



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



METAL SEKTÖRÜNDE KARBON AYAK İZİ
VE SU AYAK İZİ HESAPLAMASI

Mehmet Onur DEMİRCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Onur DEMİRCİ tarafından hazırlanan “Metal Sektöründe Karbon Ayak İzi ve Su Ayak İzi Hesaplaması” adlı tez çalışması 14/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Başkan Prof. Dr. Mustafa ERSÖZ
Danışman Prof. Dr. Senar AYDIN
Üye Doç. Dr. Arzu ULVİ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmet Onur DEMİRCİ

23.05.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METAL SEKTÖRÜNDE KARBON AYAK İZİ VE SU AYAK İZİ HESAPLAMASI

Mehmet Onur DEMİRCİ

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Senar AYDIN

2024, 76 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Senar AYDIN
Prof. Dr. Mustafa ERSÖZ
Doç. Dr. Arzu ULVİ

Tüm ülkelerin çevre konusunda ana gündem maddesi sera gazı emisyonlarının azaltılması ve su kaynaklarının korunmasıdır. Karbon ayak izinin ve su ayak izinin hesaplanması ve azaltılması küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi küresel sorunların çözümünde kritik bir rol oynamaktadır. İklim değişikliğinin sebep olduğu temiz su kaynaklarının azalması da su konusunda tedbirler alınması gerektiğini gösteren unsurlardan bir tanesidir. Bu kapsamda üretim yapan her iş kolunun sera gazları ve su tüketimi tespitlerini yaparak azaltmaya yönelik çalışmalar yapması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Çalışmanın amacı metal sektöründe faaliyet gösteren bir asansör üretim fabrikasından kaynaklı sera gazı salınımlarını ve su tüketimi belirlemektir. Çalışma kapsamında asansör fabrikasının üretiminden kaynaklı sera gazının küresel iklim değişikliğine katkısı ile ortaya çıkacak “karbon ayak izinin hesaplanması” ve üretimi sırasında kullandığı temiz su kaynaklı “su ayak izinin hesaplanması” ve sonuçlarına göre alınabilecek tedbirler önerilmiştir. Fabrikanın faaliyetlerinden kaynaklı karbondioksit emisyon miktarı Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen Tier-1 yöntemine göre hesaplanmıştır. Bu yöntem ile tesisin doğalgaz tüketimi, elektrik enerjisi tüketimi, su tüketimi ve atıksu oluşumu, atık oluşumu, araç kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplara göre fabrikanın 2023 yılında karbon ayak izi miktarı 363,534 ton CO₂/yıl olarak tespit edilmiştir. Toplam karbon ayak izinin %31’ini oluşturmasından dolayı doğalgaz tüketiminin azaltılması amacıyla fabrikada ısı kaybına yönelik tedbirlerin alınması gereklidir. Fabrikada güneş enerjisinden bir elektrik üretimi olsa da karbon ayak izinin %27’sini oluşturan elektrik tüketiminin azaltılması amacıyla elektrik üretiminin tüketimi karşılamadığı dönemlerde elektrik tasarrufuna gidilmesi önerilmektedir. Fosil yakıtlı araçların meydana getirdiği %22’lik karbon ayak izini azaltmak için fabrikaya ait araçların veya personel servislerinin elektrikli araçlar ile değiştirilmesi önerilmektedir. Fabrikanın mevcut politikalarından olan çalışanlarının doğum gününde 3 adet fidan bağışı politikası fabrikanın karbon ayak izini 2023 yılında 3,063 ton/yıl azaltmıştır. Bu bağışlara ek olarak özel gün ve haftalarda toplu fidan bağışı yapılması önemlidir. WFN yöntemine göre su tüketimi ve yağış bilgileri verileri ile fabrikanın mavi ve yeşil su ayak izi hesaplamaları sonucunda su ayak izi 21.981 ton/yıl olarak tespit edilmiştir. Asansör fabrikasında özellikle çalışanların su kullanımı ile ilgili tasarrufta bulunmalarına yönelik periyodik eğitimler düzenlenmesi önemlidir. İleriki yıllarda özellikle AB üye ülkeleri ile iş yapan sanayilerin sıklıkla gündeminde olacağı karbon ayak izi ve su ayak izi hesaplamaları için şimdiden çalışmalara başlanması ve azaltılmalarına yönelik hedeflerin uygulamaya koyulması yaşanabilir bir dünya için atılacak maddi adımlardan en önde geleni olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Asansör fabrikası, karbondioksit, sera gazı, karbon ayak izi, su ayak izi.

ABSTRACT

MS THESIS

CARBON FOOTPRINT AND WATER FOOTPRINT CALCULATION IN THE METAL INDUSTRY

Mehmet Onur DEMİRCİ

The Graduate School of Natural and Applied Science of Necmettin Erbakan University, The Degree of Master of Science Environmental Engineering

Advisor: Prof. Dr. Senar AYDIN

2024, 76 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Senar AYDIN

Prof. Dr. Mustafa ERSÖZ

Assoc. Prof. Dr. Arzu ULVİ

The main agenda items of all countries regarding the environment are reducing greenhouse gas emissions and protecting water resources. Calculating and reducing the carbon footprint and water footprint plays a critical role in solving global problems such as global warming and climate change. The decrease in clean water resources caused by climate change is one of the factors that show that precautions should be taken regarding water. In this context, it becomes clear that every business line engaged in production should determine greenhouse gases and water consumption and work to reduce them. The aim of the study is to determine greenhouse gas emissions and water consumption from an elevator production factory operating in the metal industry. Within the scope of the study, the "calculation of the carbon footprint" that will arise from the contribution of the greenhouse gas released by the elevator factory from its production to global climate change and the "calculation of the water footprint" resulting from the clean water used during its production and the measures that can be taken according to the results are suggested. The amount of carbon dioxide emissions resulting from the factory's activities was calculated according to the Tier-1 method recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). With this method, the facility's natural gas consumption, electrical energy consumption, water consumption and wastewater generation, waste generation, and the amount of carbon footprint resulting from the use of company vehicles were calculated. According to the calculations, the carbon footprint of the factory in 2023 was determined as 363,534 tons of CO₂/year. It is necessary to take measures against heat loss in the factory in order to reduce natural gas consumption, since it constitutes 31% of the total carbon footprint. Although the factory produces electricity from solar energy, it is recommended to save electricity in periods when electricity production does not meet consumption in order to reduce electricity consumption, which constitutes 27% of the carbon footprint. In order to reduce the 22% carbon footprint caused by fossil fuel vehicles, it is recommended to replace factory vehicles or personnel shuttles with electric vehicles. The factory's current policy of donating 3 saplings on its employees' birthdays has reduced the carbon footprint of the factory by 3,063 tons/year in 2023. In addition to these donations, it is important to donate bulk saplings on special days and weeks. As a result of water consumption and precipitation information data according to the WFN method and blue and green water footprint calculations of the factory, the water footprint was determined as 21,981 tons/year. It is important to organize periodic training in the elevator factory, especially for employees to save money on water usage. Starting now for carbon footprint and water footprint calculations, which will be frequently on the agenda of industries doing business with EU member countries in the coming years, and implementing targets for their reduction will be the most important financial steps to be taken for a livable world.

Keywords: Elevator factory, carbon dioxide, greenhouse gas, carbon footprint, water footprint.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması karbon ayak izi hesaplaması ve su ayak izi hesaplaması konusunu ele alarak hem sera gazı emisyonlarının hem de su kaynaklarının kontrolündeki çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Günümüzde çevresel etkilerin azaltılması ve iklim değişikliği ile mücadele küresel ölçekte öncelikli bir hale gelmiştir. Endüstriyel faaliyetlerin sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi, özellikle metal sektörü gibi enerji yoğun endüstrilerde, çevresel sürdürülebilirlik çabalarını daha da önemli hale getirmektedir. Karbon ayak izi ve su ayak izinin belirlenmesi ile endüstriyel yaşamdan bireysel yaşama kadar uzanan bir farkındalık yaratarak çevreci yaklaşımların oluşmalarını ve sürdürülebilirliğini sağlayacaktır. Yaşamın temel kaynağı olan suyun korunması ve yaşamın devamı için kullanılan birçok şeyden çıkan emisyon kaynaklarının azaltılmasının bir zorunluluk olduğu gerçeği günümüzde daha çok anlaşılmaktadır. Bu zorunluluk ancak çevresel sürdürülebilirlik ile sağlanacaktır. Bu kapsamda uluslararası bir ortak karara varılarak çalışmaların gün geçmeden her endüstri ve her birey tarafından başlanması desteklenmelidir. Bu tez metal sektöründeki bir asansör fabrikasından karbon ayak izinin ve su ayak izinin hesaplanması ve azaltılmasına yönelik öneriler sunarak sera gazı emisyonlarının ve su tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

Tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup yardımcı olan Yüksek Lisans danışmanım Prof. Dr. Senar AYDIN'a, eğitim hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen teyzem Safiye GÜVEN'e, her zaman yanımda olan eşim Elif DEMİRCİ'ye ve aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Mehmet Onur DEMİRCİ
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Küresel Isınma	4
2.2. İklim Değişikliği ve Nedenleri	7
2.3. İklim Değişikliği İle İlgili Uluslararası Çalışmalar	10
2.3.1. Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı	10
2.3.2. Birinci Dünya İklim Konferansı	10
2.3.3. Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu.....	11
2.3.4. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı	11
2.3.5. Kyoto Protokolü.....	12
2.3.6. Paris İklim Anlaşması.....	13
2.3.7. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri	13
2.3.8. Yeşil Mutabakat.....	13
2.4. Türkiye’de Mevcut Yasal Durum ve Çevre Politikaları.....	14
2.5. Karbon Ayak İzi.....	15
2.6. Karbon Ayak İzinin Hesaplanmasına Dair Türkiye’de Yapılan Çalışmalar	16
2.7. Karbon Tutumu ve Türkiye’nin Karbon Tutumu Durumu	21
2.8. Karbon Ticareti ve Karbon Kredilendirme Kuruluşları.....	21
2.9. Su ve Suyun Önemi	23
2.9.1. Su Varlığı ve Dünyadaki Önemi.....	23
2.9.2. Suyun Canlılar İçin Önemi	23
2.10. Sanal Su ve Uluslararası Su Ticareti.....	25
2.11. Suyun Kullanım Miktarları ve Alanları	26
2.12. Türkiye’nin Su İle İlgili Ulusal ve Uluslararası Anlaşmaları	27
2.12.1. Ulusal Su Anlaşmaları	27
2.12.2. Uluslararası Su Anlaşmaları	27
2.13. Su Ayak İzi	28
2.13.1. Bireyin Su Ayak İzi	29
2.13.2. Ülkenin Su Ayak İzi	30
2.13.3. Ürünün Su Ayak İzi	32
2.13.4. Hayvanların Su Ayak İzi.....	33
2.13.5. Kurumun Su Ayak İzi.....	35
2.14. Su Ayak İzinin Hesaplanmasına Dair Türkiye’de Yapılan Çalışmalar	35

2.15. Metal Sektörü.....	37
2.16. Asansör Sektörü.....	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri.....	41
3.1.1. IPCC Metodolojisi	41
3.2. Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri	42
3.3. Metal Sektörü Asansör Üretim Fabrikası	44
3.3.1. Fabrika Çevre Yönetim Sistemleri	49
3.3.2. Tesis Verileri.....	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	52
4.1. Asansör Üretim Fabrikası Karbon Ayak İzi Hesaplamaları	52
4.1.1. Asansör Fabrikası 2023 Yılı Atıklar Kaynaklı Karbon Ayak İzi Sonuçları	52
4.1.2. Atıksu ve Su Kaynaklı Karbon Ayak İzi Sonuçları	52
4.1.3. Doğalgaz Tüketimi Karbon Ayak İzi Sonuçları	53
4.1.4. Elektrik Tüketimi Karbon Ayak İzi Sonuçları.....	53
4.1.5. Ulaşım Araçları Kaynaklı Karbon Ayak İzi Sonuçları	54
4.2. Asansör Üretim Fabrikası Su Ayak İzi Hesaplamaları	55
4.2.1. Mavi Su Ayak İzi Hesaplaması	55
4.2.2. Yeşil Su Ayak İzi Hesaplaması	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
5.1. Sonuçlar	57
5.2. Öneriler	59
KAYNAKLAR	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AKAKDO	: Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık
AVM	: Alışveriş Merkezi
AYM	: Avrupa Yeşil Mutabakatı
BM	: Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CF	: Karbon ayak izi
CO ₂ eq	: Karbondioksit eşdeğeri
COP21	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı
°C	: Derece santigrat
C	: Karbon
DSİ	: Devlet Su İşleri
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
GWP	: Global Warming Potential
IEAP	: Uluslararası Yerel Yönetimler Sera Gazı Salımlarının Analizi Protokolü
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
kWh	: Kilowatt saat
L	: Litre
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirme
Mton CO ₂ eq	: Milyon Ton Karbondioksit Eşdeğerleri
MDA	: Makine dairesiz
MD	: Makine dairesiz
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
KIP	: Küresel Isınma Potansiyeli
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
SKA	: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
SKDM	: Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜRKAK	: Türkiye Akreditasyon Kurulu
UETS	: Ulusal Emisyon Ticaret Sistemi
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
UNCED	: Birleşmiş Milletler Çevre Kalkınma Konferansı
UYGP	: Ulusal Yeşil Kalkınma Planı
VVVF	: Asansör Hız Kontrol Sürücüsü
WBCSD	: Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi
WCED	: Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
WCRP	: Konferans sonucunda Dünya İklim Araştırma Programı
WFN	: Su Ayak İzi Ağı
WRI	: Dünya Kaynakları Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Fosil yakıt tüketim artış grafiği	6
Şekil 2.2. Kişi başına düşen CO ₂ emisyon grafiği.....	7
Şekil 2.3. 1880 – 2022 yılları arası sıcaklık değişimi.....	10
Şekil 2.4. 1990-2018 yılları arası Türkiye sera gazı salınımı grafiği	14
Şekil 2.5. 1996-2005 yılları ülkeler bazında tüketimin su ayak izi	32
Şekil 2.6. Asansörlerin tahrik sistemlerine göre sınıflandırılması.....	38
Şekil 2.7. AB’de asansör tipi (a) ve bina çeşidine (b) göre asansör kullanım oranları	39
Şekil 3.1. Asansör üretim fabrikası yerleşim planı.....	45
Şekil 3.2. Asansör fabrikası üretim akış şeması	46
Şekil 4.1. Asansör fabrikası 2023 yılı CO ₂ emisyon dağılımı.....	55



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye ormanları karbon tutumu	21
Çizelge 2.2. Bazı gıda ürünlerinin su ayak izi	33
Çizelge 3.1. Su ayak izi hesaplamalarındaki WFN ile LCA yöntemleri kıyaslaması	44
Çizelge 3.2. Asansör üretim fabrikası yerleşim plan detayı	46
Çizelge 3.3. 2023 yılında üretilen asansör adetleri	48
Çizelge 3.4. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı atık miktarları	49
Çizelge 3.5. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı doğalgaz tüketimi	49
Çizelge 3.6. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı elektrik üretimi ve tüketimi	50
Çizelge 3.7. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı su tüketimi	50
Çizelge 3.8. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı yakıt tüketimi	50
Çizelge 3.9. Karbon ayak izi hesaplaması için kullanılacak emisyon değerleri	51
Çizelge 3.10. Karbon ayak izi hesaplaması için kullanılacak emisyon faktörleri	51
Çizelge 3.11. Dönüşüm değerleri	51
Çizelge 4.1. Atık kaynaklı karbon ayak izi sonuçları	52
Çizelge 4.2. Su tüketimi kaynaklı karbon ayak izi sonuçları	52
Çizelge 4.3. Atıksu kaynaklı karbon ayak izi sonuçları	53
Çizelge 4.4. Doğalgaz tüketimi kaynaklı karbon ayak izi sonuçları	53
Çizelge 4.5. Elektrik tüketimi kaynaklı karbon ayak izi sonuçları	53
Çizelge 4.6. Ulaşım için kullanılan araçlar kaynaklı karbon ayak izi sonuçları	54
Çizelge 4.7. Asansör fabrikası 2023 yılı emisyon değerleri	54

1. GİRİŞ

İnsanlık, tarih boyunca doğal kaynakları kendi ihtiyaçları için kullanmış ve bu süreçte doğal çevreyi etkilemiştir. İnsan ihtiyaçlarının karşılanması sürecinde doğal dengeleri bozan ve geri dönüşü olmayan zararlara sebep olmuştur. Hammaddelerin sağlanması, hizmetlerin üretimi, tüketimi ve atıkların bertarafı aşamalarında doğaya ciddi zararlar verilmiştir (Karafakı, 2014). Son zamanlarda çevre teknolojileri çalışmalarında “foodprint - ayak izi” doğal kaynak tüketiminin modellenmesi için bir kavram olarak hayatımıza girmiştir. Bu modelleme kavramı karbon ayak izi (carbon foodprint), ekolojik ayak izi (ecological foodprint) ve su ayak izi (water footprint) kategorilerinde ön plana çıkmaktadır (Toröz, 2015).

Yeryüzünden atmosfere doğru salınan uzun dalga boyuna sahip ışınların bir kısmı atmosferin üst bölgelerinde bulunan doğal sera gazları aracılığıyla atmosferde tutulur. Atmosferde bulunan sera gazlarının yeryüzünden yansıyan ışınları tutması nedeniyle yaşanabilir bir sıcaklık dengesi oluşmaktadır. Ancak atmosferde bulunması gerekenden daha fazla oranda bulunan sera gazından dolayı sıcaklık dengesi bozulabilir. Sera gazlarındaki artışın ana sebeplerini sıralayacak olursak %49 enerji tüketimi, %19 ormanlık alanların azaltılması, %24 sanayi faaliyetleri, %13 tarım ve gıda faaliyetleridir (Türkeş ve ark., 2000). Sera gazlarının sebep olduğu sıcaklık artışıyla iklim değişiklikleri yaşanmaktadır. 2100 yılı için yapılan iklim değişikliği modellemelerinin verdiği sonuçlara göre ortalama yerküre sıcaklığının artışı 1990’lı yıllara göre 2 ile 4,5 °C arasında olması beklenmektedir (Türkeş, 2008).

İnsanların temel yaşam ihtiyaçlarından kaynaklanan emisyonlardan oluşan sera gazı konusunda insanların tasarruflu davranmasını öğretmeye çalışmak çevre sorunları ile mücadeledeki atılması gereken ilk adım olması gerekmektedir. İlköğrenimden itibaren insanların eğitimi ile sera gazı azaltılması bilinci sağlandığında insan temelli sera gazı azaltılması başarılabilecektir. Evlerde kullanılan fosil yakıt ürünü ısınma yerine yenilenebilir enerjiden elde edilebilecek ısınma türlerinin yaygınlaşması, örneğin bireysel araç kullanımı yerine toplu taşıma araçlarının kullanımının artırılması, geri dönüşümün bireysel bir çevre koruma zorunluluğu algısının oluşturulması örnek olarak verilebilir.

Endüstriyel kaynaklı sera gazlarının etkilerinin azaltılması için, yerel yönetimlerin endüstriyel firmalar üzerinde denetim yetkisinin yanı sıra, büyük markaların tedarik zinciri üzerindeki kontrolü de önemlidir. Endüstriyel tesisler sera gazı emisyonlarını azaltmak için çeşitli önlemler alabilirler. Örneğin ihracatta uygulanacak

karbon ayak izi kriterlerinin belirlenmesi ve ihracatın bu kriterleri karşılması gerekliliği, ülkelerin gümrük mevzuatlarında çevresel faktörleri ön plana çıkarması, nakliye süreçlerinde fosil yakıt tüketimini azaltmaya yönelik teşviklerin sağlanması gibi önlemler alınabilir. Ayrıca endüstriyel tesislerin doğal kaynak kullanımını izlemek ve azaltmak için teşviklerin sunulması da önemlidir.

Birleşmiş Milletler tarafından 2050 yılında dünya nüfusunun 9.7 milyar olacağı tahmin edilmektedir. Bu durum su üzerinde yaratılan baskıyı artıracaktır. İklim değışikliği nedeniyle su döngüsü ve kaynaklarda bozulma olacağından su temininin zorlaşacağı beklenmektedir. Yüzölçümü 783.562 km² olan Türkiye’de yıllık ortalama yağış miktarı 574 mm civarında olup yıllık ortalama 450 milyar m³ tatlı su olduğu tahmin edilmektedir. Kentleşme, hızlı nüfus artışı ve iklim değışiklikleri sebebiyle Türkiye’de de su üzerinde baskının artacağı ve temiz su kaynaklarının bulunabilirliğinin azalmasını işaret etmektedir (Mohsin, 2022).

Su politikalarına şekil veren unsurlar iklim koşullarının bir ülkede su miktarı yönünden ortaya çıkardığı sorunlar ile ülkelerin sosyo-ekonomik kalkınma düzeyidir. Ortalama toplam su miktarını bir ülke nüfusuna bölerek kişi başına yıllık ortalama su miktarını bulmak ve belirli değerlerle karşılaştırılarak o ülkenin su konusunda zengin veya fakir olduğu hususunda karar verilebilir. Bu kapsamda yapılan hesaplamalar su bilimi yayınlarında ve medyada yaygın olarak görünmektedir (Bilen 2008). Su kaynaklarının endüstriyel kullanımında üretimden tüketimine kadar olan süreçlerin tamamında bir kontrol mekanizması kurulmaz ise kuraklık, su kıtlığı gibi su kaynaklı riskler artacaktır. Bu kapsamda sürdürülebilir su yönetimi kavramı ön plana çıkmaktadır. Sürdürülebilir su yönetimi; mevcut ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde su kaynaklarının uzun vadeli korunmasını ve verimli kullanılmasını amaçlayan bir yaklaşımdır. Sürdürülebilir su yönetiminde suyun ekosistemlerinin sağlığını korurken aynı zamanda insan faaliyetleri için yeterli miktarda ve kalitede mevcut olmasını gerektirir. Sürdürülebilir Su Yönetimi kavramı 1992 Dublin’de yapılan Uluslararası Su ve Çevre Konferansındaki belirtilen şu ilkelere dayanmaktadır: Hayatın, kalkınmanın ve çevrenin sürdürülebilirliğinde temel rol oynayan tatlı su kaynakları sonsuz ve bozulmaz değildir. Su yönetimi tüm paydaşların katılımıyla gerçekleştirilmelidir. Kadınlar suyun temini, yönetimi ve korunmasında önemli role sahiptir. Su tüm yararlı kullanımları ile ekonomik bir değere sahiptir ve ekonomik bir mal olarak değerlendirilmelidir (Orhon ve ark., 2022).

Günümüzde iklim değişikliği dünya genelinde ciddi bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Nüfus artışına bağlı olarak tüketimin artması ve tüketimin artmasına bağlı olarak sanayileşme ve üretimin artması çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu sorunlardan en önemlisi de su kaynaklarının azalması ve kirlenmesidir. Doğal kaynakların yok olması ve çölleşme gibi küresel bazda büyüyen çevre sorunlarının sebepleri araştırıldığında karbondioksit (CO₂) gazının başı çektiği görülmüştür. Fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz vb.) ve insan faaliyetleri sonucu meydana gelen sera etkisine sebep olan CO₂ gazının kaynaklarının araştırılması çalışmaları artmış ve karbon ayak izi kavramı yaygınlaşmıştır (Gökçek ve ark., 2019). Karbon ayak izi, bireylerin, kurumların ve toplumların sera gazı emisyonlarını değerlendirmek ve azaltmak için önemli bir araç haline gelmiştir. Su ayak izi ise birey ve kurumlar açısından su kullanım miktarını değerlendirmek ve gerekli önlemlerin alınması açısından önemlidir.

Bu amaçla çalışmada Konya Organize Sanayi içinde metal sektöründe faaliyet gösteren bir asansör üretim fabrikasından kaynaklı sera gazı salınımlarını ve su tüketimi hesaplanmıştır. Asansör fabrikasının üretiminden kaynaklı sera gazlarının küresel iklim değişikliğine katkısı ile ortaya çıkacak “karbon ayak izinin hesaplanması” ve üretimi sırasında kullandığı temiz su kaynaklı “su ayak izinin hesaplanması” ve sonuçlarına göre alınabilecek öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Küresel Isınma

Küresel ısınma, günümüzün en büyük çevresel sorunlarından biri olarak kabul edilmektedir. Atmosferdeki sera gazlarının artması ve doğal ekosistemlerin dengesizleşmesi sonucunda dünya genelindeki ortalama sıcaklıklarda belirgin bir artış yaşanmaktadır. Bu durum insan faaliyetlerinin doğaya olan etkisinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Nüfusun çoğalması ve endüstriyellemenin artmasıyla birlikte enerji tüketimi ciddi çevre kirliliklerine sebep olmaktadır. Endüstriyellemenin en önemli gereklerinden biri olarak ihtiyaç duyulan enerji üretimi için fosil yakıtlar kullanılması hava kirliliği ve sera gazı emisyonlarına sebep olduğu görülmektedir (Jeffrey, 2021).

Sera etkisinin keşfi 1827 yılında başlamış olup, Fransız bilim adamı Jean-Baptiste Fourier tarafından ilk kez ortaya atılmıştır. Daha sonra 1896'da İsveçli kimyager Svante Arrhenius fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan CO₂ emisyonunun sera etkisine neden olduğunu kanıtlamıştır. CO₂ üzerine yapılan araştırmalar bu gazın atmosfer üzerindeki etkilerini göstermiş ve 1958'de Charles David Keeling tarafından doğrulanmıştır. 1970'te ise sera etkisine sebep olan pek çok kimyasal maddenin varlığı ortaya konmuştur (Karafaki, 2014). 1980'de NASA'dan James Hansen tarafından atmosferdeki CO₂'nin artmasının küresel ısınmaya yol açacağını gösteren bir araştırma yayınlandı. Bu bulgu, ekonomi dünyasında büyük endişe yarattı. Hansen'in araştırması, fosil yakıtlara olan bağımlılığımızın gezegenimiz için ciddi bir tehdit oluşturduğunu ortaya koymaktaydı. Bu durum, enerji politikası ve ekonomik kalkınma hakkında yeni bir tartışma başlattı. Hansen'in bulguları, birçok kişi tarafından küresel ısınma tehdidinin ilk somut kanıtı olarak kabul edildi. Bu da dünya çapında çevresel farkındalığın artmasına ve sürdürülebilir enerjiye olan ilginin artmasına yol açtı (Özen, 2008).

Madra (2007) küresel ısınmanın insanlığın son 100 bin yılda karşılaştığı en büyük felaket olduğunu savunmaktadır. Küresel ısınma, insan türünün varoluşunu tehdit eden bir krizdir. Madra'ya göre güneş küresel ısınmanın ana nedenidir. Güneşten gelen ısı ve ışık bu süreci hızlandırmaktadır (Özen, 2008). Madra'nın görüşü küresel ısınmanın tek nedeninin güneş olduğu fikrini savunan az sayıdaki görüşten biridir. Çoğu iklim bilimci küresel ısınmanın ana nedeninin insan faaliyetleri olduğunu düşünmektedir. İnsan faaliyetleri atmosfere sera gazları salmaktadır. Sera gazları güneşten gelen ısıyı hapsederek küresel ısınmaya neden olmaktadır.

Küresel ısınmaya sebep olan gazların en önemlileri CO₂, metan (CH₄) ve azot oksitlerdir (NO_x). Sanayileşme, enerji üretimi, ulaşım ve tarım gibi insan faaliyetleri sera gazlarının atmosfere salınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca ormansızlaşma ve toprak kullanımındaki değişiklikler de küresel ısınmayı tetikleyen faktörler arasındadır.

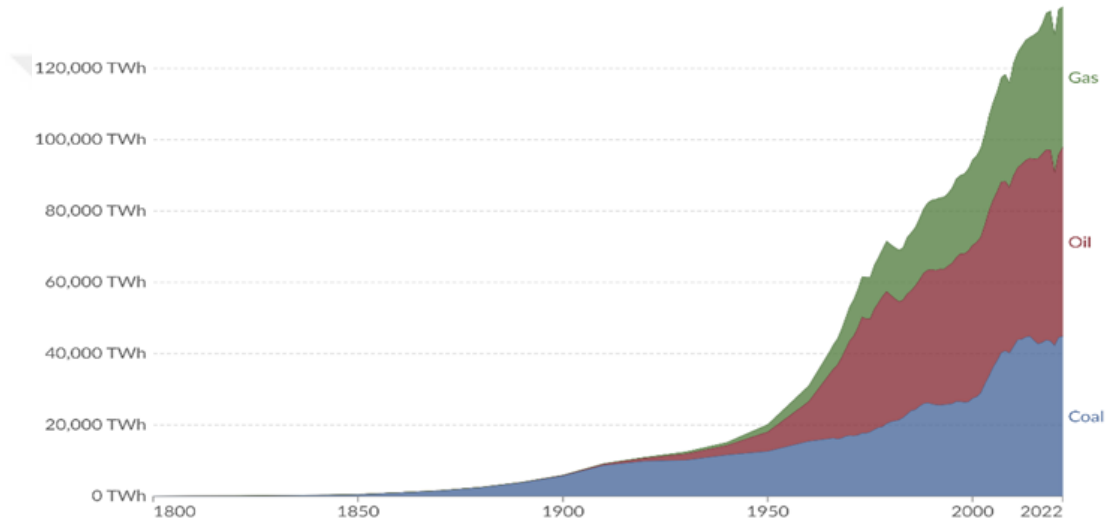
Sera gazları, camlar gibi sera çatısını ve duvarlarını kaplayarak, güneş ışınlarının büyük bir kısmının yeryüzüne ulaşmasını engelleyemezler. Ancak, güneş ışınları yeryüzüne çarptığında, ısı enerjisi dalga boyu değişerek atmosfere yükselir. Sera gazları bu ısı enerjisinin yeryüzünden atmosfere yükselmesini engeller ve atmosferin üst katmanlarına kadar ulaşmasını sağlar. Bu süreçte, sera gazları yeryüzünden yükselen ısı enerjisinin bir kısmını emer ve bir kısmını da yeryüzüne geri yansıtır. Bu etki, atmosferin sera etkisi olarak adlandırılır ve sera gazlarının etkisiyle küresel ısınma olarak bilinen ısınma olayına yol açar (Kandil, 2008).

Zirai alanların genişlemesi, ormanların yok edilmesi, çölleşme ve şehirleşme insan eliyle yapılan en önemli değişikliklerdir. Ormansızlaşma atmosferdeki karbondioksiti artırırken, çölleşme toz miktarını artırarak güneş ışınlarının yansımını ve ısınmanın azalmasını sağlar. Şehirleşme ise şehir ısı adaları olarak bilinen daha sıcak alanların oluşmasına neden olur. Şehirleşmenin küresel ısınmaya katkısı net olmasa da meteorolojik ölçümlerin şehirlerde yapılması nedeniyle önem arz etmektedir. İklim bilimcilerinin genel görüşü, son yüzyıldaki sıcaklık artışının bir kısmının şehirleşmeden kaynaklandığıdır (Özen, 2008).

Küresel ısınmanın etkileri, dünya genelinde pek çok olumsuz durumu içerir. Artan sıcaklıklar, ekstrem hava olayları, deniz seviyesindeki yükselme, buzulların erimesi, su kaynaklarının azalması, biyolojik çeşitlilik kaybı ve tarım verimliliğinde düşüş gibi sonuçlar, insan yaşamını ve doğal ekosistemleri derinden etkilemektedir. Bu etkiler, özellikle ekonomik olarak zayıf ve iklim değişikliğine karşı savunmasız olan toplulukları daha fazla etkilemektedir.

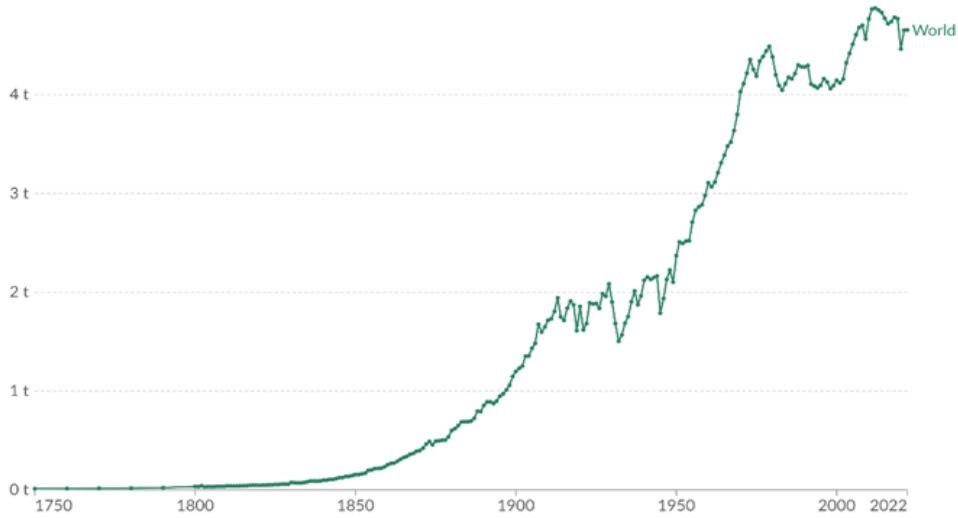
Küresel ısınmanın etkileri sadece çevresel değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik alanlarda da derin etkilere sahiptir. Özellikle tarım, su kaynakları, sağlık ve göç gibi alanlarda önemli değişikliklere neden olmaktadır. Tarım sektöründe iklim değişikliği, tarım ürünlerinin yetiştirme koşullarını değiştirerek verimliliği etkilemektedir. Su kaynakları üzerindeki baskılar artmakta ve kuraklık gibi olaylar sıklaşmaktadır. Sağlık üzerinde de etkileri görülmektedir, özellikle sıcak dalgaları ve hava kirliliği artışı sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Ayrıca, iklim değişikliği bazı bölgelerdeki göçü tetikleyerek sosyal ve ekonomik dengeleri değiştirmektedir.

Küresel ısınma, ulusal sınırları aşan bir sorundur ve uluslararası iş birliği gerektirmektedir. Paris Anlaşması gibi uluslararası anlaşmalar, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve küresel ısınmanın etkilerinin en aza indirilmesi için ortak hedefler belirlemiştir. Ancak uluslararası düzeyde bu hedeflere ulaşmak için daha fazla çaba gerekmektedir. İklim değişikliği ile mücadelede küresel dayanışma ve iş birliği önemlidir. Küresel ısınmanın temel sebeplerinden biri olarak görülen fosil yakıt konusunda Şekil 2.1’de görüleceği üzere 1950’den bu yana ciddi bir şekilde fosil yakıt tüketimi artmıştır. Artan fosil yakıt tüketiminden dolayı gerçekleşen karbon salınımı küresel ısınmayı tetikleyen unsurlardan bir tanesi olmuştur.



Şekil 2.1. Fosil yakıt tüketim artış grafiği (Energy Institute, 2023; Smil 2017)

Dünyanın CO₂ emisyonları nötrlenmediği sürece küresel ısınmanın devam edeceği varsayımıyla küresel ısınma ile mücadele edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda kişi başına CO₂ emisyonları Şekil 2.2’de görülmektedir. 1900’lü yıllardan itibaren ciddi bir artış gösteren kişi başına CO₂ emisyonu nötrlenmediği sürece artışına devam edecek ve küresel ısınmadaki artış hızını da tetikleyecektir.



Şekil 2.2. Kişi başına düşen CO₂ emisyon grafiği (Global Carbon Budget, 2023)

Dünyamızın hızla artan nüfusu ve ihtiyaçlarının karşılanmasıyla birlikte, biyolojik, kimyasal ve fiziksel dengeler arasındaki doğal denge bozulmakta ve iklimde belirli değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişimlerin en önemlisi, dördüncü jeolojik dönemde yaşanan değişikliklerdir ve bu dönemlerden biri olan buzul çağı ile büyük iklim değişiklikleri, günümüz ikliminin şekillenmesinde etkili olmuştur.

Küresel ısınma potansiyeli (GWP-Global Warming Potential), bir sera gazının atmosferdeki etkisinin, aynı miktar CO₂ ile karşılaştırıldığında, belirli bir zaman dilimindeki ısınma potansiyelidir. Bu sera gazlarının küresel ısınmaya katkılarını karşılaştırmak için standart bir ölçüdür. Genellikle GWP bir gazın atmosferdeki kalıcılığı ve atmosferdeki diğer gazlara oranla daha fazla ısı tutma kapasitesi dikkate alınarak hesaplanır. Örneğin metanın (CH₄) GWP'si 20 yıl boyunca CO₂'nin GWP'sine göre yaklaşık 28-36 kat daha yüksektir. Bu CH₄'ün atmosferde kısa bir süre kaldığı halde, CO₂'nin uzun süre kalması nedeniyle daha büyük bir ısınma potansiyeline sahip olduğunu gösterir. Küresel ısınma potansiyeli, farklı sera gazlarının küresel ısınmadaki katkılarını karşılaştırmak için kullanılır ve iklim değişikliği politikalarının ve sera gazı azaltım hedeflerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

2.2. İklim Değişikliği ve Nedenleri

İklim, bir bölgede belirli bir zaman diliminde gözlemlenen ortalama hava durumudur. Bu ortalama sıcaklık, yağış, nem, rüzgâr ve hava basıncı gibi atmosferik olayları kapsar. İklim atmosfer, hidrosfer, litosfer, buzullar ve biyosfer olmak üzere beş bileşenli bir sistem tarafından belirlenir. Bu bileşenler arasında atmosfer, iklimin

dinamiğini en çok etkileyen faktördür. Bir bölgenin iklim koşulları, bu beş bileşenin etkileşimi sonucunda oluşur. Örneğin, bir bölgenin enlem, yükseklik ve denizlere olan uzaklığı ve bitki örtüsü gibi faktörler iklimini belirlemede rol oynar (Gülsoy, 2018).

Dünyanın iklimi, jeolojik zaman boyunca sürekli değişim halinde olmuştur. Bu değişimler, jeomorfolojik ve klimatolojik etkiler yaratmıştır. En son büyük değişim, buzul çağı olarak bilinen 4. dönemde meydana gelmiştir. Son bin yıl içinde de daha küçük boyutlu iklim sapmaları gözlemlenmiştir. Ancak 19. yüzyılın ortalarından itibaren, doğal değişimlere ek olarak insan faaliyetleri de iklim üzerinde önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Fosil yakıtların yakılması ve ormansızlaşma gibi insan kaynaklı faaliyetler, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunu önemli ölçüde artırmıştır. Bu da küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açmıştır (Göncü, 2005).

Toplumda yaygın olarak kullanılan terimlerden olan küresel ısınma ve iklim değişikliği, aslında aynı görünen ancak birbirinden farklı kavramlardır. Küresel ısınma, dünya genelinde ortalama sıcaklığın artmasıyla ilgili bir terimdir ve bu artışın iklim değişikliğine neden olabileceğini ifade eder. Diğer yandan iklim değişikliği, belirli bir bölgedeki mevsimsel hava koşullarında meydana gelen değişiklikleri tanımlar. Küresel ısınma, özellikle en düşük sıcaklıklardaki artışı vurgularken, iklim değişikliği daha geniş bir yelpazedeki hava olaylarının değişimini içerir (İtak, 2023). İklim değişikliği, küresel ısınmanın bir sonucu olarak ortaya çıkar ve boyutları ile uzun vadeli etkileri insan hayatını tehdit eden bir durum olarak belirir. Şu an için gözlemlenen iklim değişikliğinin bazı sonuçları arasında, okyanus su sıcaklıklarındaki artış, hava sıcaklıklarındaki yükselme, buzulların erimesiyle deniz seviyesindeki yükselme ve olağanüstü taşkınlar gibi doğa olaylarında artış yer alır. Küresel ısınmanın bir sonucu olarak ortaya çıkan iklim değişikliği, etkilerini sürdürecektir ve en fazla etkilenecek ülkelerden biri, farklı iklim tiplerine sahip olan Türkiye olarak görülebilir (Demirbaş, 2018).

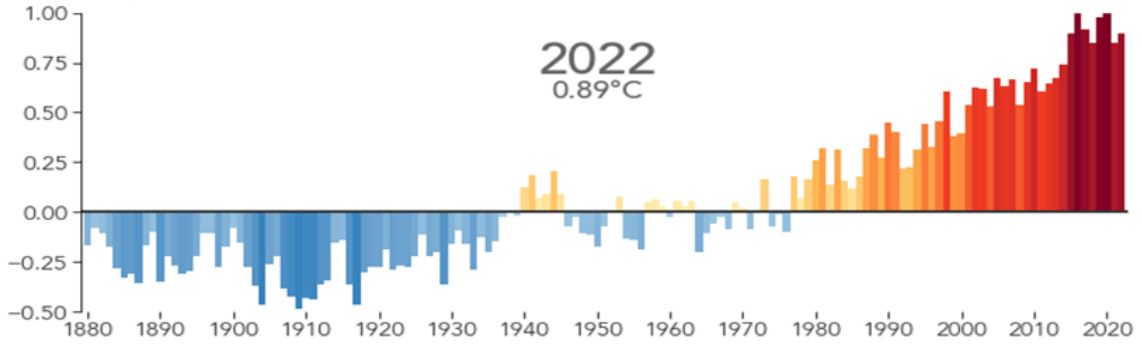
Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinde İklim değişikliğini “İklim değişikliği, karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik” olarak tanımlamaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2022). CO₂, CH₄ ve N₂O gibi gazların sonucunda ortaya çıkan sera gazı dünyadaki iklim değişikliğinin baş mimarlarıdır. Sera gazı emisyon miktarlarının kontrolünü sağlamak amacıyla ISO 14064 standardı sera gazı emisyonlarının hesaplanması, izlenmesi, raporlanması ve doğrulanmasına dayanan ve üç bölümden oluşan standart benimsenmiştir. ISO 14064-1 işyerlerinin sera gazı

envanterinin tasarlanması, geliştirilmesi, yönetilmesi ve raporlanması ile ilgili şartların detayını içermekte, ISO 14064-2 işyerlerin sera gazı oluşumunu azaltmak amacıyla oluşturulmuş projelere ve bu projeler kaynaklı faaliyetleri içermekte, ISO14064-3 sera gazı envanterlerinin projelerini doğrulama ve geçerli kılmaya yönelik ilkeleri içermektedir (Dindar, 2021)

Sera gazlarının sebep olduğu iklim değişiklikleri sonucu denizlerde ve gel-git gözlem noktalarındaki kayıtlara göre küresel çaplı deniz seviyesinin 0,17 metre (0,12-0,23 metre) arasında yükseldiği ve sıcaklıklarının arttığı görülmüştür (IPCC, 2001b; IPCC, 2007). Sera etkisi oluşumunda en önemli etkiye sahip olan gaz CO₂ gazıdır. Dünyayı bir tabaka halinde saran CO₂ gazı sayesinde yeryüzünde ortalama sıcaklık yaklaşık +16 °C'dir. Bu tabaka olmaması durumunda ortalama sıcaklığın -18 °C olması tahmin edilmektedir. Yeryüzünden gelen ısı geri dönerken kızılötesi ışınlar salınmakta ve bu ışınlar CO₂ gazı tarafından tutunup uzaya kaçması önlenmektedir (Muslu, 2000).

NASA 1880'li yıllardan 2020'li yıllara kadar olan süreyi kapsayan sıcaklık değişimine dair bir raporunda dünyadaki ortalama sıcaklığın 1,5 °C arttığını göstermektedir. Bu değişim ise küresel bazdaki iklim değişikliklerinin sebebi olarak görülmektedir. Hammadde çıkarımı, fosil yakıt kullanımı (kömür, petrol, doğalgaz vb.) ve endüstrileşme arttıkça 1,5 °C'lik ısınmanın daha da artması ve iklim değişikliğinin büyüerek görülebileceği varsayılmaktadır.

NASA tarafından yayınlanan 1880-2022 yılları arası sıcaklık değişimini gösteren grafik Şekil 2.3'te verilmiştir. İklim değişikliğinin etkileri, dünya genelinde yaşanan pek çok olumsuz durumu içerir. Artan sıcaklıklar, ekstrem hava olayları, deniz seviyesindeki yükselme, su kaynaklarının azalması, biyolojik çeşitlilik kaybı ve tarım verimliliğinde düşüş gibi sonuçlar, insan yaşamını ve doğal ekosistemleri derinden etkilemektedir. Bu etkiler, özellikle ekonomik olarak zayıf ve iklim değişikliğine karşı savunmasız olan toplulukları daha fazla etkilemektedir.



Şekil 2.3. 1880 – 2022 yılları arası sıcaklık değişimi (NASA, 2023)

2.3. İklim Değişikliği İle İlgili Uluslararası Çalışmalar

2.3.1. Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı

1972 yılında İsviçre'nin Stockholm kentinde 113 ülke katılımıyla gerçekleşen konferansta çevreye ilişkin 26 ilkenin bulunduğu bir bildiri yayınlandı. Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı çevre konulu ilk uluslararası toplantı sayılmaktadır. Konferansta çevreyi korumak için uluslararası iş birliğinin gerekliliği vurgulanmıştır. Sürdürülebilir kalkınma kavramının ilk ortaya çıktığı bilinen konferansta çevre bilincinin artması, uluslararası çevre mevzuatlarının gelişmesi ve çevresel konularda küresel liderlik rolü üstlenecek Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)'nin kurulması sağlanmıştır. Stockholm'de yapılan bu konferansın en önemli etkileri olarak; çevre hareketlerinin güçlenmesi, uluslararası çevre anlaşmaların temelini oluşturması ve 2000 yılında Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen Milenyum Kalkınma Hedefleri ile 2015 yılında kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin temelini oluşturmuştur.

2.3.2. Birinci Dünya İklim Konferansı

1979 yılında 113 ülkenin katılımıyla gerçekleşen konferansta küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunları ele alınmıştır. Konferans insan faaliyetlerinin iklim üzerine olan etkisi ve bu etkinin gün geçtikçe arttığının ilk resmi kabulü olarak görülmektedir. Konferans sonucunda Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) kurulmuştur. Bu program iklim biliminin belirlenmesine katkıda bulunan uluslararası önemli bir program olarak tarihe geçmiştir. Deniz seviyesinin yükselmesi, aşırı hava olayları ve kuraklığın etkileri üzerinde farkındalık yaratan sonuçlar içeren Birinci Dünya İklim Konferansı küresel iklim değişikliği sorununun gerçekliğinin kabul edilmesinde ve uluslararası iş birliğinin gerekliliğinin anlaşılmasında büyük rol oynamıştır.

2.3.3. Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu

1983 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) kuruldu. Çevre ve kalkınma arasındaki ilişkiyi inceleyerek sürdürülebilir kalkınma için strateji geliştirmek amacıyla kurulan komisyon, 1987 yılında “ortak geleceğimiz” adlı bir rapor yayınladı. Bu rapor, “sürdürülebilir kalkınma” kavramını tanımlayarak bu kavramın uluslararası alanda benimsenmesinde önemli bir rol oynadı. Bu rapor aynı zamanda bugünkü nesillerin ihtiyaçlarını belirleyerek gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan kalkınmanın nasıl sağlanabileceği konusundaki gereklilikleri ortaya koymuştur. WCED raporunda gelişmekte olan ülkeler ile gelişmiş ülkeler arasında nesiller arası çevresel eşitliği, çevre maliyetlerinin ve faydalarının adil bir şekilde dağıtılması ile çevresel, ekonomik ve sosyal sistemlerin uzun vadede korunmasını ilke edecek temel ilkeler barındırmaktadır.

2.3.4. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) küresel ısınma ve iklim değişikliğinin yol açtığı tehlikelere karşı yapılan uluslararası bir anlaşmadır. BMİDÇS 1992 yılında Rio de Janeiro’da düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda (UNCED) kabul edilerek 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. Konferansa 178 ülke ve 24.000’den fazla birey katılmıştır. BMİDÇS 195 taraf devlete sahiptir. Konferansın amacı iklim değişikliğinin neden olduğu tehlikelere karşı uluslararası bir iş birliği oluşturmak ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için ortak bir çerçeve oluşturmaktır. Bu kapsamda iklim değişikliğiyle mücadeledeki en önemli uluslararası anlaşmalardan biri olarak kabul edilmektedir.

Sözleşmenin temel amacı, küresel ısınmayı stabilize etmek ve iklim değişikliğinin en yıkıcı etkilerini önlemek için sera gazı konsantrasyonlarını atmosfere salınımın tehlikeli bir seviyesine yükselmesine izin vermeyecek şekilde sabitlemektir. Sözleşmedeki temel hedefler;

- Küresel ısınmayı stabilize ederek iklim değişikliğinin en yıkıcı etkilerini önlemek için sera gazı konsantrasyonlarını kontrol altına almak,
- İklim sistemini insan faaliyetlerden kaynaklanacak tehlikelere karşı korumak,
- Gelişmekte olan ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltım çalışmalarını teşvik etmek, yardımcı olmak,
- Sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla uluslararası iş birliğine teşvik etmek.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi taraf ülkeleri sera gazı emisyonları, sera gazı envanterleri ve iklim değişikliği konusundaki verilerini düzenli olarak tutmak ve paylaşmak ile ilgili bir yükümlülük getirmiştir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri ayırarak beklentilerini aktaran bir sözleşme olarak gelişmiş ülkelere liderlik rolü verip gelişmekte olan ülkelerin finansal ve teknolojik yardım sağlamaları beklenmektedir. Bu sayede liderlik rolü üstelenen ülkeler teknoloji ve bilgi birikimleri ile gelişmekte olan ülkelerin sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olmaları hedeflenmektedir.

2.3.5. Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü, 1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenen BMİDÇS Taraflar Konferansı'nın 3. toplantısında (COP3) kabul edilmiş olup, gelişmiş ülkelerin 1990 yılı sera gazı emisyon seviyelerine göre 2008-2012 yılları arasında emisyonlarını ortalama %5,2 oranında azaltmalarını öngörmektedir. 2005 yılında yürürlüğe giren protokolün temel amacı, küresel ısınmayı stabilize etmek ve iklim değişikliğinin en yıkıcı etkilerini önlemek için sera gazı konsantrasyonlarını atmosfere salınımın tehlikeli bir seviyesine yükselmesine izin vermeyecek şekilde sabitlemektir. Kyoto protokolü gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için bazı mekanizmalar ortaya koymuştur. Bu mekanizmalar gelişmiş ülkeler için emisyon azaltma hedefleri ve bu hedefler için bir zaman çizelgesi oluşturulması, ülkelerin emisyon kotalarını diğer ülkelere alıp satarak emisyon azaltma yükümlülüklerini yerine getirmesi, gelişmiş bir ülkenin gelişmekte olan bir ülke için emisyon azaltma projelerine yatırım yapması ve gelişmekte olan ülkelerin temiz enerji ve enerji verimliliği projeleri geliştirerek sera gazı emisyonlarını azaltması ve gelişmiş ülkelere emisyon kredisi kazanması olarak sıralanabilir. Protokol, uluslararası iklim rejiminin güçlenmesini destekleyerek emisyon azaltımı konusunda yeni teknolojilerin gelişmesine ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasını teşvik etmiştir.

Kyoto protokolü ile Türkiye'de de bazı gelişmeler yaşanmıştır. Ekonomik olarak enerji verimliliği çalışmalarının başlaması ve yenilenebilir enerji konusuna yönelim artmıştır. Kyoto Protokolüne taraf olunması ile çevre bilinci konusunda farkındalık oluşmuş, yeni yapılan yatırımlar veya mevcut endüstriyel tesislerin sürdürülebilir çevre konusunda çalışmalara başlamasına katkıda bulunmuştur.

2.3.6. Paris İklim Anlaşması

Paris İklim Anlaşması 2015 yılında Paris’te düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı’nda (COP21) kabul edilen tarihi bir uluslararası anlaşmadır. Anlaşma 2016 yılında yürürlüğe girerek küresel ısınmayı 2 °C’nin altında tutmayı, tercihen 1.5 °C’ye kadar sınırlamayı amaçlayarak sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmayı hedeflemektedir. Paris Anlaşması 195 taraf devlete sahip olup, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli uluslararası anlaşmalardan biri olarak kabul edilmektedir. Paris İklim Anlaşmasına göre 2020 yılından itibaren her beş yılda bir her taraf ülke ulusal katkı taahhütlerini açıklayarak sera gazı emisyonlarını nasıl azaltabileceklerini amaçlayan planlarını paylaşacaklardır. Gelişmiş ülkelerin geliştirmekte olan ülkelere finansal ve teknolojik yardımını kapsayan anlaşmada her taraf ülkenin şeffaflık ve hesap verilebilirliği sağlanarak sera gazı emisyonlarını izleme ve raporlama sistemi geliştirmeleri istenmektedir. Taraf ülkelerin iklim değişikliği ile mücadele konusunda iş birliği ve uyum içerisinde çalışacak kurumlar oluşturması beklenmektedir.

2.3.7. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

2015 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından kabul edilen ve 17 hedeften oluşan Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKA) 2030 yılına kadar eşitsizliği azaltmak, yoksulluğu ortadan kaldırmak ve gezegeni korumak için bir yol haritası belirlemiştir. Bu hedefler şu şekilde sıralanabilir; yoksulluğa son, açlığa son, sağlıklı bireyler, nitelikli eğitim, toplumsal cinsiyet eşitliği, temiz su ve sanitasyon, erişilebilir ve temiz enerji, insan yakışır iş ve ekonomik büyüme, sanayi, yenilikçilik ve altyapı, eşitsizliklerin azaltılması, sürdürülebilir şehirler ve yaşam alanları, sorumlu üretim ve tüketim, iklim eylemi, su altı yaşamı, karasal yaşam, barış, adalet ve güçlü kurumlar, hedeflere ulaşmak için ortaklıklar. Genel kurulda kabul edilen hedefler ile her ülkenin kendi stratejisini geliştirmesi, uluslararası iş birliği ve hedefler konusundaki finansman arayışına çözüm bulunması amaçlanmakta ve hızla endüstriyelleşen toplumun çevresel konularına çözüm olabilecek çevre konularını hedefleri arasına almaktadır.

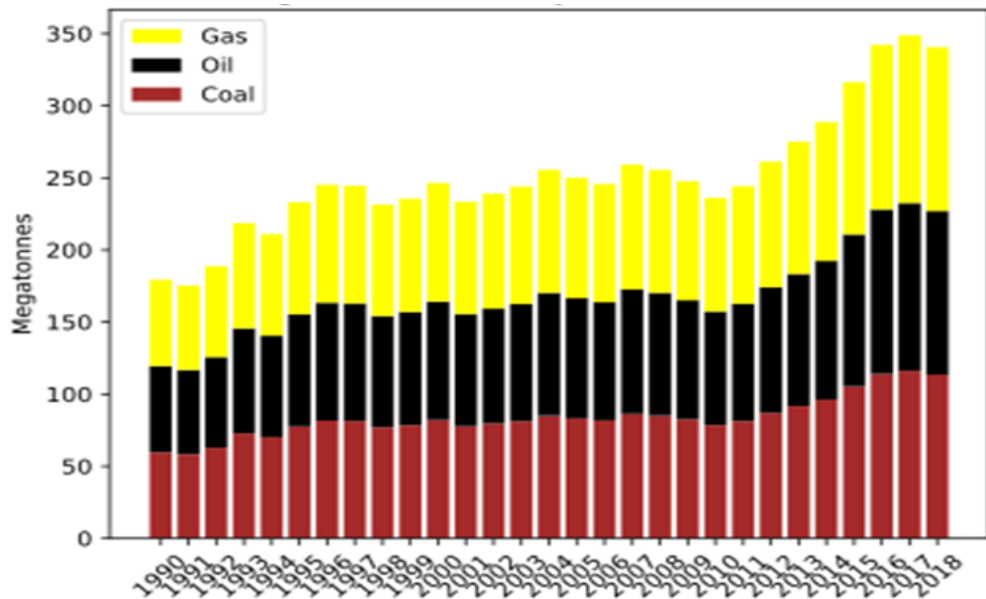
2.3.8. Yeşil Mutabakat

Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) 2050 yılını hedef göstererek Avrupa Birliği’ni (AB) sera gazı emisyonlarının olmadığı bir toplum haline getirmek hedefini açıklamıştır. AYM ile AB 2030 yılına dönük sera gazı emisyon azaltımını en az %55 oranına yükseltilmesi ve Avrupa’nın 2050 yılına kadar dünyanın ilk iklim nötr kıtasına

dönüştürmesi hedefini ortaya koymuştur (İstanbul Sanayi Odası, 2021). Planda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını enerji verimliliği ile birlikte artırarak sera gazı emisyonlarını nötrlemek, iklim değişikliğinin etkilerinin hesaplanarak kıtalarındaki yaşamı değişen iklime dirençli hale getirmek ve sürdürülebilir kalkınma fırsatları yaratarak ekonomik kalkınmayı teşvik etmek konuları hedeflenmektedir. Temiz enerjinin en verimli halini kullanarak sürdürülebilir bir çevre politikasının benimsendiği AYM’de doğal kaynakların korunması, elektrikli araçların yaygınlaşması, toplu ulaşım sistemlerinin geliştirilerek yaygınlaşmasının sağlanması, endüstriyel tesislerdeki enerji verimliliklerinin hesaplanarak artırılması politikaları benimsenmiştir.

2.4. Türkiye’de Mevcut Yasal Durum ve Çevre Politikaları

Coğrafi konumu ve iklimi nedeniyle oldukça zengin bir biyoçeşitliliğe sahip olan Türkiye’de artan nüfus ve endüstriyelleşme ile önemli ölçüde çevre sorunları ortaya çıkmaktadır. Hava kirliliği, toprak kirliliği, su kirliliği, iklim değişikliği ve küresel ısınma etkilerinin görüldüğü Türkiye’nin sera gazı konusunda ve su kaynaklarının kontrolü konusunda tedbir alınmazsa baş edilemeyecek çevre sorunları ile karşı karşıya kalacağı aşikârdır. Hava kirliliğinin azaltılması için temiz enerji kaynaklarına geçiş yapılması, emisyon standartlarının takip edilmesi ve toplumun emisyonların etkileri konusunda bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Şekil 2.4’te de görüleceği üzere Türkiye’nin sera gazı salımı 1990’lı yıllardan itibaren ciddi oranda artış göstermiştir.



Şekil 2.4. 1990-2018 yılları arası Türkiye sera gazı salınımı grafiği (IEA, 2020)

Daha çok fosil yakıt tüketimine bağı endüstriyellemen kaynaklı olarak Türkiye’de 1990 yılından itibaren 2018 yılında gelindiğinde karbondioksit salınımı %190’lık bir artış görülmektedir. Küresel ısınma ve iklim değışikliğinin ülke çapında yaratacağı etki konusunda da toplumun bilincinin sürekli artırılması gerekmektedir. Özellikle endüstriyel tesislerin çevre etkileri konusundaki standartlara uyumu son yıllarda daha çok denetlenmekte ve standart dışı olan çevre faaliyetlerine idari para cezaları yazılmaktadır. Bu cezalar para cezaları, kapatma ve işletme durdurma cezaları, rehabilitasyon ve onarım yükümlülüğü, ceza davaları ve hapis cezaları ve çevre izin iptallerinden oluşmaktadır.

Türkiye’nin uluslararası çevre mevzuatları kapsamında yürüttüğü çalışmalar bulunmaktadır. Bu kapsamda kabul edilenlerden en önemlileri Kyoto Protokolü, Paris İklim Anlaşması ve Avrupa Yeşil Mutabakatı olarak görülebilir. Türkiye’nin katılmış olduğu Avrupa Yeşil Mutabakatı, Türkiye’nin ekonomisini ve çevresini de etkileyecektir. Türkiye AYM’nin hedeflerine ulaşmasına katkıda bulunmak için kendi yeşil kalkınma planını geliştirmektedir. AYM ayrıca Türkiye ve Avrupa Birliği arasındaki iş birliğini ve teknolojik transferi teşvik etmektedir.

Türkiye 2021 yılında Ulusal Yeşil Kalkınma Planı (UYGP) hazırlayarak Avrupa Birliği uyum stratejileri kapsamında 2053 yılı için net karbon sıfır hedefi koymuştur. 2022 yılında “Yeşil Kalkınma Yolunda Türkiye” konulu toplantı yapan Çevre Şehircilik ve İklim Değışikliği Bakanlığı, iklim kanununun hazırlanması için hedeflerin belirlenmesi, yerel idarelerin çevre projelerinin maddi olarak desteklenmesi, sıfır atık konusundaki kazanım oranının artırılması çalışmalarının desteklenmesi, depozito yönetim sisteminin kurulması, atık ısı projesinin olabildiğince etkin kullanılması, yeşil alanların artırılması, bina enerji sınıflarının performansının artırılması, su tasarrufu konularında toplantı bildirgesi yayınlamıştır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değışikliği Bakanlığı, 2022).

2.5. Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi çevreye verilen zararın hesaplanabilmesi için atmosfere salınan sera gazlarının miktarının belirlenebilmesinde kullanılan CO₂ eşdeğeri ölçüsüdür. Uluslararası Yerel Yönetimler Sera Gazı Salımlarının Analizi Protokolün (IEAP)’de karbon ayak izi üç kapsamda anılmaktadır. Birincil kapsam yakıt tüketimleri sonucu oluşan gaz salınımını, ikinci kapsam belirli bir bölge için başka bir bölgede üretim

kaynaklı dolaylı salınımı, üçüncü kapsam ise belirli bir bölgede tüketilen ürünlerin üretimden ve tedarik zincirinden kaynaklanan dolaylı salınımları ifade etmektedir.

Nüfus artışına bağlı olarak tüketimin artması ve tüketimin artmasına bağlı olarak sanayileşme ve üretimin artması çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Doğal kaynakların yok olması ve çölleşme gibi küresel bazda büyüyen çevre sorunlarının sebepleri araştırıldığında CO₂ gazının başı çektiği görülmüştür. Fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz vb.) ve insan faaliyetleri sonucu meydana gelen sera etkisine sebep olan CO₂ gazının kaynaklarının araştırılması çalışmaları artmış ve karbon ayak izi terimi yaygınlaşmıştır (Gökçek ve ark., 2019). İnsan faaliyetlerinin çevre üzerine olan etkisi, endüstriyellemenin çevre üzerine olan etkisi kontrol edilmesi gereken etkilerdir. Bu etkilere hem insanlar bireysel olarak önlem almalı hem de endüstriyel tesislerin önlem alması zorunluluğu getirilmelidir. Bu etkilerin azaltılması veya ortadan kaldırılması için bir değer hesaplamasıyla ve hedefler koyularak değer azaltılmaya çalışması gerekmektedir. Karbon ayak izi hesaplanması ise bu değer metrik bir ifadesidir. Başka bir deyişle emisyonların azaltılması, enerji verimliliği ve başta sorumlular olmak üzere tüm insanların matematiksel olarak konuya dikkatini çekecek önemli bir hesaplama olacaktır.

2.6. Karbon Ayak İzinin Hesaplanmasına Dair Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2017 yılında Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ile bir çalışma yaparak Türkiye’nin ilk defa karbon ayak izini çıkarmak ve doğrulama lisansı için TSE ile bir protokol hazırladı. Bu kapsamda 2017 yılında kişi başına düşen yıllık ortalama karbon ayak izi 3.287 ton CO₂ olarak belirlenmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2017)

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2018 yılında Ulusal Karbon Kredilendirme Programı Protokolü hazırlanarak Paris Anlaşmasına taraf olunması ve 2053 sıfır emisyon hedefi gereği kurulması planlanan emisyon ticaret sistemi kapsamında yer alacak sektörlerin sera gazı emisyonlarının bir kısmının denkleştirilmesine ve gönüllü emisyon azaltım hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

Kuruluşların sera gazı emisyonlarını standartlaştırılmış bir şekilde envanterlemelerine ve doğrulamalarına imkân sağlamak amacıyla 2006 yılında Sera Gazı Envanteri ve Sera Gazı Doğrulamaları için üç ana bölümden oluşan ISO 14064 standardı yayınlanmıştır. ISO 14064-1:2006: Sera Gazı Envanteri standardı birinci bölümünde

ilkeler ve genel gereksinimler, ikinci bölümünde kuruluşlar için kılavuz, üçüncü bölümünde ise doğrulama yöntemleri ve kriterleri yer almaktadır. Bu sayede kuruluşların, kendi emisyonlarını kaynaklarını ve durumlarını anlamaları, emisyonlarını azaltmak için hedefler belirleyerek ilerlemelerini takip etmeleri, sera gazı azaltımı için yayınlanan ulusal programlara katkıda bulunmaları ve çevre boyutlarını paydaşlarına raporlayabilmeleri beklenmektedir.

2022 yılında Ticaret Bakanlığı Yeşil Mutabakat Çalışma Grubunun yayınladığı yıllık faaliyet raporunda karbon ayak izi hesaplama süreci, ölçüm ve doğrulama aşamalarının sektör temsilcilerine aktarılması ve Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) kapsamında emisyon doğrulama ve belgelendirme faaliyetlerinde bulunacak kuruluşlara Türkiye Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından verilecek akreditasyon belgelerinin önemi üzerine odaklanılmıştır. Yine aynı raporda Çelik Sektörü İhtisas Çalışma Grubu tarafından sektörde, karbon ayak izinin azaltılması, enerji girdisi optimizasyonu, verimlilik ve atık yönetimi gibi önemli konuların yanı sıra, birincil alüminyum üretiminde; ikincil alüminyum üretiminde hurda ayıklama ve verimlilik artışı; yarı mamul işleme süreçlerinde enerji verimliliği ve alüminyum parça dökümünde verimlilik artışı gibi ihtiyaçlar vurgulanmıştır. Raporda ayrıca AB piyasasına arz edilecek ürünlerin çevresel etkilerini azaltmak amacıyla, AB düzeyinde yeni tüzük taslağı geliştirilmesinden bahsedilmiştir. Bu taslak, ürünlerin hammadde tedarikinden üretim, tüketim ve atık aşamasına kadar daha dayanıklı, karbon ve çevresel ayak izi düşük, geri dönüştürülebilir olmasını sağlamak için ortak kurallar belirlemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, ürünlere eşlik edecek “dijital ürün pasaportlarının geliştirilmesi ve zorunlu yeşil kamu alımları kriterlerinin getirilmesiyle tüketicilerin yeşil ürünlere yönlendirilmesi ve geri dönüşüm imkanlarının artırılması hedeflenmektedir. Bu çerçevede, enerji güvenliğinin yanı sıra döngüsellik ve karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik asgari kriterler belirlenmesi ve AB’nin küresel ölçekte kural koyucu olmasını sağlayacak mevzuatın ilk aşamada tekstil, mobilya, yatak, lastik, deterjan, boya, mineral yağ, demir-çelik ve alüminyum gibi sektörler/ürünler üzerinde uygulanması öngörülmektedir. Bu doğrultuda, Komisyonun 2026 yılına kadar 33 ayrı Tüzük ve bunlarla bağlantılı pek çok uygulama mevzuatı taslağını açıklaması beklenmektedir (Ticaret Bakanlığı, 2022).

Türkiye’de karbon ayak izi ile ilgili yapılan tez ve makale çalışmalarından bazılarında Türkiye’nin genel karbon ayak izi incelenirken, bazılarında ise belirli sektörlerin veya ürünlerin karbon ayak izi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların bazıları aşağıdakiler gibidir;

Çankırı Karatekin Üniversitesi'nde yapılan bir tez çalışmasında, üniversitenin karbon ayak izinin hesaplanması hedeflenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre, üniversitenin toplam karbon salımı 5.633,13 ton CO_{2e}/yıl olarak tahmin edilmiştir. En yüksek salım kaynağının ise 2.527,72 ton CO_{2e}/yıl ile elektrik enerjisi tüketimi olduğu belirlenmiştir. Kişi başına düşen ortalama salım ise 4,54 ton CO_{2e}/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular doğrultusunda üniversiteye salımı azaltıcı çeşitli önlemler alınmasının yanı sıra, en yüksek salım kaynağı olan elektrik tüketimi için yenilenebilir enerji üretimi önerileri sunulmuştur (Üreden, 2019).

2019 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesinde yapılan bir tez çalışmasında, hastane ve AVM projeleri için işletme aşamasına ait karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Hastane projesinin 2017 ve 2018 yılları incelenmiş ve 2018'de toplam sera gazı emisyonlarının 2017'ye göre yaklaşık 750 ton CO_{2e} arttığı görülmüştür. Bu artışın ana nedeni, doğalgaz tüketimindeki artış ile elektrik tüketimindeki artıştır. AVM projesi için 2016, 2017 ve 2018 yılları için karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. 2017'de projenin toplam sera gazı emisyonları, 2016'ya göre yaklaşık 500 ton CO_{2e} artmıştır ve bu artışın ana nedeni doğalgaz kaynaklı emisyonlardaki 2 kat artıştır. Ancak 2018'de 2017'ye göre 950 ton CO_{2e} daha az emisyon salınımı gerçekleşmiştir ve bu azalışın doğalgaz, elektrik ve yakıt tüketimindeki genel düşüşten kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu düşüşler verimlilik düzenlemeleri ve tasarruf önlemlerinden kaynaklanmaktadır (Ahmetoğlu, 2019).

Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü'nde yapılan bir çalışmada, kurumsal karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. 2022 yılına ait doğalgaz ve elektrik tüketim verileri ile üniversiteye ait araçlar ve kampüse giren araçların yakıt tüketim miktarları kullanılarak sera gazı emisyonu hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda, kampüsün toplam sera gazı emisyonunun 23,614 ton CO_{2e} olduğu bulunmuştur. Bu emisyonun %73,7'si Kapsam-3 olarak adlandırılan diğer dolaylı emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bunlar kampüse giren akademisyen ve misafir araçları ile minibüs-otobüslerin yakıt tüketiminden kaynaklanan emisyonlardır. Rektörlüğe ait araçların yakıt tüketimi ve ısınmadan kaynaklanan doğalgaz tüketimi ise doğrudan emisyon Kapsam-1 olarak tanımlanmaktadır ve 1.132 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Elektrik tüketiminden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonu ise Kapsam-2 olarak kabul edilmiş ve 5.060 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır (Karakaya, 2022).

Endüstrilerde karbon ayak izlerinin belirlenmesi ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesini inceleyen tez çalışmasında, tekstil işletmesinde bobinde iplik boyama

faaliyetlerine odaklanarak karbon ayak izinin hesaplanmasını hedeflemiştir. Bu çalışmaya göre, karbon ayak izi hesaplamalarında Kapsam-1, Kapsam-2 ve Kapsam-3 emisyonları tesis bazında dikkate alınmıştır. İplik boyama ünitesinde açığa çıkan karbon ayak izinin %52'si Kapsam-1, %37'si Kapsam-2 ve %11'i Kapsam-3 emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Atmosfere salınan karbon ayak izi miktarı ise 1 kg iplik için 2,39 CO_{2e}/kg ipliklidir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen CO_{2e} miktarları, optik fiber ve kauçuk endüstrisinden daha az, cam şişe ve ambalaj endüstrisinden daha fazla, süt ürünleri ve otomotiv endüstrisinden daha az, şeker ve meyve suyu endüstrisinden daha fazla ve tekstil endüstrisinden ise ortalama 5-6 kat daha az olarak belirlenmiştir (Öztopçu, 2023).

Tekstil sektöründe karbon ayak izi hesaplamasını ve analizini inceleyen bir diğer tez çalışmasında, Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir tekstil firması için karbon ayak izi hesaplaması ve analizi yapılmıştır. 2019 yılı için gerçekleştirilen çalışmada, doğrudan sera gazı emisyonları ile satın alınan enerji, nakliye ve ulaşım, ham madde ve malzeme kullanımı, ürünlerin yaşam sonu ve diğer dolaylı sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda 2019 yılı için toplam emisyon miktarının 44.719,73 ton CO_{2e} olduğu belirlenmiştir (Coşgun, 2023).

Erzincan ili Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren bir atık kâğıt geri dönüşüm tesisinde karbon ayak izi incelenmiştir. Bu tesiste sera gazı emisyon faktörleri kullanılarak Tier-1 metoduyla doğalgaz, elektrik, su tüketimi, atık su ve atık oluşumu, şirket araçlarının kullanımından kaynaklanan karbon ayak izi miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda 2020'de atmosfere verilen sera gazı emisyonu yaklaşık 2.779,466 ton CO_{2e}, 2021'de 3.267,195 ton CO_{2e} ve 2022'de ise 3.087,321 ton CO_{2e} olarak belirlenmiştir (Saban, 2023).

Karbon ayak izini azaltma konusundaki farkındalığı artırmak için lise ve düzeyi okullarda yapılan çalışmaların çeşitlendirilmesi de büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede, Giresun Üniversitesinde yapılan bir tez çalışmasının sonuçları doğrultusunda, iklim değişikliği ile ilgili farkındalık oluşturacak eğitim seminerlerinin düzenlenmesi ve projelerin geliştirilmesi gerekmekte olduğu raporlanmıştır. Ayrıca, eğitim müfredatına iklim değişikliği, küresel ısınma, verimli kaynak kullanımı gibi konuların entegre edilmesi, karbon salınımını azaltmaya yönelik ağaçlandırma çalışmalarının planlanması da önemlidir. Karbon ayak izinin başlıca nedenleri olan enerji tüketimi, ulaşım ve atık yönetimi gibi konularda tasarruf sağlanması için çeşitli önlemler alınabilir. Bunlar arasında binalarda ısı yalıtımı yapılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının

teşvik edilmesi, tasarruflu lambaların tercih edilmesi ve gereksiz elektronik cihazların kapatılması gibi adımlar bulunmaktadır. Ayrıca okul personelinin ulaşım kaynaklı CO₂ emisyonlarını azaltmak için elektrikli ve hibrit araç teknolojilerine geçişin teşvik edilmesi de önemlidir (Uludağ, 2022).

Denizli Çardak Şehir Geçişi projesi kapsamında yapılan bir araştırmada, 1 kilometrelik yol yapımının karbon ayak izi hesaplanmıştır. Bu hesaplamada Tier-1 yöntemi kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, 1 kilometrelik asfalt kaplama yolun inşasında kullanılan mazot, elektrik ve doğalgazın sebep olduğu toplam karbon emisyonu 210 ton CO₂ olarak belirlenmiştir. Araştırma, karbon emisyonunun en büyük kaynağının mazot kullanımı olduğunu ortaya koymuştur. Yol yapım sürecinde kullanılan makinelerin mazot tüketimi ve malzemelerin şantiyeden sahaya nakli gibi etkenler, karbon emisyonunu artırmaktadır. Bu durumu azaltmak için farklı motor teknolojilerinin geliştirilmesi, elektrikli araç kullanımının yaygınlaştırılması ve daha az karbon salınımına neden olan enerji kaynaklarının tercih edilmesi gerekmektedir. Ayrıca yol yapımı sürecinde ve sonrasında kendi elektriğini üretebilen sistemlerin geliştirilmesi de karbon emisyonunu azaltmada etkili olabilir (Yabaneri, 2024).

2024 yılında yapılan bir başka tez çalışmasında, belirlenen bir alüminyum tesisinin sera gazı emisyonları ISO 14064-1 standardına göre hesaplanmıştır. Bu hesaplama doğrudan sera gazı emisyonlarını ve enerji kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını içermektedir. Tesisin 2021 yılındaki sera gazı emisyonu, kategori 1 ve kategori 2 doğrultusunda 38.243,5 ton CO_{2e} olarak belirlenmiştir. Bu emisyonların %62,77'si doğrudan sera gazı emisyonlarından kaynaklanırken, %37,23'lük kısmı enerji dolaylı sera gazı emisyonlarından oluşmaktadır (Aşır, 2024).

İzmir ilinde bulunan bir makine yedek parça imalat tesisi için karbon emisyonu hesaplamaları 2021, 2022 ve 2023 yılları için gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak çözüm önerileri sunulmuştur. Bu çalışmada tesisin sera gazı emisyonları 2021, 2022 ve 2023 yılları için GHG protokolüne ve IPCC metodolojisine göre detaylı bir şekilde hesaplanmıştır. Hesaplama sera gazı emisyonlarına katkıda bulunan beş ana kaynak olarak elektrik tüketimi, dizel yakıt tüketimi, su tüketimi, atıksu bertarafı ve atık oluşumu belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda 2021, 2022 ve 2023 yılları için sera gazı emisyonu değerleri sırasıyla 13,15 tCO_{2e}/yıl, 12,72 tCO_{2e}/yıl ve 13,13 tCO_{2e}/yıl olarak belirlenmiştir. En yüksek emisyon değeri 2021 yılına aittir (Duman, 2024).

2.7. Karbon Tutumu ve Türkiye'nin Karbon Tutumu Durumu

Karbon tutumu bir organizmanın veya bir sistemin atmosferdeki CO₂ veya diğer karbon bileşiklerini ne kadar emme yeteneği olduğunu ifade eder. Genellikle birim zamanda veya belirli bir zaman diliminde ifade edilir. Özellikle çevre bilimlerinde ve iklim değişikliği çalışmalarında önemli bir kavramdır. Karbon tutumu bitkilerin fotosentez yoluyla CO₂'yi emerek oksijen üretmesiyle, deniz ve okyanuslardaki organizmaların karbonu emerek karbonatlar oluşturmasıyla, ormanlar ve diğer ekosistemlerin CO₂'yi depolamasıyla ve bazı insan yapımı sistemlerin (örneğin, karbon emisyonları azaltımı sağlayan teknolojiler) CO₂'yi emmesiyle gerçekleşebilir. Karbon tutumu, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynayan karbon döngüsünün bir parçasıdır.

Karbon tutumu ormanlar, bitkiler, okyanuslar, toprak ve insan yapımı sistemler tarafından sağlanabilir. Türkiye'de karbon tutumu büyük oranla ormanlar tarafından sağlanmaktadır. Çizelge 2.1'de görüleceği üzere Türkiye'nin orman kaynaklı karbon tutumu orman politikaları sayesinde yıllar geçtikçe gelişmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiye ormanları karbon tutumu (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019)

Yıllar	Toplam karbon tutumu (Milyon ton CO _{2eq} / yıl)
1990	55,7
1995	57,38
2000	61,55
2005	74,65
2010	73,41
2011	77,08
2012	74,47
2013	76,49
2014	77,5
2015	97,26
2016	95,93
2017	99,88
2018	94,56
2019	83,99

2.8. Karbon Ticareti ve Karbon Kredilendirme Kuruluşları

Karbon ticareti atmosferdeki sera gazı emisyonlarını, özellikle de CO₂'yi sınırlamak ve kontrol altına almak için kullanılan bir piyasa mekanizmasıdır. Bu sistemde belirli bir emisyon kotasına sahip olan şirketler veya ülkeler, emisyonlarını azaltmak için fazlalık emisyon haklarını satabilir veya emisyonlarını artırmak için ek emisyon hakları satın alabileceklerdir. Karbon ticareti Kyoto Protokolü'nden doğan bir sistemdir ve

emisyon azaltımını teşvik etmek için çeşitli mekanizmalar kullanır. Bu mekanizmalar arasında ağaçlandırma, temiz enerji yatırımları, karbon tutma ve biriktirme projeleri, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilir kalkınma uygulamaları yer alır. Hepsi de iklim değişikliğiyle mücadeleye katkıda bulunur.

Kyoto Protokolü kapsamında üç temel karbon ticareti senaryosu geliştirilmiştir.

- Birinci senaryo, sera gazı salınım limitini aşan bir işletme, üretimine devam edebilmek için emisyon hakkı fazlası olan bir başka işletmeden hak satın alabilir.
- İkinci senaryo, sera gazı limitini aşmayan bir işletme, salınım hakkı fazlasını bir sonraki yıl için saklayabilir veya başka bir işletmeye satabilir.
- Üçüncü senaryo, bir işletme, emisyon azaltım projelerine yatırım yaparak kazandığı emisyon kredilerini kullanarak payını artırabilir ve bu kredileri piyasada satabilir.

Bu senaryolar, emisyon azaltımını teşvik etmek ve sera gazı salınımlarını kontrol altına almak için esnek bir çerçeve sunmaktadır. Karbon ticareti, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araçtır ve küresel ısınmanın etkilerini azaltmak için önemli bir rol oynayabilir (Özdemir, 2019).

Türkiye 2023 yılında belirli sektörlerde faaliyet gösteren tesislerin sera gazı emisyonlarını sınırlamak ve fiyatlandırmak için tasarlanmış bir mekanizma olarak “Ulusal Emisyon Ticaret Sistemi (UETS)”ni kurarak karbon ticaretine geçiş yapmıştır.

Karbon kredileri, atmosfere salınan her bir ton karbondioksit veya eşdeğer sera gazının azaltılmasını veya önlenmesini temsil eden sertifikalardır. Bu krediler, belirlenmiş standartlara uygun olarak gerçekleştirilen emisyon azaltım projeleri sonucunda üretilir ve piyasada alınıp satılabilir. Dolayısıyla, emisyonlarını azaltmak isteyen kuruluşlar, karbon kredilerini satın alarak bu hedefe katkı sağlayabilirler. Karbon kredilendirme kuruluşları, karbon kredisi projelerinin geliştirilmesi, değerlendirilmesi ve sertifikalandırılması gibi faaliyetleri gerçekleştirirler. Bu kuruluşlar, projelerin çevresel faydasını, sürdürülebilirliğini ve şeffaflığını titizlikle inceler ve onaylanan projelere karbon kredisi tahsis ederler.

Türkiye’de 2023 yılında Türk Standartları Enstitüsü ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı arasında Türkiye’de emisyon azaltımı, uzaklaştırma ve giderimi ile ilgili standartların belirlenmesini karbon kredilendirme projelerinin kayıt altına alınmasını amaçlayan bir protokol imzalanmıştır. Bu protokol ile Türkiye’de kurulması planlanan emisyon ticaret sistemi, yer alacak sektörlerin sera gazı emisyonlarının bir kısmının denkleştirilmesine ve gönüllü emisyon azaltım hedeflerinin gerçekleştirilmesine

katkıda bulunması amaçlanmıştır. Dünya’da önde gelen karbon kredilendirme kuruluşları Gold Standart, Verified Carbon Standart, The Climate Registry, American Carbon Registry olarak gösterilebilir.

2.9. Su ve Suyun Önemi

2.9.1. Su Varlığı ve Dünyadaki Önemi

Su yaşamın en temel bileşenlerinden biridir. Hücrelerin %70’inden fazlasını oluşturur ve tüm biyokimyasal reaksiyonlarda hayati bir rol oynar. Vücut ısısını düzenlemeye, besin maddelerini taşımaya ve atık ürünleri atmaya yardımcı olur. Besinlerin sindirimini ve emilimini kolaylaştırır ve eklemlerin ve dokuların kayganlığını sağlar. Dünya’nın yüzeyinin sadece %3’ü tatlı suyla kaplıdır. Dünya’da yaklaşık 1,4 milyar km³ hacme sahip olan suyun büyük kısmı, %68 oranında buzullarda donmuş ve erişilemez durumdadır. Geri kalan %30’luk tatlı suyun da %1’inden azı göllerde, nehirlerde, kanallarda ve yeraltında kullanılabilir haldedir. Kısacası, mavi gezegenimiz bol miktarda suya sahip gibi görünse de gerçekte kullanılabilir tatlı su kaynaklarımız oldukça sınırlıdır ve bu durum küresel bir tehdit oluşturmaktadır. Az miktarda bulunan tatlı su kaynaklarının büyük bölümü kutuplarda veya yeraltında bulunmaktadır. Bu durum, canlıların doğrudan kullanabileceği tatlı su miktarının oldukça kısıtlı olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, Dünya nüfusunun %20’si sağlıklı içme suyuna erişememektedir ve bu durum onları hastalık ve ölüm riskiyle karşı karşıya bırakmaktadır. Ayrıca tatlı su kaynaklarının bir kısmı kirlenme nedeniyle kullanılamamakta, bir kısmı da altyapı yetersizliklerinden dolayı halk sağlığı açısından sorun teşkil etmektedir (Sütürmak, 2020).

2.9.2 Suyun Canlılar İçin Önemi

Su tüm canlı organizmaların varlığını sürdürmesi için kritik öneme sahiptir. Bakıldığında dünya dışı canlılık arayışında bile ilk olarak arananın su olduğu görülmektedir. Suyun insanlar, hayvanlar, bitkiler olmak üzere tüm canlı hayatı için ayrı ayrı önemi bulunmaktadır (Bacaksız, 2021).

2.9.2.1. İnsanlar İçin Suyun Önemi

Vücudumuzun %60’ından fazlasını oluşturan su, yaşamın devamı için gerekli olan birçok kritik işlevi yerine getirir. Su vücudumuzdaki birçok önemli işlevi yerine getirir. Bunlardan bazıları şunlardır:

Hücresel işlevler: Su hücrelerimizin düzgün çalışması için gereklidir. Besinlerin taşınmasına, atık ürünlerin atılmasına ve hücresel reaksiyonların gerçekleşmesine yardımcı olur.

Vücut sıcaklığının düzenlenmesi: Su terleme yoluyla vücut sıcaklığının düzenlenmesine yardımcı olur. Terleme, aşırı ısınmayı önler ve vücudumuzun serin kalmasını sağlar.

Sindirim: Su sindirim sisteminin düzgün çalışması için gereklidir. Besinlerin parçalanmasına ve besin maddelerinin emilmesine yardımcı olur.

Eklem sağlığı: Su eklemlerimizi yağlayarak ve kemiklerimizin korunmasına yardımcı olarak eklem hareketliliğinin ve esnekliğinin korunmasına yardımcı olur.

Yeterli su alımı, bilişsel işlevler üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Su eksikliği, konsantrasyon zorluğu, yorgunluk ve baş ağrısı gibi problemlere yol açabilir. Beynimizin %7'si sudan oluştuğu için, yeterli su alımı bilişsel fonksiyonların ve hafızanın korunması için kritik önem taşır. Su cildin nemli ve elastik kalmasına yardımcı olur. Yeterli su alımı, cildin kurummasını ve kırışmasını önler ve cilt sağlığının korunmasına katkıda bulunur. Suyun yetersiz alınması durumunda dehidrasyon olarak bilinen bir duruma yol açabilir. Dehidrasyon, baş ağrısı, yorgunluk, baş dönmesi, kas krampları ve kabızlık gibi birçok sağlık sorununa neden olabilir. Aşırı durumlarda dehidrasyon ölümcül bile olabilir.

2.9.2.2. Hayvanlar İçin Suyun Önemi

Su hayvanların vücutlarında birçok önemli işlevi yerine getirir. İnsanlara benzer şekilde hücresel işlevlerin (sindirim, vücut sıcaklığı düzenlenmesi, eklem sağlığı, idrar ve dışkılama) yerine getirilmesinde suyun önemi büyüktür. Su farklı hayvan grupları için farklı öneme sahiptir. Örneğin kara hayvanları için su hem içmek hem de serinlemek için gereklidir. Ayrıca, birçok kara hayvanı avlanmak ve yıkanmak için de suya ihtiyaç duyar. Deniz hayvanları için su, yaşam ortamıdır. Deniz hayvanları, solunum, beslenme ve üreme gibi tüm hayati fonksiyonlarını suda gerçekleştirir. Uçan hayvanlar için su hem içmek hem de vücut sıcaklığını düzenlemek için gereklidir. Ayrıca, birçok uçan hayvan suda yıkanmak ve tüylerini temizlemek için de suya ihtiyaç duyar.

2.9.2.3. Bitkiler İçin Suyun Önemi

Suyun bitkiler için önemi fotosentez, besin taşınması, hücre turgoru ve termoregülasyon gibi birçok önemli biyolojik süreç için gereklidir. Suyun bitkiler için önemi aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Bitkilerin güneş ışığını enerjiye dönüştürerek besin üretme süreci olan fotosentez, suyun varlığına bağlıdır. Bu süreçte su molekülleri, karbondioksiti glikoza (şeker) dönüştürmek için kullanılır. Suyun yokluğunda fotosentez gerçekleşemez ve bitkiler hayatta kalamaz.
- Su bitkilerde besin maddelerinin ve diğer moleküllerin taşınmasını sağlar. Vasküler sistem boyunca su akışı, besin ve oksijenin bitkinin tüm organlarına ve dokularına ulaşmasını sağlar. Bu sayede bitkiler, büyüme ve gelişme için gerekli besinleri alır.
- Hücre duvarları tarafından çevrili olan bitki hücreleri, su ile doludur. Bu sayede hücreler şeklini ve sertliğini korur. Su kaybı, hücre turgorunda azalmaya ve bitkinin solmasına neden olabilir. Yeterli su alımı, hücrelerin turgorunu korumak ve bitkinin dik durmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir.
- Bitkiler, suyun buharlaşması yoluyla termoregülasyon yapar. Bu işlem, transpirasyon olarak bilinir. Transpirasyon, bitkilerin aşırı ısınmasını önler ve yaprakların soğumasına yardımcı olur. Suyun buharlaşması sırasında, bitkiler termal enerji de kaybeder ve bu sayede ortam sıcaklığını düzenler.
- Besinlerin sindirimini ve emilimini kolaylaştırır.
- Tohumların çimlenmesini ve fidelerin büyümesini sağlar.
- Toprağı besin maddeleri ve mineraller açısından zenginleştirir.
- Bitkilerin zararlılara ve hastalıklara karşı direncini artırır.
- Toprağı erozyondan korur.

2.10. Sanal Su ve Uluslararası Su Ticareti

Sanal su, bir ürünün üretimi sırasında kullanılan su miktarını temsil eder. Bu su miktarı, ürünün yetiştirildiği veya üretildiği bölgedeki su kaynaklarından tüketilir. Örneğin bir meyveyi üretmek için kullanılan su miktarı, meyvenin yetiştirildiği bölgenin iklimine, sulama yöntemlerine ve diğer faktörlere bağlı olarak değişebilir.

Fiziksel olarak suyun ülkeler arasında taşınmasının zorlukları ve sürdürülemezliği göz önüne alındığında, 1993 yılında Allan tarafından ortaya atılan “sanal su” kavramı, su kaynaklarının yönetimi ve küresel ticaretin değerlendirilmesinde yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Sanal su hesaplamalarında iki temel yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar: Gerçek su kullanımı: Bu yaklaşımda bir ürünü üretmek için kullanılan su miktarı, ürüne özgü bir şekilde ölçülür ve hesaplanır. Hesaplama, üretim yeri, üretim yöntemi, zaman ve diğer faktörler göz önünde bulundurulur.

Alternatif su kullanımı: Bu yaklaşımda bir ürünün ithal edildiği ülkede üretilmiş olsaydı ne kadar su kullanımı olacağı hesaplanır. Bu hesaplama, ürünün ithal edildiği ülkenin iklim koşullarını, tarım uygulamalarını ve su kaynaklarını dikkate alır.

Sanal su kavramı, ülkelerin su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve küresel su ticaretinin çevresel etkilerini değerlendirmede önemli bir araçtır. Sanal su hesaplamaları, su zengini ülkelere su fakiri ülkelere yapılan tarım ürünleri ihracatının su kaynakları üzerindeki etkisini analiz etmemize olanak tanır (Katanalp, 2023).

Gelecekte su kaynaklarının kıtlığı, petrol kaynakları gibi jeopolitik gerilimlere yol açabilecek önemli bir küresel tehdit olarak görülmektedir (Swain, 2001). Bu bağlamda, “sanal su” kavramı ve sanal su ticareti, su zengini ve su fakiri ülkeler arasında iş birliğini ve sürdürülebilir su yönetimini teşvik etmek için önemli bir araç olarak ortaya çıkmaktadır (Katanalp, 2023).

Sanal su transferinin gerçek su transferine kıyasla birçok avantajı bulunmaktadır: Bunlar;

Daha az altyapı yatırımı: Sanal su transferi için boru hattı veya kanal gibi altyapı yatırımlarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sayede, yatırım maliyetleri önemli ölçüde azalmaktadır.

Daha az su kaybı: Gerçek su transferinde, buharlaşma ve sızıntı gibi nedenlerle su kayıpları oluşmaktadır. Sanal su transferinde ise bu tür kayıplar minimal düzeydedir.

Daha fazla esneklik: Sanal su ticareti, su ihtiyaçlarının mevsimsel ve bölgesel dalgalanmalarına göre kolayca uyarlanabilir.

Gelecekte su kaynaklarının kıtlığı, küresel barış ve istikrar için önemli bir risk oluşturmaktadır. Sanal su ve sanal su ticareti, bu riski azaltmak ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini teşvik etmek için önemli bir araç olarak kullanılabilir.

2.11. Suyun Kullanım Miktarları ve Alanları

Genel olarak dünyadaki su kullanım alanları tarım, sanayi, evsel ve diğer olarak gruplandırılmaktadır. Dünyadaki toplam su miktarı yaklaşık 1,386 milyar km³'tür. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütüne göre dünyadaki su kullanımının %70'i tarım kaynaklıdır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)'e göre dünya genelinde sanayi su kullanımında %10'luk bir paya sahiptir. Bu da yaklaşık 1.400 km³'lük bir değere denk gelmektedir. Kalan su kullanımları da evsel ve diğer su tüketimleridir. UNEP 2021 verilerine göre dünyada kişi başına yıllık su kullanımı 3.900 m³ olarak ölçülmüştür.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne (DSİ) göre Türkiye'nin toplam su kaynağının 114 milyar m³ olduğu belirtilmektedir. DSİ Türkiye su tüketiminin %71'inin tarım, %20'sinin sanayi, %9'unun ise evsel kullanıma bağlı olduğunu belirtmektedir. Dünya Su Kaynakları Enstitüsü'ne göre Türkiye su tüketiminde kişi başına yıllık su tüketiminin 1.050 m³ ile dünya ortalamasının altındadır.

2.12. Türkiye'nin Su İle İlgili Ulusal ve Uluslararası Anlaşmaları

Türkiye su kaynakları açısından stratejik bir konumda yer almaktadır. Bu nedenle hem ulusal hem de uluslararası alanda su ile ilgili birçok anlaşmaya taraf olmuştur.

2.12.1. Ulusal Su Anlaşmaları

Hatay Su Anlaşması: 1934 yılında Türkiye ve Suriye arasında imzalanan bu anlaşma Asi Nehri ve Ceyhan Nehri'nin sularının paylaşımını düzenlemektedir.

Seyhan-Dicle Su Paylaşımı Anlaşması: 1987 yılında Türkiye ve Suriye arasında imzalanan bu anlaşma, Seyhan ve Dicle Nehirlerinin sularının paylaşımını düzenlemektedir.

Menderes ve Büyük Menderes Havzaları Su Kaynaklarının Geliştirilmesi ve Kullanımı Anlaşması: 2008 yılında Türkiye ve Yunanistan arasında imzalanan bu anlaşma, Menderes ve Büyük Menderes Havzalarındaki su kaynaklarının ortak kullanımı ve geliştirilmesini düzenlemektedir.

2.12.2. Uluslararası Su Anlaşmaları

Cenevre Gölü Anlaşması: Cenevre Gölü'nün su kaynaklarının korunmasına ve sürdürülebilir kullanımına katkıda bulunmaktadır.

Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi: Türkiye 1982 yılında, bu sözleşmeye taraf olarak deniz sınırlarının ve deniz kaynaklarının paylaşımı ile ilgili uluslararası hukuku kabul etmiştir.

Tuna Havzası Su Koruma Sözleşmesi: Türkiye 1996 yılında bu sözleşmeye taraf olarak Tuna Nehri ve kollarının su kaynaklarının korunmasına ve sürdürülebilir kullanımına katkıda bulunmaktadır.

Helsinki Sözleşmesi: Türkiye 1997 yılında bu sözleşmeye taraf olarak Karadeniz'in deniz kirliliğinin önlenmesi ve korunmasına katkıda bulunmaktadır.

Birleşmiş Milletler Su Kursları Sözleşmesi: Türkiye 2003 yılında bu sözleşmeye taraf olarak uluslararası su yollarının korunmasına ve sürdürülebilir kullanımına katkıda bulunmaktadır.

2.13. Su Ayak İzi

Su ayak izi, Hollanda'daki Twente Üniversitesi Profesörü Dr. Arjen Hoekstra tarafından geliştirilmiş insanların seçimlerinin su üzerinde yarattığı etkiyi ortaya çıkaran bir göstergedir. Bir ürün veya hizmet üretmek için gereken su miktarının hammaddenin işlenmesinden, doğrudan operasyonlara ve tüketicinin ürünü kullanmasına kadar geçen süreci kapsar. Böylece su ayak izi kavramı hem doğrudan su kullanımını hem de üretim sürecindeki dolaylı su kullanımını hesaba katar (Türkiye'nin Su ayak izi raporu, 2014). Hoekstra (2011) su ayak izini doğrudan ve dolaylı olarak iki kriterde tanımlamaktadır. Doğrudan su ayak izi bir tüketicinin ya da üreticinin su tüketimini ve su kullanımına bağlı kirlilik değerini ifade etmektedir. Dolaylı su ayak izi ise tüketiciler tarafından tüketilen ürünlerin veya üretici tarafından su harici bütün girdilerin su ayak izlerinin toplamını ifade etmektedir.

Yakın geçmişe kadar üretim ve bertarafı süresince su tüketimi ve kirliliği dikkate alınmıyordu. Ancak bugün yaşanan su kirliliği ve azalması sorunlarından dolayı su tüketiminin ve kirliliğinin ölçülmesi gerektiğinin farkına varıldı. Bu yüzden üretilen ürün veya hizmet ürünlerinde su ayak izi hesabı yapılması gerekiyor. Bir ürünün su ayak izi ürünün sanal su içeriği veya ürünün saklı, gömülü, harici ya da gölge suyu diye adlandırılan farklı terimlerle benzerlik gösterir (Hoekstra ve Chapagain, 2008).

Tatlı su kaynaklarının büyük oranı kutuplarda ve yer altında bulunmaktadır. Bu sebeple canlıların ulaşabileceği tatlı su miktarı kısıtlı görünmektedir. Suyun kontrolsüzce tüketilmesini önlemek sürdürülebilir bir çevre anlayışının oluşturulabilmesi adına su ayak izi hesabı büyük önem taşımaktadır (Sütürmak, 2020). İkamesi mümkün olmayan suyun hızlı nüfus artışı, iklim değişiklikleri sebebiyle arzında azalma talebinde ise artış söz konusudur (Öztaş ve Çelikyay, 2018).

Su ayak izi mavi, yeşil ve gri olarak üç ana grupta incelenmektedir.

Mavi su ayak izi: Yüzey veya yer altı sularından çekilen, buharlaşan, üründe kalan, farklı bir kaynağa veya farklı bir zamanda aynı kaynağa geri dönen suyun miktarını gösterir.

Yeşil su ayak izi: Yağmurlarla toprağa düşen ve bitki kökleri tarafından emilen, depolanan ve buharlaşan ya da bitkinin kendi bünyesinde bulundurduğu sudur.

Gri su ayak izi: Bir tatlı su kaynağına doğrudan deşarj edilen noktasal kaynaklı bir kirlilik olabileceği gibi dolaylı olarak topraktan, geçirimsiz yüzeylelerden veya diğer yayılı kaynaklardan akma veya sızıntı yoluyla su kaynağına ulaşan bir kirlilik de olabilir (WFN, 2021).

“The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard” el kitabına göre su ayak izi hesaplamalarında mavi ve gri su ayak izi dağılımlı hesaplama yapılırken, ihtiyaç ve değerlendirme amaçlı belirlenen konular ile hesaplamalara yaklaşım yöntemleri aşağıda belirtilmiştir.

- Tatlı su hesaplamasında insan yaklaşımı,
- Bir işlem adımının su ayak izi,
- Bir ürünün su ayak izi,
- Bir tüketicinin veya tüketici grubunun su ayak izi,
- Coğrafi olarak belirlenmiş bir alandaki su ayak izi,
- Ulusal su ayak izi,
- Havzalar ve nehir havzaları için su ayak izi,
- Belediyeler, iller veya diğer idari birimler için su ayak izi,
- Bir işletmenin su ayak izi,

Burada “Bir işletmenin su ayak izi” işletmenin kapsamı ve sınırları belirlenerek (tedarik, üretim, dağıtım, bertaraf vb.) tüm alanlar için doğal ve insan kaynaklı etkilerinde kapsama alındığı su ayak izi hesaplaması olarak tanımlanmaktadır. Hesaplamalarda ise aşağıdan yukarıya yaklaşım ve yukarıdan aşağıya yaklaşım olarak iki tür yaklaşım vardır (Erçin ve Hoekstra, 2012).

2.13.1. Bireyin Su Ayak İzi

Bireyin su ayak izi, günlük yaşamında doğrudan ve dolaylı olarak kullandığı toplam su miktarını temsil eden bir göstergedir. Bu su sadece mutfak, banyo ve bahçelerde kullandığımız suyla sınırlı değildir. Tükettiğimiz gıdalar, kullandığımız enerji, satın aldığımız ürünler ve giydiğimiz kıyafetler gibi birçok farklı kaynaktan kullanılan su da su ayak izimizin bir parçasıdır.

Bireylerin oluşturduğu bire bir su tüketiminin yanında dolaylı su tüketimi (sanal su) de vardır. Örneğin Water Footprint Network: <https://waterfootprint.org/> verilerine göre bir kilogram et üretmek için ortalama 15.000 litre su gerekir. Buda et tüketerek dolaylı olarak bu kadar su kullandığımız anlamına gelir. Benzer şekilde, bir bardak kahve için 140 litre, bir tişört için 2.700 litre ve bir bilgisayar için 4.000 litre su kullanılır.

Bireyin su ayak izini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlardan en önemlileri şunlardır:

Beslenme: Et ve süt ürünleri gibi su yoğun gıdaların tüketimi su ayak izini önemli ölçüde artırır.

Enerji kullanımı: Fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi su kaynaklarını en çok sömüren faaliyetlerden biridir.

Satın alınan ürünler: Giysi, elektronik ve mobilya gibi ürünlerin üretimi sırasında büyük miktarda su kullanılır.

Yaşam tarzı: Duş süresi, çamaşır ve bulaşık makinesi kullanımı, bahçe sulama gibi günlük alışkanlıklar da su ayak izine katkıda bulunur.

Bireylerin su ayak izi, sadece kendi su kullanımını ile sınırlı değildir. Tüketilen ürünler ve yaşam tarzı da dolaylı olarak su kaynaklarını etkilemektedir. Yediklerimize ve yaşam tarzımıza bağlı olarak su ayak izimizin daha büyük veya daha küçük olması mümkündür. Bu nedenle, su ayak izimizi azaltmak için bilinçli seçimler yapmak ve daha sürdürülebilir bir yaşam tarzı benimsemek önemlidir. Su ayak izi hem yerel hem de küresel boyutlara sahiptir. Yaşadığımız yere bağlı olarak kullandığımız suyun kaynağı ve miktarı değişebilir. Örneğin, kurak bölgelerde yaşayan insanlar su kaynakları sınırlı olduğundan daha az su kullanabilirler (Mekonnen ve Hoekstra, 2010).

2.13.2. Ülkenin Su Ayak İzi

Bir ülkenin su ayak izi bir ürünün, bir şirketin veya bir ülkenin üretimi ve tüketimi sırasında kullanılan toplam su miktarını gösteren bir göstergedir. Bu sadece doğrudan kullanılan suyla sınırlı değildir, aynı zamanda sanal su olarak adlandırılan dolaylı su tüketimini de kapsar. Sanal su, bir ürünün üretimi sırasında başka bir yerde kullanılan sudur. Dünya Su Ayak İzi Ağı raporlarına göre ABD’de kişi başına düşen yıllık ortalama su ayak izi 2.842 metreküptür. Bu bir olimpik yüzme havuzunu doldurmak için gereken su miktarına eşdeğerdir. Başka bir deyişle, ABD’de yaşayan ortalama bir kişi günde 7.786 litre su tüketmektedir. Bu yüksek su ayak izi, ABD’nin et ve süt ürünleri gibi su yoğun gıdaların yüksek tüketimine, sanayileşmeye ve geniş yaşam alanlarına sahip olmasına bağlanabilir. Çin’de kişi başına düşen yıllık ortalama su ayak izi 1.071 m³’tür. Bu kişi başına günlük 2.934 litre su tüketimine denk gelir. ABD’ye kıyasla Çin’in su ayak izi daha düşüktür. Bu durum, Çin’de et ve süt ürünleri tüketiminin daha az olması, tarımsal sulamada daha verimli tekniklerin kullanılması ve daha küçük yaşam alanlarına sahip

olunmasına bağlanabilir (Mekonnen and Hoekstra, 2011). Bir ülkenin su ayak izi üretimin su ayak izi ve tüketimin su ayak izi olarak iki ana bileşenden oluşur.

2.13.2.1. Üretimin Su Ayak İzi

Üretimin su ayak izi, bir ülke sınırları içinde mal ve hizmet üretmek için kullanılan yerel su kaynaklarının miktarını temsil eder. Bu tarım, sanayi ve evsel su kullanımını içerir ve bize ülke sınırları içinde kullanılan toplam su hacmini gösterir. Üretimin su ayak izi bilinmesinin önemi olarak aşağıdakiler sıralanabilir.

- Yerel su kaynaklarının tüketimini ölçer.
- Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanılıp kullanılmadığını belirlemenin temelini oluşturur.
- Bir ülkenin gıda ve su güvenliğine ilişkin riskleri değerlendirmemize yardımcı olur.

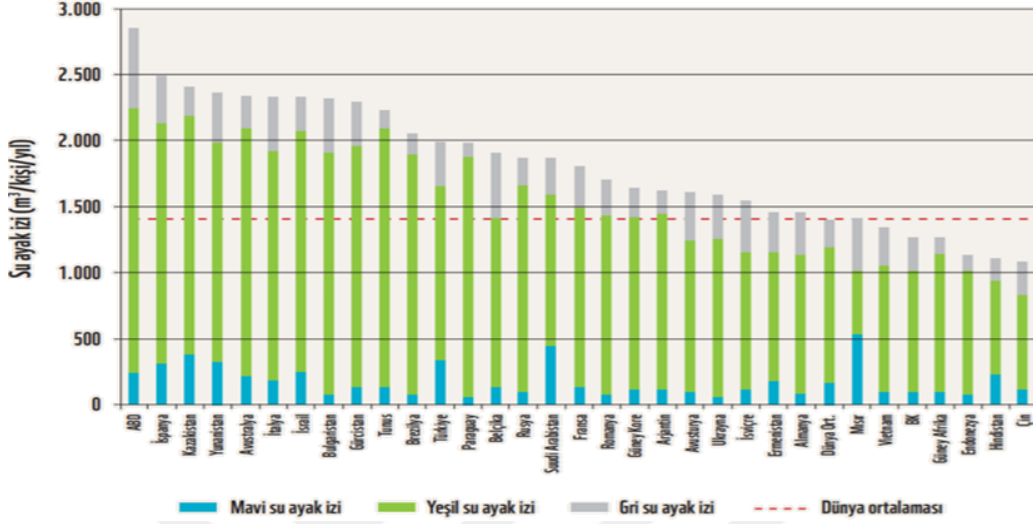
2.13.2.2. Tüketimin Su Ayak İzi

Tüketimin su ayak izi, bir ülkede yaşayan insanların tükettiği tüm mal ve hizmetler için hesaplanır. Bu su ayak izi, ürünlerin yerel olarak üretilmesine veya ithal edilmesine bağlı olarak kısmen ülke içinde ve kısmen dışında olabilir. Tüketimin su ayak izi bilinmesinin önemi olarak aşağıdakiler sıralanabilir.

- Bir ülkenin yaşam standardını ve yaşam tarzı tercihlerini yansıtır.
- Ne kadarının kendi sınırları içinde olduğunu ve ne kadarının ülke dışındaki suyun oluşturduğunu gösterir.
- Bir ülkenin dışarıdaki suya bağımlılığını ve bunun gıda ve diğer güvenlik biçimleri üzerindeki etkisini değerlendirmemize yardımcı olur.

Bir ülkenin su ayak izi o ülkenin su kaynaklarının kullanımı ve yönetimi hakkında bilgi edinmek için önemli bir araçtır. Üretim ve tüketim su ayak izlerini ayrı ayrı analiz etmek, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için gerekli adımları atmamıza yardımcı olur. Bir ülkede yaşayan bireylerin tükettiği tüm mal ve hizmetler için hesaplanan su ayak izi hesaplamasında ürünlerin, yerel olarak üretilip üretilmemesine veya ithal edilip edilmemesine bağlı olarak kısmen ulusal sınırlar içinde ve kısmen dışında gerçekleşir. Tüketim temelli su ayak izi, bir ülkenin sakinlerinin yaşam standartlarını ve tercihlerini yansıtır. Bu izin içindeki yerel ve uluslararası bileşenlerin ayrımı, ülkenin dışarıya olan su bağımlılığını ve bu durumun gıda güvenliği ve diğer alanlardaki etkilerini değerlendirmeyi sağlar (Hoekstra, 2011).

Ülkelerin su ayak izi hesaplamalarına bir örnek olarak 1996 ile 2005 yılları arasında ülkelerin kişi başına düşen tüketimin su ayak izi hesaplanmış, dünya ortalaması ile kıyaslanarak Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. 1996-2005 yılları ülkeler bazında tüketimin su ayak izi (Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu, 2014)

2.13.3. Ürünün Su Ayak İzi

Bir ürünün su ayak izi, o ürünün üretiminin tüm aşamalarında kullanılan su miktarını temsil eder. Bu sadece doğrudan kullanılan suyla sınırlı değildir, aynı zamanda hammaddelerin yetiştirilmesi, işlenmesi, taşınması ve nihai ürünün üretilmesi sırasında kullanılan dolaylı su tüketimini de kapsar. Örneğin bir kot pantolonun su ayak izi o ürünü üretmek için gereken her adımın su ayak izinin toplamıdır. Pamuk yetiştiriciliği, pamuk işleme, kumaş üretimi, dikiş, yıkama ve son aşamadaki nakliye gibi her adımda kullanılan su miktarı, kot pantolonun toplam su ayak izini oluşturur (Mekonnen and Hoekstra, 2011). Bu adımlardaki su tüketim nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Pamuk yetiştiriciliği: Pamuk, su yoğun bir bitkidir ve yetiştirilmesi için önemli miktarda su gerekir. Kurak bölgelerde pamuk yetiştiriciliği, su kaynakları üzerinde daha da fazla baskı yaratmaktadır.

Pamuk işleme: Pamuk ipliğine dönüştürülmeden önce çeşitli işlemlerden geçer. Bu işlemler sırasında da önemli miktarda su ve kimyasallar kullanılır.

Kumaş üretimi: Pamuk ipliğinden kot pantolon kumaşı üretmek için boyama, dokuma gibi işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemler de su ve enerji tüketir.

Dikiş ve yıkama: Kot pantolonun dikilmesi ve yıkanması sırasında da su kullanılır.

Nakliye: Kot pantolonun üretim yerinden tüketicilere ulaştırılması için de nakliye sırasında fosil yakıtlar kullanılır ve bu da dolaylı olarak su ayak izine katkıda bulunur.

Sonuç olarak bir ürünün su ayak izi, o ürünün tatlı su kaynakları üzerinde ne kadar baskı yarattığını gösteren bir göstergedir. Kot pantolon örneğinde görüldüğü gibi, tek bir ürünün üretimi için bile önemli miktarda su kullanılmaktadır.

Ürünün su ayak izine örnek olarak Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporunda (2014) bulunan bazı ürünlerin su ayak izi sonuçları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı ürünlerin su ayak izi

Cins	Ölçü	Su ayak izi (L)
Porsiyon kırmızı et	200 gr	3.100
Porsiyon beyaz et	200 gr	780
Ekmek	1 dilim	40
Kahve	1 bardak	208
Çay	1 bardak	30
Süt	1 bardak	200
Pilav	1 porsiyon	150
Küp şeker	1 adet	7,5
Peynir	75 gr	375
Patates cipsi	200 gr	185
Bira	1 bardak	75
Şarap	1 kadeh	120
Hamburger	1 adet	2.400
Portakal	1 adet	50
Portakal suyu	200 ml	170
A4 kağıt	1 adet	10
Deri ayakkabı	1 çift	8.000

2.13.4. Hayvanların Su Ayak İzi

Hayvansal ürünlerin üretimi, dünya çapında önemli miktarda su kullanılmaktadır. Bu nedenle su kaynaklarını korumak için hayvansal ürünlerin su ayak izini anlamak ve azaltmak önemlidir. Hayvanların su ayak izi bir hayvansal ürünün üretimi ve tüketimi sırasında kullanılan toplam su miktarını temsil eder. Bu sadece doğrudan kullanılan suyla sınırlı değildir, aynı zamanda yem üretimi, hayvan bakımı ve ürün işleme gibi dolaylı su tüketimini de kapsar. Hayvanların su ayak izinin hesaplanması için kullanılan temel yöntem, yemlerin dolaylı su ayak izi ve hayvanın tükettiği içme suyu ve servis suyu ile ilgili doğrudan su ayak izini toplamaktır. Yemlerin hayvansal su ayak izi, çeşitli yem bileşenlerinin su ayak izi ve yemi karıştırmak için kullanılan sudan oluşur. Tüketilen yem miktarı, hayvan türüne, üretim sistemine ve ülkeye göre değişir (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Hayvan kaynaklı su ayak izini etkileyen faktörler;

Üretim sistemi: Üretim sisteminin türü, hayvan kaynaklı su ayak izinin boyutunu, bileşimini ve coğrafi yayılımını önemli ölçüde etkiler. Endüstriyel üretim sistemleri, daha verimli sistemler kullanarak daha düşük hayvan kaynaklı su ayak izine sahip olabilir.

Yem dönüşüm verimliliği: Yem dönüşüm verimliliği, üretilen hayvansal ürün birimi başına tüketilen yem miktarıdır. Daha yüksek yem dönüşüm verimliliği, daha düşük hayvan kaynaklı su ayak izi anlamına gelir.

Yem bileşimi: Konsantre yemlerin yemdeki payı arttıkça hayvan kaynaklı su ayak izinin de artar.

İklim ve tarım uygulamaları: Kurak iklimler ve kötü tarım uygulamaları, hayvan kaynaklı su ayak izini artırabilir.

Hayvancılık sektörünün su kaynakları üzerindeki etkisi incelendiğinde 1996-2005 yılları arasında küresel hayvancılık sektörünün toplam su ayak izinin yılda 2.422 milyar metreküp olduğu tespit edilmiştir. Bu su ayak izinin büyük çoğunluğunu (%98) hayvanların tükettiği yemlerin üretimi oluşturmaktadır. Hayvanların içme suyu, temizlik suyu ve yem hazırlama suyu kullanımı ise toplam su ayak izinin içerisinde oldukça düşük bir orana sahiptir (%1,93). Su ayak izi bileşenleri açısından ise yeşil su en yüksek paya sahiptir (%87,2). Bu hayvancılıkta kullanılan suyun çoğunlukla yağmura dayalı kaynaklardan (nehirler, göller) karşılandığını göstermektedir. Mavi su kullanımı (%6,2) ve kirli su ayak izi (%6,6) ise daha düşük oranlardadır. Hayvanların otlatılması, su ayak izi içerisinde en yüksek paya sahip bileşendir (%38). Bunu mısır (%17) ve yem bitkileri (%8) takip etmektedir (Mekonnen ve Hoekstra, 2012).

Hayvan yemi üretiminin su ayak izi ve tarımsal su kullanımı üzerindeki etkisi incelendiğinde hayvan yemi üretiminin toplam su ayak izi yılda 2.376 milyar metreküptür ve bu değer büyük çoğunluğu bitkisel kaynaklardan (%61) gelmektedir. Bu bilgi, hayvan yemlerinin su ayak izini azaltmak için otlatma gibi alternatiflerin araştırılmasının faydalı olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, hayvan yemi üretiminin tarımsal su kullanımına önemli bir katkı sağladığı görülmektedir. Yem bitkilerinin su ayak izi, toplam bitki üretimi su ayak izinin %20'sine ulaşmaktadır. Dahası sulama için kullanılan suyun tahmini %12'si hayvan yemi üretimi için harcanmaktadır. Bu durum, su kıtlığı yaşanan bölgelerde hayvancılık ile su yönetimi stratejileri arasında potansiyel bir çatışmaya işaret etmektedir (Mekonnen ve Hoekstra, 2012).

Farklı hayvancılık üretim sistemlerinin ve hayvan kategorilerinin su ayak izi üzerindeki etkisi incelendiğinde sığır eti üretiminin hayvancılık sektörünün su ayak izine en yüksek (%33) katkıda bulunan kategori olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, sığır

eti üretiminin su yönetimi stratejilerinde öncelikli olarak ele alınması gerektiğini düşündürmektedir. Diğer taraftan, araştırma sonuçları hayvan başına su ayak izi açısından önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Örneğin piliç eti üretimi sığır eti üretimine kıyasla daha düşük bir su ayak izine (%11) sahiptir. Bu bilgiler, tüketicilerin daha sürdürülebilir gıda seçimleri yapmaları açısından ve su kıtlığı yaşanan bölgelerde hayvancılık faaliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından üretim sistemlerinin optimize etmesinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Mekonnen ve Hoekstra, 2012).

2.13.5. Kurumun Su Ayak İzi

Bir kurumun su ayak izi kurumun faaliyetleri boyunca kullandığı ve kirlettiği toplam tatlı su miktarını gösteren bir göstergedir. Bu sadece doğrudan kullanılan suyla sınırlı değildir, aynı zamanda sanal su olarak adlandırılan dolaylı su tüketimini de kapsar. Sanal su bir ürünün üretimi sırasında başka bir yerde kullanılan sudur. Bir kurumun su ayak izini hesaplamak için doğrudan ve dolaylı su kullanımlarını hesaplamak gerekir. Doğrudan su kullanımı kurumun tesislerinde kullanılan suyun (musluk suyu, sulama suyu, endüstriyel su vb.) miktarı hesaplanır. Dolaylı su kullanımı ise kurumun faaliyetleri için satın aldığı ürünlerin ve hizmetlerin üretimi sırasında kullanılan su miktarı hesaplanır. Kurumlar her ne kadar doğrudan su kullanımına odaklanmış olsalar da dolaylı su kullanımları doğrudan su kullanımlarından daha fazladır. Dolayısıyla su ayak izini azaltmak isteyen kurumlar doğrudan su kullanımlarını azaltmanın yanında dolaylı su kullanımlarını da hesaplayarak azaltmanın yoluna gitmelidirler.

2.14. Su Ayak İzinin Hesaplanmasına Dair Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Türkiye'deki üretimin su ayak izi, ülkedeki su kullanımının niteliğini ve sürdürülebilirliğini değerlendirmede önemli bir göstergedir. Türkiye’de 2014 yılında üretim kaynaklı su ayak izinin yaklaşık 139,6 milyar m³/yıl olduğu tespit edilmiştir. Bu su ayak izinin %64’ü yeşil su ayak izinden oluşurken, %19’u mavi su ayak izi ve %17’si gri su ayak izi ile ilişkilendirilmektedir. Türkiye’de tüketimin su ayak izi yaklaşık 140,2 milyar m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu tüketimden kaynaklanan su ayak izinin %66.2’si yeşil su ayak izi, %17’si mavi su ayak izi ve %17’si gri su ayak izine tekabül etmektedir. Tüketimin su ayak izinin en büyük payı %89 ile tarımdan gelmektedir; endüstriyel su kullanımı ise %6’sını, evsel su kullanımı ise %5’ini oluşturmaktadır (Türkiye’nin Su Ayak İzi Raporu, 2014).

Tarım ve Orman Bakanlığı web sitesi üzerinden (suverimliliği.gov.tr) su verimliliği üzerine detaylı bilgiler vermekte ve bir su ayak izi hesap makinesini kullanıcılara sunmaktadır. Türkiye’deki su ayak izi çalışmaları, su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimi için önemli bir odak noktası haline gelmiştir. Çalışmalar genellikle su kullanımının ölçümü, analizi ve etkilerinin belirlenmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Türkiye’de yapılan çalışmaların bazı örnekleri aşağıdaki verilmiştir.

Türkiye’nin 2014 tarihli “Türkiye’nin Su Ayak İzi Raporunda” üretim ve tüketimin, ihracat ve ithalatın su ayak izi hesaplanmıştır. Rapor Türkiye’nin mevcut su kaynaklarına bağımlı olduğunu ve bazı ürünleri ithal ettiğini, aynı zamanda suya çok ihtiyaç duyan ve yüksek katma değerli ürünleri ihraç ettiğini belirtmektedir. Ayrıca, su kaynaklarının üretim ve tüketim üzerindeki etkilerini analiz edebilmek için buldukları havzanın çok yönlü olarak incelenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Su sıkıntısı yaşayan bir havzada çıkan yüksek su ayak izi değerinin içme suyu erişimine, yüzeysel suların kurumasına ve türlerin yok olma riskine neden olabileceği ifade edilirken, su açısından zengin bir havzada ise su ayak izinin etkisinin daha az olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle değerlendirme yapılırken birçok faktörün bir arada ele alınması gerektiği vurgulanmıştır (Kutlu, 2022).

Atıksu arıtma tesislerinde su ayak izi hesaplamalarını inceleyen bir tez çalışmasında, belirlenen bir tesis örneği seçilmiş ve uygulama sonuçlarına yönelik bir değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışmada, yeşil su ayak izinin toplam su ayak izine sadece %0,35 etkisi olduğu bulunmuştur. Bu sonuç arıtma tesisleri için yapılan diğer su ayak izi araştırmalarında yeşil su ayak izinin dikkate alınmasının gerekli olmadığını desteklemektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre, toplam su ayak izinin %29’u mavi su, %71’i ise gri su ayak izinden oluşmaktadır. Bununla birlikte tesise giren her 1 m³ atık suyun su ayak izi değeri 0,777 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak bu ayak izi atıksu arıtma tesisinin suyu arıtmak için kullandığı su miktarıyla karıştırılmamalıdır. Bu tanım için ayrı bir gösterge oluşturulmuş ve değeri 0,238 m³ olarak belirlenmiştir. Bu gösterge değerinin %94’ü mavi su ayak izinden oluşmaktadır (Çankaya, 2019).

Fırat Havzasındaki bitkisel ve hayvansal üretim ile evsel ve endüstriyel su kullanımlarının mavi, yeşil ve gri su ayak izleri ilçe bazında hesaplanan tez çalışmasında, uzun vadeli iklim verisi, kişi başı su tüketimi ve son 11 yıllık ortalama yağış verisi gibi faktörler kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Fırat Havzasının toplam su ayak izi miktarının 28.01 milyar m³ olduğu analiz edilmiştir. Tarımsal üretimin toplam su ayak izi içindeki payı %90 olarak belirlenmiş olup, tarımsal üretimin toplam su ayak

izi miktarı 25.29 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Yeşil su ayak izi 6.33 milyar m³, mavi su ayak izi 15.89 milyar m³ ve gri su ayak izi ise 3.07 milyar m³ olarak bulunmuştur (İraz, 2021).

Türkiye’de pamuk üretiminin su ayak izini inceleyen bir tez çalışmasında, Şanlıurfa, Aydın, Hatay, Diyarbakır, Adana ve İzmir illerinde pamuk bitkisinin yetiştirilmesindeki su ayak izi hesaplanmıştır. 2016 ve 2018 yıllarında yapılan çalışmalarda, pamuk yetiştirilmesi sürecinde kullanılan mavi su (sulama suyu), yeşil su (yağmur suyu) ve toplam su ayak izi hesaplanmıştır. Bu çalışmaya göre ülkemizde pamuğun yağışlarla karşılanan yeşil su ihtiyacı ortalama olarak 95 mm olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde pamuğun yetiştirilmesi sürecinde birim hektar başına toplam su ayak izi 2016’da ortalama 17.746 m³/ha, 2018’de ise 16.059 m³/ha olarak hesaplanmıştır. Pamuk üretiminin yıllık toplam su ayak izi ise 2016’da 3,3 milyar m³, 2018’de ise 4,4 milyar m³’e yükselmiştir. Yıllık toplam su ayak izinin yaklaşık %4’ü yeşil su ayak izi bileşeninden, %96’sı ise mavi su ayak izi bileşeninden oluşmaktadır. 1 ton pamuğun yetiştirilmesi sürecindeki toplam su ayak izi 2016’da ortalama 1.782 m³/ton, 2018’de ise %14 artış göstererek 2.029 m³/tona yükselmiştir (Engin, 2019).

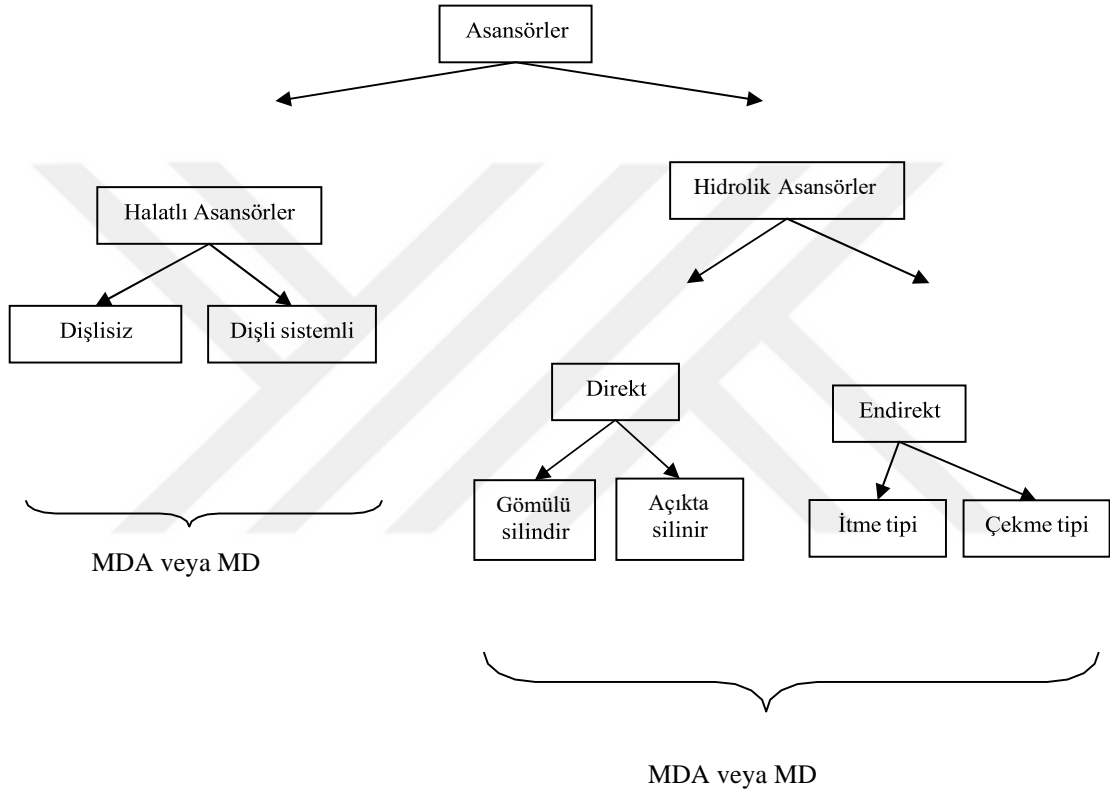
2.15. Metal Sektörü

2020 yılı verilerine göre dünya genelinde çelik üretiminde ilk sırayı Çin alırken onu Hindistan ve Japonya izlemektedir. Türkiye çelik üretiminde 35,8 milyon ton üretim ile Avrupa’nın en büyük üreticisi olurken dünyada 7. konuma yükselmiş ve üretim hacminde %6 artış sağlamıştır (Sürdürülebilirlik Vizyonu, 2021). Çelik üretim sürecinde yüksek sıcaklıklarla çalışılması ve indirgeyici madde olarak karbon kullanılması doğadaki CO₂ salınımı açısından oldukça önemlidir. CO₂ salınımlarından da kaynaklanan küresel ısınmanın önüne geçebilmek adına metal sektöründe CO₂ salınımı kontrolü oldukça önemlidir. Bu kapsamda çelik üreticilerinin de sürdürülebilir üretim kapsamında alacağı tedbirler ile doğal kaynakları verimli kullanmaları, doğal kaynak tüketimini azaltmaya yönelik çalışmalar yapmaları rekabetlerinin bir gereği haline gelecektir.

2.16. Asansör Sektörü

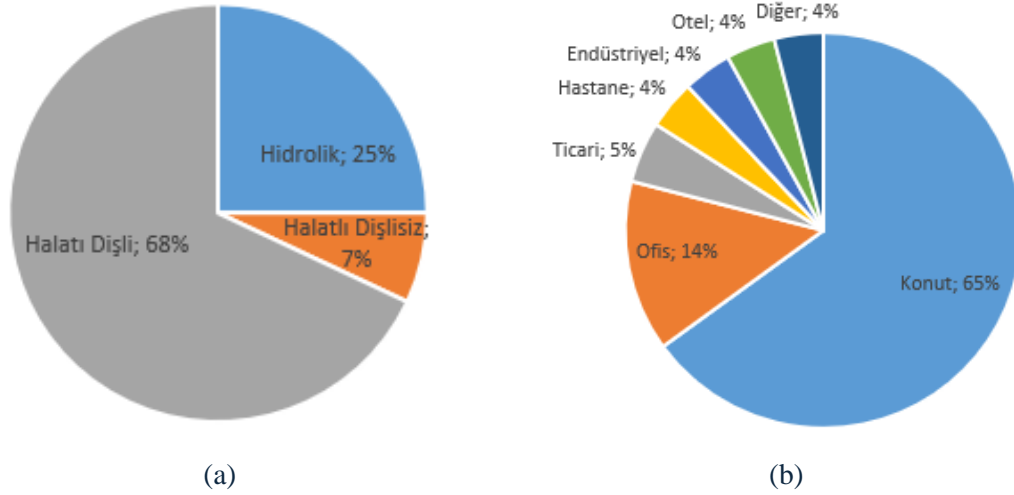
Asansör binalarda dikey taşımacılık için kullanılan elektrik, elektronik ve mekanik ekipmanlardır. İlk defa 1857 yılında Otis firması tarafından New York’ta yapılan asansörler bağlı olduğu standartlara sıkı sıkıya uygun olan sistemlerdir. Sektörde üretilen ürünün de sürekli bir kontrolü mevcut olan asansör sektöründe güncellenen

mevzuatlar ve teknolojilere ayak uydurmak, sürdürülebilirliği sağlamak zorundadır. Asansörlerin tahrik sistemlerine göre sınıflandırılması Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Bu sınıflandırmada, karşı-ağırlık ve VVVF sürücü (asansör uygulamalarında hız kontrollerini yapan sürücü) kullanan halatlı asansörler, enerjiyi en verimli olarak kullanan asansörler olarak bilinmektedir (Çelik, 2012). Daha küçük motor gücüne ihtiyaç duyan karşı ağırlık ve VVVF sürücülü sistemlerin konvansiyonel halatlı asansör sistemlerine göre enerji tüketimi %21-%24 oranında daha az hesaplanmaktadır (Çelik, 2008).



Şekil 2.6. Asansörlerin tahrik sistemlerine göre sınıflandırılması

Şekil 2.7'de (a) asansör tipi ve (b) bina çeşidine göre asansörlerin AB'deki yüzde dağılımları görülmektedir. Makina dairesiz asansörlerin son 10 yıl içindeki artışına ve hidrolik asansörlerin Avrupa'da önemli bir düşüş göstermesine rağmen, hidrolik asansörlerin Avrupa'da %25'lik bir paya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kuzey Amerika'da önemli oranda hidrolik asansör kullanıldığı düşünüldüğünde, dünya genelindeki hidrolik asansör kullanımının bu oranın çok üzerinde olduğu değerlendirilebilir (Çelik, 2010).



Şekil 2.7. AB’de asansör tipi (a) ve bina çeşidine (b) göre asansör kullanım oranları

Asansörlerin tarihi insanlığın ulaşım ihtiyaçlarına cevap verme çabalarıyla şekillenmiştir. Antik çağlardan bu yana insanlar kendi gücüyle veya hayvanların yardımıyla yükleri veya kendilerini yukarı taşımak için basit asansör benzeri mekanizmalar kullanmışlardır. Ancak modern asansör teknolojisinin temelleri 19. yüzyılın ortalarında endüstriyel devrimin etkisiyle atılmıştır. Günümüzde asansör sektörü hızla büyümekte ve gelişmektedir. Şehirleşme sürecinin hızlanması, yüksek katlı binaların inşası ve yaşam tarzlarının değişimi asansör talebini artırmıştır. Teknolojik ilerlemeler asansörlerin daha güvenli, enerji verimli ve kullanıcı dostu olmasını sağlamıştır.

Ülkemizde asansör sektörü, aksam imalatı, asansörün tesis edilmesi (montaj) ve bakım ve onarım olmak üzere üç ana alanda faaliyet göstermektedir. AB mevzuatına uyum çerçevesinde ülkemizde başlayan belgelendirme faaliyetleri ve asansörlerin yıllık kontrollerine ilişkin yapılan tüm çalışmalar, sektörün gelişimine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu alanda yetişmiş, tecrübeli çalışan sayısı her geçen gün artmaktadır. Aksam imalatı, tamamen makine imalatının bir uzmanlık alanı olarak kabul edilmektedir. Montaj işleri, mühendislik ve müteahhitlik hizmetlerini içermekte olup; çeşitli fabrikalarda üretilen aksamların kullanılarak asansörün montaj sürecinin gerçekleştirilmesini kapsar.

AB teknik mevzuatının Türk Mevzuatına dâhil edilmesi ve uluslararası standartların “Türk Standardı” olarak kabul edilmesiyle birlikte EN 81 ailesi harmonize standartlar Türk Standardı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca söz konusu standartlardaki değişiklikler Avrupa Birliği bünyesinde yer alan üye devletlerle eş zamanlı olarak

uygulamaya alınmaktadır. Bu çerçevede TS EN 81-1/2 +A3 standartları 01.01.2012 tarihinden itibaren yürürlüğe girmiş bulunmaktadır (Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, 2022).

Ülkemizde üretilen önemli asansör güvenlik aksamaları; hız regülatörü, fren bloğu, hidrolik ve yaylı tamponlar ve kapı kilit tertibatlarıdır. Kabin, makina-motor grubu, tam ve yarı otomatik kabin ve kat kapıları, halat, kumanda kartı, kumanda panosu, kılavuz ray, gösterge elemanları, kata getirme sistemi, kat ve kabin butoniyerleri, aşırı yük sistemi, kabin ve karşı ağırlık süspansiyonları, hidrolik silindir, dişlisiz makina, fotosel, hız kontrol cihazları, kumanda sistemleri, paten, sensor, ray konsolları, denge zinciri, şalter, VVVF invertör, halat aparatları, kasnak, sistemler (makina dairesiz sistemler) gibi diğer ana bileşenlerin tamamı Türk asansör sektörü tarafından yerli ürün olarak üretilmektedir.

Genel itibarıyla, Türk asansör sektörünün aksam imalatına bakıldığında, elektrik tahrikli bir asansörün tesis edilebilmesinde dışa bağımlılık söz konusu değilken, hidrolik tahrikli bir asansörün tesis edilebilmesinde dışa bağımlılık mevcuttur. Hidrolik tahrikli bir asansörün imalatında, hidrolik güç ünitelerinin önemli bir üretim unsuru olduğu görülmektedir ve ağırlıklı olarak bu ünitelerin %90'ı paket ünite olarak ülkemize ithal edilmektedir. Türk asansör sektörü, Türkiye'de 1950'lerden sonra hareket kazanmış ve tamamen ithalat yoluyla ihtiyaçların karşılandığı bir sektör yapısından sıyrılarak kademeli olarak asansör montajı ve aksam imalatında yerli üretimin arttığı bir sektör yapısına dönüşmüştür. Özellikle 1990'lardan sonra artan asansör talebine karşılık olarak büyümesini ve gelişimini sürdürmektedir (Asansör Sektör Raporu, 2022).

2021 yılı sanayi sicil kayıtlarına göre asansör üretici firma sayısı 2.723'tür. Bunun yanında aynı tarihteki verilere göre üretici ve montajcılar ile birlikte toplamda 32.026 kişi istihdam edilmektedir (Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Sicil Kayıtları, 2021).

Hızlı nüfus artışı, kente göçüş, doğal afetler, kentsel dönüşüm gibi nedenlerden dolayı kentleşme hızlanmış, kentleşmesinin hızına bağlı olarak yapılan bina sayısı artmıştır. Aynı zamanda Türkiye Cumhuriyeti mevzuatlarına göre üç kat ve üstü binalarda asansör yapımı zorunlu hale geldiğinden asansör yapımı, montajı ve servis organizasyonu da ciddi bir artış göstermiştir. Sanayi Sicil Kanunu kapsamında, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı sanayi sicil kayıtlarında yıllık işletme cetveli verenler arasında yer alan 2.337 adet asansör montaj ve asansör aksam imalat firmasından alınan veriler neticesinde, sektörün geneli için toplam elektrik tüketiminin 116.512.183 kw/h olduğu görülmüştür (Asansör Sektör Raporu, 2018).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada metal sektörü işyeri faaliyetinden kaynaklanan salınımları ve tüketimleri belirlemek amacıyla karbon ayak izi ve su ayak izi envanteri çıkartılıp hesaplanması hedeflenmiştir.

3.1. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

Karbon ayak izi hesabında hesaplamalar için Uluslararası Yerel Yönetimler Sera Gazı Salımlarının Analizi Protokolü (IEAP) referans alınmış ve verilerin analizi, hesaplanması ve raporlanmasında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kılavuzu kullanılmıştır. Öncelikle asansör üretimi sırasında sera gazı emisyonuna neden olan çıktılar belirlenmiş, yıllık tüketimler de göz önünde bulundurularak IPCC metodolojisinde yer alan değerler ile hesaplamalar yapılmıştır.

3.1.1. IPCC Metodolojisi

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından geliştirilen IPCC metodolojisi sera gazı emisyonlarını ve emisyon azaltımını hesaplamak için kullanılan bir dizi teknik ve kılavuzdan oluşmaktadır. Karbon ayak izini hesaplariken kullanılan verilerin çeşitliliğine göre Tier-1, Tier-2 ve Tier-3 hesaplama yöntemleri kullanılabilir. Tier-1 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli kılavuzundaki emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi dikkate alınarak yapılan, yakıt cinsi ve miktarına göre emisyon değeri kullanarak sonuca ulaşılan hesaplama yöntemidir (Karbon Emisyonu = Faaliyet Verisi x Emisyon Faktörü).

Tier-2 hesaplama yapılan bölgeye özgü emisyon faktörleri ve parametrelerin gerektiği hesaplama yöntemidir. Tier-1 ile benzer hesaplama yöntemi olmakla birlikte hesaplama yapılan bölgeye özgü emisyon faktörleri kullanılmaktadır (Karbon Emisyonu = Faaliyet Verisi x Emisyon Faktörü).

Tier-3 diğer yöntemlere göre daha fazla veri gerektiren bu yöntemde hesaplama yapılan tesisin spesifik bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Hesaplama yapmak için kullanılacak yakıtın tipi, yakma teknolojisi, çalışma şartları, bakım kalitesi, yakıtı yakan ekipmanın yaşı gibi verilerin uzun süreli sonuçları ile hesaplama yapılmasını gerektiren bir yöntemdir. Tier-3 yöntemi hesaplama yapılacak tesiste üretilen ürünün veya hizmetin

yaşam döngüsünü kapsar. Bu yöntemde hesaplanan ürün ya da hizmetin hammadde tedariki, üretim, dağıtım, kullanım ve atık aşamaları da dahil edilir.

Asansör üretim fabrikasının karbon ayak izini hesaplarken Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin sunduğu Tier-1 yöntemi ve 2023 yılına ait atık verileri, doğalgaz tüketim verileri, elektrik tüketim verileri, su tüketim ve atıksu verileri, yakıt tüketim verileri kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

3.2. Su Ayak İzi Hesaplama Yöntemleri

Su ayak izi kavramı 2003 yılında Hoekstra tarafından ilk kez ortaya atılmış ve 2011 yılında Su Ayak İzi Ağı (WFN) tarafından geliştirilmiştir. Su ayak izini hesaplamak için birden fazla yöntem mevcuttur. Bunlardan ilki WFN'nin belirlediği yöntemdir. Bu yöntem bir mal veya hizmet üretmek için kullanılan tüm su miktarını kapsar ve hacimsel bir değerlendirmeye dayanır (Pfister ve ark., 2017). Bu yöntem, tedarik zinciri ve üretim süreçlerinin su kaynakları üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılır. WFN yönteminde su ayak izi üç temel bileşenden oluşur. Bunlar:

Mavi su ayak izi: Doğrudan su kaynaklarından çekilen tatlı su miktarını temsil eder.

Yeşil su ayak izi: Yağış suyunun kullanımının miktarını temsil eder.

Gri su ayak izi: Kirli suyun doğal kalitesine döndürmek için gerekli olan su hacmini ifade eder (Hoekstra, 2015).

$$WF_{\text{Toplam}} = WF_{\text{Mavi}} + WF_{\text{Yeşil}} + WF_{\text{Gri}}$$

Su ayak izi WFN kapsamına göre dört aşamadan gerçekleşmektedir. Bunlar:

Ürünün sınırının tanımlanması: Bu aşamada, su ayak izi hesaplamasına hangi süreçlerin dahil edileceğini belirleyen sınır tanımlanır. Sınır, ürünün hammadde tedarikinden başlayıp tüketiciye ulaşmasına ve atılmasına kadar olan tüm aşamaları kapsayabilir. Örneğin bir sebzenin su ayak izini hesaplarken tohum ekiminden başlayarak bakliyesine, satışına ve atılmasına kadar olan süreci kapsar

Su verisinin toplanması: Ürün sınırının her bir aşaması için kullanılan su miktarı belirlenir. Bu bilgi, üretim tesislerinden su faturalarından, su sayaçlarından veya diğer veri kaynaklarından elde edilebilir. Veri toplama aşamasında, kullanılan suyun kaynağı (mavi, yeşil veya gri su) ve suyun kalitesi (kirlilik seviyesi) gibi bilgiler de toplanmalıdır. Örneğin sebzenin yetiştirildiği alanda kullanılan su faturalarının bilinmesi gerekmektedir.

Hesaplama: Toplanan su verileri kullanılarak su ayak izi hesaplanır. Hesaplama WFN tarafından geliştirilen formüller ve araçlar kullanılarak yapılır. WFN yöntemi, su ayak izini mavi, yeşil ve gri su ayak izi bileşenlerine göre ayrı ayrı hesaplar ve toplam su ayak izini verir.

Sonucun yorumlanması: Hesaplanan su ayak izi sonuçları yorumlanır ve değerlendirilir. Yorumlamada su ayak izinin büyüklüğü, ürün veya hizmetin türüne, üretim veya tüketim bölgesine ve kullanılan üretim teknolojilerine göre değerlendirilir. Su ayak izi sonuçları ürün veya hizmetin çevresel etkisi hakkında bilgi verebilir ve daha sürdürülebilir üretim ve tüketim uygulamaları geliştirmek için kullanılabilir.

Su ayak izi çalışmalarında bu aşamaların tamamının uygulanması zorunlu değildir. WFN tarafından geliştirilen bu yöntem kesin sınırları olan bir rehber olmaktan ziyade bir kılavuz olarak nitelendirilmiştir (Hoekstra ve ark., 2011).

İkinci bir yöntem olarak Pfister ve ark. (2017) tarafından geliştirilen Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) temelli su ayak izi hesaplama yöntemidir. LCA yöntemi ile su ayak izi hesaplaması 2014 yılında ISO 14046 standardı ile ilk kez standartlaştırılmıştır (Hoekstra, 2016). Bu standarda göre, su ayak izi; suyla alakalı çevresel faktörlerin ölçüldüğü süreçler olarak tanımlanmıştır. Su ayak izi değerlendirmesi ise bir ürün, süreç veya organizasyonun su tüketimi veya suyla olan etkileşimi ile ilgili girdi, çıktı ve çevresel etkilerinin belirlendiği ve değerlendirildiği yöntem olarak tanımlanmıştır.

LCA yöntemde su ayak izinin değerlendirilmesi dört aşamadan oluşmaktadır.

Hedef tanımlanması: Hangi ürün veya hizmetin su ayak izinin hesaplanacağı tanımlanır.
Envanter oluşturulması: Ürün veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca kirlettiği su miktarı belirlenir. Örneğin üretilen bir ürün için hammaddenin oluşumundan var ise aracı firmaya, üretilmesinden paketlenerek tüketiciye ulaşmasına kadar olan süreçteki verileri toplamayı içerir

Etki değerlendirilmesi: Ürün veya hizmetin üretimi için ikinci adımda belirlenmiş olan su tüketimi, su kirliliği, su kaynakları ile bunların çevre üzerindeki etkileri değerlendirilir.

Sonuçların yorumlanması: Sonuçlara bakılarak su ayak izini azaltmak için yapılması gerekenlerin yorumlanması sürecidir. Bu süreç ile birlikte sürdürülebilir bir ürün veya hizmet tasarlamak veya mevcut ürün veya hizmetin sürdürülebilirliğinin sağlanması yorumlanabilir.

WFN yöntemi ile LCA yönteminin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Su ayak izi hesaplamalarındaki WFN ile LCA yöntemleri kıyaslaması

Özellik	WFN Yöntemi	LCA Yöntemi
Uygunluk	Küçük işletmeler	Büyük işletmeler
Zaman	Düşük	Yüksek
Maliyet	Düşük	Yüksek
Karmaşıklık	Basit	Karmaşık
Veri erişimi	Kolay	Zor
İşletmeye özgülük	Düşük	Yüksek

Bu çalışmada örnek verilen asansör üretimi sırasında üretilen ürün için proses kaynaklı bir su tüketimi yapılmamaktadır. Asansör fabrikası örneğinde mavi su ayak izi hesabı, kullanılan su miktarına buharlaşma da eklenerek yapılacaktır. Buharlaşma hesabında fabrikanın m² cinsinden açık alanı ile Meteoroloji Genel Müdürlüğünün 1938-2017 arası verileri kullanılarak ortalama açık yüzey buharlaşma miktarı dikkate alınacaktır.

Buharlaşma m³/yıl = Açık yüzey buharlaşma x Fabrika açık alanı x Suyun özgül ağırlığı

Asansör fabrikası örneğinde yeşil su ayak izi hesabı yapılırken yağış miktarı üzerinden yapılacaktır. Fabrikanın m² cinsinden açık alanı ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünün 1938-2017 arası verileri kullanılarak toplam yağış miktarı dikkate alınacaktır.

$W_{\text{yeşil}} \text{ m}^3/\text{yıl} = \text{Yıllık toplam yağış miktarı} \times \text{Fabrika açık alanı} \times \text{Suyun özgül ağırlığı}$

3.3. Metal Sektörü Asansör Üretim Fabrikası

Konya yüzölçümü bakımından Türkiye’nin en büyük kenti olmakla beraber nüfusu açısından da Türkiye’nin altıncı büyük kenti konumundadır. Sanayileşmenin her geçen sene arttığı kentte otomotiv başta olmak üzere kırktan fazla sektörde üretim yapan sanayi kuruluşları bulunmaktadır. Kuruluşu 1976 yıllarında olan Konya Organize Sanayinde özellikle otomotiv yedek parça, metal, döküm, makine ile tarım makineleri ekipmanları ağırlıklı olmak üzere, inşaat, plastik, gıda, ambalaj, dorse, mobilya, ahşap ürünleri gibi yirmi altı ana sektör ve diğer sektörler ile toplam 40 sektörde üretim yapan ve yaklaşık 52 bin kişinin istihdam edildiği sanayi kuruluşları bulunmaktadır.

1953 yılında kentleşme çalışmalarına öncülük edecek, insanların yaşam kalitesini yükseltecek yapılar kurmak amacıyla kurulan bir işyerine bağlı olarak Şubat 2021’de faaliyete geçen insan asansörü ve yürüyen yol üretimi amaçlı metal sektöründe yer alan asansör üretim fabrikası, yılda 5.000 asansör ve 500 yürüyen yol/merdiven üretmeyi hedeflemektedir. 17.000 m² kapalı alana kurulu olan fabrika 2 MW kurulu güç ile çatı güneş panellerinden elektrik üretmektedir. Üretimi sırasında hammadde olarak siyah sac, galvaniz sac, çeşitli kalitelere paslanmaz sac kullanılan fabrikada üretimi destekleyecek kimyasallar kullanılmaktadır. Üretimden kaynaklı kaynak gazı havalandırması emisyonunun olduğu fabrikada doğalgaz, elektrik ve su tüketimi olmaktadır.

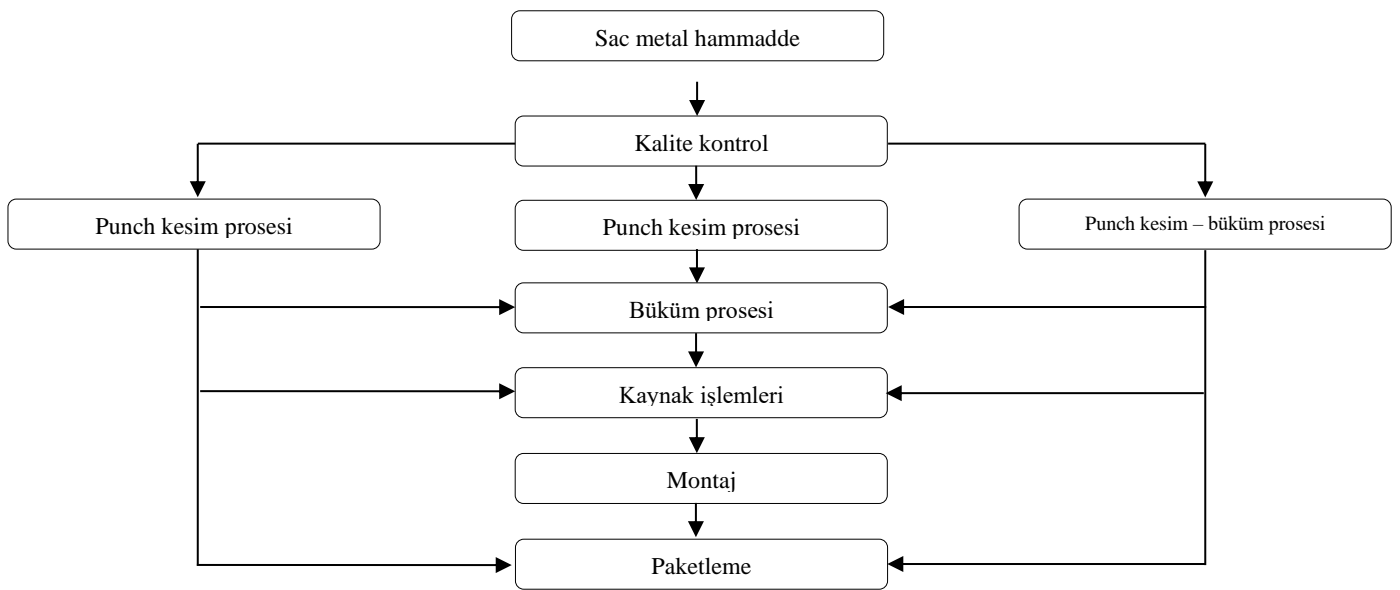
Çalışmada karbon ayak izi hesabı yapılacak asansör fabrikası 17.000 m² kapalı, 13.502 m² açık alandan oluşan bir fabrikadır. 88 çalışana sahip fabrika, asansör kabini, asansör kapısı, motor şasesi üretmekte, güvenlik komponentleri, ray, fren, asansör motoru, tampon, buton, denge zinciri ve diğer ekipmanlarını temin ederek fabrikada paketlemektedir. Fabrikada güneş enerjisi santrali olarak çatı GES panelleri kurulmuştur. GES sistemi 2 MW kurulu güce sahiptir. Fabrikanın üretim alanı, depolama alanları ve çalışanlar için sosyal alanları gösteren fabrika yerleşim planı Şekil 3.1’de fabrika yerleşim plan detayı ise Çizelge 3.2’de verilmiştir. Fabrikanın üretim akış şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Asansör üretim fabrikası yerleşim planı

Çizelge 3.2. Asansör üretim fabrikası yerleşim plan detayı

Bölüm no	Bölüm /Makine
3	Ray ve profil kesme
4	Yedek malzeme ve hammadde
5	Lazer
6	Bükme
7	Kaynak
8	Punch ve kesme hattı
9	Panel üretim hattı
10	Sistem montaj hattı
11	Ambalaj / kabin test
12	Sac deposu
13	Showroom
14	ÜR&GE ve bakım
15	Kazan dairesi
16	Personel bina panosu
17	Dx bataryaları
18	Su deposu
19	Ana dağıtım panosu
20	Jeneratör / OG odası
21	Kompresör
22	Kalite kontrol GKK
23	Atık alanı
24	Sevke hazır ürün deposu
25	Personel bina sistem odası
26	İdari bina sistem odası
27	Yemekhane
28	Ekafe
29	Test kulesi
30	Güvenlik kulübesi
31	Bahçe ve sosyal alanlar
32	Arge alanı

**Şekil 3.2.** Asansör fabrikası üretim akış şeması

Atık alanı fabrikadaki üretimden kaynaklanan hurda, fire siyah sac, paslanmaz sac, galvaniz sacların metal hurda atıkları, kağıt karton atık, plastik atık, ahşap atık, cam atık, metal ambalaj atığı, endüstriyel yağ atığının bulunduğu geri dönüştürülebilir atık alanı bulunmaktadır. Aynı zamanda tehlikeli kontamine atık, elektronik atık, pil batarya atığı ve kartuş toner atığının da bulunduğu tehlikeli atık konteyneri bulunmaktadır.

Bükme alanı sac metal hammaddeyi bükerek istenen forma getiren bir sac şekillendirme tezgahlarıdır. Tez konusu olan örnek işyerine 3 adet abkant pres vardır. Fabrikada 2 adet 3 metre 1 adet 4 metre abkant pres bulunmaktadır. 0,5 mm ile 15 mm arası sacları işleme kapasitesine sahiptir. Örnek işyerinde abkant preslerde asansör kabini, asansör motor şasesi, asansör kabin kat kapısı paneli, asansör kabin kapısı paneli, asansör taban tavan ürünleri ve alt bağlantı komponentleri, kuyu konsolları bükülmektedir. Kaynak atölyesi asansör üretimi için gerekli olan kaynaklı komponentler S235JR siyah sacdan üretilerek kesim – büküm operasyonlarından sonra kaynak işlemine tabi tutulur ve ardından galvanizleme için dış tedarikçiye gönderilir. Kaynak alanında gaz altı sinerjik kaynak makinesi ve karışım gazı kullanılmaktadır.

Jeneratör alanı olası elektrik kesintilerine karşı fabrikada 800 kW kapasitesinde 2 adet jeneratör bulunmaktadır. Lazer tezgah cam tüp veya metal tüp içerisindeki lazer kaynağına elektrik vererek ışın halini almasını sağlayan, oluşan ışını ayna ve merceklerle istenilen alana taşıyıp bu alandaki materyalin (metal, ahşap, pleksi, cam vb.) istenilen ölçü de kesim, kazıma veya yakılması işlemini yapan makinedir. Fabrikada bulunan lazer kesim tezgahı 6 kW gücünde 0,5 mm ile 30 mm arası çelik sac, titanyum, bakır, alüminyum, pirinç, krom malzemeleri 2 metreye 4 metre ebatlarında hammaddeden kesebilmektedir.

Montaj alanı fabrikada iki adet montaj hattı bulunmaktadır. Bir tanesi manuel montaj masaları diğeri ise robotik otomatik montaj masaları olarak geçmektedir. Manuel montaj masalarında asansör karakaşı, asansör motor makine şasesi, asansör tavan ekipmanları montajı, asansör taban ekipmanları montajı, asansör taşıyıcı halat kesimi işlemleri yapılmaktadır. Paketleme alanı üretilen asansör ekipmanları ile dış tedarikçilerden gelen asansör ekipmanlarının paketlenildiği alandır. Montaja gönderilen bir asansör paketinin içerisinde şu malzemeler bulunmaktadır: Acil durum asansörü kabin içi ve kabin çatısı merdiveni, asansör ağırlık karkası, asansör denge zinciri, asansör kabin buton yeri ve kat butonu, asansör kabin kapısı, asansör kabin karkası, asansör kabin operatörü, asansör kat kapısı, asansör kat mekanizması, asansör kılavuz rayı ve flanş

bağlantısı, asansör motor şasesi, asansör motoru, asansör patenleri, asansör saptırma kasnağı, asansör yağ toplama haznesi, çözülebilen ve çözülemeyen bağlantı elemanları, halat şişeleri, hız regülatörü, kabin üstü korkuluk, karşı ağırlık, kaymalı fren tertibatı, kumanda panosu, kuyu bağlantı konsolları, kuyu dibi merdiveni, kuyu içi aydınlatma ekipmanları, mekanik sabitleme, poliüretan - hidrolik tampon ve kaidesi.

Panel üretim alanı punch ve kesim tezgahından çıkan ürünler otomasyon sistem desteğiyle yönlendirilen yarı mamulleri çözülemeyen bağlantı elemanları vasıtasıyla montajı gerçekleştirilir. Montajı gerçekleştirilen ürünler kutuya yerleştirilir. Punch-kesim ve büküm tezgahı punch tezgahı, metal levhaları veya levhaları şekillendirmek, delmek, bükme veya kesme gibi işlemler için kullanılan bir tür metal işleme tezgahıdır. Fabrikada bulunan tezgah tam otomasyon hat sistemiyle çalışarak yüksek verim sağlamaktadır. Ürettiği ürünleri vereceği üretim hattı ile yazılımsal olarak haberleşmek suretiyle çalışmaktadır. Ray alanı ray, asansörün kuyu içerişinde aşağı yukarı hareketine klavuzluk yapan komponenttir. Kapasiteye göre farklı ebatlarda kesim yapılmaktadır. Test kulesi 42 metre boyunda, 4 asansör kuyusunun bulunduğu asansör test kulesinde üretilmiş olan veya tedarik edilen asansör ekipmanlarının Ar-Ge'si yapılmakta ve denenmektedir. Yedek malzeme ve hammadde alanı hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin depolandığı alandır.

Fabrika günlük olarak 5 asansör üretim kapasitesi ile çalışmaktadır. Çizelge 3.3'te 2023 yılında fabrikada üretilen asansör adetleri verilmiştir. 2023 yılında 780 adet asansör üretimi ve sevkiyatı gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.3. 2023 yılında üretilen asansör adetleri

Aylar	Asansör üretimi (adet)
Ocak	18
Şubat	27
Mart*	0
Nisan	35
Mayıs	48
Haziran	82
Temmuz	56
Ağustos	65
Eylül	55
Ekim	95
Kasım	113
Aralık	186
Toplam	780

*Kahramanmaraş merkezli Şubat 2023 depreminden dolayı Mart 2023 döneminde asansör üretimine ara vererek yaşam konteyneri üretimi yapmıştır.

3.3.1. Fabrika Çevre Yönetim Sistemleri

Fabrikada ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi uygulanmaktadır ve 04.11.2021 tarihli temel seviye Sıfır Atık Belgesi vardır.

3.3.2. Tesis Verileri

Karbon ayak izi hesaplaması için ihtiyaç duyulan veriler kapsamında asansör üretim fabrikasına ait 2023 yılı fabrika üretiminden ve çalışanlardan kaynaklanan geri dönüştürülebilir ve bertarafa gönderilen atık bilgileri Çizelge 3.4'te, doğalgaz tüketimi Çizelge 3.5'de, elektrik tüketimi Çizelge 3.6'da, su tüketimi Çizelge 3.7'de, yakıt tüketimi ise Çizelge 3.8'de verilmiştir. Çizelge 3.9'da karbon ayak izi hesaplaması için kullanılacak emisyon değerleri, Çizelge 3.10'da karbon ayak izi hesaplaması için kullanılacak emisyon faktörleri, Çizelge 3.11'de ise hesaplamalarda kullanılan dönüşüm değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı atık miktarları

Aylar	Kağıt karton (kg)	Plastik atık (kg)	Tehlikeli atık (kg)
Ocak	680	320	0
Şubat	360	325	215
Mart	680	600	0
Nisan	510	0	4.280
Mayıs	1.000	1.650	0
Haziran	550	440	0
Temmuz	0	0	1850
Ağustos	0	260	500
Eylül	0	320	2
Ekim	2.160	300	1.215
Kasım	1.520	440	0
Aralık	2.880	1.180	780
Toplam	10.340	5.830	8.842

Çizelge 3.5. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı doğalgaz tüketimi

Aylar	Doğalgaz (kWh)	Doğalgaz (m ³)
Ocak	148.132	13.922
Şubat	146.052	13.727
Mart	72.259	6.786
Nisan	37.280	3.492
Mayıs	8.805	8.211
Haziran	5.121	478
Temmuz	5.528	500
Ağustos	5.027	460
Eylül	5.486	498
Ekim	6.597	620
Kasım	35.101	3.299
Aralık	86.844	8.162
Toplam	562.232	60.155

Çizelge 3.6. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı elektrik üretimi ve tüketimi

Aylar	Elektrik üretimi (kW)	Elektrik tüketimi (kW)	Şebekeden elektrik tüketimi (kW)
Ocak	128.210,50	101.773,18	0
Şubat	130.370,00	70.235,87	0
Mart	213.415,00	98.125,00	0
Nisan	221.352,00	53.100,42	0
Mayıs	280.958,00	78.164,78	0
Haziran	266.076,50	28.384,43	0
Temmuz	256.770,00	93.617,64	0
Ağustos	99.745,50	147.486,90	47.741,40
Eylül	127.673,00	124.386,29	0
Ekim	102.960,00	107.620,74	4.660,74
Kasım	92.035,50	132.515,52	40.480,02
Aralık	110.474,00	132.212,78	21.738,78
Toplam	2.030.040,00	1.167.623,55	114.620,94

Çizelge 3.7. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı su tüketimi

Aylar	Su tüketimi (m ³)
Ocak	186
Şubat	147
Mart	578
Nisan	1.363
Mayıs	1.300
Haziran	903
Temmuz	2.045
Ağustos	1.533
Eylül	1.247
Ekim	1.064
Kasım	922
Aralık	337
Toplam	11.625

Çizelge 3.8. Asansör üretim fabrikası 2023 yılı yakıt tüketimi

Aylar	Benzin (L)	Motorin (L)
Ocak	322,33	421,44
Şubat	181,94	180,91
Mart	198,99	700,96
Nisan	134,95	491,46
Mayıs	182,73	329,47
Haziran	229,58	358,63
Temmuz	271,21	511,74
Ağustos	335,01	889,16
Eylül	450,40	698,72
Ekim	400,94	670,29
Kasım	680,98	652,97
Aralık	531,65	827,62
Toplam	3.920,71	6.733,37

Çizelge 3.9. Karbon ayak izi hesaplaması için kullanılacak emisyon değerleri (Sawant 2015, Michiel ve ark, 2006, Sera Gazı Protokolü, 2017)

Cins	Değerler	Birim
Atıksu miktarı	0,3	CH ₄ kg/m ³
Atıksu miktarı	0,005	kg N ₂ O-N/m ³
Elektrik kullanımı	0,856	kg CO ₂ eq/kWh
Kağıt karton atığı	0,928	kg CO ₂ eq/kg
Plastik atık	2,154	kg CO ₂ eq/kg
Su tüketimi	0,0014	kg CO ₂ eq/L
Tehlikeli atık	0,021	kg CO ₂ eq/kg
Benzinli araç	2,2717926	CO ₂ kg/l
Benzinli araç	0,00032782	CH ₄ kg/l
Benzinli araç	0,000196692	N ₂ O kg/l
Motorin araç	2,676492	CO ₂ kg/l
Motorin araç	0,0003612	CH ₄ kg/l
Motorin araç	0,00021672	N ₂ O kg/l
Doğalgaz kullanımı	1,88496	CO ₂ kg/m ³
Doğalgaz kullanımı	0,000168	CH ₄ kg/m ³
Doğalgaz kullanımı	0,00000336	N ₂ O kg/m ³

Çizelge 3.10. Karbon ayak izi hesaplaması için kullanılacak emisyon faktörleri (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli 5. Raporu, 2014)

Parametre	Emisyon faktörü
CO ₂	1
CH ₄	28
N ₂ O	265

Çizelge 3.11. Dönüşüm değerleri

Değer	Dönüşüm değeri
kg N ₂ O-N	44/28 kg N ₂ O
1 m ³	1000 L
1 kWh	1000Wh
1 kg	1000 g
1 L	1000 ml
1 ton	1 m ³
1 ton	1000 kg

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Asansör Üretim Fabrikası Karbon Ayak İzi Hesaplamaları

4.1.1. Asansör Fabrikası 2023 Yılı Atıklar Kaynaklı Karbon Ayak İzi Sonuçları

Asansör fabrikası 2023 yılı atık miktarı, C emisyon faktörü ve CO₂ eşdeğeri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Gelen hammaddelerin ambalajlanmasında ve montaja giden ürünlerin ambalajlanmasında kullanılan kağıt, karton atıklarının 2023 yılında oluşturduğu karbon ayak izi 9,595 ton CO₂’dir. Plastik atıklar daha çok ürünlerin shrinklemesinde kullanılan naylon ambalajların firelerinden kaynaklanmaktadır. Plastik atıklar için karbon ayak izi 2023 yılında 12,557 ton CO₂ olarak hesaplanmıştır. Tehlikeli atıklar daha çok silikon tüpleri ve varilleri olarak görülmektedir. Makine bakım yağlarının da bu gruba girerek oluşturduğu 2023 yılı tehlikeli atık karbon ayak izi 0,185 ton CO₂ olarak hesaplanmıştır. 2023 yılında fabrikada atıklar kaynaklı toplam karbon ayak izi 22,337 ton CO₂ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Atık kaynaklı karbon ayak izi sonuçları

Atık türü	Atık miktarı (kg)	C Emisyon faktörü (kg CO ₂ eq/kg)	CO ₂ eşdeğeri (ton CO ₂ /yıl)
Kağıt karton atığı	10.340	0,928	9,595
Plastik atık	5.830	2,154	12,557
Tehlikeli atık	8.842	0,021	0,185
Toplam			22,337

4.1.2. Atıksu ve Su Kaynaklı Karbon Ayak İzi Sonuçları

Fabrikada üretilen ürünlerin prosesinde su kullanılmaktadır. Ayrıca çalışanların ihtiyacı kaynaklı su kullanımı ve tüketimi mevcuttur. 2023 yılında fabrikada tüketilen su miktarı 11.625 m³ oluşan atıksu miktarı ise 11.625 m³ olmuştur. Çizelge 4.2’de su tüketimi kaynaklı, Çizelge 4.3’te ise atıksu kaynaklı oluşan C emisyon değerleri ve CO₂ eşdeğeri verilmiştir. Fabrikanın 2023 yılı su tüketimi kaynaklı karbon ayak izi 16,275 ton CO₂, atıksu kaynaklı karbon ayak izi 33,969 ton CO₂ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Su tüketimi kaynaklı karbon ayak izi sonuçları

	Su miktarı (m ³)	C Emisyon faktörü (kg CO ₂ eq/L)	CO ₂ eşdeğeri (ton CO ₂ /yıl)
Su tüketimi	11.625	0,0014	16,725

Çizelge 4.3. Atıksu kaynaklı karbon ayak izi sonuçları

Emisyon türü	Atıksu miktarı (m ³)	C Emisyon faktörü (kg CO ₂ eq/kg)	CO ₂ eşdeğeri (ton CO ₂ /yıl)
CH ₄ emisyonu	11625	0,3 kg CH ₄ /m ³	9,765
N ₂ O emisyonu	11625	0,005 N ₂ O-N/m ³	24,204
Toplam			33,969

4.1.3. Doğalgaz Tüketimi Karbon Ayak İzi Sonuçları

Fabrikada ısınma kaynaklı doğalgaz tüketilmektedir. Ofislerin ve 17.000 m² alanın çalışma şartlarının çalışanlar için uygun olacağı şekilde ısıtılmaktadır. Fabrikada doğalgaz tüketimi kaynaklı karbon ayak izi sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu 2023 yılında fabrikada 60.155 m³ doğalgaz tüketimi olmuş ve bu tüketim sonucunda 113,724 ton CO₂ oluşmuştur.

Çizelge 4.4. Doğalgaz tüketimi kaynaklı karbon ayak izi sonuçları

Emisyon türü	Tüketim miktarı (m ³)	C Emisyon faktörü (kg/m ³)	CO ₂ eşdeğeri (ton CO ₂ /yıl)
CO ₂ Emisyonu	60.155	1,88496	113,389
CH ₄ Emisyonu	60.155	0,000168	0,282
N ₂ O Emisyonu	60.155	0,00000336	0,053
Toplam			113,724

4.1.4. Elektrik Tüketimi Karbon Ayak İzi Sonuçları

Fabrikada GES ile elektrik üretimi sağlanmakta ve üretilen elektriği anlık olarak fabrikada kullanılmaktadır. Mevsimlere göre yetersiz kaldığında ise fabrika şebekeden elektrik kullanılmaktadır. Elektrik makineler, tezgahlar, aydınlatma gibi alanlarda kullanılmaktadır. Fabrikada 203 yılında 114.620,94 kWh elektrik tüketimi gerçekleşmiştir. Çizelge 4.5’te yapılan hesaplamalarda 2023 yılında elektrik tüketimine bağlı 98,115 ton CO₂ karbon oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Elektrik tüketimi kaynaklı karbon ayak izi sonuçları

	Tüketim miktarı (kWh)	C Emisyon faktörü (kg CO ₂ eq/kW)	CO ₂ Eşdeğeri (ton CO ₂ /yıl)
Elektrik tüketimi	114.620,94	0,856	98,115

4.1.5. Ulaşım Araçları Kaynaklı Karbon Ayak İzi Sonuçları

Fabrikada 3 tanesi motorin yakıtlı, 2 tanesi benzin yakıtlı olmak üzere toplam 5 araç vardır. Aynı zamanda 6 panelvan tipi personel servisi çalışanların ulaşımı için kullanılmaktadır. Ulaşım için kullanılan araçlarda 2023 yılından 26.056,73 L motorin, 3.920,71 L benzin tüketimi olmuştur. Çizelge 4.6'da ulaşım için kullanılan araçlar kaynaklı karbon ayak izi sonuçları görülmektedir. Motorin ve benzinli araçlar için 2023 yılı için ulaşım kaynaklı karbon ayak izi 79,144 ton CO₂ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. Ulaşım için kullanılan araçlar kaynaklı karbon ayak izi sonuçları

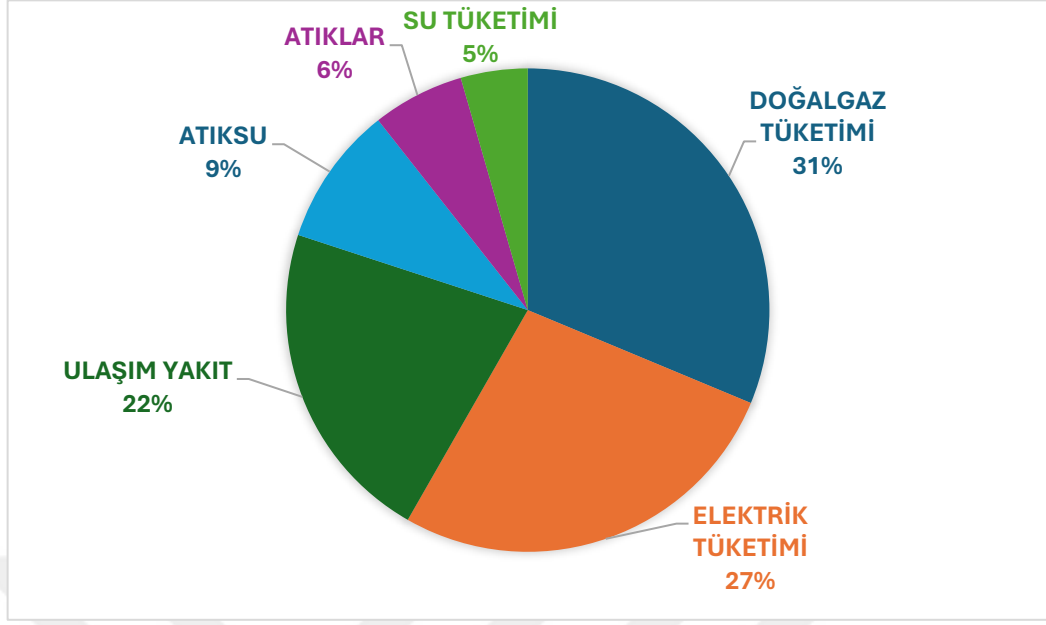
Emisyon türü	Tüketim miktarı (L)	C emisyon Faktörü (kg/L)	CO ₂ Eşdeğeri (ton CO ₂ /yıl)
Motorinli araç CO ₂ emisyonu	26.056,73	2,676492	69,74
Motorinli araç CH ₄ emisyonu	26.056,73	0,0003612	0,263
Motorinli araç N ₂ O emisyonu	26.056,73	0,000021672	0,14953
Benzinli araç CO ₂ emisyonu	3.920,71	2,2717926	8,907
Benzinli araç CH ₄ emisyonu	3.920,71	0,00032782	0,035
Benzinli araç N ₂ O emisyonu	3.920,71	0,0000196692	0,02
Toplam			79,144

Çizelge 4.7'de atıklar, su tüketimi, atıksu, doğalgaz tüketimi, elektrik tüketimi, ulaşım araçları için yakıt kaynaklı oluşan emisyon değerleri verilmiştir. Fabrikada CO_{2eq} emisyonları atıklar için 22,337 CO_{2eq}, su tüketimi için 16,275 CO_{2eq}, atıksu için 33,969 CO_{2eq}, doğalgaz tüketimi için 113,724 CO_{2eq}, elektrik için tüketimi için 98,115 CO_{2e}, ulaşım araçları için kullanılan yakıt kaynaklı 79,114 CO_{2eq}, olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Asansör fabrikası 2023 yılı emisyon değerleri

Kaynak türü	CO ₂ (ton/yıl)	CH ₄ CO _{2eq} (ton/yıl)	N ₂ O CO _{2eq} (ton/yıl)	Toplam (ton/yıl)
Kağıt atık	9,595	-	-	9,595
Plastik atık	12,557	-	-	12,557
Tehlikeli atık	0,185	-	-	0,185
Su tüketimi	16,275	-	-	16,275
Atıksu	-	9,765	24,204	33,969
Doğalgaz tüketimi	113,389	0,282	0,053	113,72
Elektrik tüketimi	98,115	-	-	98,115
Motorin tüketimi	69,74	0,263	0,149	70,152
Benzin tüketimi	8,907	0,035	0,02	8,962
Toplam	799,345	10,345	24,426	363,534

Şekil 4.1'de asansör fabrikası 2023 yılı CO₂ emisyon dağılımı değerleri görülmektedir. Fabrikada en yüksek emisyon değerinin doğalgaz tüketimi, elektrik tüketimi ve ulaşım için tüketilen yakıtlar kaynaklı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Asansör fabrikası 2023 yılı CO₂ emisyon dağılımı

17.000 m² alanda bulunan çalışma ortamı ve ofislerin ısıtılması için doğalgaz kullanılmaktadır. Üretim ve depo alanlarının yalıtımsız olduğunu düşünürsek ısı kaybının çok olmasından kaynaklı doğalgaz tüketiminin fazla olduğu anlaşılmaktadır. Fabrikanın çatısında 2 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santrali bulunmaktadır. Üretilen elektrik her ne kadar güneşlenmenin çok olduğu aylarda tüketime yetse de güneşlenmenin az olduğu aylarda elektrik tüketime yetişememektedir. Siparişin fazla olduğu zamanlarda yapılan 3. vardiya çalışmaları da elektrik tüketimini ciddi etkilemektedir. Fabrikaya çalışanların iki vardiya çalışma sisteminde geliş gidişleri ile bazı fabrika çalışanlarının kullandığı araçların yakıtlarından kaynaklanan yakıt kaynaklı CO_{2eq} emisyonu üçüncü sırada emisyon kaynağı olarak görünmektedir.

4.2. Asansör Üretim Fabrikası Su Ayak İzi Hesaplamaları

4.2.1. Mavi Su Ayak İzi Hesaplaması

Fabrikada kuyu suyu kullanılmamaktadır. Sadece bağlı bulunan Organize Sanayi Bölgesinin (OSB) şebeke suyu kullanılmaktadır. OSB'lerin tüm sanayi bölgesini kapsayan arıtma tesisleri bulunduğundan OSB'ler içinde kalan asansör fabrikasının bir arıtma tesisi yoktur. Bu yüzden tesisteki mavi su ayak izi hesabında sadece kullanılan su miktarı dikkate alınmıştır. Açık yüzey buharlaşma verilerinin ölçümü Devlet Su İşleri (DSİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılmaktadır. Hesaplama

yapılırken 11.625 m³ su tüketimi, 13.502 m² açık alan bulunması, suyun özgül ağırlığının 1.000 kg/m³ kabul edilmesi ve MGM'nin 29 yıllık veri olarak açıkladığı kilogram cinsinden metrekarede yıllık ortalama 767 mm (kg/m²) açık yüzey buharlaşması dikkate alınmıştır.

2023 yılı mavi su ayak izi:

$$WF_{\text{mavi}} = \text{Su tüketimi} + (\text{Açık alan} \times \text{Buharlaşma miktarı} \times \text{Suyun özgül ağırlığı})$$

$$WF_{\text{mavi}} = 11.625 \text{ m}^3 + (13.502 \text{ m}^2 \times 767 \text{ kg/m}^2 / 1.000 \text{ kg/m}^3)$$

$$WF_{\text{mavi}} = 21.981 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

4.2.2. Yeşil Su Ayak İzi Hesaplaması

Yeşil su ayak izi hesabında fabrikanın açık alanına düşen yağış bilgilerinden yararlanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü istatistik bilgilerine göre uzun süreli yağış istatistiklerine göre bölgede kilogram cinsinden metrekareye düşen yağış miktarı ortalaması aylık 32,7 mm (kg/m²) olarak tespit edilmiştir. Yıllık olarak baz alındığında kilogram cinsinden metrekareye düşen yağış miktarı 392,4 mm (kg/m²) olarak görülmektedir. Fabrikanın açık alanı 13.502 m² ve suyun özgül ağırlığının 1.000 kg/m³ olması verilerini de kullanarak hesaplama yapılmıştır.

2023 yılı yeşil su ayak izi:

$$WF_{\text{yeşil}} = \text{Açık alan} \times \text{Yağış miktarı} \times \text{Suyun özgül ağırlığı}$$

$$WF_{\text{yeşil}} = 13.502 \text{ m}^2 \times 392,4 \text{ kg/m}^2 / 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$WF_{\text{yeşil}} = 5.298 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

2023 yılında hesaplanan toplam mavi ve yeşil su ayak izi;

$$WF_{\text{mavi+yeşil}} = 27.279,218 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada metal hammadde kullanarak çalışan bir asansör üretim fabrikasının 2023 yılı karbon ayak izi ve su ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Karbon ayak izinin hesabında atıklar, atıksu, su tüketimi, doğalgaz tüketimi, elektrik tüketimi ve ulaşım kaynaklı kullanılan araçların fosil yakıt tüketim verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Tier-1 metoduna göre yapılan karbon ayak izi hesaplamalarında 2023 yılı için toplam 363,534 ton karbon ayak izi oluştuğu tespit edilmiştir. Su ayak izinin hesabında kullanılan su miktarı ve yağış miktarları verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. WFN metodu ile yapılan su ayak izi hesaplamasında ise 2023 yılı için 21.981 ton su ayak izi oluştuğu tespit edilmiştir.

Karbon ayak izi ve su ayak izi hesaplamaları her bir birey ve her bir firma için sürdürülebilir çevre sistemi kurmalarının olmazsa olmazıdır. Karbon ayak izi akademik çalışmalarının su ayak izi akademik çalışmalarından daha fazla olması her ne kadar karbon emisyonlarına daha fazla yönelim olduğunu gösterse de su zengini olmayan Türkiye için su ayak izi hesaplamaları da oldukça önemlidir. Karbon ayak izinin ve su ayak izinin hesaplandıktan sonra azaltılmasına yönelik endüstriyel çalışmaların başlangıcı olması amacıyla endüstriyel tesislerin doğal kaynak tüketimlerinin takip edilmesi zorunluluğu getirilebilir. Endüstriyel tesislerde çalışan başına düşen karbon ayak izi ve su ayak izi miktarı periyodik olarak raporlanması ile karbon ayak izi ve su ayak izlerinin azaltılması beklenebilir.

Sonuçlar, karbon ayak izinin metal hammadde ile çalışan bir asansör fabrikasında tüketim alışkanlıkları tarafından nasıl etkilendiğini açıkça göstermektedir. Tez, karbon ayak izini azaltma potansiyeline sahip stratejilerin tanımlanması ve uygulanması için önemli bir adım olabilir. Özellikle, enerji tüketimini azaltma, yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin kullanma ve sürdürülebilir ulaşım/üretim/lojistik süreçlerinin benimsenmesi gibi önlemler, karbon ayak izini azaltmada etkili olabilir.

Karbon ayak izinin etkileri değerlendirirken, küresel çapta iş birliği ve koordinasyonun önemi büyüktür. İklim değişikliği, sınırları aşan bir sorundur ve bu nedenle uluslararası düzeyde ortak çabalar gerektirir. İklim değişikliği, deniz seviyelerinin yükselmesi ve biyoçeşitlilik kaybı sorunlar uluslararası sorunlardır. Uluslararası anlaşmalar ve iş birliği platformları, karbon ayak izini azaltma hedeflerine ulaşmada önemli bir araç olabilir. Karbon ayak izinin azaltılmasıyla ilgili politika ve

teknoloji gelişmelerinin sürekli olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. İlerleyen teknoloji ve yenilikler, karbon azaltma çabalarını destekleyebilir ve daha etkili çözümler sağlayabilir.

Ortaya çıkan karbon salınımlarının küresel ısınma ve iklim değişikliğine olan etkileri düşünülürse ülkeler karbon salınımlarının kontrol altına alınması için tedbirler alacaktır. Kyoto Protokolüne taraf olan ülkelerin emisyonlarını azaltması çalışmaları, Avrupa Birliği üye ülkelerinin 2050 karbon nötr yılı olarak çalışmaları gibi çalışmalar tüm ülkelere, endüstriyel tesislere hatta bireylere örnek olacaktır. Emisyonların azaltılmaması durumunda ihracat yapan firmalar için doğacak olan ek vergiler gibi durumlardan dolayı karbon ayak izinin belirlenmesi ve emisyonların azaltılması konuları yakın zamanda tüm dünyanın gündeminde olacaktır.

Suyun insanlık için taşıdığı önem, tarih boyunca bilinmektedir. Ekosistemlerden tarıma, endüstriyelden enerji üretimine kadar pek çok alanda yaşamın devamı için vazgeçilmez olan su, insanlığın yaşamında temel bir rol oynamaktadır. Günümüzde ise, suyun önemi iklim değişikliği, nüfus artışı ve kirlilik gibi faktörlerin etkisiyle daha da belirgin hale gelmektedir. Bu nedenle, suyun önemini kavramak ve etkin bir şekilde yönetmek son derece hayati bir öneme sahiptir. Sağlık, gıda güvencesi, ekonomik kalkınma, enerji üretimi ve çevresel sürdürülebilirlik gibi geniş bir yelpazedeki alanlarda suyun rolü, onu insanlığın en temel ihtiyaçlarından biri haline getirmektedir.

Doğal kaynak tüketiminin alt başlıklarından bir tanesi olan su için kullanılan su miktarının azaltılmasına yönelik teşvik edici uygulamalar uygulanabilir. Endüstriyel tesislerin su ayak izi hesabından sonra ürün başına bir su tüketim hedefi belirlenerek hedefe ulaşması teşviği de su israfının önüne geçmek adına önemli bir çalışma olacaktır. Örneğin bir endüstriyel tesisin hammadde işleme bölümünde kullanılan suyun arıtılarak tekrar sisteme verilebilen su kullanımı teşvik edilebilir. Başka bir örnek olarak endüstriyel tesislerin peyzaj sulamalarında kullanılan suların yağmur suyu toplanarak ya da yerel iradenin arıtma tesisinden arıtılarak geri sanayi bölgelerine gönderilen sularından karşılamaları istenebilir.

Endüstriyel tesislerin üretim süresince kullandıkları yeraltı ve yüzey sularının tüketiminde ne gibi bir tasarrufa gidilebilir politikalarının olması, yağmur suyunu toplayıp nasıl değerlendirilebilir gibi bir politikalarının olması, üretim sırasında veya sonrasında yapılan işlerin su kirliliğine olan etkilerinin değerlendirdiği bir politikalarının olması gerekmektedir. Ancak bu sayede mavi, yeşil ve gri su ayak izini hesaplayarak azaltılması konusunda çalışmalar yapabileceklerdir. Endüstriyel tesislerde girdi olarak

kullanılan hammadde, yarı madde gibi malzemelerin üretimindeki süreçlerde kullanılan mavi, yeşil, gri su ayak izi hesabı üzerinde sorumlulukları olduğu da bir gerçektir. Üretilen bir hammaddenin alım sıklığı, lojistiği, paketlemesi gibi planlarını yaparken su ayak izini düşürmeye yönelik çalışmalarını planlamalarının içinde dahil etmesi gerekmektedir.

Bireysel olarak su ayak izi hesaplandıktan sonra da insanların su tüketim alışkanlıkları değiştirilebilir. Duş alırken, diş fırçalarken, bulaşık yıkarken, bahçe sularken vb. konularda insanlara verilecek eğitim bireysel olarak su israfının önüne geçme konusunda etkili olacaktır. Bu çalışmada hesaplanan su ayak izinde amaçlanan endüstriyel tesislerde üretim açısından veya çalışmalar sırasında tüketilen su miktarı açısından su kaynaklarında oluşturulan etkinin ölçülebilir hâle getirilebileceğinin bir vurgusudur. Endüstriyel tesislerin su tüketimleri ve buna bağlı olarak su ayak izlerini hesaplayarak belirledikleri periyotlarda su ayak izinin azaltılmasına yönelik hedefler koyarak çalışmaya başlaması gerekmektedir.

5.2 Öneriler

Asansör üretim fabrikasının 2023 yılı için gerçekleştirilen karbon ayak izi ve su ayak izi hesaplamalarına göre aşağıda verilen öneriler sunulabilir:

- Fabrikada hesaplanan emisyon miktarının %31'ini doğalgaz tüketimi oluşturmaktadır. Doğalgaz tüketimi kaynaklı emisyonların azaltılması için ısı kaybının önüne geçilmesi çalışmaları yapılmalıdır. Hammadde girişi son madde çıkışı gibi kapıların doğrudan üretim alanına açılması üretim alanını soğutmakta ve ayarlanan ısıya ulaşmak için doğalgaz tüketimi artmaktadır. Sık açılan kapıların belirlenmesi ve art arda iki kapı şeklinde düzenlenmesi doğalgaz tüketimini düşürecektir.
- Fabrikada hesaplanan emisyon miktarının %27'sini elektrik tüketimi oluşturmaktadır. Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarına elektrik üretimi yapan bir tesis olsa da üretimin tüketime yetişemediği aylarda enerji tasarrufu politikası uygulanmalıdır. Üretim planlamasının ardından elektrik tüketiminin üretimden fazla olduğu aylar için tasarruf tedbirleri belirlenerek uygulamaya koyulmalıdır.
- Fabrikada hesaplanan emisyon miktarının %22'sini yakıt tüketimi oluşturmaktadır. Elektrik üretimi yapan bir tesis olduğu göz önüne alındığında tüm fabrikaya ait araçlar elektrikli araçlar ile değiştirilebilir.

- Ağaçların yıllık ortalama emisyon azaltımı 11 kg'dır. Çünkü fotosentez yaparak atmosferdeki CO₂'yi besin olarak kullanır ve böylece emisyon azaltımında etkin rol oynarlar. Bu nedenle, emisyon salınımını azaltmak için ormanlaştırma çalışmaları yapılabilir (Bekiroğlu, 2011). Fabrikada 2023 yılında toplam 36 yetişkin ağaç vardır. Fabrika her çalışanın doğum gününde 3 fidan bağışı yapmaktadır. 80 çalışan için yıllık 240 ağaç bağışı yapmıştır. Her ne kadar fidanlar yetişkin ağaçlar ile aynı fotosentezi yapmasa da sürdürülebilir doğum günü fidan bağışı politikası sayesinde yaklaşık olarak belirli süre sonra yapılan fotosentez oranı sabitlenecektir.
- 2023 yılında ağaçların fotosentez için absorbladığı CO₂ miktarı:

$$\frac{276 \text{ ağaç} \times 11 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 3,036 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$$

2023 yılında ağaçların fotosentez için absorbladığı CO₂ dikkate alındığında
363,534 – 3,036 = 360,498 ton CO₂ oluşmaktadır.

- Fabrikada kullanılan çeşme bataryalarının sensörlü seçilmesi, tuvaletlerde kullanılan çeşme bataryalarının bas çek çeşme bataryası seçilmesi ve bu alanlarda su tasarrufunun gerekliliğinin anlatıldığı bilgilerin yer alması ve hatta periyodik olarak su tasarrufu konusunda yüz yüze eğitim verilmesi su tasarrufu bilinci oluşturabilecektir.

KAYNAKLAR

- Ahmetoğlu, S. (2019). *İnşaat Sektöründe Karbon Ayak İzi ve Örnek Hesaplamalar* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aşır, B. (2024). *Karbon Ayak İzinin Hesaplaması: Alüminyum Firması Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa.
- Bacaksız, T. (2021). *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıpta Uzmanlık Öğrencilerinin Su Ayak İzlerinin Değerlendirilmesi* (Tıpta Uzmanlık Tezi). Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu.
- Bekiroğlu, O. (2011). *Sürdürülebilir kalkınmanın yeni kuralı: karbon ayak izi*, II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 24-27 Kasım 2011, İzmir.
- Bilen, Ö. (2008). *Türkiye'nin Su Gündemi, Su Yönetimi ve AB Su Politikaları Kitabı*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2008). "Virtual water trade: A global assessment of international virtual water flows for agricultural and industrial products". *Water International*, 33(1), 19-32.
- Coşgun, G. (2023). *Tekstil Sektöründe Karbon Ayak İzi Hesaplaması ve Analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Çankaya, T. (2019). *Atık Su Arıtma Tesislerinde Su Ayak İzi Hesaplama Yöntem Önerisi ve Haddeleme-Galvanizleme Tesisinde Uygulama Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Çelik, K.F. (2008). *Asansörlerde Stand-By Enerji Sarfıyatı*, EMO Asansör Sempozyumu, 24 Mayıs 2008, İzmir.
- Çelik, K.F. (2010). *Hidrolik Asansörlerde Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi*, İzmir Asansör Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2010, İzmir.
- Çelik, K.F. (2012). *Yeşil Teknoloji: Yeni Nesil Hidrolik Asansör Kontrol Valfleri*, Asansör Sempozyumu, 04-06 Ekim 2012, İzmir.
- Çetinkaya Karafakı, F. (2014). *Küresel Isınma Bağlamında Çevre Sorunlarının Mevzuat Açısından Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2023). *2023 Bütçe Sunusu Yeşil Kalkınma Yolunda Türkiye İstişare Toplantısı Sonuç Bildirgesi*, 04-06 Şubat 2022, Antalya.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). *Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliğine Uyum Konusunda Kurumsal Kapasitenin Geliştirilmesi Eğitimi Projesi, Terimler Sözlüğü*, iklim.gov.tr (Ziyaret Tarihi 09 Nisan 2024).

- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2017). <https://www.csb.gov.tr/cevre-ve-s-hircilik-bakanligi-karbon-ayak-izini-cikardi-bakanlik-faaliyetleri-21938> (Ziyaret Tarihi 24.04.2024).
- Demirbaş, F. (2018). *Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Dindar, G. (2021). *Otomotiv Yan Sanayide Karbon Ayak İzinin Hesaplanması – Bursa Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Energy Institute (2023). Statistical Review of World Energy. [ourworldindata.org/fossil-fuels](https://www.ourworldindata.org/fossil-fuels) (Ziyaret Tarihi 01 Nisan 2024).
- Engin, S. (2019). *Türkiye’de Pamuk Üretiminin Su Ayak İzi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Erçin, E. ve Hoekstra, A.Y. (2012). *Karbon ve su ayak izleri: Kavramlar, metodolojiler ve politika yanıtları*. Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO).
- Global Carbon Budget (2023). Met Office Hadley Centre, [OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions](https://www.ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions) (Ziyaret Tarihi 01 Nisan 2024).
- Gökçek, B., Bozdağ, A., Demirbaş, H. (2019). Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi örneğinde karbon ayak izinin belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2) 721-730.
- Göncü, S. (2005). *İklim Değişikliğinin Su Havzalarına Etkisinin Hspf Modeli ile İncelenmesi* (Doktora Tezi). Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Gülsoy, E. (2018). *Üniversite Öğrencilerinin Küresel Isınma ve İklim Değişikliği Üzerine Bilgi Düzeyi ve Algıları* (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual Setting the Global Standard*, Washington / London.
- Hoekstra, A. Y. (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological indicators*, 66, 564-573.
- IEA (2020). Uluslararası Enerji Ajansı, Turkey, <https://www.climatecorecard.org/2020/12/190-increase-in-greenhouse-gas-emissions-in-turkey-since-1990/> (Ziyaret Tarihi 01 Nisan 2024).
- İraz, E. (2021). *Fırat Havzasının Su Ayak İzinin Hesaplanması* (Yüksek Lisans Tezi). Batman Üniversitesi, Batman.
- İstanbul Sanayi Odası (2021). *Sürdürülebilirlik Raporu*.

- İtak, Ş. (2023). *Küresel Isınmaya Bağlı İklim Değişikliğinin Hidrometeorolojik Veriler Üzerindeki Etkisi: Dicle Alt Havzasındaki Bazı İllerde Bir Durum Çalışması* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir.
- Jeffry, L., Ong, M. Y., Nomanbhay, S., Mofijur, M., Mubashir, M., & Show, P. L. (2021). Greenhouse gases utilization: A review. *Fuel*, 301, 121017.
- Kandil, E. (2008). *Küresel Isınmadan Kaynaklanan Dış Hava Sıcaklık Değişimlerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Karakaya, H. (2022). *Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesaplaması ve Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Katanalp, B. (2023). *Çevresel Sürdürülebilirlik Bağlamında Faaliyet Tabanlı Su Ayak İzi Muhasebesi: Bir Üretim İşletmesi Uygulaması* (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Kendir Duman, H. (2024). *Makine Yedek Parça İmalatı Yapan Bir Tesisin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi ve Azaltımının Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Giresun Üniversitesi, Giresun.
- Kutlu, T. (2022). *Ankara'nın Kentsel Atık Sularının Gri Su Ayak İzi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401-415.
- Michiel R. J. Doorn, Sirintornthep Towprayoon, Sonia Maria Manso Vieira, William Irving, Craig Palmer, Riitta Pipatti, Can Wang. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Wastewater Treatment and Discharge Chapter 6. IPCC, 2006. s. 12.14.
- Mohsin, A. (2022). *Bursa İlinin Su Ayak İzinin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Üniversitesi, Bursa.
- Muslu, Y. (2000). *Ekoloji ve Çevre Sorunları*, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- NASA (2023). Earth Observatory, World of Change: Global Temperatures, <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures> (Ziyaret Tarihi 13 Şubat 2024).
- Orhon, D. ve ark. (2022). Sürdürülebilir su yönetimi: Temel ilkeler ve uygulamalar. *Su Yönetimi Dergisi*, 15(3), 45-58.
- Özdemir, B. (2019). *Türkiye'de Sera Gazı Emisyon Azaltımında Karbon Ticareti ve Yenilenebilir Enerji Projelerinin Rolü* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

- Özen, G. (2008). *Küresel Isınma Sürecinde Örgütsel Performansın Sürdürülebilir Kılınması Açısından İşletmelerde Eko-Verimlilik Çalışmaları: Örnek Uygulamalar* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Öztaş, R.G., Çelikyay, H.S. (2018). “Su yönetimine ilişkin alternatif gösterge planlama: su ayak izi”, V. Uluslararası Çok Disiplinli Avrasya Kongresi, 24-26 Temmuz 2018, Barcelona.
- Öztopçu, Ç. (2023). *Endüstrilerde Karbon, Su ve Enerji Ayak İzlerinin Belirlenmesi ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi: Tekstil Endüstrisi İçin Bir Vaka Çalışması* (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Pfister, S., Boulay, A. M., Berger, M., Hadjikakou, M., Motoshita, M., Hess, T., ... & Henderson, A. (2017). Understanding LCA and ISO water footprint: A response to Hoekstra (2016) “A critique of the global water footprint approach for assessing water scarcity”. *Ecological indicators*, 72, 352-359.
- Saban, S. (2023). *Atık Kâğıt Geri Dönüşüm Tesisi Karbon Ayak İzinin Değerlendirmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü (2018). *Asansör Sektör Raporu*. Ankara.
- Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü (2022). *Asansör Sektör Raporu*, Ankara.
- Sanayi ve Ticaret Bakanlığı (2021). *Sanayi Sicil Kayıtları*. Ankara.
- Sawant, S. B. (2015). A New Method of Assessment and Equations on Carbon Footprint, *J. Appl. Geology and Geophysics*, (3) 52-59.
- Sera Gazı Protokolü (2017). Sera Gazı Envanterleri için Uluslararası Rehberlik, <https://www.wri.org/initiatives/greenhouse-gas-protocol> (Ziyaret Tarihi 10 Nisan 2024).
- Smil, V. (2017). *Energy Transitions: Global and National Perspectives*. Routledge.
- Sürdürülebilirlik Vizyonu, (2021). Çelik İhracatçıları Birliği, *2021 Çalışma Raporu*, 31 Aralık 2021, İstanbul.
- Sütürmak, T. (2020). *İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Avcılar Kampüsü Su Ayak İz Profili* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Swain, David L. (2001). *Su Kıtılığı: Yaklaşan Kriz Bilimi*. 291(5504), 985-987.
- Tarım ve Orman Bakanlığı (2019). *Ulusal Sera Gazı Envanteri AKAKDO Raporu 1990-2019*, Ankara.
- Ticaret Bakanlığı (2022). *Yeşil Mutabakat Çalışma Grubu Yıllık Faaliyet Raporu*, Ankara.

- Toröz, A. S. (2015). *Gemi Kaynaklı Atıkları Alan Bir Atık Kabul Tesisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Türkeş M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler, *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1, 26-37.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G. (2000). *Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri*, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları 13 Nisan 2000, İstanbul.
- Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu (2014). Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi, *WWF-Türkiye*.
- Uludağ, P.R. (2022). *Lise Öğrencilerinin Karbon Ayak İzinin Hesaplanması ve Lise Bazında Kurumsal Karbon Ayak İzinin Tespiti* (Yüksek Lisans Tezi). Giresun Üniversitesi, Giresun.
- Üreden, A. (2019). *Sürdürülebilir Yaşam İçin Karbon Ayak İzi (Çankırı Karatekin Üniversitesi Örneği)* (Yüksek Lisans Tezi). Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı.
- Water Footprint Network (WFN) (2021). <http://temp.waterfootprint.org/> (Ziyaret Tarihi 02 Nisan 2024).
- Yabaneri, Y. (2024). *Asfalt Kaplamaların Karbon Ayak İzi Tespiti* (Yüksek Lisans Tezi). Uşak Üniversitesi, Uşak.