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

GERİ KAZANIM TESİSİNDE KARBON AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hazırlayan
Furkan DEMİRBAŞ

Danışman
Doç. Dr. Nuray ATEŞ

Yüksek Lisans Tezi

Ocak 2018
KAYSERİ

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

GERİ KAZANIM TESİSİNDE KARBON AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Furkan DEMİRBAŞ

Danışman
Doç. Dr. Nuray ATEŞ

Ocak 2018
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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

Furkan DEMİRBAŞ



Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Furkan DEMİRBAŞ

Danışman

Doç.Dr. Nuray ATEŞ

Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof.Dr. Fatih ALTUN

Doç. Dr. Nuray ATEŞ danışmanlığında **Furkan DEMİRBAŞ** tarafından hazırlanan **"Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

.

26 /01/2018

JÜRİ:

Danışman	: Doç.Dr. Nuray ATEŞ	.....
Üye	: Doç.Dr. Esra YEL	.....
Üye	: Doç.Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK	.....

ONAY:
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun .20/02/2018 tarih ve 2018/09-17 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.20..../..02../..2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca hem bilimsel katkılarıyla hem de tecrübesiyle beni doğruya yönelten ve en zor zamanlarımda manevi desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. Nuray ATEŞ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans eğitimim boyunca her türlü desteği sağlayan kıymetli danışman hocam Prof.Dr. Nüket SİVRİ'ye ve Doç.Dr. Serdar AYDIN hocama teşekkürlerimi bir borç biliyorum.

Ayrıca; bugünlere gelmemi sağlayan ve çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Furkan DEMİRBAŞ

Kayseri, Ocak 2018

GERİ KAZANIM TESİSİNDE KARBON AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Furkan DEMİRBAŞ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2018
Danışman: Doç. Dr. Nuray ATEŞ

ÖZET

Gelecek nesillere aktarılması gereken temiz bir dünya için en büyük tehlike, devletler arasında gerçekleşen sanayileşme yarışında doğaya salınan sera gazlarıdır. Salınan bu gazlar doğanın dengesini bozduğu gibi insanların sağlıklarını bozmak için de önemli rol oynamaktadır. Bu gazların olumsuz etkilerini en aza indirgemek hem kendi sağlığımız hem de gelecekteki temiz dünyayı inşa etmek her ferdin öncelikli vazifesidir. Attığımız her adımda dahi yaşadığımız atmosfere sera gazı salındığı öngörülmektedir. Salınımın en aza indirgenmesi için sürdürülebilir kalkınma uygulamalarının yanı sıra temiz çevre kuralını da uygulamak gerekmektedir. Bu çalışmada, Kayseri İli sınırları içerisinde yer alan bir geri kazanım tesisinin faaliyetleri sonucunda oluşan karbon ayak izi değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, tesis sahası içerisinde ve tesis dışında oluşan ulaşım, ısınma ve elektrik kaynaklı karbon ayak izi miktarı incelenmiştir. Tesisin faaliyetlerinden dolayı sebep olduğu karbon ayak izin Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından geliştirilmiş Tier 1 ve Tier 2 metodolojisi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, önemli bir kısmını atık alımının oluşturduğu ulaşım faaliyeti tesiste %76,8 ile en yüksek pay kaynaklı karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır. Tesiste kullanma ısınma amaçlı yakıt tüketiminin sebep olduğu karbon ayak izi %23,1 ile ulaşımı takip etmektedir. Elektrik kullanımı %0,1'den daha az bir paya sahiptir. Tesisin toplam CO_2 emisyonu 132734,6 ton iken, ulaşım, ısınma ve elektrik kullanımı faaliyetlerinin CO_2 emisyon miktarları, sırası ile, 102000 ton, 30726 ton ve 8,6 ton olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sera gazı, sürdürülebilir kalkınma, temiz çevre, emisyon azaltımı, karbon ayak izi.

EVALUATION OF CARBON FOOTPRINT IN RECYCLING PLANT

Furkan DEMİRBAŞ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, January 2018
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nuray ATEŞ

ABSTRACT

The greatest danger for a clean world that needs to be transferred to future generations is the greenhouse gases released into the environment as a result of the industrialization race taht takes place among countries. These released gases play an important role in damaging the health of human beings as well as of destroying nature. Minimizing the negative effects of these gases is a priority for every individual for both our own health and building a clean earth in the future. Every step we take is anticipated to be released atmospheric greenhouse gas that we live in. In addition to sustainable development practices in order to reduce emissions, it is also necessary to implement clean environment rules. In this study, the carbon footprint of the recycling facility within the borders of Kayseri Province as a results of its operations was evaluated. Correspondingly, the amount of carbon footprint of transportation, heating and electricity usage in the plant site and its operations has been examined. Tier 1 and Tier 2 methodologies developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) were used to determine the carbon foot print of the facility. As a result, transportation activity, which is a significant part of waste collection, contributes to the highest share of carbon footprint with 76.8%. The carbon footprint, which is caused by consumption of heating fuel for use with 23.1%, follows the transportation. Electricity usage has a share of less than 0.1%. The total CO_2 emission of the plant was 132734,6 tons, while the CO_2 emission amounts of transportation, heating and electricity use were found to be 102000 tons, 30726 tons and 8.6 tons, respectively.

Keywords: Greenhouse gas, sustainable development, clean environment, emission reduction, carbon footprint.

İÇİNDEKİLER

GERİ KAZANIM TESİSİNDE KARBON AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ii
KABUL ONAY iii
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR VE SİMGELER x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii

GİRİŞ 1

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1. Hava, İklim ve İklim Değişikliği 3
1.1.1. İklim Değişikliğini Etkileyen Doğal Etmenler 4
1.1.2. İklim Değişikliğinin Etkileri 5
1.2. İklim Değişikliği Mevzuatları 6
1.2.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 6
1.2.2. Taraflar Konferansları 10
1.2.2.1. Birinci Taraflar Konferansı 11
1.2.2.2. İkinci Taraflar Konferansı 12
1.2.2.3. Üçüncü Taraflar Konferansı 13
1.2.3. Montreal Protokolü 14
1.2.4. Kyoto Protokolü 15

1.2.4.1. Kyoto Protokolü'nün Oluşumu 15

1.2.4.2. Kyoto Protokolü'nün Uygulanması 16

1.2.4.3. Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları 17

1.2.5. Bali Eylem Planı 18

1.2.6. Paris İklim Anlaşması 19

1.3. Sera Etkisi ve Sera Gazları 21

1.3.1. Karbondioksit (CO_2) 23

1.3.2. Metan (CH_4) 23

1.3.3. Nitröz Oksit (N_2O) 24

1.3.4. Ozon (O_3) 24

1.3.5. Azotoksitler (NO_x) 25

1.3.6. Sentetik Sera Gazları 25

1.4. Emisyon Faktörleri 25

1.5. Türkiye'nin Sera Gazı Emisyonları Eğilimi 28

1.6. Karbon Ayak İzi 31

1.6.1. IPCC Metodolojisi ile Karbon Ayak İzi Hesabı 33

1.6.2. Karbon Ayak İzi Uygulamaları 34

1.6.2.1. Türkiye'de Karbon Ayak İzi Uygulamaları 34

1.6.2.2. Diğer Ülkelerde Karbon Ayak İzi Uygulamaları 36

1.7. Geri Kazanım ve Uygulamaları 36

1.7.1. Atık Tanımı 36

1.7.2. Atık Yönetimi 42

1.7.2.1. Önleme 44

1.7.2.2. Azaltma 44

1.7.2.3. Tekrar Kullanma 44

1.7.2.4. Geri Dönüşüm 45

1.7.2.5. Atıkların Depolanması 45

1.7.2.6. Geri Kazanım 45

1.7.3. Geri Kazanım Uygulamaları 47

1.7.3.1. Türkiye'deki Uygulamalar 47

1.7.3.2. Diğer Ülkelerdeki Uygulamalar 48

BÖLÜM 2

YÖNTEM

2.1. Geri Kazanım Tesisinin Tanıtımı 50

2.2. Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzi Hesabı 61

BÖLÜM 3

BULGULAR ve TARTIŞMALAR

3.1. Yıkama Prosesi 64

3.2. Karbon Ayak İzi 65

3.2.1. Ulaşım Kaynaklı Karbon Ayak İzi 65

3.2.2. Isınma Kaynaklı Karbon Ayak İzi 70

3.2.3. Elektrik Kaynaklı Karbon Ayak İzi Hesabı 71

3.2.4. Yıkama Prosesi Kaynaklı Karbon Ayak İzi 72

BÖLÜM 4

SONUÇ ve ÖNERİLER 74

KAYNAKÇA 76

ÖZGEÇMİŞ 83

KISALTMALAR VE SİMGELER

Sembol	Anlamı
BM	Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
AB	Avrupa Birliği
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
BMİÇK	Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
EİT	Ekonomik İşbirliği Teşkilatı
GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
EPA	Çevre Koruma Ajansı
INDC	Ulusal Katkı Niyetleri

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Küresel Isınmada Etkili Olan Sera Gazları 24
Tablo 1.2. Sera Gazı Emisyonlarının Farklı Sektörlerdeki Dağılımı 30
Tablo 1.3. Sera Gazı Emisyonları 30
Tablo 1.4. Karbon Ayak İzi Sınıflandırma 34
Tablo 2.1. Tesiste Bulunan Araçların Listesi 54
Tablo 2.2. Atıksu Arıtma Tesisinde Kullanılan Bilgiler 62
Tablo 2.3. Atıksu Giriş Değerleri 64
Tablo 2.4. Yakıtların Net Kalori Değerleri 66
Tablo 2.5. Karbon Emisyon Faktörleri 66
Tablo 3.1. Tesiste Kullanılan Solventin Bileşimi 68
Tablo 3.2. Yıkama Ünitesi Verimi 69
Tablo 3.3. Tesiste Kullanılan Yakıtın Özellikleri 70
Tablo 3.4. Ulaşım Kaynaklı Karbon Ayak İzi Oranları 72
Tablo 3.5. Tesiste Oluşan Karbon Ayak İzi Miktarı 77
Tablo 3.6. Tesiste Oluşan Karbon Ayak İzi Yüzdeleri 77

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye'nin Sunduğu INDC Raporu (milyon ton CO_2) 22
Şekil 1.2. Sera Gazı Emisyonlarının Farklı Sektörlerdeki Dağılımı 31
Şekil 1.3. Sera Gazlarının Sektörel Bazda Yıllara Göre Değişimi 31
Şekil 1.4. Ülkelere Göre Toplam CO_2 Emisyonu Yüzdesel Dağılımı 32
Şekil 1.5. Türkiye'nin Dünyadaki Toplam CO_2 Emisyonları İçerisindeki Payı 32
Şekil 1.6. Dünyada ve Türkiye'de Kişi Başına Düşen CO_2 Dağılımı 33
Şekil 1.7. Tehlikeli Atıkların Canlı Yapılara Taşınımı 42
Şekil 1.8. Tehlikeli Atık Sembolleri 44
Şekil 1.9. Atık Yönetiminin Ana Bileşenleri 46
Şekil 1.10. Atık Yönetim Hiyerarşisi 47
Şekil 2.1. Genel Vaziyet Planı 56
Şekil 2.2. Yıkama Ünitesi Akım Şeması 57
Şekil 2.3. Atık Sac Variller İçin İş Akım Şeması 58
Şekil 2.4. Atık Tanklar İçin İş Akım Şeması 59
Şekil 2.5. Atık Bidonlar İçin İş Akım Şeması 60
Şekil 2.6. Küçük Boyuttaki Atık Malzemeler için İş Akım Şeması 61
Şekil 2.7. Arıtma Prosesi İş Akım Şeması 63
Şekil 3.1. Geri Kazanım Tesisi, Atık Alım Noktası ve Servis Noktasının Yerleri 73

GİRİŞ

Artan nüfus, endüstriyelleşme, kentleşme ve bunların sonucunda üretim ve tüketim kapasitesinin yükselmesi çevresel sorunların artmasına sebep olmaktadır. Doğal kaynakların azalmasının yanında hayatımıza çevresel kirlilik, iklim değişikliği, çölleşme ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi terimler katılmıştır. Bu terimlerden özellikle iklim değişikliği, insan faaliyetleri sonucunda açığa çıkan sera gazlarının atmosferde birikmesi sonucu oluşmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği son yıllarda ortaya çıkan sorunların başında gelmektedir.

İnsan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan iklim değişikliğinin en önemli sebebi hidrokarbon ve yüksek oranda karbon içeren kömür, petrol, doğalgaz gibi doğal enerji kaynaklarının oksitlenmesi sonucunda açığa çıkan sera gazları ve dünyanın karbon tutma kapasitesinin azalmasıdır. Bu etkiler sonucunda uluslararası alanda atılan ilk ve en önemli adım, 1992 yılında Rio de Janeiro'da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler (BM) Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzaya açılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), 1994 yılında yürürlüğe girmiştir [1]. Türkiye, bu sözleşmede hem tarihsel sorumluluk gerektiren EK-I listesinde hem de maddi sorumluluk gerektiren EK-II listesinde yer almıştır [2]. BMİDÇS'nin karbon ayak izini azaltmaya yönelik kesin verilere dayalı bir çalışma takvimi belirleyememesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması için ülkeler arasındaki işbirliğini sağlayamaması küresel ısınma ile mücadelede sera gazlarının emisyonlarının azaltılması için farklı düzenlemelere ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir. Japonya'nın Kyoto kentinde 1997 yılında düzenlenen 3. Taraflar Konferansı'nda, tavsiye niteliğinde bulunan BMİDÇS'nde bulunan açıkları kapatmak üzere 2005 yılında yürürlüğe giren ve bağlayıcı özelliği bulunan Kyoto Protokolü oluşturulmuştur [3]. Düzenlenen konferansta birçok ülke tarafından sera gazı salınımlarının 2010 yılına kadar 1990 yılındaki seviyesinin %15'i kadar azaltılması desteklenmiştir [3]. Bu protokole Avrupa Birliği (AB) dahil 182 ülke ve 1 ekonomik topluluk taraftır.

Kyoto Protokolü, BMİDÇS içerisinde belirtildiği gibi iki ek listeye sahiptir. Protokole taraf olan ülkeler için sera gazı salınımları ve ilişkili sektörler EK-I'de, tarafların ayrıntılı ve sayısal olarak belirlenmiş yükümlülükleri EK-II'de düzenlenmiştir. EK-I'de düzenlenen sera gazları arasında karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), nitröz oksit (N_2O), kloroflorokarbonlar (CFC_S), hidroflorokarbonlar (HFC_S), perflorokarbonlar (PFC_S) ve sülfürhekzaflorit (SF_6), ilişkili sektörler arasında enerji, endüstriyel işlemler ve atık bulunmaktadır [3].

Tezin ana konusunu oluşturan ve son dönemlerde hayatımızda önemli yer edinen atık sektöründen kaynaklanan küresel sera gazı emisyon miktarı 1,3 gigaton karbondioksit ile toplam emisyon miktarının %3-5'ini temsil etmektedir [4]. Toplam atık sera gazı emisyonlarının %75,6'sı katı atık yönetiminden kaynaklanırken %19,5'u atıksu, %3,1'i ise yakma tesislerinden kaynaklanmıştır [4]. Ayrıca atık yönetimi bir bütün olarak göz önüne alındığında atıkların toplanması ve ulaşımında tüketilen yakıt, elektrik kaynaklı karbondioksit emisyonları, atık depolama ve işleme sırasında atmosfere salınan metan ve nitröz oksit sera gazı emisyon miktarını artıran etmenler iken atıkların geri dönüşümü, geri kazanımı, kompostlaştırma ve atıktan enerji üretimi işlemleri sera gazı emisyonlarını azaltan etmenlerdir. Sonuç olarak geri kazanım uygulamasının sera gazı salınımını azalttığı göz önüne alındığında atık yönetimi için dengeli bir politika oluşturulması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Tezin amacı, tehlikeli atık bertaraf eden bir geri kazanım tesisinin faaliyetlerinden dolayı sebep olduğu karbon ayak izi incelenmiştir. Tesisin karbon ayak izi CO_2 emisyonu bazında hesaplanmıştır. Tesisin karbon ayak izinin belirlenmesinde, tesiste atık alımı ve tesis içi araç kullanımından oluşan ulaşım, ısınma ve tesis içinde elektrik kullanımı baz alınmıştır. Tesisin sebep olduğu karbon ayak izinin azaltılması için alınabilecek tedbirler önerilmiştir. Tez, temel olarak 4 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1'de konu ile ilgili literatür bilgileri, Bölüm 2'de tesis tanıtımı ve karbon ayak izinin hesaplanmasında kullanılan metodoloji, Bölüm 3'te elde edilen bulgular ve Bölüm 4'te sonuçlar özetlenmiştir.

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1. Hava, İklim ve İklim Değişikliği

Dünyamızın sahip olduğu kimyasal, fiziksel ve biyolojik faktörlerin arasındaki doğal dengenin bozulması ile birlikte, iklimde bazı değişiklikler olmuştur. Bu değişmelerin doğal yaşama verdiği en büyük zarar, dördüncü jeolojik zamanda yaşanan değişmelerdir. Doğal faktörlerin de etkili olduğu bu değişikliklere 19. yüzyılın ortalarından itibaren insan faaliyetlerinin de katkısı olmuştur [5]. 19. yüzyılın ortalarında gerçekleştirilen sanayileşme sonucunda gereken önlemlerin alınmaması ile birlikte iklim üzerinde meydana gelen değişimlerin artmasıyla sonucu olumsuz olabilecek olaylar yaşanabilir [5]. Yaşanacak olaylar neticesinde insan faaliyetleri sonucu atmosferdeki birikecek sera gazı miktarındaki artış doğal çevrenin tahribi, ozon tabakasında incelme ve küresel boyutta sıcaklık artışına neden olabilir.

Küresel ısınmaya bağlı olarak oluşacak iklim değişikliğinden en çok etkilenen ülkelerden birisi farklı iklim özelliklerine sahip olan Türkiye olabilir. Türkiye'nin farklı bölgeleri, iklim değişikliğinden; üç tarafı denizlerle çevrili olması, engebeli bir topografyaya sahip olması ve orografik özellikleri nedenleriyle farklı biçimde ve değişik boyutlarda etkilenebilir. Yaşanan bu iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek olan bölge çölleşme tehdidi altında bulunan kurak bölgeler olabilir. Bahsi geçen kurak bölgeler arasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi ve buharlaşma oranının fazla olduğu Ege Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi yer almaktadır [5].

19. yüzyılın ortalarında yaşanan sanayi devrimi sonrasında ilk kez insan faaliyetlerinin de iklimi etkilediği yeni bir döneme girilmiştir. Günümüzde iklim değişikliği insanların sera gazı salınımına sebebiyet veren faaliyetlerinin etkileri hesaba katılarak tanımlanmaktadır. Örnek olarak BMİDÇS'nde iklim değişikliği '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 [7]. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 2. Değerlendirme Raporu'nda küresel iklim üzerinde belirgin bir insan etkisinin bulunduğu vurgulanmıştır [7].

Hava, yeryüzünün herhangi bir yerinde ve herhangi bir anda meydana gelen atmosfer olaylarının tümüne denir. İklim, yeryüzünde uzunca bir süre görülen ya da gözlenen havada meydana gelen olayların bütününe denir [8]. Hava ve iklim insan yaşamını çok değişik yönlerden etkilemektedir. İklim değişikliği ise yaşanan hava olaylarında ya da değişkenliğinde uzun süreli olmak şartıyla meydana gelen değişiklik şeklinde tanımlanabilir. İklim değişikliğinin nedenleri iki ana başlık altında toplanabilir. Bunlar iç süreçler ve dış süreçlerdir. İç süreçler ve dış süreçlerin atmosfer üzerinde oluşturduğu etki sonucu iklim değişiklikleri meydana gelir [8].

İç süreçler dış etkilere maruz kalmadan iklim sisteminin içerisinde meydana gelen değişimlerdir. Atmosfer bileşiminde meydana gelen değişimler, volkanik hareketler ve insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazları iç süreç olarak değerlendirilebilir. Dış süreçler ise iklim sistemine dışarıdan etki eden değişimlerdir. Dış süreçlere örnek olarak Güneş'te meydana gelebilecek etkinlikler ve yerkabuğundaki plakalarda meydana gelecek değişimler olarak gösterilebilir. Dış süreçler önemli ölçüde gerçekleşen iklim değişikliklerini açıklasa da küçük çapta gerçekleşen iklim değişikliklerini açıklayamamaktadır. Dünya genelinde yaşanan önemli seviyedeki sıcaklık değişimleri bir iklim değişikliği olarak kabul edilebilirken, küçük bir bölgede gerçekleşen yağış rejimi değişimi de iklim değişikliği olarak kabul edilebilir.

1.1.1. İklim Değişikliğini Etkileyen Doğal Etmenler

Güneş'in Etkisi

Güneşin manyetik alanı ve iyonlar şeklinde ortaya çıkan güneş rüzgarı, güneş sistemini kozmik ışınlardan koruyucu nitelikte görev üstlenmektedir. Uzun süre güneşin etkisine maruz kaldıktan sonra zayıflayan koruyucu tabaka belli bir süre sonunda kozmik ışınları geçirmeye başlamaktadır. Kendisine geçiş yolu bulan kozmik ışınlar bulutlanma ile

birlikte güneşin sebep olduğu radyasyon oranını değiştirerek küresel ısınmayı ilerletici yönde sıcaklığın yükselmesini sağlamaktadır [10].

Dünya'nın Prezisyon Hareketi

Dünya'nın yörüngelerinde meydana gelen ufak çaplı sapmalar sonucunda zaman zaman soğuk dönemler yaşanmakta ve yaşanan soğuk dönemlerin içerisinde belirli periyotlarla sıcak dönemler de yaşanmaktadır. Bu durum iklim değişikliğinin doğal nedenlerinden birisidir [10].

El Nino Etkisi

Diğer bir ismi 'Güney Salınımı Sıcak Hareketi' olan El Nino hareketi 1990'lı yıllarda Pasifik Okyanusu'nda deniz yüzeyi sıcaklıklarının normalden 2-5 °C daha yüksek olmasına sebep olmuştur [9]. Özellikle 1997-1998 yıllarında en yüksek sıcaklık değerlerinin görülmesinde El Nino hareketinin önemli bir etkisi görülmektedir [9].

Akıntı Sistemleri

İklimleri etkileyen en önemli unsurlardan biri de 'taşıyıcı bant' olarak adlandırılan okyanus akıntı sistemleridir. Yapılan sirkülasyon ile akıntının taşıdığı suyun tuz miktarı artarak okyanuslar arasında su ve ısı alışverişine neden olur. Pasifik ve Hint Okyanuslarının sıcak suları Atlantik Okyanusu'na taşınırken yüzeyden ilerleyen akıntının üzerinde havanın ısınmasını sağlayarak karasal alanların iklimini ılımanlaştırır. Dünya üzerinde bulunan tüm ırmakların taşıdığı suyun 20 katını taşıyan bu akıntı sistemi İzlanda yakınlarında soğuyarak dibe inmektedir [10].

1.1.2. İklim Değişikliğinin Etkileri

İklim değişikliğinin ciddi seviyelere ulaşan etkileri, hem doğa hem de canlı yaşamı üzerinde etkili olmaya başlamıştır. En önemli etkilerinden birisi ekolojik dengeye olan etkisidir. IPCC kurulduğu tarihten itibaren belirli aralıklarla kapsamlı çalışmalar neticesinde iklim değişikliği konusu baz alınarak değerlendirme raporlarını yayımlamaktadır. Yayımlanan ilk dört raporda değinilen iklim değişikliğinin olumsuz etkileri konusu 27 Eylül 2013 tarihinde yayımlanan 5. Değerlendirme Raporu'nda daha kapsamlı bir şeklde ifade edilmiştir. 5. Değerlendirme Raporu'nun diğer yayımlanan

raporlardan en büyük farkı, yararlanılan verilerin artması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte metodolojilerin de geliştirilmesidir. Raporda Avrupa, Afrika ve Asya kıtasında yer alan geniş alanlardaki sıcaklık artışı, Türkiye'deki sıcaklık artışından daha fazla olduğuna değinilmiştir. Ayrıca, 6. Değerlendirme Raporu hazırlanması için çalışma takvimini düzenlemek üzere Montreal'de 6 Eylül 2017 tarihinde IPCC tarafından bir toplantı düzenlenmiştir [11]. Toplantı sonucunda araştırma konuları farklı olan 3 ayrı çalışma grubu oluşturulmuştur. Çalışma takvimine göre 8 Ekim 2021'de 6. Değerlendirme Raporu yayımlanacaktır [11]. Bu konuda oluşturulan raporlar dikkate alındığında iklim değişikliğini tetikleyen ana sebep sanayi devrimi ve insan faaliyetleri olmuştur. İklim değişikliği ile insan faaliyetleri arasındaki bu bağlantı hem IPCC'nin hem de BMİDÇS'nin verdiği iklim değişikliği tanımında yer almaktadır. Bundan dolayı yeryüzündeki ortalama sıcaklık, sanayi devrimi sonrasında insanların enerjiye duyduğu ihtiyaçla doğru orantılı olarak artmaktadır.

1.2. İklim Değişikliği Mevzuatları

İklim değişikliği konusunun dünya çapında sorun üretmeye başlamasıyla beraber sanayileşmiş ülkeler hem ulusal hem de uluslararası düzeyde çeşitli mevzuatlar çıkararak küresel ısınma sonucu yaşanan iklim değişikliğinin zararlarını belli bir düzeyde tutmayı amaçlamışlardır. Uluslararası düzeyde ortaya çıkarılan ilk belge BMİDÇS'dir. Yaptırım gücüne dayalı bir sözleşme düzenlemek yerine iyi niyet seviyesinde kalan BMİDÇS kapsamında ortaya konulan Kyoto Protokolü daha detaylı, düzenleyici ve yaptırım gücüne dayalı maddeler içermektedir.

Ayrıca BMİDÇS çerçevesinde sera gazı salınımlarını azaltmaya yönelik yayımlanan en son belge, 2016 yılında yürürlüğe giren Paris İklim Anlaşması'dır. Uluslararası anlaşmalar dışında ulusal seviyede de çeşitli mevzuatlar geliştirilmiştir. Ulusal seviyede mevzuat çıkaran kurumların başında Avrupa Birliği (AB) ülkeleri yer almaktadır. Türkiye bu konuda AB üyelik süreci, BMİDÇS ve Kyoto Protokolü'nün etkisiyle hem var olan mevzuatlarında değişiklik yapmakta hem de yeni mevzuatlar çıkarmaktadır.

1.2.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)

Uluslararası bakımdan yeni dikkate alınmaya başlanan iklim değişikliği konusu, sera gazı emisyonları ve karbon ayak izi terimleri bilim adamları tarafından çok uzun zaman

önce fark edilmiş ve çeşitli araştırmalara konu olmuştur. İklim değişikliği konusundaki mevzuatlar bilim adamlarının çalışmalarından sonra ortaya çıkmıştır. Uluslararası düzeyde konusu çevre olarak ortaya konulan ilk çalışma 1972 yılında Stockholm'de düzenlenen Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı (BMİÇK)'dır [12]. Bu konferans çevre konusundaki sorunlara ilk kez dikkat çekmesi nedeniyle bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir. 1979 yılındaki Birinci İklim Konferansı 1980'lerdeki yoğun uluslararası düzenlemelerin başlangıcı olmuştur.

1980'li yıllarda çevre konusu hükümetlerin daha çok dikkatini çekmeye başlamıştır. 1988 yılında Malta Hükümeti'nin önerisiyle Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'nun aldığı karar ile yürütmeye koyduğu 'Küresel iklimin, insanlığın bugünkü ve gelecekteki kuşakları adına korunması' çağrısı iklim değişikliğine karşı oluşan dikkatin önemli bir göstergesidir. Aynı yıl içerisinde Birleşmiş Milletler Çevre Programı (BMÇP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün yaptığı ortak bir çalışmayla IPCC kurulmuştur [13]. IPCC'nin görev tanımında iklim değişikliği ve karbon ayak izi konularında bilimsel araştırmaları izlemek, değerlendirmek ve bu konularda rapor hazırlamak yer almaktadır. Panel, ilk raporunu da 1990 yılında yayımlamıştır. IPPC Birinci Değerlendirme Raporu olarak adlandırılan bu rapor küresel ısınma başlığı altında iklim değişikliğinin ve sera gazı emisyonlarının bir tehdit olduğunu doğrulamaktadır. Rapor yayımlandıktan bir süre sonra İkinci Dünya İklim Konferansı yine 1990 yılında toplanmış ve bazı önemli kararlar alınmıştır. Bu kararlardan en dikkat çekeni uluslararası düzeyde bir iklim değişikliği anlaşmasının oluşturulması gerektiğini savunan karardır. Konferansın bu kararı üzerine Birleşmiş Milletler, iklim değişikliği konusunda sözleşme çalışmalarına başlamıştır. Bu konuda çalışma yapmak üzere Birleşmiş Milletler bünyesinde yer alan Hükümetlerarası Müzakere Komisyonu görevlendirilmiştir. Komisyon 15 ay süren bir çalışma sonucunda 9 Mayıs 1992 tarihinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni kabul etmiştir [12]. Bu sözleşmenin nihai hedefi "atmosferdeki sera gazı birikimlerini ve iklim üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkileri önlemek" olarak belirlenmiştir [12].

21 Mart 1994 yılında yürürlüğe giren atmosferdeki tehlikeli miktarda bulunan sera gazı emisyonlarını belirli seviyede tutmak ve bu gazların canlılar üzerindeki zararlı etkilerini engellemek amacıyla yayımlanan İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni Avrupa Birliği de dahil olmak üzere 200'e yakın ülke imzalamıştır. Sözleşme 26 maddeden

oluşmaktadır ve sözleşmede ülkeler EK-I ve EK-II diye iki ayrı listede sıralanmıştır. EK-I listesi 1992 yılında kurulan Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD)'ne üye olan 24 ülke, Avrupa Birliği, Orta ve Doğu Avrupa ülkeleri ve Sovyetler Birliği'nden ayrılan ülkeleri içermektedir. EK-II listesi, OECD'ye üye olan gelişmiş 24 ülke ve AB'ye üye olan ülkelerden oluşmaktadır. Sözleşmede ülkelerin çeşitli farklılıkları gözetilerek ortak sorumlulukları yer almaktadır. Ulusal ve bölgesel farklılıklar, kalkınma yöntemleri ve amaçları dikkate alınarak oluşturulan listeler, ülkelerin ortak yükümlülükleri, sera gazı emisyon miktarları, küresel ısınmanın etkilerini azaltmak ve iklim değişikliğini önlemek gibi maddeler baz alınarak oluşturulmuştur [3].

Sera gazları konusunda, insan kaynaklı sera gazlarının emisyonlarını 2000 yılında 1990 yılı seviyesine düşürme konusundaki temel yükümlülükler EK-I ve EK-II ülkelerinin tamamına zorunlu kılınmıştır [15]. Türkiye, BMİDÇS'ne 24 Mayıs 2004 tarihinde 189. taraf ülke olarak katılmıştır [16]. Sözleşmeyi her yıl yasama organlarından geçirip onaylatan ülke Taraflar Konferansı adı verilen toplantılara katılmaktadır. Bu toplantılar, iklim değişikliği konusunda neler yapılması gerektiğini ortaya koymak ve sözleşmenin her yıl daha işlevsel bir hale getirilmesini sağlamak amacıyla oluşturulmaktadır. Alınan kararlar sonrası BMİDÇS daha fonksiyonel ve pratik hale gelmiştir.

1995 yılında Berlin'de düzenlenen Birinci Taraflar Konferansı'nda bir araya gelen ülkeler, iklim değişikliği konusunda küresel ölçekte daha yoğun bir çalışma gerektiğini ve yükümlülüklerinin daha sağlam ve ayrıntılı bir şekilde oluşturulması gerektiğini kararlaştırmıştır. Bu karar daha sonra 'Berlin Buyruğu' olarak adlandırılmıştır.

BMİDÇS kendisine nihai amaç olarak atmosferde yer alan sera gazı miktarının, iklim ve insanlar üzerinde oluşturacağı olumsuz etkileri engellemek olarak belirlemiştir. Çerçeve Sözleşmesi sonuç olarak bu amaca; ekosistemlerin iklim değişimine doğal uyumunun gerçekleşmesine izin verecek, gıda üretiminin olumsuz etkilerden korunmasını sağlayacak ve ekonomik kalkınmanın devamına katkı sağlayacak bir zaman içerisinde ulaşılması gerekliliğini vurgulamaktadır [12]. Sözleşmede taraf ülkeler 3 sınıfa ayrılmıştır [1]. EK-I listesinde yer alan ülkeler 1992 yılında OECD'ye üye olan ülkeler, Rusya Federasyonu, Baltık Devletler, Orta ve Doğu Avrupa ülkeleri ve Ekonomik İşbirliği Teşkilatı (EİT) üyesi olan ülkeleri kapsamaktadır [1]. EK-I üyesi ülkelerin

temel yükümlülüğü 2000 yılında sera gazı salınımlarını 1990 yılı seviyelerine indirmek için gerekli politikayı üretmek ve gerekli tedbirleri almaktır [17]. Bu madde özellikle EK-I listesinde yer alan sanayi bakımından gelişmiş ülkeleri ciddi tedbirler almak zorunda bırakmaktadır. Sözleşme EİT üyesi gelişmekte olan ülkelere bazı imtiyazlar tanımaktadır. Bu ülkelere 2000 yılındaki salınım hedefleri olarak 1990 yılı yerine ekonomik özellikleri dikkate alınarak başka yıllar belirlenip daha gerçekçi hedefler öngörülmüştür.

EK-II listesindeki ülkeler, Ekonomik İşbirliği Teşkilatı üyesi ülkeler dışında kalan diğer OECD'ye üye ülkelerdir. Sözleşmeye göre bu ülkeler gelişmekte olan ülkelere sera gazı salınımının azaltılması için gerekli ekonomik kaynağı sağlamakla yükümlüdürler [1]. Ayrıca iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması için EK-I listesinde yer alan ülkelere yardımcı olmakla yükümlüdürler [1]. EK-II listesinde yer alan ülkelerin diğer sorumluluğu çevre dostu teknolojilerin gelişimine yardımcı olmak ve bu teknolojilerin az gelişmiş ülkelere ulaşımını sağlamaktır [1].

Son sınıf, Az Gelişmiş Ülkeler olarak kabul edilen 48 ülkenin yer aldığı sınıftır. Bu ülkeler, iklim değişikliğine yeterli seviyede uyum sağlayamayacak ve iklim değişikliği etkilerini beklenen düzeye indirgeyemeyecek durumda oldukları için sözleşmede özel olarak ele alınmışlardır. Sözleşmeyi onaylayan ve sözleşmeye taraf olan tüm ülkeler iklim değişikliği ve sera gazı emisyonları konusunda alınan bütün kararları uygulamakla yükümlüdürler. Sera gazı emisyon envanterini çıkarmak ve yükümlülükleri yerine getirmek hususlarında ulusal bir bildirim şeklinde olan raporlar hazırlamaları da sözleşmeyi onaylayan ülkeler için önemli sorumluluklardandır.

Hazırlanacak olan ulusal bildirim raporlarında hangi noktalara değinilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bunlar [12];

1. İklim değişikliğini tetikleyen etmenleri azaltacak önlemler,

2. Teknoloji gelişimlerinde çevre dostu ilkesine uygun düzenlemeler,

3. Doğal ortama saldıklarından çok daha fazla miktarda sera gazı giderimi sağlayan düzenlemeler,

4. İklim değişikliğinin sonuçlarına karşı uyum sağlayan düzenlemeler,

5. İklimle ilgili araştırmaları, küresel iklim sistemine ilişkin gözlemleri ve bilgi alışverişini sağlamaya yönelik planlar,

6. İklim değişikliği ile ilgili eğitim, öğretim ve halkın bilinçlendirilmesi olarak belirlenmiştir.

Ayrıca BMİDÇS 5 adet temel ilke içermektedir. Bu ilkeler [1];

1. İklim sisteminin eşitlik temelinde ortak fakat farklı sorumluluk alanına uygun olarak korunması,

2. İklim değişimi ve değişikliğinden etkilenecek olan gelişme yolundaki ülkelerin ihtiyaç ve özel koşullarının dikkate alınması,

3. İklim değişimi ve değişikliğinin önlenmesi için alınacak tedbirlerin etkin ve en az maliyetle yapılması,

4. Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi ve alınacak politika ve önlemlerin ulusal kalkınma programlarına entegre edilmesi,

5. Alınan karşı önlemlerin keyfi, haksız, ayrımcı veya uluslararası ticarete gizli bir kısıtlama oluşturmayacak nitelikte olmasıdır.

BMİDÇS'nin iklim değişikliği ve sera gazı emisyonlarının sebep olduğu problemler üzerinde geniş çaplı çözümleri olmasına rağmen son dönemlerde araştırmacılar tarafından önemli bir iklim değişikliği etkeni olarak görülen küresel loşlaşma [12] olarak adlandırılan bacalardan çıkan partiküllerin atmosferdeki su buharına yapışıp havada asılı kaldığı ve tabaka haline gelerek güneş ışınlarını engellediği konusunda eksik kaldığı görülmektedir. İleride yapılacak olan yeni düzenlemeler ile küresel loşlaşma konusunda yaşanan eksikliğin giderilmesi gerekmektedir.

1.2.2. Taraflar Konferansları

BMİDÇS'ne göre sözleşmenin yürürlüğe girmesinden bir yıl sonra, yılda bir kere olmak üzere sözleşmenin uygulamasını sağlamak, sözleşmenin etkilerini gözlemlemek ve küresel ısınma sorununun nasıl çözüleceği hakkında görüşmelerde bulunmak amacıyla sözleşmeye taraf olan devletler tarafından 'Taraflar Konferansı' oluşturulmuştur [18].

1.2.2.1. Birinci Taraflar Konferansı

Taraflar Konferansı'nın ilki 28 Mart ve 7 Nisan 1995 tarihlerinde Almanya'nın Bonn şehrinde gerçekleştirilmiştir. Birinci Taraflar Konferansı'ndaki en önemli gelişme, BMİDÇS'nde yer alan yükümlülüklerin yeterliliği konusunda olmuştur. BMİDÇS'nin amacına ulaşmasında EK-I ülkelerinin yetersiz kaldığı görüşü toplantıya katılan ülkelerin temsilcileri tarafından dile getirilmiştir. Ancak toplantıya katılan ülkeler arasında sözleşmenin maddelerinin uygulanması konusunda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler diye ikiye ayrılmışlardır. Özellikle Almanya'nın öne sürdüğü salınım sınıflandırma teklifi konferansta büyük tartışmalara yol açmıştır [18]. Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü, Almanya'nın salınım sınıflandırma önerisini gelişmiş ülkelerin sözleşmenin maddeleriyle getirilen yükümlülüklere ek sorumluluk almasıyla kabul edilebilir olarak nitelendirmiş ve bir protokol oluşturulması gerekliliği konusunu savunmuşlardır [18].

Gelişmekte olan ülkeler, kendilerine sözleşmeye ek yeni bir sorumluluğun getirildiği her toplantıda ekonomik, sosyal ve politik anlamda olumsuz nitelikteki gerekçelerini tekrarlayıp, sorunun oluşumundaki katkıları ve sorunun giderilmesi için gerekli imkanlara sahip olmamaları nedenini savunarak karbon ayak izi oluşumuna sebep olan gazların salınımının engellenmesi sorumluluğunun gelişmiş ülkelerde olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Birinci Taraflar Konferansı'nın en dikkat çekici kısımlarından birisi de Hindistan'ın BMİDÇS'nde verilen sorumlulukların yeterli olduğuna dair verdiği öneri olmuştur. Öncesinde "Yeşil Sayfa" sonrasında "Berlin Yaptırımı" olarak adlandırılan bu öneri de EK-I ülkelerinin karbon ayak izi oluşumuna karşı alacağı tedbirlerin ve hedeflerin 21. yüzyılda da alınması gerektiği belirtilmiş ve gelişmekte olan ülkeler için ek sorumluluklar getirilmemiştir [18]. Birinci Taraflar Konferansı 140'tan fazla devlet tarafından imzalanmıştır ve 2000 yılı sonrasındaki dönemlerde "Sera Gazı Azaltım ve Sınıflandırma" konusunda alınacak önlemleri detaylandırmak için çalışma başlatmıştır. Berlin Yatırım'ının kabul edilmesinden sonra EK-I ülkelerinin sorumluluklarının artırılması için planlama yürütecek olan "Berlin Yaptırımı Çalışma Grubu" adı altında bir komisyon oluşturulmuştur [18].

Birinci Taraflar Konferansı'nda karara bağlanan diğer önemli maddeler arasında [18];

- Toplantıya katılan ülkelerin ulusal çevre ve ekonomik gelişimleri, stratejileri ile uygun ilerlemeli, maliyeti az olmalı ve karbon ayak izi oluşumuna sebep olan tüm etkenleri içermelidir.
- İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirgemeye yönelik uzun vadeli yararlar sağlayabilecek çalışmalar yapılmalıdır.
- Bu faaliyetler sonucunda hiçbir ülke kredi kazanımı gayesinde olmamalıdır.

BMİDÇS'nin yükümlülüklerinin yeterlilikleri konusunda Küçük Ada Devletleri Taslak Protokolü ve Hindistan'ın sunduğu Berlin Yatırımı'nın tartışılması sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir [18].

- BMİDÇS'nin sonuç vermesi için EK-I listesinde yer alan ülkelerin aldığı sorumluluklar yeterli değildir.
- Berlin Yaptırımı'nın kabul edildiği Bakanlar düzeyinde gerçekleşen toplantıda Berlin Yaptırımı Çalışma Grubu kurulmuştur.
- Daimi sekretarya yeri Bonn olarak belirlenerek bütçe tahsis edilmiştir.
- Çoğunluğu hukukçulardan oluşan BMİDÇS hükümleri hakkında çalışma yürütecek "Madde 13 Hakkında Çalışma Grubu (AG-13)" kurulmuştur.
- Gelişmiş ülkelerin teknoloji transferi ile gelişmekte olan ülkelerin gelişmesi hedeflenmiştir.

1.2.2.2. İkinci Taraflar Konferansı

İkinci Taraflar Konferansı görüşmeleri 8-19 Temmuz 1996 tarihleri arasında İsviçre'nin Cenevre kentinde yapılmıştır. Konferansın ilk konusu 1996 senesinde yayınlanan IPCC'nin 2. Değerlendirme Raporu'dur [12]. Görüşme, raporda bahsi geçen konular hakkında izlenecek politikanın ve baz alınacak hedeflerin oluşturulması esasına dayandırılmıştır. IPCC 2. Değerlendirme Raporu, toplantıya katılan ülkeler tarafından iklim değişikliği konusunda yayımlanan en kapsamlı rapor olarak değerlendirilmiştir [12]. İkinci Taraflar Konferansı'nda konuşulan önemli konulardan birisi de Taraflar Konferansı'nın bakanlar seviyesinde gerçekleştirilen bir toplantı ile iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini zamanında giderecek katılım sağlayan devletlerin çoğunluğunun

desteklediği bir deklarasyon yayımlanmıştır. Cenevre Deklarasyonu adı ile yayımlanan bu deklarasyon 11 maddeden oluşmaktadır. Bu maddeler arasında [18];

1. Tüm taraflar sözleşmenin maddelerinin yerine getirilmesi için gereken önlemleri alacaktır.
2. En kapsamlı çalışma olarak nitelendirilen IPCC İkinci Değerlendirme Raporu EK-II ülkeleri için bilimsel bir rapor özelliği taşımalıdır.
3. Artan sera gazı emisyonu, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini tetikleyecektir.
4. İklim değişikliğinin gelişmekte olan ülkeler üzerindeki olumsuz etkilerinin değerlendirmesi IPCC'nin ilerleyen dönemdeki tutumuna bağlıdır.
5. Sözleşmenin uygulanması, EK-I ülkelerinin yükümlülüklerini yerine getirmesine bağlıdır.
6. EK-I ülkeleri, iklim değişikliğini azaltmak için sera gazı emisyonlarını 2000 yılında 1990 yılı seviyelerine düşürmeyi amaçlamışlardır.
7. Berlin Yaptırım Grubu'nun yaptığı çalışmalar resmiyet kazanarak diğer ülkelerin getireceği çözüm önerileri dikkate alınacaktır.
8. Yaptırım gücü olan bir protokol hazırlanmasının gerekliliği bildirilmiştir.
9. Gelişmekte olan ülkelerin yaptığı çalışmaların Taraflar Konferansı'nda düzenlenen sözleşmeye uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir.
10. Gelişmekte olan ülkelerin sözleşmeyi uygulaması EK-II ülkelerinin sorumluluklarını yerine getirmesine bağlıdır.
11. Üçüncü Taraflar Konferansı 1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenecektir.

1.2.2.3. Üçüncü Taraflar Konferansı

Üçüncü Taraflar Konferansı'nın ana teması olarak kabul edilen Kyoto Protokolü'nde verilen karbon ayak izi oluşumuna sebep olan gazların ortama salınımının azaltılması hedefi, IPCC'nin yürüttüğü bilimsel değerlendirmelerin oldukça altında kalmıştır [18]. Gelişmekte olan ülkeler, bu nedenle karbon ayak izi oluşumu ile mücadelede, beklentileri karşılamada yetersiz kalındığını belirtmişlerdir. Ancak gelişmiş ülkelere

emisyon azaltım hedeflerini kabul ettirmek ve Kyoto Protokolü çerçevesinde belirli zaman dilimleri içerinde sera gazı salınımını azaltma hedefi koymak bu protokolün iklim değişikliği ve sera gazı salınımıyla mücadelede önemli bir adımdır. Üçüncü Taraflar Konferansı'ndan sonra gerçekleşen Taraflar Konferanslarında genel olarak Kyoto Protokolü ve BMİDÇS'nin uygulanabilirliği konusu görüşülmüştür [19].

1.2.3. Montreal Protokolü

Ozon tabakasının incelmesi konusu ilk kez 1976'da BMÇP'nın düzenlediği Yönetim Konseyi'nde gündeme gelmiştir. BMÇP ve WMO, ozon tabakasının incelmesini değerlendirmek üzere Ozon Tabakası Koordinasyon Komitesi'ni kurmuştur. Kurulan komite ilk çalışmalarına 1977 yılında başlamıştır. Ozan tabakasını incelten maddelerin kontrol altına alınması için uluslararası ilk girişimler 1981'de başlamış ve 1985'te Viyana Sözleşmesi bu konudaki ilk resmi belge olarak kabul edilmiştir. Sözleşmede verilerin elde edilmesi, ozon tabakasındaki değişimlerin gözlenmesi CFC_s üretiminin kontrol edilmesi ve veri paylaşımı konusunda uluslararası işbirliği ele alınmıştır. Yasal bağlayıcılığı olmayan bir çerçeve sözleşme niteliğinde yayımlanan Viyana Sözleşmesi, ozon tabakasına müdahale eden insan faaliyetlerine karşı çevre ve insan sağlığını korumaya yönelik tedbirler almak için tarafları sorumlu kılmaktadır.

Sözleşme kabul edildikten sonra ozon tabakasını incelten maddelerin üretimini kontrol altına almak üzere yasal bağlayıcı olan protokol çalışmalarına başlanmış ve Eylül 1987 tarihinde Montreal Protokolü kabul edilmiştir. Protokol, bilimsel ve teknolojik gelişimi göz önünde bulundurarak belirli dönemlerde ozon tabakasını incelten maddelerin azaltım takvimini yeniden düzenleyebilecek şekilde düzenlenmiştir. Bahsi geçen azaltımı gerçekleştirebilmek için 1990 yılında Londra'da, 1992 yılında Kopenhag'da 1995 yılında Viyana'da, 1997 yılında Montreal'de, 1999 yılında Pekin'de ve 2007 yılında Montreal'de tekrar düzenlenmiştir. Bu düzenlemeler sonucunda protokole ek maddeler getirilmiştir. Protokole 196 ülke taraf olmuştur. Ayrıca 1990 yılında gelişmekte olan ülkelerin sanayisine ozon tabakasını inceltici maddelerin giderilmesi için teknik uzman ve gelişmiş teknoloji yardımında bulunmak için Çok Taraflı Fon kurulmuştur. Türkiye, protokole 19 Aralık 1991 yılında gerçekleştirilen tüm değişiklikleri kabul ederek taraf olmuştur. Protokole ilişkin ulusal ve uluslararası çalışmaların izlenmesi görevini Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yürütmektedir. Bu

konuda 12 Kasım 2008 tarihinde Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Bahsi geçen yönetmelik ile;

- CFC_S kullanımı 2006 yılında sıfır seviyesine indirilmiştir.
- Halon'ların ithalatı 2008 yılından itibaren yasaktır.
- $HCFC_S$ gazlarının ithalatına 2015 yılından itibaren son verilmiştir.

1.2.4. Kyoto Protokolü

1.2.4.1. Kyoto Protokolü'nün Oluşumu

21. yüzyıl sanayi devriminin insanlar ile doğa arasındaki ilişkiyi kalıcı bir şekilde değiştirdiği dönem olarak görülmektedir. Çünkü 21. yüzyılda insan faaliyetleri yeryüzünde devamı zorunlu olan bazı koşulları değiştirmeye başlamıştır. İnsanlık için oldukça tehlikeli olan iklim değişikliğinin gelecekteki etkileri de bu süreler içerisinde özellikle uluslararası platformlarda sık sık tartışılmaya başlanmış ve iklim değişikliği sorunu bir resmiyet kazanmıştır. Sanayileşme sürecini erken yaşayan gelişmiş ülkeler atmosfere büyük miktarda sera gazı salınımı yaparak zarar vermişlerdir. Gelişmekte olan ülkeler sonradan sanayileşme nedeniyle birçok anlaşma sonrası faaliyetlerini kısıtlamak zorunda kalmışlardır. Uluslararası platformda yapılan çeşitli anlaşmalar, günümüzde iklim değişikliği sorununun çözüm yollarındaki birçok belirsizliğe karşın, uluslararası hukukta "önleyici tedbir ilkesi" olarak bilinen ilke temelinde harekete geçilmesine yardımcı olmuştur. Bu ilkeye göre ciddi ya da telafisi mümkün olmayan sonuçlara yol açabilecek faaliyetler, sonuçları hakkında mutlak bilimsel kesinlik olmasa bile sınırlanabilecek; hatta yasaklanabilecektir. Hükümetlerin belirlenen hedeflere sadık kalmaları anlaşmaların amacına ulaşması açısından önemli bir yere sahiptir.

Gerek siyasal gerek çevresel açıdan en iyi yaklaşım, cezalandırıcı ya da karşıtlık oluşturan önlemler yerine üzerine düşen görevlerini yerine getirebilmeleri açısından hükümetlere yardımcı olmaktır. Kyoto Protokolü bu aşamada önemli bir yere sahiptir ve iklim değişikliği sorununun çözümü açısından 1997 yılı önemli bir gelişme olarak uluslararası platformda büyük bir saygınlığa sahiptir. Kyoto Protokolü, 1997 yılında Japonya'nın ilk başkenti olan Kyoto şehrinde BM tarafından düzenlenen çevre konferansına katılan ülkeler tarafından kabul edilen, küresel ısınmaya, iklim

değişikliğine ve karbon ayak izi oluşumuna karşı mücadelenin en önemli basamaklarından birisidir [20]. Bu protokol gelişmiş ülkelerin karbon ayak izi oluşumuna neden olan gazların salınımını 2008-2012 yılları arasında %5 oranında azaltmalarını öngörmektedir [21]. Hükümetler, 1992 yılında Rio'da düzenlenen Dünya Zirvesi'nde iklim değişikliği konusunun detaylı bir şekilde araştırılması kararını almıştır. Ayrıca bu zirvede BMİDÇS hazırlanmıştır.

BMİDÇS'nin karbon ayak izi oluşumuna neden olan gazların salınımlarını durdurmak istemesine rağmen bağlayıcı bir özelliği ve yaptırımı yoktur. Yaptırımı olmayan bir anlaşma olduğundan sözleşmeyi onaylayan hükümetler BMİDÇS'ni uygulamakta acele etmedi. Kyoto Protokolü sözü edilen BMİDÇS'nin devamı niteliğindedir ve 156 devlet ile beraber Avrupa Birliği tarafından onaylanarak 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir [22].

1.2.4.2. Kyoto Protokolü'nün Uygulanması

BMİDÇS'nde yer alan süreçlerin 1997 yılından sonra gelişmesi için yapılan mutabakatlar, uluslararası arenada, karbon ayak izine karşı farklı tutumları beraberinde getirmiştir [23]. Rapor sunumu, finansman, teknoloji transferi ve iklim değişikliği sürecinin omurgasını oluşturan diğer konulardaki önemli çalışmalar sözleşmenin hükümlerine göre yürütülmektedir [23]. Gelişmiş ülkeler için karbon ayak izi oluşumuna sebep olan gazların ortama salınımı konusunda bağlayıcı hükümler getiren Kyoto Protokolü'nün devreye girmesi sözleşme hükümlerinin uygulanabilirliği için olanak sağlamaktadır. 2001 yılında kabul edilen Marakeş Anlaşması, Kyoto Protokolü'nde kabul edilen maddelerin ayrıntılı bir biçimde tanımı niteliğindedir [23]. Kyoto Protokolü, BMİDÇS'ni tamamlayan ve güçlendiren bir belgedir. Protokole taraf olunabilmesi için sözleşmenin kabul edilmesi gerekir. Ayrıca Kyoto Protokolü de protokolü onaylayan devletleri EK-B ve EK-B Dışı Taraflar olarak 2 grupta toplamaktadır [21]. Protokol'de yer alan EK-B ülkelerini BMİDÇS'nde yer alan EK-I ülkeleri oluşturmaktadır. BMİDÇS'nin iki yan organı ve sekretaryası dahil olmak üzere diğer organları da Kyoto Protokolü çerçevesinde çalışacaktır. Taraflar Konferansları ise Protokol Tarafları Toplantısı olarak çalışmalarına devam edecektir. IPCC sözleşmeye sağladığı desteği bilimsel, yöntemsel ve teknik alanlarda protokole de sağlayacaktır.

Bu bağlamda Kyoto Protokolü beş ayrı başlığa odaklanmıştır. Bu başlıklar [12];

1. Yasal bağlayıcılık taşıyan karbon ayak izi oluşumuna sebep olan gazların emisyon hedefleri ve toplantıya katılan devletlerin sorumlulukları dahil olmak üzere; yükümlülükler,
2. İlerleyen dönemler için toplantıya katılan devletlerin yükleneceği sorumluluklar ve yeni geliştirilen uygulama mekanizmaları dahil olmak üzere; uygulamalar,
3. Uyum fonunun devreye sokulması dahilinde; protokolün gelişmekte olan ülkeler üzerindeki etkilerin en aza indirilmesi,
4. Ulusal raporların ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi dahilinde; hesaplama, raporlama ve değerlendirme,
5. Uyuşmazlık durumunda, toplantı sonrası oluşturulacak bir Uyum Komitesi'nin çalışmaları dahil olmak üzere; sözleşme hükümlerine uygun hareket edilmesi olarak belirlenmiştir.

Kyoto Protokolü, BMİDÇS gibi listelerle belirtilen ülkelere göre farklı emisyon hedefleri belirlediği gibi, çeşitli genel yükümlülükler de içermektedir. Bu yükümlülükler [12];

1. Sera gazı emisyon miktarına ait verilerin doğruluğunun artırılması,
2. Karbon ayak izi oluşumuna sebep olan etkenlerin azaltılması,
3. Üretilen teknolojilerin önceliğinin çevre dostu olmasına dikkat edilmesi,
4. İklim değişikliği konusundaki bilimsel araştırmaların birbirine uyumlu olması,
5. İklim değişikliği konusunda halkın bilinçlendirilmesi için kapasitenin artırılması olarak belirlenmiştir.

1.2.4.3. Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları

Ülkelerin Kyoto Protokolü'nde belirlenen hedeflere ulaşabilmesi için çeşitli esneklik mekanizmaları oluşturulmuştur. Bu mekanizmaların oluşturulmasındaki amaç karbon ayak izi oluşumuna sebep olan gazların salınımının en az maliyetle azaltılması gerekliliğidir [24]. Bunlar [3];

Ortak Uygulama

EK-B listesinde yer alan ülkelerden birisi emisyon azaltım işlemleri sırasında elde edilen emisyon azaltım birimlerini bir başka taraf ülkeye verebilir ya da bir başka taraf ülkeden bu emisyon azaltım birimlerini alabilir [21]. Protokolün altıncı maddesini anlatan bu düzenleme, EK-B üyesi ülkelerin gerekli koşulların sağlanmasıyla insan faaliyetlerinden dolayı oluşan karbon ayak izini azaltmak amacıyla oluşturulmuştur [25].

Temiz Kalkınma Mekanizması

EK-B ülkelerinin emisyon azaltım talepleri karşılığında EK-B dışı ülkelerle beraber yaptıkları projeleri içermektedir. Bu mekanizmanın oluşturulmasındaki amaç EK-I dışı ülkelerin protokole katkısını sağlamak ve bu ülkelerin sürdürülebilir gelişimini devam ettirmektir [21].

Gelişmiş ülkelerin sorumlulukları arasında az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere sera gazı emisyon miktarını azaltmak amacıyla finansman kaynağını sağlamak ve çevre dostu teknoloji transferi yapmakta vardır [26]. Kyoto Protokolü, BMİDÇS'nde yer alan EK-I üyesi ülkelerin penceresinden olaylara baktığı için gelişmekte olan ülkelerin eleştirileri dikkate alınmayacaktır. Protokolde geçen esneklik mekanizmaları gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin arasındaki bağı kurmak için oluşturulmuştur. Esneklik mekanizmaları, protokol sonrası düzenlenen toplantıların temel konusu olmuştur. Protokolün 6. maddesi, gelişmiş ülkelere salım ticareti adı altında kendi oluşturduğu karbon ayak izini satmaya yönelik "salım ticareti rejimi" oluşturmaktadır [3].

1.2.5. Bali Eylem Planı

Kyoto Protokolü hedefleri dönemsel olarak belirlenmektedir. Belirlenen ilk dönem de 2008-2012 arası dönemdir. İlk hedefler bu dönemi içerse de 2012 yılı sonrası 2. yükümlülük döneminde oluşacak yeni hedeflerin belirlenmesi için 2007 yılında Bali adasında 13. Taraflar Konferansı düzenlenmiştir. Bu konferansta alınan kararlar Bali Eylem Planı olarak resmileştirilmiş ve protokole dahil edilmiştir [27]. Konferansta tüm ülkeler 2012 yılı sonrasında sera gazı emisyon miktarlarını belirgin bir şekilde azaltmayı kabul etmiştir. Emisyonların 2012 yılı sonrasında önemli ölçüde

düşürülebilmesi için 15. Taraflar Konferansı'na kadar yoğun bir çalışmanın yapılması gerektiği kabul edilmiştir [27]. Bu kararlar Türkiye tarafından da kabul edilmiştir. Bunun sonucunda oluşan Bali Eylem Planı'nda emisyon azaltım yükümlülüğü gelişmiş ülkelere bırakılmıştır.

1.2.6. Paris İklim Anlaşması

IPCC'nin 4. Değerlendirme Raporu'nda küresel ısınma konusunun önemli bir nokta olduğu, karbon ayak izi oluşumuna engel olunmadığı takdirde sera gazı salınımının ağır etkilerinin olacağı vurgulanmıştır. Bu çağrı sonucunda Bali Adası'nda düzenlenen 13. Taraflar Konferansı'nda iki ayrı süreç başlatılarak 2012 sonrası dönem ve 2020 sonrası dönem olarak yol haritası çizilmiştir. 2009 yılında Kopenhag'da düzenlenen 15. Taraflar Konferansı toplumda olumsuz etki oluştursa da konferans sonucunda yasal bağlayıcılığı olmayan Kopenhag Uzlaşma Metni yayımlanmıştır. Bu konferansta Kyoto Protokolü'nde yer alan EK-B ülkeleri 2020 yılı için oluşturulan sayısal azaltım hedeflerini uygulamayı taahhüt etmiş, EK-B Dışı ülkeler bahsi geçen hedefleri uygulayacaklarını ifade etmiştir. Ayrıca, uzlaşma metninde Yeşil İklim Fonu adı altında gelişmekte olan ülkelere 2012'ye kadar 30 milyar dolar, 2020 yılına kadar 100 milyar dolar finansman yardımı yapılması kararı alınmıştır.

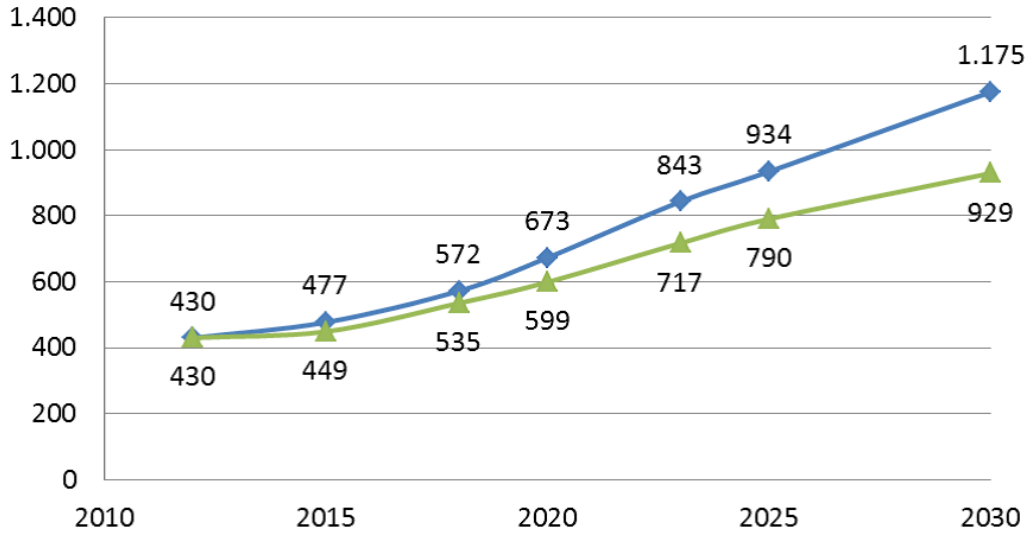
2013 yılında Varşova'da gerçekleştirilen 19. Taraflar Konferansı'nda BMİDÇS'ne taraf olan tüm devletlerden 2020 yılı sonrası iklim değişikliği ile mücadele konusunda çalışma yapması istenerek yeni bir anlaşma yapılacağı sezdirilmiştir. Lima'da düzenlenen 20. Taraflar Konferansı'nda COP19 çerçevesinde yapılan çalışmalar İklim Eylemi için Lima Çağrısı olarak yayımlanmıştır. Yapılan bu çağrı ile Paris İklim Anlaşması'nın öğeleri ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Yeni oluşturulan süreç üzerinde mutabakatın sağlanması sonucunda iklim değişikliği tehlikesi ile mücadele konusunda baştan sona uygulanan yöntemlerin değerlendirilmeye almak ve ilerleyen dönemlerde uygulanması gereken politikaları görüşmek amacıyla 30 Kasım 2015'te Fransa'nın Paris şehrinde 21. Taraflar Konferansı toplanmıştır. Toplantı sonunda Birleşmiş Milletler'e üye ülkelerin tamamının oyu ile Paris İklim Anlaşması kabul edilmiştir. Kabul edilen anlaşmanın nihai hali 22 Nisan 2016'da Türkiye'de dahil olmak üzere 175 ülke tarafından New York kentinde imzalanmıştır [28].

Paris İklim Anlaşması, 5 Ekim 2016 itibari ile sera gazı salınımı toplamının %55'ini oluşturan en az 55 tarafın anlaşmayı onaylaması sonucunda 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir [28]. Anlaşma kabulünden 1 yıl geçmeden yürürlüğe giren ilk küresel belgedir. Anlaşma'nın BMİDÇS'nden farkı, Birleşmiş Milletler ütesi bütün ülkelerin katkısına dayalı bir sistem oluşturulmasıdır. Anlaşma taraf ülkeleri gelişmiş ülkeler ve gelişmekte olan ülkeler sınıflandırılmasına tabi tutmaktadır ama sınıflandırma yapmak için herhangi bir kıstas belirlenmemiştir. Paris İklim Anlaşması'nda [28];

- Anlaşmayı kabul eden devletler emisyon azaltımı konusunda sorumluluk alacaktır. 2050 yılı sonrasında gelişmiş ülkeler sıfır emisyon sağlayacaktır.
- Gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkelerin düşük karbonlu ve iklime dirençli kalkınmasını gerçekleştirmeleri için 2020 yılına kadar 100 milyar dolar iklim finansmanı sağlayacaktır.
- Ülkeler her beş yılda bir daha fazla azaltım yükümlülüğü alacaktır.
- İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı az gelişmiş ülkelere destek verilecektir.

Varşova'da düzenlenen 19. Taraflar Konferansı'nda, 21. Taraflar Konferansı'na katılacak ülkelerden karbon ayak izi miktarının azaltımı konusunda belirlediği hedefleri Ulusal Katkı Niyetleri (INDC) adı altında sunması BMİDÇS'nin 2. maddesine dayanarak talep edilmiştir. Türkiye'nin 2021-2030 dönemi için sunduğu INDC raporu Şekil 1.1'de verilmiştir. Ancak katkıların nasıl hazırlanacağı ve içeriğinin ne olacağı konusu Lima'da gerçekleştirilen 20. Taraflar Konferansı'nda belirlenmiştir. Bu katkıların içeriği [28];

- Taraf ülkeler ulusal katkılarını 21. Taraflar Konferansı'ndan önce açıklayacak.
- Katkılar hali hazırda sorumlu oldukları yükümlülüklerin ilerisinde olacak.
- Ulusal katkılarda açıklığı, şeffaflığı ve anlaşılabilirliği artırmak adına sayısal bilgi, uygulama dönemi, metodolojik yaklaşımlar ve BMİDÇS'nin 2. maddesine nasıl hizmet edeceği verilerinden bahsedilmesi şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 1.1. Türkiye'nin Sunduğu INDC Raporu (milyon ton CO_2) [28].

1.3. Sera Etkisi ve Sera Gazları

Küresel ısınmanın tam olarak anlaşılması için öncelikle doğal sera etkisi ve antropojenik sera etkisi kavramlarının açıklanması gerekir. Güneş ışınlarının %46'sını atmosfer, %23'ünü ise bulutlar aldığı yol boyunca absorblar. Ayrıca gelen güneş ışınlarının %23'ü bulutlardan %4'ü ise yeryüzünden geri yansır. Dünya'ya gelen ışınların sadece %4'lük bir kısmı yeryüzüne ulaşır ve gezegenimizi ısıtır [29]. Yeryüzü gelen ışınlar vasıtasıyla ısındıktan sonra üzerinde topladığı enerjiyi atmosfere geri yollar.

Sera gazları, atmosfere yayılan bu güneş ışınlarını absorblayarak atmosfere gönderir ve gazların en yoğun olduğu ve atmosferin yere temas ettiği katın (troposfer) sıcaklığının yükselmesini sağlarlar. Güneş ışınlarını atmosfere yayıldıktan sonra en fazla absorblayan gazlar arasında karbondioksit, metan, nitröz oksit, ozon ve su buharı yer alır [29]. Herhangi bir sera gazı dünya yüzeyinden yayılan ışınları absorbladığında kinetik enerjisi artar ve yanındaki diğer gazlar ile çarpışmaya başlar. Bu çarpışmalar, havanın ortalama kinetik enerjisini yükseltir ve havanın ortalama sıcaklığının artmasına sebep olur. Ayrıca bu gazlar tarafından yayılan enerjinin bir bölümü yeniden yeryüzüne gelir ve ısınan yeryüzü tarafından tekrar alt atmosfere gönderilir. Sadece 8-11 µm

arasındaki radyasyonlar çok az bir absorblanmaya maruz kalır ve rahatlıkla uzaya kaçabilir [30]. Bu yüzden 8-11 μm dalga boyu aralığına atmosferik pencere adı verilir.

Atmosferdeki sera gazlarının sıcaklığı artırması olayına doğal sera etkisi adı verilir. Doğal sera etkisi var olmasaydı gezegenimizin ortalama sıcaklığı 15 °C yerine -18 °C dolaylarında olması tahmin ediliyordu [29]. Doğal sera gazlarının konsantrasyonları, sanayi devrimini takip eden yıllarda antropojenik etkilerin faal hale gelmesiyle artmıştır [31]. Artan ısınma ve enerji ihtiyacıyla birlikte fosil yakıtların yaygınlaşması, tarımsal faaliyetler, insan faaliyetleri sonucunda oluşan emisyonlar ve sera gazları için yutak vazifesi gören ormanların azalması sera gazlarının konsantrasyonlarındaki artışın başlıca nedenleri arasında yer alır.

Daha önceleri atmosferde bulunmayan, 1930'lu yıllardan sonra sanayide kullanılmaya başlanan SF_6, CFC_S, HFCs ve $HCFC_S$ gibi sentetik sera gazları da atmosferin ısıyı tutma kabiliyetini yükseltmektedir. İnsan faaliyetleri sonucu doğal sera etkisi daha aktif bir hale gelmiş ve küresel ısınma potansiyeli daha yüksek seviyelere ulaşmıştır [32].

Karbon ayak izi oluşumuna sebep olan gazların iklim değişikliğine etkilerini ortaya koymak için küresel ısınma potansiyeli (GWP) adı verilen bir birim üretilmiştir [7]. Karbon ayak izi hesabında baz alınan en önemli gazlardan birisi olan karbondioksitin eşdeğeri 1 GWP'dir [7]. Karbon ayak izi hesabında baz alınan diğer gazların küresel ısınma potansiyelleri atmosfere karşı uyguladığı sera etkisinin karbondioksitin GWP'ye oranıdır [7]. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri ile birlikte atmosferik ömürleri ve atmosferdeki oranları Tablo 1.1'de verilmiştir. Ayrıca, Kyoto Protokolü sera gazı emisyon miktarlarının hangi seviyelere çekilmesi gerektiği ile ilgili maddeler de içermektedir. Protokolün 3. maddesi CO_2, CH_4, N_2O, HFC_s, PFC_s, ve SF_6 gazlarının karbon ayak izi hesaplanırken dikkate alındığını ve EK-I listesinde yer alan ülkelerin 2008-2012 yılları arasındaki dönemde bu altı gazın emisyon miktarının toplamını, 1990 yılı değerlerinin %5'inin altına çekmekle yükümlü olduğunu belirtir. Bu gazların yanı sıra önemli bir sera gazı etkisi oluşturan CFC_S'lar Montreal Protokolü ile denetim altına alındığından Kyoto Protokolü'nde yer almamıştır.

Tablo 1.1. Küresel Isınmada Etkili Olan Sera Gazları [33]

Sera Gazı	Atmosferdeki Ömrü (yıl)	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	Atmosferdeki Konsantrasyonu
CO_2	50-200	1	379 ppm
CH_4	12	25	1774 ppb
N_2O	114	298	319 ppb
SF_6	3200	22800	5.6 ppt
CFC_S	45-1700	4750-14400	-
HFC_S	1.4-270	124-14800	-
$HCFC_S$	1.3-17.9	77-2310	-
PFC_S	2600-50000	7390-12200	-

1.3.1. Karbondioksit (CO_2)

Dünyanın oluşumundan bu yana atmosferde bulunan karbondioksit gazı renksiz, kokusuz ve saydam bir gazdır [29]. Tıpkı bir cam gibi yeryüzüne ulaşan güneş ışınları karbondioksitin içinden geçer [34] Yeryüzü güneşten aldığı ısıyı atmosfere yayarken karbondioksit ısının yeryüzünü terk etmesine engel olarak dünyayı bir örtü gibi kaplar. Sanayi devrimi öncesindeki konsantrasyonu 280 ppm iken 2005 yılında bu değer yaklaşık 100 ppm artarak 379 ppm olmuştur [29]. Karbondioksit atmosferde 50 ila 200 yıl arasında bulunabilir [33]. Ayrıca, 100 yıl için GWP oranı 1'dir [33]. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan karbondioksit salınımları fosil yakıtların kullanımı, artan enerji ihtiyacı ve ulaşımdan kaynaklanır. Karbondioksitin oksijene dönüşmesinde önemli rol oynayan orman alanlarının insan faaliyetleri sonucunda tahrip edilmesi de karbondioksit emisyon miktarının artmasına dolaylı yoldan sebep olur.

1.3.2. Metan (CH_4)

Atmosferde bulunma süresi 12 yıl olan metan karbondioksitin 25 katı etkinliğine sahiptir [29]. Sanayi devriminden önce atmosferde 700 ppb miktarında bulunan metan gazı konsantrasyonu 2005 yılına geldiğinde 1000 ppb'lik bir artışla 1774 ppb'ye yükselmiştir [29]. Ayrıca doğalgazın ana elemanı olan metan gazı, sera gazlarının doğal ortama etkisinin %20'sini meydana getirir [34]. Bataklık gibi oksijeni az bulunan ortamlarda oluşur. IPCC, atmosfere bırakılan metan gazı konsantrasyonunun çoğunun

insan faaliyetlerinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. İnsan faaliyetlerinden dolayı oluşan metan kaynakları arasında çöp depolama alanları, doğalgaz ve petrol üretim tesisleri, tarımsal faaliyetler, gübre üretimi, kömür madenciliği, ısınma faaliyeti, motorlu taşıtlar, atıksu arıtma tesisleri ve çeşitli endüstriler sayılabilir [29]. Atmosferden metan gazının giderilmesi için hidroksil radikali (OH) ile oksidasyon reaksiyonuna sokulur ve doğal ortamda bulunan metan gazının büyük çoğunluğu bu reaksiyonla giderilir. Metan gazını atmosferden gidermek için başvurulan diğer yollar arasında toprakta bulunan organizmaların metanı alması veya metanın klor ile reaksiyona girmesidir.

1.3.3. Nitröz Oksit (N_2O)

En önemli azot oksit olarak nitelendirilen nitröz oksit gazı, sera gazlarının doğal ortama etkisinin %15'ini meydana getirir [34]. Atmosferde 114 yıl ömrü olan nitröz oksit gazı renksiz ve güzel kokan bir gaz olup insanlar arasında gülme gazı olarak bilinir [29]. 100 yıllık GWP 298 olup atmosferdeki nitröz oksit konsantrasyonu sanayi devriminden sonra %15 artarak 2005 yılında 319 ppb'ye ulaşmıştır. Nitröz oksit atmosfere, zirai amaçla kullanılan alanlardan, gübre üretim tesislerinden, evlerdeki ve taşıtlardaki yakıt kullanımından, atıksu arıtma tesislerinden, biokütle yakımından ve nitrik asit üretiminden salınır. Ayrıca, nitröz oksitin motorlu taşıtlarda egzoz gazı emisyonlarını azaltmak için kullanılan katalitik dönüştürücülerden de atmosfere salındığı bilinmektedir. Yeryüzünden sonra gelen tabaka olarak bilinen stratosferde güneş ışınlarının nitröz oksiti atomlarına ayırması sonucu atmosferden giderimi sağlanır.

1.3.4. Ozon (O_3)

Oksijen elementinin diğer bir hali olan ozon, atmosferde doğal olarak bulunan maddeler ile birincil kirleticilerin reaksiyona girmesi sonucunda oluşmaktadır. Ayrıca azotoksitler ile hava kirliliğine neden olan hidrokarbonların güneş ışığındaki reaksiyonu sonucu ortaya çıkar. Troposferde nadir olarak oluşan ozon, yüksek enerjiye sahip ışınlar ile etkileşime giren oksijen moleküllerinin parçalanarak henüz parçalanmaya uğramayan O_2'yle reaksiyona girmesiyle oluşur [34]. Ozon, oksijenin yapamadığı yüksek enerjili ışınları absorbe edebilir. Yüksek ısıya sahip hava koşullarında oluşur. Sıcaklığın yüksek olduğu yaz aylarında ozon seviyeleri oldukça artabilir. Ozon oluşmasına neden olan kaynaklar arasında azot oksitler, karbon monoksit, metan ve metan dışı uçucu organik

bileşikler ozonun öncü gazlarıdır ve dolaylı olarak küresel ısınmaya sebep olurlar. Karbon ayak izi oluşumuna sebep olan ozon, sanayi devriminden sonra doğal ışıma yoluyla etkileşime girerek konsantrasyonu artmış, karbondioksit ve metan gazından sonra atmosferde en fazla bulunan üçüncü gaz olmuştur.

1.3.5. Azotoksitler (NO_x)

Yüksek sıcaklıklardaki yanma prosesleri sırasında havadaki azotla oksijenin birleşmesinden oluşan azot oksitler, troposferik ozon oluşum reaksiyonlarına katıldıkları için dolaylı yoldan sera etkisinin artmasına sebep olurlar. Azotoksitler genellikle azotmonoksit ve azotdioksit gazlarının toplamı olarak ifade edilir. Azotoksitler atmosfere, motorlu kara taşıtlarının egzozlarından, güç santrallerinden ve yanma proseslerinden salınır. Azotoksitlerin diğer emisyon kaynakları hava, deniz ve demiryolu ulaşımındaki taşıtlar, tarımda ve sanayide kullanılan iş makineleri, askeri araçlar, endüstriyel tesisler ve çözücülerin kullanımıdır. Uçak yakıtından kaynaklı olarak atmosfere salınan azotoksitler, ortamda bulunan metan gazının giderimini sağlamaktadır. Atmosferde bulunma olarak kısa ömürlü olan azotoksitler, nitröz oksitin indirgenmesinden, biokütlenin yakılmasından ve yakıt kullanımından oluşmaktadır.

1.3.6. Sentetik Sera Gazları

GWP yüksek miktarda olan sentetik sera gazları, HFCs, PFCs ve SF_6 diye 3 gruba ayrılır. Sanayi devriminden sonra fabrikaların yaygınlaşmasıyla keşfedilen karbon ayak izi oluşumunda rol oynayan bu gazlar, alüminyum ve magnezyum üretiminde, yarı iletken maddelerin üretiminde, soğutma teknolojilerinin üretiminde ve spreylerde kullanılmıştır [7]. Buzdolabında soğutucu olarak kullanılan ve çok kuvvetli GWP'ye sahip olan CFCs, stratosferik ozonun yıkım reaksiyonuna katıldıkları anlaşılınca Montreal Protokolü'nün imzalanmasıyla üretimleri durdurulmuştur. CFCs'nin yerine atmosfere daha az zarar veren HFCs, PFCs ve SF_6 gibi sentetik sera gazları kullanmaya başlanmıştır ve atmosferdeki varlıkları günden güne artmaktadır.

1.4. Emisyon Faktörleri

Emisyon faktörü, insan veya diğer faktörlerin faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan kirletici konsantrasyonunu belirtir. Emisyon faktörleri, kirletici kütlesinin birim

aktiviteye bölümü yani örnek olarak kg CO_2/kg kömür, kg CO_2/km araç şeklinde ifade edilir. Emisyon faktörlerinin aktivite istatistikleri ile çarpımı sonucunda emisyon miktarları hesaplanır.

Emisyon miktarlarını hesaplamak için kullanılan formül, Denklem 1.1'de gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta hava kirliliğini azaltmak için, kirlilik kontrol ekipmanları kullanan kaynaklardan salınan emisyon miktarları hiçbir kontrol ekipmanı bulunmayan kirletici kaynaklarından salınan emisyonlara oranla çok daha düşüktür. Kirletici emisyonlarını azaltmak için herhangi bir kontrol ekipmanının kullanılması durumunda toplam emisyon azaltım verimi de Denklem 1.1'e dahil edilerek emisyon hesabında Denklem 1.2 kullanılır.

$$E = A \times EF \quad \text{(D.1.1)}$$

$$E = A \times EF \times (1- ER/100) \quad \text{(D.1.2)}$$

Burada:

E: Emisyon Miktarı

EF: Emisyon Faktörü

A: Aktivite İstatistiği

ER: Toplam Emisyon Giderim Verimi (%)

Karbon ayak izi hesabının doğruluğu açısından aktivite istatistiklerinin ve emisyon faktörlerinin doğru seçimi oldukça önemlidir. Örneğin, evsel ısınmadan kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında envanter alanı içerisinde satılan kömür miktarı verileri kullanılabilir. Fakat o bölgede yaşayan insanların aldıkları kömürün tamamını kullanmaması karbon ayak izi hesabının yanlış çıkmasına sebep olacaktır. Bu yüzden hesaplamada alınan kömür miktarı yerine tüketilen kömür miktarı kullanılması karbon ayak izinin doğru hesaplanmasını sağlayacaktır. Hesaplamalarda kullanılacak emisyon faktörleri de aktivitenin türüne göre oldukça değişiklik göstermektedir. Örneğin motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar aracın türüne, yüküne, yaşına, motor hacmine, kullanılan teknolojiye, dış ortam sıcaklığına ve kullanılan yakıt tipine göre değişiklik gösterebilir. Bu nedenle karbon ayak izi hesabında kullanılan kaynaklar, araç türü, yakıt tipi ve motor hacmine göre gruplanmalı, envanter alanındaki trafiğin akış hızına göre uygun emisyon faktörleri seçilmelidir. Bir diğer önemli nokta, farklı bir ülkenin

şartlarında hesaplanan emisyon faktörünün başka bir ülkenin şartlarına uygun olup olmadığıdır.

Emisyon faktörlerini, emisyon kaynağında yapılacak olan ölçümlerle belirlemek oldukça zordur. Bu nedenle yaygın olarak bulunan emisyon faktörleri veri tabanları kullanılarak uygun emisyon faktörleri seçilir. Değişik ulusal veya uluslararası organizasyonlar tarafından hazırlanan çok sayıda emisyon faktörü veri tabanı bulunmaktadır. Ancak bunların içerisinde iki tanesi en yaygın olarak kullanılan veri tabanlarıdır. Bunlar Avrupa Çevre Ajansı tarafından hazırlanan "EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook" ve IPCC tarafından hazırlanan "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventroies" veri tabanlarıdır. CORINAIR veri tabanı 30 ülkeden salınan 11 ana kategoriden 260 farklı aktiviteyi içermektedir. Bu kategoriler arasında rafineriler, sanayiler, sanayi prosesleri, çözücülerin kullanımı, trafik, tarım, atık arıtımı, yakıt temini, doğal kaynaklar ve diğer hareketli kaynaklar yer alır. Ayrıca bu veri tabanı SO_2, NO_X, NMVOC, CH_4, N_2O, CO_2, CO ve NH_3'den oluşan 8 farklı kirletici için hazırlanmaktadır. Emisyon kaynakları antropojenik ve doğal olmak üzere ikiye ayrılır. CORINAIR veri tabanı aşağıdan-yukarıya yöntemi kullanılır. Bu yöntemde kirletici kaynaklarının oluşturduğu emisyonlar toplanarak genel verilere ulaşılır. Yakma tesisi için karbon ayak izi hesaplanırken yakma teknolojisi dikkate alınır.

Daha çok gelişmekte olan ülkelerde kullanılmak için geliştirilen IPCC veri tabanı tavandan-tabana yaklaşımıdır. Bu yöntemde, ulusal veya bölgesel istatistiklerden yararlanılarak nüfusun yardımıyla yerel verilerin elde edilir. Doğal kaynaklar IPCC metodolojilerinde hesaba katılmaz. Bu veri tabanı enerji, sanayi, çözücüler, tarım, ormancılık ve atıklar olmak üzere 6 sektör için hazırlanır. Ayrıca CO_2, CH_4, N_2O, CO, NO_X, NMVOC, HFC, PFC ve SF_6 olmak üzere 9 kirletici türü hesaba katılır. Yine bu veri tabanında sera gazları dikkatli incelebilmekte, tüm antropojenik karbondioksit ve metan kirletici kaynakları üzerinde detaylı olarak durulmakta ve nitröz oksit ile troposferik ozon öncü gazları olan CO, NO_X, NMVOC kirleticileri ile ilgili temel bilgiler yer almaktadır. Yakma tesislerinde kullanılan yakıt türü önemlidir. Trafikten kaynaklanan karbon ayak izi hesabında yakıt satışlarına ait veriler kullanılır.

1.5. Türkiye'nin Sera Gazı Emisyonları Eğilimi

Türkiye'nin 1990-2009 yılları arasında karbon ayak izi oluşumuna sebep olan toplam sera gazı emisyon envanteri 2011 yılının Nisan ayında BMİDÇS sekreteryasına gönderilmiştir [35]. Sunulan envanterin içeriğine göre sera gazı emisyonlarının farklı sektörlerdeki dağılımı Tablo 1.2'de ve farklı sera gazlarının emisyon miktarları Tablo 1.3'de verilmiştir.

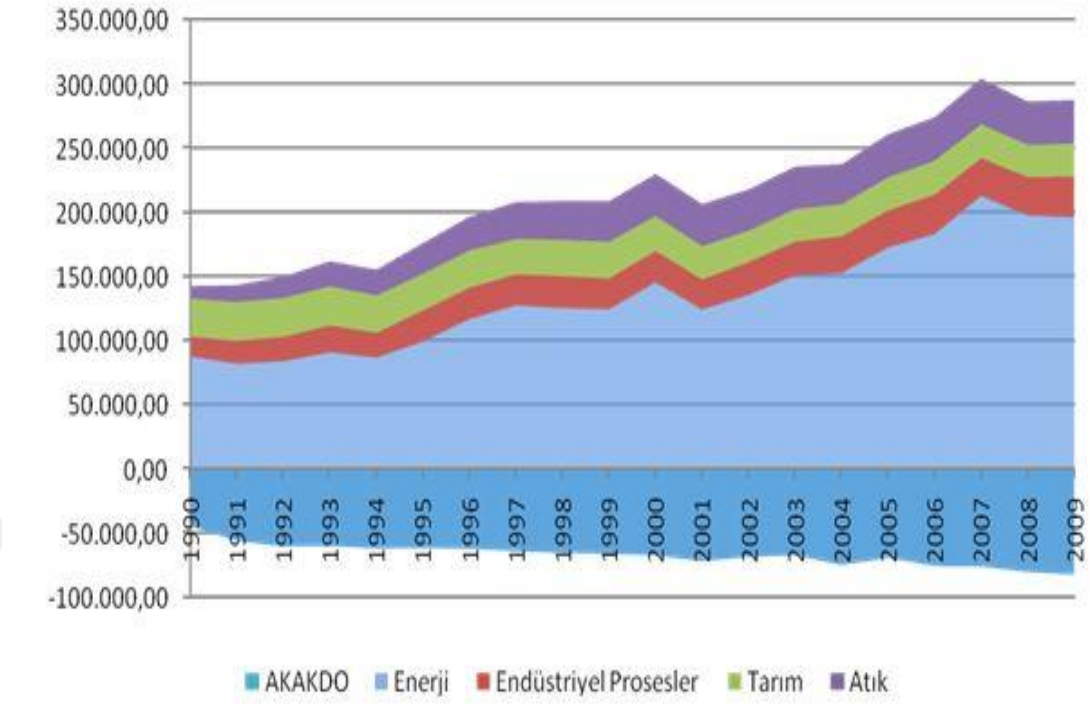
Tablo 1.2. Sera Gazı Emisyonlarının Farklı Sektörlerdeki Dağılımı (milyon ton CO_2 eşdeğeri) [4].

Milyon Ton	**1990**	**2009**
Enerji	132,13	278,33
Endüstriyel İşlemler	15,44	31,69
Tarımsal Faaliyetler	29,78	25,70
Atık	9,68	33,93
Toplam	187,03	369,65
1990 yılına göre artış yüzdesi	-	97,64

Tablo 1.3. Sera Gazı Emisyonları (milyon ton CO_2 eşdeğeri) [4].

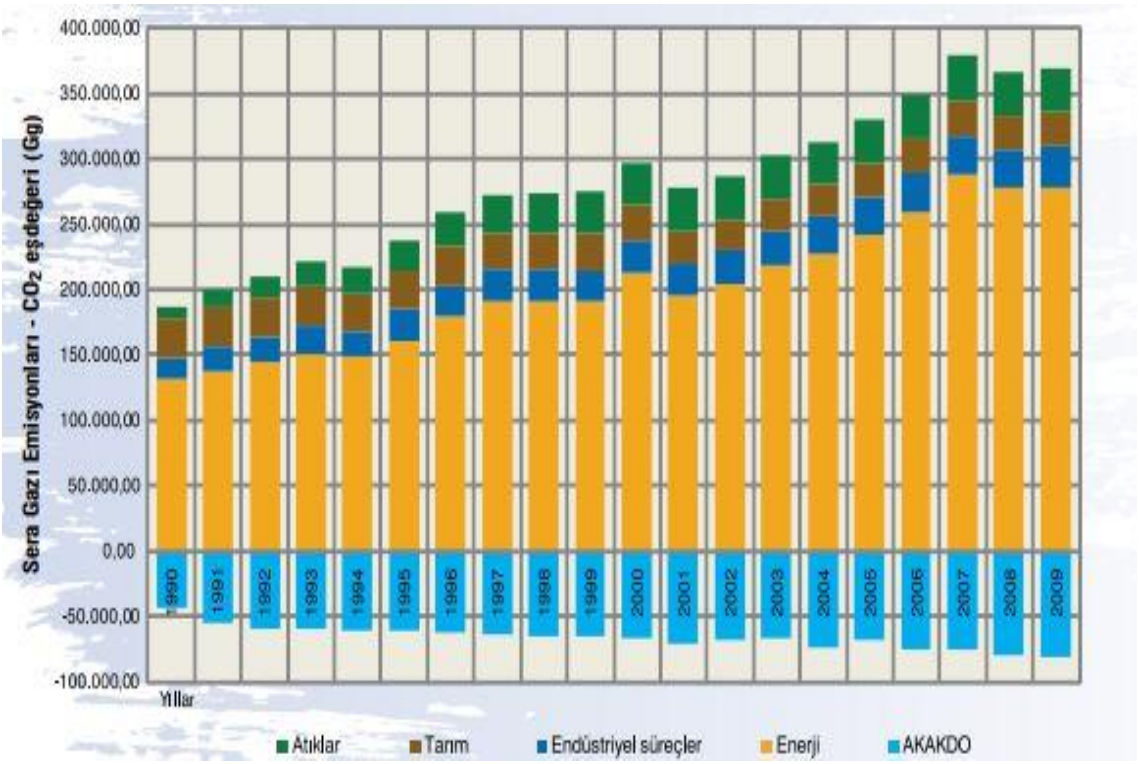
Milyon Ton	**1990**	**2009**
Karbondioksit	141,36	299,11
Metan	33,50	54,37
Nitröz Oksit	11,57	12,53
Toplam	**187,03**	**369,65**

Sera gazı emisyonları ekonomik krizin etkin olduğu 2001 yılı haricinde sürekli bir artış içindedir [35]. Sektörler arası sera gazı emisyonu tablosuna bakıldığında tarımdan kaynaklanan kirlenme potansiyelinin azaldığı ve atıklardan kaynaklanan kirlenme potansiyelinin bir miktar arttığı gözlemlenmektedir. Sera gazlarının büyük bir çoğunluğu enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Sera gazı miktarları ve sektörlere göre dağılımı Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de verilmiştir. Ayrıca ülkelere göre toplam CO_2 emisyonu yüzdesel dağılımı Şekil 1.4'te, Türkiye'nin dünyadaki toplam CO_2 emisyonları içerisindeki payı Şekil 1.5'te ve dünyada ve Türkiye'de kişi başına düşen CO_2 dağılımı Şekil 1.6'da verilmiştir.

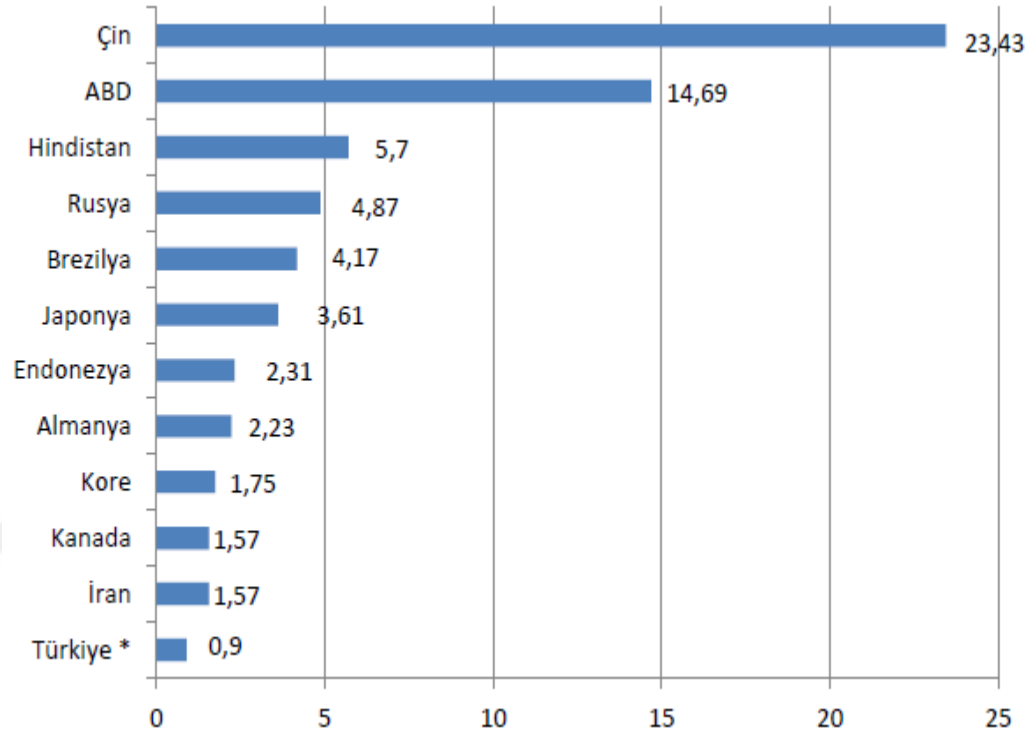


(AKAKDO: Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık)

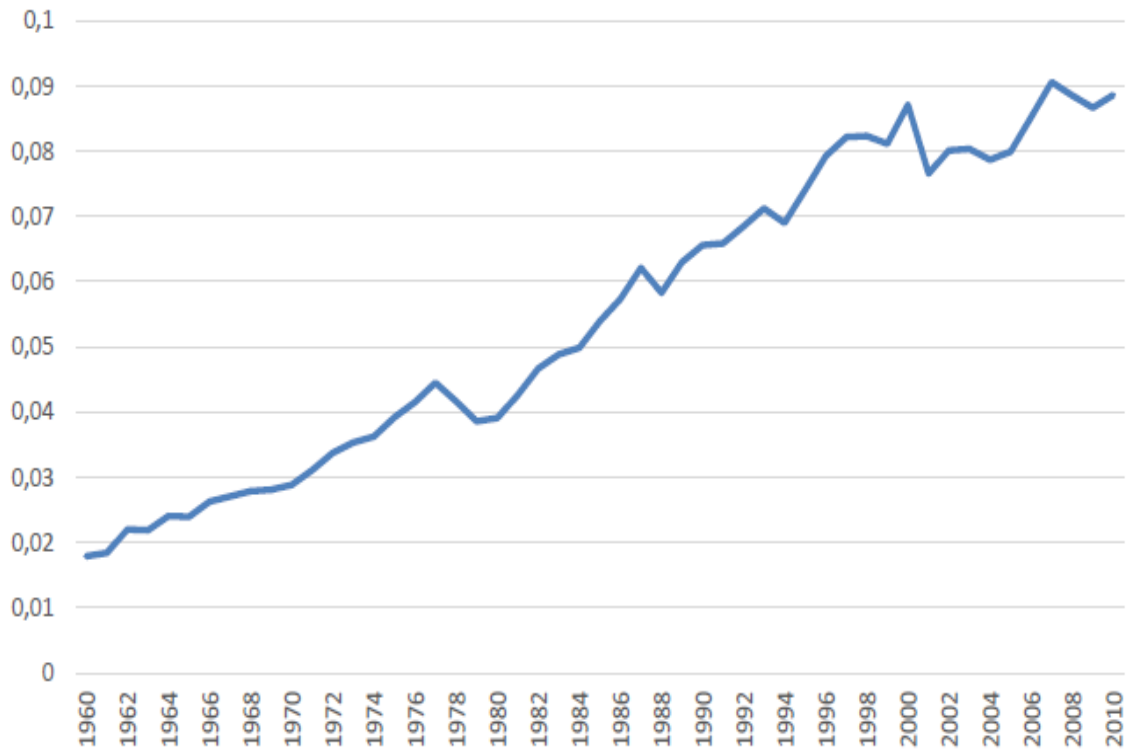
Şekil 1.2. Sera Gazı Emisyonlarının Farklı Sektörlerdeki Dağılımı [36]



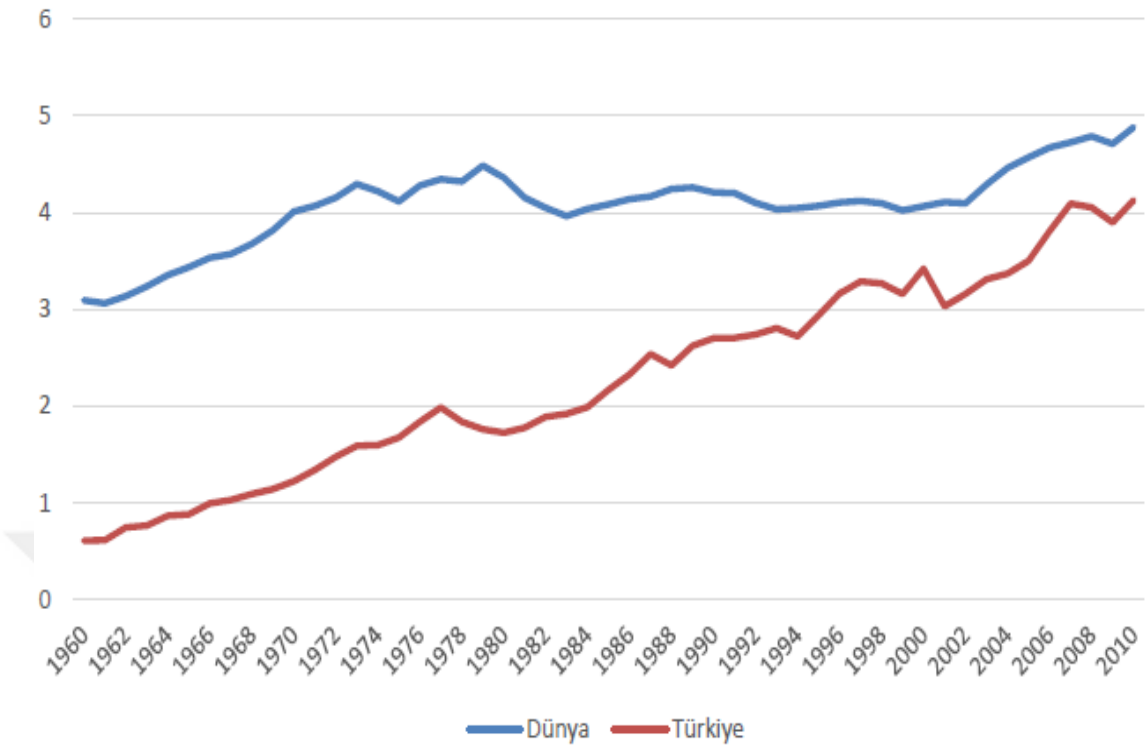
Şekil 1.3. Sera Gazlarının Sektörel Bazda Yıllara Göre Değişimi [36].



Şekil 1.4. Ülkelere Göre Toplam CO_2 Emisyonu Yüzdesel Dağılımı [28].



Şekil 1.5. Türkiye'nin Dünyadaki Toplam CO_2 Emisyonları İçerisindeki Payı [28].



Şekil 1.6. Dünyada ve Türkiye'de Kişi Başına Düşen CO_2 Dağılımı [28].

1.6. Karbon Ayak İzi

Uluslararası statüde kabul edilen standart bir tanımı olmamakla beraber ekolojik ayak izi kavramından türeyen karbon ayak izi; insan faaliyetleri sonucunda üretilen sera gazı emisyonunun doğal ortama verdiği zararın birim karbondioksit cinsinden miktarı olarak tanımlanabilir [36]. Karbon ayak izi terimi ikiye ayrılır. İlk olarak doğrudan sera gazı salınımına sebep olan birincil karbon ayak izi, ikincisi ise dolaylı yollardan sera gazı salınımına sebep olan ikincil karbon ayak izidir [37]. Birincil karbon ayak izi, ısınma ve ulaşım amaçlı tüketilen fosil yakıtlar da dahil olmak üzere, yakıtların yanmasından dolayı ortaya çıkan doğrudan karbondioksit emisyonlarını ifade eder. İkincil karbon ayak izi, insanların yaşamları boyunca ihtiyaç duyarak kullandığı maddelerin üretilmesinden başlayarak, bu ürünlerin bozularak doğadan yok olma sürecine kadar geçen sürede atmosfere salınan dolaylı karbondioksit emisyonlarının miktarıdır [38]. İkincil karbon ayak izi içerisinde birincil karbon ayak izi hesabını da içerir. Yurtdışından ithal edilen gıda ve tekstil ürünlerinin tüketimi ve bu ürünlerin tüketiciye ulaşımı, havayolu, demiryolu ve karayolu ulaşımlarının ayrı ayrı veya birlikte kullanımı ile sağlanmaktadır. Bu ürünlerden oluşan bozunmadan veya tüketimden kaynaklı

atıkların da yine karayolu ulaşımı ile atık depolama alanına taşındığı ve bertarafı için enerji kullanıldığı gerçeği ikincil karbon ayak izini oldukça önemli kılmaktadır.

Bir kişinin ürettiği ikincil karbon ayak izi miktarı, toplam karbon ayak izi içindeki payı oldukça fazladır. Belirlenen bir ortamda doğrudan veya dolaylı yollardan oluşan sera gazı emisyonunun molekül ağırlıkları yardımıyla birim karbondioksit cinsine çevrilmesi yoluyla karbon ayak izi miktarı belirlenir. IPCC, GHG Protokol, UNFCCC ve ISO 14064 standartları karbon ayak izi konusunda ülkelere, işletmelere ve üreticilere yol gösterici olmaktadır [7]. İnsan faaliyetlerini en geniş çerçevede kapsayan karbon ayak izi terimini daha iyi anlayabilmek için belirli konular altında incelenir. Bu konuların karbon ayak izi hesabında oynadığı rol, uluslararası ve ulusal düzeyde farklılıklar göstermektedir. Bahsi geçen konuların sınıflandırılması Tablo 1.4 yardımıyla yapılmıştır.

Tablo 1.4. Karbon Ayak İzi Sınıflandırma [38]

Parametre	**Birincil Karbon Ayak İzi**	**İkincil Karbon Ayak İzi**
Ulaşım	Yakıt	Toplu Taşıma Hava Ulaşımı Otomobil
Barınma	Doğalgaz	Elektrik Su ve Atık Isınma
Gıda	-	Tahıl Sebze Meyve Et
Ürün	-	Giyim Ev Ürünleri Kişisel Bakım
Hizmet	-	Sağlık Eğlence Eğitim

1.6.1. IPCC Metodolojisi ile Karbon Ayak İzi Hesabı

IPCC, 1988 yılında Kanada'nın Toronto kentinde düzenlenen Değişen Atmosfer Konferansı [14] sonucunda, BMÇP ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nün ortak girişimiyle kurulmuştur [13]. İnsan faaliyetlerinin sonucu oluşan karbon ayak izinin tetiklediği iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini değerlendirmek için kurulan panel özerk bir yapıya sahiptir [39]. Panel bünyesinde çalışan gelişmiş ülkelerde açılan bilimsel kuruluşlar, enstitüler ve Birleşmiş Milletler'in uzman kuruluşlarında bulunan deneyimli personeller, iklim değişikliğinin araştırılması için gerekli bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgilerinden yararlanarak İklim Değişikliği Değerlendirme Raporlarını hazırlar. 2017 yılı itibariyle 194 ülke IPCC kuruluşuna üyedir.

İlk raporu 1990 yılında yayınlayan panel, her beş yılda bir düzenli olarak rapor yayınlamaktadır. En güncel rapor, 2013 yılında yayınlanan 5. Değerlendirme raporudur. Ayrıca kuruluş 2007 yılında Nobel Barış Ödülü'nü kazanmıştır. BMİDÇŞ ile uluslararası düzeyde doğal ortama ve iktisadi ilerlemeye karşı en önemli tehlikenin karbon ayak izi oluşumu olduğu vurgulanmıştır [1]. Sözleşmenin amacı, insan faaliyetlerinin doğal ortama saldığı sera gazlarının verdiği olumsuz etkiyi engellemektir. Ayrıca BMİDÇS, sözleşmeyi kabul eden ülkelere düzenli bir şekilde ulusal envanterlerini geliştirmesini, yenilemesini, yayınlamasını ve karbon ayak izi hesabında farklı metodolojiler kullanarak sonuçların karşılaştırılmasını önermektedir. IPCC, yayımladığı kılavuzlarda verdiği hedefleri gerçekleştirmek isteyen ülkelere sözleşmeye taraf olması koşuluyla yardımcı olunmasını amaçlamıştır [40].

IPCC'nin yayımladığı raporlar başlıca 4 ana gruptan oluşmaktadır.

1. Değerlendirme Raporları
2. Özel Raporlar
3. Yöntem Metotları
4. Birleşmiş Milletler Dışı Dillere Çeviriler

IPCC kılavuzu çeşitli kitapçıklar halinde yayımlanmaktadır. Bu kitapçıklar; karbon ayak izi hesabı için, bilgi toplamada izlenilecek yollar, bu bilgilerin ne amaçla kullanılacağı ve ölçülen karbon ayak izi miktarının nasıl yayımlanacağını içerir. Ayrıca

bahsi geçen kitapçıklar, rapor yazımı esnasında yararlanılacak tabloları içeren, karbon ayak izi ölçüm yollarını gösteren, ölçüm metodolojilerini anlatan ve sözleşmeyi kabul eden ülkelerin ulaşamadığı bilgileri derleyip düzenleyen raporlar bütünüdür [40]. Karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan ana başlıklar arasında enerji, endüstriyel işlemler, kimyasal ürünlerin kullanımı, tarım, yeryüzü coğrafyasının ve ormanların kullanımı, atıklar, genel rehberlik ve raporlama şeklindedir [40].

1.6.2. Karbon Ayak İzi Uygulamaları

1.6.2.1. Türkiye'de Karbon Ayak İzi Uygulamaları

Atabey [33] tarafından yapılan çalışmada Diyarbakır ilinin 2011-2013 yılları arasındaki hava kirliliği verileri, Diyarbakır iline kayıtlı araçların yakıt verileri ve Diyarbakır iline kayıtlı araç sayısı verilerinden yararlanılmıştır. Tier 1 yöntemi ile ulusal enerji istatistiklerinden yararlanılarak yakılan yakıt türüne göre yakıt miktarı ve sadece varsayılan emisyon faktörleri ile karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Yapılan çalışmada 2011 yılı için Diyarbakır iline ait toplam 1,9 milyon ton CO_2 emisyonu üretildiği tespit edilmiştir.

Özlem [41] tarafından yapılan çalışma, yalnızca kağıt üretim biriminde gerçekleşmiş olup, kutu fabrikası kaynaklı karbon üretimi ve emisyonu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Tesisin karbon ayak izi hesapları firma tarafından sağlanan 2011 yılı verileri ele alınarak hesaplanmıştır. İlk aşamada saha çalışması ve verilen bilgiler çerçevesinde kağıt fabrikasında üretim analizi yapılmıştır. İkinci aşamada üretim analizini kağıt fabrikasındaki iş akış ve kütle akış diyagramlarının oluşturulması izlemiştir. Kütle akış diyagramları elyaf, su, buhar ve kimyasallar için çıkarılmıştır. Son aşama toplam karbon salınımın hesaplanması ve kağıt üretimi bazında birim karbon salınım miktarının belirlenmesi işlemidir. Bu bağlamda, gerek tesiste üretilen elektriğin gerekse şebekeden alınan elektriğin birim karbon salınımlarının hesaplanması ve sonunda tesis bazında birim kWh tüketiminin ağırlıklı ortalaması da bulunmuştur. Özet olarak bir yıllık brüt üretim rakamları baz alınarak ürün başına elektrik tüketimi belirlenmiş ve tüketimlere karşılık gelen karbondioksit miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada 98948 ton CO_2 emisyonu üretildiği tespit edilmiştir.

Toröz [42] tarafından yapılan çalışma sadece atık alım gemileri, atık kabul tesisi ve liman sahasında yapılan işlemlerden kaynaklı olan karbon emisyonlarını kapsamaktadır. Tesiste oluşan karbon ayak izi, tesis görevlilerinden alınan verilerle hesaplanmıştır. İlk olarak arazide yapılan çalışma ile ulaşılan bilgiler çerçevesinde atık alım aşamasında atık analizi yapılmıştır. Atık analizini, atıksu kütle dengesi, atık giriş çıkış verileri ve atığın temel halinin kütle dengesi verileri oluşturulması izlemiştir. Yapılan tablolar tesis görevlisinin sağladığı bilgiler baz alınarak oluşturulmuştur. İkinci aşamada kütle denge ölçümlerinden sonra üretimden kaynaklanan karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Son aşamada toplam karbon ayak izinin hesaplanması ve birim atık alım miktarı başına karbondioksit eşdeğeri bulunmuştur. Tesisten kaynaklanan sera gazı emisyon hesabı yapılarak karbon ayak izi değeri 2013 yılı için 3217 ton CO_2 olarak tespit edilmiştir.

Ünaldı [43] tarafından yapılan çalışmada yeşil pazarlama ve karbon ayak izi kavramları ayrıntılı olarak incelenmiş, kavramlar arasındaki ilişkiler saha araştırmasıyla desteklenmiştir. Çorum İli merkezinde ikamet eden 432 tüketiciden yaşam tarzı ve çevresel algı düzeylerine bağlı kalarak alınan veriler SPSS 18.0 paket programında analiz edilerek karbon ayak izi derinlikleri belirlenmiştir. Buna göre, araştırmaya katılan tüketicilerin Çorum İlinde oluşturdukları karbon ayak izi derinlikleri arasında cinsiyet, yaş, medeni hal ve eğitim düzeylerine bağlı olarak fark olduğu Anova yöntemiyle test edilmiştir.

Turanlı [44] tarafından yapılan çalışmada Ortadoğu Teknik Üniversitesi için ulaşım, elektrik kullanımı, doğalgaz kullanımı, yemek tüketimi gibi karbon salınımına sebebiyet veren faaliyetler, 2000-2014 yılları arası baz alınarak karbon ayak izi hesaplanmıştır. 2007 senesine kadar 57415 ton CO_2 salınmasına rağmen 2014 yılında %11 oranında düşerek 50143 ton CO_2 salındığı hesaplanmıştır.

Sreng [45] tarafından Sakarya'da yapılan çalışmada otomotiv üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izi hesaplanması ve azaltım önerilerinin verilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, üretilen otomobilden yayılan sera gazlarının kaynağının çoğu elektrik amacı kullanımdan olduğu tespit edilmiştir. Karbon ayak izinin azaltılması için elektrik üretimin alternatif ve yenilenebilir enerjiden sağlanması gerektiği de vurgulanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucu olarak, tesiste hesaplan karbon ayak izi miktarı bir yılda yaklaşık 1364 ton CO_2 eşdeğeri olarak tespit edilmiştir.

1.6.2.2. Diğer Ülkelerde Karbon Ayak İzi Uygulamaları

Wiedmann [46] tarafından yapılan çalışmada, bireyler, popülasyonlar, hükümetler, şirketler ve endüstri tesisleri incelenmiştir. Bu çalışmada, karbon ayak izi, direk veya dolaylı yoldan oluşturulan karbondioksit gazlarının toplamı olarak tanımlanmıştır. Çalışma içerisinde okul ve ev kaynaklı oluşan karbon ayak izi incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada okulların oluşturduğu karbon ayak izinin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ölçülen karbon ayak izi miktarı 21 ton CO_2 eşdeğeridir.

Perry ve diğerleri [47] tarafından yapılan çalışmada, son yıllarda artan enerji fiyatları karbondioksit emisyon miktarının artmasıyla ilişkilendirilmiştir. Yerli enerji tüketimi 1971-2001 yılları arasında 13 milyon ton CO_2 artarak %36 miktarında yükselmiştir. Enerji sektöründe oluşan karbondioksit miktarını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları önerilmiştir.

Rotz ve diğerleri [48] tarafından yapılan çalışmada, elektrik kaynaklı karbondioksit emisyonu ölçümü yapılmıştır. Süt üretiminde karbon ayak izine sebep olan kaynaklar arasında karbondioksit ve metan gazı yer almaktadır. Sonuç olarak, elektrik kaynaklı üretilen karbon ayak izi 0,37-0,69 kg CO_2/kg süt üretimi olarak bulunmuştur.

1.7. Geri Kazanım ve Uygulamaları

Son zamanlarda ortaya çıkan asit yağmurları, ozon tabakasının incelmesi, iklim değişikleri, düzensiz tehlikeli atık oluşumu, yeraltı sularının kirlenmesi, çözülmesi acil olan bazı çevre problemlerindendir. Gelişen toplumlarda insanların tüketim alışkanlıkları ile katı atık oluşum miktarı ve bileşimleri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Özellikle köyden kente göçün hızlanması ile büyük şehirlerdeki nüfus gitgide artarak toplumdaki üretici nüfus kendisini tüketici nüfusa bırakmıştır. Artan nüfusa paralel olarak hızlı gelişme gösteren sanayinin üretilen atık miktarında payı büyüktür. Üretilen atık miktarındaki bu artışın sebebi insanların gelişen teknoloji ile birlikte tüketim alışkanlıklarının da değişmesidir.

1.7.1. Atık Tanımı

Atık, ülkemiz mevzuatında ilk olarak 1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda herhangi bir faaliyet sonucunda çevreye atılan veya bırakılan zararlı maddeler olarak

tanımlanmıştır [49]. Sözcük anlamı faaliyetin başlamasın bitimine kadar yapılan tüm işlemlerde oluşan ve faaliyet sahibinin işlemlerden sonra ihtiyacının olmadığı maddelerin tamamı olarak ifade edilir. İnsan faaliyetleri sonucunda kullanılamaz durumda olan ve katı madde olarak nitelendirilen her türlü maddeyi atık olarak tanımlayabiliriz [50]. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre katı atıklar; üretici tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler veya arıtma çamuru olarak tanımlanmaktadır [51]. Katı atıklar, düzensiz depolanarak, yakılarak bertaraf ederek, yerine yeniden kullanılarak veya geri kazanılarak yeniden değerlendirmeye alınmaktadır. Dünya Bankası 1999 yılında yayımladığı raporla katı atıkları evsel, endüstriyel, tehlikeli, özel, tıbbi, tarım ve inşaat atıkları diye yedi ana sınıfa ayırmıştır.

Evsel Nitelikli Katı Atıklar

Belediye tarafından evlerden toplanarak depolanan, katı atık depolama tesislerinde imha edilen, geri kazanılabilecek atıkları farklı yollarla tekrar ekonomiye kazandırılabilen, geri dönüşüm yoluyla kompost üretilebilen veya yakılarak bertaraf edilebilen evsel veya endüstride yapılan evsel nitelikli işler sonucu ortaya çıkan atıklardır. Evsel atıkların miktarı ve özellikleri yaşanılan yerin sosyal ve ekonomik seviyesine, beslenme alışkanlığına, kullanılan yakıt türüne vb. faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Evsel atık bileşenleri arasında bulunan yiyecek atıkları organik yapıda olduğundan kolayca ayrıştırılabilirler. Bu özelliklerinin yanı sıra koku oluşturmaları, katı atık toplama sistemlerinin tasarımını ve işletilmesini önemli ölçüde etkilemektedir. Evsel atıkların bileşeninde yer alan yaş atıklar ve kuru atıkların azaltılması ve değerlendirilmesi için yapılacak faaliyetlerde tüketicinin rolü çok büyüktür. Evsel atıkların bileşenleri arasında yer alan kuru atıklara örnek olarak cam, seramik, kağıt, karton, plastik, kauçuk, metaller örnek olarak verilebilir. Ayrıca yaş atıklar kompostlaştırma yöntemiyle de değerlendirilebilirler.

Endüstriyel Atıklar

Endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan katı atıklardır. Proses atıkları ve proses dışı atıklar olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Proses atıkları üretim esnasında hammadde girişinden başlayarak ürünün çıkışına kadar meydana gelen atıkların tümüne denir. Bu

atıkları tehlikeli proses atıkları ve tehlikeli olmayan proses atıkları olarak ikiye ayrılmaktadır.

Tehlikeli proses atıkları, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği çerçevesinde ve bu yönetmeliğe göre EK-5, EK-6 yer alan ve EK-7'de belirtilen özellikleri taşıyan atıklardır [52]. Bu özellikler arasında parlayıcılık, yanıcılık, oksitleyicilik, koroziflik ve toksiklik yer alır. Tehlikeli olmayan proses atıkları, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği kapsamında yer almayan atıklardır ve proses içerisinde meydana gelerek herhangi bir tehlikeli madde bulaşmamış atıklara örnek olarak verilebilir. Proses dışı atıklar, imalatla ilgisi olmayan tesiste çalışan personele ait büro ve yemekhane atıklarıdır.

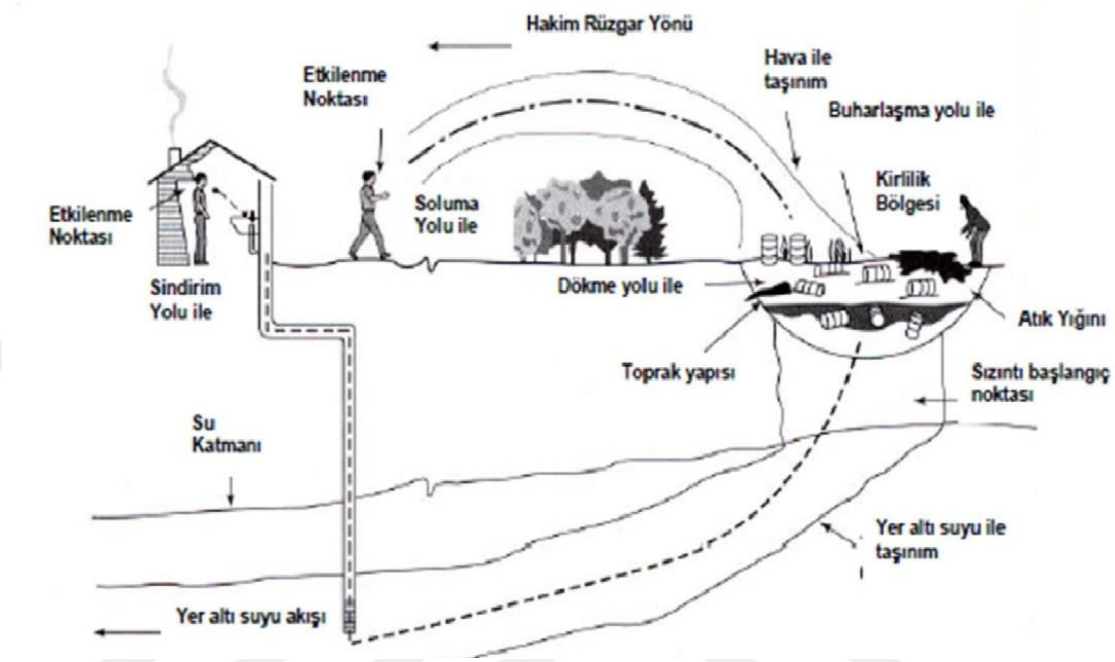
Tehlikeli Atıklar

Tehlikeli atıkların yakınımıza kadar ulaşması, insanlar ve çevre sağlığı açısından risk oluşturmasının yanı sıra ekonomik kayıplara da neden olmaktadır. Tehlikeli atığın tanımı ana hatlarıyla aynı olmakla beraber, ülkeler arasında bazı farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Tehlikeli atığı belirlemek için yapılacak en iyi yaklaşım, tehlikeli atığı diğer atıklardan ayırmaktır.

Avrupa Birliği'nde ilk hukuki atık tanımı, Avrupa Birliği Atık Çerçeve Direktifi olan 75/442/EEC direktifinin 1. maddesinde görülmektedir. Direktif bazı atıkları uygulama kapsamı dışında bırakmaktadır. Bu atıklar arasında radyoaktif atıklar, maden üretimi esnasında oluşan atıklar, tarım faaliyetleri nedeniyle ortaya çıkan atıklar, atıksular ve atık sıvılar, atmosfere yapılan gaz emisyonları ve Avrupa Birliği'nde özel uygulamaları olan atıklar yer alır. Türkiye'de, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği zararlı ve tehlikeli atığı; patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait, suyla temas halindeyken patlayıcı gazlar çıkaran, oksitleyici organik peroksit içerikli, zehirli korozif, hava ve suyla temasında toksik gaz bırakan, toksik ve ekotoksik gaz bırakan ve bakanlıkça tehlikeli ve zararlı olduğu onaylanan atıklar olarak tanımlamıştır [51].

Tehlikeli atık depolama sahalarına yağan yağmurlar yüzey sularına karışır. Bunun sonucunda depolama sahalarının yakınında yer alan su yapılarında kirlenmeler ortaya çıkar. Kirlilik yükü, bu sularda yaşayan canlı yapılara zarar vermektedir. Ayrıca tarım faaliyetlerinin yürütülmesine müsait araziler tehlikeli atıklardan olumsuz etkilenerek

toprak kirliliği ve kirlenmiş yüzey sularının etkisiyle birlikte biyolojik çeşitliliği yok ederek tarım ürünlerine zarar vermektedir. Tehlikeli atıkların zarar gören tarım ürünleri ile insan vücuduna taşınma mekanizması Şekil 1.7'te verilmiştir.



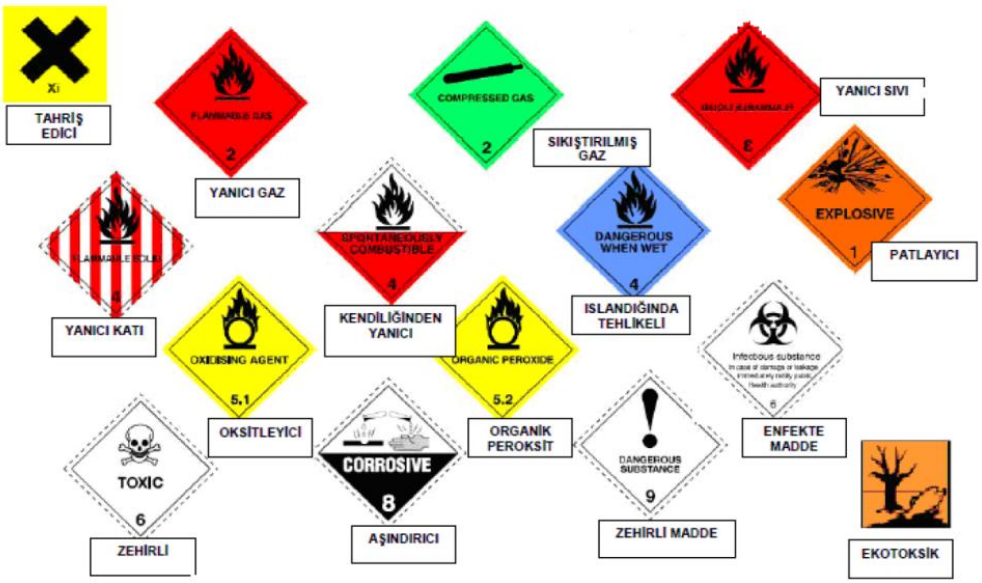
Şekil 1.7. Tehlikeli Atıkların Canlı Yapılara Taşınımı [53].

Tehlikeli atıklar çoğunlukla sanayi kuruluşları, araştırma merkezleri, hastaneler vb. yerlerden kaynaklanmaktadır. Evlerden gelen basınçlı kaplar, sanayiden kaynaklanan zararlı kimyasal maddeler ve hastanelerden kaynaklanan radyoaktif atıkların tamamı tehlikeli atık sınıfına girmektedir. Tehlikeli atıklar Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde tehlikelilik durumuna göre 15 sınıfa ayrılmıştır [54].

1. **H1 (Patlayıcı):** Alev etkisi altında patlayabilen ya da dinitrobenzenden daha fazla şekilde şoklara ve sürtünmeye hassas olan maddeler kendi başına kimyasal reaksiyon yoluyla belli bir sıcaklık ve basınçta hızla gaz oluşmasına neden olabilecek madde veya atıklar olarak tanımlanır.
2. **H2 (Oksitleyici):** Yanıcı maddeler ile temas halindeyken yüksek oranda ekzotermik reaksiyonlar gösteren maddelerdir.

3. **H3-A (Yüksek Oranda Tutuşabilen):** Bu maddelere örnek olarak 21 °C parlama noktasına sahip sıvılar, herhangi bir enerji kaynağı ile temas etmeksizin ortam sıcaklığındaki hava ile reaksiyona girdiğinde ısınabilen ve tutuşabilen maddeler, bir ateşleme kaynağı ile kısa süre temas ettiğinde tutuşabilen maddeler, normal basınçta havada tutuşabilen gaz maddeler ve su veya nemli hava ile temas ettiğinde kolayca tutuşabilen gazlara dönüşebilen maddeler verilebilir.
4. **H3-B (Tutuşabilen):** 21 °C'ye eşit veya daha yüksek ya da 55 °C'ye eşit veya daha düşük parlama noktasına sahip olan sıvı maddeler bu gruba örnek verilebilir.
5. **H4 (Tahriş Edici):** Deri ile ani, uzun süreli veya ara ara temas ederek yanığa sebep olan korozif maddelerdir.
6. **H5 (Zararlı):** Solunduğunda, yenildiğinde ya da deri ile temas ettiğinde belirli bir sağlık riski taşıyan maddelerdir.
7. **H6 (Toksik):** Solunduğunda, yenildiğinde ya da deri ile temas ettiğinde sağlık yönünden akut veya kronik riski oluşturan hatta ölüme sebebiyet veren maddelerdir.
8. **H7 (Kanserojen):** Solunduğunda, yenildiğinde ya da deri ile temas ettiğinde kansere neden olan veya etkisini artıran maddelerdir.
9. **H8 (Korozif):** Temas etmesi halinde canlı dokuları tahrip eden maddelerdir.
10. **H9 (Enfeksiyon Yapıcı):** İnsan ve diğer canlılarda hastalığa neden olan maddelerdir.
11. **H10 (Üreme Becerisini Azaltıcı):** Solunduğunda, yenildiğinde ya da deri ile temas ettiğinde kalıtımsal olmayan hastalıklara yol açan maddelerdir.
12. **H11 (Mutajenik):** Solunduğunda, yenildiğinde ya da deri ile temas ettiğinde kalıtsal genetik bozukluklara yol açan maddelerdir.
13. **H12:** Havayla, suyla veya bir asitle temas etmesi sonucu zehirli gazları serbest bırakan maddelerdir.
14. **H13:** Yukarıda listelenen maddelerden birine sahip olan atıkların bertarafı ya da geri kazanımı sırasında ortaya çıkan maddelerdir.
15. **H14 (Ekotoksik):** Çevrenin bir veya daha fazla kesiminde ani veya gecikmeli zararlı etki gösteren maddelerdir.

Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde tehlikelilik durumuna göre 15'a ayrılan atıkların her biri için tehlikelilik durumunu sembolize eden farklı şekiller belirlenmiştir. Belirlenen bu şekillere istinaden tehlikeli atık sembolleri Şekil 1.8'te verilmiştir.



Şekil 1.8. Tehlikeli Atık Sembolleri [53].

Özel Atıklar

Evsel nitelikli ve endüstriyel nitelikli katı atıklara tabii olmayan ve katı atıkların toplanma yönteminden farklı ve daha titiz bir şekilde toplanarak geri kazanım veya geri dönüşüm proseslerine gönderilmesi planlanan atıklardır [55].

Tıbbi Atıklar

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre sağlık işlemlerinin yürütüldüğü işletmelerde kullanılan ünitelerden kaynaklanan ve yönetmeliğe ait EK-II'de C, D ve E grupları altında yer alan enfeksiyöz, patolojik, ve kesici-delici atıkları ifade eder [56].

Tarımsal Atıklar

Tarımsal amaçlı kullanımdan veya üretimden kaynaklanan atıklardır. Tarımda kullanılan ilaçlar hem bu gruba hem de tehlikeli kimyasal atık grubuna girmektedir.

İnşaat Atığı

Herhangi bir inşaatın yapılması veya yıkılması sonucunda ortaya çıkan atıklardır.

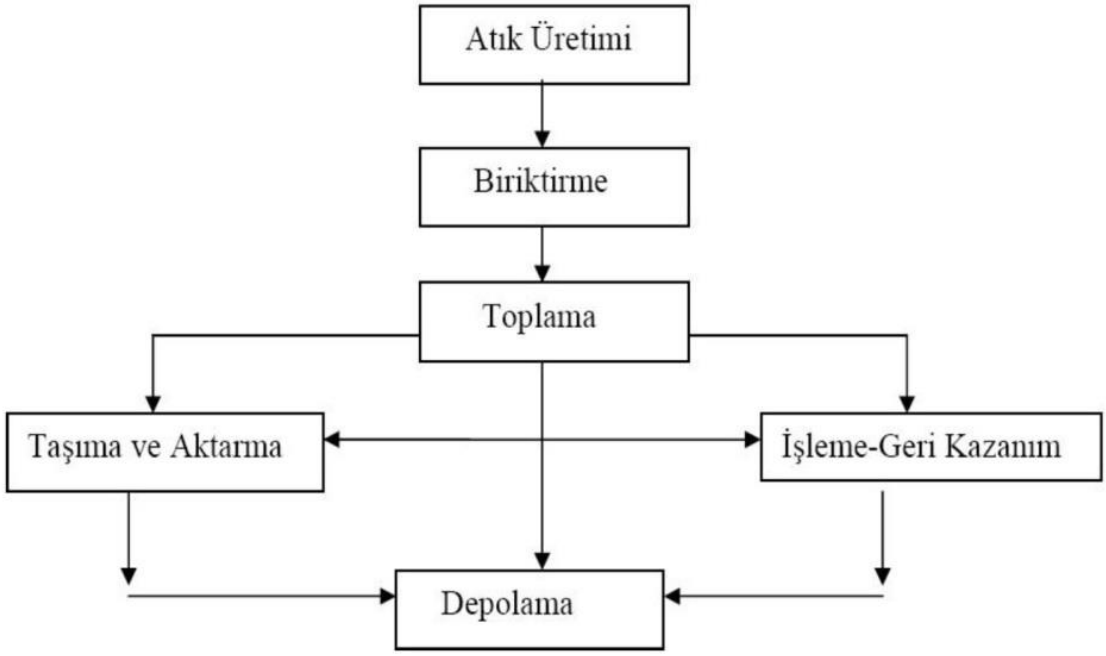
1.7.2. Atık Yönetimi

Bilimsel buluşların artması ve teknolojinin her geçen gün yenilenmesine ve endüstrinin ilerlemesine bağlı olarak hızlı kentleşme, çarpık yapılaşma ve nüfusun önlenemez artışı tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de insanların doğal ortam üzerindeki zararlı faaliyetlerinin doğurduğu olumsuz sonuçlarını artırmaktadır [57]. Bu süreçte sanayileşmenin bir sonucu olarak doğal kaynaklar daha yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Kaynakların kötü ve yoğun bir şekilde kullanımından sonra üretilen atıkların miktarı artmış ve doğal ortama verdiği zarar insan sağlığına zarar verecek boyutlara ulaşmıştır. Doğal ortam ve insan üzerindeki zararlı etkilerini artıran ve gün geçtikçe artırmaya devam eden atık üretimi ve yönetimi sorununun çözülmesi tek yöntemle mümkün değildir. Ancak her çeşit atık için karakterine uygun yöntem belirlenerek uygulanmasıyla sorunların üstesinden gelebilen bir atık yönetim mekanizması oluşturulabilir.

Atık yönetimi, atıkların oluşumundan son bertarafına kadar devam eden atıkların oluşumu, biriktirilmesi, toplanması, taşınması, işlenmesi ve depolanması aşamalarında halk sağlığı, ekonomi, mühendislik ve çevre koruma gibi çeşitli disiplinlerin prensiplerini kullanarak uygun çözümler üreten bir süreçtir. Entegre atık yönetiminde, atık yönetim mekanizmasının tüm bölümleri bir bütün olarak ele alınarak hem insan sağlığına etkisinin azalması hem de ekonomik olarak gelişmenin ilerlemesi amaçlanır [58]. Bu sebepten dolayı atık yönetimi bir tek atık üretim faaliyetine yönelik olması beklenemez. Ayrıca atık yönetimi hem ekonomik yönden hem sosyal yönden hem de insan sağlığına olumsuz etkilerin azaltılmasıyla gerçekleştirilmesi düşünülen sürdürülebilir kalkınma teorisine hizmet eder ve sürdürülebilirlik mekanizmasına iki şekilde etki eder. İlk olarak insan faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar için atık üretiminin hangi ölçüde faal ve verimli kullanıldığı, ikinci olarak; üretilen atıkların doğal ortama zarar vermeden ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleyici ölçüde bertaraf edilmesi gerekliliğidir [59].

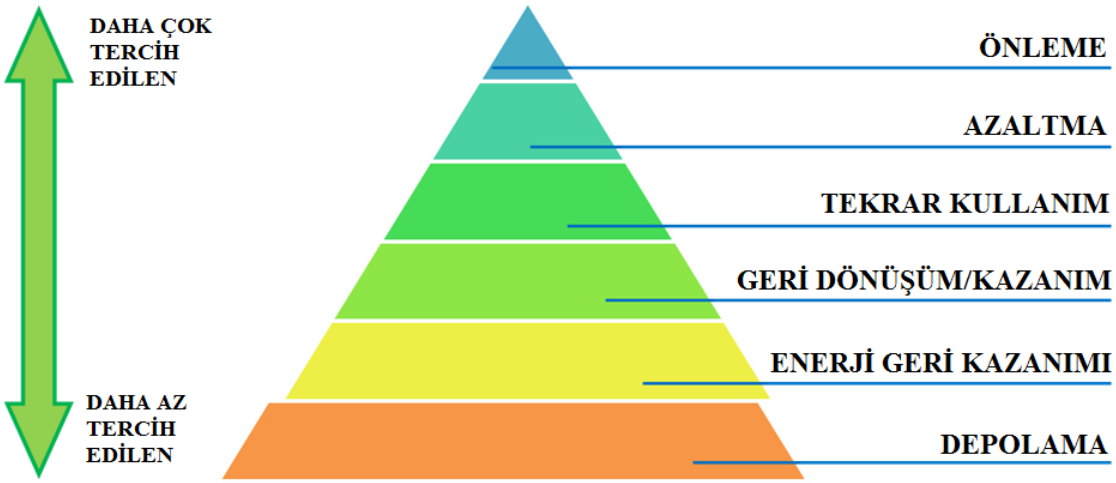
Entegre atık yönetiminin ilk amacı atık üretiminin kaynağında engellenmesi ve doğal ortamın korunmasıdır. Atık, bertaraf edilmesi gereken bir madde olarak görülmesi yerine geri kazanarak doğal ortama ve kaynağına yeniden yararlı olabilecek bir madde olarak görülmelidir. Entegre atık yönetiminin amacında atık üretimine sebep olan

kaynakları kullanırken oluşan atıkları tekrar yararlı bir şekilde kullanabilmektir. Bu nedenle, toplumsal alanda farklı sektörlerin faaliyetleri sonucu üretilen atıkların, depolama alanında veya bertaraf tesislerinde yok edilmesi yerine, insan faaliyetlerinin gerçekleştiği anda atık üretiminin engellenmesi amaçlanarak en aza indirilmesi, oluşan atıkların geri kazanımının mümkün hale getirilmesi ve geri kazanımı mümkün olmayan atıkların geri kazanılabilecek maddelerle değiştirilmesi amaçlanmaktadır [59]. Bu amaca uygun olarak oluşturulan entegre atık yönetiminin bileşenleri Şekil 1.9'te verilmiştir.



Şekil 1.9. Atık Yönetiminin Ana Bileşenleri [60]

Atığın kaynağında önlenmesi, üretiminin azaltılması, tekrar kullanımının mümkün olması, geri dönüşümü, geri kazanımı ve bertarafı atık yönetim piramidinin çeşitli unsurlarıdır. Ayrıca atık yönetim hiyerarşisinde yer alan yöntemlerin denetlenmesi de entegre atık yönetiminin unsurlarındandır. Bu verilere göre oluşturulan atık yönetim hiyerarşisi Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Atık Yönetim Hiyerarşisi [59].

1.7.2.1. Önleme

Bilimsel yönden mümkün olmasa da kaynakta atık oluşumunu engelleyici prosesler geliştirmek önleme yönteminin temel amacıdır. Bu sayede atık oluşumuna üreticiler atık oluşumuna engel olamasa da azaltılmasına sebep olurlar.

1.7.2.2. Azaltma

Azaltma, tehlikeli atık özelliklerinden arındırılmış atıkların faaliyet alanında en az miktarda oluşma yöntemidir. Örnek olarak üretim aşamasında hammadde ve proses seçerken daha az miktarda artık oluşumuna sebep olan proses ve maddeler tercih edilebilir. Prosesi kullanan insanların eğitilmesi de atık azaltma konusunda önemli olan faktörlerden biridir.

1.7.2.3. Tekrar Kullanma

Tekrar kullanma, faaliyet esnasında oluşan atığın hiçbir etkiye maruz bırakılmadan ömrünü tamamlayana kadar etkisini bitirene kadar birçok kez kullanılması yöntemidir. Cam şişelerin içinde bulunan ürünün tüketilmesinden sonra tekrar kullanılması örnek gösterilir [61].

1.7.2.4. Geri Dönüşüm

İnsan faaliyetleri sonucu oluşan atıklardan yeni bir madde elde etmek için fiziksel ve kimyasal proseslere tabi tutulması işlemine geri dönüşüm denir. Kağıt atıklardan kullanılabilir yeni kağıt maddeler üretilmesi geri dönüşüm işlemine örnek verilebilir.

1.7.2.5. Atıkların Depolanması

Vahşi Depolama

Atıkların araziye gelişigüzel bırakılması işlemine vahşi depolama denir. Gelişmekte olan ülkeler statüsünde olan ülkemizde birçok olumsuz sonucu beraberinde getirse de yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal ortama bırakılan atıkta bulunan organik maddeler mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılır. Ayrışmadan sonra yüksek miktarda tehlike arz eden metan ve karbondioksit kökenli depo gazı oluşur. Ayrıca yeraltı suları için kirlilik konsantrasyonu oluşturan sızıntı suyu da bu aşamada ortaya çıkar.

Düzenli Depolama

Atıkların bertarafı için düşük maliyeti yüzünden en çok tercih edilen yöntem düzenli depolamadır. Düzenli depolama yönteminin prensibi, sızdırmaz zemin içine insan faaliyetleri sonucu üretilen atıkların hacmi azaltılarak sıkıştırılıp üzeri sızdırmaz zemin ile örtülmesi esasına dayanır. Sızdırmaz zeminde biriken sızıntı suları ve sıkışma sonucu patlamaya hazır olan biyogazın oluşturduğu tehlikeyi önlemek için gereken tedbirlerin düzenli olarak alınması gerekir. Oluşan sızıntı sularının içme suyu hattına karışmaması için düzenli depolama tesislerinin şehrin dışına yapılması öngörülmektedir. Ayrıca bu öngörünün diğer bir sebebi oluşacak olan koku problemidir.

1.7.2.6. Geri Kazanım

Geri kazanım, insan faaliyetleri sonucunda oluşan katı atıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerle kirlilik parametrelerinden arındırılarak yeniden kullanılması, yeni bir madde elde edilmesi veya enerjiye dönüştürülmesi işlemidir. Atıkların geri kazanım süreci üretiminde ve kaynağında başlar. Atık içindeki geri kazanımı mümkün olan maddelerin kullanım amacı ve geri kazanım yöntemine bakılmaksızın oluşan atıkların ekonomiye uygun bir şekilde düzenli olarak depolanmasına dair detaylı bir planlama

sistemi kurulması gerekir [62]. Geri kazanımı mümkün olan atıkların toplanması iki ayrı yöntemle mümkündür. Bu yöntemlerin ilki tüketiciye getirtme ikincisi ise tüketiciden alma yöntemidir. Toplayıcı açısından etkin bir yöntem olmayan tüketiciye getirtme yöntemi çoğunlukla atık üreticisinin sorumluluk almasıyla ilerler. Tüketiciye getirtme yöntemi, atık üreten insanlar tarafından ürettiği atıklarını sorumluluk alarak atık işlem merkezine götürmesi esasına dayanır. Tüketici açısından bu faaliyet gönüllülük esasına dayanır. Atık alıcısı tarafından faal sistem olan atık alma yönteminde, devlet kurumları tarafından onaylı ve atık alım kriterlerine uygun araç ve atık alım konusunda eğitilen personel gerekir. Bunun için özel olarak üretilmiş ambalajlarda tüketici tarafından her atık türü için farklı ortamlarda biriktirilmiş geri kazanımı mümkün olan atıkların üreticiden atık işleme merkezine taşınması esasına dayanır. Geri kazanılması mümkün olan bilinçsizce biriktirilmiş atıklar, bertaraf edilmesinden önce karışık olarak biriktirilmiş atıkların içerisinden seçilmelidir. Geri kazanım için kullanılan iki yöntemde de alınacak atıkların özellikleri, bölgedeki sosyal yaşamın karakteristiklerine bağlıdır [62].

Atık alım işlemi, geri kazanılması mümkün olan maddelerin birlikte toplanması, hammadde türü bazında ayrı olarak toplanma ve geri kazanılması mümkün olan atıkları seçerek birlikte toplama şeklinde yapılabilir. Geri kazanım işleminin başarılı olabilmesi için atıkların geri kazanım sonrası kullanıma uygun özellikleri olması gerekir. Geri kazanımı mümkün olan atıklar tüketici ile geri kazanım tesisi arasındaki mesafeye göre etkin bir nitelik kazanacaktır. Geri kazanım amacıyla toplanan ve ayırma işlemine tabi tutulan atıkların bu amaç doğrultusunda hareket edebilmesi için seçilen değerlendirme yönteminin gerektirdiği şekil ve titizlikte ayrılmaları şarttır. Ayırma işlemi toplamanın hangi aşamasında yapıldığına bağlı olarak 3 şekilde gruplandırılır [63].

Kaynakta Ayırma

Gelişmiş ve sistemli olarak kurulan atık ayırma tesislerinden istenilen verimin alınamaması, ekonomik açıdan uygun olmaması ve geri kazanılan atıkların kullanımının az olması nedeniyle atıkların kaynakta ayrılması gündeme gelmiştir. Böylece doğal ortama olumsuz etkide bulunan atıkların geri kazanımı sağlanmakta ve atıkların hammaddesi korunmaktadır. Sanayi bakımından gelişmiş ülkeler bu konuyu yasal yollarla desteklemişlerdir. Dünyada en çok geri kazanımı yapılan atık çeşidi kağıt

olmuştur. Kaynakta ayırma yöntemi ile kullanılan kağıdın yarısından fazlası temiz olarak geri kazanılabilmektedir.

Toplama Sırasında Ayırma

Oluşan atıkların toplama sırasında özel olarak ayrı kaplara konması esasına dayanır. Bu yöntem, toplama hızını düşürmesinden dolayı araçların özel olarak bu işe göre dizayn edilmesi gerekmektedir.

Merkezde Ayırma

Bu yöntem ile birlikte toplanan geri kazanımı mümkün olan maddeler atık işlem merkezinde farklı türlerine göre ayrılır. Kontrollü olmasından dolayı güvenilir ve tercih edilen bir yöntemdir. Bu ayırma yöntemi el emeği gerektirdiği gibi miktarının büyüklüğü ve işçi ücretlerinin maliyetinden dolayı mekanik olarak da yapılabilir.

1.7.3. Geri Kazanım Uygulamaları

1.7.3.1. Türkiye'deki Uygulamalar

Ünlü [64] tarafından yapılan çalışmada otomotiv endüstrisinden kaynaklanan atık yağların ve atık lastiklerin çimento üretiminde ek yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yakıt olarak atık yağların ve lastiklerin kullanıldığı çimento üretim tesislerinden 28 günlük kür süresini tamamlayarak çıkan ürünlerin Çevre Koruma Ajansı(EPA) ve Atıkların Düzenli Depolanması Yönetmeliği'ndeki sınır değerleri sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada, ağırlıkça %16'ya kadar atık yakıt kullanımının çimentonun kimyasal özelliklerini değiştirmediği ve atık yakıtın tehlike arz etmediği görülerek çimento üretiminde ek yakıt olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bengül [65] tarafından yapılan çalışmada uzaklaştırılan atık maddenin sahip olduğu enerji araştırılarak enerji geri kazanımı incelenmiştir. İncelenen çeşitli üretim sahalarında geri kazanılarak tasarruf edilen enerji ve enerjinin mali değeri hesap edilmiştir. Çalışmada incelenen başlıca enerji tasarruf modelleri, kazan yakma ısısının azaltılması ve kirlenmiş akışkandan ısı geri kazanımı şeklindedir.

Kaykıoğlu [66] tarafından yapılan doktora tezinde dokunmuş kumaş terbiyesinden kaynaklanan atıksulardan renk ve KOİ giderimi ile atıksuyun fabrikada tekrar

kullanımının değerlendirilmesi yapılmıştır. Sabit granül yataklı anaerobik reaktör kullanılarak maksimum KOİ ve renk giderimi çalışma sonucunda sırasıyla %72 ve %61 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca bu reaktörün ekonomik oluşu, yüksek renk giderimi elde edilmesi ve diğer reaktörlere göre düşük alıştırma dönemi gerekliliği gibi sebeplerle başarılı olarak değerlendirilmiştir.

Önal [67] tarafından yapılan çalışmada ambalaj atıklarının çeşitleri ve geri kazanılması üzerinde çalışılmış ve Trabzon ilinde uygulanmakta olan ambalaj atıkları yönetim planı ve lisanslı işletmeler örnek olarak incelenmiştir. Çalışmada Trabzon ilinde oluşan ambalaj atıkları ve faaliyet gösteren firmalardan veriler alınarak düzenlenmiştir. Sonuç olarak üretilen atıkların geri kazanımı için tez sonunda çeşitli öneriler sunulmuştur.

Gülten [68] tarafından yapılan çalışmada ağır metallerin biyolojik olarak parçalanamayacağı ve canlı vücudunda birikeceği belirtilmiştir. Bu çalışmada elektroliz sırasında oluşan anot çamurundan özütleme ve elektrodepolama yöntemi ile bakır geri kazanımının gerçekleştirilmesidir. Çalışma kapsamında elektroliz çamurundan bakırın özütlenmesinde asidin türü, asit konsantrasyonu, sıcaklık ve zaman oranları da incelenmiştir. Çalışma sonunda bakır geri kazanım verimi HCl kullanımında %97, H_2SO_4 kullanımında %94 olarak belirlenmiştir.

1.7.3.2. Diğer Ülkelerdeki Uygulamalar

Tripodo ve arkadaşları [69] tarafından yapılan çalışmada endüstriyel işlemler aşamasında yer alan fermente prosesi sonucunda narenciye meyvesinin bazı ekonomik ve çevresel problemlerle karşılaştığı üzerinde durulmuştur. Santrifüj sonrası oluşan küspe üzerinde yapılan alkali ve enzimatik ölçümler sonucunda kurutma metodu ile geri kazanım ön plana çıkarılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda narenciye çeşitlerinden portakalda %90,6 limonda ise %91,2 geri kazanım elde edildiği görülmüştür.

Tong ve Chen [70] tarafından yapılan çalışmada alkali fermantasyon sıvısından azot ve fosforun geri kazanılması ve fermantasyon sıvısının belediye atıksuyu için ek bir karbon kaynağı olarak kullanılması araştırılmıştır. Çalışma için hazırlanan optimum koşullarda azot %73, fosfor ise %82 oranında geri kazanımı sağlanmıştır. Geri kazanımdan sonra alkali fermantasyon sıvısı belediye atıksuyuna eklenerek biyolojik azot ve fosfor

giderim verimi araştırılmış, nitrifikasyon aşamasını önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür.

Tingting ve arkadaşları [71] tarafından yapılan çalışmada PCB maddesinin atık çamurundan ultrason yardımı ile metal geri kazanımı hedeflenmektedir. Bu yöntem ile ağır metaller yüksek ayrıştırma ve geri kazanım verimliliğiyle düşük maliyet öngörmektedir. PCB atık çamurunda bulunan ağır metaller bu çalışmanın öngördüğü ultrason yöntemi sayesinde %97 geri kazanım verimliliği sağlayabilir.

BÖLÜM 2

YÖNTEM

2.1. Geri Kazanım Tesisinin Tanıtımı

Bu çalışmada, örnek bir geri kazanım tesisinde karbon ayak izi hesabı incelenmiştir. Kayseri ili İncesu ilçesi sınırları içerisinde yer alan tehlikeli atık geri kazanım tesisi olarak faaliyet gösteren fabrika yılda 1200 ton IBC tank, 1800 ton sac varil geri kazanım potansiyeline sahiptir. Tesis 1200 m^2 kapalı alan üzerine inşa edilmiştir. Tesiste 1 adet idari bina, 2 adet kontamine ambalaj sahası, 1 adet yıkama alanı, 1 adet atıksu arıtma sahası, atıksu arıtma sahasına bağlanan 2 adet atıksu kanalı, 1 adet temiz ambalaj sahası, 1 adet pres alanı, 1 adet tehlikesiz atık alanı ve 1 adet trafo merkezi bulunmaktadır. Tez dahilinde verilen bilgiler tesis yetkililerinden alınmıştır. Tesiste 6 işçi günde bir vardiya olmak üzere 8 saat çalışmaktadır.

Yapılan bu çalışmada literatür çalışmasının ardından geri kazanım tesisinde yer alan proseslerin tanıtımı yapılmıştır. Prosesler için gerekli araçların özelliklerinden bahsederek işleyiş hakkında bilgi verilmiştir. Tesiste bulunan araçların listesi Tablo 2.1'de verilmiştir. Örnek olarak yıkama prosesi sonucu oluşan atıksuyun deşarj edilene kadar uğradığı işlemlerden bahsedilmiştir. Daha sonra ulaşım, ısınma ve elektrik kaynaklı karbon ayak izi hesabında kullanılacak yöntemlerin açıklamalarına yer verilmiştir. Tesisin en önemli prosesi olan yıkama işleminden oluşan karbon ayak izi miktarı özel olarak belirtilmiştir. Yıkama işleminden oluşan karbon ayak izi hesabı elektrik kaynaklı oluşan karbon ayak izi hesabının alt başlığı olarak verilmiştir.

Tablo 2.1. Tesiste Bulunan Araçların Listesi [72]

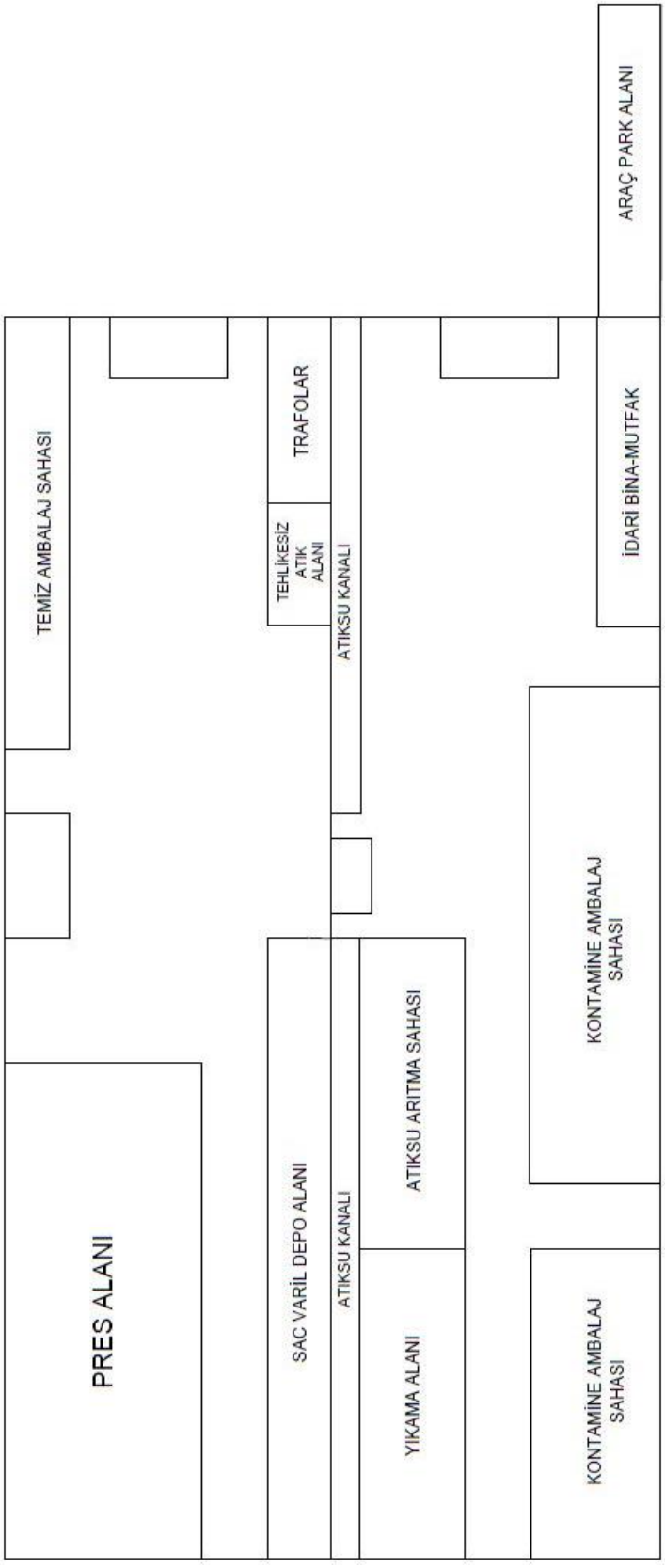
Makine Adı	**Adet**
Kompresör	1
Kompresör Tabancası	2
Varil Yıkama Makinesi	1
Pres Makinesi	1
Granül Makinesi	1
Tank Yıkama Makinesi	2
Forklift	1
Arıtma Tesisi	1
Trafo	1
Ekskavatör	1

Atık, tesise 3 ayrı atık taşıma aracı ile günde 2 sefer olmak üzere Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren atık üreticilerinden ve çevre illerden alınarak getirilmektedir. Bahsi geçen çevre iller arasında ayda bir gün Gaziantep ve Yozgat yer almaktadır. Bu şehirlerin geri kazanım tesisine uzaklığı Gaziantep için 330 m ve Yozgat için 160 km'dir. Atık taşıma araçlarının Türk Standartları Enstitüsü tarafından "Karayolu ile Tehlikeli Madde Taşıma Aracı Uygunluk Belgesi" ile standartlara uygun dizayn edilip edilmediği kontrol edilmektedir. Her araç için atık taşıma ehliyeti ile belgelendirilmiş ayrı şoför bulundurulmaktadır. Atık üreticilerinden alınan tehlikeli atıklar için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na bildirimde bulunmak üzere "Ulusal Atık Taşıma Formu" düzenlenir. Düzenlenen ulusal atık taşıma formu 6 nüsha halindedir. Nüshalardan ikisi 5 yıl saklanmak üzere geri kazanım tesisinde, ikisi atık üretim tesisinde diğer ikisi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nda bulundurulur.

Geri kazanım tesisine getirilen atık türleri arasında plastik bidon, IBC tank ve sac varil yer almaktadır. Türlerine göre ayrılan tehlikeli atıklar, her biri için ayrı hazırlanmış olan kontamine atık depolama sahasında yıkama ünitesine almak üzere bekletilmektedir. Yıkama ünitesine alınan her atığa, maruz kaldığı kimyasal maddeye göre ayrı işlem uygulanmaktadır. Yıkama ünitesinde basınçlı su ve solvent kullanılmaktadır. Yıkama ünitesi kullanım durumuna göre 2'ye ayrılmaktadır. Kontamine olmuş tanklar döner başlıklı yıkama sisteminde yıkanmaktadır. Tankların yıkanması esnasında

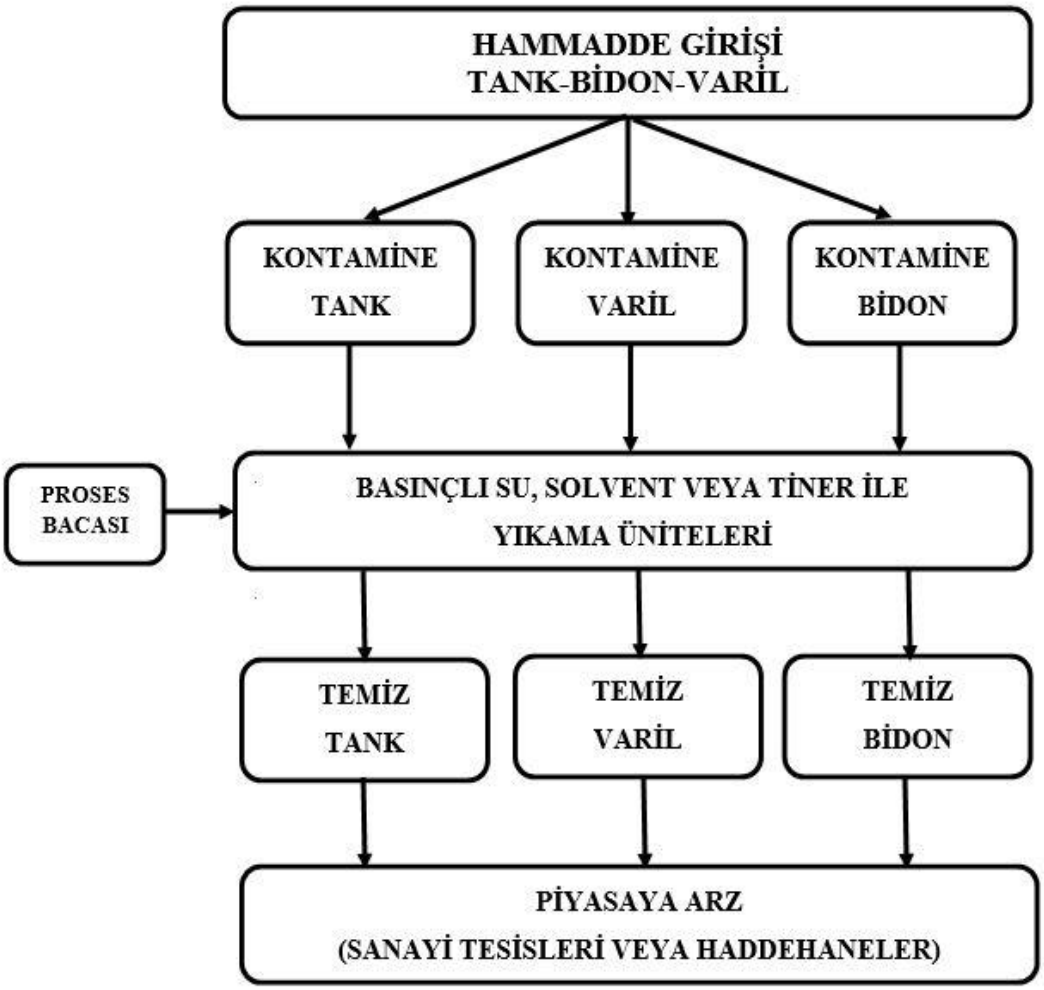
kontaminasyon durumlarına göre basınçlı sıcak su dışında, kimyasal maddelerin kullanılması zorunlu durumlarda dozajlama sistemiyle gerekli kimyasal madde ilave edilir. Sac varil ve plastik bidonlar tabanca vasıtasıyla sıcak su ve kimyasal madde ilavesi ile yıkanmaktadır. Geri kazanımı mümkün olmayan atıklar yıkama ünitesinden geçirildikten sonra presleme işlemi yapılarak demir-çelik haddehane tesislerine gönderilmektedir.

Bahsi geçen geri kazanım tesisinin vaziyet planı Şekil 2.1'de verilmektedir. Genel vaziyet planında, örnek alınan geri kazanım tesisinin iş akım şeması verilmiştir. Tehlikeli atık taşıma aracı ile tesise getirilen atıklar, idari binada bulunan görevli tarafından tesise kabulü gerçekleştikten sonra basit ayırma yöntemi ile ayrıldıktan sonra atık cinsine göre ayrı ayrı belirlenen iş akım şemasına göre işleme tabi tutulur.



Şekil 2.1. Genel Vaziyet Planı.

Şekil 2.2'de genel olarak verilen yıkama ünitesi iş akım şemasında yapılan işlemler atık türlerine göre değişkenlik göstermektedir. Geri kazanımı yapılacak olan sac variller tesise sorumlu kişi tarafından kabul edildikten sonra basit ayırma sistemi ile ayrılarak kontamine ambalaj sahasında depolanır. Atık variller basınçlı suveya solvent ile temizlendikten sonra preslenerek haddehanelere gönderilmektedir. Yıkama işlemi tamamlanan atık sac varilden açığa çıkan atıksular, atıksu havuzuna aktarılarak arıtma tesisinde işleme tabi tutulmaktadır. Sac varilin tesisteki iş akım şeması Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.2. Yıkama Ünitesi İş Akım Şeması.



Şekil 2.3. Atık Sac Variller İçin İş Akım Şeması.

Şekil 2.4'de yer alan geri kazanım işlemlerine tabii tutulacak atık tanklar, tesise getirildikten sonra sorumlu personel tarafından kabulü yapılarak yıkama ünitesine alınmaktadır. Yıkama ünitesinde döner başlıklı sistem tarafından kontamine olduğu atığın türüne göre solvent veya basınçlı sıcak su ile muamele edilerek atık tankların temizlik işlemi tamamlanır.



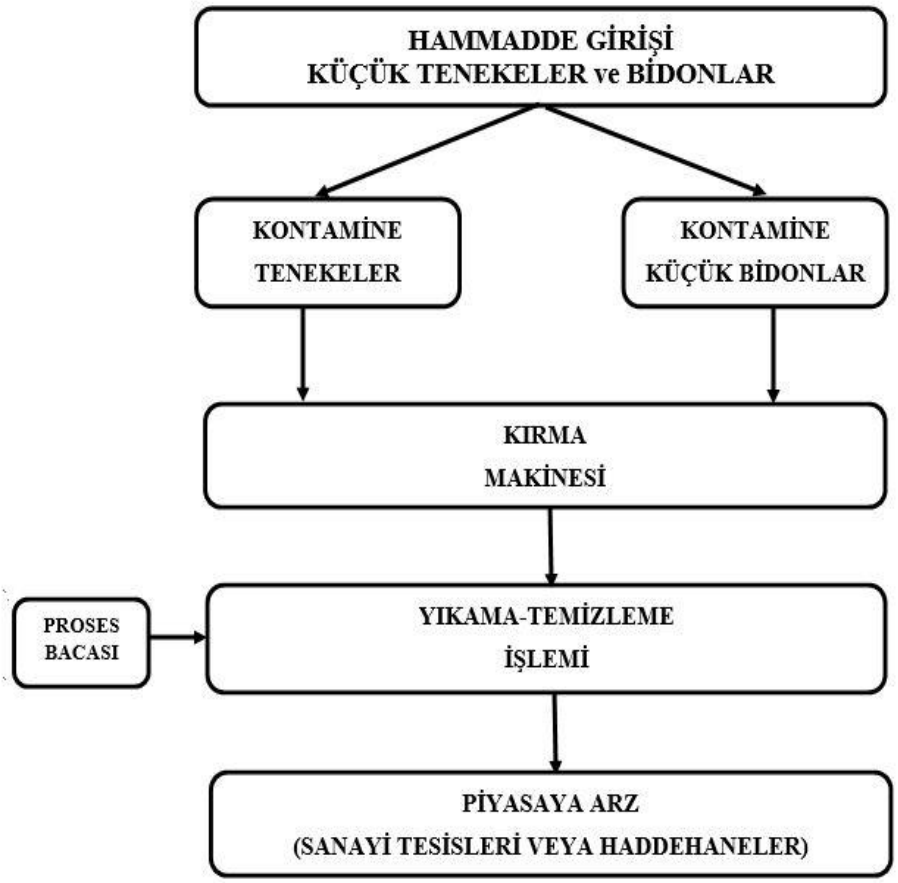
Şekil 2.4. Atık Tanklar İçin İş Akım Şeması.

Geri kazanımı sağlanacak olan plastik bidonlar, tesise getirilip sorumlu kişi tarafından kabulü sonrasında yıkama işlemine tabi tutulur. Yıkama ünitesinde açığa çıkan atıksu, havuzlara alınarak arıtma prosesine gönderilir. Yıkama işlemi tamamlanan bidonlar granül makinesinde granül haline getirilerek paketlenir ve satışa hazır hale getirilir. Şekil 2.5'te atık plastik bidonlar için iş akım şeması verilmiştir.



Şekil 2.5. Atık Bidonlar İçin İş Akım Şeması.

Ayrıca, atık taşıma aracı ile tesise getirilen tehlikeli kimyasal maddelerle kontamine olmuş küçük boyuttaki atıklar türlerine göre ayrıştırıldıktan sonra geçirimsiz beton zemin üzerinde depolanır. Sırasıyla kırma makinesinden geçirilen atık madde yıkama sepetlerine alınarak yıkama prosesinden geçirilir. Yıkama prosesi sonucu oluşan atıklar arıtma prosesine tabii tutulur. Temizlenmiş haldeki kırılmış küçük maddeler preslenerek metal hammaddesi olarak gönderilir. Kırılmış ve temizlenmiş küçük plastik parçalar bigbag torbalarda depolanarak plastik sanayisine hammadde olarak gönderilir. Şekil 2.6'da küçük boyuttaki atık malzemeler için iş akım şeması verilmiştir.



Şekil 2.6. Küçük Boyuttaki Atık Malzemeler için İş Akım Şeması.

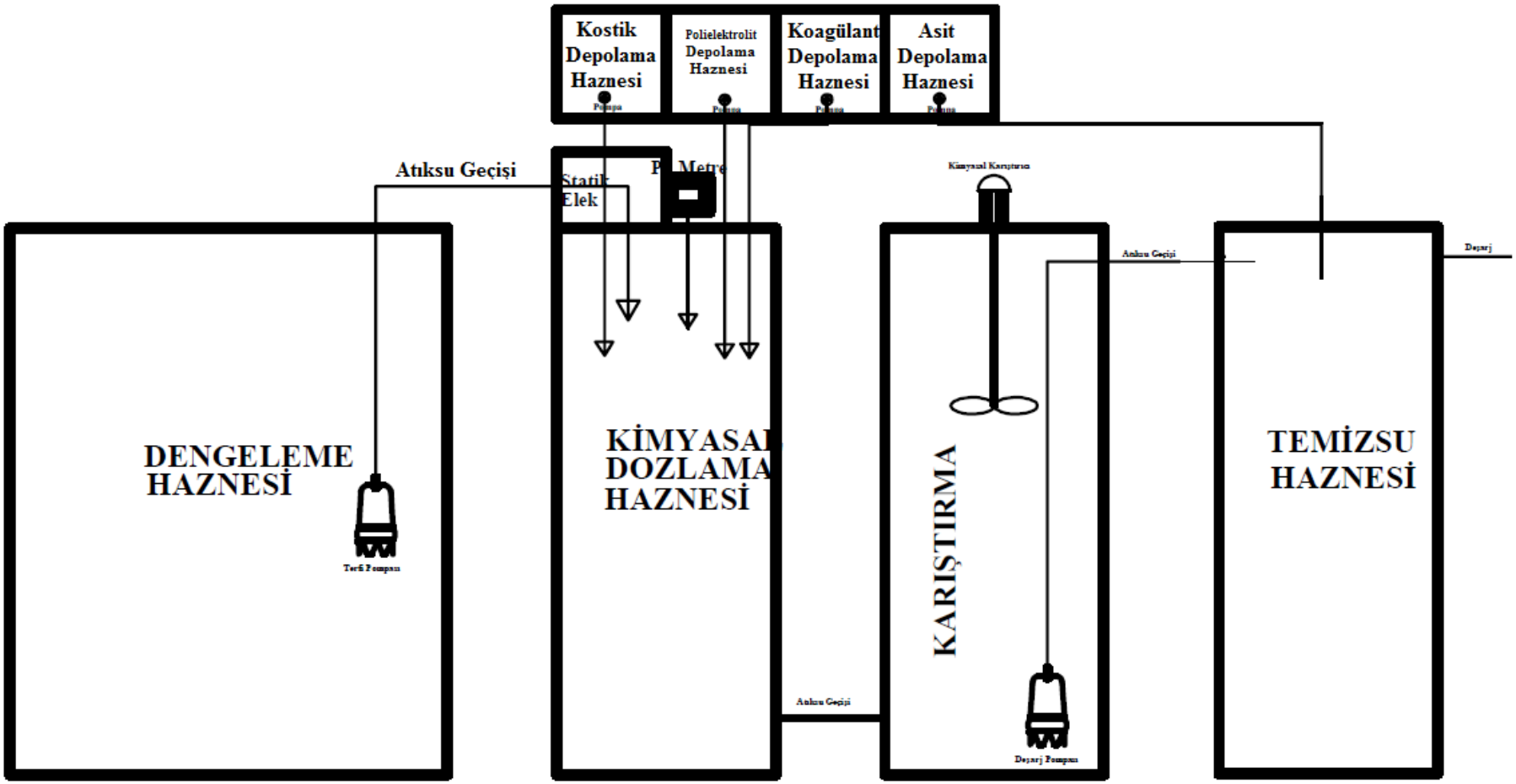
Yıkama işlemi tamamlanan malzemenin kalite kontrolü yapılarak temiz ambalaj sahasına gönderilmektedir. Yapılan yıkama işlemi sonrasında oluşan çamurlar atık depolama havuzunda yıkama ünitesinden gelen su ile beraber depolanmaktadır. Bir süre atık havuzunda bekleyen atıksu, çamur çökelme işlemi tamamlandıktan sonra arıtma prosesine dalgıç pompa vasıtasıyla gönderilecektir. Arıtma sonrası ortaya çıkan dip çamurlar atık bertaraf tesislerine gönderilir. Arıtma prosesinin iş akım şeması Şekil 2.7'de verilmiştir.

Atıksu arıtma tesisi projesi seçiminde firma için hazırlanan Çevresel Etki Değerlendirilmesi raporundan yararlanarak Tablo 2.2'deki veriler kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal arıtma sisteminde 10 m^3 hacminde bir adet dengeleme haznesi, 5 m^3/sa kapasiteli 2 adet terfi pompası, bir adet statik elek, 100 L hazneli 4 adet kimyasal madde deposu ve bu depoyu sisteme dahil eden 4 adet dozaj pompası, 1 adet flotasyon ve sedimantasyon tankı ve 2 adet debimetre bulunmaktadır.

Tablo 2.2. Atıksu Arıtma Tesisinde Kullanılan Bilgiler [72]

Tesis Sınıfı	Kimyasal Arıtma Tesisi
Toplam Tesis Debisi	5 m^3/gün
Kirlilik Konsantrasyonu	2500 mg KOİ/L

Arıtma tesisinde yer alan dengeleme haznesi, sabit debi prensibine göre çalışmaktadır. Dengeleme haznesinde toplanan ve karışan homojen yapıya sahip atıksular besleme pompası ile kimyasal arıtma sistemine iletilir. Statik elek, dengeleme haznesinden kimyasal reaktöre geçiş sırasında partiküllerin tutulmasını sağlar. Kimyasal madde hazırlama ve dozlama sistemi kostik, polielektrolit, koagülant ve hidrojen klorürün bulunduğu 4 adet tank ve 4 adet pompadan meydana gelmektedir. Dozlama sisteminden sonra kimyasal reaktöre giren atıksu öncelikle yağ ayırıcı seperatörlerden geçer. Yağdan ayrılan atıksu, dozajlanan kimyasal madde ile birlikte floklaşmaya başlar. Atıksuya koagülant katılması askıdaki katı maddelerin destabilize edilmesini ve birleştirilmesini sağlar. Verilen polielektrolit ile tamamen yumaklaşır ve seperatörlerden yukarıya çıkamayan floklar dipteki konik yapılara doğru çökmeye başlar.



Şekil 2.7. Arıtma Prosesi İş Akım Şeması.

Flokülasyon ünitesi, koagülasyon işlemi sonucunda destabilize edilmiş küçük flokların yavaş karıştırılarak birleşmesi ve hızla çöken flokların oluşturulduğu kısımdır. Yavaş karıştırma işlemi ünite bünyesindeki mekanik karıştırıcı ile sağlanır. Çökme yüzeyi arttırılan atıksu, çökelme ünitesine alınarak sıvı katı ayırma işlemine tabii tutulur. Flokülasyon ünitesinden gelen atıksu içerisindeki katı partiküller çökeltme havuzu tabanındaki konik tabana çökerler. Kimyasal olarak arıtılmış temiz su, havuz yüzeyindeki savaktan terfi pompaları vasıtasıyla temiz su tankına gönderilir. Temiz su tankında yer alan atıksu arıtma tesisi çıkış suyu, tesis alanında bulunan sızdırmaz foseptiğe deşarj edilir. Atıksu giriş değerleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Atıksu Giriş Değerleri [72]

Parametre	**Birim**	**Miktar**
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	2500
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	952
Yağ ve Gres	(mg/L)	40
Hidrokarbonlar	(mg/L)	8
Fenol	(mg/L)	2,43
Toplam Siyanür (CN^-)	(mg/L)	0,14
Sülfür (S^{-2})	(mg/L)	0,002
pH	-	6,66

2.2. Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzi Hesabı

Bu çalışmada atık başlığı altında genel, endüstriyel ve atık taşımasında kullanılan ulaşım kaynaklarının neden olduğu emisyonlar içeriğinden yararlanılmıştır. Oluşan karbon ayak izi miktarını hesaplamak için Tier adı altında IPCC tarafından yayımlanan metodolojiler kullanılmaktadır. Hesaplamalarda Tier yöntemini belirleyen yararlanılan faaliyet ve teknoloji verileridir.

Tier metodolojileri 3'e ayrılır. Tier 1 yöntemi az veri içeren basit bir yöntemdir. Genellikle ulaşım sektörü için kullanılan bu yöntemin esas dayandığı nokta yakıtların yanması üzerine kurulmuş olmasıdır. Yöntemde yakıtın yakıldığı yöntemin veya kullanılan teknolojinin herhangi bir önemi yoktur. Diğer adı top-down olan bu yöntemin prensibi yakılan yakıtla orantılı olarak karbon ayak izi oluşacaktır. CO_2 hesabında

yaygın olarak kullanılmaktadır. Öncelikle karbon ayak izi hesabı yapılacak sektörün yakıt tüketim miktarı belirlenir. Tüketilen yakıtın enerji içeriği hesaplanır. Yakıt türüne göre uygun emisyon faktörü seçilerek yakılan yakıtın karbon içeriği hesaplanır. Yakıt kullanımı sırasında oksitlenen karbon miktarı üzerinden işlem yapılmasına dikkat edilir. Son olarak moleküler ağırlık yardımıyla bulunan karbon miktarı CO_2 cinsine çevrilerek karbon ayak izi hesabı tamamlanır.

Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri ile Tier 1 yöntemi arasındaki temel fark, yanma teknolojisi hakkında fikir sahibi olmadan elde edilmesi kolay veriler olan yakıt tüketim ve dağıtım değerlerinin kullanılmasıdır. Tier 2 yönteminde yakıt tüketimini gruplara ayırarak uygun emisyon faktörü seçilerek karbon ayak izi hesabı yapılır. Tier 3 yönteminde, araçların gittiği yol uzunluğu, taşınan yükün ağırlığın gidilen yolun uzunluğuna oranı karbon ayak izi hesabına katılarak uygun emisyon faktörü seçilmesi gibi detaylı işlemler yer alır [42].

Bu çalışmada, ulaşımdan ve ısınmadan kaynaklanan karbon ayakizinin belirlenmesinde Tier 1 yöntemi kullanılmıştır. Yakıt tüketim miktarları ton cinsinden miktarları, enerji değerlerinin belirlenmesi için yakıt ile ilgili dönüşüm faktörü ile çarpılır (D.2.1). Böylece tüketilen yakıtın enerji içeriğine veya enerji tüketimi birimine geçilmiş olur. Dönüşüm faktörleri IPCC tarafından belirlenmiştir ve Tablo 2.4'te verilmiştir. Bir sonraki adımda (D.2.2), Tablo 2.5'te verilmiş olan karbon emisyon faktörleri yardımıyla, hesaplanan enerji tüketimi kullanılarak, tüketilen yakıtın karbon içeriği bulunmuştur. Bulunan bu değer 10^{-3} ile çarpılarak IPCC tarafından kullanılan gigagram (Gg) cinsine çevrilmiştir. Sonraki adımda (D.2.3), bütün yakıt türlerinin oksitlenerek çalışma prensibi baz alınarak, oksitlenen karbon yüzdesi değerleri yardımıyla ne kadar karbonun yanma sırasında oksidasyona uğradığı hesaplanmıştır. Son adımda karbondioksit emisyonunu bulmak için karbondioksit ve karbonun mol ağırlıklarının oranından yararlanılmıştır. Karbondioksitin mol ağırlığı 44 ve karbonun mol ağırlığı 12 olduğu için, Denklem 2.3 sonucunda çıkan karbon emisyonu mol ağırlıkları oranıyla çarpılarak üretilen karbondioksit emisyonu bulunur (D.2.4).

Tablo 2.4. Yakıtların Net Kalori Değerleri [1]

YAKIT	Net Kalori Değerleri (TJ/kt)
Benzin	44,8
Jet Yakıtı	44,59
Dizel	43,33
Fuel Oil	40,19
LPG	47,31

Tablo 2.5. Karbon Emisyon Faktörleri [1]

YAKIT	Karbon Emisyon Faktörü (TC/TJ)
Benzin	18,9
Jet Yakıtı	19,5
Dizel	20,2
LPG	17,2
Doğalgaz	15,3

Enerji Tüketimi [TJ] = Yakıt Tüketimi [t] x 10^{-3} x Dönüşüm Faktörü [TJ/kt] (D. 2.1)

Karbon İçeriği [Gg C] = Karbon Emisyon Faktörü [TC/TJ] x Enerji Tüketimi [TJ]x10^{-3} (D.2.2)

Karbon Emisyonu [Gg C] = Karbon İçeriği [Gg C] x Karbon Oksitlenme Oranı (D.2.3)

Karbondioksit Emisyonu [Gg CO_2] = Karbon Emisyonu [Gg C] x $\frac{44}{12}$ (D.2.4)

Tesiste elektrik kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi, emisyon faktörlerinin ülkeye özgü olmasından dolayı Tier 2 yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Karbondioksit Emisyonu [ton CO_2] = Elektrik Tük. [kW] x Emisyon Fak. [kg/kW] (D.2.5)

BÖLÜM 3

BULGULAR ve TARTIŞMALAR

3.1. Yıkama Prosesi

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan atık üretici tesislerden alınan tehlikeli atıklar geri kazanım tesisine sorumlu kişi tarafından kabulünden sonra türlerine göre ayrılarak yıkama işlemine tabii tutulur. Atıklar basınçlı su ile yıkama işleminden geçirilirkensolvent ile müdahale edilerek daha hızlı bir sonuç alınması sağlanır. Kullanılan solventin bileşimi Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Tesiste Kullanılan Solventin Bileşimi [72]

Kimyasal Cinsi	Ağırlıkça Oranı (%)
Aromatik Hidrokarbon	>50, <70
Ester	>6, <20
Keton	>6, <20
Alkol	>6, <20
Glikol	>3, <6

Geri kazanımı mümkün olan demir atıklar, yıkama işleminin akabinde sanayi tesislerine, geri kazanımı mümkün olmayan demir atıklar yıkama işleminden geçtikten sonra preslenerek demir çelik haddehanelerine gönderilmektedir. Plastik atıklar, yıkama işlemine tabii tutulduktan sonra granül haline getirilerek piyasa sunulmaktadır. Geri kazanımı mümkün olan tanklar döner başlıklı sistem tarafından kontaminasyon durumuna göre dozajlama sistemiyle kimyasal madde kullanılarak yıkama işlemine tabii tutulmaktadır.

Geri kazanımı mümkün olmayan tanklar yıkama prosesine tabii tutulduktan sonra haddehanelere gönderilmektedir. Yıkama işlemi sonucunda meydana gelen katı nitelikli atıkların belirli aralıklarla analizi yapılarak varillerde toplanarak sızdırmaz beton zeminde depolanmaktadır. Atıklar Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümlerine uygun olarak çimento tesislerine gönderilerek bertaraf edilmektedir. Tesise gelen atıklar yıkama ünitesinden geçirildikten sonra haddehanelere veya sanayi tesislerine gönderilir. Yıkama ünitesinden geçirilmeden önce atıkların kontaminasyon durumuna göre hangi işlemlerden geçirileceği seçilmektedir. Yıkama ünitesinin verimi, atıkların kontaminasyon durumu ve yıkama ünitesinin işlevi baz alınarak ölçülüp Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Yıkama Ünitesi Verimi [72]

Atık Cinsi	Verim (%)
Atık Tank	98
Atık Varil	70
Atık Bidon	95
Küçük Atık Maddeler	87

3.2. Karbon Ayak İzi

Seçilen geri kazanım tesisinde sera gazı salınımına ağırlıklı olarak ulaşım, elektrik ve ısınma kaynaklı prosesler sebep olmaktadır. Ulaşım sektöründe atıkların alınması, işçi servisi, tesis içi atık taşınma faaliyetleri ve kontamine atıklardan arındırılmış ürünlerin haddehanelere ve diğer sanayi tesislerine taşınması karbon ayak izi parametrelerini oluşturmaktadır. Yapılan bu çalışmada tesisin araçlarıyla oluşan ulaşım kaynaklı karbon ayak izi değerlendirilmiştir. Kontamine atıklardan arındırılmış ürünlerin taşeronlar aracılığı ile taşınma faaliyetleri değerlendirmede yer almamıştır.

3.2.1. Ulaşım Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Ulaşım kaynaklı oluşan karbon ayak izinde değerlendirilen 3 ana koldan ağırlıklı olarak sera gazı salınımına sebep olan atıkların alınması işidir. Bu proses yılda 300 gün aktif haldedir. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükmüne göre kontamine olmuş atıklar, üretici tesislerden atık taşıma lisansı bulunan araçlar tarafından atık bulundurma

lisansı olan tesisler tarafından alınabilir. Kayseri, sanayi sektöründe gelişmiş bir şehir olması ile orantı olarak atık üreten tesis sayısı da diğer sanayi şehirlerine göre fazladır. Günde 2 defa tesis ile atık üreten tesisler arasında gidip gelen atık taşıma lisansı bulunan araçlar, yakıt tüketimi yaparak tesisin karbon ayak izi oluşturmasında önemli bir paya sahiptir. Tesiste araçlar için kullanılan yakıtın özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Tesiste Kullanılan Yakıtın Özellikleri

Özellikler	Miktar	Birim
Renk	3,0 (max)	ASTM
Yoğunluk	0,820-0,850	(kg/L)
Kükürt	0,7 (max)	Ağırlıkça %
Karbon Kalıntısı	0,2 (max)	Ağırlıkça %
Setan İndeksi	50 (min)	
Karbon Artıkları	0,03 (max)	%
Kül	0,01 (max)	Ağırlıkça %

Tehlikeli atıklar üretildiği yerlerden Türk Standartları Enstitüsü'nün belirlediği kriterlere uygun tasarlanan araçlar ile tehlikeli ve tehlikesiz atıklar konusunda eğitim almış personeller tarafından alınması gerekir. Türk Standartları Enstitüsü'nün tehlikeli atık taşıma aracı için belirlediği kriterler arasında sızdırmazlık deposu, kaza anında atığın dökülmesine karşı temizleme kiti, yangın tüpü ve atık taşıma ehliyetine sahip sürücü yer alır. Tesiste biri makam, biri servis, üçü atık taşıma aracı ve biri de forklift olmak üzere toplamda 6 adet araç bulunmaktadır. Araçlarda sadece dizel yakıt kullanılmaktadır.

Tesiste bulunan araçların tükettiği toplam yakıt bilgisi alınarak üretilen CO_2 emisyonunun hesaplanması için fabrika sahası ile servis aracının kalktığı nokta ve atık üreticilerinin bulunduğu noktaların ortalama uzaklığı baz alınarak araçların yaktığı yakıt değeri hesaplanmıştır. Servis aracı için tesis sahası ile servisin kalktığı nokta Google Map uzaklık hesaplama aracı kullanılarak gidiş için 40 km ve gidiş-geliş için toplamda 80 km olarak ölçülmüştür. Makam aracı için de servis aracı için geçerli olan değerler geçerlidir. Geri kazanım tesisi, atık alım noktası ve servis noktası Şekil 3.1'de

verilmiştir. Tesis sahası ile günde 2 kez, 3 ayrı araç ile atık alımı yapılan Kayseri Organize Sanayi Bölgesi arası 30 km'dir. 3 aracın toplam kapasitesi 22 ton'dur. Atıkların hacmine göre bir araç tam kapasite kullanılamamaktadır. 3 aracın bir günde aldığı yol 360 km olarak hesaplanmıştır. Ek olarak forkliftin günde 10 km yol aldığı varsayılarak 6 araç bir günde 530 km yol aldığı dikkate alınmıştır. Tesiste haftada 6 gün, yılda ortalama 300 gün (12 gün resmi tatil olarak değerlendirilmiştir) tek vardiya olarak çalışma yapılmaktadır. Tesiste bulunan 6 araç günde 530 km'den toplamda 159000 km/yıl yol almaktadır. Yozgat ve Gaziantep'ten yapılan atık alımı için bir ayda 980 km, yılda 12 defa yapıldığından toplamda 11760 km yol yapılmaktadır. Çevre illerden yapılan atık alımı hesaba katılırsa toplamda 170760 km/yıl yol yapılmaktadır. Tesiste bulunan araçların marka, model ve diğer özellikleri dikkate alındığında araç başına ortalama 100 km'de 24 L, 6 araç için 600 km'de 144 L yakıt tüketimi yapılmaktadır. 6 aracın yılda toplam 159000 km yol aldığı baz alınırsa toplamda 40838,4 L dizel yakıtı tüketildiği düşünülmüştür. Enerji tüketimini hesaplamak için yakıtın ton cinsinden değerini bulmak gerekmektedir. Bunun için dizel yakıtın özgül ağırlığından kullanılmıştır. Dizel yakıtın özgül ağırlığı 0,7798 kg/L'dir [73].

Yakıtın Ağırlığı (ton cinsinden) = $40838{,}4\ \text{L} * 0{,}7798 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 10^{-3} = 31{,}85$ ton

Tablo 2.4'te verilen dönüşüm faktörü ve tüketilen yakıt miktarı kullanılarak Denklem 2.1'in yardımıyla enerji tüketim miktarı belirlenmiştir.

Enerji Tüketimi [TJ] = $31{,}85\ \text{ton} \times 10^{-3} \times 43{,}33 \frac{\text{TJ}}{\text{kt}} = 1{,}38$ TJ

Bir sonraki adımda, Tablo 2.5'te verilen karbon emisyon faktörleri kullanılarak Denklem 2.2'nin yardımıyla tüketilen yakıtın karbon içeriği bulunmuştur. Ardından bu değer 10^{-3} ile çarpılarak gigagram birim cinsinden ifade edilmiştir.

Karbon İçeriği [Gg C] = $20{,}2 \frac{\text{TC}}{\text{TJ}} \times 1{,}38\ \text{TJ} * 10^{-3} = 0{,}028$ Gg C

Sonraki adımda, oksitlenen karbon miktarını bulmak için gaz yakıtların oksidasyon yüzdesini kullanılarak karbondioksit cinsine çevrilmiştir. Petrol ürünlerinde sıvı yakıtlar %99 oranında oksitlenmektedir [1]. Son adımda karbondioksit emisyonunu bulmak için

karbondioksit ve karbonun mol ağırlığının oranından yararlanmak gerekmektedir. Denklem 2.4'ün yardımıyla karbondioksit emisyonu hesaplanmıştır.

Karbon Emisyonu [Gg C] = 0,028 Gg C x 0,99 = 0,0277 Gg C

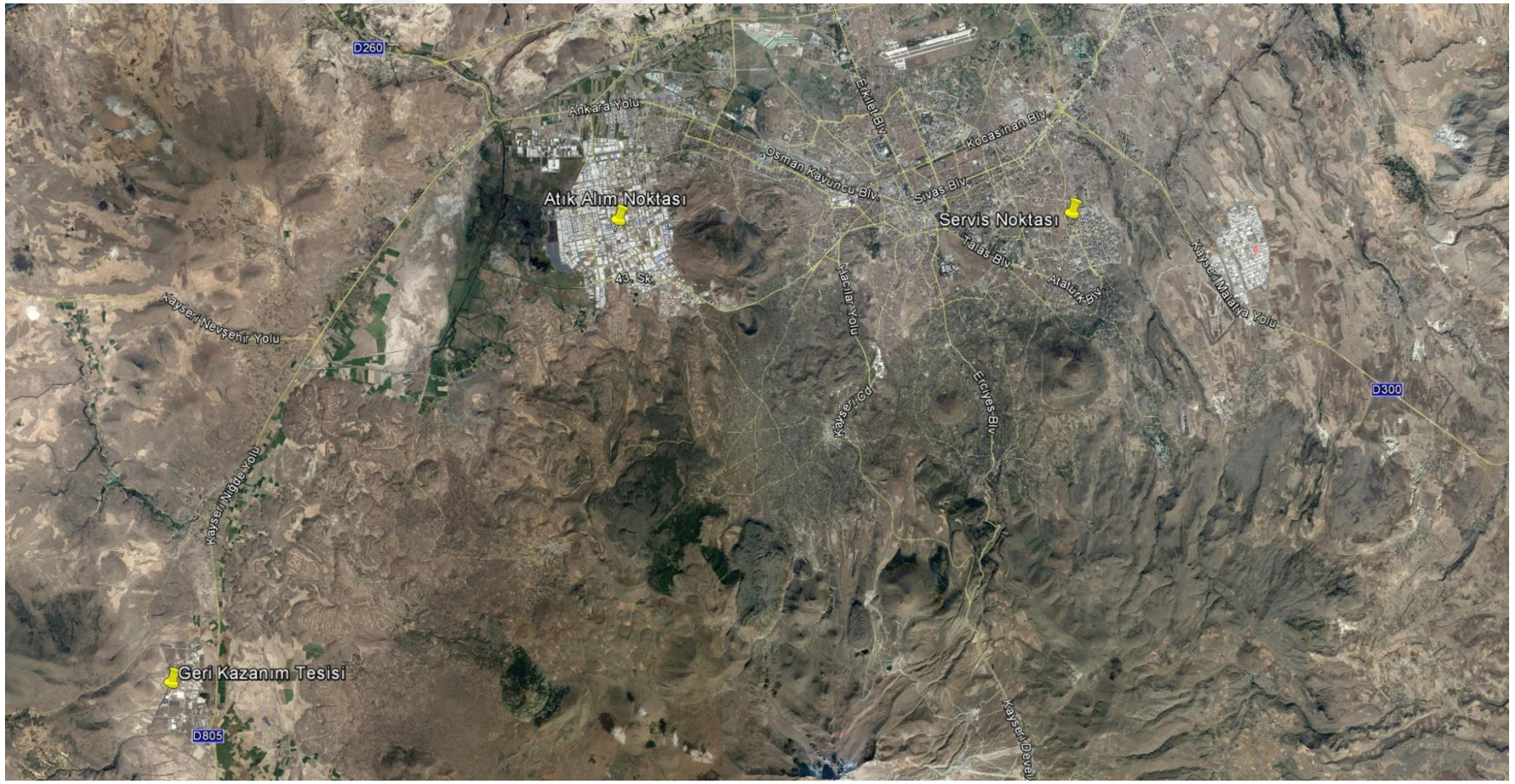
Karbondioksit Emisyonu [Gg CO_2] = 0,0277 x $\frac{44}{12}$ = 0,102 Gg CO_2

Karbondioksit Emisyonu [ton CO_2] = 0,0869 x 10^6 = 102000 ton CO_2

Ulaşımdan kaynaklanan karbon ayak izi, tesis içi, atık alımı ve diğer olmak üzere 3 kategoride hesaplanmıştır. Ulaşım kaynaklı karbon ayak izi oluşumunda etkisi olan işçi servisi, tesis içi faaliyetler ve kontamine atıklardan arındırılmış ürünün haddehanelere ve diğer sanayi tesislerine gönderilmesi atıkların üreticilerden alınması kadar etkili değildir. Değerlendirme sonucunda oluşan ulaşım kaynaklı karbon ayak izi oranları ve miktarları Tablo 3.4'te verilmiştir. Ayrıca, kontamine atıktan arındırılmış ürünün gönderilmesi taşeron firma ile yapıldığından çizelgede değerlendirilmeye tabii tutulmamıştır. Sonuç olarak, ulaşım kaynaklı oluşan karbon ayak izi miktarı 102000 ton CO_2 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.4. Ulaşım Kaynaklı Karbon Ayak İzi Oranları

Türü	**Oranı (%)**
Atık Alımı	50
Tesis İçi Kullanım	17
Diğer	33



Şekil 3.1. Geri Kazanım Tesisi, Atık Alım Noktası ve Servis Noktasının Yerleri

3.2.2. Isınma Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Ülkenin en büyük ithalat sektörlerinden birisi olan doğalgaz, elektrik üretiminde kullanıldığı gibi ısınma ve diğer evsel faaliyetler amaçlıda kullanılmaktadır. Baz alınan tesiste doğalgaz hem buhar kazanında hem arıtma tesisinde hem de idari bina içerisinde yer alan yemek pişirme, ısınma, acil müdahale duşu ve sıcak su amacıyla kullanılmaktadır. Tesise doğalgaz, Organize Sanayi Bölgesi tarafından sağlanmaktadır. Tüketilen doğalgaz bilgisi, tesise gelen faturalardan yararlanılarak aylık ortalama tüketim baz alınmıştır. Tesisten alınan bu değer ile doğalgazın özgül ağırlığından yararlanılarak tüketilen miktarın kütlesi bulunup karbon ayak izi hesabına geçilmiştir. Doğalgaz yapısı nedeniyle yakıt türleri arasında yer aldığından IPCC metodolojilerinden Tier 1 yöntemine göre, ulaşımdan kaynaklanan karbon ayak izinin hesaplanmasına benzer şeklinde yapılmıştır.

Tesisten alınan bilgiye göre aylık ortalama 1200 m^3, yıllık 14400 m^3 doğalgaz tüketilmektedir. Doğalgazın özgül ağırlığı 0,798 kg/m^3'tür [74]. 14400 m^3 doğalgazın ağırlığı 11491,2 kg ve yaklaşık olarak 11,491 ton'dur.

Tablo 2.4'te verilen dönüşüm faktörü ve tüketilen yakıt miktarı kullanılarak Denklem 2.1'in yardımıyla enerji tüketim miktarı belirlenmiştir.

Enerji Tüketimi [TJ] = $11{,}491\ \text{t} \times 10^{-3} \times 47{,}73\ \frac{\text{TJ}}{\text{kt}}$ = 0,548 TJ

Bir sonraki adımda, Tablo 2.5'te verilen karbon emisyon faktörleri kullanılarak Denklem 2.2'nin yardımıyla tüketilen yakıtın karbon içeriği bulunmuştur. Ardından bu değer 10^{-3} ile çarpılarak gigagram birim cinsinden ifade edilmiştir.

Karbon İçeriği [tC] = $0{,}548\ \text{TJ} \times 15{,}3\ \frac{\text{tC}}{\text{TJ}}$ = 8,38 tC

Karbon İçeriği [Gigagram C] = $8{,}38 \times 10^{-3}$ = 0,00838 gigagram C

Sonraki adımda, oksitlenen karbon miktarını bulmak için gaz yakıtların oksidasyon yüzdesini kullanılarak karbondioksit cinsine çevrilmiştir. Gaz yakıtların oksidasyon yüzdesi 0,995'tir. Baz alınan bu oranın yüzdesi çok yüksek olduğundan dolayı, oksitlenen karbon miktarı karbon içeriği nerdeyse aynı değere sahip olmaktadır. Son

adımda, karbondioksit emisyonunu bulmak için karbondioksit ve karbonun mol ağırlığının oranından yararlanmak gerekmektedir. Denklem 2.4'ün yardımıyla karbondioksit emisyonu hesaplanmıştır.

Karbondioksit Emisyonu [Gg CO_2] = 0,00838 x $\frac{44}{12}$ = 0,030726 gigagram CO_2

Karbondioksit Emisyonu [ton CO_2] = 0,0307 x 10^6 = 30726 ton CO_2

3.2.3. Elektrik Kaynaklı Karbon Ayak İzi Hesabı

Tesiste bulunan üretim ve onarım amaçlı makineler enerjisini şebekeden gelen elektrikten sağlamaktadır. Tesisten alınan kapasite raporuna göre elektriği kullanan makineler arasında kantar, spiral, hidrolik vinç, pres, polip, kimyasal arıtma, yıkama, trafo, arıtma tesisi ve kırma makineleri yer almaktadır. Tesise elektrik İncesu Organize Sanayi Bölgesi tarafından sağlanmaktadır. Alınan elektrik ana hatta toplanarak geri kazanım tesisi içerisindee dağıtım sağlanmaktadır. Elektrik pres alanında, yıkama alanında, makine parkında ve idari binada kullanılmaktadır. Yoğun olarak yıkama ve pres alanında kullanılmaktadır. Elektrik tüketim miktarı geri kazanım tesisine gelen faturadan belirlenerek karbondioksit emisyon miktarı hesaplama yöntemine gidilmiştir. Tesisten sağlanan bilgiye göre aylık elektrik tüketim değeri 1500 kW'tır. Yıllık hesabı ortalama olarak yapıldığında 18000 kW elektrik tüketimi gerçekleşmektedir. Hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörü Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) raporundan alınmıştır. Bu raporda, ülkelere özel olarak belirlenmiş emisyon faktörleri yer almaktadır. Her ülke için ayrı bir değer belirlenmesinden dolayı, IPCC Metodolojilerinden Tier 2 yöntemi seçilmiştir. Türkiye için belirlenen emisyon faktörü değeri 0,478 kg CO_2/kW'tır [75]. Metan (CH_4) ve nitröz oksit (N_2O) gazları için emisyon faktörleri tanımlanmadığından hesaplamada yer verilmemiştir. İlk aşamada, oluşan karbondioksit miktarını ton değerinden bulmak için verilen emisyon faktörü, kW değeriyle tesisten alınan elektrik tüketim değeriyle çarpılmıştır.

Karbondioksit Emisyonu [kt CO_2] = 18000 kW x 0,478 $\frac{\text{kg } CO_2}{\text{kW}}$ x 10^{-3} = 8,6 ton CO_2

Bulunan karbondioksit emisyon değeri gigagram (Gg) birimine çevirmek için 10^{-6} değeriyle çarpıldığında, elektrik kaynaklı karbondioksit emisyon miktarı yaklaşık olarak 8,6 x 10^{-6} Gg CO_2 olarak elde edilmektedir. Hesaplanan bu değer küçük gibi düşünülse

de gigagram cinsinden olması, üretilen karbondioksitin atmosfere zararı ihmal edilemeyecek kadar ciddi miktarda olduğu görülmektedir. Bu zararın önlenmesi için kullanılan elektriğin azaltılması ya da geri kazanımı konusunda araştırmalar yapılması gerekmektedir.

3.2.4. Yıkama Prosesi Kaynaklı Karbon Ayak İzi

Tesise giren her atık malzeme "Tehlikeli Atıkların Kontrolü" yönetmeliğinin hükümlerine göre yıkama ünitesinden geçirilmek zorundadır. Yıkama ünitesinde basınçlı sıcak su kullanılmaktadır. Kullanılan su ile orantılı olarak tesiste 5 m^3/gün atıksu oluşmaktadır [72]. Tesis için hazırlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi raporunda yer alan maliyet analizinde m^3 atıksu başına arıtma ünitesinin tükettiği elektrik 2,885 kW/m^3 olarak belirtilmiştir [72].

Q = 5 m^3/gün

Atıksu kaynaklı bir günlük elektrik tüketimi = 5 m^3/gün x 2,885 kW/m^3 = 14,425 kW/gün

Atıksu kaynaklı yıllık elektrik tüketimi = 14,425 kW/gün x 300 gün = 4327,5 kW/yıl

Atık yıkama prosesinde elektrik kullanılmasından dolayı, Bölüm 3.2.3'te verilen "Elektrik Kaynaklı Karbon Ayak İzi''nda belirtilen şekilde karbondioksit miktarı hesaplanmıştır.

Denklem 2.5'e göre;

Karbondioksit Emisyonu [ton CO_2] = 4327,5 kW x 0,478 kg CO_2/kW = 2068,6 kg CO_2

Karbondioksit Emisyonu [kt CO_2] = 2068,6 kg CO_2 x 10^{-3} = 2,07 ton CO_2

Bölüm 3.2.3'de belirtiltiği gibi, tesisin elektrik kullanımından kaynaklı karbon ayak izi miktarı 8,6 ton CO_2'dur. Tesisin önemli bir bölümünü ilgilendiren yıkama prosesinden kaynaklanan karbon izi 2,07 ton CO_2 olarak belirlenmiştir. Bu değer tesisin toplam elektrik kaynaklı karbon ayak izi miktarının %24'üne karşılık gelmektedir. Bu sonuç, tesisin en önemli proseslerinin başında yıkama ünitesinin geldiğini göstermektedir.

Tesisin diğer elektrik kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi 6,53 ton CO_2 olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, geri kazanım tesisinin ulaşım, elektrik kullanımı ve ısınma faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izi 132734,6 ton CO_2 olarak bulunmuş Bulunan değerlerin toplamı ve toplam içinde oranları Tablo 3.5 ve 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.5. Tesiste Oluşan Karbon Ayak İzi Miktarı

Türü	**Miktarı**	**Birimi**
Ulaşım Kaynaklı Karbon Ayak İzi	102000	ton CO_2
Elektrik Kaynaklı Karbon Ayak İzi	8,6	ton CO_2
Isınma Kaynaklı Karbon Ayak İzi	30726	ton CO_2
Toplam	132734,6	ton CO_2

Tablo 3.6. Tesiste Oluşan Karbon Ayak İzi Yüzdeleri

Türü	**Yüzdesi (%)**
Ulaşım Kaynaklı Karbon Ayak İzi	76,8
Elektrik Kaynaklı Karbon Ayak İzi	>0,1
Isınma Kaynaklı Karbon Ayak İzi	23,1

BÖLÜM 4

SONUÇ ve ÖNERİLER

BMİDÇS'nin bağlayıcı ve cezai özellikleri olmadığından yerine düzenlenen Kyoto Protokolü gerçekleştirilmiştir. Kyoto Protokolü, BMİDÇS'nin devamı niteliğindedir. Protokolde sera gazı miktarlarının hangi seviyeye çekilmesi gerektiği, CO_2, CH_4, N_2O, HFC_s, PFC_s, ve SF_6 gazlarının karbon ayak izi hesaplanırken dikkate alındığı ve EK-I listesinde yer alan ülkelerin bu değerleri %95 oranında azaltması gerektiği yer almaktadır.

Bu çalışmada, bir geri kazanım tesisinin faaliyetlerinden dolayı sebep olduğu karbon ayak izi değerlendirilmiştir. Geri kazanım tesisinde karbon ayak izi, ulaşım kaynaklı, elektrik kaynaklı ve ısınma kaynaklı karbon ayak izi hesabı olmak üzere 3 ana başlık altında belirlenmiştir. Tesisin oluşturduğu karbon ayak izinde en büyük pay %76,8 ile ulaşım kaynaklı karbon ayak izidir.

Isınma kaynaklı karbon ayak izi hesabında, tesisin idari bina, buhar kazanı ve diğer alanlarında kullanılan yakıt türü olan doğalgaz baz alınmıştır. Öncelikle dönüşüm faktörü ve özgül ağırlığından yararlanılarak tüketilen yakıt miktarı belirlenen doğalgazın enerji tüketim miktarı 0,548 TJ olarak bulundu. Karbon emisyon faktörü yardımıyla tüketilen yakıtın karbon içeriği 8,38 tC ve toplam CO_2 emisyonu 30726 ton CO_2 olarak elde edilmiştir.

Karbon ayak izi hesabında dikkate alınan bir diğer faktör elektrik kullanımıdır. IPCC metodolojilerinden yararlanılarak Tier 2 yöntemiyle hesaplanan elektrik kaynaklı karbon ayak izinde baz alınan değer tüketilen elektrik miktarıdır. Elektrik kaynaklı karbon ayak izi, Türkiye için Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından belirlenen emisyon faktörü kullanılarak yıllık CO_2 emisyonu 8,6 ton olarak bulunmuştur. Tesiste elektrik kullanımı yoğun olarak yıkama, arıtma ve presleme ünitesindedir. Tesiste

bulunan bazı bölümler ihtiyaç olduğunda faal hale getirilmektedir. Örnek olarak, haddehanelere ürün gönderme işlemi olmadığı sürece presleme ünitesi veya atıksu havuzları dolmadan arıtma tesisi çalıştırılmamaktadır. Bundan dolayı, tesiste elektrik kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi dağılımında en düşük paya (>%0,1) sahip olmaktadır. 3 kaynaktan oluşan toplam karbon ayak izi miktarı 132734,6 ton CO_2 olarak hesaplanmıştır. 2017 yılında TÜİK tarafından yayımlanan sera gazı emisyonları raporunda Türkiye'nin toplam karbon ayak izi miktarı 475,1 milyon ton CO_2 olarak belirtilmiştir [76]. Türkiye'nin oluşturduğu karbon ayak izi miktarı, geri kazanım tesisinde oluşan karbon ayak izi miktarının yaklaşık 3600 katına eşittir.

Tesisin sebep olduğu karbon ayak izinin azaltılmasında çözüm üretilebilecek kaynak, tesiste en yüksek karbon ayak izine sebep olan ulaşımın optimizasyonudur. Elektrik kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi diğer kaynakların yanında ihmal edilebilir seviyedir. Ulaşımın optimizasyonunda, hacim olarak tesiste bulunan araçların daha büyüğü ile atık alım işlemi yapılarak atık üretici tesislere gidiş sıklığı azaltılabilir. Ayrıca büyük araç ile bir seferde birkaç tesisten atık alım işi önerilmektedir. Gidiş sıklığı azaldıkça yakılan yakıt oranı azalacak ve doğal ortama bırakılan karbon ayak izi miktarı azalacaktır. Atık alımında yakıt tüketimi mevcut bulunanlardan daha az tüketimi olan araçlar tercih edilirse doğal ortama bırakılan karbon ayak izi miktarı da buna bağlı olarak düşecektir. Geri kazanım tesisi taşınarak atık alım tesisi ile aynı bölgede bulunması sağlanırsa, aradaki mesafe kısalacak ve araçların yakıt tüketimi azalacaktır. Isınma kaynaklı karbon ayak izi miktarının azaltılması için yapılması gereken uygulamalar ulaşım kaynaklı karbon ayak izine göre daha kısıtlıdır. Örnek olarak tesiste kullanılan bacaya filtre takarak kirletici konsantrasyonunun doğal ortama bırakılmasına engel olunabilir.

KAYNAKÇA

1. Birleşmiş Milletler. 1994. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Dünya Zirvesi, 1992, New York, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
2. Öztürk, A., Demirci, U., Türker, M., 2012. İklim değişikliği ile mücadelede karbon piyasaları ve Türkiye için bir değerlendirme, **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, Özel Sayı**, 306-312.
3. Türkeş, M., Sümer, U., Çetiner, G., 2000. Kyoto Protokolü esneklik mekanizmaları, **Tesisat Dergisi,** 52: 84-100.
4. Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı, 2012. Sera gazı emisyon envanteri, **Sektörel Su ve Atıksu İstatistikleri, 10824**.
5. Öztürk, K., 2002. Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri, **Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22**: 47-65.
6. Batı, O., 2014. Küresel ısınma konusunda karbon vergisi etkisinin değerlendirilmesi, **Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 16**: 267-278.
7. Altürk, B., 2009. Erken Kar Erimelerinin Fırat ve Dicle Havzasındaki Nehirlerin Akım Zamanına Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
8. Öztürk, O., Öztürk, Z., Çatalkaya, U., 2012. Ulaşım kaynaklı iklim değişimi ve azaltma çalışmaları, sayfa 342. V. Ulaşım Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, s. 358.
9. Türkeş, M., Sümer, U., Çetiner, G., 2000. Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul.
10. Şaylıkay, M., 2010. Küresel ısınma, enerji senaryoları ve Türkiye'nin rolü, **Akademik Bakış Dergisi, 19**:1-22.
11. IPCC, 2017. Chapter Outline of the Working Group II Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report, Forty-Sixth Session of the IPCC, Montreal.

12. Akyel, Ö., 2009. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye'deki Uygulamaları, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s. 136.

13. Doğan, P., 2007. İklim değişikliğinde Türkiye'nin adımları, Gazi Üniversitesi, Ankara.

14. Güneş, A., 2010. İklim değişikliği çerçeve sözleşmesinden Kyoto Protokolü'ne küresel ısınmaya karşı uluslararası alandaki hukuki gelişmeler, **Türkiye Barolar Birliği Dergisi, 87**: 48.

15. İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu, 2006. Sera Gazı Emisyon Envanteri Çalışma Grubu Taslak Raporu, Ankara, s. 3.

16. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi ve Uyum Çalışma Grubu, 2013. Ormancılık ve Su Şurası Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 13.

17. Özel, M., Kılıç, S., 2006. Küresel bir sorun olarak iklim değişikliği ve iklim politikaları, İstanbul Üniversitesi, **Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi,** 34: 151.

18. Babuş, D., 2005. Küresel Isınma Sorununun Uluslararası Çevre Politikası İçerisinde İrdelenmesi ve Türkiye'nin Yeri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

19. Oschmann, V., 2011. Kopenhag'dan sonra uluslararası iklim koruma hukuku, **Türkiye Adalet Akademisi Dergisi, 2,** 357-378.

20. Çağlar, Ü., Karataş, G., Onan, T., Carkanat, Ş., Meçik, O., 2008. Küresel ısınmanın ekonomik, politik ve sosyal etkileri, *İzmir XI. İktisat Kongresi.*

21. Birleşmiş Milletler. 2009. Kyoto Protokolü, 1998, Kyoto, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

22. Çelik, L., Birgili, E., 2010. Çevre finansmanı kapsamında emisyon ticareti ve karbon piyasasının Türkiye'ye yansımaları, **Finans, Politik ve Ekonomik Yorumlar Dergisi, 47**: 66.

23. Waller-Hunter, J., 2003. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü için klavuz, s. 16, Bonn.

27. Ediger, V., 2014. Küresel iklim değişikliğinin uluslararası ilişkiler boyutu ve Türkiye'nin politikaları, **Mülkiye Dergisi, 32**: 133-158.

28. Karakaya, E., Sofuoğlu, E., 2015. İklim Değişikliği Müzakerelerine Bir Bakış: 2015 Paris İklim Zirvesi, *Uluslararası Avrasya Enerji Sorunları Sempozyumu*, 28-30 Mayıs 2015, İzmir.

29. Oğuz, S., 2007. İklim değişikliği ve kuraklık, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi,* 11-13 Nisan 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak Kampüsü, Su Vakfı-İstanbul Teknik Üniversitesi, toplam sayfa 485.

30. Koçak, K., 2006. İklim değişimde insan faktörü, İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği, İstanbul.

31. Aksay, C., Ketenoğlu, O., Kurt, L., 2005. Küresel ısınma ve iklim değişikliği, **Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi, 25**: 29-41.

32. Zeydan, Ö., Sevim, B., 2008. İklim değişikliğinin kış turizmine etkileri, *İklim Değişimi Sempozyumu,* 13-14 Mart 2008, Ankara, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, s. 156-171..

33. Atabey, T., 2013. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

34. Pekin, A., 2006. Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

35. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011. İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı, Ankara, 176 s.

36. Sivri, N., Sarıtürk, B., Şeker, Z., 2015. Türkiye'deki geomatik mühendisleri arasında yaşam standartları ve karbon ayak izi arasındaki ilişkinin belirlenmesi, *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,* 25-28 Mart 2015, Ankara, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası.

37. Üçüncü, O., 2016. Türkiye'de HES'lerin son durumu: Teknik, çevre siyaseti ve çevre hukuku açısından bir değerlendirme, sayfa 252-269, *Uluslararası Enerji ve Mühendislik Konferansı,* 13-14 Ekim 2016, Gaziantep, Gaziantep Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 835 s.

38. Koçer, A., Yaka, F., Güngör, A., 2015. Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu karbon ayak izinin belirlenmesi, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 12**: 37-45.

39. Özmen, T., 2015. Sel-Taşkın Türkiye ve Antalya, İnşaat Mühendisleri Odası, Antalya, s. 101.

40. Topçu, L., 2008. Toplu Taşıma Sistemlerinin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

41. Özlem, B., 2013. Seçilen Bir Kağıt Fabrikasında Karbon Ayak İzi Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

42. Toröz, S., 2015. Gemi Kaynaklı Atıkları Alan Bir Atık Kabul Tesisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

43. Ünaldı, G., 2016. Yeşil Pazarlamada Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi: Çorum İlinin Dünya Üzerindeki Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi Üzerine Bir Alan Araştırması, Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çorum.

44. Turanlı, M., 2015. Estimation of Carbon Footprint : A Case Study For Middle East Technical University, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

45. Sreng, R., 2016. Otomotiv Endüstrisinde Karbon Ayak İzi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

46. Wiedmann, T., Minx, J., 2008. A Definition ‘Carbon Footprint’ **Çevresel Ekonomi Araştırma Dergisi, USA, 1**: 1-11.

47. Perry, S., Klemes, J., Blatov, I., 2008. Integrating waste and renewable energy to reduce the carbon footprint of locally integrated energy sectors, **Enerji Dergisi, Macaristan, 33**: 1489-1497.

48. Rotz, C., Montes, F., Chianese, D., 2010. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment, **Journal of Dairy Science, 3168**: 2009-2162.

49. Çevre Kanunu, 1983. T.C. Resmi Gazete, 18132, 9 Ağustos 1983.

50. Çetin, Ö., 2013. Tersine Lojistik Açısından Katı Atık Yönetiminin İncelenmesi ve Kazanç Ençoklanması Üzerine Bir Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

51. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1991. T.C. Resmi Gazete, 20814, 14 Mart 1991.

52. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 1985. T.C. Resmi Gazete, 22387, 27 Ağustos 1985.

53. Yapıcı, A., 2012. Tehlikeli Atık Geri Kazanım/Bertaraf Tesislerinde İş Sağlığı ve Güvenliğinin Mevcut Durumunun Değerlendirilmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

54. Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015. T.C. Resmi Gazete, 29314, 2 Nisan 2015.

55. Güzel, E., 2011. Endüstriyel Atıkların Gazlaştırılması ve Gazlaştırma Prosesi Katı Çıktılarının Karakterizasyonu, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

56. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2005. T.C. Resmi Gazete, 25883, 22 Temmuz 2005.

57. Kabataş, İ., 2010. Formülasyonlu Atık Sanayiinde Atık Minimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

58. Bayram, S., Oral E, Öcal, M., 2012. İnşaat atıkları kavramının yasal düzenlemesi ve hazır beton tesisinde örnek uygulama, **NWSA Mühendislik Dergisi, 7**: 106-118.

59. Palabıyık, H., Altunbaş D., 2004. Kentsel katı atıklar ve yönetimi, *In: Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar*(Editör: Marin M., Yıldırım U.). Beta, İstanbul, 103-124.

60. Akçay Han, G., 2008. Ambalaj Atıklarının Yeniden Değerlendirilebilirliği ve Küçükçekmece Örneği, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.

61. Soysal, Y., 2015. Yerel Yönetimler İçin Evsel Katı Atık Tarifelerinin Belirlenmesi Üzerine Geliştirilen Bir Hesap Yöntemi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

62. Vatan, C., 2002. Plastik Malzemelerin Geri Dönüşümü: Otomotiv Endüstrisinden Örnekler, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

63. Balca, Y., 2007. Düzenli Depolama Alanı Belirlemede Karar Destek Sistemi Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

64. Ünlü, H., 2006. Otomotiv Endüstrisinde Oluşan Tehlikeli Atıkların Geri Kazanımı, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

65. Bengül, Ç., 2007. Atık Uzaklaştırma Sistemlerinde Enerji Geri Kazanımı, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.

66. Kaykıoğlu, G., 2010. Biyolojik Ön Arıtmalı Membran Sistemler ile Tekstil Atıksularının Geri Kazanımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

67. Önal, S., 2012. Trabzon İli Geri Kazanım Çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

68. Gülten, N., 2013. Endüstriyel Çamurlardan Metal Geri Kazanımı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.

69. Tripodo, M., Lanuzza, F., Micali, G., 2004. Citrus waste recovery, **Bioresour Technol Dergisi, 91**: 111-115.

70. Tong, J., Chen, Y., 2009. Recovery of nitrogen and phosphorus from alkaline fermentation liquid of waste activated sludge and application of the fermentation liquid to promote biological municipal wastewater treatment, *In: Water Research,* s. 2969-2976.

71. Tingting, C., Zhiyuan, H., Haiying, L., 2009. Recovery of cu and fe from printed circuit board waste sludge by ultrasound: evaluation of ındustrial application, **Temiz Üretim Dergisi, 16**: 1494-1498.

72. Nihai Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu, 2009, Kayseri.

73. Elçin, K., Erdoğan, D., 2007. Fındık yağı metil ve etil esteri ile diesel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir diesel motorda yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi, **Tarım Bilimleri Dergisi, 13**: 137-146.

74. Özkan, E., 2009. Erdemir Ereğli Demir Çelik Fabrikası Kojenerasyon ve Konvansiyonel Elektrik Üretim Tesislerinin Ekserji Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

75. Uluslararası Enerji Ajansı, 2016. Energy Policies of IEA Countries-Turkey.

76. Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı, 2017. Sera gazı emisyon envanteri, Sektörel Su ve Atıksu İstatistikleri, Sayı: 24588.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Furkan DEMİRBAŞ

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 2 Ekim 1989, Yozgat

Medeni Durumu: Bekâr

Yazışma Adresi: Mimarsinan Mah. No:194/1 Merkez/SİVAS

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	-
Lisans	İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği	2012
Lise	Cumhuriyet Lisesi, Çorum	2007

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2017- Halen	Devlet Su İşleri	Mühendis
2013-2017	Ertunç Geri Kazanım	Mühendis/İş Güvenliği Uzmanı
2012-2013	İGDAŞ	Saha Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce