



Metal sektörü kurumsal karbon ayak izi: Asansör üretim fabrikası örneği

Metal industry corporate carbon footprint: Elevator manufacturing factory example

Mehmet Onur Demirci¹ , Senar Aydın^{2,*}

^{1,2} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 42090, Konya Türkiye

Öz

İklim değişikliği ile mücadelede sera gazı emisyonlarının azaltılması amacıyla kurumlar karbon ayak izlerini belirleyerek azaltmaya yönelik önlemler almalıdır. Çalışmanın amacı asansör üretim fabrikasının üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izinin hesaplanması ve karbon salınımını azaltmaya yönelik yöntemlerin değerlendirilmesidir. TS-EN ISO 14064-1:2018 standardı ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından önerilen Tier-1 yöntemi kullanılarak karbon ayak izi hesaplanmıştır. Asansör üretim fabrikasının 2023 yılı net kurumsal karbon ayak izi 333.983 tCO₂e/yıl ve bir asansör için karbon ayak izi 0.414 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Karbon salınımında en yüksek payı doğalgaz (%30) ve elektrik (%29) tüketimi oluştururken onu lojistik ve taşıma faaliyetleri (%23), atık (%7), atıksu (%6), su (%5) tüketimi takip etmektedir. Fabrikada doğalgaz tüketimi kaynaklı emisyonların azaltılması için ısı kaybının önlenmesi çalışmaları yapılmalıdır. Mevcut 2 MW kapasiteli GES kapasitenin artırılması ve/veya enerji verimliliği uygulamaları ile enerji tüketiminin azaltılması gereklidir. Lojistik amaçlı karbon salınımı azaltmak için fabrikaya ait taşıt ve personel servislerinin elektrikli araçlar ile değiştirilmesi önemlidir.

Anahtar kelimeler: Küresel ısınma, Karbon ayak izi, Metal sanayi, Asansör fabrikası.

1 Giriş

Küresel ısınma atmosfere salınan gazların (karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azot oksit (N₂O), florlu gazlar) sera etkisi yaratması sonucunda Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığının artmasıdır [1]. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), altıncı değerlendirme raporuna göre günümüzde küresel sıcaklık sanayi devrimi öncesi döneme kıyasla yaklaşık 1.1 °C artış göstermiştir. Mevcut durum devam ederse 2100 yılında küresel sıcaklık artışının yaklaşık 3 °C olması öngörülmektedir [2].

Sanayi, enerji, tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımları, ulaşım ve binalardan kaynaklanan küresel CO₂ emisyonları 1850 yılından bu yana önemli ölçüde artmıştır. Bu artışın büyük çoğunluğu artan enerji ihtiyacı için fosil yakıt tüketimi ve endüstriyel emisyonlardan kaynaklanmıştır. Sanayi Devrimi'nde fosil yakıtlar ve endüstriden kaynaklanan yıllık CO₂ emisyonu 1750 yılında

Abstract

To reduce greenhouse gas emissions in the fight against climate change, institutions should determine their carbon footprint and take measures to reduce it. The aim of the study is to calculate the carbon footprint of the elevator production factory using the TS-EN ISO 14064-1:2018 standard Tier-1 method. The net corporate carbon footprint of the elevator manufacturing factory in 2023 was calculated as 333.983 tCO₂e/year, and the carbon footprint for an elevator was 0.414 tCO₂e/year. The highest shares of carbon emissions come from natural gas (30%) and electricity (29%) consumption, followed by logistics and transportation activities (23%), waste (7%), wastewater (6%), and water (5%) consumption. To reduce emissions from natural gas consumption at the factory, heat loss prevention measures should be implemented. The existing 2 MW solar power plant capacity should be increased and/or energy efficiency implemented. Factory vehicles and personnel shuttles should be replaced with electric vehicles.

Keywords: Global warming, Carbon footprint, Metal industry, Elevator factory.

9.31 milyon ton iken 2023 yılında 37.79 milyon ton olarak tespit edilmiştir [3]. Global net antropojenik sera gazı emisyonunun %64'ünü fosil yakıtlardan ve endüstriden gelen CO₂, %11'ini arazi kullanımı, arazi kullanımındaki değişim ve ormancılıktan kaynaklanan CO₂, %18'ini CH₄, %4'ünü N₂O, %2'ini ise florlu gazlar oluşturmaktadır. Küresel sera gazı emisyonları, bu gazların atmosfere salınmasına yol açan ekonomik faaliyetlere göre değerlendirilebilir. IPCC 2023 yılı İklim Değişikliği raporuna göre, 2019 yılında net küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %34'ü (20 GtCO₂-e) enerji sektöründen, %24'ü (14 GtCO₂-e) sanayiden, %22'si (13 GtCO₂-e) tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımlarından, %15'i (8.7 GtCO₂-eq) ulaşımdan ve %6'sı (3.3 GtCO₂-eq) binalardan kaynaklanmıştır [2].

Küresel ısınmanın çevre, insan sağlığı, ekonomi ve ekosistem üzerinde yaygın ve potansiyel olarak ciddi sonuçları oluşmaktadır. Küresel sıcaklık arttıkça eriyen

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: sozcan@erbakan.edu.tr (S. Aydın)

Geliş / Received: 31.10.2024 Kabul / Accepted: 28.07.2025 Yayınlanma / Published: 15.10.2025

doi: 10.28948/ngumuh.1576740

kutup buzları ve buzullar deniz seviyesini yükselmesine neden olmakta bu durum taşkın ve kıyı bölgelerde fırtına ve erozyona neden olmaktadır. Küresel ısınma ile ekstrem hava olaylarının görülme sıklığı ve şiddeti artmaktadır. Sıcak hava dalgası frekansının artması susuzluk başta olmak üzere ısıyla ilişkili hastalıkların artmasına neden olmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte uzun süreli kuraklıklar orman yangını riskinin artmasına neden olarak su kıtlığına, habitat tahribatına ve toplulukların yerinden edilmesine yol açmaktadır [4]. Birçok bitki ve hayvan türü hızlı sıcaklık değişimlerine uyum sağlamakta zorlanmakta bu da habitat kaybına, türlerin yok olmasına ve ekosistemlerin bozulmasına yol açmaktadır. Daha sıcak okyanus sıcaklıkları deniz biyoçeşitliliğini tehdit ederek balıkçılık endüstrisini etkilemektedir. Kuraklık ve yağışlardaki kaymalar gibi hava modellerindeki değişiklikler buğday, mısır ve pirinç gibi temel ürünlerin verimini düşürerek gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Nüfus artışıyla birleşen düşük tarımsal üretim, gıda kıtlığına neden olmakta ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde küresel açlığı artırmaktadır [5]. Ayrıca küresel ısınmaya bağlı astım, akciğer kanseri, kardiyovasküler hastalık, felç ve artan ölüm oranı gibi riskler söz konusudur [6]. Küresel ısınmanın ekonomi üzerine de bazı etkileri vardır. Yükselen deniz seviyeleri, fırtınalar ve orman yangınları, yollar, binalar ve elektrik şebekeleri dahil olmak üzere altyapıya önemli zararlar vermekte ve maliyetli onarımlara ve kurtarma çalışmalarına neden olmaktadır [4]. Bu nedenlerle, küresel ısınmayı azaltmak için, çoğu ülke küresel ortalama sıcaklık artışını 2 °C'nin altında tutmayı ve yüzyılın ortasına kadar net sıfır karbon ayak izine ulaşmak için 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını yarıya indirmeyi kabul etmiştir [7].

Küresel ısınmayı ve zararlı etkilerini önlemek için bireysel, ulusal ve küresel düzeylerde önlemler alınmalıdır. Sera gazı emisyonlarını azaltmak için fosil yakıtlardan güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak önemlidir. Evlerde, ulaşımda ve sanayide enerji verimliliğini artırmak enerji tüketimi ve dolayısıyla emisyon azaltımını sağlar. Elektrikli araçlara teşvik etmek ve toplu taşıma sistemlerini genişletmek benzinli ve dizel araçların neden olduğu emisyonları azaltabilir. Sürdürülebilir uygulamalara teşvik için mevcut ormanları korumak ve yeni ağaç dikmek atmosferden CO₂ emilimine yardımcı olur. Ürün rotasyonu, azaltılmış pestisit kullanımı ve daha iyi su yönetimi gibi sürdürülebilir tarımsal uygulamalarını benimsemek, tarım kaynaklı karbon ayak izini düşürebilir. Karbon fiyatlandırması gibi iklim dostu politikalar emisyon düzenlemeleri uygulamaları sera gazı salınımını azaltabilir. Paris İklim Anlaşması, Kyoto Protokolü gibi küresel anlaşmaların gerçekleştirildiği uluslararası iş birliği, küresel sıcaklık artışını sınırlamak ve uluslararası çabaları koordine etmek için önemlidir. Anlaşmaya taraf ülkeler hedefler belirleyerek bu hedeflere ulaşmak için politikalar takip ederek karbon salınımlarını azaltabilirler [8]. Endüstriyel süreçlerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını yakalayan ve yer altında depolayan karbon yakalama ve depolama teknolojileri atmosferdeki karbon miktarını azaltacaktır [9].

Küresel ısınmanın bazı etkileri halihazırda meydana geldiğinden, iyileştirilmiş altyapı, daha iyi su yönetimi ve afetlere hazırlık gibi iklim dayanıklılığını artıran uyum önlemleri hasarı en aza indirmek için önemlidir. Halkı iklim değişikliği konusunda eğitmek ve atık azaltma ve suyu koruma gibi çevre dostu davranışları teşvik etmek, emisyon azaltımına katkı sağlar. Sonuç olarak, küresel ısınmayı önlemek, emisyonları azaltmak, yenilenebilir enerjiye geçmek, doğal ekosistemleri korumak ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen politikalar benimsemek için kolektif, sürdürülebilir uygulamalar gerçekleştirilmelidir. Karbon ayak izi, bir ürünün, olayların ve/veya faaliyetlerin yaşam döngüsüyle ilişkili sera gazı emisyonlarını ölçmek için kullanılan ve faaliyet sonucu atmosfere salınan toplam sera gazı miktarının CO₂ eşdeğeri (CO₂e) cinsinden ifade edilen bir ölçüdür [10]. Karbon ayak izini hesaplamak gerekli ve önemlidir. Karbon ayak izini hesaplamak, bireylerin, işletmelerin ve hükümetlerin faaliyetleri tarafından üretilen sera gazı emisyon miktarının tespit edilmesini sağlar. Emisyon miktar ve kaynaklarını bilmek sera gazı emisyonlarını azaltmak veya ortadan kaldırmak için daha etkili stratejiler geliştirilmesini sağlar.

Ülkemizde CO₂, CH₄, N₂O, florlu gazlar (F-gazlar), hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PFC'ler), kükürt hegzaförür (SF₆) ve nitrojen triflorür (NF₃) gibi doğrudan sera gazlarını içeren sera gazı envanteri 1990 yılından bu yana hazırlanmaktadır. Envanter; enerji, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarım ve atık kaynaklı sera gazı emisyonları ve arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği ve ormancılıktan kaynaklanan emisyonlar ve uzaklaştırmaları içermektedir. Arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık sektörü hariç toplam sera gazı emisyonlarını 2021 yılında 564.4 Mton CO₂e olarak hesaplanmıştır. 1990 yılına kıyasla sera gazı emisyonu %157.1 artmıştır. 2021 yılında, enerji sektörü toplam sera gazı emisyonlarının %71.3'ü (402.5 Mton CO₂e) ile en büyük paya sahip olmuştur. Enerji sektörünün %13.3 (75.14 Mton CO₂e) ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %12.8 (72.08 Mton CO₂e) ile tarım ve %2.6 (14.70 Mton CO₂e) ile atık sektörü takip etmiştir [11].

Birçok ülke Paris Anlaşması gibi anlaşmalar kapsamında emisyon azaltma hedefleri belirlemiştir. Ülkemizde 2015 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) 21. Taraflar Konferansı'nda Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Anlaşma 10 Kasım 2021 tarihinde yürürlüğe girmiş ve bu süreçte ülkemizin 2053 karbon-nötr hedefi açıklanmıştır. Bu çerçevede, 2030 yılı itibarıyla "artıştan azaltım" senaryosuyla %41 oranında bir emisyon azaltım taahhüdü ortaya koyulmuştur. Avrupa Birliği Paris Anlaşmasının bir uzantısı olarak Avrupa Yeşil Mutabakatı ile 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarında asgari %55 azaltım sağlanması ve 2050 yılında iklim-nötr ilk kıta olma hedefini ortaya koymuştur. Özellikle Avrupa Birliği üyesi ülkelerin pazarına erişimde Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde gerçekleşmekte olan ekonomik dönüşüm süreçlerinin dikkate alınması önemlidir. Ülkemiz 16 Temmuz 2021 tarihinde Yeşil Mutabakat Eylem Planını yayımlayarak 9 ana başlıkta 81 eylem planı belirlemiştir. Ayrıca Avrupa Birliği tarafından 2023 yılında

açıklanan Yeşil Mutabakat Sanayi Planı ile sanayi sektörünün yeşil dönüşümü ve rekabet edebilirliğini ve ekonominin dönüşümüne yönelik yatırımları sağlamak için bir politika çerçevesi oluşturulmuştur. Yeşil Mutabakat Sanayi Planının Avrupa Yeşil Mutabakatı, AB Sanayi Stratejisi ve özellikle Döngüsel Ekonomi Eylem Planı kapsamında sanayiye dönüştürmeye yönelik sürdürülen çabaları tamamlaması öngörülmektedir [12].

Karbon ayak izinin hesaplanması ve izlenmesi, sera gazı emisyonlarını azaltmak, iklim değişikliğinin etkilerini yavaşlatmak veya tersine çevirmek için gereken adımları belirlemeye yardımcı olur. Bireyler ve kuruluşlar karbon ayak izlerini ölçtüklerinde, enerji, su ve malzeme gibi kaynakları daha verimli kullanmanın yollarını bulabilirler. Bu genellikle maliyet tasarruflarının yanı sıra çevresel etkinin azalmasıyla sonuçlanır. Karbon vergileri veya emisyon ticareti sistemleri olan bölgelerde, düzenlemelere uymak, ödenmesi gereken vergileri hesaplamak veya emisyon ödeneklerini ticarete koymak için karbon ayak izini hesaplamak gereklidir [13].

Son zamanlarda iklim değişikliği ile mücadele kapsamında gerek gönüllü gerekse yasal zorunluluklar kapsamında kişiler, kurumlar, ürün veya endüstriyel bir tesis için doğaya saldıgı sera gazı miktarını IPCC tarafından önerilen Tier yaklaşımları kullanarak hesaplamaktadırlar. Örneğin Konya İli Selçuklu ilçesinin 2015 yılı karbon ayak izi 0.94 Mton CO₂e olarak bulunmuştur. Sanayi kaynaklı emisyonların hesaplamaya dahil edilmediği çalışma da barınma (%56) ve ulaşım amaçlı enerji kullanımı (%41) kaynaklı emisyonların katkısının yüksek olduğu, en düşük emisyon kaynağının ise katı atıklar (%3) olduğu tespit edilmiştir [14]. Konya Gençlik Merkezinin faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izinin hesaplandığı çalışma sonucunda 2022 yılı kurumsal karbon ayak izi 82.46 ton CO₂e olarak tespit edilmiştir. En büyük sera gazı emisyon kaynağı doğalgaz kullanımı, elektrik tüketimi ve araç kullanımıdır [15]. Çimento üretim fabrikasının karbon ayak izinin hesaplandığı çalışma sonucunda 2017 ve 2018 yıllarında toplam CO₂ miktarı sırasıyla 3528673 ton ve 3594136 ton olarak tespit edilmiştir. En yüksek emisyon kaynağı klinker üretimi, petrokok ve taş kömürü olarak belirlenmiştir [16]. Pompa imalatı yapan bir kuruluşun 2018 yılı karbon ayak izi hesaplanarak ürün başına oluşan sera gazı emisyonu belirlenmiştir. Tier-1 yöntemine göre tesise ait sera gazı emisyonu 1391.53 ton CO₂e olarak tespit edilmiştir. Tesiste en çok karbon emisyonuna elektrik kullanımının (%69) sebep olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonunda firma arazisinde ormanlaştırma projesi kapsamında CO₂ yutağı olan ağaç sayısının artırılması, elektrik enerjisi kullanımına ilişkin verimlilik iyileştirme çalışmalarının yapılması sonucuna varılmıştır [17].

Çalışma kapsamında Konya Organize Sanayi içinde metal sektöründe faaliyet gösteren bir asansör üretim fabrikasının üretiminden kaynaklı sera gazlarının küresel iklim değişikliğine katkısını ortaya koyacak karbon ayak izi hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplama ile fabrikanın yıllık sera gazı miktarı ve emisyon faaliyet kaynakları belirlenmiştir. Fabrikanın faaliyetleri içerisinde en fazla sera gazına sebep olan kaynaklar belirlenerek

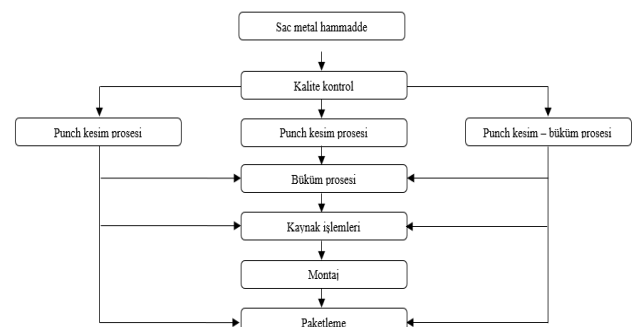
karbon salınımının azaltımı için alınabilecek öneriler sunulmuştur.

2 Materyal ve metod

2.1 Asansör üretim fabrikası ve sera gazı emisyon verileri

Günümüzde asansör sektörü hızla büyümekte ve gelişmektedir. Şehirleşme sürecinin hızlanması, yüksek katlı binaların inşası ve yaşam tarzlarının değişimi asansör talebini artırmıştır. Ülkemiz mevzuatlarına göre üç kat ve üstü binalarda asansör yapımı zorunlu hale geldiğinden asansör yapımı, montajı ve servis organizasyonu da ciddi bir artış göstermiştir. Çalışma kapsamında karbon ayak izi hesaplaması yapılan 17000 m² kapalı ve 13502 m² açık alandan oluşan asansör üretim fabrikası 2021 yılında kurulmuştur. Üretim fabrikası ray ve profil kesme, yedek malzeme ve hammadde, lazer, bükme, kaynak, punch ve kesme hattı, panel üretim hattı, sistem montaj hattı, ambalaj/kabin test, sac deposu, showroom, üretim, geliştirme ve bakım, Ar-Ge alanı, kazan dairesi, su deposu, jeneratör, kompresör, kalite kontrol, atık alanı, sevke hazır ürün deposu, personel bina sistem odası, idari bina sistem odası, yemekhane, kafe, test kulesi, güvenlik kulübesi, bahçe ve sosyal alanlar bölümlerinden oluşmaktadır. 88 çalışanı ile yılda 5000 asansör ve 500 yürüyen yol/merdiven üreten kapasitesine sahiptir. Fabrika da asansör kabini, asansör kapısı, motor şasesi üretilmekte ve güvenlik komponentleri, ray, fren, asansör motoru, tampon, buton, denge zinciri ve diğer ekipmanları temin edilerek fabrikada paketlenmektedir.

Şekil 1'de asansör fabrikası üretim akım şeması verilmiştir. Üretim sırasında hammadde olarak siyah sac, galvaniz sac, çeşitli kalitelere paslanmaz sac kullanılan fabrikada üretimi destekleyecek kimyasallar kullanılmaktadır. Üretimden kaynaklı kaynak gazı havalandırması emisyonunun oluştuğu fabrikada doğalgaz, elektrik ve su tüketimi olmaktadır.



Şekil 1. Asansör fabrikası üretim akış şeması

Fabrikada bulunan lazer kesim tezgâhı 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. Bükme prosesinde sac metal hammadde bükerek istenen forma getirilmektedir.

Proses de 2 adet 3 metre, 1 adet 4 metre abkant pres bulunmaktadır. Bkant 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 kesim ve büküm operasyonlarından sonra kaynak işlemine tabi tutulmakta ve ardından galvanizleme için dış tedarikçiye gönderilmektedir. Kaynak alanında gaz altı sinerjik kaynak makinesi ve karışım gazı kullanılmaktadır.

Fabrikada iki adet montaj hattı bulunmaktadır. Bir tanesi manuel diğeri ise otomatik olarak çalışmaktadır. Montaj masalarında asansör karkası, asansör motor makine şasesi, asansör tavan ekipmanları montajı, asansör taban ekipmanları montajı, asansör taşıyıcı halat kesimi işlemleri yapılmaktadır. 42 metre boyunda, 4 asansör kuyusunun bulunduğu asansör test kulesinde üretilmiş olan veya tedarik edilen asansör ekipmanlarının Ar-Ge'si yapılmakta ve denenmektedir.

Paketleme alanı üretilen asansör ekipmanları ile dış tedarikçilerden gelen asansör ekipmanlarının paketlenildiği alandır. Montaja gönderilen bir asansör paketinin içerisinde 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 çözilemeyen 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 bulunmaktadır.

Yedek malzeme ve hammadde alanı hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin depolandığı alandır. Jeneratör alanı olası elektrik kesintilerine karşı fabrikada 800 kW kapasitesinde 2 adet jeneratör bulunmaktadır. Atık alanında fabrikadaki üretimden kaynaklanan hurda, fire siyah sac, paslanmaz sac, galvaniz sacların metal hurda atıkları, kâğıt, karton, plastik, ahşap, cam, metal ve ambalaj atığı depolanmaktadır. 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. Fabrikanın üretim alanı, depolama alanları ve çalışanlar için sosyal alanları mevcuttur.

Fabrikada 2 MW kapasiteli güneş enerjisi santrali (GES) bulunmaktadır. Fabrikada ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi uygulanmaktadır ve 04.11.2021 tarihli temel seviye Sıfır Atık Belgesi vardır.

Fabrika günlük olarak 5 asansör üretim kapasitesi ile çalışmaktadır. Fabrikada 2023 yılında 780 adet asansör üretimi gerçekleşmiş olup aylık üretim kapasitesi **Tablo 1**'de verilmiştir.

2023 yılında fabrikada üretim ve çalışanlardan kaynaklanan geri dönüştürülebilir ve bertarafa gönderilen atık bilgileri **Tablo 2**'de verilmiştir. 2023 yılında 10.34 ton kâğıt-karton atık, 5.83 ton plastik atık, 8.84 ton kg ise tehlikeli atık oluşmuştur.

Tablo 1. 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 ayında asansör üretimi yerine yaşam konteyneri üretimi yapılmıştır.

Tablo 2. Asansör üretim fabrikası atık miktarları

Aylar	Kâğıt karton (kg)	Plastik atık (kg)	Tehlikeli atık (kg)
Ocak	680	320	0
Şubat	360	325	215
Mart	680	600	0
Nisan	510	0	4280
Mayıs	1000	1650	0
Haziran	550	440	0
Temmuz	0	0	1850
Ağustos	0	260	500
Eylül	0	320	2
Ekim	2160	300	1215
Kasım	1520	440	0
Aralık	2880	1180	780
Toplam	10340	5835	8840

Tablo 3. Asansör üretim fabrikası doğalgaz tüketimi

Aylar	Doğalgaz (kWh)	Doğalgaz (m ³)
Ocak	148132	13922
Şubat	146052	13727
Mart	72259	6791
Nisan	37280	3503
Mayıs	8805	827
Haziran	5121	481
Temmuz	5528	519
Ağustos	5027	472
Eylül	5486	515
Ekim	6597	620
Kasım	35101	3299
Aralık	86844	8162
Toplam	562232	52838

Fabrikanın 2023 yılı aylık doğalgaz tüketimi **Tablo 3**'te verilmiştir. Fabrikada doğalgaz tüketimi aylık kWh olarak ölçülmektedir. Fabrikada 2023 yılında 562.232 kWh doğalgaz kullanımı olmuştur. Karbon ayak izi hesaplamalarında CO₂ eşdeğerine dönüştürülürken karbon emisyon faktörleri m³ biriminde verildiği için doğalgaz kullanımları m³ biriminde verilmiştir. Dönüşüm yapılırken 1 m³ doğalgaz 10.64 kWh eşitliği kullanılmıştır [18]. Buna göre 2023 yılında fabrikada 52.838 m³ doğalgaz tüketilmiştir.

Tablo 4'te fabrikanın elektrik üretim, elektrik tüketim ve şebekeden elektrik tüketim miktarı verilmiştir. Fabrikada 2023 yılında güneş enerji santrali ile 2030.05 MW elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Fabrikada güneş enerji santralinden yıllık 1167.63 MW elektrik tüketimi gerçekleşirken, elektrik

üretiminin yeterli olmadığı bazı aylarda ise şebekeden 114.62 MW elektrik tüketimi gerçekleşmiştir.

Tablo 4. Asansör üretim fabrikası elektrik üretim ve tüketimi

Aylar	Elektrik üretimi (MWh)	Elektrik tüketimi (MWh)	Şebekeden elektrik tüketimi (MWh)
Ocak	128.21	101.77	0
Şubat	130.37	70.24	0
Mart	213.42	98.13	0
Nisan	221.35	53.10	0
Mayıs	280.96	78.16	0
Haziran	266.07	28.38	0
Temmuz	256.77	93.62	0
Ağustos	99.75	147.49	47.74
Eylül	127.67	124.39	0
Ekim	102.96	107.62	4.66
Kasım	92.04	132.52	40.48
Aralık	110.48	132.21	21.74
Toplam	2030.05	1167.63	114.62

Fabrikada üretim esnasında prosesde su kullanımı yoktur. Fabrikada içerisinde çalışanların günlük su ihtiyaçları ve ayrıca fabrika alanındaki yaklaşık 7500 m² çim yeşil alanının ve ağaçların sulanması için ihtiyaç duyulan su şebekeden karşılanmaktadır. Tablo 5'te her iki kullanım için şebekeden alınan su tüketim miktarı verilmiştir. İhtiyaçlar için su tüketimi 2101 m³ ve yeşil alan sulaması için su tüketimi 9524 m³'tür. Fabrikada 2023 yılında 11625 m³ su tüketimi gerçekleşmiştir. Oluşan atıksu miktarı ise 2101 m³'tür.

Tablo 5. Asansör üretim fabrikası su tüketimi

Aylar	Su tüketimi (m ³)	Yeşil alan sulaması (m ³)
Ocak	186	-
Şubat	147	-
Mart	153	425
Nisan	165	1198
Mayıs	175	1125
Haziran	158	745
Temmuz	148	1897
Ağustos	150	1383
Eylül	165	1082
Ekim	152	912
Kasım	165	757
Aralık	337	-
Toplam	2101	9524

Tablo 6'da fabrikada 2023 yılında tüketilen yakıt miktarları verilmiştir. Fabrikada yıllık 3920.71 L benzin, 6733.37 L ise motorin tüketimi olmuştur.

Tablo 6. Asansör üretim fabrikası 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	3920.71	6733.37

2.2 Karbon ayak izi hesaplama metodolojisi

ISO 14064 serisi standartlar 2006 yılında ISO tarafından yayınlanmış olup, ilk olarak 2007 yılında TSE tarafından Türk Standardı olarak kabul edilmiştir. TS EN ISO 14064-1:2018; kuruluş seviyesindeki sera gazı envanterinin tasarlanması, geliştirilmesi, yönetilmesi ve raporlanması için şartları tanımlamakta ve kuruluşların sera gazı envanterinin doğrulanması için esas teşkil etmektedir [19]. Bir kuruluşun karbon ayak izinin üç bileşeni vardır. Bunlardan ilki Kapsam 1 emisyonları yani doğrudan sera gazı emisyonlarıdır. Bunlar bir kuruluşun sahip olduğu veya kontrol ettiği sera gazı kaynaklarından salınan sera gazı emisyonlarıdır. Kurumun faaliyetlerine bağlı olarak üretim, ısınma ve ulaşım için kullandığı enerjiyi karşılamak üzere kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklı atmosfere verilen emisyonlar doğrudan karbon ayak izi olarak tanımlanmaktadır. Kapsam 2 emisyonlar ise dolaylı sera gazı emisyonlarıdır. Bunlar bir kuruluşun, işlemleri ve faaliyetlerinin bir sonucu olarak gerçekleşen fakat kuruluşun sahip olmadığı veya kontrolü altında olmayan sera gazı kaynaklarından ortaya çıkan sera gazı emisyonlarıdır. Kurumun elektrik enerjisi kullanımından kaynaklanan emisyonlar dolaylı karbon ayak izi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca kurumun bir başka kurumdaki satın aldığı veya tedarik ettiği buhar, soğutma veya sıcak suya bağlı emisyonlarda bu kapsamda değerlendirilmektedir. Kapsam 2 emisyonları, üretildikleri tesiste fiziksel olarak meydana gelseler de kuruluşun enerji kullanımının bir sonucu oldukları için kuruluşun sera gazı envanterinde hesap edilmektedir. Son olarak ise Kapsam 3 emisyonlar diğer dolaylı sera gazı emisyonlarıdır. Kurumun her türlü ürün ve hizmet alımına bağlı emisyonlar (araç kiralama emisyonları, kurum çalışanı iş seyahat emisyonları) bu kapsamda değerlendirilmektedir.

Karbon ayak izi hesaplanması için 2006 IPCC Klavuzu ve TS EN ISO 14064-1 standardından yer alan Tier (Kapsam) yaklaşımları kullanılmaktadır. Hesaplama kullanılan verilerin niteliğine göre 3 farklı hesaplama yöntemi vardır. Tier 1 yöntemi yakıt tüketimi bazlı bir değerlendirme yöntemidir. Uluslararası verinin kullanılması durumudur. Sera gazı emisyonları yakılan yakıt miktarları ve ortalama emisyon faktörleri temelinde tahmin edilmektedir. Tier 2 yöntemi Tier 1 yöntemi ile benzer bir yöntem olmakla birlikte Tier 2 yönteminde emisyonlar ülkeye özgü emisyon faktörleri (kullanılan yakıt türü, yanma teknolojisi gibi bilgilere bağlı) kullanılarak hesaplanmaktadır. Tier 3 yönteminde ayrıntılı emisyon modelleri veya bireysel tesis düzeyinde ölçümler ve veriler kullanılır. Çalışma kapsamında asansör üretim fabrikası karbon ayak izi Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri için tesise ait veriler bulunmadığından Tier 1 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. 2023 yılına ait fabrikanın atık ve atıksu oluşumu, su, doğalgaz, elektrik ve yakıt tüketim verileri kullanılarak Eşitlik (1) ile hesaplanmıştır [20].

$$\text{Karbon ayak izi (CO}_2\text{)} = \text{Faaliyet verisi} \times \text{Emisyon Faktörü} \quad (1)$$

Karbon ayak izi hesaplanmasında küresel ısınma potansiyeli CO₂ için 1, CH₄ için 28, N₂O için 265 olarak alınmıştır [21].

3 Bulgular ve tartışma

Tablo 7’de asansör üretim fabrikası 2023 yılı sera gazı oluşum kaynakları ve miktarları, karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan karbon emisyon faktörü değerleri [22, 23] ve emisyonların CO₂ eşdeğeri verilmiştir. Üretim sürecinde gelen hammaddelerin ambalajlanmasında ve montaja giden ürünlerin ambalajlanmasında kullanılan kağıt ve karton atıkların karbon ayak izi 9.595 tCO₂e/yıl olarak tespit edilmiştir. Fabrikada plastik atıklar daha çok ürünlerin shrinklemesinde kullanılan naylon ambalajların firelerinden kaynaklanmaktadır. Plastik atıklar için karbon ayak izi 2023 yılında 12.568 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Üretim sürecinde oluşan silikon tüpleri, variller, makine bakım yağları gibi tehlikeli atıkların karbon ayak izi 0.185 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. 2023 yılında fabrikada atık kaynaklı toplam karbon ayak izi 22.348 tCO₂e/yıl olarak tespit edilmiştir.

2023 yılında fabrikada çalışanları ve yeşil alan sulaması için kullanılan 11625 m³ su için CO₂ eşdeğeri 16.725 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Evsel ihtiyaçlar için kullanılan su atıksuya dönüşürken yeşil alan sulaması için kullanılan su ise atıksu hesaplamalarına dahil edilmemiştir. 2101 m³ atıksu için CO₂ eşdeğeri 20.42 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Buna göre su ve atıksu ihtiyaçları için toplam CO₂ eşdeğeri 37.145 tCO₂e olarak tespit edilmiştir.

Fabrikada GES ile elektrik üretimi sağlanmakta ve üretilen elektrik fabrikada elektrikli makinalar, tezgahlar ve aydınlatma gibi ihtiyaçlar için kullanılmaktadır. Mevsimlere göre GES elektrik üretimi yetersiz olduğunda ise elektrik ihtiyacı şebekeden karşılanmaktadır. Fabrikada 2023 yılında 114.62 MWh elektrik tüketimi gerçekleşmiş olup elektrik tüketimine bağlı 98.114 tCO₂e oluştuğu tespit edilmiştir.

Doğalgaz fabrikada ofislerin ve 17.000 m² alanın ortam şartlarının çalışanlar için uygun olacağı şekilde ısıtılması amaçlı kullanılmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucu 2023 yılında fabrikada 52.838 m³ doğalgaz tüketimi olmuş ve bu tüketim sonucunda 100.30 tCO₂e/yıl oluşmuştur.

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 26056.73 L motorin ve 3920.71 L benzin tüketimi olmuştur. Motorin ve benzinli araçlar için 2023 yılı için ulaşım kaynaklı karbon ayak izi 79.112 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır.

Fabrikada doğalgaz ve kurum araçlarında ulaşım amacıyla tüketilen benzin ve motorin kaynaklı emisyonlar Kapsam 1, elektrik tüketimi kaynaklı oluşan emisyonlar Kapsam 2, atık, su ve atıksu kaynaklı emisyonlar ise Kapsam 3 emisyonlar olarak değerlendirilmiştir. Kapsam 1 doğrudan sera emisyonları toplam emisyonun %53’ünü, Kapsam 2 dolaylı sera gazı emisyonları toplam emisyonun %29’unu, Kapsam 3 diğer dolaylı sera gazı emisyonları ise toplam emisyonun %18’ini oluşturmaktadır.

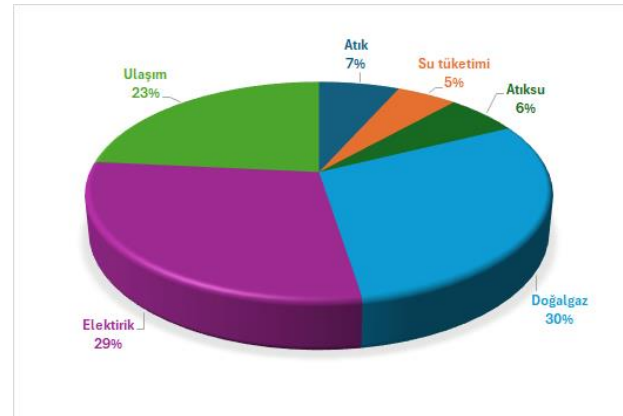
Fabrika bahçesinde toplam 36 yetişkin ağaç vardır. Fabrika her çalışanın doğum gününde 3 fidan bağışı yapmakta olup 80 çalışan için yılda 240 ağaç bağışı yapmıştır. Ağacın fotosentez yoluyla yıllık ortalama emisyon azaltımı 11 kg’dır [24].

Sürdürülebilir doğum günü fidan bağışı politikası sayesinde yaklaşık olarak belirli süre sonra yapılan fotosentez oranı yetişkin ağaç için sabitleneceği düşünülürse 2023 yılında 276 ağacın fotosentez ile kullandığı CO₂ miktarı 3.036 tCO₂e/yıl’dır. Fabrikanın üretim kaynaklı toplam karbon ayak izi toplam 337.019 tCO₂e/yıl olup net 2023 yılı kurumsal karbon ayak izi 333.983 tCO₂e/yıl’dır.

Şekil 2’de kurumun 2023 yılı CO₂ emisyonlarının dağılımı verilmiştir. En yüksek CO₂ emisyon oluşumunun %30 ile doğal gaz (100.30 tCO₂e/yıl) ve %29 ile elektrik (98.114 tCO₂e/yıl) kullanımından kaynaklandığı görülmektedir. Fabrikada çalışma ortamı ve ofislerin ısıtılması için doğalgaz kullanılmaktadır. Üretim ve depo alanlarının yalıtımsız olduğu ve ısı kaybının fazla olmasından kaynaklı doğalgaz tüketimine bağlı CO₂ emisyonunun yüksek olduğu görülmektedir. Doğalgaz tüketimi kaynaklı emisyonların azaltılması için ısı kaybının önlenmesi gereklidir. Hammadde girişi son madde çıkışı gibi kapıların doğrudan üretim alanına açılması üretim alanını soğutmakta ve ayarlanan ortam ısısına ulaşmak için doğalgaz tüketimi artmaktadır. Sık açılan kapıların belirlenmesi ve içerdeki ısıyı koruyacak şekilde art arda iki kapı şeklinde düzenleme yapılması ısı kaybını ve dolayısıyla doğalgaz tüketimini azaltacaktır.

Fabrikanın çatısında 2 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santrali bulunmakla birlikte üretilen elektrik güneşlenmenin çok olduğu aylarda tüketime yetse de güneşlenmenin az olduğu aylarda elektrik tüketime yetişmemektedir. Ayrıca siparişin fazla olduğu zamanlarda yapılan 3. vardiya çalışmaları da elektrik tüketimini artırmaktadır. Elektrik üretiminin elektrik tüketimini karşılayamadığı aylarda enerji tasarruf tedbirleri belirlenerek uygulamaya koyulması önemlidir.

Fabrikaya çalışanların iki ve/veya üç vardiya çalışma sisteminde geliş gidişleri ile bazı fabrika çalışanlarının kullandığı araçlardan kaynaklanan yakıt kaynaklı tCO₂e emisyonu %23 ile üçüncü sırada (79.112 tCO₂e/yıl) emisyon kaynağı olarak görülmektedir. Ulaşım kaynaklı emisyon miktarının azaltılmasında araçlarda fosil yakıt kullanımı yerine fabrikaya ait araçların elektrikli araçlar ile değiştirilmesi önemli karbon emisyon azaltımı sağlayacaktır.



Şekil 2. Asansör fabrikası CO₂ emisyon dağılımı

Tablo 7. Asansör üretim fabrikası kurumsal karbon ayak izi sonuçları

Atık	Kapsam 3	Atık miktarı (kg)	C Emisyon faktörü	CO ₂ eşdeğeri (tCO ₂ e/yıl)
Kağıt karton atığı (kg)		10340	0.928 kg CO ₂ eq/kg	9.595
Plastik atık (kg)		5835	2.154 kg CO ₂ eq/kg	12.568
Tehlikeli atık (kg)		8840	0.021 kg CO ₂ eq/kg	0.185
Toplam				22.348
Su ve Atıksu	Kapsam 3	Su ve atıksu miktarı (m ³)		
Su tüketimi		11625	0.0014 kg CO ₂ eq/L	16.725
Atıksu CH ₄ emisyonu		2101	0.3 kg CH ₄ kg/m ³	17.64
Atıksu N ₂ O emisyonu		2101	0.005 N ₂ O kg/m ³	2.78
Toplam				37.145
Elektrik	Kapsam 2	Tüketim miktarı (MWh)		
Elektrik tüketimi		114.62	0.856 kg CO ₂ eq/kWh	98.114
Doğalgaz	Kapsam 1	Tüketim miktarı (m ³)		
Doğalgaz CO ₂ emisyonu		52838	1.884961 CO ₂ kg/m ³	99.59
Doğalgaz CH ₄ emisyonu		52838	0.000168 CH ₄ kg/m ³	0.248
Doğalgaz N ₂ O emisyonu		52838	0.0000336 N ₂ O kg/m ³	0.470
Toplam				100.30
Ulaşım	Kapsam 1	Tüketim miktarı (L)		
Motorinli CO ₂ emisyonu		26056.73	2.676492 CO ₂ kg/L	69.738
Motorinli CH ₄ emisyonu		26056.73	0.0003612 CH ₄ kg/L	0.263
Motorinli N ₂ O emisyonu		26056.73	0.000021672 N ₂ O kg/L	0.149
Benzinli CO ₂ emisyonu		3920.71	2.2717926 CO ₂ kg/L	8.907
Benzinli CH ₄ emisyonu		3920.71	0.00032782 CH ₄ kg/L	0.035
Benzinli N ₂ O emisyonu		3920.71	0.0000196692 N ₂ O kg/L	0.020
Toplam				79.112

Atıksu kaynaklı CO₂ emisyon oluşumu toplam miktarın %6'sını (20.42 tCO₂e/yıl), atıklar %7'sini (22.348 tCO₂e/yıl), su tüketimi ise %5'ini (16.725 tCO₂e/yıl) oluşturmaktadır. Fabrikada kullanılan çeşmelerin 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 eğitimler verilmesi su tasarrufu bilinci oluşturarak su tüketimi ve atıksu oluşumu kaynaklı karbon salınımını azaltacaktır.

Ülkemizde özellikle son yıllarda farklı endüstriyel sektörlere ait karbon ayak izi hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve karbon emisyonlarını azaltımına yönelik önerilerde bulunulmuştur. Yıllık 5 milyon ton üretim kapasitesine sahip bir çimento fabrikasının çimento üretim sürecinden kaynaklanan karbon emisyonları hesaplanmış ve toplam CO₂ miktarı 2017 yılında 3528673 ton, 2018 yılında 3594136 ton olarak tespit edilmiştir. Toplam CO₂ emisyonunun %60-65'inin klinker üretimi sırasında oluştuğu, %35-40'ının petrokok ve taş kömürü kullanımından kaynaklandığı hesaplanmıştır. Üretim sürecinde kömür yerine fuel oil kullanımı durumunda yaklaşık %16 CO₂ azaltımı, doğal gaz kullanım durumunda ise yaklaşık %40 civarında azaltım sağlanabileceği belirlenmiştir. Ayrıca linyit kullanımı taş kömüründen daha yüksek CO₂ emisyonlarına neden olmaktadır [16].

Pompa üretim fabrikasından kaynaklanan sera gazı emisyonları (doğalgaz kullanımı, elektrik kullanımı, atık yağ, tehlikeli atık, tehlikesiz atık, dizel ve benzinli araçlar, atıksu) toplam 1391.53 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Tesisin en çok karbon emisyonuna %69 oranı ile elektrik kullanımının neden olduğu belirlenmiştir. Tesisin bahçesinde bulunan 714 ağaç ile 1 yılda 7.9 tCO₂e tutulmaktadır. Yıllık üretilen pompa sayısı dikkate alındığında bir pompa üretiminden kaynaklanan karbon emisyonunu yutmak için 5 adet ağaç dikilmesi gereklidir. En yüksek paya sahip elektrik kullanımını azaltmak için verimlilik iyileştirme çalışmaları yapılması karbon salınımını azaltacaktır [17].

Bursa Organize Sanayi Bölgesinde otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet göstermekte olan bir firmanın karbon ayak izi Tier 1 yaklaşımı (ısınma kaynaklı kullanılan yakıtlar, elektrik enerjisi tüketimi, su kullanımı, atıksu oluşumu, atık oluşumu, taşıyon hizmet yolu ile temin edilen personel veya servis araçları) kullanılarak hesaplanmıştır. Tesisin sera gazı emisyonu 2019 yılında yaklaşık 16501 tCO₂e ve 2020 yılında ise 12921 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Tesis alanı içerisinde bulunan 173 ağaç bir yıl boyunca 1.903 ton CO₂ absorbe etmektedir. 2019 yılı içinde tesis genelinde oluşan kağıt-karton ambalajlarının geri dönüşümü ile 451.44 ton CO₂ oluşumu engellenmiştir. Tesiste 2019 yılında yıllık CO₂ emisyonunun %79'unun, 2020 yılında ise %83'ünün elektrik tüketimi kaynaklı

oluştugu tespit edilmiştir. Karbon ayak izi azaltımı için yenilenebilir enerji kaynağı kurulması durumunda 2019 verilerine kıyasla 489.538 tCO₂e emisyonun oluşmasının önleneceği sonucuna varılmıştır [25].

Adana da faaliyet gösteren bir otomotiv fabrikasının operasyonel, kurumsal ve sosyal faaliyet kaynaklı karbon ayak izi hesaplanarak azaltım yöntemleri ortaya koyulmuştur. Fabrikanın 2022 yılı karbon salınımı 12237.37 tCO₂e olarak tespit edilirken, en yüksek katkının doğalgaz (%51.59) kullanımı kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Tesisin karbon ayak izi azaltımının sağlanabilmesi için, hem enerji eldesinde hem de şirket faaliyetleri ve üretimlerinde yeşil enerji kullanımının yaygınlaştırılması, şirket içerisinde kullanılan araçlarda fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmesi, üretim ve lojistik kaynaklı ulaşım faaliyetlerinde daha çevreci ve düşük emisyonlu yöntemlere geçilmesi, atıksuların tekrar kullanımı gibi iyileştirmeler sonucunda fabrika emisyonlarının %45 azaltılabileceği sonucuna varılmıştır [26].

Gaziantep'te bulunan bir tekstil fabrikasının (elektrik, doğalgaz, su) toplam karbon ayak izi 1514.53 tCO₂e olarak hesaplanmış ve işletmenin karbon ayak izi azaltımı için enerji kaynakları ile yapılan değerlendirmeler, emisyonlarda önemli derecede azalma potansiyeli göstermiştir. Yalnızca güneş panellerinin uygulanması ile karbon ayak izi 625.18 ton/yıl'a düşmekte bu sonuç yenilenebilir enerji kullanımının etkinliğini göstermektedir. Bu bulgular, tekstil endüstrisinin daha sürdürülebilir malzemeleri benimsemesi ve enerji verimliliği yüksek üretim süreçlerini kullanması gerektiğini ortaya koymaktadır [27].

Bursa'da bir alüminyum üretim tesisinin sera gazı salınımı 2021 yılında 38243.5 tCO₂e olarak tespit edilmiştir. Toplam emisyonların %62.77'si doğrudan sera gazı emisyonlarından, %37.23'lük kısmı ise enerji dolaylı sera gazı emisyonlarından oluşmaktadır. Doğrudan sera gazı emisyonları incelendiğinde; emisyonlarının yaklaşık %95'i doğalgaz kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Tesisin elektrik ve doğalgaz tüketimi yoğun olduğu için en kısa sürede yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeleri gerekmektedir [28].

İzmir'de makine yedek parça imalatı faaliyetinde bulunan bir tesisin 2021-2023 yıllarını kapsayan üretim ve tüketim verileri (elektrik tüketimi, yakıt tüketimi, su tüketimi, atıksu oluşumu, atık oluşumu) dikkate alınarak karbon ayak izi belirlenmiştir. Karbon emisyonu 2021 yılında 13.15 tCO₂e, 2022 yılında 12.72 tCO₂e, 2023 yılında 13.13 tCO₂e olarak tespit edilmiştir. En yüksek emisyon değeri %48 ile elektrik tüketimi, ikinci olarak %47'lik değer ile yakıt tüketimi kaynaklıdır. Tesisin elektrik tüketimini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynağı olarak GES kullanması önerilmektedir [29].

Kauçuk esaslı yakıt hortumu, kauçuk esaslı profil ve PVC profil, PVC granül üretim faaliyeti gerçekleştiren bir tesisin 2022 yılı karbon ayak izi 4372.1 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Fosil yakıt kullanımının bırakılması, elektrikli araç kullanımına geçilmesi, su, doğalgaz, elektrik, ısıtma ve ulaşım tasarruf yapılabilecek projelerin geliştirilmesi ile karbon salınımının azaltılabileceği sonucuna varılmıştır [30].

Gerçekleştirilen çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde farklı sektörler için sera gazı salınımının daha çok elektrik ve doğalgaz tüketimi sebebiyle gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ve ağaçlandırma çalışmaları ile karbon ayak izinin azaltıldığı görülmektedir.

4 Sonuçlar

İklim değişikliği ile mücadelede sera gazı emisyonlarının azaltılması için atılabilecek ilk adım emisyon kaynaklarının belirlenmesidir. Emisyon kaynakları belirlendikten sonra ise karbon salınımını azaltacak iyileştirme önlemlerinin belirlenerek uygulamaya geçilmesi gerekir. Bu amaçla endüstriyel tesislerin karbon ayak izi hesaplamalarını yapmaları gereklidir. Endüstriyel bağlamda, karbon ayak izi enerji kullanımı, ham maddeler, ulaşım ve atık yönetimi gibi tüm üretim sürecinden kaynaklanan emisyonları içerir. Endüstriyel tesislerin faaliyetleri içerisinde en fazla sera gazı üretimine sebep olan noktalar belirlenerek iklim değişikliğine olan etkiyi azaltabilmek için gereken hedefler belirlenmektedir.

Çalışma kapsamında asansör üretimi yapan bir fabrikanın kurumsal karbon ayak izi doğalgaz, elektrik ve su tüketimi, atık ve atıksu oluşumu ve ulaşım kaynaklı sera gazı salınımları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Fabrikada doğalgaz kullanımı ve ulaşım kaynaklı emisyonlar doğrudan (Kapsam 1), elektrik tüketimi kaynaklı emisyonlar (Kapsam 2) ise dolaylı emisyon kategorisinde değerlendirilmiştir. Diğer dolaylı emisyonlar (Kapsam 3) olarak atık oluşumu, su kullanımı ve atıksu oluşumu kaynaklı emisyonlar çalışma sınırlarında değerlendirilmiştir. Fabrikanın 2023 yılı net kurumsal karbon ayak izi 333.983 tCO₂e/yıl olarak tespit edilmiştir. Toplam karbon salınımında en yüksek payı %30 ile doğalgaz ve %29 ile elektrik tüketimi oluştururken, %23'ünü ulaşım faaliyetleri, %7'ini atık oluşumu, %6'ını atıksu oluşumu, %5'ini ise su tüketimi faaliyetleri oluşturmaktadır. Doğrudan sera emisyonları (Kapsam 1) toplam emisyonun %53'ünü, dolaylı sera gazı emisyonları (Kapsam 2) toplam emisyonun %29'unu, diğer dolaylı sera gazı emisyonları (Kapsam 3) ise toplam emisyonun %18'ini oluşturmaktadır. Tesiste en yüksek sera gazı emisyonu Kapsam 1 doğrudan sera gazı emisyonları kaynaklı oluşmaktadır. Diğer dolaylı karbon ayak izinin toplam emisyon içerisinde düşük çıkması Kapsam 3 emisyonlarında sınırlı sayıda emisyon kaynağının değerlendirilmesi sonucu olabilir. Ancak yapılacak çalışmalarda kurumsal karbon ayak izi hesaplamalarında diğer dolaylı emisyonlar kapsamında tedarik zinciri emisyonları, taşıeron hizmetleri veya çalışan seyahatleri gibi daha birçok emisyon faktörünün dikkate alınarak hesaplamaların yapılması gereklidir. Yüksek karbon salınımına neden olan karbon ayak izine önemli bir katkı sağlayan doğalgaz ve elektrik tüketimini azaltmaya yönelik tedbirler alınması önemlidir. Hükümetler ve uluslararası kuruluşlar, özellikle büyük şirketler için giderek daha fazla karbon raporlaması zorunluluğu getirmektedir. Karbon emisyonlarını hesaplamak genellikle çevre düzenlemelerine, karbon vergilerine ve emisyon ticareti sistemlerine uyum için bir ön koşuldur. Düşük karbon ayak izine sahip şirketler,

karbon sınırlarını aşan diğer işletmelere fazla ödenek veya kredi satabilecekleri emisyon ticareti planlarından faydalanabilirler. Özellikle endüstriyel sektörlerin Avrupa Birliği üyesi ülkelerin pazarına erişimde Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde gerçekleşmekte olan ekonomik dönüşüm süreçlerine şimdiden uyum sağlaması için karbon ayak izinin hesaplanması ve sera gazı emisyon azaltım hedeflerini belirlemesi gerekmektedir. 2023 yılında fabrikada 780 asansör üretimi gerçekleştirilmiş olup bir asansör için karbon ayak izi 0.414 tCO₂e/yıl olarak hesaplanmıştır. Alınacak önlemler ile birim üretim başına oluşan sera gazı salınım azaltım hedefleri belirlenebilir. Fabrikada doğalgaz kullanımını azaltacak ısı kaybının önlenmesi, elektrik kullanımını azaltacak tedbirlerin alınması, ulaşımdan kaynaklanan sera gazı salınımının azaltılması için benzin ve motorin kullanan araçların elektrikli araçlar ile değiştirilmesi, su kullanım ve atıksu oluşumun azaltacak tedbirlerin alınması ve daha çok ağaçlandırma faaliyetleri yapılması ile sera gazı salınımı azaltılabilir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %19

Kaynaklar

- [1] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2013.
- [2] IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, <https://doi.org/10.59327/IPCC/A.R6-9789291691647>, 2023.
- [3] H. Ritchie and M. Roser, CO₂ emissions, Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>, 2020.
- [4] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>, 2022.
- [5] Y. Xiong, R. Wang, T. Gasser, P. Ciais, J. Peñuelas, J. Sardans, J.H. Clark, J. Cao, X. Xing, S. Xu, Y. Deng, L. Wang, J. Chen, X. Tang and R. Zhang, Potential impacts of pandemics on global warming, agricultural production, and biodiversity loss, One Earth, 7, 4, 697-713, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.02.012>
- [6] S.S. Abdul-Nabi, V.A. Karaki, A. Khalil and T.E. Zahran, Climate change and its environmental and health effects from 2015 to 2022: A scoping review, Heliyon, 11, e42315, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42315> R.
- [7] United Nations, The Paris agreement. Article 2. New York: United Nations; 2015. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf, Accessed 20 October 2024.
- [8] L.C. Lau, K.T. Lee and A.R. Mohamed, Global warming mitigation and renewable energy policy development from the Kyoto Protocol to the Copenhagen Accord—A comment, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 5280-5284, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.006>.
- [9] D. Bose, R. Bhattacharya, T. Kaur, R. Pandya, A. Sarkar, A. Ray, S. Mondal, A. Mondal, P. Ghosh and R.I. Chemudupati, Innovative approaches for carbon capture and storage as crucial measures for emission reduction within industrial sectors, Carbon Capture Science & Technology, 12, 100238, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100238>.
- [10] R.M. Galvín, Carbon footprint associated to urban water cycle of Cordoba ' (Spain). BEN 1, 21–25, 2019. <https://doi.org/10.36937/ben.2020.001.004>.
- [11] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030), <https://iklim.gov.tr/eylem-planlari-i-19>, Accessed 17 March 2025.
- [12] Ticaret Bakanlığı, Yeşil Mutabakat, <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat>, Accessed 20 October 2024.
- [13] F. Scrucca, G. Barberio, V. Fantin, P.L. Porta and M. Barbanera, Carbon Footprint: Concept, Methodology and Calculation. In: Muthu, S.S. (eds) Carbon Footprint Case Studies. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. Springer, Singapore 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9577-6_1.
- [14] M.E. Argun, R. Ergüç ve Y. Sarı, Konya/Selçuklu ilçesi karbon ayak izinin belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7, 2, 287, 297, 2019. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2019.199>.
- [15] M.Z. Büyükcem ve F. Bedük, Konya Gençlik Merkezi karbon ayak izi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 4, 1101-1108, 2023. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1243783>.
- [16] M.T. Şahin, Karbon ayak izi uygulamaları: çimento fabrikası örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [17] M. Balta, Endüstri kaynaklı karbon ayak izi azaltımı ve enerji verimliliği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2020. <http://www.epdk.org.tr>, Accessed 17 March 2025.
- [18] TS EN ISO 14064-1, Sera Gazları – Bölüm 1: Sera gazı salımlarının ve uzaklaştırmalarının kuruluş seviyesinde hesaplanmasına ve raporlanmasına dair kılavuz ve özellikler (ISO 14064-1:2018) (EN ISO 14064-1:2019), 2019.
- [20] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>, Accessed 20 October 2024.

- [21] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp, 2014.
- [22] S. Sawant and B. Babaleshwar, A New Method of Assessment and Equations on Carbon Footprint, J. Appl. Geology and Geophysics, 3, 52-59, 2015. <https://doi.org/10.9790/0990-03415259>.
- [23] Sera Gazı Protokolü, Sera Gazı Envanterleri için Uluslararası Rehberlik, <https://www.wri.org/initiatives/greenhouse-gas-protocol>, 2017. Accessed 10 April 2024.
- [24] K. Akbari, Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants, Environmental Pollution, 116, 119-126, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00264-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00264-0).
- [25] G. Dindar, Otomotiv yan sanayinde karbon ayak izinin hesaplanması, Bursa ili örneği, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2021.
- [26] Ö. Akpınar, Otomotiv endüstrisi için karbon ayak izi hesaplamaları, değerlendirilmesi ve azaltım yöntemlerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2023.
- [27] Md.M. İslam, Bir tekstil sektörü için karbon ayak izi, Çukurova Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2024.
- [28] B. Aşır, Karbon ayak izinin hesaplanması: alüminyum firması örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2024.
- [29] H. Kendir Duman, Makine yedek parça imalatı yapan bir tesisin karbon ayak izinin belirlenmesi ve azaltımının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2024.
- [30] E.B. Mert, Kauçuk esaslı yakıt hortumu (örgülü ve örgüsüz), profil ve PVC profil, PVC granül faaliyeti gerçekleştiren bir fabrikada kapsam-1 ve kapsam-2 karbon ayak izi hesaplaması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2024.

