

Kurumsal Karbon Ayak İzi Analizi: Bir Kimya Fabrikası için Örnek Hesaplama

Gözde Çolak¹, Burçin Atılğan Türkmen^{1,*}

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik.

Özet

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, insanlığın gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmaması riskiyle birlikte son yıllarda ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir kalkınma süreci ekonomik büyüme, çevrenin korunması ve sosyal sorumluluk alanlarındaki gelişimlere paralel olarak ilerleyebilmektedir. İklim değişikliği, sürdürülebilir kalkınma için büyük bir tehdittir ve sanayileşme, kentleşme ve enerji tüketimi gibi faktörlerin bir sonucu olarak etkileri daha görünür hale gelmektedir. İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için sera gazı emisyonlarının hızla azaltılması gerekmektedir. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında en önemli adım, emisyonların kaynağının, nasıl üretildiğinin ve gerekli iyileştirme önlemlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla bireysel, kurumsal veya sektörel karbon ayak izi hesaplaması yapılmaktadır. Bir şirketin kurumsal karbon ayak izinin hesaplanması, çoğu zaman iklim değişikliğiyle mücadelenin başlangıç noktasıdır. Bu hesaplama ile işletmenin faaliyetleri içerisinde en fazla sera gazına sebep olan noktalar bulunarak iklim değişikliğine olan etkiyi azaltabilmek için gereken hedefler belirlenmektedir. Bu hesaplama, işletmenin faaliyetlerinde en fazla sera gazının kaynaklarını tanımlar ve iklim değişikliğinin etkisini azaltmak için gereken hedefleri belirler. Bu çalışma sera gazı emisyonları, kurumsal sürdürülebilirlik, kurumsal karbon ayak izi ve hesaplama yöntemlerine genel bir bakışın yanı sıra kurumsal düzeyde karbon ayak izi hesaplayıcıları tarafından rehber olarak kullanılabilen örnek bir hesaplama içermektedir.

Anahtar Sözcükler

Karbon Ayak İzi, Kurumsal Hesaplama, İklim Değişikliği, Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma

Corporate Carbon Footprint Analysis: Example Calculation for a Chemical Factory

Abstract

In recent years, the concept of sustainable development has emerged as a concept associated with the risk that humanity will be unable to leave a livable world to future generations. The process of sustainable development can move in parallel with advances in economic growth, environmental protection, and social responsibility. Climate change is a major threat to sustainable development, and its effects are becoming more visible as a result of factors such as industrialization, urbanization, and energy consumption. Greenhouse gas emissions must be reduced rapidly in order to mitigate the effects of climate change. The most crucial step in reducing greenhouse gas emissions is to identify the source of the emissions, how they are produced, and the necessary improvement measures. Individual, corporate, and sectoral carbon footprints are calculated for this purpose. The calculation of a company's corporate carbon footprint is frequently the starting point for combating climate change. This calculation identifies the sources of the most greenhouse gases in the enterprise's activities and determines the targets needed to reduce the impact of climate change. This study includes an overview of greenhouse gas emissions, corporate sustainability, corporate carbon footprint and calculation methods, as well as a sample calculation that can be used as a guide by corporate-level carbon footprint calculators.

Keywords

Carbon Footprint, Corporate Calculation, Climate Change, Sustainability and Sustainable Development

1. Giriş

Günümüzde karşı karşıya olduğumuz en önemli sorunlardan biri iklim değişikliğidir. Bu sorunu Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi "karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini değiştiren insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik" olarak tanımlamıştır (UNFCCC 1992). İklim değişikliği, nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşme ve enerji talebi gibi sebeplerden dolayı yirminci yüzyılın ikinci yarısı ile birlikte etkisini daha fazla hissettirmekle beraber küresel bir gündem maddesi haline gelmiştir (IPCC 2022).

Enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır (IEA 2022). Artan enerji ihtiyacının kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıt tüketimi ile sağlanması küresel iklim değişikliğinin en önemli nedenidir. Fosil yakıtların yakılması küresel ısınmanın kaynağı olan başta karbondioksit (CO₂) olmak üzere sera gazlarının artmasına sebep olmaktadır (Akyüz vd. 2019; Üreden ve Özden 2018).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (228) 2141980 Faks: +90 (228) 2141027

E-posta: colak.gozde@hotmail.com (Çolak G),

burcin.atilganturkmen@bilecik.edu.tr (Atılğan Türkmen B)

Gönderim Tarihi / Received : 24/05/2022

Kabul Tarihi / Accepted : 19/01/2023

Bununla birlikte toprak ve arazinin bilinçsiz ve verimsiz kullanılması küresel ısınmaya bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliğine neden olan, etkenlerin başında gelmektedir. Bunun yanı sıra iklim değişikliğinin etkisiyle artan ormansızlaşma, karbon tutma potansiyelini de azaltmaktadır (Türe 2011).

Küresel iklim değişikliği sorunu için önlem alınmazsa, daha sonraki dönemlerde de etkisinin artarak süreceği ve bunun telafisi olmayan bir durumu ortaya çıkaracağı belirtilmektedir (IPCC 2018). Artan sıcak hava dalgaları, şiddetli hava olayları, kıyı taşkınları ile kar ve kutup buz örtüsünün kaybı ile birlikte, insanların gerçekleştirdiği endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerinden kaynaklanan, atmosferde sera gazlarının birikmesinin beklenen etkilerinden sadece birkaçı olarak ortaya çıkmaktadır (Ritchie vd. 2020). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 6. değerlendirme raporu, iklim değişikliğinin ekosistem ve insanlara yönelik kayıp ve zararlara sebep olduğunu, tarım ve gıda üretimi üzerinde olumsuz etkilerinin arttığını ve ekonomik olarak büyümeyi zorlaştırdığını kanıtlamaktadır (IPCC 2022).

Son yirmi yılda, özellikle 1997 Kyoto Protokolü ve 2015 Paris Anlaşması gibi uluslararası iklim zirveleriyle beraber, uluslararası iklim politikasında tüm dünya ülkelerini ilgilendiren sonuçlar ortaya çıkmış ve bu konuda bölgesel, ulusal ya da uluslararası birtakım önlemler alınmaya başlanmıştır. Öncesinde ise 1972 yılında Stockholm'de, 1992 yılında Rio de Janeiro ve 2002 yılında Johannesburg'da ülkeler toplanarak iklim değişikliğinin küresel boyuttaki etkilerini kabul ederek değerlendirmişlerdir (IPCC 2018).

Karbon ayak izi, kişi ve kuruluşların faaliyetleri, enerji tüketimi ve ulaşım gibi etkinlikleri sonucunda doğrudan ya da dolaylı atmosfere salınan sera gazı miktarını karbondioksit eşdeğeri cinsinden belirtmek için kullanılır (Wiedmann ve Minx 2008). Kyoto Protokolünde; CO₂, metan (CH₄), azot oksitler (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs) ve kükürt heksaflorür (SF₆) gibi gazlardan oluşan ve atmosferde ısı tutma özelliğine sahip bileşikler sera gazı olarak tanımlanmaktadır. Tablo 1'de bu sera gazlarına ilişkin bilgiler verilmiştir. Tabloda yer alan CO₂ eşdeğeri (CO₂ eşd.); CO₂ haricinde diğer sera gazlarının aynı miktar CO₂'e kıyasla 20-23.900 kat daha fazla ısı tutabilme kapasitesine sahip olduğunu ifade etmektedir. Bu birim kullanılarak tüm sera gazları ortak bir paydada toplanarak, yapılan emisyon hesaplamalarının anlaşılması ve karşılaştırılması kolaylaştırılmıştır. Bu tabloya göre en tehlikeli sera gazı SF₆, en az olansa CO₂ gibi görünmektedir. Ancak miktar açısından CO₂ diğer sera gazlarına kıyasla çok yüksek seviyede olmasından dolayı durum tam tersi olduğu belirtilmiştir (Downie ve Stubbs 2012).

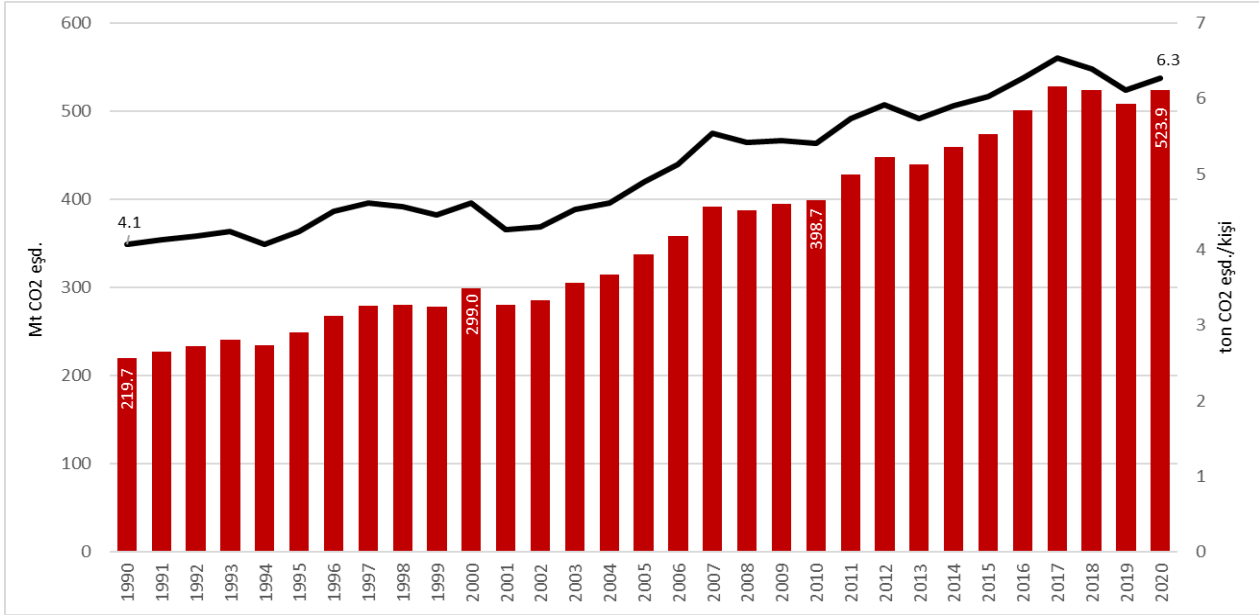
Tablo 1: Kyoto Protokolü'nde baz alınan sera gazları (Downie ve Stubbs 2012)

Sembol	İsim	CO ₂ eşd.	Ana kaynak
CO ₂	Karbondioksit	1	Fosil yakıtların yanması, orman yangınları, çimento üretimi
CH ₄	Metan	21	Atık sahaları, petrol ve doğalgazın üretim ve dağıtım, çiftlik hayvanlarının sindirim sistemlerinin fermantasyonu
N ₂ O	Nitröz oksit	310	Fosil yakıtların yanması, gübreler, naylon üretimi
HFCs	Hidroflorokarbonlar	140~11.700	Buzdolabı gazları, alüminyum eritme, yarı iletken üretimi
PFCs	Perflorokarbonlar	6.500~9.200	Alüminyum üretimi, yarı iletken üretimi
SF ₆	Sülfürheksaflorit	23.900	Elektrik iletim ve dağıtım sistemleri, magnezyum üretimi

Dünya, enerjiyle ilgili ucuz yeterli, güvenilir enerji kaynağına sahip olamamakla birlikte fazla enerji tüketimine bağlı çevresel zararlar olmak üzere küresel boyutta iki tehditle karşı karşıyadır (IEA 2021). Arz ile ilgili olarak, tüm fosil kaynaklar uzun vadede sınırlıdır ve ekonomiler için önemli bir karbon girdisi olan ham petrolün kullanımının gittikçe artması beklenmektedir. Sonuç olarak, uzun vadede karbon bazlı girdiler olan fosil kaynaklar için tahmin edilenin çok üzerinde bir fiyat artışının olacağı tahmin edilmektedir (IEA 2007). Talep ile ilgili olarak ise fosil bazlı yakıtlarının etkileri küresel ısınmanın olumsuz ekolojik sonuçları (IPCC 2022) ve muhtemelen geniş kapsamlı sosyal ve ekonomik etkileri (Carleton ve Hsiang 2016) olacaktır. Bu etkileri azaltabilmek için küresel hedefler belirlenmektedir. Örneğin Avrupa Birliği (AB), 2030 için 1990 düzeyine göre %55'lik bir sera gazı azaltma ve 2050 yılına kadar karbonsuz yaşama geçmeyi bu konudaki hedef olarak belirlemiştir (EU 2022).

Küresel ısınmayı 1,5 °C ile sınırlayan senaryolarda, günümüzde yıllık 8 gigaton (Gt) olan sanayi kaynaklı CO₂ salımlarının, 2050'de 2010 yılına göre yaklaşık %65-90 daha düşük olması gerektiği tahmin edilmektedir. İskoçya'nın Glasgow kentinde 2021 yılında gerçekleştirilen 26. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı (COP26) kapsamında, Avusturya ve Avustralya'nın ortaklaşa liderlik edeceği 'net sıfır' endüstriler misyonu ile sanayi sera gazı emisyonu salımlarının yaklaşık %70'inden sorumlu olan demir çelik, çimento ve kimya gibi ağır sanayi olarak isimlendirilen endüstrilerden, 2050 yılına kadar yaklaşık 60 Gt CO₂ salımlarının önlenerek, 'net sıfır' salım hedefine katkıda bulunmaları beklenmektedir (IPCC 2018).

2021 yılında Türkiye elektrik üretiminin yaklaşık %65'i fosil yakıtlardan sağlanmıştır (TEIAS 2022). Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye'nin yüksek orandaki enerji talebinin büyük bir kısmını fosil yakıtlardan sağladığı göz önüne alındığında sera gazı emisyonlarının hızla artması da kaçınılmazdır. İklim değişikliği için gerekli çalışmaların yapılabilmesi için de ulusal sera gazı emisyonlarını analiz etmek büyük önem taşımaktadır. Türkiye genelinde yapılan sera gazı envanteri çalışması ile yıllık sera gazı emisyonları hesaplanarak 1990 yılına göre değerlendirmeler yapılarak paylaşılmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi 2020 yılında toplam sera gazı emisyonunun bir önceki yıla göre %3,1 oranında artış göstererek 523,9 milyon ton (Mt) CO₂ eşd. olarak saptanmıştır (TÜİK 2022). Türkiye'nin kişi başına düşen toplam emisyon miktarı dünyanın en büyük ekonomilerinden oluşan G20 ülkelerinin ortalamasından düşük olmasına rağmen artış hızı olarak oldukça yüksektir (URL-1 2022). Türkiye'de kişi başına düşen karbon emisyonu ise 1990 yılında 4,1 ton CO₂ eşd. iken nüfus artışına rağmen 2020 yılında 6,3 ton CO₂ eşd. değerine yükseldiği gözlemlenmiştir (TÜİK 2022).



Şekil 1: Toplam ve kişi başı karbon emisyonu, 1990-2020 (TÜİK 2022)

Türkiye sera gazı envanteri çalışmasında, 1990-2020 yılları arasında sektörlere göre emisyon miktarları hesaplanmıştır ve Tablo 2'de sektörler için sera gazı emisyonları verilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda toplam karbon emisyonlarında 2020 yılında CO₂ eşd. olarak en büyük payı ortalama %70 ile enerji sektöründen kaynaklanan emisyonlar alırken enerji sektörünü sırasıyla %14 ile tarım, %13 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %3 ile atık sektörü takip etmiştir (TÜİK 2022).

Ülkenin enerji sektörü özelinde emisyonları değerlendirirsek bu sektörden kaynaklanan emisyonların 2020 yılında, 1990 yılına göre %163, bir önceki yıla göre ise %0,6 artarak 367,6 Mt CO₂ eşd. olduğu belirlenmiştir. Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı emisyonları ise 1990 yılına göre yaklaşık %191 ve bir önceki yıla göre %14 artarak 66,8 Mt CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Tarım sektörü emisyonları 2020 yılında, 1990 yılına göre ortalama %59 ve bir önceki yıla göre yaklaşık %8 artarak 73,2 Mt CO₂ eşd. olarak bulunmuştur. Atık sektörü emisyonları ise 1990 yılına göre %48, bir önceki yıla göre %2 artarak 16,4 Mt CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır (TÜİK 2022).

Emisyonlar sektörlere göre değerlendirildiğinde bütün sektörlerdeki artış dikkat çekmektedir. Toplam sera gazı emisyonu miktarları değerlendirildiğinde yıllara bağlı artış söz konusudur. Bu duruma istisna olarak COVID-19 pandemi dönemindeki kısıtlamalardan dolayı 2019 yılındaki toplam sera gazı miktarında ise düşüş gözlemlenmiştir.

Tablo 2: Sektörlere göre 1990- 2020 dönemi için sera gazı emisyonları (milyon ton CO₂eşd.) (TÜİK 2022)

	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	1990-2020 değişim %	2019- 2020 değişim %
Toplam emisyon	219,7	299,0	398,7	474,5	500,8	528,3	524,0	508,1	523,9	138,4	3,1
Enerji	139,6	216,0	287,8	342,0	361,7	382,4	374,1	365,4	367,6	163,3	0,6
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	23,0	26,3	49,0	59,2	63,5	66,4	68,0	58,6	66,8	190,5	14,0
Tarım	46,1	42,3	44,4	56,1	58,9	63,3	65,3	68,0	73,2	58,8	7,5
Atık	11,1	14,3	17,4	17,1	16,7	16,3	16,6	16,1	16,4	48,0	2,1

2. Kurumsal Sürdürülebilirlik

İklim değişikliğinin artan etkileriyle beraber, kurumsal sürdürülebilirlik kavramı işletmelerin stratejilerinde önemli bir yere gelmiştir. Kurumsal sürdürülebilirliğe yönelik bu ilginin güçlerinden biri, sürdürülebilir kalkınma amaçlarını teşvik etmeye yönelik hazırlanan düzenlemelerdir. Avrupa Komisyonu, kurumsal sürdürülebilirlik sorumluluğunu teşvik etmek için politika ve mevzuat hazırlamada aktif olarak yer almaktadır. Bunlar, "kirleten öder" mevzuatından "üretici sorumluluğu" politikalarına, "temel çalışma standartlarına" ve "sosyal yönetime" kadar uzanır ve ham madde temininden tüketici ürünlerine kadar tüm basamakları kapsamaktadır (Herzig ve Schaltegger 2006).

Birçok şirket sürdürülebilirlik açısından kazançlarını iyileştirebilecekleri ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunabilecekleri yolları belirlemeye çalışarak, sürdürülebilirlik çalışmalarına aktif olarak katılmaktadır. Kurumsal sürdürülebilirlik özelinde şirketler çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan tüm detaylara odaklanır ve hedef kitlelerini belirlerler (Lee 2012).

Sürdürülebilirliği iş uygulamalarına dahil etmenin günümüzde giderek daha çok olumlu sonucu ortaya çıkmaktadır. Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi ve Uluslararası Sürdürülebilir Kalkınma Enstitüsü son raporlarında, sürdürülebilir kalkınmaya destek olmanın şirket için avantajları aşağıda verilmiştir (Azapagic 2003; IISD 2002):

- Temiz üretim yöntemleri ve inovasyon ile malzeme, enerji ve ürün verimlilikleri iyileştirilerek maliyet tasarrufu sağlanır.
- Çalışanlar ve toplum için güvenli ve sağlıklı bir ortamın oluşmasını sağlayarak refahı ve üretkenliği artırır, bu da düşük sağlık ve güvenlik maliyetlerini düşürür.
- Sürdürülebilir kalkınma taahhüdü, bir şirketin itibarını artırırken, şirket içinde çalışanları da motive eder.

Müşterilerin taleplerini karşılamak ve sürdürülebilir kalkınma hedefine ulaşmak için şirketler, bilgi yönetimi veya toplam kalite yönetimi gibi yönetim sistemleriyle kurumsal performansı iyileştirmedeki başarısının onaylandığı yaklaşımları benimsemektedirler (Hollowell vd. 2019; Orji 2019). Kurumsal sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için şirketlerin yönetim sistemleri içine karbon yönetimini de dahil etmeleri gerekli şart olmuştur (Bekiroğlu 2011).

Kurumsal sürdürülebilirlik alanında birçok alt başlık bulunmaktadır. Karbon yönetiminin en çok bağlaştığı başlıklardan biri çevre yönetim sistemleridir ve bu yönetim sistemleri kurumsal sürdürülebilirliği geliştirmektedir. Çevre yönetim sistemlerini kullanan kuruluşlar, böyle bir prosedür uygulamayanların aksine üstün kurumsal performansa sahip oldukları belirtilmiştir (Abbas 2020; Ikram vd. 2019).

Kurumlar, kurumsal ve devlet baskılarıyla birlikte (Sozuer 2011) çevre ile ilgili imajlarını güçlendirmek (Özkaya 2010) birer yeşil işletme olmak durumunda kalmışlardır. Kurumsal yeşil uygulamalar içerisinde özel sektör alanında; atık ısdan enerji üretimi, sürdürülebilir çevre dostu ürün üretimi, enerji kredileri, bitkisel atık yağ toplama sistemi, sürdürülebilir su yönetim sistemi ve çevre sorunları ve sürdürülebilirlik açısından gerekli vizyon ve misyonu çalışanlara aşılayabilmek gibi faaliyetler bu yaklaşımlara örnek verilebilir. Kurumsal yeşil uygulamalar, şirketlerin çevre ile ilgili sorunlarını çözebilmektedir. Uzun süreli refah ve büyüme için sürdürülebilirliğe önem veren kuruluşlar, yerel ekosistemi korurken bölgesel ekonomik gelişmeler elde etmeye ve çevresel uygulama kurallarına uymaya çalışmaktadırlar (Lăzăroiu vd. 2020).

3. Kurumsal Karbon Ayak İzi

İnsanların uzun vadeli ihtiyaçlarının karşılanmasında, doğal kaynakların sürdürülebilir yöntemlerle yönetilmesi gerekmektedir. İklim değişikliği, küresel ısınma ve sera etkilerinin kontrol altına alınabilmesi için değişik sektörlerde birbirinden bağımsız ve ortak görevler düşmektedir (Şen 2022). İklim değişikliği sebebiyle tükenmekte olan kaynaklarla düşük karbonlu iş piyasasına geçişin nasıl sonuçlanacağı konusunda büyük bir belirsizlik söz konusudur. Farklı endüstri kollarında faaliyet gösteren birçok şirket, karbon sorununu üretim ya da hizmet basamağı ile birlikte tedarik zinciri yönetimindeki kritik faktörlerden biri olarak görmeye başlamıştır. Örneğin, dünyanın en büyük yatırımlarının gerçekleştiği otomotiv sektöründe yer alan otomobil üreticileri, cam, plastik ve metal gibi birçok alanda tedarikçiye sahiptir. Otomotiv sektörü tedarikçilerinden büyük oranda etkilendiği için tedarikçilerinin emisyon gereklilikleri ve düzenlemelerini kontrol altında tutmaktadır (Lee 2011).

İklim değişikliği konusundaki çabaların bir sonucunda oluşan tüketici bilinci ile birlikte, kurumsal düzeyde karbon ayak izlerinin ölçülmesine artan bir ilgi olmaktadır (Harangozo ve Szigeti 2017). Sanayi sektöründe bulunan kurumlar, küresel iklim değişikliği konusunda hem sorunun merkezi hem de iklim değişikliğine yönelik çözümün kilit bir parçası olduğu için uluslararası hedeflere ulaşmak için bu küresel boyuttaki sorun ile mücadeleye katılımı büyük önem taşımaktadır (Huang vd. 2009). Bu bağlamda şirketler, karbon emisyonlarını düşürmek için karbon ayak izi hesaplamalarını gerçekleştirip, takip etmektedir. Böylece iklim değişikliğine olan etkilerini görüp sera gazı emisyonlarını yönetebilmektedirler. Karbon ayak izi, belirli bir faaliyet tarafından üretilen hem doğrudan hem de dolaylı sera gazı emisyonlarını ölçmek için bir sürdürülebilir kalkınma göstergesidir (Huang vd. 2009; Mensah 2019).

Kurumsal karbon ayak izi, kurumsal düzeyde karbon ayak izi, kurumların üretim, hizmet, işleme gibi bütün faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan ve iklim değişikliğine neden olan sera gazlarının CO₂ eşd. cinsinden ifade edilmesidir (Ulusal 2021). Yasal zorunluluklar, yatırımcı istekleri, müşteri talepleri, pazarlama stratejileri, emisyon ticaret mekanizmalarının gerekliliği ve kurumsal imaj için karbon ayak izi hesaplaması, raporlanması ve sunulması günümüzde büyük öneme sahiptir (Üreden ve Özden 2018).

Ürün, süreç ve hizmetlerin yaşam döngüsü aşamaları kurumsal boyuttaki sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Bu açıdan bir şirket için toplam karbon ayak izi, hammadde çıkarma, nakliye, üretim ve süreçler, dağıtım, kullanım, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve nihai elden çıkarma basamaklarındaki tüm kurumsal ekosistem ve tedarik zinciri içindeki tüm girdi ve çıktıları yani yaşam döngüsü boyutunda değerlendirmeyi içermesi uygulanabilecek iyileştirmeler için büyük öneme sahiptir (Finkbeiner ve König 2013; Harangozo ve Szigeti 2017).

Şirketler için değer zincirleri boyunca sera gazı emisyonlarının envanterini çıkarmak için bir şirketin etkinlik alanlarına bağlı olarak hangi emisyon kaynaklarını dahil etmesi ve bunları nasıl hesaplaması gerektiği, emisyon kaynağının tam olarak ne olduğu, dolaylı tedarik zinciri faaliyetlerinin listesi ve liste içeriğinde bulunan verilerinin kurum bünyesinde tutulması ve takip edilmesi gerekmektedir (Alvarez ve Rubio 2015). Şirketler genellikle doğrudan ve dolaylı emisyon yaratacak verilerini ya zorunlu ya da gönüllü raporlama şemalarına göre raporlamaktadırlar. Birçok bölge ve ülke (Avrupa'da; Finlandiya, İzlanda, Norveç, İsveç, Danimarka, Estonya, Letonya, İrlanda, Slovenya, İsviçre, Polonya, Portekiz ve Birleşik Krallık'tır. Avrupa dışında ise Meksika, Kolombiya, Şili, Hindistan ve Japonya), enerji yoğun şirketlerin zorunlu bir raporlama planına göre belirli tesislerin yıllık karbon emisyonlarını raporlamasını şart koşmaktadır. AB Emisyon Ticareti Sistemi (EU ETS), Avrupa Birliği'ndeki sera gazı emisyonlarının yaklaşık %45'ini kapsayan büyük elektrik santralleri ve üretim tesisleri dahil yaklaşık 11 bin tesisi kapsamaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı, yılda 25 bin tondan fazla CO₂ eşd. emisyon yayan tesislerin, Sera Gazı Raporlama Programı aracılığıyla yıllık emisyonlarını raporlayarak sunmalarını zorunlu hale getirmiştir (Busch ve Lewandowski 2018).

4. Kurumsal Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

Günümüzde kurumsal düzeyde sera gazı emisyonlarını ölçebilmek için çok sayıda girişim, kılavuz ve hesaplama yöntemi bulunmaktadır. Kurumsal karbon ayak izi hesaplamasında Sera Gazı Protokolü (WRI 2004; WRI 2011), PAS 2060 (BSI 2014), ISO 14064 (ISO 2019) gibi uluslararası standartlar kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanı, 2007 yılında Fortune 500 şirketleri arasında %63'lük bir uygulama oranına sahip olan Sera Gazı Protokolüdür. Bu kaynak organizasyonel düzeyde doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonlarının ölçülmesi ve raporlanması için bir standart olarak hizmet vermektedir (Harangozo ve Szigeti 2017). Sera Gazı protokolü kurumsal karbon ayak izi hesaplaması ve raporlaması konusunda önde gelen bilgi kaynağı olarak dünyanın dört bir yanından birey ve kuruluşlar tarafından kullanılmaktadır (Pino ve Bhatia 2002). Sera Gazı Protokolü çevre yönetimi için ISO 14000 Uluslararası Standartlar (ISO, 1996) serisinin bir parçası olan ISO 14064 uluslararası standart serisinin de temelini oluşturmaktadır. Bu standart serisi organizasyonel boyutta sera gazı emisyonlarını ölçmek, izlemek, raporlamak ve doğrulamak için oluşturulmuştur (Bastianoni vd. 2014). Sera Gazı Protokolü ve ISO 14064 uyguladığı karbon ayak izi değerlendirme standartları karşılaştırıldığında bazı farklılıklar görülebilmektedir. Sera Gazı Protokolü, kurumsal sera gazı emisyonlarının değerlendirilmesi için kullanılan ilk standarttır. Gönüllü bir girişim olarak, Sera Gazı Protokolü analiz prosedürüne dikkat edilmesi ve emisyonların azaltılması ile karbon ticareti için kullanılan analiz sonuçlarına vurgu yapmaktadır.

Sera Gazı Protokolü temelinde oluşturulan ISO14064 ise rehberlik, çerçeve ve sertifikasyon sürecine odaklanmıştır. Her iki standart hesaplamalarında Kyoto Protokolü'ndeki altı sera gazını (CO_2 , CH_4 , N_2O , SF_6 , HFC'ler ve PFC'ler) seçmektedir (Busch vd. 2022).

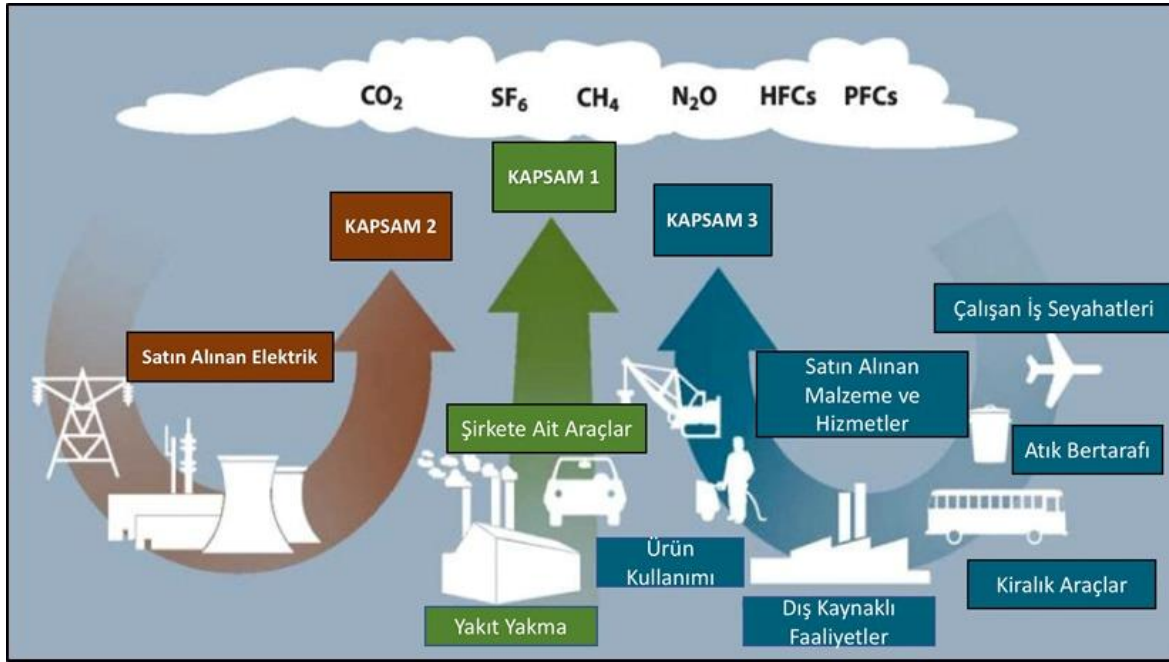
Kurumsal karbon ayak izi hesaplaması için ilk basamak hesaplamasının yapılacağı işletmeye ait üretim, maliyet, tedarik, ihracat gibi faaliyet sınırlarının belirlenmesi ve bu sınırlara dahil olan doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonlarının sınıflandırılmasıdır. Kurumsal karbon ayak izi hesaplamalarında şirketlerin ilgili sera gazı emisyonlarını ve emisyon salan faaliyetleri belirlemek ve sınıflandırmak, hesaplamak, izlemek, raporlamak ve doğrulamak için en yaygın olarak kabul edilen yaklaşım ISO 14064 Standardına dayanmaktadır. Faaliyet sınırlarının belirlenmesi ile şirket ile ilişkili doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyon noktaları sınıflandırılır. Bu da hesaplamanın nasıl yapılacağı ve nelerin dikkate alınacağı belirlenmesi açısından büyük önem taşır. Daha sonraki basamakta ise bu faaliyetler detaylandırılarak veri toplanıp bir envanter oluşturulur. Sera gazı emisyonu envanteri hazırlanırken tüm emisyon kaynaklarının tanımlanması gerekmektedir. Hazırlanan envanter ve belirlenen emisyon faktörleri kullanılarak karbon ayak izi hesaplaması yapılır. Bu hesaplamada Kyoto Protokolü kapsamındaki altı sera gazının hesaplanması ve raporlanması ele alınmaktadır. Protokol, doğrudan karbon emisyonlarını, şirketin sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklardan kaynaklanan emisyonlar olarak tanımlamaktadır. Dolaylı karbon emisyonları ise, şirketin faaliyetlerinin bir sonucu oluşan ancak başka bir şirketin sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklarda meydana gelen emisyonlar olarak tanımlanmaktadır (Navarro vd. 2017). En son basamakta ise sonuçlar değerlendirilerek iyileştirme olanakları belirlenir.

Kurumsal karbon ayak izi hesaplamaları ilgili kapsamlara ve aşamalara uygun olarak faaliyet verilerine bağlı emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

$$\text{Faaliyet Karbon Ayak İzi, FKA (} CO_2 \text{ eşd.)} = \text{Faaliyet verisi (birim)} \times \text{Emisyon Faktörü (} CO_2 \text{ eşd. / birim)} \quad (1)$$

$$\text{Toplam Karbon Ayak İzi (} CO_2 \text{ eşd.)} = FKA_1 + FKA_2 + \dots + FKA_n \quad (2)$$

Kurumsal karbon ayak izi hesaplaması gerçekleştirilirken Şekil 2'de gösterildiği gibi Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 olmak üzere üç farklı kategoride değerlendirilmektedir.



Şekil 2: Sera Gazı Protokol Standartları kategorilerine göre sera gazı emisyonları (Akyüz vd. 2019)

Kapsam 1, kurum içi faaliyetler sonucunda ortaya çıkan emisyonları ele almaktadır. Bu kapsam ile ortaya çıkan emisyonlar kontrol edilebilir. Bu kapsama dahil edilen emisyonlar:

- **Yakıt tüketimi:** Şirket tarafından yakılan sıvı, gaz veya katı yakıtlardan kaynaklanan emisyonlardır.
- **Şirket araçlarını yakıt tüketimi:** Şirket bünyesinde bulunan araçların işe gidiş ve gelişleri için kullanılan ve hareketli yakıt tüketimi olarak yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar oluşturmaktadır.
- **Soğuk gazlar, yangın koruma, kaçak emisyonlar:** Şirket tarafından soğutma, iklimlendirme için kullanılan soğutucu gazlardan dolayı ortaya çıkan emisyonlardır.

- **Forklift kullanımı:** Forklift kullanımı için yakıt tüketimi var ise bu kısımdan gelen emisyon bu bölümde yer almaktadır ancak forklift akülü ise emisyon elektrik tüketimi kaynaklı olduğu için Kapsam 2’de değerlendirilmektedir.

Kapsam 2, tedarik zinciri aktivitelerine bağlı faaliyetler sonucunda ortaya çıkan emisyonları ele almaktadır. Kapsam 2 faaliyetleri sonucunda oluşan emisyonlar kontrol edilebilir. Bu kapsama dahil edilen emisyonlar:

- **Elektrik tüketimi:** İşletme için toplam elektrik tüketimi ile şebekeden satın alınan elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonları kapsamaktadır.
- **Buhar tüketimi:** İşletme için toplam buhar tüketimi ile şebekeden satın alınan buhar tüketiminden kaynaklanan emisyonlardır.

Kapsam 3, tedarik zinciri aktiviteleri ve kurum sonrası faaliyetler sonucunda ortaya çıkan emisyonları ele almaktadır. Kapsam 3 dahilinden oluşan emisyonlar şirketin faaliyetlerinin bir sonucudur ve kontrol edilemeyen kaynaklardan gelir. Bu kapsam içinde değerlendirilen faaliyetlerin aşağıda detayları verilmiştir;

- **Nakliye:** Lojistik olarak şirkete hammadde girişi ve ürün çıkışında kullanılan vasıtalar sonucunda oluşan emisyonlar hesaplanmaktadır.
- **Atık yönetimi:** Atıkların bertaraf edilmesi sonucunda oluşan emisyonları kapsamaktadır.
- **İş seyahatleri:** İş seyahatleri sonucunda vasıtaya göre seçimler yapıldıktan sonra oluşan karbon emisyonları hesaplanmaktadır.
- **Kiralık araçlar:** Kiralık araçlardan ve taşeron tarafından sağlanan hizmet sonucunda oluşan emisyonlar bulunmaktadır.
- **Otel Konaklamaları:** Konaklama yapıldığı ülke ve oda sayısına göre yapılan hesaplamalar sonucunda oluşan emisyonlardır.

Kurumsal karbon ayak izine ait bütün hesaplama ve varsayımların sunulduğu bir raporun hazırlanması gerekmektedir. Kurumsal karbon ayak izi nihai raporu, raporlanan şirket tarafından yıl boyunca yayılan CO₂ eşd. emisyon değerlerini içermektedir. Bu hesap, sera gazı emisyonlarını azaltma kararlarına yardımcı olmak ve şirketi daha sürdürülebilir bir iş modeline yönlendirmek için önemlidir. Ayrıca tedarik zinciri içinde en fazla enerji, malzeme ve kaynak kullanımının nerede gerçekleştiğini belirlemektedir (Hollowell vd. 2019).

Şirket, kurumsal karbon ayak izi değerleri üzerinden iyileştirme uygulamalarına başladığında, elde edilen iyileştirmenin nicelleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, sera gazı emisyonlarına, üretime ve ekonomik göstergelere bağlı olarak her yıl hesaplanan temel performans göstergeleri şirketin yıllar içindeki gelişimini göstermek için kullanılmaktadır (Hollowell vd. 2019).

5. Kurumsal Karbon Ayak İzi için Örnek Hesaplama

Çalışmanın bu kısmında, kimyasal ürün üretim yapmakta olan bir kimya fabrikasının (A firması) 2021 yılı için gerçek verileri kullanılarak işletmeye ait kurumsal karbon ayak izi hesaplaması gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışma için öncelikle kaynak tespiti ve veri toplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Firmadan alınan veriler fabrikanın 2021 yılına ait verileridir. A firmasının üretim sürecinde yıl bazında olan faaliyetlerin verileri kapsamlarına tasnif edilerek uygun sınıflara ayrılarak Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’te gösterilmiştir. Firmanın faaliyetleriyle ilişkili sera gazı emisyonları ve uzaklaştırmaları tespit edilerek sistem sınırları belirlenmiştir.

Kapsam 1: Kapsam 1 hesaplamaları için sadece sabit yanma verileri kullanılmıştır.

Tablo 3: Kapsam 1 verileri

	Miktar	Birim
Doğalgaz tüketimi	120.869	kWh
Hareketli yanmalar	350.000	km
Yangın tüpleri (CO₂)	250	kg
Soğutucu gazlar (R407C)	10	kg

Kapsam 2: Şebekeden alınan elektrik kaynaklı emisyonların hesabı için kWh elektrik üretimi başına sera gazı etki değerinin ülke bazında bilinmesi gereklidir. Türkiye’de elektrik üretimi kaynaklı açığa çıkan emisyon miktarı 0,55 kg CO₂eşd./kWh’tir (ÇŞİB 2022).

Tablo 4: Kapsam 2 verileri

	Miktar	Birim
Şebekeden satın alınan elektrik	1.203.587	kWh

Kapsam 3: Kapsam 3 kaynaklı karbon emisyonların hesabı için personel güzergâhları ve sefer sayılarından toplam kilometre değeri ve lojistik faaliyetlerinin vasıta tercihlerine göre kat edilen toplam kilometre değerlerinin verileri hesaplanmıştır.

Tablo 5: Kapsam 3 verileri

	Miktar	Birim
Personel servisleri	230.698	km
Lojistik- Kara yolu	230.000	km
Lojistik- Deniz yolu	12.350.000	ton.km

Kurumsal karbon ayak izi hesaplamaları, Sera Gazı Protokolünde belirtilen hesaplama gruplarına göre gerçekleştirilmiştir. Emisyon kaynakları hesaplamalarında 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Paustian 2006) raporlarında ve Birleşik Krallık'ta çevrenin korunması ve gıda üretimi ve standartlarından sorumlu ve yetkili hükümet organı olan DEFRA tarafından sunulan emisyon faktörleri (DEFRA 2021) referans değer tabloları kullanılmıştır.

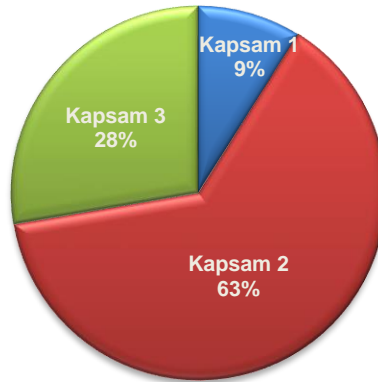
Emisyon kaynaklarının sebep olduğu sera gazlarının küresel ısınmaya etkisini tek bir birim üzerinden belirtilmiştir. Kurumsal Karbon ayak izi hesaplaması fabrikadan elde edilen veriler, ilgili emisyon faktörleri ile çarpılarak faaliyetlere göre emisyon verileri karbondioksit eşdeğeri (CO₂ eşd.) cinsinden elde edilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Hesaplama için Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılmıştır. A firmasının hesaplamaları gerçekleştirilirken Kapsam 1 ve 3 değerleri Tier 1 metoduna göre, Kapsam 2'de bulunan satın alınan elektrikten kaynaklanan emisyon ise Tier 2 metodu ile çalışılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ise Tablo 6'da verilmiştir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda A Firmasının 2021 yılına ait toplam 1043,6tCO₂eşd. bulunmuştur.

Tablo 6: A firmasının 2021 yılı kurumsal karbon ayak izi sonuçları

	Kapsam 1	Kapsam 2	Kapsam 3
A Firması	92,6 t CO ₂ eşd.	662 t CO ₂ eşd.	289 t CO ₂ eşd.

Şekil 3'te ise hesaplanan kurumsal karbon emisyonunun Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3'e göre dağılımları sunulmuştur. Grafik incelendiğinde en fazla etkinin %63 oran ile Kapsam 2'den oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3: Kapsamlara göre sera gazı emisyonu dağılımı

Hazırlanan çalışma, A şirketinin kurumsal karbon ayak izi hesaplaması için hazırlanmıştır. Aşağıda şirketin kurumsal karbon ayak izinin azaltılması adına bazı öneriler sunulmuştur.

- Ulaşım ve nakliye işlemleri sonucu ortaya çıkan sera gazı salımı, taşıtlarda kullanılan yakıtın yanması sonucunda oluşan salım miktarı ölçülerek hesaplanmaktadır. Bu hesaplama satın alınan ve/veya fabrika tarafından ücretinin üstlenildiği faktörler dahil edilmektedir. Bu sebeple ürün nakliye karbon hesabı yapılırken sadece nakliye ücreti A firması tarafından karşılanan anlaşmalar bu hesaba dahil edilmiştir. Ulaşım ve nakliye karbon emisyon salım miktarının azaltılması amacıyla müşteri anlaşmaları gerçekleşirken nakliyenin A firması tarafından karşılanmadığı anlaşmalar yapılabilir. Aynı zamanda şirket araçları ulaşım-nakliye karbon hesabının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu emisyon miktarının azaltılması için şirket araçlarında kullanılan enerjinin, yenilenebilir enerji kaynaklı olması önerilmektedir.
- Kapsam 2 sonuçlarına göre elektrik tüketimi kaynaklı karbon emisyonunu azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ya da bu yönde yatırım yapmak gerekmektedir.
- Özellikle salımın yüksek olduğu elektrik tüketimlerinde iyileştirme planı hazırlamak ve emisyon azaltılması konusunda kademeli hedef koyulmalıdır.

5. Sonuç

Nüfus, şehirleşme ve sanayileşmenin artmasıyla birlikte çevresel sorunlar günümüzde hızla ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu etkilerin başında ise küresel iklim değişikliği gelmektedir. İklim değişikliğinin etkilerini azaltılması için sera gazı emisyonlarının hızlı bir şekilde azaltılması gerekmektedir. Günümüzde karbon ayak izi iklim değişikliği ile ilgili en yaygın kullanılan çevresel göstergelerden biridir.

Kurumsal faaliyetlerin, ürünlerin veya hizmetlerin yüksek karbon emisyonlarına sebep olması işletmeleri iş süreçlerini tekrar değerlendirerek daha çevreci yaklaşımları ön plana almaya yöneltmiştir. Sanayi sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyon miktarının yoğunluğundan dolayı kurumsal boyutta karbon ayak izi hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Yasal zorunlulukların yanında müşteri talepleri, kurumsal imaj, pazarlama stratejilerinden dolayı şirketler gönüllü ya da zorunlu olarak kurumsal boyutta karbon ayak izi hesaplaması yapmaktadır. Kurumsal karbon ayak izi azaltımlarıyla kurumlar ekosisteme karşı sorumluluklarını yerine getirirken küresel pazardaki yerlerini sağlamlaştırma olanağına sahip olurlar. Bu da sürdürülebilir şirket olmanın ilk ve en büyük adımıdır.

Kurumsal karbon ayak izi hesaplaması için detaylı ve gerçek verilerle envanter oluşturulması gerekmektedir. Kapsam 1 ve Kapsam 2 faaliyetleri için veriye ulaşım sağlanırken Kapsam 3 faaliyetleri için tedarikçilerden alınması gereken veriye ulaşmak kolay olmamaktadır. İşletmelerin bu konuda özel çaba sarf etmeleri gerekmektedir. Kurumsal karbon ayak izinin hesaplanıp, takip edilmesi yani mevcut durum analizi ile birlikte işletmelerin iş süreçlerini, paydaş ilişkilerini, tedarik zincirlerini ve diğer tüm ilgili faaliyetlerini değerlendirerek sera gazı emisyonu azaltımı için gerekli önlemlerin belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir.

Bu çalışma, sera gazı emisyonları, kurumsal sürdürülebilirlik, kurumsal karbon ayak izi ve hesaplama yöntemlerine genel bir bakış sunmaktadır. Ayrıca kurumsal düzeydeki karbon ayak izi hesaplayıcılarının kılavuz olarak kullanılabileceği kurumsal karbon ayak izi hesaplamasını ve hesaplama sonucunda elde edilen sonuçların nasıl değerlendirileceğini gösteren örnek bir çalışmayı içermektedir. Şirketlerin kurumsal karbon yönetimlerini yapılarına entegre etmeleri gerekmektedir. Gelecek için engel olarak görünen bu konu ile ilgili yapacakları çalışmalar bu engeli kaldırarak onları ileriye taşıyacaktır.

Kaynaklar

- Abbas J., (2020), *Impact of total quality management on corporate green performance through the mediating role of corporate social responsibility*, Journal of Cleaner Production, 242, 118458. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118458.
- Akyüz A., Kumaş K., Zaman M., Gungor A., (2019), *Sürdürülebilir Bir Çevre İçin Karbon Ayak izi Tespiti: MAKÜ Bucak Sağlık Yüksekokulu Örneği*, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(1), 108 – 117.
- Alvarez S., Rubio A., (2015), *Compound method based on financial accounts versus process-based analysis in product carbon footprint: A comparison using wood pallets*, Ecological indicators, 49, 88-94.
- Azapagic A., (2003), *Systems Approach to Corporate Sustainability: A General Management Framework*, Process Safety and Environmental Protection, 81(5), 303-316.
- Bastianoni S., Marchi M., Caro D., Casprini P., Pulselli F.M., (2014), *The connection between 2006 IPCC GHG inventory methodology and ISO 14064-1 certification standard—A reference point for the environmental policies at sub-national scale*, Environmental Science & Policy, 44, 97-107.
- Bekiroğlu O., (2011), *Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi*, II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 24-27 Kasım, İzmir.
- Busch T., Johnson M., Pioch T., (2022), *Corporate carbon performance data: Quo vadis?*, Journal of Industrial Ecology, 26(1), 350-363.
- Busch T., Lewandowski S., (2018), *Corporate Carbon and Financial Performance: A Meta-analysis*, Journal of Industrial Ecology, 22(4), 745-759.

- BSI, (2014), *PAS 2060:2014 Specification for the demonstration of carbon neutrality*, British Standards Institution, London, United Kingdom, 40ss.
- Carleton T.A., Hsiang S.M., (2016), *Social and economic impacts of climate*, Science, 353(6304), doi: 10.1126/science.aad9837.
- ÇŞİB, (2022), *Elektrik Emisyon Değeri*, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, <https://meslekizmetler.csb.gov.tr/elektrik-enerjisinin-birincil-enerji-ve-sera-gazi-salimi-katsayilari>, [Erişim 06 Haziran 2022].
- DEFRA, (2021), *Greenhouse gas reporting: conversion factors 2021*, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021#:~:text=Department%20for%20Business%2C%20Energy%20%26%20Industrial%20Strategy>, [Erişim 28 Şubat 2022].
- Downie J., Stubbs W., (2012), *Corporate Carbon Strategies and Greenhouse Gas Emission Assessments: The Implications of Scope 3 Emission Factor Selection*, Business Strategy and the Environment, 21(6), 412-422.
- EU, (2022), *2030 Climate Target Plan - European Commission*, https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en, [Erişim 03 Nisan 2022].
- Finkbeiner M., König P., (2013), *Carbon footprint and life cycle assessment of organizations*, Journal of Environmental Accounting Management, 1(1), 55-63.
- Harangozo G., Szigeti C., (2017), *Corporate carbon footprint analysis in practice – With a special focus on validity and reliability issues*, Journal of Cleaner Production, 167, 1177-1183.
- Herzig C., Schaltegger S., (2006), *Corporate Sustainability Reporting. An Overview*, Sustainability Accounting and Reporting'in İçinde, (Schaltegger S., Bennett, M., Burritt R., Ed.), Springer, Netherlands, ss.301-324.
- Hollowell J.C., Kollar B., Vrbka J., Kovalova E., (2019), *Cognitive decision-making algorithms for sustainable manufacturing processes in Industry 4.0: Networked, smart, and responsive devices*, Economics, Management Financial Markets, 14(4), 9-15.
- Huang Y.A., Lenzen M., Weber C.L., Murray J., Matthews H.S., (2009), *The Role of Input–Output Analysis for the Screening of Corporate Carbon Footprints*, Economic Systems Research, 21(3), 217-242.
- IEA, (2007), *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions*, International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/tracking-industrial-energy-efficiency-and-co2-emissions>, [Erişim 03 Mart 2021].
- IEA, (2021), *Energy Efficiency Indicators: Overview*, International Energy Agency, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-efficiency-indicators>, [Erişim 27 Eylül 2022].
- IEA, (2022), *Key World Energy Statistics, Paris: Energy Information Administration*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022> [Erişim 13 Kasım 2022].
- IISD, (2002), *Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project*, <https://www.iied.org/mining-minerals-sustainable-development-mmsd>, [Erişim 03 Mart 2022].
- Ikram M., Zhou P., Shah S.A.A., Liu G.Q., (2019), *Do environmental management systems help improve corporate sustainable development? Evidence from manufacturing companies in Pakistan*, Journal of Cleaner Production, 226, 628-641.
- IPCC, (2018), *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, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>, [Erişim 03 Aralık 2022].
- IPCC, (2022), *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. doi:10.1017/9781009157940.
- ISO, (1996), *ISO 14000 family - Environmental management*, <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>, [Erişim 24 Ocak 2023].
- ISO, (2019), *ISO 14064-1 Kurumsal Karbon Ayak İzi Raporlama*, <https://www.tse.org.tr/IcerikDetay?ID=3039>, [Erişim 24 Ocak 2023].
- Lăzăroiu G., Ionescu L., Andronie M., Dijmărescu I., (2020), *Sustainability Management and Performance in the Urban Corporate Economy: A Systematic Literature Review*, Sustainability, 12(18), 7705. doi: 10.3390/su12187705.
- Lee K.H., (2011), *Integrating carbon footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry*, Journal of Cleaner Production, 19(11), 1216-1223.
- Lee S.Y., (2012), *Corporate Carbon Strategies in Responding to Climate Change*, Business Strategy and the Environment, 21(1), 33-48.
- Mensah J., (2019), *Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review*, Cogent Social Sciences, 5(1), 1653531. doi: 10.1080/23311886.2019.1653531.
- Navarro A., Puig R., Fullana-i-Palmer P., (2017), *Product vs corporate carbon footprint: Some methodological issues. A case study and review on the wine sector*, Science of The Total Environment, 581-582, 722-733.
- Orji I.J., (2019), *Examining barriers to organizational change for sustainability and drivers of sustainable performance in the metal manufacturing industry*, Resources, Conservation Recycling, 140, 102-114.
- Özkaya B., (2010), *İşletmelerin sosyal sorumluluk anlayışının uzantisi olarak yeşil pazarlama bağlamında yeşil reklamlar - Green advertisements in the context of green marketing as an extension of the social responsibility understanding of companies*, Öneri Dergisi, 9(34), 247-258.
- Paustian K., Ravindranath N.H., van Amstel A.R., (2006), *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use; No. Part 2)*, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>, [Erişim 13 Kasım 2021].
- Pino S.P.d., Bhatia P., (2002), *Working 9 to 5 on Climate Change: An Office Guide*, World Resources Institute, <https://www.wri.org/working-9-5-climate-change>, [Erişim 19 Temmuz 2022].
- Ritchie H., Roser M., Rosado P., (2020), *CO₂ and greenhouse gas emissions*, Our World in Data, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>, [Erişim 24 Ocak 2023].
- Sozuer A., (2011), *İşletmeleri çevreye duyarlı politikalar uygulamaya iten güçler*, Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 3(2), 47-56.

- Şen Z., (2022), *İklim Değişikliği ve Türkiye*, Çevre Şehir ve İklim Dergisi, 1(1), 1-19.
- TEİAŞ, (2022), *Elektrik İstatistikleri, Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri*, TEİAŞ - Türkiye Elektrik İletim Şirketi, <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> [Erişim 24 Ocak 2023].
- TÜİK, (2022), *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020*, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862>, [Erişim 24 Ocak 2023].
- Türe C., (2011), *AB Sürecinde İklim Değişikliği ile Mücadelede Enerji Sektörünün Karbon Piyasası Açısında Önemi*, Eskişehir AB'ye Hazırlanıyor- Bölgesel Enerji ve Ulaştırma Çalıştay Kitabı İçinde Eskişehir Valiliği, ss.83.
- Ulusal A., (2021), *Tarımda Karbon Ayak İzimiz*, Toros İnovasyon Bülteni, Haziran 2021, Sayı 19, <https://www.toros.com.tr/documents/KURUMSALL/Hakk%C4%B1nda/AR-GE%20Merkezi/toros-inovasyon-bulteni-sayi-19.pdf>, [Erişim 24 Ocak 2023].
- UNFCCC, (1992), *Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi*, Rio de Janeiro, Brezilya.
- Üreden A., Özden S., (2018), *Kurumsal karbon ayak izi nasıl hesaplanır: teorik bir çalışma*, Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 4(2), 98-108.
- URL-1, (2022). *Climate Transparency Report 2022*, <https://www.climate-transparency.org/g20-climate-performance/g20report2022>, [Erişim 03 Mart 2022].
- Wiedmann T., Minx J.C., (2008), *A Definition of 'Carbon Footprint'*, Ecological Economics Research Trends'in İçinde, (Pertsova C.C., Ed.), Chapter 1, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA, ss.1-11.
- WRI, (2004), *The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard*, World Resources Institute (WRI), <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>, [Erişim 24 Ocak 2023].
- WRI, (2011), *The Greenhouse Gas Protocol and Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard, Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*, World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf, [Erişim 24 Ocak 2023].