23. Senaryo 16, 17 – (a) Mutfak atıklarının %10 ve (b) %50 Anaerobik Çürütme Emisyonları	65
Şekil 4.24. Senaryo 18, 19 – Tüm Atıklar Yakma Emisyonları	66
Şekil 4.25. Senaryo 20- Tüm uygulanabilir atıkların %10 kaynakta azaltma ve geri-dönüşüm emisyonları	68
Şekil 4.26. Mutfak Atıkları Atık yönetimi Senaryoları Emisyonları Kıyaslaması	70
Şekil 4.27. Mutfak Atıkları Atık yönetimi Senaryoları Enerji Tasarrufları Kıyaslaması	71
Şekil 4.28. Kaynakta Azaltma, Geri Dönüşüm ve Yakma Uygulamalarının Emisyon Azaltım Kıyaslaması	71

PENDİK İLÇESİ KENTSEL SERA GAZI EMİSYON ENVANTERİNİN HAZIRLANMASI VE KATI ATIK YÖNETİMİNİN KARBON DENGELEME (OFFSET) POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Külünk, Fatma Zehra

Yüksek Lisans Tezi, Çevre ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre
ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Senem Teksoy Başaran

Temmuz, 2022. 83 Sayfa.

Sanayi devriminden sonraki yıllarda ortalama sıcaklıktaki artış ile beraber hissedilen küresel ısınma ve iklim değişikliğinin başlıca sorumlusu sera gazlarıdır. Atmosferde önemli ölçüde artan bu sera gazları başta CO₂ olmak üzere, metan, ve nitröz oksitlerdir. Sera gazları salınımının artışının başlıca nedenleri arasında ise ısınma, elektrik tüketimi, ulaşım ve atık yönetiminden kaynaklanan faaliyetler sayılmaktadır. Metan, en çok tarım, hayvancılık ve atık bertarafı sırasında oluşmaktadır ve ısınmanın artmasına sebep olan ikinci büyük sera gazı olarak kabul edilmektedir. Bu sebeple atık yönetiminden kaynaklanan karbon salımlarının azaltılması sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada, 2020 yılı için Pendik ilçesinin kentsel sera gazı emisyon envanteri hesaplanmıştır. Pendik İlçesinin 2020 yılı faaliyet verileri dikkate alınarak hazırlanan envantere, sera gazı emisyonları toplamı 2.090.586 tCO₂e (ton karbondioksit eşdeğeri) olarak hesaplanmıştır. 2020 yılı envanterine göre, sabit enerji kaynaklı emisyonlar toplam emisyonların %44'ü kadarken, ulaşım kaynaklı emisyonlar %43'lük pay ile sabit enerji kaynaklı emisyonları takip etmektedir. Atık kaynaklı emisyonlar ise %14 olarak hesaplanmıştır. İstanbul ili 2020 yılı sera gazı emisyon envanteri sonuçları ile bu çalışmada hesaplanan Pendik ilçesi 2020 yılı sera gazı envanter sonuçları kıyaslanmış sonuçların nüfus ile orantılı (%4,6-%4,7) olduğu görülmüştür.

Envanter; Toplum Ölçekli Sera Gazı Emisyonu Envanterleri Küresel Protokolü (GPC) uygun olarak hazırlanmıştır. Hesaplamalar yapılırken Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) rehber dokümanları dikkate alınmıştır.

Sera gazı emisyonlarının artışına katkıda bulunan önemli bir sektör olan atık yönetiminin karbon dengeleme potansiyelinin değerlendirilmesi için ABD'nin Ulusal Çevre Ajansı (EPA) tarafından hazırlanan atık azaltım modeli (WARM) kullanılarak atık yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılmasıyla ilgili 21 adet senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolara göre mevcut atık yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarında yapılabilecek en sürdürülebilir ve uygulanabilir değişiklikler değerlendirilmiştir. Senaryolar oluşturulurken gerekli olan atık miktarları verileri için Pendik ilçesine ait 2015 yılında yapılan katı atık karakterizasyonundan yararlanılmıştır.

Pendik ilçesi özelinde yenilenebilir enerji uygulamalarının karbon dengeleme potansiyeline dikkat çekmek üzere ise güneş enerjisinden enerji elde edilen Fotovoltaik (PV) tabanlı temsili örnek bir proje üzerinden teorik bir hesaplama yapılmıştır. İlçe merkezi referans alınarak 1 kWp kurulu güce sahip PV sisteminin yıllık enerji üretimi tahmin edilmiş ve buna göre farklı senaryolardan elde edilebilecek emisyon dengeleme (offset) potansiyelleri hesaplanmıştır. Bunun için Avrupa Komisyonu'nun Ortak Araştırma Merkezi (JRC) ana web sitesinden serbest erişim sağlanabilen "Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)" bilgi tabanı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, Toplum Ölçekli Sera Gazı Emisyonu Envanterleri Küresel Protokolü (GPC), katı atık kaynaklı sera gazı emisyonları, Karbon Dengeleme, Pendik ilçesi

PREPARATION OF GREENHOUSE GAS INVENTORY FOR PENDİK DISTRICT AND DETERMINATION OF CARBON OFFSET POTENTIAL OF SOLID WASTE MANAGEMENT

Külünk, Fatma Zehra

Master Thesis, Department of Environmental and Energy Systems Engineering,
Environmental and Energy Systems Engineering Program

Advisor: Asst.Prof. Senem Teksoy Başaran

July, 2022. 83 pages.

Greenhouse gases are the main responsible for the global warming and climate change felt with the increase in average temperature in the years after the industrial revolution. Greenhouse gases, which increase significantly in the atmosphere, are mainly CO₂, methane, and nitrous oxides. Among the main reasons for the increase in greenhouse gas emissions are activities arising from heating, electricity consumption, transportation and waste management. Methane is mostly formed during agriculture, animal husbandry and waste disposal and is considered the second largest greenhouse gas that causes increased warming. For this reason, reducing carbon emissions from waste management is of great importance in terms of reducing greenhouse gas emissions.

In this study, the urban greenhouse gas emission inventory of Pendik district for 2020 was calculated. In the inventory prepared by taking into account the 2020 activity data of Pendik District, the total greenhouse gas emissions were calculated as 2,090,586 tCO₂e (tonnes of carbon dioxide equivalent). According to the 2020 inventory, emissions from stationary energy are 44% of total emissions, while emissions from transportation follow stationary energy emissions with a share of 43%. Emissions from waste are calculated as 14%. The results of the 2020 greenhouse gas emission inventory in Istanbul and the Pendik district 2020 greenhouse gas inventory results calculated in this study were compared and it was seen that the results were proportional to the population (4.6%-4.7%).

Inventory; Prepared in accordance with the Global Protocol on Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC). While making the calculations, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guide documents were taken into account.

In order to evaluate the carbon balancing potential of waste management, which is an important sector that contributes to the increase in greenhouse gas emissions, 21 scenarios related to reducing greenhouse gas emissions from waste management have been created by using the waste reduction model (WARM) prepared by the US National Environment Agency (EPA). According to these scenarios, the most sustainable and applicable changes that can be made in greenhouse gas emissions arising from the current waste management were evaluated. While creating the scenarios, the solid waste characterization of the Pendik district in 2015 was used for the required waste amount data.

In order to draw attention to the carbon balancing potential of renewable energy applications in Pendik district, a theoretical calculation has been made on a representative sample project based on Photovoltaic (PV) energy obtained from solar energy. The annual energy production of the PV system with an installed power of 1 kWp was estimated by taking the district center as a reference and accordingly, the emission offset potentials that could be obtained from different scenarios were calculated. For this, the "Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)" knowledge base, which is freely accessible from the main website of the Joint Research Center (JRC) of the European Commission, was used.

Key Words: Climate change, Global Protocol for Community-Scale Greenhouse, Gas Emission Inventories, GH emissions from solid waste disposal, Carbon offsetting, Pendik district

BÖLÜM 1: GİRİŞ

İnsanlığın karşı karşıya kaldığı en önemli küresel zorlukların başında iklim değişikliği gelmektedir. En başta fosil yakıtların yakılması olmak üzere insan faaliyetleri sonucu, ormansızlaşma, arazi kullanımı değişiklikleri ve sanayi prosesleri ile atmosfere salınan sera gazlarının atmosferdeki birikimleri, sanayi devriminden beri hızla artmaktadır. Bu durum, şehirleşmenin de katkısı ile, dünyamızda ortalama yüzey sıcaklıklarının ve bunun yanı sıra bir dizi karmaşık ve aşırı iklim olaylarının görülme sıklığının artmasına neden olmaktadır (Türkeş, 2001).

Nüfus artışı ve şehirleşme beraberinde artan enerji tüketimi, toprak kullanımı, uluslararası ticaret ve ulaşım gibi diğer insan aktivitelerindeki artış, iklim değişikliğinin etkilerini yönetmeyi gittikçe zorlaştırmaktadır. Dünya nüfusunun yarısından fazlası kentsel yaşam alanlarında bulunmakta ve gelecekte kırsal nüfusun daha da azalarak bu oranın gittikçe artacağı tahmin edilmektedir. Küresel enerji ihtiyacının %75 gibi ağırlıklı bir oranı kentler tarafından talep edilmektedir (Seto ve diğ., 2014). Kentsel faaliyetler sera gazı emisyonlarının ana kaynakları olduğu için şehirler iklim değişikliğine önemli katkıda bulunur. Bu nedenle iklim değişikliği ile mücadelede sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik kentsel yönetimlerin katkısı çok önemlidir.

Kentsel faaliyetlerin önemli sera gazı emisyon kaynakları olmasının yanı sıra sera gazlarının sebep olduğu iklim değişikliğinin en çok etkileyeceği alanlardan biri de kentsel alanlardır. Şehirleşme için sıklıkla tercih edilen alanların, iklim değişikliğinin başlıca etkilerinden olan deniz seviyesindeki yükselme ve su kaynaklarında azalma gibi etkilerden en çok etkilenecek kıyı şeritleri ve/veya su kaynaklarına yakın yerler olması kent yönetimlerinin iklim değişikliğini ciddiye almalarında oldukça etkili olmaktadır. Sel, kuraklık ve fırtına gibi aşırı hava olayları, salgın hastalık riskleri, şehirlerin temel hizmetleri, altyapısı, konutları, insan geçim kaynakları ve sağlığı üzerinde yıkıcı ve maliyetli etkileri nedeniyle önemsenmektedir.

Dünya nüfusunun giderek daha büyük kısmı şehirlerde yaşadığı için hem yerel yönetimlerin rolü hemde çözümlere yapabilecekleri katkı büyümektedir. Yerel yönetimlerin, su ve enerjinin israf edilmemesi, bunların tüketiminin azaltılmasının teşvik edilmesi, toplu taşımacılığın özendirilmesi, yenilenebilir enerjinin payının artırılması, çöplerin ayrıştırılıp geri dönüştürülmesi gibi süreçleri bütüncül bir yaklaşımla planlayıp yönetmesi gerekmektedir (Barlas,2013). Sıfır atık üretmeyi ve sürdürülebilir şehirler kurmayı hedefleyen şehir yönetimleri bu noktada iklim değişikliği ile mücadele için umut vericidir.

Küresel düzeydeki karbon emisyonunun %18-20'sinden dünya genelinde en fazla karbon ayak izine sahip 100 kent sorumludur. Kentlerin ve yerel yönetimlerin iklim değişikliği ile mücadeye katkı sunabilmeleri için öncelikli olarak mevcut durumlarının doğru ve güvenilir şekilde tespitini yapmaları gerekmektedir. Bunun için ilk adım kendi ölçeklerinde sera gazı emisyon kaynaklarının ve emisyon miktarlarının belirlenerek şehir ve/veya seçili yerleşim birimi özelinde sera gazı emisyon envanterinin oluşturulması ve raporlanmasıdır. Yerel yönetimler ancak bu şekilde iklim değişikliğine uyum senaryoları üzerinde çalışabilir ve eylem planları geliştirebilir. Bunu yaparken güvenilir faaliyet verilerine erişim ve doğru yöntemler ile emisyon hesabının yapılması önemlidir.

Sera gazı emisyonlarının kentsel ölçekte hesaplanabilmesi için çeşitli rehberler hazırlanarak kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu rehberler arasında en yaygın olarak kabul gören GHG Protocol for Cities v1.1 (GPC-Şehirler için Sera Gazı Protokolü) olmuştur. CDP (Karbon Saydamlık Projesi) - ICLEI (Sürdürülebilirlik için Yerel Yönetimler) Unified Reporting Platform (Birleşik Raporlama Platformu) ve Global Covenant of Mayors (Küresel Belediye Başkanları Birliği) gibi uluslararası raporlama platformları tarafından da tanınmış bir rehberdir.

Kentsel sera gazı emisyonlarının hesaplanmasının bir sonraki adımı şüphesiz emisyonların azaltılması ve/veya dengelenmesine yönelik neler yapılabileceğinin tespiti olmalıdır. Atık yönetimi, diğer bir çok kentsel kaynak arasında, sorumluluğun ve yönetim kararlarının doğrudan ilgili yerel yönetimler tarafından üstlenildiği bir envanter bilşeni olmaktadır (Macleane ve Kennedy, 2011). Çöpe atılan atıklar

genellikle belediye yönetimleri tarafından yönetilen en büyük tek kentsel emisyon kaynağını temsil ettiğinden, aynı zamanda sera gazı azaltımları için bir fırsattır (Maclean ve Kennedy, 2011). Karar vericilerin uygun bir niceleme yöntemi seçerek katı atık politikalarını oluşturması, atık yönetiminden kaynaklanan emisyonları değerlendirmesi kentlerin iklim değişikliği ile mücadelelerinde önemli bir alan olarak dikkat çekmektedir.

Atık yönetiminde çevresel olarak daha sürdürülebilir kararlar alma ve uygulamalara yönelme konusunda yine çeşitli rehberlerden yararlanılması mümkündür. Bunlar arasında EPA (Amerika Çevre Koruma Ajansı) tarafından geliştirilen WARM (Atık Azaltma Modeli) sıklıkla tercih edilmektedir.

İklim değişikliği ile mücadelede ülkemizde de önemli adımlar atılmış ve atılmaktadır. Türkiye 2004 yılından itibaren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği ile Mücadele Çerçeve Sözleşmesine (UNFCCC) 2009 tarihi itibarı ile de Kyoto Sözleşmesine taraf olmuş bir ülkedir. Bu çerçevede her yıl UNFCCC sekreterliğine ulusal sera gazı envanteri raporlaması yapmaktadır. Ülkemiz, uzun vadede küresel ortalama sıcaklık artışının sanayileşme öncesi döneme göre 2°C altında tutulmasını ve buna ek olarak söz konusu sıcaklık artışının 1,5°C'nin altında tutulmasına yönelik küresel çabaların sürdürülmesini hedef alan Paris Anlaşmasını ise 7 Ekim 2021 tarihinde onaylamıştır. Bununla birlikte Türkiye, ekonomisini karbonsuzlaştırma yolunda, 2053 yılına kadar net-sıfır emisyon hedefini de duyurmuştur. Net sıfır emisyon, karbon yakalamaya hizmet edecek doğal ve teknolojik yutaklar kapasitesi ile sera gazı salım miktarının birbirine denk olması olarak açıklanabilir. Ülkemizin güncel doğal yutak kapasitesi dikkate alındığında bu hedefe göre 2053 yılı itibarıyla sera gazı emisyonlarımızın 80 milyon ton (Mt) CO₂e olması beklenmektedir. TÜİK tarafından 2019 yılı için açıklanan seragazı emisyon miktarı 506 Mt CO₂e olmuştur. Bu gelişmeler ışığında Türkiye'de sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik faaliyetlerin ne denli öncelik ve önem kazanacağı anlaşılmaktadır. Söz konusu hedefe ulaşmada yerel yönetimlere kuşkusuz çokça görev düşecektir.

Küresel düzeydeki sera gazı emisyonlarının 5'te 1'nden ilk 100 kent arasında Türkiye'den İstanbul 26. Ankara ise 80. sırada yer almaktadır. İstanbul Büyükşehir

Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü tarafından İstanbul 2020 Yılı Sera Gazı Emisyon Envanteri GPC Protokolüne uygun olarak Basic düzeyde hesaplanmış ve raporlanmıştır. İlgili kentsel envanter ayrıca C40 İklim Liderleri Grubu tarafından da onaylanmıştır. İstanbul 2020 yılı verilerine dayalı hesaplanan bu envantere kaynaklara göre sera gazı emisyon dağılımına bakıldığında, sabit enerji kaynaklı emisyonların %64 ile en yüksek paya sahip olduğu, bunu %26 ile ulaşım ve %10 ile atık sektörünün izlediği görülmektedir. İstanbul kentsel sera gazı emisyon envanteri ile ortaya konulan tablo, kentlerde enerji ve atık yönetiminin önemli odak noktaları olduğunu göstermektedir.

Tüm bu bilgiler ışığında, büyük şehirlerin alt birimleri olan yerel yönetimlerin (belediyeler), kendi idari yetki ve sorumluluk alanları içinde sera gazı emisyonları yönetimine ve net sıfır emisyon hedefine yönelik katkı sunmak üzere etkin birer paydaş olabilecekleri fark edilmelidir. Bu tez çalışmasında bu yaklaşımı desteklemek üzere İstanbul ili, Pendik ilçesi bir vaka çalışması olarak örneklenmiştir. Buna göre Pendik Belediyesi'nin idari sınırları dikkate alınarak kentsel sera gazı emisyon envanteri oluşturulmuş ve emisyon azaltımı sağlanabilecek enerji ve atık yönetimi odaklı senaryolar incelenmiştir.

BÖLÜM 2: LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. İklim Değişikliği ve Küresel Etkileri

İklim Değişikliği, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (UNFCCC), “Karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik” şeklinde tanımlanmıştır. Çok genel bir yaklaşımla, iklim değişikliği, “Nedeni ne olursa olsun iklim koşullarındaki büyük ölçekli (küresel) ve önemli yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş gelişen değişiklikler” biçiminde tanımlanabilir (Türkeş ve ark., 2000).

İklim Değişikliği üzerinde sanayi devrimine kadar doğal faktörler etkili olurken, sanayi devrimi sonrasında atmosferde gözlemlenen sera gazı birikimlerindeki artış, insan kaynaklı faaliyetler sonucunda meydana geldiği görülmektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli 'nin (IPCC) 6. Değerlendirme Raporuna (AR 6) göre, 1850–1900'dan 2010–2019'a kadar insan kaynaklı toplam muhtemel küresel yüzey sıcaklığı artışı 1,07 [0,8-1,3] °C'dir. Küresel yüzey sıcaklığı, 2011-2020'de 1850–1900'dan 1,09 [0,95-1,20] °C daha yüksektir. Karadaki sıcaklık artışı (1,59 [1,34-1,83] °C), okyanustakine (0,88 [0,68-1,01] °C) göre daha büyüktür. Aynı raporda sera gazlarının troposferik ısınmanın da ana etkeni olduğu belirtilmektedir.

Yeryüzü sıcaklık artışı için kritik eşiğin 1,5°C olduğu kabul edilmektedir. Zira 2050 yılında sıcaklık artışı 1,5°C civarında sınırlanmazsa iklim değişikliğinin kontrol edilemez bir seviyeye ulaşacağı ve küresel olarak öngörülemeyen birçok yıkıcı felaketin meydana geleceği tahmin edilmektedir. Sıcaklık artışı 2°C'ye yaklaştıkça, alınan önlemlerin etkisi gittikçe düşecek ve sıcaklık durdurulamayacak şekilde artmaya devam edecektir (İklim için kentler, 2019).

Bununla beraber AR 6'ya göre, çok yakın gelecekte sera gazı emisyonlarında ciddi azalma sağlanamaması halinde, 21. yüzyılda 1,5°C ve 2°C'lik küresel ısınma değerleri aşılabacaktır. Rapordaki ifadeye göre, “1850–1900 ile karşılaştırıldığında, 2081–2100 döneminde ortalama küresel yüzey sıcaklığının, çok düşük sera gazı emisyonu senaryosu (SSP1-1.9) altında 1,0°C ila 1,8°C olması, orta seviye sera gazı emisyonları

senaryosunda (SSP2-4.5) 2,1°C ila 3,5°C ve çok yüksek sera gazı emisyonları senaryosu (SSP5-8.5) altında 3,3°C ila 5,7°C olması muhtemeldir” (UNFCCC, AR 6).

Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak, dünya ölçeğinde hidrolojik döngüde önemli değişiklikler, kara ve deniz buzullarının erimesi, deniz seviyesi yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve salgın hastalıkların artması gibi, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir (Türkeş ve ark.,2000).

2.2. Sera Gazları ve iklim değişikliğine etki potansiyelleri

UNFCCC’ye göre emisyon envanterlerinde dikkate alınması gereken sera gazları; karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), perflorokarbonlar (PFCs), hidroflorokarbonlar (HFCs), sülfür hekzaflorür (SF₆) ve azot triflorür (NF₃)’dür.

Sera gazlarının yarattığı etki ile, güneşten gelerek yeryüzüne ulaşan ve kızılötesi ışınlar halinde geri yansıyan geri yayılan ışınlar soğurularak yüzeye geri yansıtılır. Bu şekilde yüzeyden yayılan bu ışınların yalnızca küçük bir bölümü uzaya geri gidebilir. Böylece Dünya’nın yüzeyi ve troposfer olması yaşamı destekleyecek seviyede korunabilmektedir. Bu olay güneş ışınlarıyla ısınan ama içindeki ısıyı dışarıya bırakmayan seraları andırır ve bu nedenle doğal sera etkisi olarak bilinir. Bu etki olmasaydı yeryüzünde ortalama sıcaklığın -18 °C civarında olacağı tahmin edilmektedir. Diğer taraftan şiddetli bir sera etkisi de Dünya’yı çok sıcak bir gezegen yapabilecektir. Sera etkisinin Dünya’yı olduğundan daha sıcak yapmasının yalnızca insan için değil tüm canlı türleri için yaşamsal önemi vardır (Batan, 2014).

Atmosferde, sera gazlarının miktarlarındaki artışlardan dolayı atmosferde kuvvetlenen sera etkisi beraberinde günümüzdeki küresel ısınma ve küresel iklim değişimi problemini ortaya çıkarmıştır (Kadıoğlu M., 2009). Sera gazı emisyonlarının aynı hızda devam etmesi, iklim sisteminin tüm bileşenlerinde daha fazla ısınmaya ve uzun süreli değişikliklere neden olarak insanlar ve ekosistemler için ciddi, yaygın ve geri döndürülemez etkilerin olasılığını artıracaktır (IPCC, AR5). Sıcaklık değerlerinin değişmesi ile birlikte ekolojik sistemin dengesinin bozulması, seller, kuraklık,

fırtınalar, buzulların erimesi, insan ve her türlü canlı yaşamının tehlike altına girmesi söz konusudur.

Yapılan bilimsel araştırmalar sonucunda bilim insanları sıcaklığın, 2°C ile sınırlandırılması gerektiğini belirtmektedirler. Tabi bu hedefe ulaşabilmek için karbon salınımlarının azaltılması yani atmosferdeki CO₂ oranının 450 ppm seviyesini aşmaması gerekmektedir. 2060 yılında sıcaklıktaki ortalama artışın 4°C'yi bulacağını belirten Dünya Bankası, bunun nedeni olarak karbon emisyonlarındaki artışı göstermiştir. Bu artış ne yazık ki, en çok özellikle yoksullukla, kuraklık ve açlıkla mücadele eden ülkelerde etkili olacaktır (Çelik S. ve ark. 2008).

Aşağıda UNFCCC tarafından belirlenen başlıca sera gazları, kaynakları, tarihsel olarak artış oranları ve iklim değişikliğine etkileri özetlenmiştir.

Karbondioksit (CO₂): Fosil yakıtların yakılması sonucu salınan başlıca sera gazıdır. Taşımacılıkta, bina ısıtmasında ve soğutmasında ve çimento ve diğer malların imalatında fosil yakıt kullanımından dolayı atmosferdeki CO₂ konsantrasyonları sürekli artmaktadır. Karbondioksit artışında ikinci etken, başta ormansızlaşma olmak üzere arazi kullanımındaki değişimdir. Ormansızlaşma; CO₂ salımını artırır ve bitkiler tarafından soğurulmasını azaltır. Bitki maddesinin çürümesi gibi doğal süreçlerde karbondioksit de açığa çıkar.

Karbondioksit konsantrasyonu enlemlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Kuzey enlemlerde CO₂ konsantrasyonu daha fazladır. Dünya üzerindeki CO₂ konsantrasyonunu %70 kömür, gaz, petrol yakıtlarından ve toprak kullanımının değişikliğinden kaynaklanmaktadır. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu arttığı zaman havayolu ile gelişen hastalıklarda artmaktadır.

Karbondioksit, en önemli antropojenik sera gazıdır. Küresel atmosferik karbondioksit konsantrasyonu, sanayi öncesi değer olan yaklaşık 280 ppm'den, %35'lik bir artış göstererek, 2005 yılında 379 ppm'e yükselmiştir (IPCC AR4). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli 'nin (IPCC) 5. Değerlendirme Raporunda (AR 5) gösterildiği gibi 2000 yılından itibaren olağanüstü hızlı bir büyüme döneminden sonra, küresel fosil yakıt ve endüstri ile ilgili CO₂ emisyonları 2014 ile 2016 yılları arasında (küresel

ekonomi genişlemeye devam ederken) neredeyse sabit kaldı, ancak 2017-2019 yıllarında tekrar arttı. 2014'ten bu yana tüm sera gazları için ortalama yıllık büyüme oranı, yıllık % 0,8 civarında olmuştur. (IPCC AR6)

Metan: Tarım, doğalgaz dağıtımı ve düzenli depolama ile ilgili insan faaliyetleri sonucunda metan artmıştır. Metan ayrıca sulak alanlarda meydana gelen doğal süreçlerden de salınır. Son yirmi yılda büyüme oranları düştüğü için, atmosferdeki metan konsantrasyonları şu anda artmamaktadır.

Nitröz oksit: Gübre kullanımı ve fosil yakıt yakma gibi insan faaliyetleri tarafından da salınır. Topraktaki ve okyanuslardaki doğal süreçler de N₂O salgılar.

Halokarbon gazı konsantrasyonları, öncelikle insan faaliyetleri nedeniyle artmıştır. Doğal süreçler de küçük bir kaynaktır. Temel halokarbonlar, atmosferde bulunmalarının stratosferik ozonun incelmesine neden olduğu bulunmadan önce, soğutma ajanları olarak ve diğer endüstriyel işlemlerde yaygın olarak kullanılan kloroflorokarbonları (örneğin, CFC-11 ve CFC-12) içerir. Ozon tabakasını korumak için tasarlanan uluslararası düzenlemeler sonucunda kloroflorokarbon gazlarının bolluğu azalmaktadır (IPCC, AR5).

Küresel iklim değişikliğinin gelecekteki potansiyel etkileri arasında daha sık orman yangınları, bazı bölgelerde daha uzun kuraklık dönemleri ve tropikal fırtınaların sayısında, süresinde ve yoğunluğundaki artış yer almaktadır.

Küresel iklim değişikliğinin çevre üzerinde halihazırda gözlemlenebilir etkileri olmuştur. Buzullar küçüldü, nehirlerdeki ve göllerdeki buzlar daha erken parçalandı, bitki ve hayvan aralıkları değişti ve ağaçlar daha erken çiçek açmaya başladı. Bilim insanlarının geçmişte küresel iklim değişikliğinden kaynaklanacağını tahmin ettikleri etkiler (deniz buzu kaybı, hızlanan deniz seviyesi yükselmesi ve daha uzun, daha yoğun ısı dalgaları gibi) şimdi gerçekleşmektedir (National Aeronautics and Space Administration (NASA) ,2022)

2.3. Küresel İklim Değişikliği Mücadelesi ve Mevcut Durum

Küresel ısınmayla ilgili ilk uluslararası teşebbüs 1972 yılında İsveç'in başkenti Stockholm'de BM himayesinde düzenlenen "İnsan ve Çevre Konferansı"dır. Çevre ile ilgili görüşmelerin yapıldığı bu ilk uluslararası Konferans'a Türkiye dahil 113 ülke katılmıştır. Aynı yıl BM Çevre Programı (UN Environment Programme UNEP) kurulmuştur. İlk konferanstan yedi yıl sonra Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından 12-13 Şubat 1979 tarihinde Cenevre'de iklimle ilgili ikinci konferans toplanmıştır. Bu Konferansı 1985 yılı Villach ve 1987 yılı Toronto Konferansları takip etmiştir. 1988 yılında IPCC kurulmuş ve ilk raporunu 1990 yılında yayınlamıştır. İklim ve küresel ısınmayla alakalı ikinci geniş katılımlı konferans yine 1990 yılında Cenevre'de gerçekleştirilmiştir. 1990 yılındaki Konferansta ilk defa küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle mücadele için önemli kararlar alınmıştır. İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında, 3-14 Haziran 1992 tarihleri arasında Brezilya'nın Rio de Janeiro kentinde BM himayesinde 172 ülkenin katılımıyla gerçekleşen görüşmeler sonrasında imzaya açılan üç sözleşmeden birisi olan ve 9 Mayıs 1992 tarihinde New York'ta imzalanan BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) dünyanın ilk iklim sözleşmesidir (Köse İ.,2018).

BMİDÇS'nin yürürlüğe girmesinden itibaren ise her yıl " taraflar konferansı (COP)" düzenlenmeye başlanmış ve 2018 yılının sonuna kadar dünyanın farklı kentlerinde 24 " taraflar konferansı" gerçekleştirilmiştir. Ancak Berlin Zirvesi'nden (COP1) Katowice Zirvesi'ne (COP24) kadar gerçekleştirilen taraflar konferanslarından Kyoto (COP3) ve Paris zirvelerinin (COP21) dışında maalesef çok etkili neticeler alınamamıştır. BM, iklim değişikliği ile ilgili mücadele çabalarında en belirgin ilerlemeleri, 3. taraflar konferansının ürünü olan Kyoto Protokolü ve 21. taraflar konferansının ürünü olan Paris İklim Anlaşması ile sağlamıştır. 2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü, BMİDÇS'den farklı olarak sanayileşmiş ülkelere bağlayıcı nitelikte sera gazı azaltım yükümlülüğü getirmiştir. 2015 Aralığında gerçekleştirilen COP 21'de ise BMİDÇS'ye taraf olan 197 ülkenin hepsinin küresel iklim değişikliğini 2100 senesine kadar sanayi öncesi döneme göre 2 °C'nin altında ve

mümkünse 1.5°C ile sınırlanmasını öngören Paris Anlaşması imzalanmıştır. 2020’de işlerlik kazanacak olan bu yeni anlaşmayı günümüze kadar 185 ülkenin onayladığı görülmektedir (Öztürk M. ve Öztürk A,2019).

Ülkemiz ise Paris İklim Anlaşması’nı, 22 Nisan 2016 tarihinde, New York’ta düzenlenen Yüksek Düzeyli İmza Töreni’nde 175 ülke temsilcisiyle birlikte imzaladı ancak anlaşmaya taraf olmamıştı (CSB). Türkiye, Paris İklim Anlaşması’nı 07 Ekim 2021 tarihinde Türkiye Büyük Millet Meclisinde onaylayarak iklim değişikliği konusunda adım atılmış oldu. Böylelikle taraf olduğumuz Paris iklim anlaşması ile ilgili kanun Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

2.4. İklim Değişikliği ile Mücadelede Şehirler ve Yerel Yönetimler

Birleşmiş Milletler (BM), Dünya nüfusunun %54’ünün şehirlerde yaşadığını tahmin ediyor ve 2050’ye kadar bu oran %66’ya kadar yükseleceğini öngörüyor. Yüzyılın başında 2000 yılında, dünya çapında 1 milyon veya daha fazla nüfusa sahip 371 büyükşehir vardı. 2018 yılına kadar, en az 1 milyon nüfusa sahip şehirlerin sayısı 548’e yükseldi ve 2030’da, öngörülen 706 şehirde en az 1 milyon kişi olacak. Nüfusu 10 milyondan fazla olan şehirler genellikle “mega kentler” olarak adlandırılır. Küresel olarak, mega kentlerin sayısının 2018’de 33’ten 2030’da 43’e çıkması bekleniyor. 2018 ve 2030 yılları arasında, kentsel nüfusun tüm büyüklük sınıflarında artacağı, kırsal nüfusun ise biraz azalacağı tahmin edilmektedir (UN, The World’s Cities in 2018).

Küresel iklim değişikliğinin temel nedenleri; nüfus artışı ve buna bağlı enerji tüketimi, toprak kullanımı, uluslararası ticaret ve ulaşım gibi diğer insan aktivitelerindeki artış ile sanayinin gelişmesidir. Dünya genelindeki toplam enerji kullanımının büyük bir oranı gittikçe kalabalıklaşan kentlerde gerçekleşmektedir. Dünyadaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %75’i kentlerden kaynaklanmaktadır. Kentler aynı zamanda üretim ve tüketim faaliyetlerinin de ana mecralarıdır. Dünya genelinde toplam 600 kent küresel GSYİH’in %60’ına sahiptir (İklim İçin Kentler, 2019).

İklim değışikliği, kentsel yaşamı büyük ölçüde etkileyen küresel bir olgudur. Yükselen küresel sıcaklıklar deniz seviyelerinin yükselmesine neden olur, sel, kuraklık ve fırtına gibi aşırı hava olaylarının sayısını ve tropikal hastalıkların yayılmasını artırır. Tüm bunların şehirlerin temel hizmetleri, altyapısı, konutları, insan geçim kaynakları ve sağlığı üzerinde maliyetli etkileri vardır. Aynı zamanda, kentsel faaliyetler sera gazı emisyonlarının ana kaynakları olduğu için şehirler iklim değışikliğine önemli katkıda bulunur. Tahminler, şehirlerin küresel CO₂ emisyonlarının yüzde 75'inden sorumlu olduğunu, ulaşım ve binaların iklim değışikliğine en büyük katkı sağlayanlar arasında olduğunu göstermektedir. (UNEP)

Dünyadaki toplam karbon emisyonunun %75'i kent kaynaklıdır. Küresel düzeydeki karbon emisyonunun %18-20'sinden dünya genelinde en fazla karbon ayak izine sahip 100 kent sorumludur. Bu sıralamada, Türkiye'den İstanbul 26. Ankara ise 80. sırada yer almaktadır. Kentlerdeki fosil yakıtlara bağımlı enerji kullanımında herhangi bir değışiklik olmadığı takdirde, kent kaynaklı karbon emisyonunun 2050 yılında 2005 yılına göre üç kat artacağı öngörülmektedir (İklim için kentler,2019).

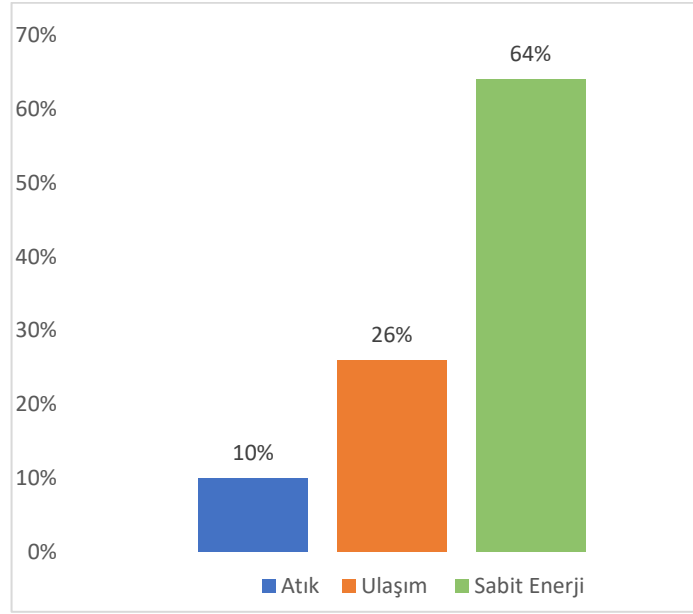
İklim değışikliği ile mücadele küresel, bölgesel, ulusal ve yerel düzeylerde koordineli bir yaklaşım ve eylemle başarıya ulaşılabilir. Bu nedenle, şehirleri iklim değışikliğiyle mücadelede çözümün ayrılmaz bir parçası haline getirmek çok önemlidir. Pek çok şehir, endüstriyel emisyonları sınırlamak için yenilenebilir enerji kaynakları, daha temiz üretim teknikleri ve yönetmelikler veya teşvikler kullanarak halihazırda çok şey yapıyor. Emisyonların azaltılması aynı zamanda endüstrilerden ve ulaşımından kaynaklanan yerel kirliliği azaltacak, böylece kentsel hava kalitesini ve şehir sakinlerinin sağlığını iyileştirecektir (UNEP).

2.5. İstanbul İli Sera Gazı Emisyon Envanteri

Çevre Koruma Müdürlüğümüzce GPC (Global Protocol for Community) Protokolüne uygun olarak Basic düzeyde İstanbul 2020 Yılı Sera Gazı Emisyon Envanteri hesaplanmıştır. Hesaplanan envanter C40 İklim Liderleri Grubu tarafından onaylanmıştır. 2020 yılı İstanbul ili için sera gazı emisyon miktarı 47.880.005 tCO₂

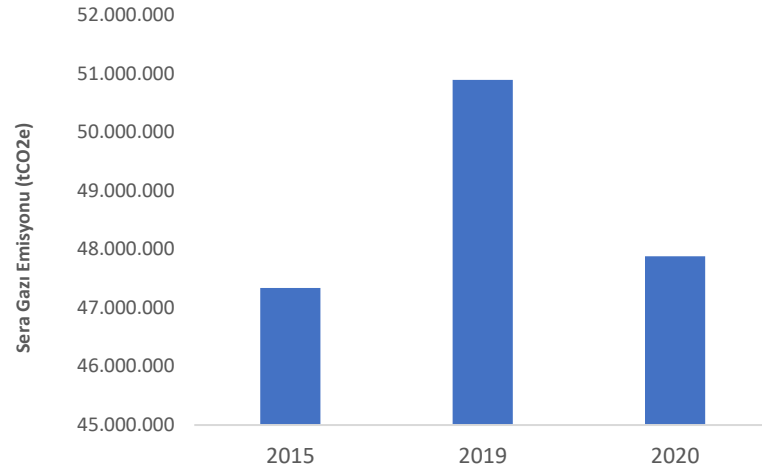
eşdeğer olarak hesaplanmış olup, kişi başına düşen emisyon miktarı ise 3,1 tCO₂e olmuştur.

Toplam sera gazı miktarları kıyaslandığında, envanterde geçen yıla kıyasla 3 milyon kadarlık sera gazı azaltımının gerçekleştiği görülmüştür. Dağılıma bakıldığında ise, envanteri oluşturan en büyük payı %64'lük oran ile sabit enerjinin, sonrasında %26'lık pay ile ulaşım ve %10'luk pay ile atık sektörü oluşturmaktadır (Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, İBB).



Şekil 2.1. İstanbul 2020 yılı Sera Gazı Envanteri Sektörel Dağılımı (İBB)

İstanbul'un 2015 yılı için GPC 2014 BASIC yaklaşımına göre hesaplanan toplam karbon ayakizi 47.340.725 CO₂eşdeğer olarak hesaplanmıştır. Dağılıma bakıldığında, envanteri oluşturan en büyük payı %66'lık oran ile sabit enerjinin, sonrasında %28'lik pay ile ulaşım ve %6'lık pay ile atık sektörü oluşturmaktadır (İstanbul Sera Gazı Envanter Raporu,2015). Sektörel dağılıma bakıldığında ise 2015 yılından bu yana atık sektörünün envanterdeki payını %4 arttırdığı görülmektedir.



Şekil 2.2. İstanbul İli Sera gazı Emisyonu Yıllara göre Dağılımı

Pandemi krizi, küresel karbondioksit emisyonlarında geçici bir düşüşe yol açmıştır. Pek çok işletmenin kapandığı ve insanların mümkün olduğunca evlerinden çıkmadığı bu olağanüstü durumda, sera gazı emisyonlarının %5,5 azalabildiği belirlenmiştir (Sancar O. Ve Bostancı S.H., 2020). Şekil 2.2'ye göre 2015-2019 yılları arasındaki 4 senede yaklaşık %5 oranındaki emisyon artışının 2020 yılında pandemi sebebi ile %5 oranında azaldığı görülmektedir.

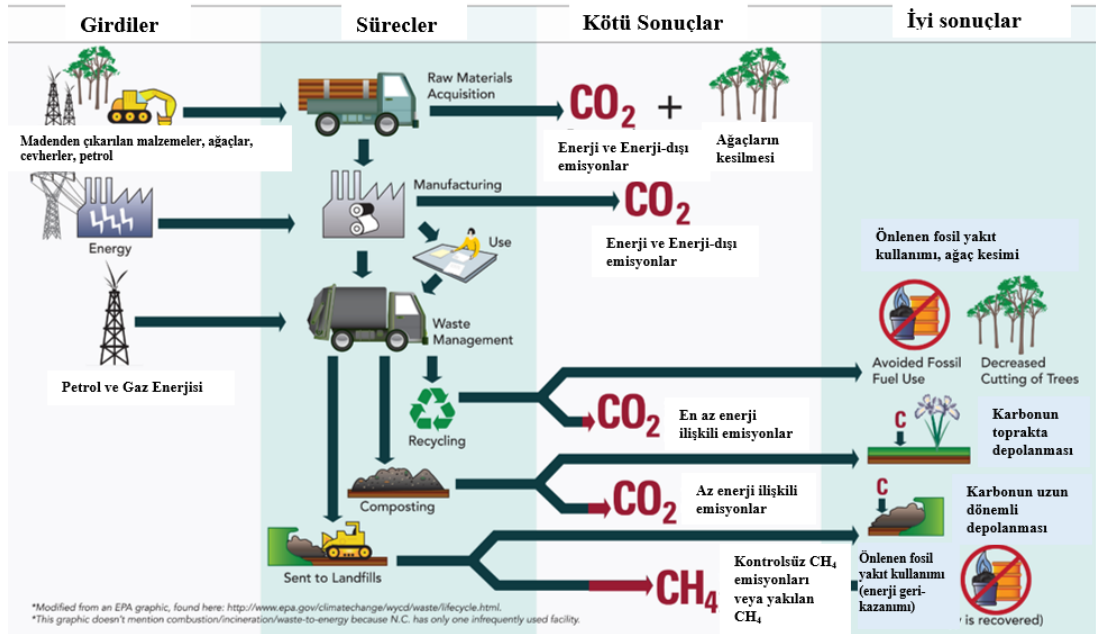
2.6. Atık Yönetiminin Kentsel Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

İklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilirlik anlayışı atık yönetimindeki bakış açısını da yeniden şekillendirmektedir. Geleneksel olarak atık yönetiminde önceliklenen kritik çevresel konular atıkların emniyetli işlenmesi ve bertaraf ile birlikte atıklardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının da dikkate alınması gerekli hale gelmiştir. Katı atıkların yönetimi için seçilen yöntem belli oranlarda küresel ısınmaya etki etmektedir (Chen ve ark. 2020). Elbette dünyanın farklı yerlerinde bölgesel farklılıklardan dolayı atık yönetiminde farklı yaklaşımlar tercih edilmektedir. Evsel katı atıkların içinde yer alan her bir materyal bileşeni, uygulanacak atık bertaraf yöntemine bağlı olarak farklı bir sera gazı emisyonuna neden olacaktır. Dolayısıyla,

atık yönetimi sürecinde açığa çıkan sera gazı miktarını belirleyen en önemli etkenler atığın fiziksel kompozisyonu, yani hangi miktarda ve oransal ağırlıkta atık bileşenlerinden oluştuğu ve bertarafı için hangi yaklaşımın tercih edildiğidir. Gelişmiş ülkeler için atık/atıksu deşarjı ve artık/bertaraf teknolojileri halihazırda belli bir homojenliğe sahip kabul edilebilir.

Atığın fiziksel bileşenleri ve miktarı, atığın oluştuğu sosyal topluluğun yaşam biçimleri, alım güçleri, materyal tüketim davranışları ve söz konusu toplulukta uygulanan politikalara uyumu ile şekillenmektedir. Bu nedenle atık yönetimi için öncelikli adım ilgili atık kompozisyonunun doğru belirlenmesidir. Her bir atık bileşeni ve ne şekilde bertaraf edildiği yerel ölçekte tespit edilmelidir. Buna göre sera gazı azaltımına yönelik idari kararların uygulanması sonucu elde edilebilecek faydalar ortaya konabilmektedir.

Atık oluşumu ve yönetiminde yaşam döngüsü yaklaşımının uygulanmasına yönelik atık oluşumundan ve nihai bertarafına kadar olan döngünün sera gazı emisyonları ile ilişkisi anlaşılmalıdır. Atık yönetimi ve ilişkili sera gazı emisyonlarını özetleyen bir grafik Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Atık süreçleri ve sera gazı emisyonları ile ilişkisi (EPA)

Buna göre atık yönetimi ile elde edilebilecek emisyon azaltımı malzemelerin yeraltından kazınmaları işlenmeleri, taşınmaları, işlenmeleri, kullanılmaları, atık haline gelmeleri ve bertaraf edilemeli dahil tüm süreçler göz önüne alınarak hesaplanmalıdır.

Kentsel atık yönetiminde mevcut farklı bertaraf yöntemlerinin sera gazı emisyonlarına ilişkin literatürde örneklere rastlanmaktadır. Örneğin, Chen ve Lin (2008) Tayvan’da Taipei şehrinde evsel katı atıkların yönetimine ilişkin sera gazı emisyonları yaşam döngüsü envanterlerleme yaklaşımı ile belirlemiştir. Bu çalışmaya göre geri-kazanım en etkili emisyon azaltım tercihi olarak belirlenmiş, mutfak atıklarının hayvan beslenmesinde kullanımının ise en yüksek emisyon değerleri ile sonuçlanacağı tespit edilmiştir. Ayrıca atıkların taşındığı araçların daha verimli hale getirilmesinin enerji kullanımını azaltarak emisyonların azaltılmasına katkıda bulunacağı belirtilmiştir.

Buna benzer atık yönetimi senaryolarında, yakma sonrası düzenli depolamaya göndermenin düzenli depolamadaki metan üretimini azaltması ve elektrik elde edilebilmesi sonucunda emisyon azaltımına olumlu katkısı olabilirken, örneğin kompostlaştırma kaynaklı emisyonların daha yüksek emisyonu neden olması söz konusu olablmektedir.

Kritanto ve Koven (2019) Endonezya’nın Depok şehrinde günlük olarak üretilen 1.120 ton atığın mevcut uygulamalar sonucu 299.602,6 kg CO₂e/gün sera gazı emisyonuna neden olduğunu hesaplamışlardır. Çalışmalarında, bu emisyonların azaltılmasına yönelik, arıtma sistemi, yakma ünitesi, kompostlaştırma anaerobik çürütme ve düzenli depolama gibi uygulamaları içeren dört farklı senaryo değerlendirmişlerdir. En iyi senaryoda, 150 ton/gün atığın kompostlaştırılması, 80 ton/gün atığın arıtma birimine gönderilmesi, 500 ton/gün atığın anaerobik çürütücüye gönderilmesi ve 390 ton/gün atığın ise düzenli depolamaya gönderilmesi sonucu net sera gazı emisyonlarının 202.800 kg CO₂e/gün’e düşürülebileceği ortaya konmuştur (Kristanto, G.A. ve Koven, W.,2019).

BÖLÜM 3 GEREÇ VE YÖNTEM

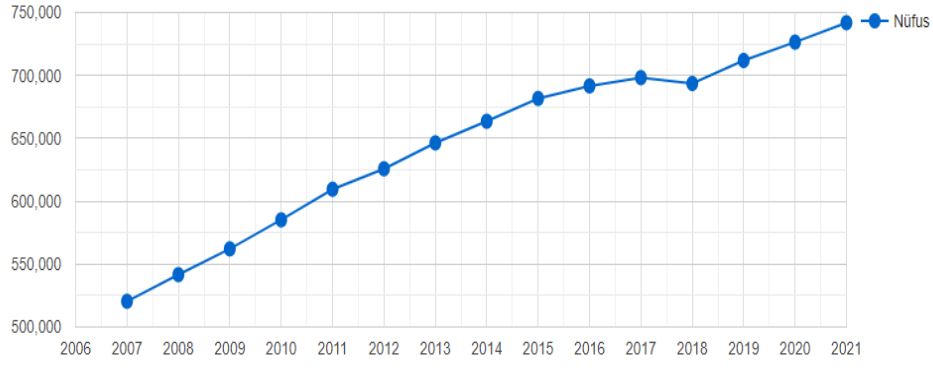
3.1 Vaka Çalışması Örneklemesi

İstanbul Büyükşehir Belediye’sinin, kentsel sera gazı emisyon faaliyetlerinin yönetilmesi ve sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar 2019 yılı emisyon değerinden %52,2 oranında azaltım hedefine ulaşılmasına yönelik en önemli paydaşlardan biri nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu ilçeler olacaktır. Pendik ilçesi (Şekil 3.1) İstanbul ilçeleri arasında en yüksek nüfusa sahip 4. ilçedir. Ayrıca nüfus yoğunluğu bakımından İstanbul ortalaması 2.982 kişi/km² iken Pendik ilçesi nüfus yoğunluğu 3.824 kişi/km²’dir.



Şekil 3.1: İstanbul ili ve Pendik ilçesinin yerleşimi, www.atlasbig.com.tr

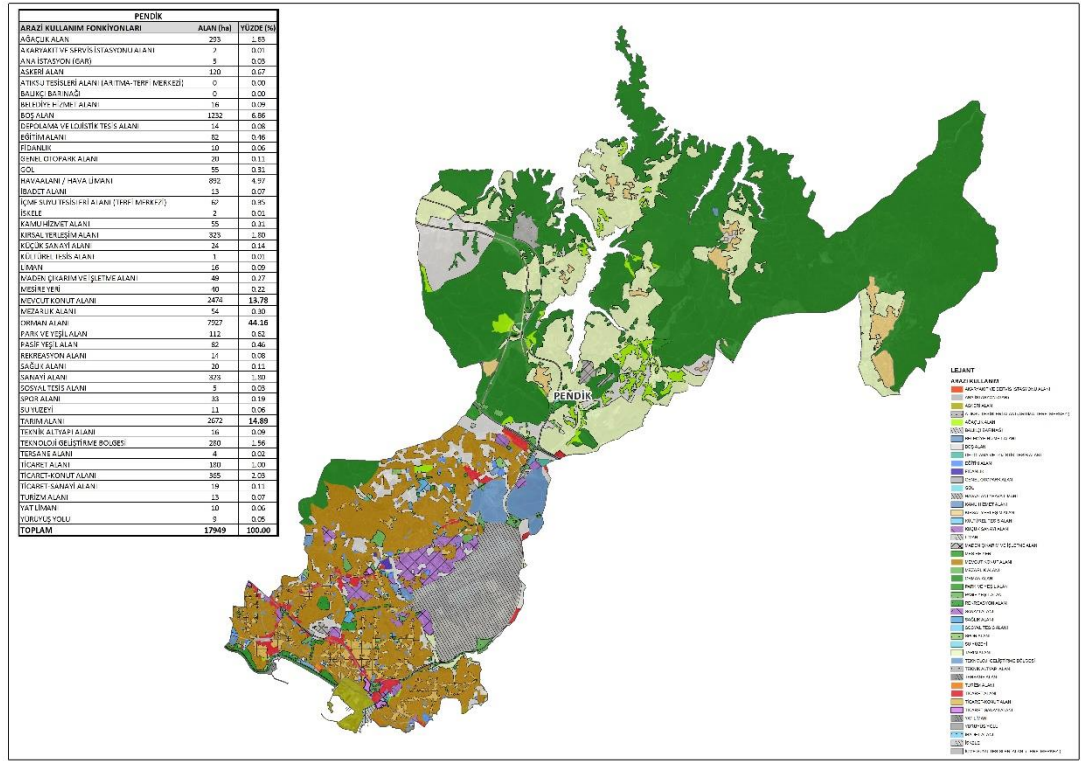
Pendik ilçesinin 2021 yılı itibarıyla nüfüsü 741.895 olup ortalama nüfus artış hızı %2 ile en hızlı artış gösteren ilçeler arasında yer almaktadır. Mevcut trendin önümüzdeki yıllarda yeni yerleşim yerlerinin açılması ve göç nedeniyle devam edeceği düşünülmektedir.



Şekil 3.2. Pendik ilçesi nüfus artışı

Bununla beraber hem karasal alanda hem de kıyı şeridinde kentleşme görülen, aynı zamanda kırsal alanlara da sahip bir ilçedir. Ulaşım faaliyetleri açısından önemli bir merkez olan Pendik ilçesinde bir adet uluslararası havalimanı, marina, tersane, deniz ulaştırmasına yönelik deniz otobüsü, feribot, vb. ulaşım bileşenleri, metro ve Marmaray raylı sistemleri, kara yolcu taşımacılığına yönelik geniş bir ağ ile hizmet eden belediye otobüs hatları mevcuttur. İlçedeki arazi kullanımı incelendiğinde, %44'ünün ormanlık alan, %15'inin tarım alanı, %16'ünün konut alanı (%2'si ticari konut) olduğu görülmekte, ayrıca havalimanı (%5 arazi kullanımı), liman, iskele, yat limanı, gar gibi önemli ulaşım odak noktaları dikkat çekmektedir. Sanayiye yönelik arazi kullanımının ise %2 civarında olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.2).

Tüm bu bilgiler ışığında, bu tez çalışmasında İstanbul ili, Pendik ilçesi kentsel faaliyetleri neticesinde oluşan Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonlarının Topluluk Ölçekli Sera Gazı Salım Envanterleri için Global Protokolü'ne (Global Protocol for Community - GPC) göre hesaplanmasının ve olası emisyon azaltım senaryolarının incelenmesinin bu yönde anlamlı bir katkı sunacağı düşünülmüştür.



Şekil 3.3. Pendik ilçesi arazi kullanımı, (Şehir Planlama Müdürlüğü, İBB)

GPC raporlama gerekliliklerine göre envanteri hazırlanacak kentsel alana ait istenen tanıtım bilgileri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Pendik İlçesi Genel Bilgiler

Envanter sınırları	Kent bilgileri
Kentin adı	Pendik
Şehir, Ülke	İstanbul, Türkiye
Envanter dönemi	2020
Coğrafi Konum	40°52'46" N 29°15'29"E
Arazi alanı (km ²)	200 km ²
Nüfus (2020)	726.481
İklim	Kış aylarında Balkanlar'ın soğuk havası ile Karadeniz'in yağışlı havası etkisini gösterir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık geçer. Yıllık ortalama nem oranı %73, sıcaklığı ise 15° C.

3.1. GPC Envanter oluşturma yaklaşımı

GPC'ye göre kentsel faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları altı ana sektöre ayrılmaktadır:

- Sabit enerji
- Ulaşım
- Atık
- Endüstriyel prosesler ve ürün kullanımı (IPPU)
- Tarım, ormancılık ve diğeri arazi kullanımı (AFOLU)
- Kentsel faaliyetler sonucu coğrafi sınırların dışında oluşan diğeri emisyonlar

Bu sektörlere ilişkin alt-sektörler ve alt-kategoriler Tablo 3.2'de detaylandırılmıştır.

Tablo 3.2. GPC Sektörler ve alt-sektörler

Sabit enerji
Konutlar
Ticari ve kurumsal binalar ve tesisler
İmalat sanayi ve inşaat
Enerji endüstrisi
Tarım, ormancılık ve balıkçılık faaliyetleri
Kaçak emisyonlar
Ulaşım
Karayolu
Demiryolu
Deniz, nehir, göl taşımacılığı
Havacılık
Off-road
Atık
Katı atık bertarafı
Atıkların biyolojik arıtımı
İncinerasyon ve açıkta yakma
Atıksu arıtımı ve deşarjı
Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı (IPPU)
Endüstriyel prosesler
Ürün kullanımı
Tarım, Ormancılık ve diğeri Arazi Kullanımı (AFOLU)

Hayvancılık
Arazi
Arazide CO ₂ -dışı emisyon kaynakları

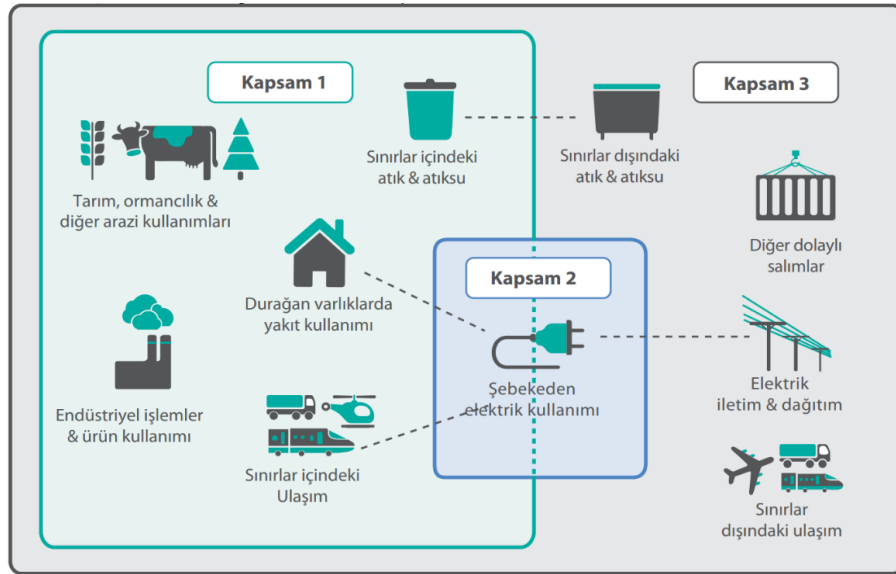
Kentsel alanda gerçekleşen faaliyetlerden kaynaklı sera gazı salımları kentsel sınırlar içinde olabileceği gibi, kentsel sınırlar dışında da oluşabilir. GPC yaklaşımında bu emisyonların ayrıştırılmasına yönelik olarak üç kategori belirlenmiştir. Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 emisyonları Tablo 3.3'te açıklanmıştır.

Tablo 3.3. Sera gazı salım kaynaklarının sınırları

Kapsam (Scope)	Tanım
Kapsam 1* “Yerel emisyonlar”	Kent sınırları içinde oluşan SG emisyonları
Kapsam 2	Kent sınırları içinde kullanılan şebeke elektriği, ısı, buhar ve/veya soğutma kaynaklı SG emisyonları
Kapsam 3	Kent sınırları içinde gerçekleşen faaliyetlerin bir sonucu olarak kent sınırları dışında oluşan diğer tüm SG emisyonları

* “Yerel emisyonlar” (territorial emissions)

Kentsel emisyon envanterinde coğrafi sınırlar içinde, dışında veya sınırlar arasında gerçekleşen emisyonlar Şekil 3.4'te şematize edilmiştir.



Şekil 3.4. Sera gazı salımlarının kaynakları ve sınırları (GPC, 2021)

GPC rehberine göre yapılan Sera gazı raporlamasında iki raporlama seviyesi tanımlanmıştır. BASIC raporlama seviyesi, Sabit Enerji ve Ulaşım kaynaklı Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyonlarını ve kentsel sınırlarda üretilen atıklardan kaynaklı emisyonları ve BASIC+ raporlama seviyesi ise bunlara ilave olarak IPPU, AFOLU, kentsel sınırları aşan ulaşım ve enerji iletimi ve dağıtımı kayıpları kaynaklı emisyonları da içermektedir. GPC rehberinde tanımlı kaynak ve kapsamlar Şekil 3.5’te gösterilmiştir.

Şekil 3.5. GPC’de tanımlı sera gazı kaynakları ve kapsamlar (GPC, 2021)

SEKTÖR VE ALT SEKTÖRLER	KAPSAM 1	KAPSAM 2	KAPSAM 3
SABİT ENERJİ			
Konutlar	√	√	√
Ticari/Kurumsal Binalar	√	√	√
İmalat Sanayi ve İnşaat	√	√	√
Enerji Endüstrisi	√	√	√
Şebekeye Sağlanan Enerji Üretimi	√		
Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Faaliyetleri	√	√	√
Belirlenmemiş Kaynaklar	√	√	√
Kömür madenciliği, işlenmesi, depolanması ve taşınmasından kaynaklanan kaçak salımlar	√		
Petrol ürünleri ve doğalgaz sistemlerinden kaynaklanan kaçak salımlar	√		
ULAŞIM			
Karayolu Taşımacılığı	√	√	√
Demiryolu Taşımacılığı	√	√	√
Denizyolu Taşımacılığı	√	√	√
Havacılık	√	√	√
Yol Dışı	√	√	
ATIK			
Şehirde oluşan Katı Atık Bertarafı	√		√
Şehir dışında oluşan katı atık bertarafı	√		
Şehirde oluşan Atıkların Biyolojik Arıtımı	√		√
Şehirde dışıda oluşan Atıkların Biyolojik Arıtımı	√		
Şehirde oluşan atıklar için İnsinerasyon ve Açık Yanma	√		√
Şehirde dışıda oluşan atıklar için İnsinerasyon ve Açık Yanma	√		
Şehir içinde oluşan Atıksu	√		√
Şehir dışında oluşan Atıksu	√		
ENDÜSTRİYEL PROSESLER VE ÜRÜN KULLANIMI			
Endüstriyel Prosesler	√		
Ürün Kullanımı	√		

TARIM, ORMANCILIK VE ARAZI KULLANIMI			
Hayvancılık Faaliyetleri	√		
Araziler	√		
Arazi üzerindeki toplu kaynaklardan ve CO ₂ olmayan kaynaklardan gelen salımlar	√		
KAPSAM 3			
Diğer Kapsam 3			

√ GPC kapsamındaki kaynaklar	● BASIC+ raporlaması için gerekli kaynaklar
● BASIC+ raporlaması için gerekli kaynaklar	● BASIC/BASIC+ raporlaması için değil, bölgesel toplam için gerekli kaynaklar
● Diğer Kapsam3'e dahil olan kaynaklar	● Uygulanabilir olmayan emisyonlar

Çalışmada dikkate alınan sektörler, alt sektörler ve Kapsam 1 ve Kapsam 2 emisyon sınıflandırması ve envanterdeki uygulamaları Tablo 3.4'te özetlenmiştir.

Ulaşılamayan veriler GPC'nin aşağıda listelenen gösterim ve kısaltmalarına göre gerekçelendirilerek kategorize edilmiştir

Başka Kategoriyeye Dâhil Edilen/Included Elsewhere (IE): Bu aktivite dâhilindeki salımlar envanterin başka bir kategorisi altında hesaplanıp sunulmuştur.

Hesaplanmamış/Not Estimated (NE): Salımlar ortaya çıkmakta; ancak hesaplanmamış veya rapor edilmemiştir.

Gerçekleşmeyen/Not Occurring (NO): Bu aktivite altında herhangi bir faaliyet ya da proses gerçekleşmemektedir.

Gizli/Confidential (C): Salımlar ortaya çıkmakta; ancak özel sektör verilerine dayandığı için gizlilik ilkesi ile koruma altındadır.

Tablo 3.4. Sera gazı emisyon kaynakları ve envanterdeki uygulamaları

	GPC No.	Kapsam	Sera Gazı Salım Kaynakları	Uygulama	Gösterge Kodları
GPC 2021 Basic Raporlama					IE-NE-NO-C
Sabit Enerji	I.1.1	1	Konutlar Doğrudan Salımlar	Dahil	
	I.1.2	2	Konutlar Dolaylı Salımlar	Dahil	
	I.2.1	1	Ticari/Kurumsal Binalar Doğrudan Salımlar	Dahil	
	I.2.2	2	Ticari/Kurumsal Binalar Dolaylı Salımlar	Dahil	
	I.3.1	1	İmalat Sanayi ve İnşaat Doğrudan Salımlar	Dahil	
	I.3.2	2	İmalat Sanayi ve İnşaat Dolaylı Salımlar	Dahil	
	I.4.1	1	Enerji Endüstrisi Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (Kent sınırları fosil enerji üretim santrali bulunmamaktadır)
	I.4.2	2	Enerji Endüstrisi Dolaylı Salımlar	Dahil değil	NO (Kent sınırları fosil enerji üretim santrali bulunmamaktadır)
	I.5.1	1	Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Faaliyetleri Doğrudan Salımlar	Dahil	IE (İmalat Sanayi ve İnşaat dahildir)
	I.5.2	2	Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Faaliyetleri Dolaylı Salımlar	Dahil	IE (İmalat Sanayi ve İnşaat dahildir)
	I.6.1	1	Belirlenmemiş kaynaklar Doğrudan salımlar	Dahil değil	NE (veri eksikliği sebebiyle)
	I.6.2	2	Belirlenmemiş kaynaklar Dolaylı salımlar	Dahil değil	NE (veri eksikliği sebebiyle)
	I.7.1	1	Kömür madenciliği, işlenmesi, depolanması ve taşınmasından kaynaklanan kaçak salımlar	Dahil değil	NO (kömür madenciliği faaliyeti mevcut değildir)
	I.8.1	1	Petrol ürünleri ve doğalgaz sistemlerinden kaynaklanan kaçak salımlar	Dahil değil	NO (ihmal edilmiştir)
	I.1.3 – I.5.3	3	Şebekeden enerji tüketimi sırasında oluşan iletim ve dağıtım kayıplarından oluşan emisyonlar	Dahil	
Ulaşım	II.1.1	1	Karayolu Taşımacılığı Doğrudan Salımlar	Dahil	
	II.1.2	2	Karayolu Taşımacılığı Dolaylı Salımlar	Dahil değil	NO (ihmal edilmiştir)
	II.2.1	1	Demiryolu Taşımacılığı Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (Fosil yakıtlı demiryolu taşımacılığı yapılmamaktadır)
	II.2.2	2	Demiryolu Taşımacılığı Dolaylı Salımlar	Dahil	

	II.3.1	1	Denizyolu Taşımacılığı Doğrudan Salımlar	Dahil	
	II.3.2	2	Denizyolu Taşımacılığı Dolaylı Salımlar	Dahil değil	NO (Elektrikli denizyolu taşımacılığı yapılmamaktadır)
	II.4.1	1	Havacılık Doğrudan Salımlar	Dahil	
	II.4.2	2	Havacılık Dolaylı Salımlar	Dahil değil	NO (Elektrikli havacılık yapılmamaktadır)
	II.5.1	1	Yol Dışı Doğrudan Salımlar	Dahil	IE (Karayolu Taşımacılığına dahildir)
	II.5.2	2	Yol Dışı Dolaylı Salımlar	Dahil	IE (Ticari elektrik üretimine dahildir)
	II.1.3- II.4.3	3	Sınıraşan seyahatlerin kentsel sınırlar dışında kalan kısmından ve şebekeden enerji tüketimi sırasında oluşan iletim ve dağıtım kayıplarından oluşan emisyonlar	Dahil değil	NE (veri eksikliği sebebiyle)
Atık	III.1.1	1	Katı Atık Bertarafı Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (Kent sınırları içerisinde katı atık depolama veya vahşi depolama yapılmamaktadır)
	III.1.2	3	Katı Atık Bertarafı Dolaylı Salımlar	Dahil	
	III.2.1	1	Atıkların Biyolojik Arıtımı Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (Kent sınırları içerisinde katı atıklar biyolojik olarak işlenmemektedir)
	III.2.2	3	Atıkların Biyolojik Arıtımı Dolaylı Salımlar	Dahil	
	III.3.1	1	İnsinerasyon ve Açık Yanma Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (Kent sınırları içerisinde katı atıklar yakılmamaktadır)
	III.3.2	3	İnsinerasyon ve Açık Yanma Dolaylı Salımlar	Dahil	
	III.4.1	1	Atıksu Arıtımı ve Deşarjı Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (Kent sınırları içerisinde atıksu arıtımı gerçekleştirilmemektedir)
	III.4.2	3	Atıksu Arıtımı ve Deşarjı Dolaylı Salımlar	Dahil	
	III.1.3- III.4.3	1	Atıklar Şehir sınırları dışında üretilen fakat şehir sınırları içinde bertaraf edilen atıklar kaynaklı salımlar	Dahil değil	NO (Sınırların dışınan kente atık taşınmamaktadır)
Endüstriyel Prosesler ve Ürün	IV.1	1	Endüstriyel Prosesler Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (Endüstriyel faaliyetler ihmal edilmiştir)
	IV.2	1	Ürün Kullanımı Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (Endüstriyel faaliyetler ihmal edilmiştir)
Tarım, Ormancılık ve Arazi Kullanımı	V.1	1	Hayvancılık Faaliyetleri Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (AFOLU faaliyetler ihmal edilmiştir)
	V.2	1	Araziler Doğrudan Salımlar	Dahil değil	NO (AFOLU faaliyetler ihmal edilmiştir)
	V.3	1	Arazi üzerindeki toplu kaynaklardan ve CO₂ olmayan kaynaklardan gelen salımlar	Dahil değil	NO (AFOLU faaliyetler ihmal edilmiştir)

3.2.Hesaplama yaklaşımı

Pendik ilçesinin sera gazı emisyon envanteri hesaplamalarında temel hesaplama yaklaşımı ilgili faaliyet verisi ve uygun emisyon faktörlerinin çarpımı ile sera gazı emisyonlarının hesaplanması olmuştur. Bu çalışmada kullanılan hesaplama yöntemleri ve referansları Tablo 3.5’te özetlenmiştir.

Tablo 3.5. Seragazı emisyonlarının belirlenmesinde kullanılan hesaplama yaklaşımları

Faaliyetler/Emisyon kaynakları	Hesaplama Yaklaşımı
Sabit enerji kaynaklı emisyonlar	
Fosil yakıt kullanımı	Yakıt tüketimi (TJ) x EF (tSG/TJ) Isıl değerler: Doğalgaz 34,54 TJ/10 ⁶ m ³ , Fueloil 39,89 TJ/kton, Dizel 43.33 TJ/kton (NIR, 2021)
Elektrik kullanımı	Elektrik tüketimi (GWh) x Şebeke EF(tSG/TJ) Şebeke EF = 0.7258 (TR 2020)
Hareketli enerji kaynaklı emisyonlar	
Karayolu	Yakıt tüketimi (TJ) x EF (tSG/TJ) Otobüs: Mesafe (km) x Yakıt tüketimi (lt/100 km) Dizel otobüs yakıt tüketimi: 32.6 lt/100 km (GHG Protocol)
Denizyolu	Yolcu-km x EF (tSG/yolcu-km) 1 deniz mili = 1.852 km
Havayolu	LTO x TJ/LTO x EF (tSG/TJ) LTO: İniş-kalkış döngüsü Boeing 737-800 için LTO başına yakıt tüketimi 880 kg Jet yakıtı ısı değeri 44,1 TJ/Gg
Elektrik kullanımı	Elektrik tüketimi (GWh) x Şebeke EF(tSG/TJ) Şebeke EF = 0.7258 (TR 2020)

Atıksu	$CH_4 = (N \times T \times EF) (AOM - S) - R$ N: Nüfus, T: Arıtmaya erişim (1 kabul edilmiştir), AOM: Atıksudaki toplam biyobozunur organik madde, S: çamurda geri kazanılan organik madde (28 kg/kişi), R: geri kazanılan metan (0) $EF = Bo \times MDF$ Bo: Maksimum metan üretme kapasitesi (0.6 kg CH₄/kg BOD) MDF: Metan düzeltme faktörü (0.3) $AOM = N \times BOI \times 0.001 \times I \times 365$ I: İlave endüstriyel atıksu için düzeltme faktörü (1), BOİ: Kişi başı yük, Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (53 g/kişi/gün) $N_2O = N_{\text{çıkış}} \cdot EF_{\text{çıkış}} \cdot 44 / 28$ N_{çıkış}: sucul ortama bırakılan azot miktarı (kg N/yıl), EF_{çıkış}: atıksu N₂O emisyon faktörü (kg N₂O-N/kg N). 44/28: N₂O/N₂O-N $N_{\text{çıkış}} = N \times \text{Protein} \times FNPR \times FNON-CON \times FIND\ COM - N_{\text{çamur}}$ Protein: yıllık kişi başı protein tüketimi (40,45 kg/kişi/yıl), FNPR: Proteindeki azot oranı (0.16, kg N/kg protein), FNON-CON: tüketilmeyen ve atıksuya katılan protein (1.4 kg N/kg protein) FIND-COM: birlikte atıksuya karışan endüstriyel ve ticari protein (1.25 kg N/kg protein), N_{çamur}: Çamur ile uzaklaştırılan azot (0 kg/yıl)
Katı atık	$CH_4 = KAM \times Lo \times (1-f_{rec}) \times (1-OF)$ KAM: Düzenli depolamaya gönderilen katı atık miktarı (ton/yıl) Lo: Metan üretme potansiyeli (tCH₄/ton atık) (Hesaplanan değer: 52,226 kgCH₄/ton atık) f_{rec}: geri kazanılan metan miktarı (1/3 Kömürcüoda biyometanizasyon tesisi) OF: oksidasyon faktörü (0) $Lo = MDF \times DOC \times DOCF \times F \times 16/12$ MDF: Metan düzeltme faktörü (1)

	DOC: Atık başına bozunabilir organik karbon (tonC/ton atık) DOC = (0,15 x Gıda) + (0,2 x Bahçe atıkları) + (0,4 x kağıt) + (0,43 x ahşap) + (0,24 x tekstil) + (0,15 x endüstriyel) = 0.1306 tonC/ton atık DOCF: Nihai olarak bozunan fraksiyon (0.6), F: Çöp gazındaki metan oranı (0.5), 16/12 (CH₄/C)
--	--

3.3. Faaliyet verileri

Bu çalışma kapsamında belirlenen sınırlar içerisinde yürütülen emisyon faaliyetlerine ilişkin faaliyet verileri ve bu verilerin hangi kaynaklardan temin edildiği aşağıdaki aşağıdaki Tablo 3.6’da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Faaliyet verilerine ilişkin birim ve referanslar

Sera Gazı Kaynağı	Faaliyet verisi/ Yakıt tüketimi	Birim	Kaynak
Konut	Doğalgaz Tüketimi	Sm ³	EPDK
Konut	Elektrik tüketimi	MWh	EPDK
Ticari/Kurumsal	Doğalgaz tüketimi	Sm ³	EPDK
Ticari/Kurumsal	Elektrik tüketimi	MWh	EPDK
Ticari/Kurumsal	Sokak Aydınlatma	MWh	EPDK
Sanayi	Doğalgaz tüketimi	Sm ³	EPDK
Sanayi	Fuel Oil tüketimi	ton	EPDK
Sanayi	Elektrik tüketimi	MWh	EPDK
Tarım	Elektrik tüketimi	MWh	EPDK
Tarım	Doğalgaz tüketimi	Sm ³	EPDK
Karayolu ulaştırma	Benzin tüketimi	ton	EPDK
Karayolu ulaştırma	Dizel tüketimi (kırsal dahil)	ton	EPDK (bayiye teslim)
Karayolu ulaştırma	LPG tüketimi	ton	EPDK

Otobüs ulaştırma	Dizel tüketimi	litre	İBB
Denizyolu ulaştırma	Yolcu sayısı ve yolcu-mil miktarı	Yolcu mil	Ulaştırma Bakanlığı
Havayolu ulaştırma	LTO (İniş-kalkış döngüsü)	LTO/yıl	DHMI
Raylı ulaştırma	Elektrik tüketimi	kWh	Metro Ař
Atıksu	Popölasyon	Kişi, C ve N yükleri	Pendik Belediyesi, NIR 2020
Katı atık	Düzenli depolamaya gönderilen atık miktarları	ton	Pendik Belediyesi

3.4. Emisyon Faktörleri

Sera gazı emisyon hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörleri için öncelikle ulusal sera gazı emisyon envanterinde dikkate alınan değerler (Kademe 2), ikincil olarak da uluslararası rehberlerden alınan değerler (Kademe 1) kullanılmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan emisyon faktörleri ve referansları Tablo 3.7’de özetlenmiştir.

Tablo 3.7. Sera gazı emisyon hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörleri

Sektör ve Alt-sektörler	Faaliyet verisi		Emisyon Faktörü			Referans
	Faaliyet verisi	Birim	EF CO ₂ (t/TJ)	EF CH ₄ (kg/TJ)	EF N ₂ O (kg/TJ)	
SABİT ENERJİ						
Konutlar	Doğalgaz	m3	56,10	5,00	0,10	NIR 2021
	Fuel Oil	tonne	77,40	10,00	0,60	NIR 2021
			EF CO ₂ (t/GWh)			
	Elektrik	MWh	0,73			ETKB, 2021
Ticari ve kamu binaları	Doğalgaz	m3	55,74	5,00	0,10	NIR 2021
	Elektrik	MWh	0,73	0,00	0,00	
İmalat sanayi ve inşaat	Doğalgaz	m3	56,10	1,00	0,10	NIR 2021
			EF CO ₂ (t/GWh)			
	Elektrik	MWh	0,73			ETKB, 2021
Tarım Hayvancılık	Doğalgaz	m3	55,74	5,00	0,10	NIR 2021
			EF CO ₂ (t/GWh)			
	Elektrik	MWh	0,73			ETKB, 2021

Şebeke kayıp kaçak	Elektrik	MWh	0,73			ETKB, 2021
ULAŞIM						
Karayolu	Benzin	tonne	69,30	25,00	8,00	NIR 2021
	Dizel	tonne	74,10	3,90	3,90	NIR 2021
	LPG	m3	63,10	62,00	0,20	NIR 2021
	Dizel	litre	74,10	3,90	3,90	NIR 2021
			EF CO ₂ (kg/y-km)	EF CH ₄ (kg/y-km)	EF N ₂ O (kg/y-km)	
Denizyolu	Yolcu-mil	mil	0,000111	0,000030	0,001520	Thrustcarbon
Havacılık	LTO	LTO	71,5	0,5	2	IPCC, 2019
			EF CO ₂ (t/GWh)			
Raylı sistemler	Elektrik	kWh	0,73			ETKB, 2021
ATIK						
Atıksu - CH ₄	Organik yük	kg BOİ				NIR 2021
Atıksu - N ₂ O	N yük	kg N				NIR 2021
Evsel Katı atık	Atık miktarı	ton		34,82		GPC 2021

Farklı sera gazı emisyonlarının ton karbondioksit eşdeğerinin hesaplanmasında, IPCC tarafından AR6 WGI raporunda yayınlanan küresel ısınmaya etki potansiyelleri kullanılmıştır. Dönüşümler aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

$$SG \text{ tCO}_{2e} = SG \text{ (tCH}_4\text{)} \times KIP_{CH_4} \text{ (tCO}_{2e}\text{/tCH}_4\text{)}$$

Tablo 3.8. Sera gazı KIP değerleri

Sera Gazları	KIP Değerleri
Karbondioksit (CO₂)	1
Metan (CH₄)	28
Nitröz oksit (N₂O)	273

3.5. Envanterde Veri Kalitesi ve Belirsizlik

Veri kaynağının kalitesi gözden geçirilerek yüksek, orta veya düşük olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.9. Veri Kalitesi Değerlendirme

Veri Kalitesi	Aktivite Verisi	Salım Faktörü
Yüksek (Y)	Detaylı/gerçek aktivite verisi	Spesifik Salım Faktörü
Orta (O)	Gerçekçi varsayımlar kullanılarak modellenen somut aktivite verisi	Genel Salım Faktörü
Düşük (D)	Çok fazla modelleme kullanılmış ya da kesin olmayan aktivite verisi	Varsayılan Salım Faktörü

3.6. Yenilenebilir Enerji Odaklı Emisyon Azaltımı

Güneş Enerjisi

Pendik ilçesi için güneş enerjisi ile yenilenebilir enerji üretim potansiyeline dair en önemli uygulama örneklerinden biri İstanbul'un Pendik ilçesi Sabiha Gökçen Havalimanı bölgesinde 2013 yılında kurulan Teknopark İstanbul Güneş Enerji Santrali (GES)'dir. Bu tesis 456 kWp kurulu güce sahip Sahrp marka Fotovoltaik (PV) panellerden oluşan tesiste, yıllık ortalama 598 MWh elektrik üretilmektedir (Enerji Atlası). İstanbul'da mevcut en büyük GES olan bu tesis, Pendik ilçesinde PV tabanlı güneş enerjisi tesis uygulamalarının artırılmasının anlamlı bir emisyon azaltıcı faaliyet olacağını işaret etmektedir.

Bu noktadan hareketle Pendik ilçesinde PV tabanlı tesislerden elde edilebilecek yenilenebilir enerji potansiyelini tespit edebilmek üzere önce ilçe merkezi referans alınmak suretiyle aylık radyasyon ve sabit-açılı PV ile elde edilecek elektrik üretimi belirlenmiştir.

Bunun için Avrupa Komisyonu'nun Ortak Araştırma Merkezi (JRC) ana web sitesinden serbest erişim sağlanabilen "Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)" bilgi tabanı kullanılmıştır. Bu web tabanlı sistem ile farklı PV teknolojileri ve konfigürasyonları için enerji üretim potansiyeli, aylık ortalama veya günlük güneşlenme, sıcaklık profilleri, saatlik solar radyasyon ve PV performansı verileri, farklı iklim değişkenleri için Tipik Meteorolojik Yıl verileri, solar haritalar, vb. karar destek verileri elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

PVGIS sistemi uydu görüntülerinden elde edilen yüksek kalitede ve yüksek çözünürlüklü solar radyasyon verilerini ve iklim reanaliz modellerinden elde edilen sıcaklık ve rüzgar verilerini kullanmaktadır. PVGIS enerji dönüşüm modeli JRC'nin akredite bir laboratuvar olan Avrupa Solar Test Üssü (ESTI)'ndeki ticari modüllerle yapılan ölçümler ile valide edilmekte olduğundan güvenilir bir tahmin yapabilmektedir.

Buna göre, Pendik ilçe merkezi referans alınarak (Enlem: 40.892, 29.284) 1 kWp kurulu güç PV sisteminin yıllık enerji üretimi tahmin edilmiş ve buna göre farklı senaryolardan elde edilebilecek emisyon dengeleme (offset) potansiyelleri hesaplanmıştır. PVGIS kullanılarak elde edilen Pendik ilçesinin güneş haritası Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Buna göre yıllık ortalama güneş enerjisi potansiyeli 1756 kWh/m² olarak belirlenmiştir.

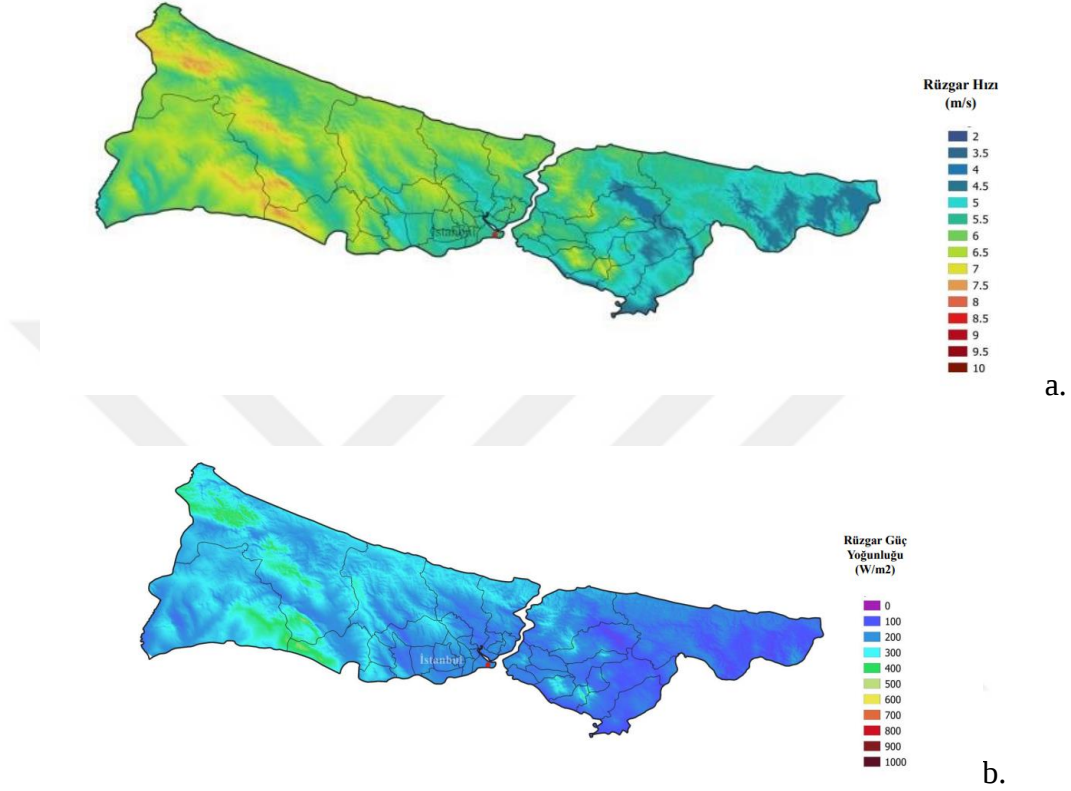


Şekil 3.5. Pendik ilçesi solar haritası (PVGIS, JRC)

Rüzgar Enerjisi

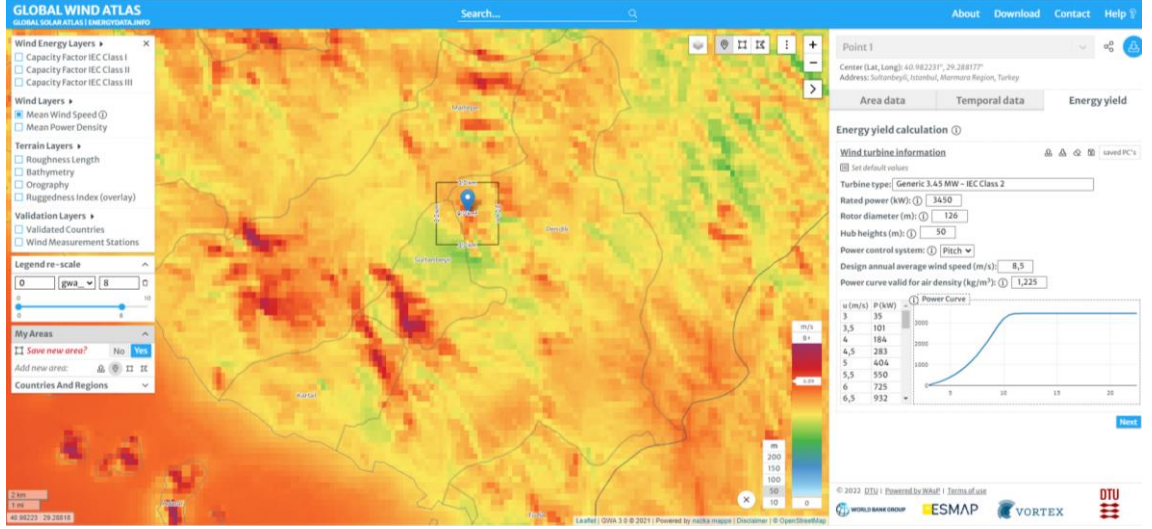
Pendik ilçesinde rüzgar santrali (RES) ile yenilenebilir enerji üretimi bu çalışma kapsamında geçerli bir senaryo olarak değerlendirilmemiştir. Enerji İşleri Genel

Müdürlüğü'nce yayınlanan İstanbul ili rüzgar atlası (Şekil 3.6) dikkate alındığında Pendik ilçesinde 100m yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızı (m/s) ve rüzgar güç yoğunluğu (W/m²) değerlerinin sırasıyla 5 m/s ve 100 W/m² değerlerinin altında kaldığı kapasite faktörünün ise %20'lerde kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.6. İstanbul rüzgar enerjisi haritası yıllık ortalama a. Rüzgar hızı dağılımı b. Rüzgar güç yoğunluğu dağılımı (ETKB, REPA)

Ayrıca, Danimarka Teknik Üniversitesi ve Dünya Bankası ortak çalışması olan Global Wind Atlas (GWA 3.1) bilgi tabanından elde edilen 50 m'de rüzgar hızı gösterir haritaya göre (Şekil 3.7) ve Tablo 3.10'da verilen sınıflandırmaya göre de Pendik ilçesinde en yüksek rüzgar hızında dahi rüzgar enerjisi potansiyelinin mevcut teknik imkanlar dahilinde zayıf kaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.7. Pendik ilçesi rüzgar haritası (GWA 3.1)

Tablo 3.10. Rüzgar gücü ile elektrik üretiminde uluslararası sınıflandırma

Various HEIGHTS		At 10 m Heights		At 30 m Heights		At 50 m Heights	
#	Resource Class	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²
1	Poor	0–4.4	0–100	0–5.1	0–160	0–5.4	0–200
2	Marginal	4.4–5.1	100–150	5.1–5.9	160–240	5.4–6.2	200–300
3	Moderate	5.1–5.6	150–200	5.9–6.5	240–320	6.2–6.9	300–400
4	Good	5.6–6.0	200–250	6.5–7	320–400	6.9–7.4	400–500
5	Excellent	6.0–6.4	250–300	7–7.4	400–480	7.4–7.8	500–600
6	Excellent	6.4–7.0	300–400	7.4–8.2	480–640	7.8–8.6	600–800
7	Excellent	>7.0	>400	8.2–11	640–1600	>8.6	>800

Kaynak: Baloch ve ark., 2017

Emisyon Dengeleme Hesaplaması

Yenilenebilir enerji kaynaklı emisyon dengeleme miktarları hesaplanırken T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca 06.10.2021 tarihinde yayınlanan Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formu dikkate alınmıştır.

Bu formda raporlanan emisyon faktörleri hesaplanırken Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) 009v2.0 no.lu yöntem dikkate alınmıştır. Buna göre faaliyet temelli marj emisyon faktörü 0,7258 tCO₂/MWh, gelişim temelli marj emisyon faktörü

ise 0,4153 tCO₂/MWh olarak raporlanmıştır. Bu durumda güneş ve rüzgar kaynaklı elektrik üretim santrallerinde bu iki emisyon faktörlerinin eşit ağırlıklı ortalaması alınarak birleşik marj emisyon faktörü 0,6482 tCO₂/MWh olarak dikkate alınmıştır.

Bu çalışma kapsamında, yenilenebilir enerji ile sera gazı emisyonları dengeleme potansiyeli yalnızca güneş sistemleri için tespit edilmiştir.

3.7. Atık Yönetimi Odaklı Emisyon Azaltımı

3.7.1. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) Atık Azaltma Modeli (WARM)

Doğru verilere dayalı olarak güçlü kararların alınmasını sağlamak için katı atık yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının doğru tahmin edilmesi önemlidir. Katı atık yöneticileri, yönetim seçeneklerini daha geniş ve doğru bir şekilde değerlendirmek için senaryo analizi gibi araçları kullanmalıdır (Franchetti M., Kilaru P., 2011). Senaryoların oluşturulması, Katı atık yönetiminde modern ve verimli çözümlerin uygulanmasına katkıda bulunur. Bu sebeple, bu çalışma Pendik ilçesinde katı atıkların sürdürülebilirliğini sağlamak ve en iyi çözümleri bulmak için Atık Azaltma Modeli kullanılarak senaryoları analiz etmeyi amaçlamaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından oluşturulan Atık Azaltma Modeli (WARM), sera gazı emisyonlarının tahminlerini karşılaştırmak için kullanılmıştır.

EPA tarafından geliştirilen WARM modeli, yöneticilerin ve politika yapıcıların yaygın olarak bulunan malzemeler için malzeme yönetimi seçeneklerinin yaşam döngüsü, sera gazı ve enerji etkilerini anlamalarına ve karşılaştırmalarına yardımcı olmak için tasarlanmış bir araçtır. Warm, belediye atık planlamacılarının atıklardan kaynaklanan sera gazı emisyonunun azaltılmasıyla ilgili daha iyi kararlar almasına yardımcı olmak için oluşturulmuştur.

Model, emisyonları metrik ton karbondioksit eşdeğeri (TCO₂e), enerjiyi milyonlarca BTU (MMBTU) cinsinden hesaplar. Bu çalışmada model kullanılarak yapılan hesaplar metrik sisteme çevirilerek raporlanmıştır.

WARM'da tahmin edilen sera gazı emisyon sonuçları, atık yönetimi alternatiflerinin tüm yaşam döngüsü faydalarını gösterir. Atık yönetimi yollarından kaynaklanan gerçek sera gazı etkileri uzun vadede ortaya çıkabilir. Bu nedenle, sera gazı emisyonlarının etkilerini bir yıl içinde değil, zaman içinde meydana geldiği şeklinde yorumlamak gerekir.

3.7.2. WARM’da Modellenen Yaşam Döngüsü Aşamalarının Özeti

WARM yazılımında dikkate alınan yaşam döngüsü aşamaları aşağıda sıralanmıştır:

Hammadde Alımı ve İmalatı ile İlişkili Sera Gazı Emisyonları ve Karbon Yutakları

- 1.1. Proses Enerjisi Sera Gazı Emisyonları
- 1.2. Proses Enerji Dışı Sera Gazı Emisyonları
- 1.3. Ulaştırma Enerjisi Sera Gazı Emisyonları
- 1.4. Karbon Depolama, Karbon Tutma ve Karbon Stokları

Malzeme Yönetimiyle İlişkili Sera Gazı Emisyonları ve Karbon Yutakları

- 2.1. Geri dönüşüm
- 2.2. Kaynak Azaltma
- 2.3. Kompostlama
- 2.4. Yanma
- 2.5. Anaerobik Çürütme
- 2.6. Düzenli Depolama
- 2.7. Orman Karbon Depolama
- 2.8. Elektrik

Malzeme Yönetimiyle İlişkili Sera Gazı Emisyonları ve Karbon Yutakları

Kaynak azaltma, depolama, kompostlama, yakma ve anaerobik çürütme, gıda atıklarını yönetmek için kullanılan beş yönetim seçeneğidir.

WARM modelinde dikkate alınan yönetim seçeneklerine ilişkin sera gazı emisyon faktörleri Tablo 3.11’de özetlenmiştir.

Tablo.3.11. WARM'da Modellenen Yönetim Seçeneklerinden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (TCO2e/Kısa Ton Malzeme)

Malzeme	Emisyonlar						
	%100 Saf Girdiler için Net Kaynak Azaltma	Net Geri Dönüşüm	Net Kompost	Net Yakma	Net Düzenli Depolama	Net Islak Anaerobik Çürütme (Curing)	Doğrudan Uygulamalı Net Islak Anaerobik Sindirim
Hacimli Karton	(8.09)	(3.14)	NA	(0.49)	0.18	NA	NA
Karışık Kağıt (Genel)	(7.61)	(3.55)	NA	(0.49)	0.07	NA	NA
Karışık Kağıt (Öncelikli Ofis)	(7.93)	(3.58)	NA	(0.45)	0.11	NA	NA
Mutfak Atıkları	(3.66)	NA	(0.12)	(0.13)	0.50	(0.06)	(0.14)
Park ve Bahçe Atıkları	NA	NA	(0.05)	(0.17)	(0.20)	NA	NA
LDPE	(1.80)	NA	NA	1.29	0.02	NA	NA
PET	(2.21)	(1.04)	NA	1.24	0.02	NA	NA
Karışık Plastik	(1.94)	(0.93)	NA	1.26	0.02	NA	NA
Elektronik Atık	NA	(0.79)	NA	0.39	0.02	NA	NA
Metal	(6.22)	(4.39)	NA	(1.02)	0.02	NA	NA
Cam	(0.60)	(0.28)	NA	0.03	0.02	NA	NA
Halı	(3.68)	(2.38)	NA	1.10	0.02	NA	NA
Moloz	NA	(0.01)	NA	NA	0.02	NA	NA
Sunta	(2.41)	NA	NA	(0.58)	(0.85)	NA	NA
Karışık Geri dönüşüm	NA	(2.85)	NA	(0.42)	0.03	NA	NA

*1 Kısa ton = 907.18582 metrik ton; N/A: Uygulanmaz

Bu çalışmada, Pendik ilçesi atık kompozisyonu dikkate alınarak WARM modelinde bir referans senaryo oluşturulmuş ve atık yönetimine yönelik farklı senaryolar belirlenerek bu senaryoların sonucunda oluşan sera gazı emisyonları ile referans senaryodan elde edilen sonuçlar kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.Pendik İlçesi Sera Gazı Emisyon Envanteri

Pendik İlçesinin 2020 yılı için sera gazı emisyonları toplamı **2.090.586,1 tCO₂e** olarak hesaplanmıştır. Sera gazı emisyonları hesaplanırken esas alınan faaliyet verileri ile sera gazı bazında ve toplam emisyon değerleri Tablo 4.1’de detaylı olarak gösterilmiştir (Tablo 4.1). Sera gazı emisyon hesaplamalarında Tablo 3.7’de verilen emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Pendik ilçesi sera gazı emisyon değerleri

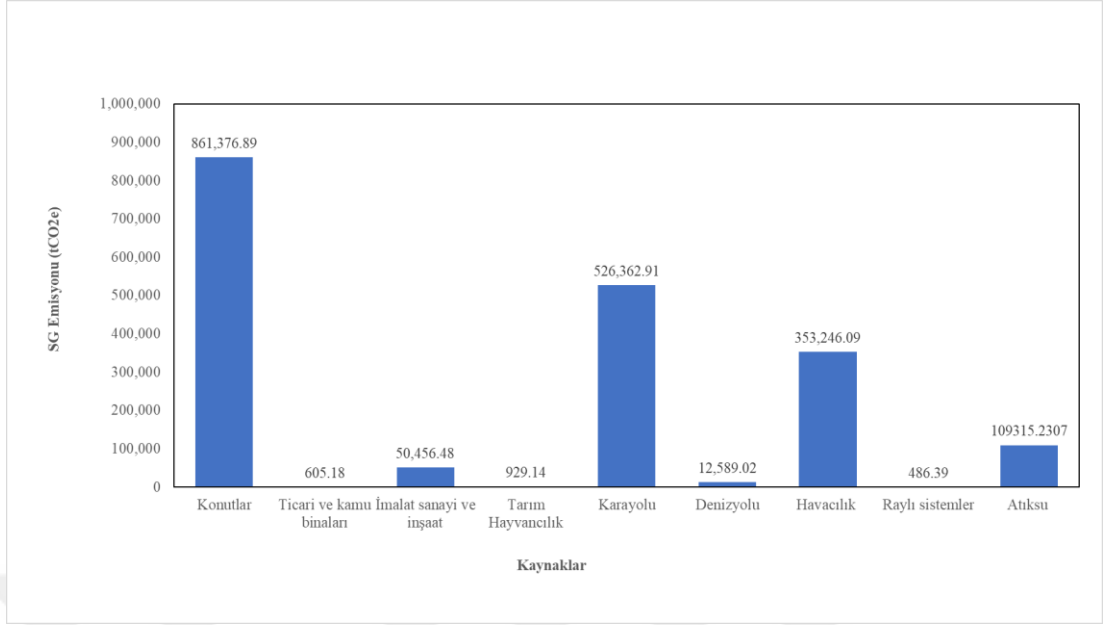
Sektör ve Alt-Sektörler	Faaliyet verileri			SG Emisyonları			Toplam SG
	Veri	Birim	Miktar	tCO ₂	kgCH ₄	kgN ₂ O	tCO ₂ e
SABİT ENERJİ							
Konutlar	Doğalgaz	Sm ³	222.854.836	431.824,48	38.487,03	769,74	433.113,79
	Fuel Oil	ton	784	2.421,52	312,86	18,77	2.435,44
	Elektrik	MWh	586.603	425.756,79			425.756,79
Ticari ve kamu binaları	Doğalgaz	Sm ³	60.725	116,91	10,49	0,21	117,26
	Elektrik	MWh	672.252	487,92			487,92
İmalat sanayi ve inşaat	Doğalgaz	Sm ³	25.808.306	50.008,60	891,42	89,14	50.058,07
	Elektrik	MWh	548.925	398,41			398,41
Tarım Hayvancılık	Doğalgaz	Sm ³	480.968	925,99	83,06	1,66	928,77
	Elektrik	MWh	505,4	0,37			0,37
Şebeke kayıp kaçak	Elektrik	MWh	97.647	70,87	0	0	70,87
ULAŞIM							
Karayolu	Benzin	ton	23.976	74.436,54	26.853,03	8.592,78	77.551,44
	Dizel	ton	136.460	438.139,65	23.060,22	23.060,22	445.126,90
	LPG	Sm ³	268.304	1.983,97	1.949,38	6,28	2.040,28
	Dizel	litre	607.325	1.618,48	85,18	85,18	1.644,29
Denizyolu	Yolcu-mil	mil	12.821.895	2.643,18	712,38	36.094,15	12.589,02
Havacılık	LTO	LTO	126.310	350.481,45	2.450,92	9.803,68	353.246,09
Raylı sistemler	Elektrik	kWh	670.140	486,39			486,39
ATIK							
Atıksu - CH ₄	Organik yük	kg BOİ	14.053.775		3.269.164,50		91.536,61
Atıksu - N ₂ O	N yük	kg N	8.228.124			64.649,54	17.778,62
Evsel Katı Atıklar	Atık miktarı	ton	211.450		6.257.813,33		175.218,77

Yürütülen sera gazı envanter çalışmasında ana sektörler bazında dağılım Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Buna göre Pendik ilçesi kentsel envanterinin önemli bileşenlerinin ulaşım ve sabit enerji kaynaklı olduğu göze çarpmaktadır. Bu noktada ilçenin bir ulaştırma hub vazifesi görmesi, havalimanı dahil tüm ulaşım modlarının odak noktası olmasının emisyon değerleri itibarıyla envantere yansıdığı anlaşılmaktadır. Sabit enerji kaynaklı emisyonlar toplam emisyonların %44’ü kadarken, ulaşım kaynaklı emisyonlar %43lük pay ile sabit enerji kaynaklı emisyonları takip etmektedir. Atık kaynaklı emisyonlar ise %14 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. Pendik sera gazı emisyonlarının ana sektörler göre dağılımı

	Emisyon (tCO ₂ e)	Toplamdaki payı (%)
SABİT ENERJİ	913.367,7	43,7
ULAŞIM	892.684,4	42,7
ATIK	284.534,0	13,6
TOPLAM	2.090.586.1	100

Kentsel sera gazı emisyonlarının kaynaklara göre dağılımı ise Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Buna göre sabit enerji sektöründe emisyonların ağırlıklı olarak konut kaynaklı olduğu, ulaşım ise karayolu daha baskın olmak üzere havayolu emisyonlarının ağırlı olduğu görülmektedir. Atık sektöründe ise kentsel organik atıkların emisyonlardaki payı daha yüksek olmuştur. Atık emisyonları değerlendirilirken hesaplama sırasında yapılan kabullerin gerçek emisyonlardan daha yüksek bir emisyon tahminine yol açabileceği de dikkate alınmalıdır. Örneğin atık yönetiminde atıkların gönderildiği düzenli depolama sahalarında biyogaz geri kazanımı olmadığı kabul edilmiştir. Buna ilaveten atıksuların arıtımında konservatif kabuller ile, atıksuların iyi işletilemeyen/aşırı yüklü bir kentsel atıksu arıtma tesisine gönderildiği kabul edilmiştir.

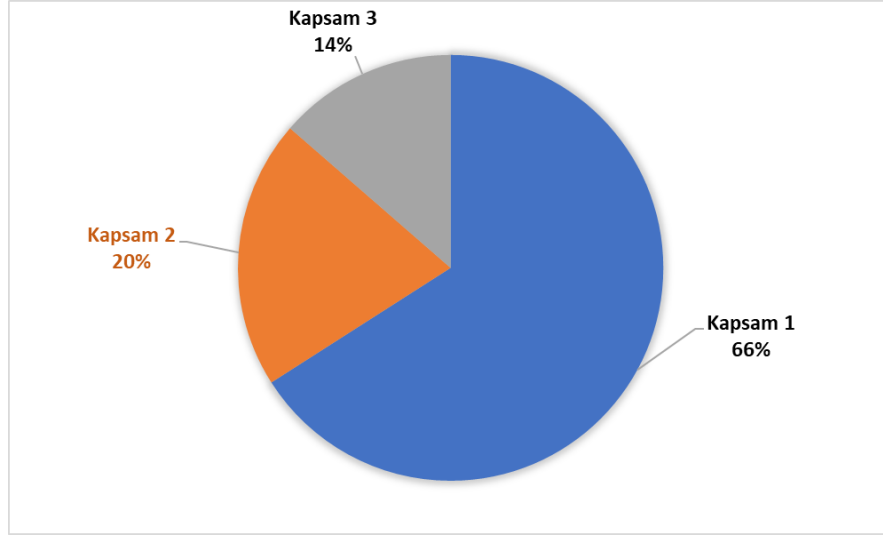


Şekil 4.1. Pendik ilçesi sera gazı emisyonlarının kaynaklara göre dağılımı

GPC rehberine göre sera gazlarının kapsamlara göre dağılımı; Kapsam 1 kent sınırları içinde oluşan, Kapsam 2 kent sınırları içinde kullanılan şebeke elektriği, ısı, buhar ve/veya soğutma kaynaklı oluşan ve Kapsam 3 ise kent sınırları içinde gerçekleşen faaliyetlerin bir sonucu olarak kent sınırları dışında oluşan diğer tüm SG emisyonlarını ifade etmektedir.

Pendik örneğinde Kapsam 1 emisyonları toplamı 1.378.851 tCO₂e, Kapsam 2 emisyonları toplamı 427.130 tCO₂e ve Kapsam 3 emisyonları toplamı 284.605 tCO₂e olarak hesaplanmıştır.

Buna göre Pendik ilçesinin kentsel envanterinin Kapsam 1, 2 ve 3'e göre dağılımı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Pendik ilçesi sera gazı emisyonlarının kaynaklara göre kaynaklara dağılımı

GPC rehberine göre Pendik ilçesinin kendi idari yerel (territoral) emisyonları Kapsam 1 emisyonları toplamı olarak düşünülmektedir. Buna göre yerel emisyonların toplamı 1.378.851,365 tCO₂e olarak hesaplanmıştır.

Kentsel emisyonları sera gazları bazında dağılımı Tablo 4.3'te hem sera gazı emisyonları hem de bu emisyonların karbondioksit eşdeğerleri olarak gösterilmiştir. Buna göre en yoğun emisyonu sahip sera gazının CO₂ olduğu fark edilmektedir. Envanter faaliyetlerinin neredeyse tamamının fosil yakıtların yakılması kaynaklı emisyonların salınımı ile sonuçlanması nedeniyle bu beklenen bir sonuç olmuştur.

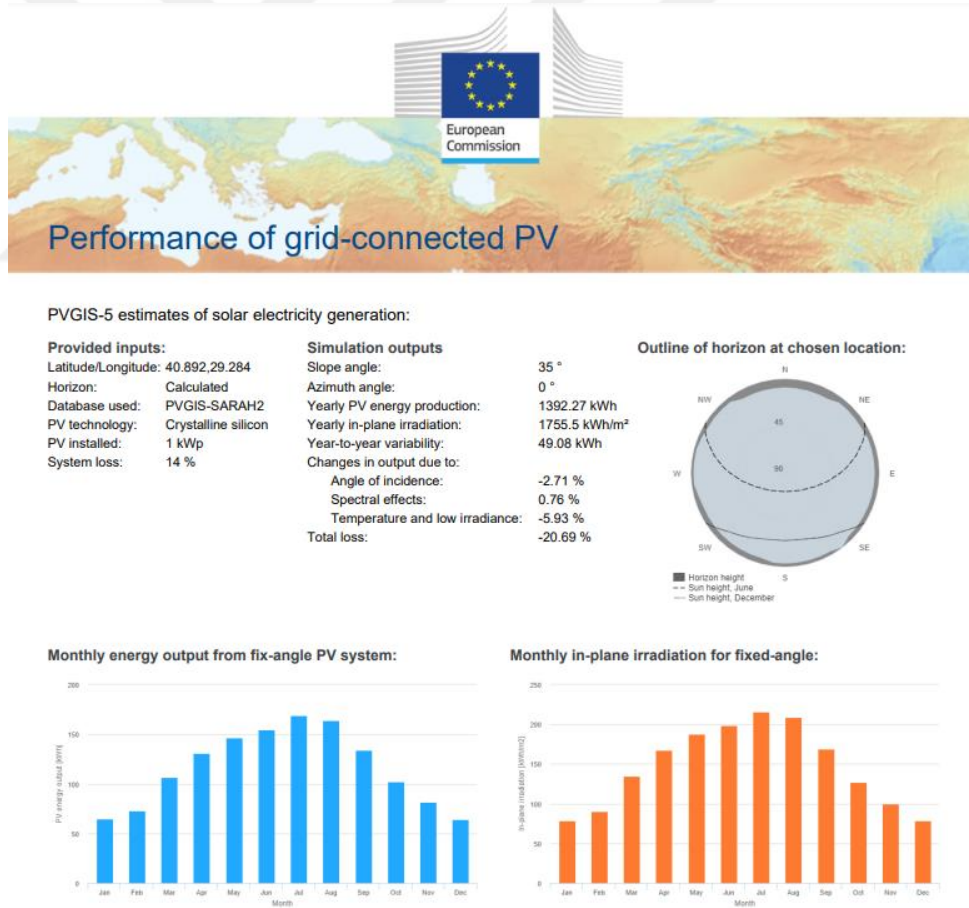
Tablo 4.3. Pendik sera gazı emisyonlarının sera gazlarına göre dağılımı

Sera Gazları	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
tSG	1.781.801,52	9.621,87	143,17
tCO ₂ e	1.781.801,52	269.412,47	39.372,12
Emisyonlardaki payı (%)	85	13	2

4.2.Güneş Enerjisi Kaynaklı Emisyon Azaltımı Tahmini

Pendik ilçesinde yenilenebilir enerji uygulamalarının yaygınlaştırılmasının sera gazı emisyonlarını azaltmak hususunda sağlayabileceği katkının değerlendirilmesi için güneş enerjisi ile çalışan fotovoltaik (PV) sistemleri örneklenmiştir. Bu kapsamda PVGIS bilgi tabanı kullanılarak Pendik ilçesi merkezi dikkate alınmak suretiyle temsili veri elde edilmiştir.

Şekil 4.3'te gösterilen rapordan da anlaşılabacağı üzere Pendik ilçesi kent merkezinde 1 kWp kurulu güce sahip kristal-silikon bir PV paneli ile yılda 1.392,27 kWh elektrik elde edilmesi mümkündür. Bu tahminde PV panelinin 69 m yükseklikte sabit 35 derece açığa sahip çatıya kurulu olacağı kabul edilmiştir. Hareketli açılı PV paneller ile daha yüksek elektrik üretimi sağlanabilmektedir.



Şekil 4.3. Pendik ilçesi PVGIS raporu

Pendik Belediyesi kendi idari sorumluluğundaki sahalar dahilinde PV panelleri yerleşimine uygun idari bina çatı alanları tespit edilmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Pendik Belediyesi potansiyel PV uygulama sahaları

Bina	Koordinatlar	Çatı alanı (m ²)
Pendik Belediyesi Ana Bina	40.89159204103832, 29.2645197260786	689
Pendik Belediyesi Atık Ayrıştırma Tesis	40.899708509169876, 29.28137105258645	2592
Pendik Belediyesi Atık Getirme Merkezi	40.90063634619129, 29.27686984398771	351
Yunus Emre Kültür Ve Sanat Merkezi	40.87983142695417, 29.22176119443971	1786
Pendik Kaymakamlık Binası	40.88273313005371, 29.24473796134279	2830
Pendik Belediyesi Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM)	40.89675656388323, 29.27824130814321	8375

Yalılı'ya (2021) göre yaklaşık 20 dönüm bir arazide 1000 kWp kurulu güce sahip PV sistemi kurulabilmektedir. Bu kurulu güçte bir PV sistemi PVGIS'e göre yıllık 1.392.269,23 kWh elektrik üretebilecektir. Söz konusu yenilenebilir enerji üretimi ile yıllık olarak yaklaşık 900 tCO₂e sera gazı emisyonunun dengelenmesi mümkündür (Yalılı M., 2021). Bu miktarda bir emisyon azaltımının denk geleceği faaliyetler aşağıda özetlenmiştir.

900 tCO₂e;

- Benzinle çalışan 194 adet binek aracın 1 yıl boyunca kullandığı yakıttan kaynaklanan sera gazı emisyonuna,
- 175 adet hanenin 1 yıllık elektrik kullanımına,
- 311 ton atığın düzenli depolama yerine geri dönüştürülerek önlenen sera gazı emisyonuna,
- 14.882 adet 10 yıldır yetiştirilen ağaç fidanları tarafından tutulan karbona eşdeğerdir (Sera Gazı Eşdeğerleri Hesaplayıcısı, EPA).

4.3. Atık Yönetimi Kaynaklı SG Emisyonu Azaltma Potansiyeli

4.3.1. Katı Atık Karakterizasyonu ve Atık Azaltma Modeli Verileri

Bu çalışmada atık yönetimi ile ilişkili idari yönetimlerin dikkate alabileceği toplam 21 farklı senaryo belirlenmiş ve bu senaryoların gerçekleşmesi durumunda elde edilebilecek sera gazı emisyon azaltımları hesaplanmıştır. Söz konusu senaryoların emisyon azaltım potansiyelleri tespit edilirken EPA tarafından geliştirilen WARM modeli kullanılmıştır. İlgili senaryolara ilişkin detaylar ve atık yönetimi için dikkate alınan idari tedbirler Tablo 4.5'te detaylı açıklanmıştır.

Tablo. 4.5. Temel ve Alternatif Senaryoların Özeti

Senaryo No	Değişiklik	Yöntem
S0	Yok (Mevcut Durum)	N/A
S1	%10 Kağıt	Azaltma
S2	%10 Gıda	
S3	%10 Plastik	
S4	%10 Metal	
S5	%10 Cam	
S6	%10 İnşaat	
S7	%10 Kağıt	Geri-dönüşüm
S8	%10 Plastik	
S9	%10 Elektronik	
S10	%10 Metal	
S11	%10 Cam	
S12	%10 İnşaat	
S13	%10 Karışık GD	
S14	%10 Gıda + %100 Bahçe budama	Kompost
S15	%50 Gıda + %100 Bahçe budama	
S16	%10 Gıda	Çürütme
S17	%50 Gıda	
S18	Tüm atıklar %10	Yakma
S19	Tüm atıklar %50	
S20	%10 tüm uygulanabilir atıklar	Azaltma + Geri-dönüşüm
S21	Tüm uygulanabilir Atıklar	Hepsi

Atık yönetimi açısından atık karakterizasyonunun bilinmesi, yapılacak senaryo analizleri planlaması amacıyla önemlidir. Pendik Belediyesi tarafından 2015 yılında katı atık madde grup analizi gerçekleştirilerek Pendik İlçesine ait katı atık karakterizasyonu belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda en yüksek orana sahip mutfak atıklarının tüm atıkların %50,66'sını, dikkate değer orana sahip plastiklerin tüm atıkların % 14,96'sını, diğer yanabilenlerin tüm atıkların % 12,92' sini, kağıtların ve kartonların tüm atıkların % 10,97' sini oluşturduğu tespit edilmiştir. Atık karakterizasyonuna ait veriler Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo. 4.6. Katı Atık Bileşenleri

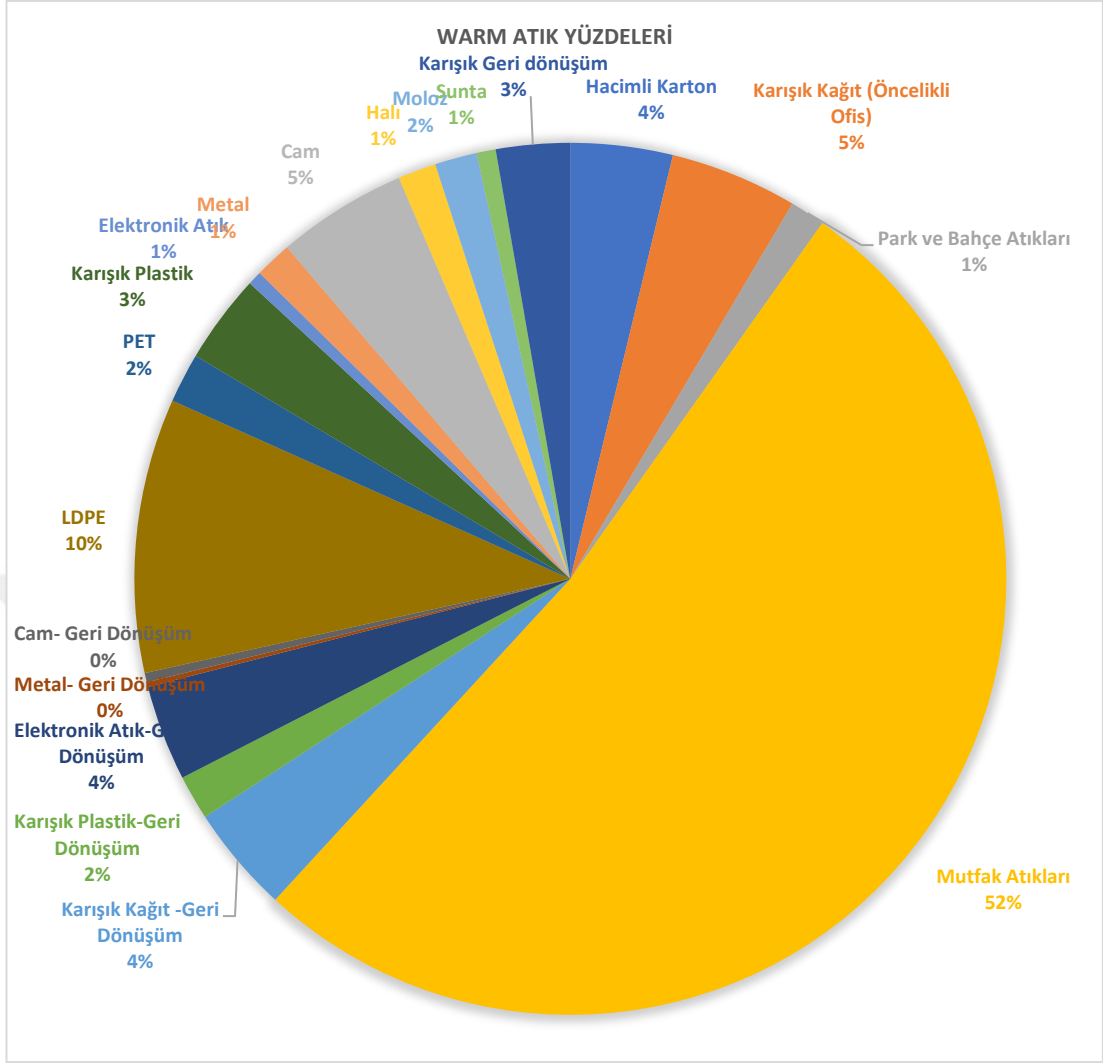
KATI ATIK BİLEŞENLERİ	
Mutfak Atıkları	Yemek artıkları, ekmek, sebze, meyve
Kağıt	Gazete, dergi, defter
Karton	Süt kutusu, meyve suyu kutusu, tetrapak
Hacimli Karton	Karton kutular
Plastik	Tüm plastikler
Cam	Cam şişe, cam bardak, kavanoz
Metal	Teneke kutu, çatal, bıçak
Hacimli Metal	Metal dolap, masa vs.
Atık elektrik ve elektronik ekipman	Telefon, radyo vs.
Tehlikeli atık	Pil,boya kutusu, deterjan kutusu, ilaç kutuları
Park ve bahçe atıkları	Dal, ağaç parçası, çim vs.
Diğer yanmayanlar	Taş, kum, toz, seramik
Diğer yanabilenler	Kumaş, çocuk bezi, ayakkabı, terlik, yastık, halı, kilim, çanta
Diğer yanabilir hacimli atıklar	Mobilya, tahtadan yapılmışmalzemeler vs.
Diğer yanmayan hacimli atıklar	
Diğer	

Tablo.4.7. Katı Atık Bileşenlerinin Yüzdeleri

Katı Atık Bileşenleri (%)	Yaz Mevsimi				
	Genel Ortalama				ORT.
	Düşük	Orta	Yüksek	Çarşı	
Mutfak atıkları	51,00	52,50	56,32	42,81	50,66
Kağıt	3,43	3,36	3,96	7,66	4,60
Karton	2,62	1,92	2,82	3,37	2,68
Hacimli karton	2,69	4,53	2,60	4,93	3,69
Plastik	14,72	14,28	13,43	17,40	14,96
Cam	3,80	4,66	4,54	5,97	4,74
Metal	1,48	1,23	0,84	1,85	1,35
Hacimli metal	0,00	0,00	0,11	0,00	0,03
Atık elektrik ve elektronik ekipman	0,69	0,14	0,76	0,53	0,53
Tehlikeli atık	0,52	0,11	0,53	0,26	0,36
Park ve bahçe atıkları	1,70	0,44	0,20	2,74	1,27
Diğer yanmayanlar	2,04	1,65	1,90	0,53	1,53
Diğer yanabilenler	13,90	14,25	11,68	11,85	12,92
Diğer yanabilir hacimli atıklar	1,41	0,95	0,31	0,10	0,69
Diğer yanmayan hacimli atıklar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diğerleri	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Kaynak: Pendik İlçesi Katı Atık Karakterizasyonu

2020 yılında Pendik ilçesinin düzenli depolamaya giden katı atık miktarı Belediye tarafından yapılan karakterizasyon yüzdelerine göre düzenlenmiştir. Pendik İlçesi 2020 yılındaki karakterizasyon bilgilerine ulaşamadığı için atık yüzdelerinin değişmediği varsayılarak hesaplama yapılmıştır. Düzenli depolamaya giden atıklar dışında kaynağında toplanılarak geri dönüşüm yapılan atıklarda Warm atık azaltma modelinde kullanılmıştır. Buradaki amaç atık azaltma modeli kullanılarak düzenli depolama sahasına giden atıkların bertaraf şeklindeki değişiklikler ile yakalanabilecek karbon potansiyelinin belirlenmesidir. Bu veriler senaryo analizinde kullanılmıştır.



Şekil.4.4. WARM programında kullanılan Pendik ilçesi 2020 yılı atık yüzdeleri

Warm için yapılan çalışmada, grafiğe bakıldığında en yüksek yüzdeye sahip atıklar %52 oranı ile bertaraf edilen mutfak atıkları olarak göze çarpmaktadır. Bertarafa giden toplam geri dönüştürülebilir atık (karışık kağıt, hacimli karton,karışık geri dönüşüm, cam, metal, karışık plastik,pet,LDPE,elektronik atık) %34 oranı ile ikinci yüksek orana sahip olduğu görülmektedir. Geri dönüşüm yapılan atıklar tüm atıklarının %10'unu oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4.4.).

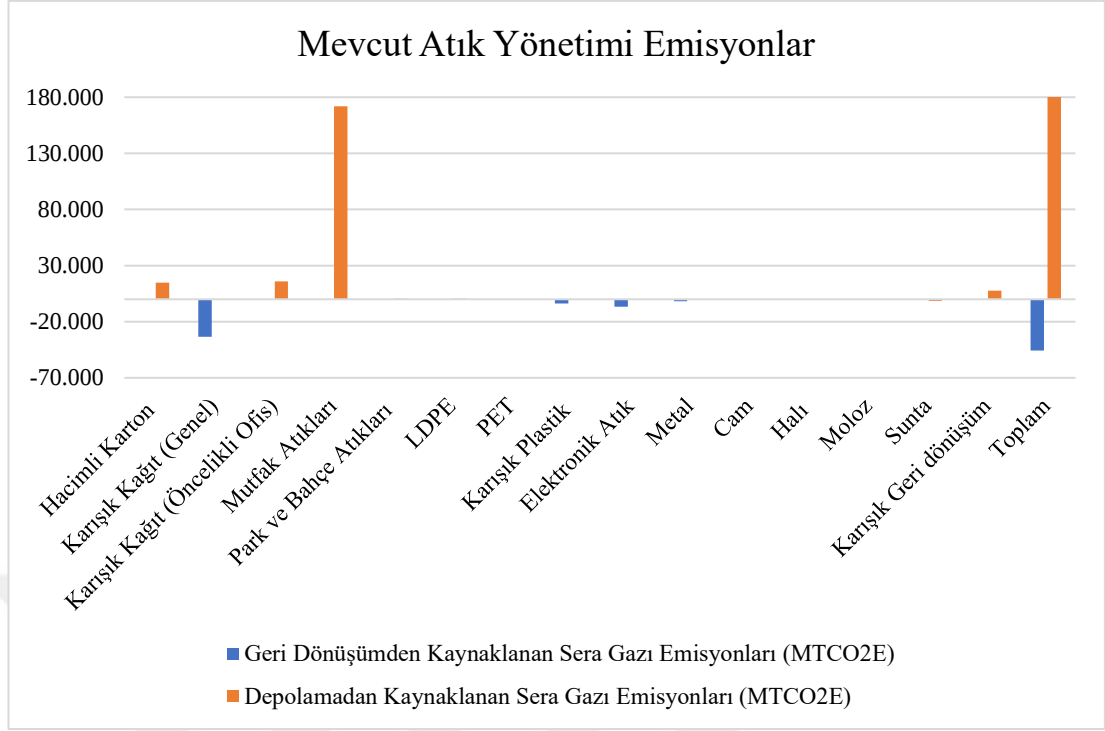
4.3.2. Senaryolar

Senaryo 0 - Mevcut Durum

Pendik İlçesinde mevcut atık yönetiminden kaynaklanan emisyon tahminleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Depolama sahasında bertaraf edilen ve geri dönüşümü yapılan atıkların emisyon değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tablo 4.8. Mevcut Atık Yönetimi Sera Gazı Emisyonları

Malzeme	Geri Dönüşümden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Depolamadan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Toplam Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)
Hacimli Karton	0,00	14.908,70	14.908,70
Karışık Kağıt (Genel)	-33.365,22	0,00	-33.365,22
Karışık Kağıt (Öncelikli Ofis)	0,00	15.840,38	15.840,38
Mutfak Atıkları	NA	171.767,38	171.767,38
Park ve Bahçe Atıkları	NA	661,93	661,93
LDPE	NA	487,86	487,86
PET	0,00	88,50	88,50
Karışık Plastik	-3.629,02	158,84	-3.470,19
Elektronik Atık	-6.598,55	24,96	-6.573,59
Metal	-1.869,38	65,80	-1.803,57
Cam	-222,70	231,45	8,75
Halı	0,00	68,07	68,07
Moloz	0,00	74,88	74,88
Sunta	NA	-1.432,59	-1.432,59
Karışık Geri dönüşüm	0,00	7.691,74	7.691,74
Toplam	-45.684,88	210.637,89	164.953,02



Şekil 4.5. Mevcut Atık Yönetimine Göre Sera Gazı Emisyonları¹

Mevcut atık yönetiminden kaynaklı emisyon hesaplamalarına bakıldığında mutfak atıklarının düzenli depolamasından kaynaklanan sera gazı emisyonunun toplam emisyonu etkisinin yüksek olduğu görülmektedir.

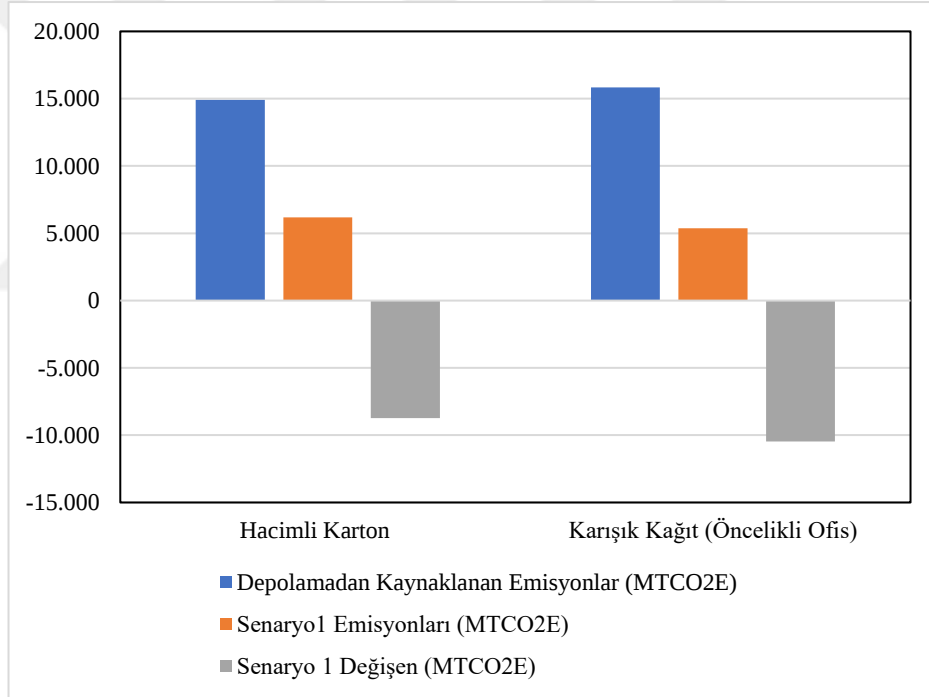
Tüm atıkların %4'lük kısmında yer alan karışık kâğıdın geri dönüşümünden kaynaklanan karbon depolaması atık yüzdesine göre yüksek olduğu görülmektedir. Karışık Kâğıdın geri dönüşümünün emisyonu azalttığı anlamına gelmektedir.

¹ Negatif değerler, sera emisyon azaltımlarını veya karbon depolamayı ifade eder. Pozitif değerler emisyon artışını veya karbon depolamasında azalmayı gösterir.

Senaryo 1

Düzenli depolamaya giden hacimli karton, Ofis öncelikli Karışık Kâğıdın %10'unun kaynak azaltma yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 19.196 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Hacimli karton ve karışık kağıt bilşenlerinin kaynakta azaltım senaryosu emisyonları Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Malzeme	Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (tCO ₂ e)	Senaryo1 Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 1 Değişen (tCO ₂ e)
Hacimli Karton	14.908,70	6.170,88	-8.737,82
Karışık Kağıt (Öncelikli Ofis)	15.840,38	5.382,52	-10.457,86

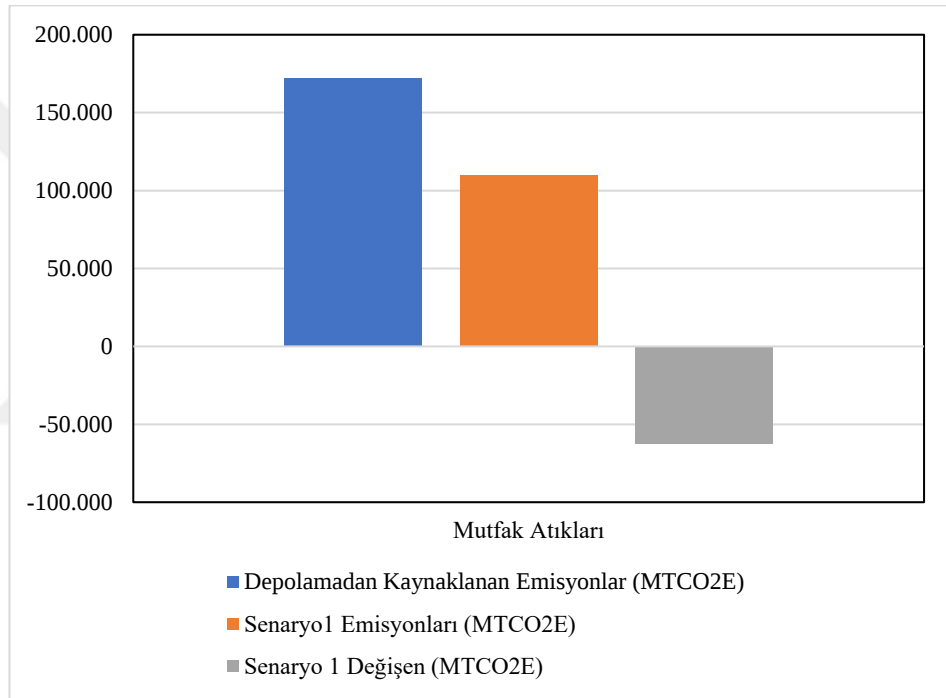


Şekil 4.6. Senaryo 1 – Karışık Kağıt %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları

Senaryo 2

Düzenli depolamaya giden mutfak atıklarının %10'unun kaynak azaltma yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 62.277 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Mutfak atıklarının kaynakta azaltım senaryosu emisyonları Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Malzeme	Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (tCO ₂ e)	Senaryo 2 Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 2 Değişen (tCO ₂ e)
Mutfak Atıkları	171.767,38	109.490,47	-62.276,91

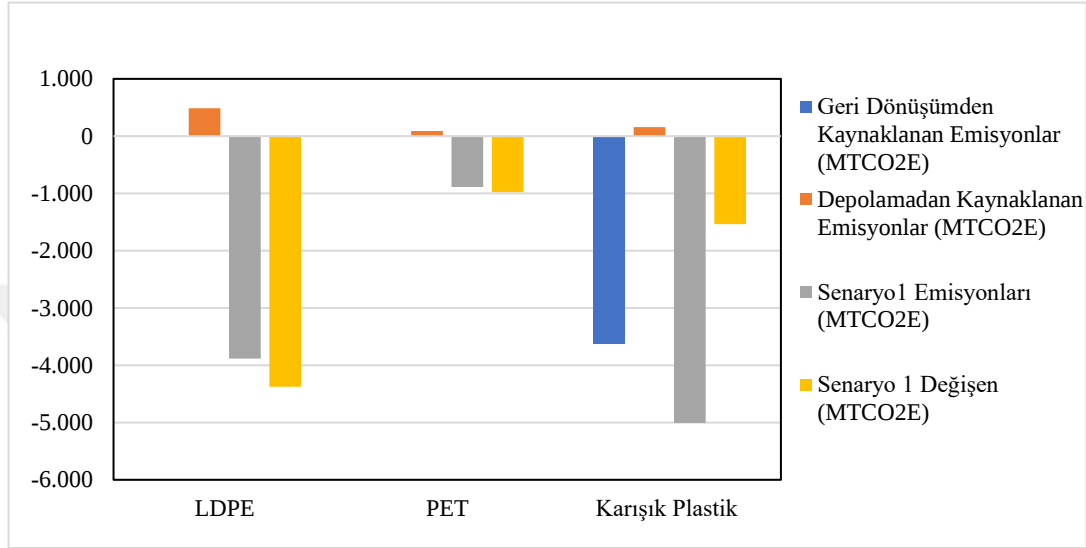


Şekil 4.7. Senaryo 2 – Mutfak Atıkları %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları

Senaryo 3

Düzenli depolamaya giden LDPE, PET ve Karışık Plastik Atıklarının %10'unun kaynak azaltma yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 6.885 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Plastik atıklarının kaynakta azaltım senaryosu emisyonları Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Malzeme	Geri Dönüşümden Kaynaklanan Emisyonlar (TCO2E)	Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (TCO2E)	Senaryo3 Emisyonları (TCO2E)	Senaryo 3 Değişen (TCO2E)
LDPE	NA	487,86	-3.885,67	-4.373,53
PET	0,00	88,50	-887,33	-975,82
Karışık Plastik	-3.629,02	158,84	-5.005,23	-1.535,04

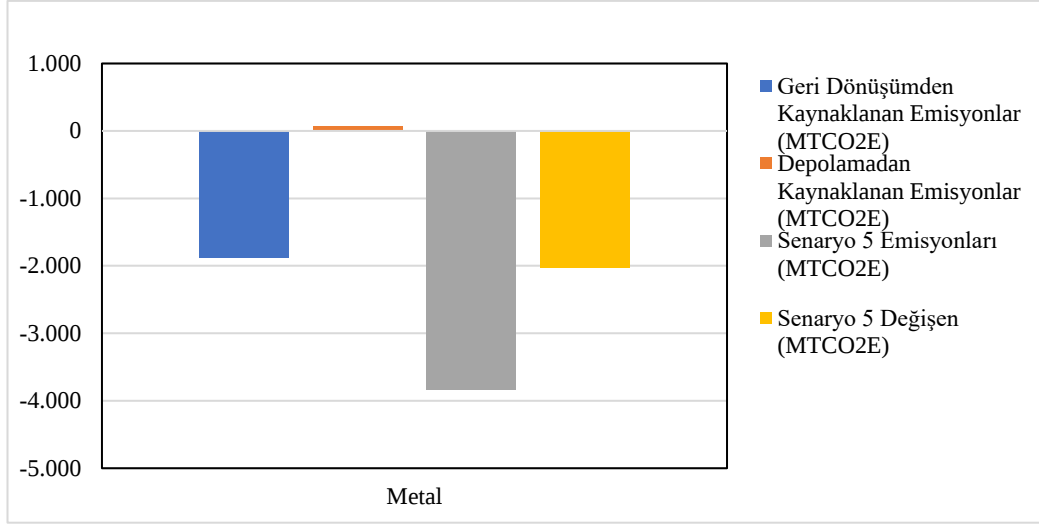


Şekil 4.8. Senaryo 3 – Plastik Atıkları %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları

Senaryo 4

Düzenli depolamaya giden metal atıklarının %10'unun kaynak azaltma yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 2.026 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Plastik atıklarının kaynakta azaltım senaryosu emisyonları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Malzeme	Geri Dönüşümden Kaynaklanan Emisyonlar (tCO ₂ e)	Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (tCO ₂ e)	Senaryo 4 Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 4 Değişen (tCO ₂ e)
Metal	-1.869,38	65,80	-3.829,89	-2.026,31

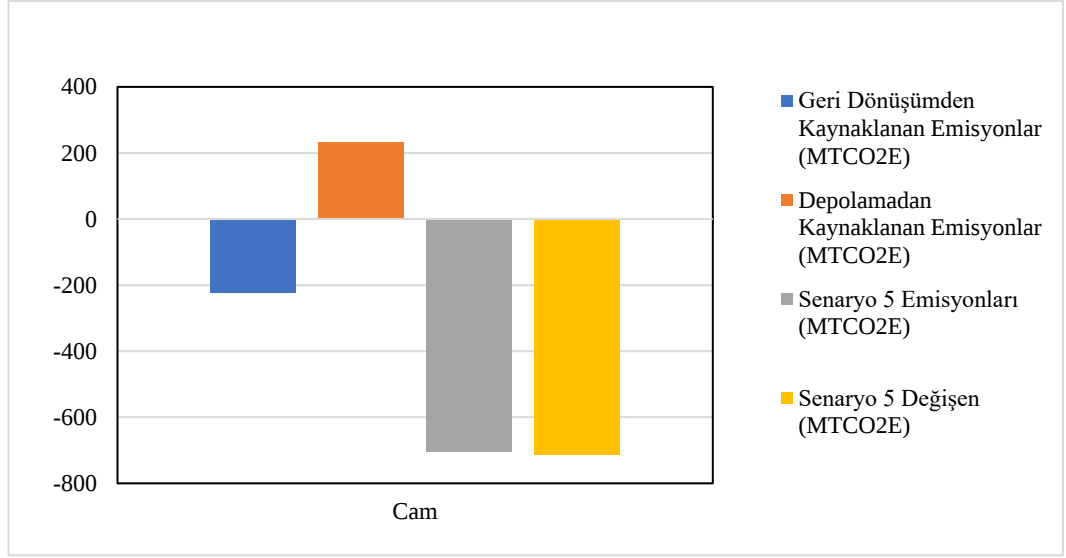


Şekil 4.9. Senaryo 4 – Metal Atıklar %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları

Senaryo 5

Düzenli depolamaya giden cam atıklarının %10'unun kaynak azaltma yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 713 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Cam atıklarının kaynakta azaltım senaryosu emisyonları Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Malzeme	Geri Dönüşümden Kaynaklanan Emisyonlar (tCO ₂ e)	Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (tCO ₂ e)	Senaryo 5 Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 5 Değişen (tCO ₂ e)
Cam	-222,70	231,45	-703,86	-712,61

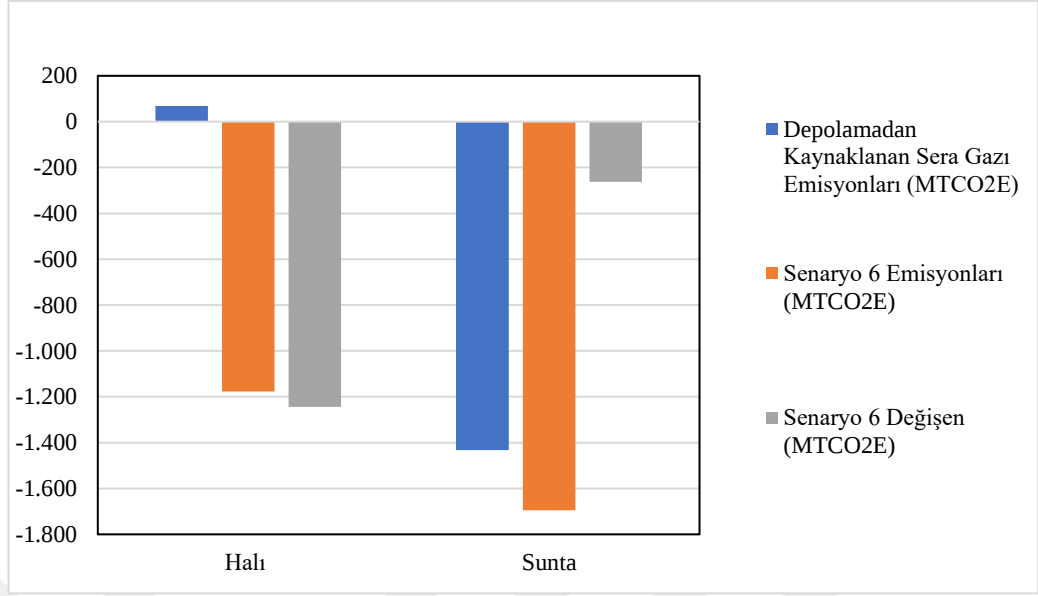


Şekil 4.10. Senaryo 5 – Cam Atıklar %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları

Senaryo 6

Düzenli depolamaya giden inşaat atıklarının %10'unun kaynak azaltma yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 1.507 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. İnşaat atıklarının kaynakta azaltım senaryosu emisyonları Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Malzeme	Depolamadan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 6 Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 6 Değişen (tCO ₂ e)
Halı	68,07	-1.176,60	-1.244,67
Sunta	-1.432,59	-1.694,94	-262,35

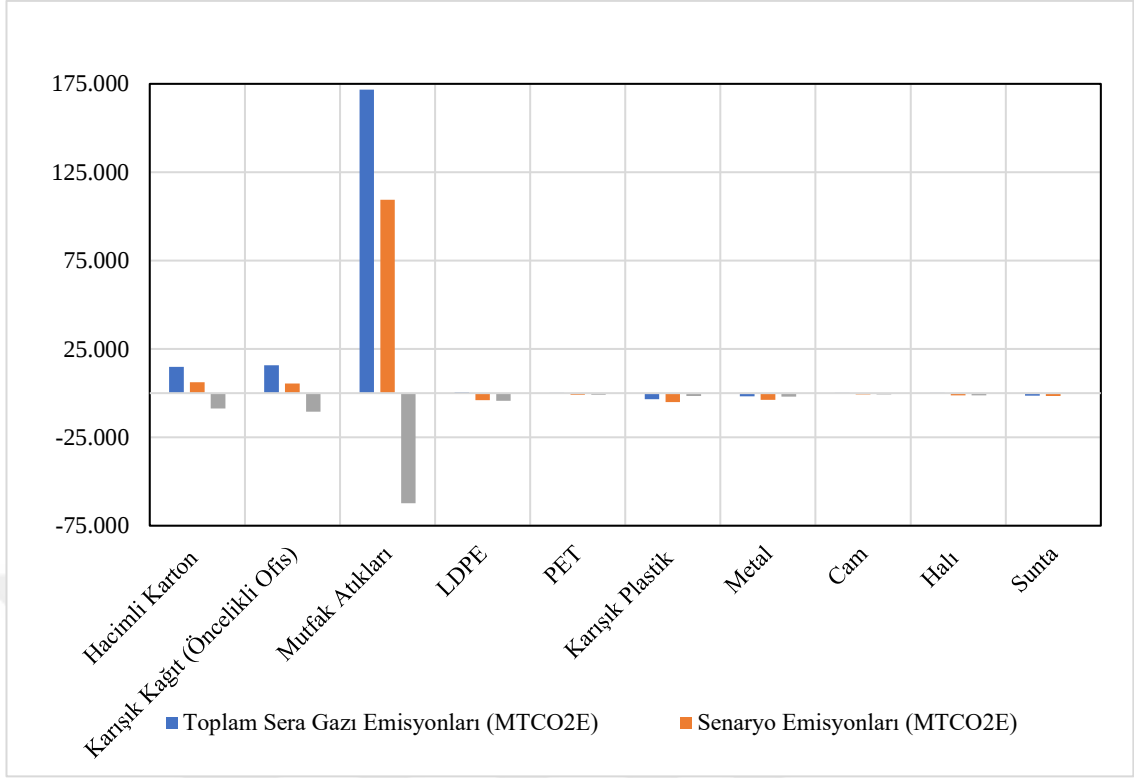


Şekil 4.11. Senaryo 6 – İnşaat Atıkları %10 Kaynakta Azaltma Emisyonları

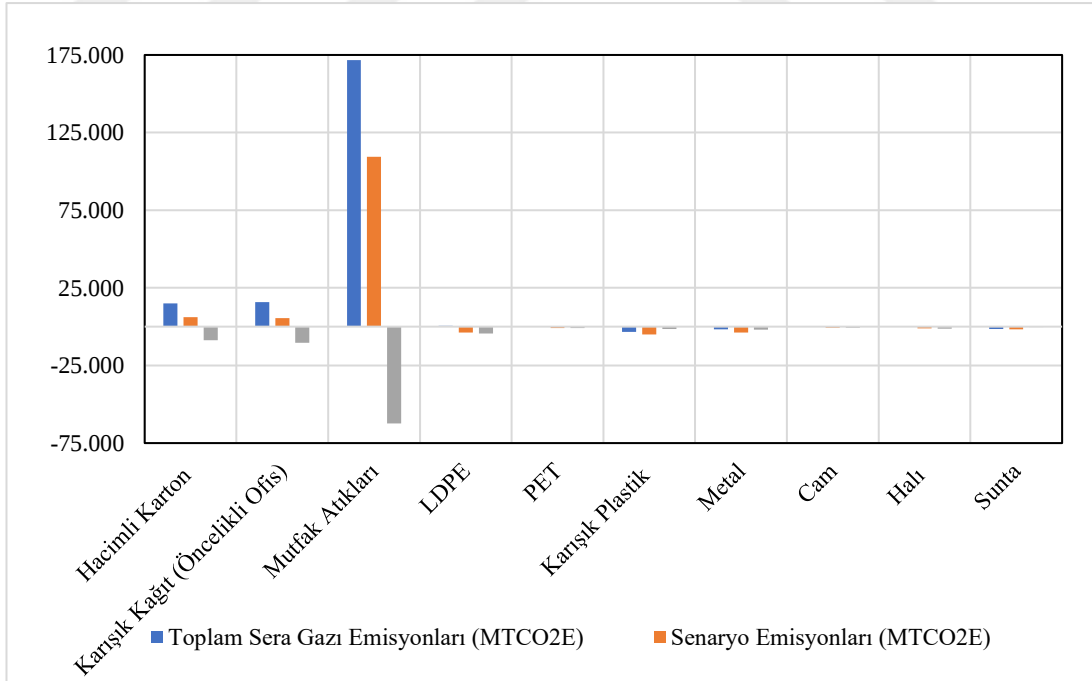
Tüm kaynakta azaltım senaryolarının etkileri Tablo 5.5’te özetlenmiştir. Buna göre atık bileşenlerinde %10 kadar kaynakta azaltım uygulanması halinde mevcut atık yönetimi ile kıyaslandığında toplam emisyonlarda 92.603 tCO₂e azaltım sağlanabilecektir. Bunun %67’lik dilimi mutfak atıkları ve yaklaşık %21’lik dilimi ise kağıt atıkları kaynaklı olacaktır. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 kaynakta azaltım senaryolarına göre elde edilebilecek emisyon azaltım miktarlarını göstermektedir.

Tablo 4.9. Kaynak Azaltma Senaryoları SG Emisyonları

Malzeme	Geri Dönüşümden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Depolamadan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Mevcut Toplam Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	%10 Kaynakta Azaltma Sonrası Emisyonlar (tCO ₂ e)	Değişen (tCO ₂ e)
Hacimli Karton	0,00	14.908,70	14.908,70	6.170,88	-8.737,82
Karışık Kağıt (Öncelikli Ofis)	0,00	15.840,38	15.840,38	5.382,52	-10.457,86
Mutfak Atıkları	NA	171.767,38	171.767,38	109.490,47	-62.276,91
LDPE	NA	487,86	487,86	-3.885,67	-4.373,53
PET	0,00	88,50	88,50	-887,33	-975,82
Karışık Plastik	-3.629,02	158,84	-3.470,19	-5.005,23	-1.535,04
Metal	-1.869,38	65,80	-1.803,57	-3.829,89	-2.026,31
Cam	-222,70	231,45	8,75	-703,86	-712,61
Halı	0,00	68,07	68,07	-1.176,60	-1.244,67
Sunta	NA	-1.432,59	-1.432,59	-1.694,94	-262,35
Net Değişen:					-92.603



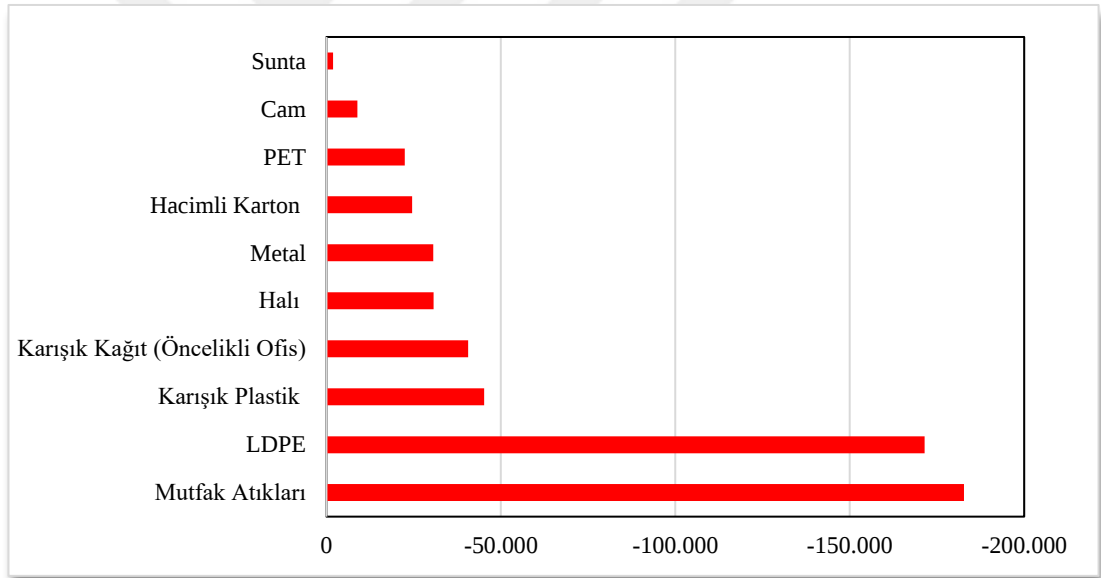
Şekil 4.12. Kaynak Azaltma Senaryoları ile (Mutfak Atıkları dahil) SG Emisyonları



Şekil 4.13. Kaynak Azaltma Senaryoları ile (Mutfak Atıkları hariç) SG Emisyonları

Kaynak Azaltma Senaryolarından Kaynaklanan Enerji Tasarrufu

Düzenli depolamaya giden atıkların %10'unun (S1, S2, S3, S4, S5, S6) kaynakta azaltma yapıldığı senaryolarından kaynaklanan enerji tasarrufunu gösteren Şekil 4.14'te; mutfak atıkları ve LDPE atıklarının düzenli depolama yerine azaltma yapıldığında diğer atıklara göre daha fazla enerji tasarrufu sağlandığını göstermektedir. LDPE atıklarının miktarı mutfak atıklarından çok düşük olmasına rağmen sağladığı enerji tasarrufunun birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. LDPE genel olarak plastik poşetler için kullanılır ve WARM'a göre bu atıklarda geri dönüşüm uygulanamaz. Ancak bu atıklarda kaynak azaltma uygulanırsa önemli oranda enerji tasarrufu sağlanacağı görülmektedir. Sera gazı emisyon faktörlerinde olduğu gibi, negatif değerler net enerji tasarrufunu göstermektedir.

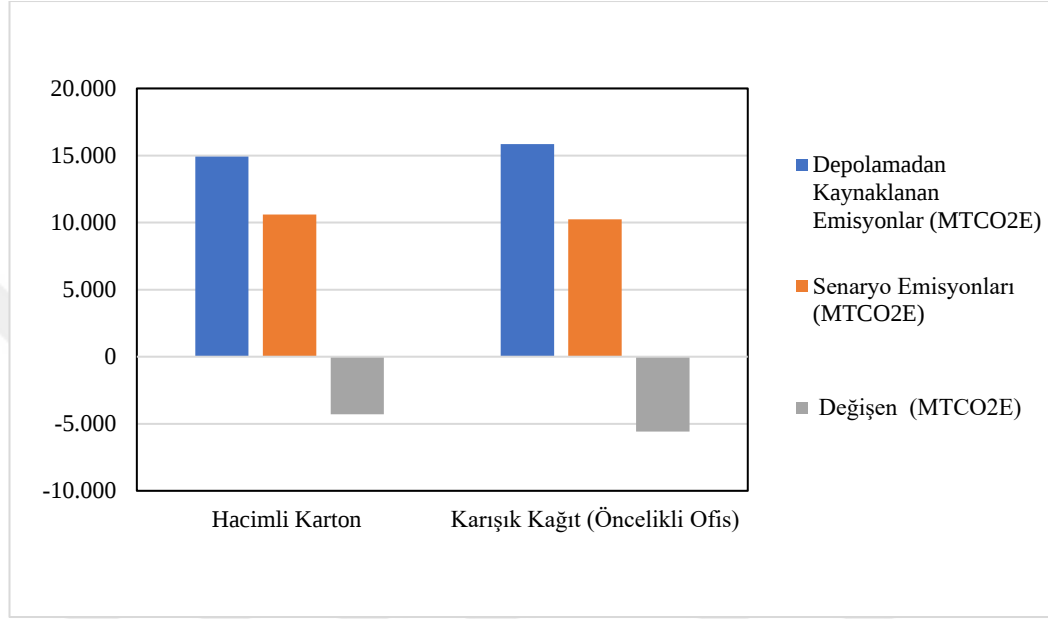


Şekil 4.14. Kaynak Azaltma Senaryolarından Kaynaklanan Enerji Tasarrufu

Senaryo 7

Düzenli depolamaya giden Kağıt atıklarının %10'unun geri dönüşüm yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 9.891 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Kağıt atıklarının geri dönüşüm senaryosu emisyonları Şekil 4.15'de gösterilmiştir.

Malzeme	Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (tCO _{2e})	Senaryo 7 Emisyonları (tCO _{2e})	Senaryo 7 Değişen (tCO _{2e})
Hacimli Karton	14.908,70	10.607,81	-4.300,88
Karışık Kağıt (Öncelikli Ofis)	15.840,38	10.250,12	-5.590,26

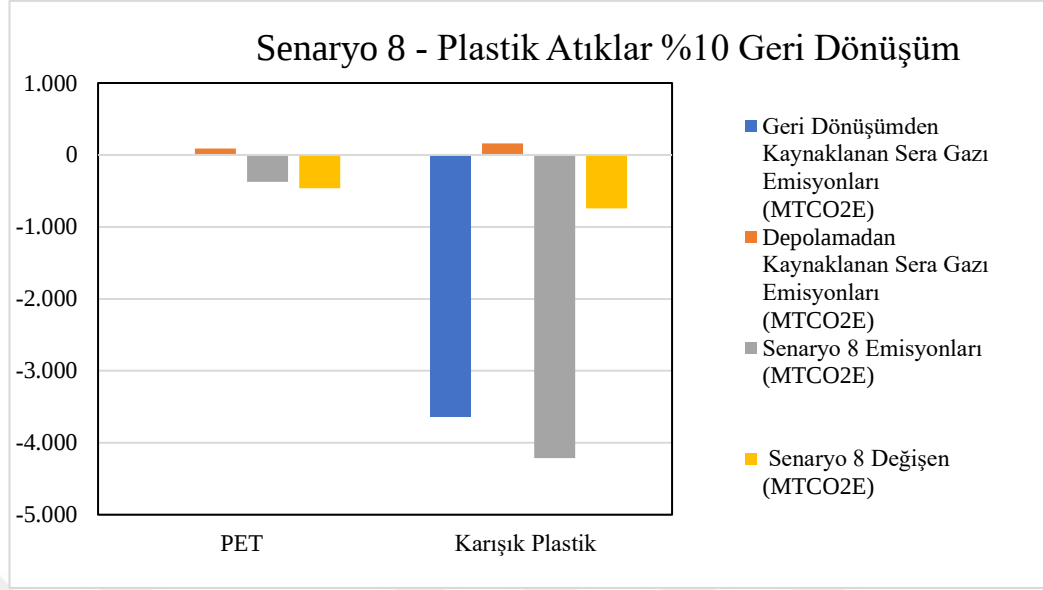


Şekil 4.15. Senaryo 7 – Kağıt Atıklar %10 Geri Dönüşüm Emisyonları

Senaryo 8

Düzenli depolamaya giden PET ve Karışık Plastik Atıklarının %10'unun Geri dönüşüm yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 1.203 tCO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Plastik atıklarının geri dönüşüm senaryosu emisyonları Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

Malzeme	Geri Dönüşümden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO _{2e})	Depolamadan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO _{2e})	Senaryo 8 Emisyonları (tCO _{2e})	Senaryo 8 Değişen (tCO _{2e})
PET	0,00	88,50	-372,88	-461,37
Karışık Plastik	-3.629,02	158,84	-4.211,87	-741,69

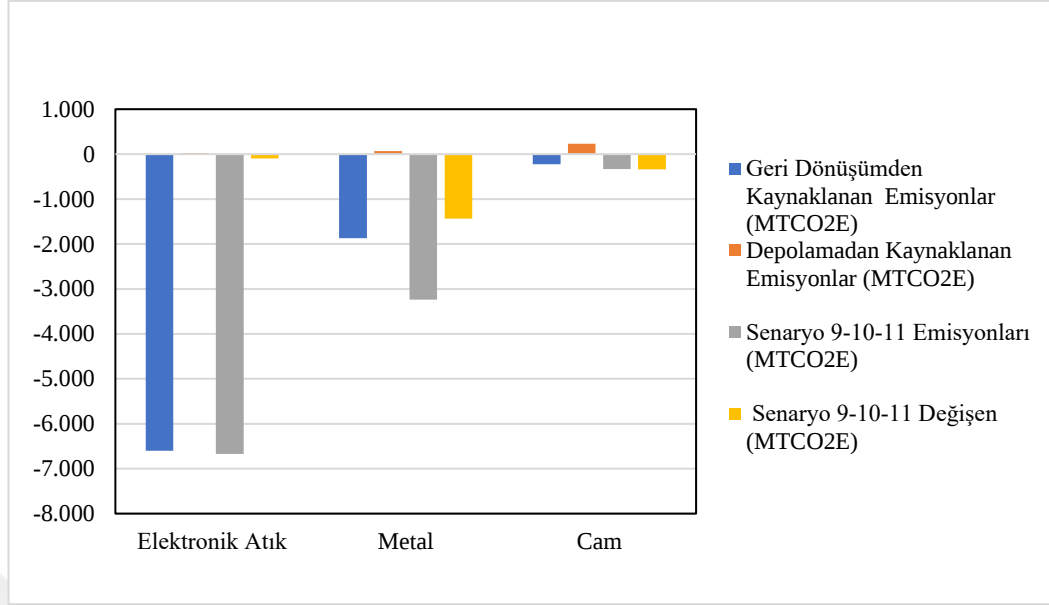


Şekil 4.16. Senaryo 8 –Plastik Atıklar %10 Geri Dönüşüm Emisyonları

Senaryo 9-10-11

Düzenli depolamaya giden elektronik, metal ve cam atıklarının %10'unun Geri dönüşüm yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 1.871 TCO2e olarak hesaplanmıştır. Elektronik, metal ve cam atıklarının geri dönüşüm senaryosu emisyonları Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

Malzeme	Geri Dönüşümden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Depolamadan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 9-10-11 Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 9-10-11 Değişen (tCO ₂ e)
Elektronik Atık	-6.598,55	24,96	-6.672,87	-99,27
Metal	-1.869,38	65,80	-3.236,79	-1.433,21
Cam	-222,70	231,45	-329,88	-338,63

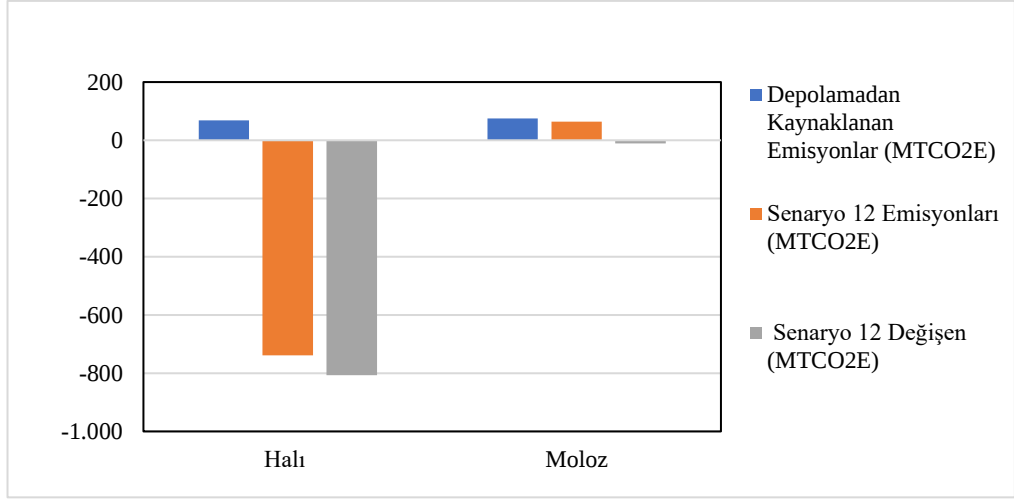


Şekil 4.17. Senaryo 9, 10, 11 – Elektronik, Metal ve Cam Atıklar %10 Geri Dönüşüm Emisyonları

Senaryo 12

Düzenli depolamaya giden inşaat atıklarının %10'unun Geri dönüşüm yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 817 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. İnşaat atıklarının geri dönüşüm senaryosu emisyonları Şekil 4.18'de gösterilmiştir.

Malzeme	Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (tCO ₂ e)	Senaryo 12 Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 12 Değişen (tCO ₂ e)
Halı	68,07	-739,17	-807,24
Moloz	74,88	64,44	-10,44

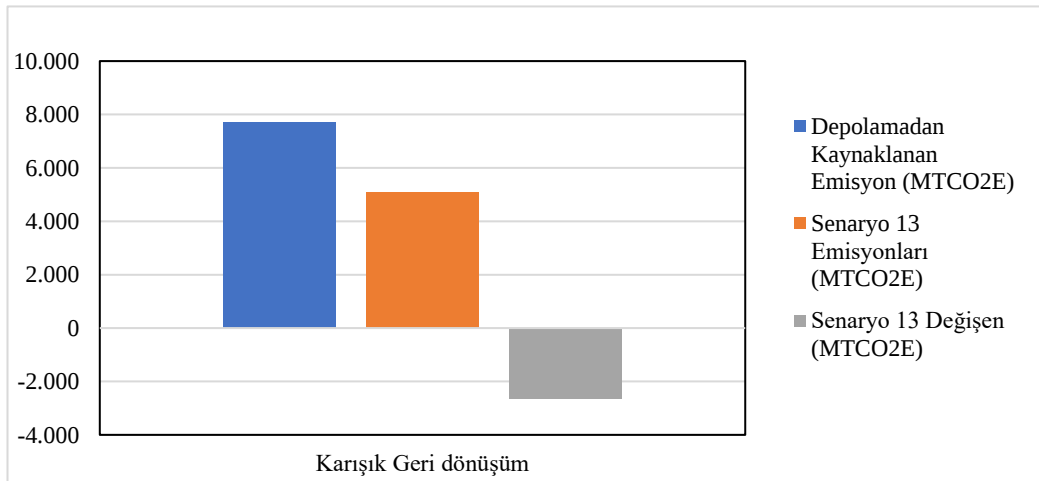


Şekil 4.18. Senaryo 12 – İnşaat Atıkları %10 Geri Dönüşüm Emisyonları

Senaryo 13

Düzenli depolamaya giden Karışık geri dönüşüm atıklarının %10'unun geri dönüşüm yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 2.623 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Karışık geri dönüşüm atıklarının geri dönüşüm senaryosu emisyonları Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

Malzeme	Depolamadan Kaynaklanan Emisyon (tCO ₂ e)	Senaryo 13 Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 13 Değişen (tCO ₂ e)
Karışık Geri dönüşüm	7.691,74	5.068,58	-2.623,16

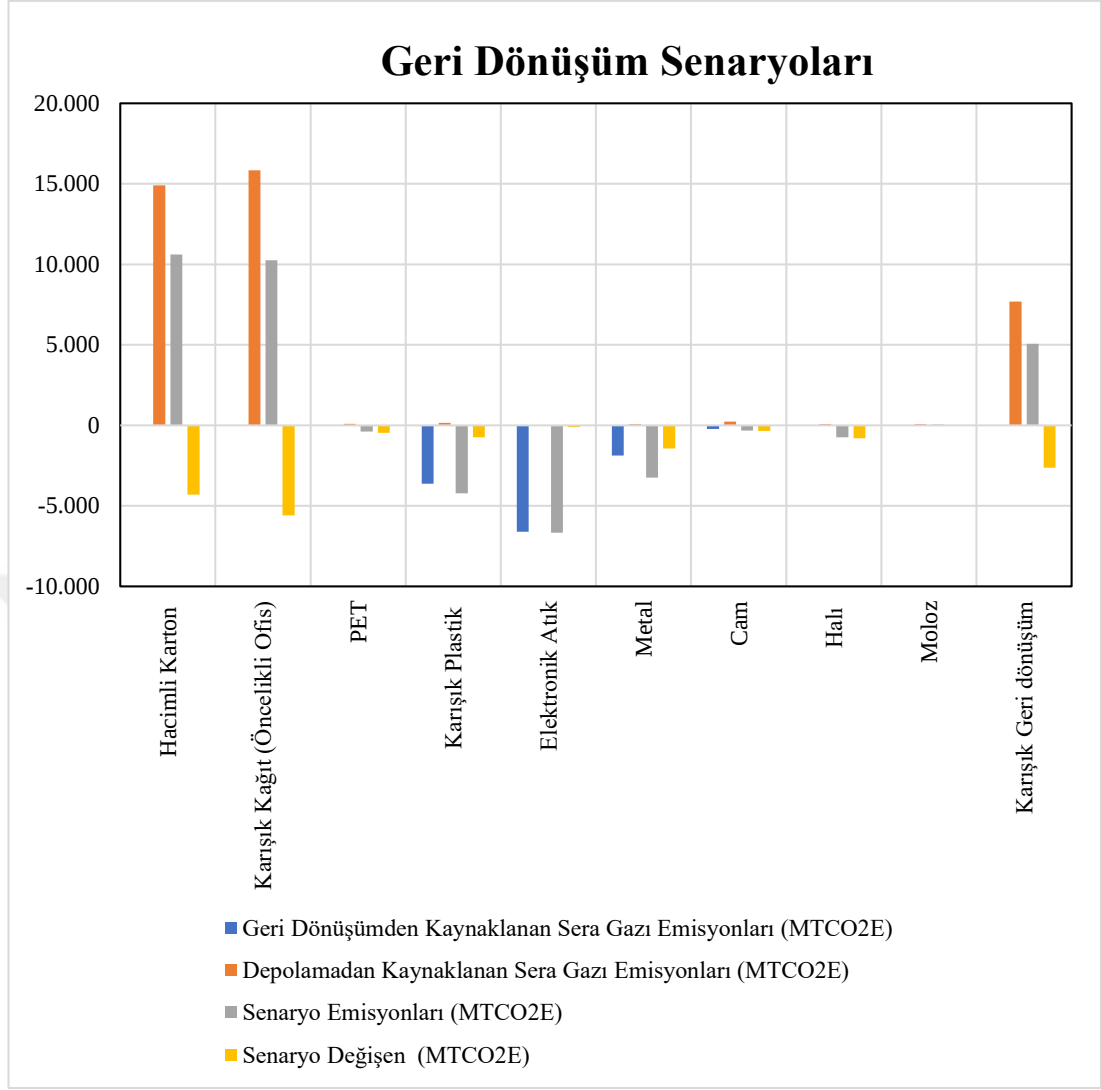


Şekil 4.19. Senaryo 13 – Karışık geri dönüşüm Atıkları %10 Geri Dönüşüm Emisyonları

Tüm geri dönüşüm senaryolarının etkileri Tablo 4.10’da özetlenmiştir. Buna göre geri dönüşüme gönderilebilir atık bileşenlerinde %10 kadar geri dönüşüm uygulanması halinde mevcut atık yönetimi ile kıyaslandığında toplam emisyonlarda 16.406 tCO₂e azaltım sağlanabilecektir. Bunun %60’lık diliminin kağıt atıkları kaynaklı olacağı dikkat çekicidir. Kağıt atıklarını plastik, metal ve diğer geri dönüştürülebilir atıklar takip etmektedir. Şekil 4.20 farklı atıklarda geri dönüşüm senaryolarına göre elde edilebilecek emisyon azaltım miktarlarını göstermektedir.

Tablo 4.10. Geri Dönüşüm Senaryoları SG Emisyonları

Malzeme	Geri Dönüşümden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Depolamadan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Mevcut Toplam Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo Değişen (tCO ₂ e)
Hacimli Karton	0,00	14.908,70	14.908,70	10.607,81	-4.300,88
Karışık Kağıt (Öncelikli Ofis)	0,00	15.840,38	15.840,38	10.250,12	-5.590,26
PET	0,00	88,50	88,50	-372,88	-461,37
Karışık Plastik	-3.629,02	158,84	-3.470,18	-4.211,87	-741,69
Elektronik Atık	-6.598,55	24,96	-6.573,59	-6.672,87	-99,27
Metal	-1.869,38	65,80	-1.803,58	-3.236,79	-1.433,21
Cam	-222,70	231,45	8,75	-329,88	-338,63
Halı	0,00	68,07	68,07	-739,17	-807,24
Moloz	0,00	74,88	74,88	64,44	-10,44
Karışık Geri dönüşüm	0,00	7.691,74	7.691,74	5.068,58	-2.623,16
Net Değişim:					-16.406,15

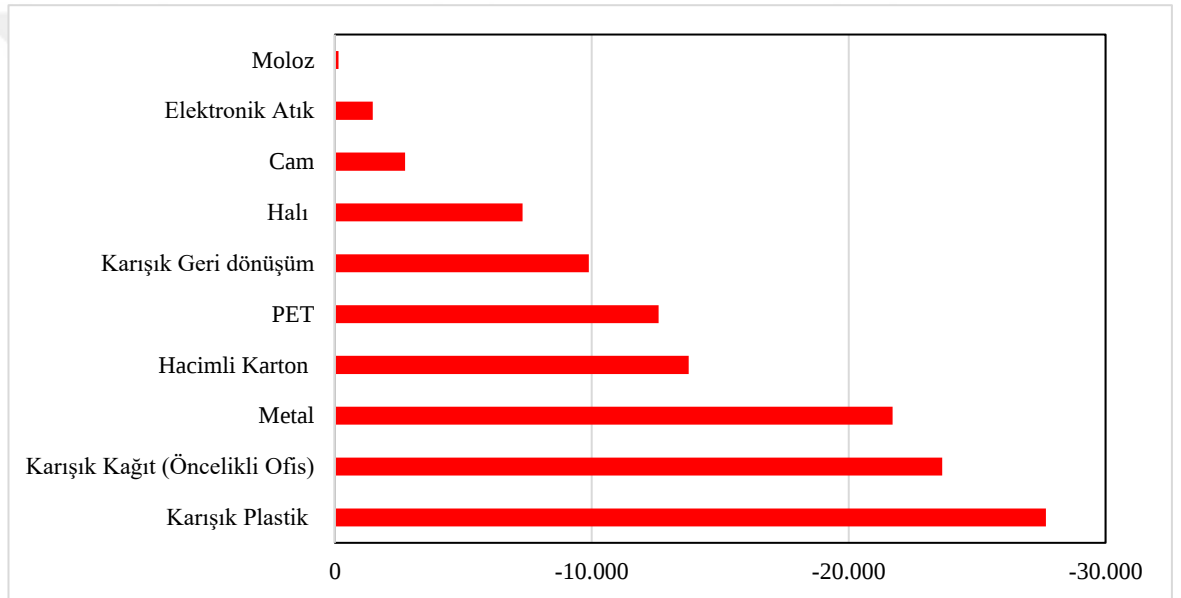


Şekil 4.20. Geri dönüşüm Senaryoları

Geri dönüşüm senaryoları sonuçları mevcut atık kompozisyonu ve emisyon miktarları birlikte değerlendirildiğinde; hacimli karton, karışık kağıt, metal, halı ve karışık geri dönüşüm atıklarının düzenli depolama yerine geri dönüşüm yapılmasının diğer atıklara göre daha fazla miktarda emisyon azaltımı sağlayacağı anlaşılmaktadır.

Geri Dönüşüm Senaryolarından Kaynaklanan Enerji Tasarrufu

Düzenli depolamaya giden malzemelerin %10'unun (S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13) geri dönüştürüldüğü senaryolardan kaynaklanan enerji tasarrufunu gösteren Şekil 4.21'i incelediğimizde Metal, Karışık Kağıt ve Karışık Plastik geri dönüştürülmesinden önemli enerji tasarrufu elde edildiğini gösterir. Moloz Elektronik Atık ve Cam Atığın geri dönüştürülmesi ile enerji tasarrufunun daha az olduğu görülmektedir. Sera gazı emisyon faktörlerinde olduğu gibi, negatif değerler net enerji tasarrufunu göstermektedir.

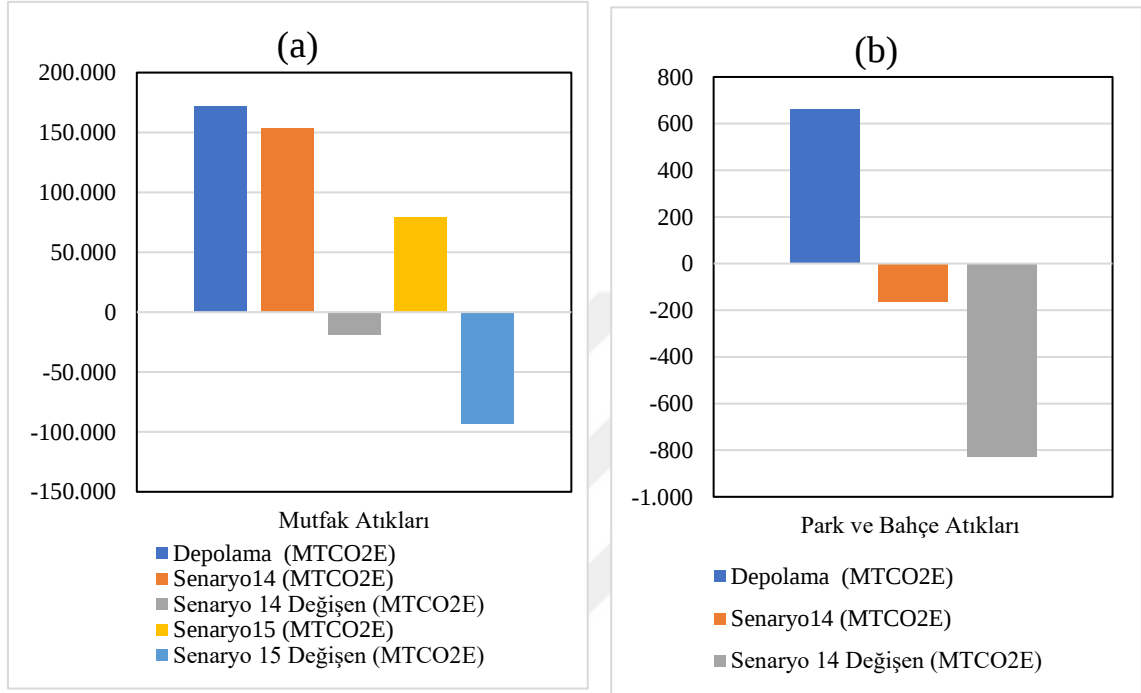


Şekil 4.21. Geri dönüşüm Senaryoları için Enerji Tasarrufu

Senaryo 14-15

Senaryo 14'te Düzenli Depolamaya giden Mutfak atıklarının %10'unun ve Park bahçe atıklarının %10'unun kompost yapıldığı varsayımı yapılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 19.429 TCO2e olarak hesaplanmıştır. Senaryo 15'te Düzenli Depolamaya giden Mutfak atıkları %50'sinin kompost yapıldığı varsayımı yapılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 93.006 tCO2e olarak hesaplanmıştır. Kompost tesisinin var olduğu kabul edilmiştir. Senaryo 14 ve 15 emisyonları Şekil 4.22'de gösterilmiştir.

Malzeme	Depolama (TCO2E)	Senaryo14 (TCO2E)	Senaryo 14 Değişen (TCO2E)	Senaryo15 (TCO2E)	Senaryo 15 Değişen (TCO2E)
Mutfak Atıkları	171.767,38	153.166,26	-18.601,13	78.761,75	-93.005,64
Park ve Bahçe Atıkları	661,93	-165,61	-827,54		

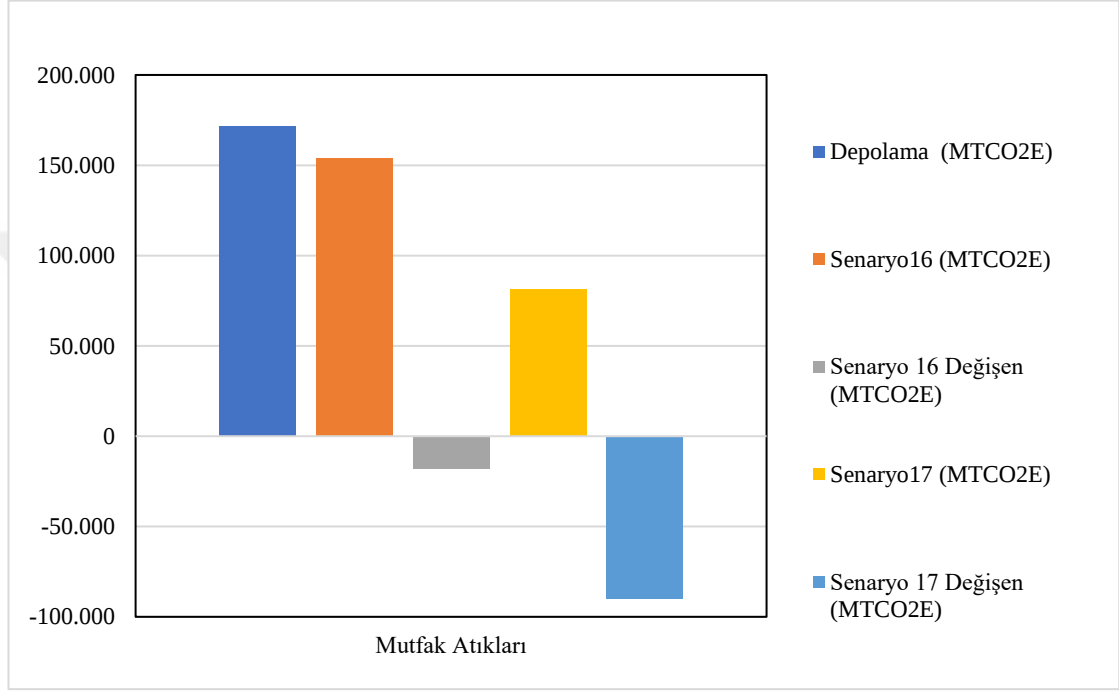


Şekil 4.22. Senaryo 14, 15 – (a) Mutfak atıklarının ve Park bahçe atıklarının %10 (b) Mutfak atıklarının %50 Kompost Emisyonları

Senaryo 16-17

Senaryo 16’da Düzenli Depolamaya giden Mutfak atıkları %10’unun anaerobik çürütme yapıldığı varsayımı yapılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 18.037 TCO2e olarak hesaplanmıştır. Senaryo 17’te Düzenli Depolamaya giden Mutfak atıkları %50’sinin anaerobik çürütme yapıldığı varsayımı yapılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 90.185 TCO2e olarak hesaplanmıştır. Mutfak atıklarının anaerobik çürütme senaryoları emisyonları Şekil 4.23’te gösterilmiştir.

Malzeme	Depolama (tCO _{2e})	Senaryo16 (tCO _{2e})	Senaryo 16 Değişen (tCO _{2e})	Senaryo17 (tCO _{2e})	Senaryo 17 Değişen (tCO _{2e})
Mutfak Atıkları	171.767,38	153.730,42	-18.036,97	81.582,54	-90.184,84
Park ve Bahçe Atıkları	661,93	WARM'da Park ve bahçe atıkları için ıslak sindirim uygulanamaz.			

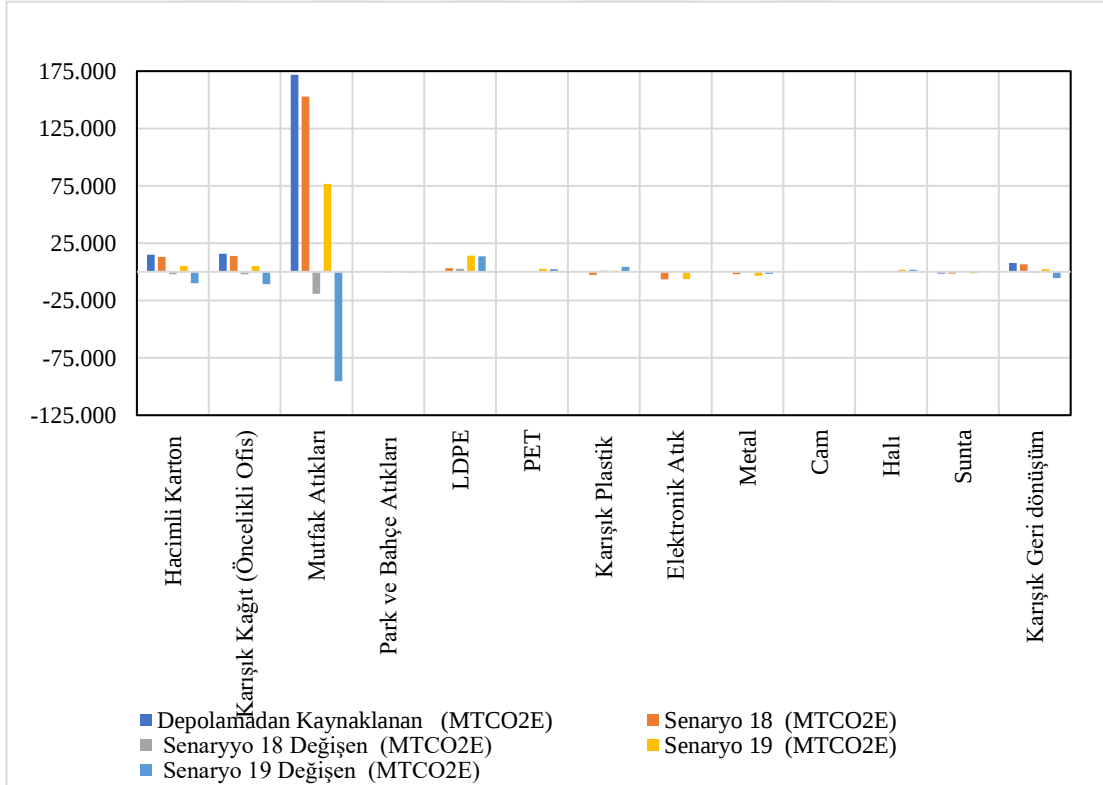


Şekil 4.23. Senaryo 16, 17 – (a) Mutfak atıklarının %10 ve (b) %50 Anaerobik Çürütme Emisyonları

Senaryo 18-19

Senaryo 18’te Düzenli Depolamaya giden tüm atıklarının %10’unun yakma tesisine gönderildiği varsayımı yapılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 20.152 TCO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Senaryo 19’te Düzenli Depolamaya giden tüm atıklarının %50’sinin yakma tesisine gönderildiği varsayımı yapılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 100.759 TCO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Buna göre WARM’daki yaşam döngüsü emisyonları kıyaslanlandığında, yakma ile anaerobik çürütme yaklaşımlarından sağlanabilecek emisyon azaltımlarının birbirine yakın olacağı görülmektedir. Tüm atıkların yakma senaryoları emisyonları Şekil 4.24’de gösterilmiştir.

Malzeme	Depolamadan Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları (tCO ₂ e)	Senaryo 18 Emisyonları (tCO ₂ e)	Değişen 18 (tCO ₂ e)	Senaryo 19 Emisyonları (tCO ₂ e)	Değişen 19 (tCO ₂ e)
Hacimli Karton	14.908,70	12.933,69	-1.975,01	5.033,65	-9.875,04
Karışık Kağıt (Öncelikli Ofis)	15.840,38	13.702,46	-2.137,92	5.150,79	-10.689,59
Mutfak Atıkları	171.767,38	152.723,95	-19.043,43	76.550,23	-95.217,15
Park ve Bahçe Atıkları	661,93	537,84	-124,09	41,48	-620,45
LDPE	487,86	3.208,38	2.720,52	14.090,47	13.602,62
PET	88,50	588,51	500,01	2.588,57	2.500,07
Karışık Plastik	158,84	-2.580,18	890,01	979,86	4.450,04
Elektronik Atık	24,96	-6.529,78	43,81	-6.354,55	219,04
Metal	65,80	-2.141,20	-337,62	-3.491,69	-1.688,11
Cam	231,45	18,23	9,48	56,13	47,38
Halı	68,07	411,76	343,69	1.786,52	1.718,44
Sunta	-1.432,59	-1.397,68	34,91	-1.258,03	174,56
Karışık Geri dönüşüm	7.691,74	6.615,65	-1.076,09	2.311,31	-5.380,43



Şekil 4.24. Senaryo 18, 19 – Tüm Atıklar Yakma Emisyonları

Mevcut atık yönetimine göre düzenli depolama yapılan plastik atıklarının alternatif senaryoda yakma tesisine gönderildiğinde sera gazı emisyonlarında artış olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde elektronik, cam, halı ve sunta atıklarının yakma tesisine gönderildiği senaryoda emisyonları arttırdığı görülmektedir.

Kentsel katı atıklar yakma tesislerinde yakıldığı zaman, CO₂ ve N₂O formunda sera gazları salınır. Yanma sırasında salınan biyogenik olmayan CO₂ (yani, plastiklerden kaynaklanan CO₂), yanmayla ilişkili sera gazı emisyonlarına dahil edilir, ancak biyogenik CO₂ (yani, kağıt ürünlerinden kaynaklanan CO₂), sera gazı emisyonlarına dahil edilmez (EPA WARM Guideline-Background Chapters). Plastik, elektronik, cam, halı ve sunta atıklarının yakılmasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını diğer senaryolara kıyasla arttırması bu atıklarda yakma işleminin doğru olmadığını göstermektedir.

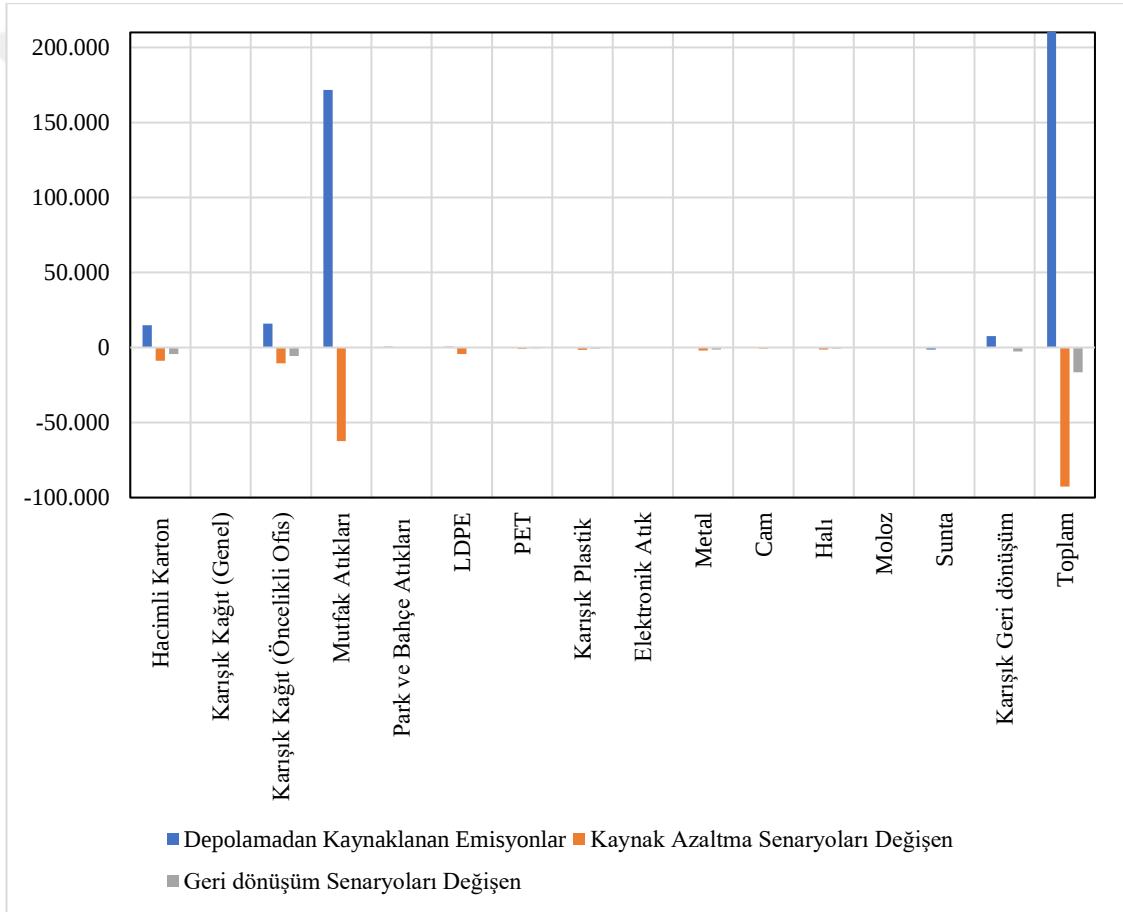
Sırasıyla mutfak atıkları, metal ve kağıt atıklarının yakma senaryosuna bakıldığında emisyonların mevcut duruma göre azaldığı görülmüştür.

Senaryo 20

Senaryo 20’de düzenli depolamaya giden tüm uygulanabilir atıkların %10’unun kaynak azaltma ve %10’unun geri dönüşüm yapıldığı varsayılmıştır. Toplam emisyon azaltımı 109.009 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Tüm uygulanabilir atıkların %10 kaynaktan azaltma ve geri-dönüşüm senaryoları emisyonları Şekil 4.25’de gösterilmiştir.

Malzeme	Geri Dönüşümden Kaynaklanan Emisyonlar	Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar	Kaynak Azaltma Senaryoları Değişen	Geri dönüşüm Senaryoları Değişen
Hacimli Karton	0,00	14.908,70	-8.737,82	-4.300,88
Karışık Kağıt (Genel)	-33.365,22	0,00	0,00	0,00
Karışık Kağıt (Öncelikli Ofis)	0,00	15.840,38	-10.457,86	-5.590,26
Mutfak Atıkları	NA	171.767,38	-62.276,91	NA
Park ve Bahçe Atıkları	NA	661,93	NA	NA
LDPE	NA	487,86	-4.373,53	NA
PET	0,00	88,50	-975,82	-461,37

Karışık Plastik	-3.629,02	158,84	-1.535,04	-741,69
Elektronik Atık	-6.598,55	24,96	NA	-99,27
Metal	-1.869,38	65,80	-2.026,31	-1.433,21
Cam	-222,70	231,45	-712,61	-338,63
Halı	0,00	68,07	-1.244,67	-807,24
Moloz	0,00	74,88	NA	-10,44
Sunta	NA	-1.432,59	-262,35	NA
Karışık Geri dönüşüm	0,00	7.691,74	NA	-2.623,16
Toplam	-45.684,88	210.637,89	-92.602,93	-16.406,17



Şekil 4.25. Senaryo 20- Tüm uygulanabilir atıkların %10 kaynaktan azaltma ve geri-dönüşüm emisyonları

Uygulanabilir tüm atıklar için, kaynak azaltma senaryoları geri dönüşüm senaryolarına göre sera gazı emisyonunu daha fazla azalttığı görülmektedir.

Kaynak azaltma yapıldığında; ilk etapta belirli bir miktarda malzeme veya ürünün asla üretilmediği varsayıldığından, kullanım ömrü sonu yönetiminden kaynaklanan hiçbir emisyon yoktur. Warm, kağıt ve ahşap ürünlerin kaynak azaltımının, hasat edilen odun miktarını azaltarak ormanlarda depolanan karbon miktarını artırdığını varsayar. (EPA WARM Guideline). Bu sebeple kaynak azaltma ne kadar çok yapılırsa emisyon azaltımı için faydalı olacaktır.

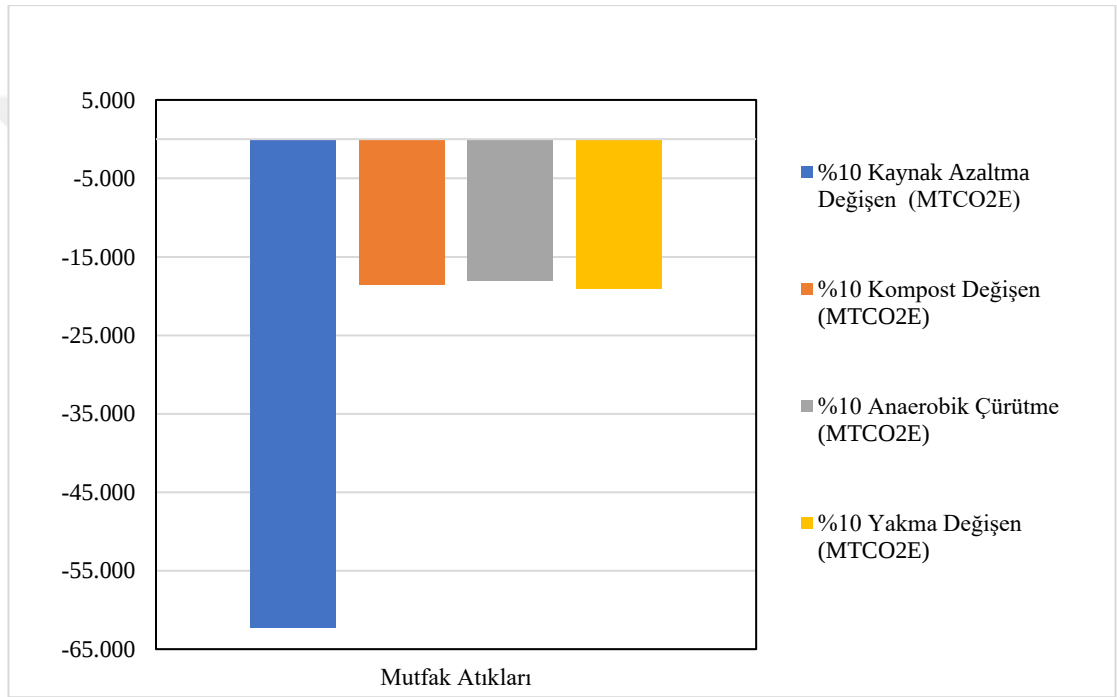
Halkı kentsel katı atıkların azaltılmasında görevlendirmenin çeşitli kültürlerde ve ekonomilerde zor olduğu kanıtlanmıştır. Geri dönüşüme yönelik uygulamalar iyi bilinmesine rağmen, diğer atık azaltma davranışları, nüfusun çoğunluğu tarafından bilinmemekte ve uygulanmamaktadır (O'Connel E.J.,2011). Çünkü, geri dönüşüm, yeniden kullanım ve azaltma davranışları temelde farklı davranışlardır. Yeniden kullanım ve azaltmaya yönelik tutumlar, değerlere ve endişeye dayalıdır. Geri dönüşüm davranışı ise daha kesindir, değerlere dayalı değil esas olarak normlara dayalıdır. Geri dönüşüm için normların kabulü ve aynı zamanda geri dönüşüm kutusuna erişim kolaylığı önemlidir. Geri dönüşüme yönelik uygulamaların daha görünür olması diğer atık azaltma davranışlarına göre katılımın daha olumlu olduğunu göstermiştir (Barr, S., Gilg, A.W. and Ford, N.J.,2001).

Yönetim açısından bakıldığında, insanları geri dönüşüme yönlendirmek yeniden kullanım ve azaltmaya yönlendirmekten daha uygulanabilir ve kolay olmaktadır.

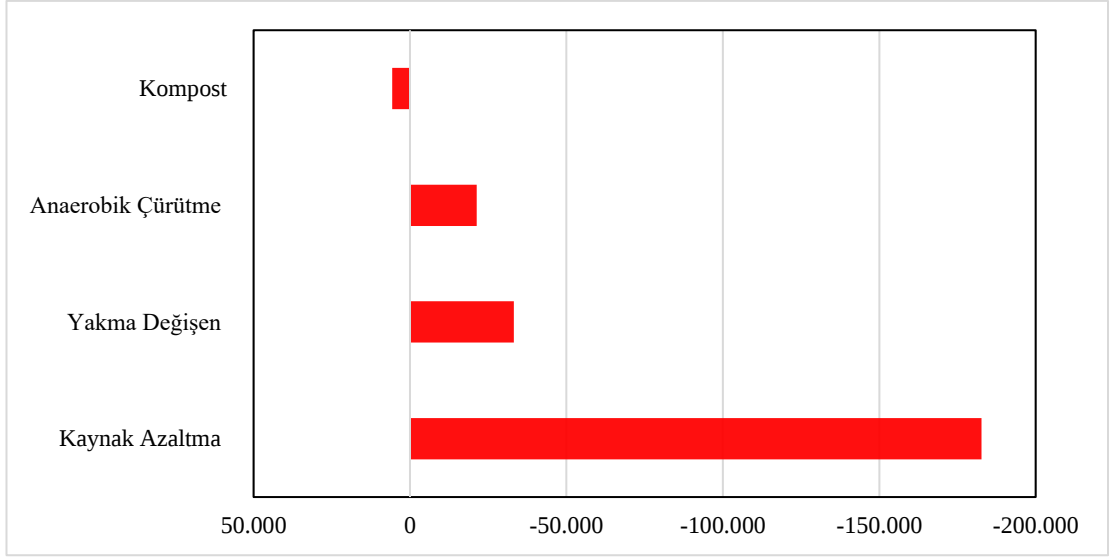
Warm senaryolarının sonucu, geri dönüşümü yapabilen kağıt, plastik, metal ve cam atıkları için, en sürdürülebilir atık yönetim stratejisinin geri dönüşüm olduğunu göstermiştir. Bunun için geri dönüşüm oranlarını arttırmak için geri dönüşüme yönelik uygulamaları arttırmak ve halkı teşvik etmek önemlidir.

Mutfak Atıkları İçin Özet Senaryolar

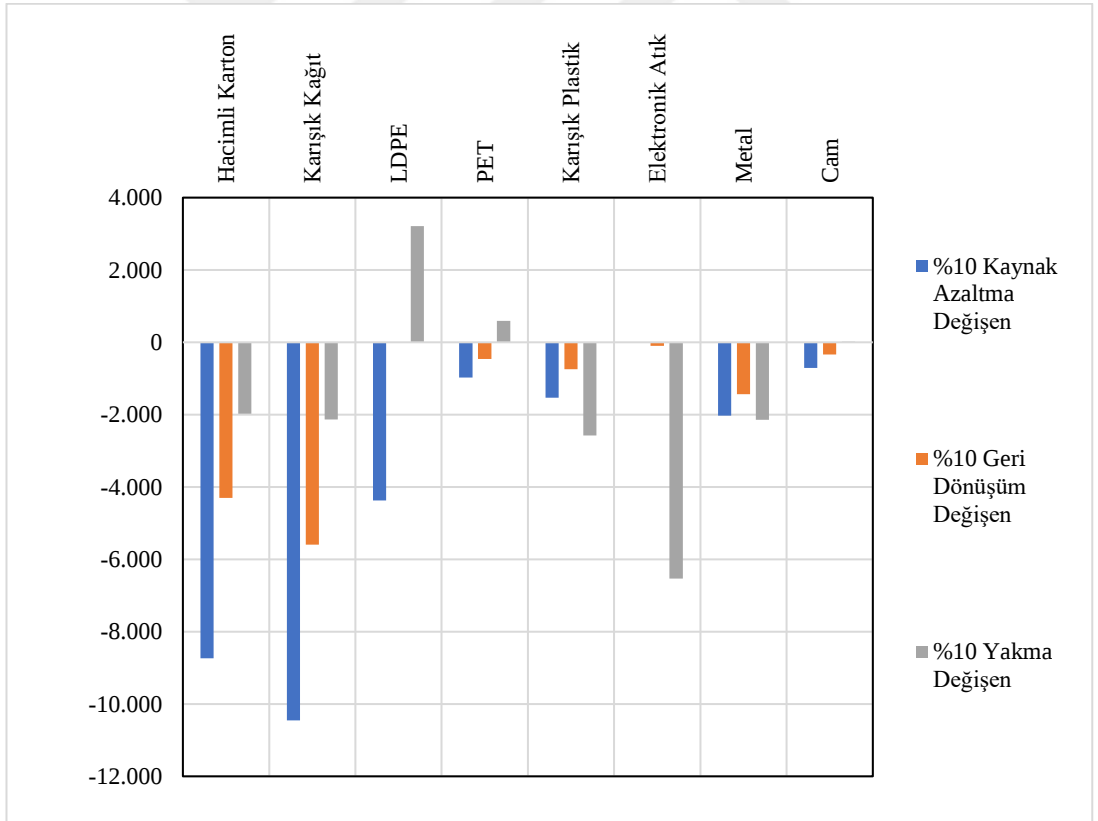
Mutfak atıklarından kaynaklanan senaryo 2,14,16,19 hesaplanan emisyonlar ve enerji tasarrufları aşağıdaki grafiklerde (Şekil 4.26 ve Şekil 4.27) karşılaştırılmıştır. Grafiklerden izlenebildiği üzere en büyük emisyon azaltım potansiyeli kaynakta azaltım ile sağlanabilecektir. Alternatif atık yönetimi uygulamalarının mutfak atıkları özelinde emisyon azaltımı bakımından benzer bir performans sağlayacağı görülmektedir. Diğer tüm uygulanabilir atıklar için kaynakta azaltma, geri dönüşüm ve yakma uygulamalarının emisyon azaltım kıyaslaması Şekil 4.28’te gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Mutfak Atıkları Atık yönetimi Senaryoları Emisyonları Kıyaslaması



Şekil 4.27. Mutfak Atıkları Atık yönetimi Senaryoları Enerji Tasarrufları Kıyaslaması



Şekil 4.28. Kaynakta Azaltma, Geri Dönüşüm ve Yakma Uygulamalarının Emisyon Azaltım Kıyaslaması

Senaryo 21

Tüm alternatif senaryolar değerlendirdikten sonra aşağıdaki tabloda özetlenen 2 adet senaryo oluşturularak ne kadar emisyon azaltımı yapıldığı hesaplanmıştır. Bu iki senaryo ilk aşamada idari tedbirlerle en hızlı şekilde uygulamaya geçilebilecek, ileri seviye bir toplumsal hazırlık gerektirmeyecek ve maliyet açısından fazla yük getirmeyecek olan uygulamalar seçilerek oluşturulmuştur. İlk özet senaryoda; mutfak atıkları %20 oranında anaerobik çürütme ve depolama yapılan atıklar değişik oranlarda geri dönüşüm ve kaynak azaltma yapılarak emisyon azaltımı elde edilmiştir. İkinci özet senaryoda ise mutfak atıklarının yöntemini değiştirmeden diğer atıkların geri dönüşüm oranları arttırılmıştır. 2 senaryodada birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Oluşturulan bu senaryolara göre mevcut atık yönetiminden kaynaklanan emisyonlar yaklaşık olarak %60 oranında azaltılmıştır.

Tablo 4.11. Atık Yönetiminde 2 Özet Senaryonun SG Emisyonları

Malzeme	Toplam Emisyonları (tCO ₂ e)	Özet Senaryo 1		Özet Senaryo 2	
Hacimli Karton	14.908,70	%50 Geri Dönüşüm	-21.504,42	%100 Geri Dönüşüm	-43.008,84
Karışık Kağıt (Genel)	-33.365,22				
Karışık Kağıt (Öncelikli Ofis)	15.840,38	%30 Geri Dönüşüm	-16.770,77	%50 Geri Dönüşüm	-27.951,28
Mutfak Atıkları	171.767,38	%20 Anaerobik Çürütme	-36.073,94		0,00
Park ve Bahçe Atıkları	661,93	%100 Kompost	-827,54	%100 Kompost	-827,54
LDPE	487,86	%20 Kaynak Azaltma	-8.747,06	%30 Kaynak Azaltma	-13.120,59
PET	88,50	%10 Geri Dönüşüm	-461,37	%10 Geri Dönüşüm	-461,37
Karışık Plastik	-3.470,19	%10 Geri Dönüşüm	-741,69	%10 Geri Dönüşüm	-741,69
Elektronik Atık	-6.573,59	%10 Geri Dönüşüm	-99,27	%10 Geri Dönüşüm	-99,27
Metal	-1.803,57	%10 Geri Dönüşüm	-1.433,21	%10 Geri Dönüşüm	-1.433,21

Cam	8,75	%10 Geri Dönüşüm	-338,63	%10 Geri Dönüşüm	-338,63
Halı	68,07	%50 Geri Dönüşüm	-3.968,12	%100 Geri Dönüşüm	-8.072,39
Moloz	74,88	%10 Geri Dönüşüm	-10,44	%10 Geri Dönüşüm	-10,44
Sunta	-1.432,59		0,00		0,00
Karışık Geri dönüşüm	7.691,74	%10 Geri Dönüşüm	-2.623,16	%10 Geri Dönüşüm	-2.623,16
Toplam	164.953,02	-93.599,63		-98.688,43	



BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel ısınma ve iklim değişikliği dünyamızı tehdit eden büyük bir çevre sorunudur. Özellikle sanayi devrimi sonrasında atmosferde gözlemlenen sera gazlarındaki artışa bağlı olarak dünya ölçeğinde önemli değişikliklerin meydana geldiğini, kuraklık, sel ve salgın hastalıkların artması gibi, 2020 yılında tüm dünyada görülen Covid 19 salgını gibi, halihazırda görülen felaketlerin gün geçtikçe arttığını görmekteyiz. İnsan kaynaklı faaliyetleri sonucunda atmosferde fazlaca biriken sera gazları neticesinde artan sıcaklığın sınırlandırılması için karbon salınımlarının azaltılması gerekmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorununun yönetimi için doğal kaynaklara zarara vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi artmıştır. Dünya genelinde yenilenebilir enerji paylarının artırılması zorunluluğu nedeniyle, enerji üretim planlamalarında artık bu enerji kaynaklarının da kullanılmasını gerektirdiği anlaşılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilen kentsel katı atık yönetiminden kaynaklanan salımların azaltılması da sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada Pendik ilçesinin kentsel sera gazı emisyonlarındaki artışa atık yönetiminin katkısı hesaplanmıştır. Envanter; yerel çaplı Sera Gazı Salımları için Küresel Protokolüne (GHG Protokol for Cities) uygun olarak hazırlanmıştır. Hesaplamalar yapılırken IPCC metotları kullanılmıştır. Özellikle katı atıkların bertarafı sırasında emisyonların açığa çıkması sebebi ile atık yönetiminde değişikliklerin yapılması hem emisyon azaltımı açısından hem doğal kaynakların korunması, ekonomi ve enerji anlamında tasarruf yapmak adına çok önemlidir. Pendik İlçesinin 2020 yılı için sera gazı emisyonları toplamı 2.090.586,1 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Sabit enerji kaynaklı emisyonlar toplam emisyonların %44'ü kadarken, ulaşım kaynaklı emisyonlar %43'lük pay ile sabit enerji kaynaklı emisyonları takip etmektedir. Atık kaynaklı emisyonlar ise %14 olarak hesaplanmıştır.

İstanbul 2020 yılı sera gazı emisyon envanteri sonuçları ile bu çalışmada hesaplanan Pendik ilçesi 2020 yılı sera gazı envanter sonuçları kıyaslanmış sonuçların nüfus ile orantılı (%4,6-%4,7) olduğu görülmüştür. Sonuçların orantılı çıkması verilerin

doğruluğu açısından önemlidir. Faaliyet verilerinin çoğu İstanbul İli verilerinden ekstrapole edildiği için belirsizlik yüksek olmaktadır.

Envanter hazırlanırken elde edilecek verilerin kaynağında üretilmesi, faaliyet bazlı tüketim verilerinin daha detaylı bir şekilde temin edilebilmesi, izleme ölçme altyapısının iyileştirilmesi envanter sonuçlarının güvenilirliğinin artmasını sağlayacak ve bu sonuçlara bağlı ilçeye özgü çıktılarının oluşması ile karar vericilere yol gösterecek ve sera gazlarını kontrol altına almaya yönelik önlemlerin alınmasını kolaylaştıracaktır.

Kentsel atık yönetiminin karbon dengeleme potansiyelinin değerlendirilmesi için Epa tarafından hazırlanan atık azaltım modeli (WARM) kullanılarak atık yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılmasıyla ilgili 21 adet senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolara göre mevcut atık yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarında yapılabilecek en sürdürülebilir ve uygulanabilir değişiklikler değerlendirilmiştir.

Pendik İlçesinde Warm program için oluşturulan mevcut atık yönetimi senaryosuna bakıldığında en yüksek yüzdeye sahip atıklar %52 oranı ile bertaraf edilen mutfak atıkları olmuştur. Bertarafa giden geri dönüştürülebilir atık oranının ikinci yüksek orana sahip olduğu görülmektedir. Geri dönüşüm yapılan atıklar tüm atıklarının %10'unu oluşturduğu görülmektedir. Warm'da oluşturulan alternatif senaryolarda düzenli depolamaya giden atıklar sırasıyla azaltma, geri dönüşüm, kompost, anaerobik çürütme, yakma yapıldığı varsayılarak atıklar için en uygun ve sürdürülebilir atık yönetimi belirlenmiştir.

Kaynak azaltma senaryoları geri dönüşüm senaryolarına göre sera gazı emisyonunu daha fazla azalttığı görülmektedir. Kaynak azaltma ne kadar çok yapılırsa emisyon azaltımı için faydalı olacaktır. Bu sebeple uygulanabilir tüm atıklar için atık hiyerarşisinin en üstünde olan kaynak azaltmanın yapılması ve halkın bu konuda bilinçlendirilmesinin sağlanmasının çok önemli olduğu görülmüştür. Kaynak azaltma senaryo analizinde özellikle geri dönüşümü olmayan ve çöpe atılan plastik poşetlerin (LDPE) kaynağında azaltılması hem emisyonların azaltılması açısından hem de diğer

atıklara göre çok fazla enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Bu sebeple LDPE atıkları için en uygun atık yönetiminin kaynak azaltma olduğu tespit edilmiştir.

Yönetim açısından bakıldığında, insanları geri dönüşüme yönlendirmek yeniden kullanım ve azaltmaya yönlendirmekten daha uygulanabilir ve kolay olmaktadır. Özellikle kağıt atıkların geri dönüşümü emisyonların azaltılması için çok önemli olduğu görülmektedir. Tüm geri dönüşüm atıkları için en sürdürülebilir yönetimin geri dönüşüm yapılması olduğu düşünülmektedir.

Mutfak atıklarının yönetimi emisyon ve enerji tasarrufu açısından değerlendirilmiştir. Mutfak atıklarının kaynak azaltma yapılması hem israfın önlenmesi açısından faydalı olacaktır. Emisyonları en çok kaynak azaltmanın azalttığı görülmüştür. Kaynak azaltma sonrasında yakma gelmektedir. Ancak, organik atıkların yüksek nem içeriği nedeniyle, gıda atıkları yakma yaygın ısı işlemler için uygun görülmemektedir. Organik madde ve nitrojen kaybı gibi çeşitli çevre kirliliği, hava kirliliği sorunları nedeni ile gıda atıklarını yönetmek için diğer çevre dostu alternatif tekniklerin aranmasını kuvvetle teşvik etmek gerekir (Saqib N. Ve Ark., 2019). Mutfak atıkları için en sürdürülebilir yöntemin anaerobik çürütme olduğu görülmüştür. Plastik, elektronik, cam, bahçe atıkları, halı ve sunta atıklarının yakılmasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını diğer senaryolara kıyasla arttırması bu atıklarda yakma işleminin doğru olmadığını göstermektedir.

Tüm alternatif senaryolar değerlendirildikten sonra 2 adet özet senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan bu senaryolara göre mevcut atık yönetiminden kaynaklanan emisyonlar yaklaşık olarak %60 oranında azaltılmıştır. İlk özet senaryoda; mutfak atıkları %20 oranında anaerobik çürütme ve depolama yapılan atıklar değişik oranlarda geri dönüşüm ve kaynak azaltma yapılarak emisyon azaltımı elde edilmiştir. İkinci özet senaryoda ise mutfak atıklarının yöntemini değiştirmeden diğer atıkların geri dönüşüm oranları arttırılmıştır. 2 senaryodada birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda, Pendik İlçesi için en sürdürülebilir atık yönetiminin geri dönüşümün arttırılmasını sağlamak olduğunu göstermiştir. Pendik ilçesinde anaerobik

çürütme tesisi olmaması sebebi ile geri dönüşüme göre yüksek maliyet gerektirir, ilçede uygun arazinin olması ve emisyon azaltımına sağlayacağı katkı düşünüldüğünde, uzun vadede iyi bir alternatif olacaktır.

Pendik ilçesi kent merkezinde 1 kWp kurulu güce sahip kristal-silikon bir PV paneli ile yılda 1.392,27 kWh elektrik elde edilmesi mümkün olduğu hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında, Pendik Belediyesi kendi idari sorumluluğundaki sahalar dahilinde PV panelleri yerleşimine uygun idari bina çatı alanlarının toplamı yaklaşık 16.000 m² tespit edilmiştir. Yalılı'ya (2021) göre yaklaşık 20 dönüm bir arazide 1000 kWp kurulu güce sahip PV sistemi yıllık 1.392.269,23 kWh elektrik üretebilmektedir. Söz konusu yenilenebilir enerji üretimi ile yıllık olarak yaklaşık 900 tCO₂e sera gazı emisyonunun dengelenmesi mümkündür. Bu çalışma dikkate alınarak, Pendik ilçesinde belirlenen idari çatı alanlarına kurulacak 800 kWp güce sahip PV sistemi tarafından üretilecek 1.113.816 kWh/yıl elektrik ile yaklaşık 700 tCO₂ sera gazı emisyonunun dengelenmesi mümkün olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın 140 adet hanenin 1 yıllık elektrik kullanımına eşdeğer olduğu hesaplanmıştır. Pendik ilçesinde iklimsel ve çevresel özellikleri açısından PV tabanlı güneş enerjisi sistemlerini kurmaya uygun potansiyelde olduğu görülmüştür. İlçede önümüzdeki yıllarda kentleşmenin de devam edeceği düşünülmektedir. Yeni tasarlanacak binalarda güneş enerjisi uygulamalarının arttırılması anlamlı bir emisyon azaltıcı faaliyet olacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Arı H., 2013, “Yağışın Katı Atıktan Oluşan Sera Gazlarına Olan Etkisinin İncelenmesi”, HR.Ü.Z.F. Derg., 17(3): 12-17.

Baloch M.H., Abro S.A., Kaloi G.S., Mirjat N.H., Tahir S., Nadeem M.H., Gul M., Memon Z.A., Kumar M.,2017, Pakistan Rüzgar Koridorlarından Elektrik Üretimi Üzerine Bir Araştırma (iki eyalet): Uzak Bölgeler İçin Teknik Bir Öneri.

Barlas N.,2013,” Küresel Krizlerden Sürdürülebilir Topluma Çağımızın Çevre Sorunları, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.

Barr S., Gilg A.W., Ford N.J.,2001, Differences Between Household Waste Reduction, Reuse and Recycling Behaviour: a Study of Reported Behaviours, Intentions and Explanatory Variables

Batan M., 2014, “Küresel İklim Değişikliği ve Beklenen Sonuçları”, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Diyarbakır.

Chen T., Lin C., 2008, “Yaşam Döngüsü Envanteri modeli kullanılarak atık yönetimi uygulamalarından kaynaklanan sera gazı emisyonları”,Ulusal Tayvan Üniversitesi Çevre Mühendisliği Lisansüstü Enstitüsü, Tayvan.

Chen D., Bodirsky B.L., Krueger T., Mishra A., Popp A.,2020, “The world’s growing municipal solid waste: trends and impacts”, IOP Publishing Ltd.

CSB, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>, Erişim Tarihi: 06.06.2022.

Çelik S., Bacanlı H. Ve Görgeç H., 2008,” Küresel İklim Değişikliği ve İnsan Sağlığına Etkileri”, Telekomünikasyon Şube Müdürlüğü.

Enerji Atlası, Teknopark İstanbul Güneş Enerji Santrali, <https://www.enerjiatlası.com/gunes/teknopark-istanbul-gunes-santrali.html>, Erişim Tarihi: 02.06.2022

EPA WARM Guideline, User’s Guide for Greenhouse Gas Emission, Energy and Economic Factors Used in the Waste Reduction Model, <https://www.epa.gov/warm/documentation-chapters-greenhouse-gas-emission-energy-and-economic-factors-used-waste>.

ETKB REPA, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası, İstanbul İli için Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Sunusu, <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/ISTANBUL-REPA.pdf>, Erişim Tarihi: 06.06.2022

Franchetti M., Kilaru P.,2011, “Modeling The İmpact Of Municipal Solid Waste Recycling On Greenhouse Gas Emissions İn Ohio, USA”, The University of Toledo, College of Engineering Mechanical, Industrial, and Manufacturing Engineering Department, 2801 West Bancroft Street, Toledo, OH 43606, USA.

İklim İçin Kentler-Yerel Yönetimlerde İklim Eylem Planı,2019, www.350turkiye.org

IPCC, AR4 Sentez Raporu: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Dördüncü Değerlendirme Raporunun (AR4) Sentez Raporu (SYR)

IPCC, AR5 Sentez Raporu: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Beşinci Değerlendirme Raporunun (AR5) Sentez Raporu (SYR)

IPCC, AR6 Sentez Raporu: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Altıncı Değerlendirme Raporunun (AR6) Sentez Raporu (SYR)

İstanbul Sera Gazı Envanter Raporu, 2015, İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı, <https://cevre.ibb.istanbul/wp-content/uploads/2022/05/Sera-Gazi-Envanter-Raporu.pdf>.

Kadıoğlu M. Prof. Dr., “Küresel İklim Değişikliği ve Etkileri, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

Köse İ. Doç. Dr., 2018, “İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye’nin Paris Anlaşmasını İmza Süreci”, 2018.

Kristanto, G.A., Koven, W., 2019, “Endonezya, Depok'ta Belediye Katı Atık Yönetiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Tahmini”, Endonezya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) ,2022,21 Şubat, “The Effects of Climate Change”, <https://web.archive.org/web/20220221091306/https://climate.nasa.gov/effects/>.

O’Connel E.J.,2011, “Increasing Public Participation in Municipal Solid Waste Reduction”, Sustainability Education Prescott College Aspen, Colorado 81611.

Öztürk M. ve Öztürk A., 2019, “BMİDÇS’den Paris Anlaşması’na: Birleşmiş Milletler’in İklim Değişikliğiyle Mücadele Çabaları”, Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ , Erişim Tarihi: 06.06.2022.

Sancar O., Bostancı S.H.,2020, “COVID-19 Pandemi Sürecinde Karbon Emisyonu Üzerine Bir Tartışma”, Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.

Saqib N., Sharma H. B., Brouian S. Dubey B. Sarmah A.,2019, “Valorisation of food waste via hydrothermal carbonisation and techno-economic feasibility assessment”.

Sera Gazı Eşdeğerleri Hesaplayıcısı EPA, <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>.

Seto, K. C., Dhakal, S., Bigiol, A., Blanco, H., Delgado, G. C., Dewar, D., et al. (2014). “Human settlements, infrastructure and spatial planning,” in Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. eds O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth (Cambridge, UK; New York, NY: Cambridge University Press), 923–1000.

Şehir Planlama Müdürlüğü İstanbul Büyükşehir Belediyesi, <https://sehirplanlama.ibb.istanbul/pendik-ilcesi/> , Erişim Tarihi: 28.06.2022.

Türkeş M., 2001, “Küresel İklimin Korunması, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Ve Türkiye”, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G., 2000, ‘Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri’, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası), 7-24, ÇKÖK Gn. Md., Ankara.

Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yayın Tarihi:06.10.2021

UN, The World's Cities in 2018, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). The World's Cities in 2018—Data Booklet (ST/ESA/SER.A/417).

UNEP, Cities and Climate Change, <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/cities-and-climate-change>, (Erişim Tarihi: 10.12.2021).

Yalılı M., 2021, “Lisanslı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Yatırımının Finansal Analizi: Van İli Örneęi”, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakóltesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara.

