

Asil Çelik Kapı Firmasının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması ve Sürecin İyileşmesi için Stratejilerin Belirlenmesi

Calculating the Carbon Footprint of Asil Steel Door Company and Determining Strategies for Improving the Process

Beyza Nisa Öztürk^a

Talha Çelik^b

Yusuf Bera Sanlı^c

Tamer Eren^d

Özet

Bu çalışmada, Asil Çelik Kapı Firması'nın faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izinin belirlenmesi ve çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında IPCC rehberleri esas alınmış; GHG Protocol çerçevesinde Scope 1, Scope 2 ve Scope 3 kapsamındaki veriler değerlendirilmiştir. Karbon ayak izi hesaplamaları; işletmeye ait doğal gaz, elektrik tüketimi ve lojistik faaliyet verilerinin uygun emisyon faktörleriyle çarpılması yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre firmanın toplam karbon ayak izi 191, 458 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır. Emisyonların büyük bölümünün elektrik tüketiminden kaynaklandığı, bu kaynağı doğal gaz kullanımı ve lojistik faaliyetlerin izlediği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, üretim süreçlerindeki enerji yoğunluğunun karbon ayak izi üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu kanıtlamaktadır. Çalışma kapsamında; yenilenebilir enerji kullanımı, enerji verimliliği uygulamaları ve lojistik süreçlerin optimizasyonu gibi stratejilerin karbon salımını azaltmadaki etkinliği değerlendirilmiştir. Bu yönüyle çalışma, çelik kapı imalatı sektörü için sürdürülebilirlik temelli karar alma süreçlerine katkı sağlayan özgün bir model sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karbon Ayak İzi, GHG Protocol, Demir-Çelik Sektörü.

Jel Kodları: Q54, Q56, L61

Başvuru: 05.02.2026

Kabul: 10.06.2026

Abstract

This study aims to determine the carbon footprint resulting from the activities of Asil Çelik Kapı Firması and to develop improvement strategies to reduce environmental impacts. IPCC guidelines were used as a basis for calculating greenhouse gas emissions; data within the scope of Scope 1, Scope 2, and Scope 3 were evaluated within the framework of the GHG Protocol. Carbon footprint calculations were performed by multiplying the company's natural gas and electricity consumption and logistics activity data by the appropriate emission factors. According to the analysis results, the company's total carbon footprint was calculated as 191, 458 tons CO₂e. It was determined that the majority of emissions originated from electricity consumption, followed by natural gas usage and logistics activities. The findings prove that the energy intensity of production processes has a decisive impact on the carbon footprint. Within the scope of the study, the effectiveness of strategies such as renewable energy use, energy efficiency applications, and logistics process optimization in reducing carbon emissions was evaluated. In this respect, the study presents a unique model that contributes to sustainability-based decision-making processes for the steel door manufacturing sector.

Key Words: Carbon Footprint, GHG Protocol, Iron and Steel Industry.

Jel Codes: Q54, Q56, L61

^a Yüksek Lisans Öğr.-Öztürk-Beyza-Nisa, Kırıkkale Üniversitesi, beyzanisaozturk@gmail.com, 0009-0000-6415-1914.

^b Lisans Öğr.-Çelik-Talha, Kırıkkale Üniversitesi, talhaclk2004@gmail.com, 0009-0003-9139-856X.

^c Yüksek lisans Öğr.-Sanlı-Yusuf-Bera, Kırıkkale Üniversitesi, beraasanli@gmail.com, 0009-0003-7577-6671.

^d Prof. Dr.-Eren-Tamer, Kırıkkale Üniversitesi, tamereren@gmail.com, 0000-0001-5282-3138.

GİRİŞ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, günümüzde yalnızca çevresel bir mesele değil; üretim, ticaret ve maliyet yapıları üzerinde doğrudan etkisi bulunan çok boyutlu bir risk alanı olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle işletmelerin çevresel etkilerini sayısallaştırması, sürdürülebilirlik yönetiminde ilk basamak olarak öne çıkmaktadır. Kurumsal karbon ayak izi yaklaşımı, sera gazı emisyonlarının kapsamlar bazında izlenmesini sağlayarak hem raporlama disiplini güçlendirmekte hem de azaltım alanlarının görünür olmasına katkı sunmaktadır. Karbon ayak izinin kurumsal düzeyde hesaplanması, yalnızca “ölçme” faaliyeti olarak görülmemelidir; aynı zamanda işletmenin süreçlerini yeniden düşünmesini ve çevresel-etkinlik ile ekonomik-etkinliği birlikte ele almasını zorunlu kılan bir yönetim aracıdır. Türkiye’de yapılan örnek uygulamalarda, karbon envanterinin çıkarılmasıyla birlikte enerji tüketiminin yoğunlaştığı noktaların daha net belirlendiği ve iyileştirme hedeflerinin daha somut hale getirilebildiği vurgulanmaktadır (Çolak ve Atılgan Türkmen, 2023: 191–201). Sanayi işletmelerinde emisyonların önemli bir kısmı enerji kullanımından kaynaklandığından, karbon ayak izi analizleri çoğu zaman elektrik ve yakıt tüketimine odaklanmaktadır. Metal imalatına yönelik güncel bir fabrika örneğinde, emisyon dağılımında doğal gaz ve elektrik tüketiminin en yüksek payı aldığı; lojistik/taşıma gibi dolaylı kalemlerin ise toplam profile anlamlı düzeyde katkı sunduğu gösterilmiştir (Demirci ve Aydın., 2025: 1293–1302). Bu tür bulgular, üretim temelli işletmelerde enerji yönetimi ile emisyon yönetiminin birbirinden ayrıştırılmayacağını ortaya koymaktadır. Çelik kapı imalatı, temel girdisi olan çeliğin enerji yoğun yapısı ve üretim hattında yer alan kesme, kaynak, taşlama, yüzey işlem ve boyama gibi süreçlerin elektrik tüketimini artırması nedeniyle çevresel açıdan kritik bir üretim alanı olarak değerlendirilebilir. İşletme ölçeğinde karbon ayak izi çalışmaları, bu süreçlerdeki enerji kullanımını görünür hale getirerek hangi aşamalarda verimlilik yatırımlarının önceliklendirilmesi gerektiğine dair güçlü bir çerçeve sunar. Türkiye’de kurum ve yerleşke ölçeğinde yapılan hesaplamalarda da faaliyet temelli yaklaşımın “hangi tüketim kaleminin ne kadar emisyonu karşılık geldiğini” açık biçimde ortaya koyduğu ve bu sayede azaltım planlamasının kolaylaştığı ifade edilmektedir (Kumaş vd., 2019: 108–117). Bunun yanında, karbon ayak izinin işletmeler açısından önemi yalnızca çevresel etkileri azaltma hedefiyle sınırlı değildir. Karbon maliyetlerinin izlenmesi ve raporlanması; gelecekte sıkılaşması muhtemel düzenlemeler, tedarik zinciri talepleri ve rekabet koşulları bakımından stratejik önem taşımaktadır. Demir-çelik sektöründe yapılan bir uygulama çalışması, karbon ayak izinin maliyet muhasebesiyle ilişkilendirilmesinin yönetim kararları için değerli çıktılar üretebildiğini göstermektedir (Demircioğlu ve Ever, 2021: 649–662). Bu nedenle çelik kapı imalatı yapan işletmeler için karbon ayak izi hesaplaması hem çevresel sorumluluğun somutlaşması hem de verimlilik-temelli iyileştirmelerin planlanması açısından işlevsel bir başlangıç noktasıdır.

Sanayi sektörleri, küresel ölçekte sera gazı emisyonlarının oluşumunda belirleyici bir role sahip olup, demir-çelik esaslı üretim yapan işletmeler bu süreçte çevresel etkileri en yüksek sektörler arasında yer almaktadır. Bu kapsamda karbon ayak izi, üretim faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmede kullanılan ve sera gazı emisyonlarının nicel olarak ölçülmesine olanak sağlayan temel göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir (Özden vd., 2018: 45–62). Demir-çelik sektöründe ortaya çıkan karbon salımlarının temelinde, yüksek enerji gereksinimi, fosil yakıtlara dayalı üretim yapısı ve hammaddenin işlenmesi sırasında gerçekleşen süreçler bulunmaktadır. Özellikle geleneksel çelik üretim yöntemlerinin yoğun enerji tüketimi gerektirmesi, bu yöntemlerin karbon emisyonları açısından olumsuz bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır (Darıcı vd., 2024: 58–76). Bu durum, çelik kapı gibi yarı mamul ve nihai ürünlerin üretim süreçlerinin çevresel etkilerinin ayrıntılı biçimde incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Karbon ayak izinin belirlenmesine yönelik akademik çalışmalarda sıklıkla yaşam döngüsü değerlendirmesi (Life Cycle Assessment – LCA) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, bir ürünün hammadde temininden başlayarak üretim, kullanım ve kullanım ömrü sonu aşamalarına kadar geçen tüm süreçlerde ortaya çıkan çevresel etkilerin sistematik bir yaklaşımla değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Özsoy, 2015: 120–142). Karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik uygulamalar ele alındığında; üretim süreçlerinde enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ve geri dönüştürülmüş hammaddelerin tercih edilmesi ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, hurda çeliğin üretim sürecine dâhil edilmesinin birincil çelik üretimine kıyasla daha düşük enerji tüketimi gerektirdiği ve buna bağlı olarak karbon emisyonlarının azalmasına katkı sağladığı literatürde ifade edilmektedir (Eryüzlü, 2026: 33–49). Bunun yanı sıra sanayi işletmelerinin lojistik faaliyetleri ve tedarik zinciri yapıları, dolaylı karbon emisyonlarının oluşumunda önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Hammaddelerin taşınması, ürünlerin dağıtımı ve üretimi destekleyen lojistik süreçler, toplam karbon ayak izinin artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle karbon yönetimine yönelik stratejilerin yalnızca üretim aşamasıyla sınırlı kalmaması, tedarik ve dağıtım süreçlerini de kapsayacak şekilde bütüncül olarak ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Ersoy vd., 2012: 643–661).

Genel bir değerlendirme yapıldığında, literatürde demir-çelik temelli üretim yapan işletmeler açısından karbon ayak izi hesaplamasının çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında temel bir araç olduğu ortaya konulmaktadır. Bu kapsamda elde edilen bulgular doğrultusunda geliştirilecek iyileştirme ve azaltım stratejilerinin, çevresel etkilerin azaltılmasının yanı sıra işletmelerin uzun vadeli rekabet gücünü artırmasına da katkı sağlayacağı ifade edilmektedir (Özden vd., 2018: 40–90).

Asil Çelik Kapı Firması özelinde gerçekleştirilecek karbon ayak izi çalışması; üretim hattındaki enerji tüketim desenini, dolaylı emisyon kaynaklarını ve iyileştirme alanlarını birlikte ele alarak sürdürülebilirlik hedeflerine daha sistematik biçimde yaklaşılmasına katkı sağlaması planlanmaktadır. Çelik kapı imalat sektörü, ana hammadde olan çeliğin yüksek enerji yoğunluğu ve üretim süreçlerindeki kaynak tüketimi nedeniyle çevresel etki açısından kritik bir konumda bulunmaktadır. Çelik üretimi, küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır ve bu durum, çelik mamullerini nihai ürüne dönüştüren sektörleri doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, Asil Çelik Kapı Firması gibi bu alanda çalışan şirketler için karbon ayak izini hesaplamak büyük önem taşımaktadır. Bu hesaplama, sadece devletin koyduğu kurallara uymak için değil, aynı zamanda uluslararası alanda daha çok iş yapabilmek için de gereklidir. Karbon ayak izi analizi, üretimdeki en çok enerji harcanan yerleri (hammadde alımı, kesme, kaynak ve boyama gibi) göstermektedir. Gerçekleştirilen analiz şirketin, nerede israf olduğunu tespit etmesini kolaylaştırmaktadır, şirketin geri dönüşüm kurallarına uymasına ve çevre dostu tedarikçilerle çalışmasına yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak hem çevreye verilen zarar azalır hem de şirketin çevreci imajı güçlenerek uzun vadede maliyet avantajı sağlamaktadır.

1. LİTERATÜRÜN TARAMASI

Pandey vd. (2011) gerçekleştirdikleri çalışmalarında karbon ayak izi hesaplama yöntemleri, kapsam ve tanım farklılıkları nedeniyle standartlaşma sorununu ele almışlardır. Literatürde bu yöntemlerin tutarlılığının artırılması gerekliliği vurgulanmıştır. Wells vd. (2012) çalışmada ciltsiz kitabın yaşam döngüsü boyunca karbon ayak izi incelenmiş; kâğıt türü, taşıma ve enerji kullanımının emisyonlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, enerji yoğunluğu ve geri dönüştürülmüş hamur kullanımının toplam emisyonları önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Kaypak (2013), nitel araştırma yöntemi kullanarak ekolojik ayak izi kavramını çevresel barış perspektifinden ele almış, çevresel sorunların yalnızca ekolojik değil aynı zamanda toplumsal ve politik sonuçlar doğurduğunu vurgulamıştır. Çalışmada ekolojik ayak izinin çevresel barışın sağlanmasında önemli bir göstere olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Özsoy (2015), yaşam döngüsü analizi ve sera gazı hesaplama yöntemleriyle Türkiye'nin karbon ayak izini düşük karbon ekonomisi bağlamında incelemiştir. Çalışma, Türkiye'nin mevcut üretim ve tüketim yapısının karbon yoğun olduğunu ve düşük karbonlu dönüşümün sürdürülebilir kalkınma açısından zorunlu hâle geldiğini ortaya koymuştur. Yaka vd. (2015), DEFRA-Annex yaklaşımını kullanarak bir üniversite yerleşkesinin karbon ayak izini hesaplamış, özellikle enerji tüketimi ve ulaşımdan kaynaklanan emisyonların toplam ayak izi içinde belirleyici rol oynadığını tespit etmiştir. Özden vd. (2018), Kyoto Protokolü, GHG yaklaşımı ve ISO 14067 standartlarını temel alarak kurumsal karbon ayak izi hesaplamasına ilişkin teorik bir çerçeve sunmuştur. Çalışma, farklı metodolojilerin hesaplama sonuçlarını etkilediğini ve kurumsal düzeyde standart seçiminin kritik olduğunu göstermiştir. Onat (2018), GRAM, EXIOPOL ve WIOD veri tabanlarını kullanarak Türkiye inşaat sektörünün küresel karbon ayak izini analiz etmiştir. Çalışma sonucunda inşaat sektörünün yalnızca ulusal değil, küresel ölçekte de yüksek karbon etkisine sahip olduğu ortaya konulmuştur. Müller vd. (2020) çalışmada CCU süreçlerinde CO₂'nin hammadde olarak kullanımında kaynak seçiminin karbon ayak izi üzerindeki etkisi incelenmiş ve LCA yöntemlerindeki metodolojik farklılıkların sonuçları önemli ölçüde değiştirdiği gösterilmiştir. Yalılı Kılıç vd. (2021), IPCC metodolojisini esas alarak karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimini incelemiştir. Çalışmada yakıt türü ve araç kullanım yoğunluğunun emisyon seviyeleri üzerinde belirleyici olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Coşkun vd. (2021), IPCC yaklaşımını kullanarak tekstil endüstrisinde karbon ayak izini hesaplamış, özellikle enerji tüketimi ve üretim süreçlerinin toplam emisyonlar üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Çalışma, sektörde enerji verimliliği uygulamalarının önemini vurgulamaktadır. Ersoy Mirici vd. (2022), Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde Türkiye'nin karbon ayak izi politikalarını değerlendirmiştir. Çalışmada Yeşil Mutabakat'ın Türkiye için kısa vadede uyum zorlukları içerse de uzun vadede çevresel ve ekonomik fırsatlar sunduğu sonucuna varılmıştır. Turgut vd. (2022), karşılaştırmalı yaşam döngüsü analizi yöntemiyle lojistik ve taşımacılık sektörünün karbon ayak izini ele alan çalışmaları sistematik olarak incelemiştir. Araştırma, taşımacılık faaliyetlerinin sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinin sektörler arası karşılaştırmalarda oldukça yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Hiçyılmaz vd. (2022), GHG temelli karşılaştırmalı bir yaklaşımla sanayide karbonsuzlaşma süreçlerini incelemiştir. Çalışma, malzeme etkinliği stratejilerinin emisyon azaltımında önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir. Civelekoğlu vd. (2023), ISO 14064 tabanlı ölçüm yöntemi kullanarak ulaşım sektöründen kaynaklanan karbon ayak izi değişimini analiz etmiştir. Çalışma, ulaştırma faaliyetlerinin karbon salımı açısından kritik bir sektör olduğunu ve politika müdahalelerinin gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Köksal (2023), yapı malzemelerinin gömülü karbon miktarını inceleyen bir karbon hesaplama yaklaşımı geliştirmiştir. Çalışma, yapı malzemesi seçimlerinin toplam karbon ayak izi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Öncar Şentürk vd. (2023), karbon raporlama yaklaşımıyla tarım sektörünün karbon ayak izini değerlendirmiştir. Çalışmada tarımsal faaliyetlerin iklim değişikliği üzerindeki etkisinin göz ardı edilemeyecek düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çolak vd. (2023), IPCC metodolojisini kullanarak bir kimya fabrikası için kurumsal karbon ayak izi analizi gerçekleştirmiştir. Araştırma, üretim süreçleri ve enerji tüketiminin toplam emisyonlar üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymuştur. Akbaş vd. (2024), GHG yöntemini kullanarak inşaat sektörünün karbon ayak izini değerlendirmiştir. Çalışma, sektörün enerji yoğun yapısının sera gazı emisyonlarını artırdığını ve sürdürülebilir üretim uygulamalarının önemini vurgulamaktadır. Darıcı vd. (2024), yeşil üretim analizi kapsamında çelik üretiminde karbon ayak izini incelemiştir. Çalışmada dijitalleşme ve yeşil üretim uygulamalarının emisyon azaltımında etkili olduğu sonucuna

Asil Çelik Kapı Firmasının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması ve Sürecin İyileşmesi için Stratejilerin Belirlenmesi

ulaşmıştır. Candan vd. (2024), endüstriyel ölçüm yöntemleriyle mobilya endüstrisinin sürdürülebilirlik performansını değerlendirmiştir. Araştırma, döngüsel ekonomi uygulamalarının sektörün karbon ayak izini azaltmada önemli bir araç olduğunu göstermiştir. Seymenler (2025), yaşam döngüsü analizi ve sera gazı hesaplama yöntemleri kullanarak bir boya fabrikasının karbon ayak izini hesaplamıştır. Çalışma, imalat süreçlerinin emisyon yoğunluğunu ortaya koyarak iyileştirme alanlarını belirlemiştir. Demirci ve Aydın (2025) çalışmada, asansör üretim fabrikasında kurumsal karbon ayak izi hesaplanarak emisyon kaynakları belirlenmiş ve enerji tüketimi, lojistik faaliyetler ile üretim süreçlerine yönelik azaltım stratejileri değerlendirilmiştir. Eryüzlü (2026), IPCC metodolojisini kullanarak hurda çelik geri dönüşümünün çevresel etkilerini incelemiştir. Araştırma, geri dönüşüm süreçlerinin birincil çelik üretimine kıyasla önemli ölçüde daha düşük karbon salımına yol açtığını ortaya koymuştur. Literatür taraması özeti Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Literatür Taraması

Yazar	Yöntem	Çalışma Konusu	Anahtar Kelimeler
Pandey vd. (2011)	Literatür Taraması	Karbon ayak izi hesaplama yöntemleri ve uluslararası standartlaştırma sorunlarının incelenmesi.	Karbon ayak izi, doğrudan emisyonlar, gömülü emisyonlar, sera gazları
Wells vd. (2012)	LCA	Ciltsiz kitap üretiminin karbon ayak izi ve kâğıt seçeneklerinin emisyon etkisi.	Karbondioksit emisyonları, sera gazı emisyonları, hasat edilmiş odun ürünleri, endüstriyel ekoloji, elektrik şebekesi, atık kâğıt geri dönüşümü
Kaypak (2013)	Nitel araştırma yöntemi	Ekolojik ayak izinden çevre barışına bakmak	Çevre, Karbon Ayak İzi, Ekolojik Ayak İzi, Barış, Çevre Barışı
Özsoy (2015)	LCA, Sera Gazı Hesaplama	Düşük karbon ekonomisi ve türkiye'nin karbon ayak izi	Sürdürülebilir Kalkınma, Karbon Ayak İzi, Düşük Karbon Ekonomisi, Yeşil
Yaka vd. (2015)	Defra-Annex	Akdeniz üniversitesi sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu karbon ayak izinin tespiti	Karbon ayak izi, Sera gazı
Özden vd. (2018)	Kyoto Protokolü, GHG, ISO 14067	Kurumsal karbon ayak izi nasıl hesaplanır	İklim değişikliği, Karbon ayak izi, Kurumsal hesaplama, Kyoto protokolü
Onat (2018)	GRAM, EXIOPOL, WIOD	Türkiye inşaat sektörünün global karbon ayak izi analizi	Karbon ayak izi, Türkiye inşaat Sektörü, Global ekonomik girdi-çıkıtı analizi
Müller vd. (2020)	LCA yöntemi	CCU süreçlerinde CO ₂ kaynak seçiminin karbon ayak izi üzerindeki etkisi	Karbon ayak izi
Kılıç vd. (2021)	IPCC metodolojisi	Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi	IPCC metodolojisi, Karbon ayak izi, Sera gazları, Yakıt türleri
Coşkun vd. (2021)	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli	Tekstil endüstrisinde karbon ayak izinin belirlenmesi	Karbon ayak izi, Tekstil, Karbondioksit eşdeğeri
Mirici vd. (2022)	Avrupa Yeşil Mutabakatı	Türkiye perspektifinde yeşil mutabakat ve karbon ayak izi	Yeşil Mutabakat, Karbon Ayak İzi, İklim Paketi, Yeşil Alanlar, İklim Krizi
Turgut ve Budak (2022)	Karşılaştırmalı LCA	Lojistik ve taşımacılığın karbon ayak izi	Lojistik, taşımacılık, karbon ayak izi, karbondioksit, sera gazı
Hiçyılmaz vd. (2022)	Karşılaştırmalı GHG	Sanayide karbonsuzlaşma: malzeme etkinliği stratejilerinin rolü	Sanayide Karbonsuzlaşma, Malzeme Etkinliği, Malzeme Etkinliği Stratejileri
Civelek oğlu vd. (2023)	ISO 14064 Tabanlı Ölçüm	Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi	Karbon Ayak izi, Sera Gazları, Ulaşım

Köksal (2023)	Karbon Hesaplama Yaklaşımı	Yapı malzemelerinin gömülü karbon miktarına etkisi	Sürdürülebilir Net Sıfır Karbon; Enerji
Şentürk vd. (2023)	Karbon Raporlama	Tarımda karbon ayak izi ve iklim değişikliğine etkisi	İklim Değişikliği, Karbon Ayak İzi, Tarım, Toprak
Çolak vd. (2023)	IPCC	Kurumsal karbon ayak izi analizi	İklim Değişikliği, Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma
Akbaş vd. (2024)	GHG Yöntemi	İnşaat sektörü ve karbon ayak izi	İnşaat sektörü, karbon ayak izi,
Darıcı vd. (2024)	Yeşil Üretim Analizi	Çelik üretiminde karbon ayak izi üzerine bir değerlendirme	Dijitalleşme; yeşil üretim
Candan vd. (2024)	Endüstriyel Ölçüm	Sürdürülebilirlik ve mobilya endüstrisi	Sürdürülebilirlik, Mobilya Endüstrisi, Döngüsel Ekonomi
Seymenler (2025)	LCA, Sera Gazı Hesaplama	Boya fabrikasının karbon ayak izinin hesaplanması	Sera gazı, boya, imalat
Demirci ve Aydın (2025)	TS-EN ISO 14064-1:2018 standardı ve IPCC Tier-1 yöntemi ile karbon ayak izi hesaplaması.	Asansör üretim fabrikasında kurumsal karbon ayak izinin hesaplanması ve azaltım yöntemlerinin değerlendirilmesi.	Küresel ısınma, Karbon ayak izi, Metal sanayi, Asansör fabrikası.
Eryüzlü (2026)	IPCC	Türkiye’de hurda çelik geri dönüşümü ve çevresel etkileri	Hurda çelik geri dönüşüm, karbon

Literatürde karbon ayak izi çalışmalarının farklı sektörlerde yoğunlaştığı, ancak yöntemsel farklılıklar ve veri kapsamı açısından tam bir standartlaşmanın sağlanamadığı görülmektedir. Özellikle üretim sektöründe yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olup, çoğunlukla belirli alt sektörler odaklanmaktadır. Bu durum, farklı üretim alanlarına özgü karbon ayak izi analizlerine ve karşılaştırılabilir sonuçlara olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, Asil Çelik Kapı Firması’nın karbon ayak izinin hesaplanması ve sürecin iyileştirilmesine yönelik stratejilerin belirlenmesi, metal ve üretim sektörü özelinde özgün bir uygulama sunmakta ve literatürdeki boşluklara katkı sağlayarak sektörel bazda emisyon hesaplamalarının önemini ortaya koymaktadır.

2.YÖNTEMLER

Sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında, kurumsal karbon ayak izi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan GHG Protocol Kurumsal Muhasebe ve Raporlama Standardı ile ISO 14064-1 standardı esas alınmıştır (Aşır, 2024; ISO, 2018). Bu iki metodoloji, sera gazı emisyonlarının sistematik, karşılaştırılabilir ve doğrulanabilir biçimde hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

GHG Protocol yaklaşımı, kurumsal faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları kapsam temelli bir yapı içerisinde sınıflandırmaktadır. Bu kapsamda emisyonlar; doğrudan kaynaklardan oluşan Kapsam 1, satın alınan elektrik ve enerji tüketiminden kaynaklanan Kapsam 2 ve değer zinciri boyunca ortaya çıkan diğer dolaylı emisyonları kapsayan Kapsam 3 başlıkları altında ele alınmaktadır (Aşır, 2024). Bu sınıflandırma, emisyon kaynaklarının net bir şekilde ayrıştırılmasını sağlamak ve azaltım potansiyellerinin belirlenmesine katkı sunmaktadır.

ISO 14064-1 standardı ise kurumsal sera gazı envanterlerinin hazırlanmasına yönelik temel ilke ve gereklilikleri tanımlamaktadır. Standart kapsamında öncelikle organizasyonel ve operasyonel sınırlar belirlenmekte, ardından emisyon kaynaklarına ilişkin faaliyet verileri toplanarak uygun emisyon faktörleri aracılığıyla sera gazı salımları hesaplanmaktadır (ISO, 2018: 6–12). Bu yaklaşım, hesaplama sürecinde şeffaflık ve tutarlılığı esas almakta, raporlanan emisyon verilerinin güvenilirliğini artırmaktadır.

Her iki yöntemde de sera gazı emisyonları, faaliyet verilerinin ilgili emisyon faktörleri ile çarpılması esasına dayanmaktadır. Hesaplamalar sırasında karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄) ve diazot monoksit (N₂O) gibi başlıca sera gazları dikkate alınmakta ve bu gazlar, IPCC tarafından belirlenen küresel ısınma potansiyelleri kullanılarak CO₂ eşdeğeri cinsine dönüştürülmektedir (IPCC, 2021).

Asil Çelik Kapı Firmasının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması ve Sürecin İyileşmesi için Stratejilerin Belirlenmesi

Sonuç olarak GHG Protocol ve ISO 14064-1 standartlarının birlikte kullanılması, kurumsal sera gazı emisyonlarının hem kapsamlı hem de uluslararası standartlarla uyumlu şekilde hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. Bu yöntemsel çerçeve, karbon ayak izinin doğru biçimde belirlenmesi ve sürdürülebilirlik odaklı stratejilerin geliştirilmesi açısından güçlü bir temel oluşturmaktadır (Civelekoğlu ve Bıyık, 2018: 160–165).

Bu çalışmada sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında IPCC tarafından yayımlanan emisyon faktörleri esas alınmış, emisyonların sınıflandırılmasında ise GHG Protocol yaklaşımı kullanılmıştır. IPCC yaklaşımı, emisyonların nicel olarak hesaplanmasına yönelik yakıt bazlı, şebeke bazlı ve taşıma türüne göre emisyon faktörleri gibi bilimsel katsayıları sağlarken; GHG Protocol, emisyonların organizasyonel sınırlar içerisinde Scope 1, Scope 2 ve Scope 3 olarak sistematik biçimde sınıflandırılmasını mümkün kılmaktadır. Bu iki yaklaşımın birlikte kullanılması, hem hesaplamaların uluslararası standartlarla uyumunu hem de emisyonların kaynak bazlı olarak tutarlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda çalışmada kullanılan emisyon kaynaklarının sınıflandırılması Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Emisyon Kaynaklarının Sınıflandırılması

Emisyon Kaynağı	GHG Protocol Sınıfı	IPCC Yaklaşımı	Açıklama
Doğal gaz tüketimi	Scope 1	Yakıt bazlı emisyon faktörü	Doğrudan yanma emisyonu
Elektrik tüketimi	Scope 2	Ülke bazlı grid emisyon faktörü	Elektrik kaynaklı dolaylı emisyon
Lojistik	Scope 3	Taşıma türüne göre faktör	Diğer dolaylı emisyon

Tabloya göre doğal gaz tüketimi Scope 1 kapsamında yer almakta ve yakıt bazlı emisyon faktörleri kullanılarak doğrudan yanma emisyonu olarak değerlendirilmektedir. Elektrik tüketimi Scope 2 kapsamında olup ülke bazlı şebeke emisyon faktörleri ile ilişkilendirilen dolaylı emisyonları ifade etmektedir. Lojistik faaliyetler ise Scope 3 kapsamında değerlendirilmiş ve taşıma türüne göre emisyon faktörleri kullanılarak diğer dolaylı emisyonlar olarak sınıflandırılmıştır. Bu yapı, emisyon kaynaklarının hem metodolojik hem de sınıflandırma açısından uluslararası çerçevelerle uyumlu şekilde ele alındığını göstermektedir.

2.1. IPCC Esas Alınarak GHG Protocol Çerçevesinde Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi

Sera gazı emisyonlarının belirlenmesinde, GHG Protocol standartları doğrultusunda, IPCC tarafından önerilen emisyon faktörleri temel alınmıştır. GHG Protocol, küresel ölçekte en yaygın kabul gören kurumsal karbon ayak izi çerçevesi olup, emisyon kaynaklarını üç ana kapsam altında incelemektedir: doğrudan emisyonlar (Scope 1), dolaylı elektrik kaynaklı emisyonlar (Scope 2) ve diğer dolaylı emisyonlar (Scope 3). IPCC ise bu emisyonların bilimsel temellere dayalı olarak hesaplanabilmesi için standartlaştırılmış emisyon faktörleri sunmaktadır.

Sera gazı hesaplamaları genel olarak aşağıdaki matematiksel formüle dayanır:

$$\text{Emisyon (kg CO}_2\text{e)} = \text{Aktivite Verisi} \times \text{Emisyon Faktörü}$$

Her bir faaliyet türü için nicel bir veri (örneğin doğal gaz tüketimi, elektrik tüketimi, yakıt miktarı gibi) belirlenmekte; ardından bu veri, IPCC tarafından önerilen uygun emisyon faktörü ile çarpılarak toplam sera gazı emisyonu hesaplanmaktadır. Ortaya çıkan sonuçlar, kilogram cinsinden CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilmekte, genellikle ton cinsine çevrilerek raporlanmaktadır. Bu hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri, enerji türüne ve kullanılan yakıtın karbon içeriğine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan bazı temel emisyon katsayıları şu şekildedir:

Doğal gaz: 2,04542 kg CO₂e / m³ (GOV.UK Sera Gazı Raporlama: Dönüşüm Faktörleri (2024))

Elektrik (Türkiye ortalaması): 0,434 kg CO₂e / kWh (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025)

Benzin: 2,35372 kg CO₂e / litre (GOV.UK Sera Gazı Raporlama: Dönüşüm Faktörleri (2024))

Dizel: 2,66155 kg CO₂e / litre (GOV.UK Sera Gazı Raporlama: Dönüşüm Faktörleri (2024))

Yukarıdaki katsayılar, ulusal ve uluslararası kaynaklarda yer alan varsayılan değerler doğrultusunda belirlenmiş olup yerel koşullara göre güncellenebilir niteliktedir. Elektrik tüketimine ilişkin emisyon faktörü T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 31.12.2025 tarihinde yayımlanan güncel verilere göre 0,434 kg CO₂e/kWh olarak ele alınmıştır. Ayrıca akaryakıt ve doğalgaz emisyon faktörleri için GOV.UK Sera Gazı Raporlama: Dönüşüm Faktörleri (2024) veri seti esas alınmıştır. Bu doğrultuda doğalgaz için 2,045 kg CO₂e/m³, benzinli araçlar için 2,35372 kg CO₂e/litre ve dizel araçlar için 2,661 kg CO₂e/litre değerleri kullanılarak tüm hesaplamalar yeniden gerçekleştirilmiştir. Söz konusu emisyon faktörleri ulusal ve uluslararası güncel raporlara dayalı olup, yerel koşullara bağlı olarak güncellenebilir nitelikte varsayılan değerler olarak kabul edilmiştir.

Her kapsam özelinde yapılan hesaplamalar şu şekilde yürütülmüştür:

Scope 1: Firmanın doğrudan enerji kullanımı analiz edilerek, toplam tüketim miktarı IPCC doğal gaz emisyon katsayısı ile çarpılmıştır.

Scope 2: Satın alınan elektrik enerjisi miktarı, Türkiye'nin ulusal şebeke emisyon katsayısı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Scope 3: İşletmeye ait taşıma ve lojistik faaliyetlerinde kullanılan akaryakıt miktarları dikkate alınarak, IPCC'nin akaryakıt bazlı katsayıları üzerinden emisyonlar hesaplanmıştır.

Bu yöntemle yapılan hesaplamalarda, yalnızca ölçülebilir ve kayda geçmiş resmi veriler kullanılmış, herhangi bir tahmine dayalı varsayımda bulunulmamıştır. Böylece hesaplamaların bilimsel güvenilirliği ve doğruluğu azami düzeyde korunmuştur.

2.2. ISO 14064-1 Yönteminin Uygulanması

ISO 14064-1 standardı, kuruluş düzeyinde sera gazı emisyonlarının nicel olarak belirlenmesine yönelik hesaplama ilkelerini tanımlamaktadır. Standart kapsamında sera gazı emisyonlarının hesaplanması, organizasyonel ve operasyonel sınırların belirlenmesinin ardından faaliyet verilerinin uygun emisyon faktörleri ile ilişkilendirilmesine dayanmaktadır.

ISO 14064-1 yöntemine göre sera gazı emisyonları genel olarak aşağıdaki temel formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$SGE = \sum(FV \times EF)$$

Bu formülde; SGE, toplam sera gazı emisyonunu (kg CO₂e), FV, ilgili faaliyete ait faaliyet verisini (kWh, m³, litre, km vb.) ve EF ise birim faaliyet başına düşen emisyon faktörünü (kg CO₂e/birim) ifade etmektedir.

Hesaplama sürecinde karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄) ve diazot monoksit (N₂O) gibi başlıca sera gazları ayrı ayrı ele alınmaktadır. Her bir gaz için emisyon miktarı, faaliyet verisinin ilgili sera gazına ait emisyon faktörü ile çarpılması yoluyla belirlenmektedir:

$$\text{Emisyon}_{\text{gaz}} = FV \times EF_{\text{gaz}}$$

ISO 14064-1 standardı, farklı sera gazlarının iklim değişikliği üzerindeki etkilerinin karşılaştırılabilir hâle getirilmesi amacıyla emisyonların karbon dioksit eşdeğeri (CO₂e) cinsinden ifade edilmesini öngörmektedir. Bu dönüşüm işleminde, sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri IPCC tarafından yayımlanan katsayılar esas alınarak hesaplanmaktadır (IPCC, 2021: 7):

$$\text{CO}_2\text{e} = (\text{CO}_2 \times 1) + (\text{CH}_4 \times \text{GWP}_{\text{CH}_4}) + (\text{N}_2\text{O} \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}})$$

IPCC Altıncı Değerlendirme Raporu'na göre 100 yıllık zaman dilimi için kullanılan küresel ısınma potansiyeli katsayıları; CO₂ için 1, CH₄ için 27,2 ve N₂O için 273 olarak belirtilmektedir (IPCC, 2021: 7–8).

Tüm faaliyetlere ait CO₂ eşdeğeri emisyonlar toplulaştırılarak toplam sera gazı emisyonu hesaplanmaktadır. Elde edilen toplam değer genellikle kg CO₂e veya ton CO₂e cinsinden raporlanmaktadır (ISO, 2018: 15). Standart ayrıca hesaplama sürecinde şeffaflık, tutarlılık, doğruluk ve izlenebilirlik ilkelerine uyulmasını zorunlu kılmakta; kullanılan veriler, varsayımlar ve emisyon faktörlerinin açık biçimde belirtilmesini önermektedir (ISO, 2018: 16–18).

3. UYGULAMA

Bu bölümde Asil Çelik Kapı Firmasına ait veriler toplanıp ISO 14064 yöntemine ve GHG Protocol yöntemine göre hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu iki veri arasında kıyaslama yapıp hangi yöntemin esas alındığını nedenleriyle birlikte açıklanmıştır.

3.1. Verilerin Toplanması ve Güvenilirliği

Çalışmada kullanılan veriler, Asil Çelik Kapı işletmesine ait resmi kayıtlar üzerinden temin edilmiştir. Veri toplama süreci, doğrudan işletmenin enerji ve lojistik birimleriyle yapılan yazılı iletişim ve belge paylaşımı yoluyla gerçekleştirilmiştir. Doğal gaz ve elektrik tüketimi gibi enerjiye dayalı veriler, yıllık tüketim faturaları ve muhasebe kayıtları temel alınarak belirlenmiştir. Ulaşım ve taşıma faaliyetlerine ilişkin bilgiler ise sevkiyat kayıtları, araç kullanım raporları ve akaryakıt tüketim belgeleri doğrultusunda elde edilmiştir. Tüm veriler nicel ve ölçülebilir nitelikte olup, herhangi bir varsayıma ya da tahmine dayalı veri kullanılmamıştır. Ayrıca çalışmada birincil veri toplama yöntemlerine (anket, gözlem, görüşme gibi) başvurulmamış, yalnızca ikincil veri kaynaklarından yararlanılmıştır. Bu yaklaşım, çalışmanın güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini artırmakla birlikte, işletme içi süreçlerin karbon ayak izi üzerindeki etkilerini doğrudan görselleştirme imkânı sunmuştur (Demir ve Uslu., 2020:115–132).

Asil Çelik Kapı Firmasının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması ve Sürecin İyileşmesi için Stratejilerin Belirlenmesi

Çalışmada, işletme tarafından sunulan ve resmi kayıtlarla (fatura, sevkiyat fişi vb.) doğrulanabilen nicel veriler temel alınmıştır. Soğutucu gaz sızıntıları ve üretimde kullanılan kimyasallara (boya, solvent vb.) dair spesifik sızıntı oranları veya emisyon faktörlerini besleyecek net envanter kayıtlarına ulaşamadığı için bu kalemler hesaplama dışında tutulmuştur. Tablo 3' te firmaya ait faaliyet verisi ve emisyon faktörleri verilmiştir.

Tablo 3. Firmaya Ait Faaliyet Verisi ve Emisyon Faktörü

Kapsam	Faaliyet	Yıllık Tüketim / Mesafe	Emisyon Faktörü
Scope 1	Doğal gaz Tüketimi	38.253 m ³	2,045 kg CO ₂ e / m ³
Scope 2	Elektrik Tüketimi	223.400 kWh	0,434 kg CO ₂ e / kWh
Scope 3	Benzinli Araçlar	57.400 km	8 L/100 km – 2,35372 kg CO ₂ e/L
Scope 3	Dizel Araçlar	29.350 km	7 L/100 km – 2,661 kg CO ₂ e/L

3.2. ISO 14064-1 Yöntemi İle Asil Çelik Kapı Firmasının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

Bu çalışmada Asil Çelik Kapı Firması'nın faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları, faaliyet verileri ve literatürde yaygın olarak kabul gören emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Emisyon hesaplamaları, karbon ayak izi çalışmalarında sıklıkla kullanılan faaliyet verisi × emisyon faktörü yaklaşımına dayanmaktadır. Tüm emisyon değerleri karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) cinsinden ifade edilmiştir.

Doğal Gaz Tüketiminden Kaynaklanan Emisyonlar

Doğal gaz tüketimine ilişkin yıllık faaliyet verisi 38.253 m³ olarak belirlenmiştir. Doğal gaz kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında, literatürde ve uluslararası raporlarda yaygın biçimde kullanılan 2,045 kg CO₂e/m³ emisyon faktörü esas alınmıştır. Bu kapsamda doğal gaz tüketiminden kaynaklanan toplam emisyon miktarı, faaliyet verisinin ilgili emisyon faktörü ile çarpılması yoluyla hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda doğal gaz tüketimine bağlı sera gazı emisyonu 78.227,385 kg CO₂e olarak belirlenmiştir.

$$\text{Emisyon}_{DG} = 38.253 \times 2,045$$

$$\text{Emisyon}_{DG} = 78.227,385 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Elektrik tüketimine ait faaliyet verisi yıllık toplam 223.400 kWh olarak tespit edilmiştir. Elektrik kaynaklı emisyonların hesaplanmasında, elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının ortalama karbon yoğunluğunu yansıtan 0,434 kg CO₂e/kWh emisyon faktörü kullanılmıştır. Bu faktör, elektrik tüketimi sonucu dolaylı olarak oluşan sera gazı emisyonlarını ifade etmektedir. Elektrik tüketim noktası emisyon faktörleri bağlantı noktasına göre değişiklik göstermekle birlikte iletim hattından bağlı tüketim noktası için birim elektrik tüketimi başına 0,436 CO₂-eşd., dağıtım hattından bağlı tüketim noktası için birim elektrik tüketimi başına 0,469 CO₂-eşd. sera gazı emisyonu salınmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025). Yapılan hesaplama sonucunda elektrik tüketiminden kaynaklanan toplam sera gazı emisyonu 96.955,6 kg CO₂e olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Emisyon}_E = 223.400 \times 0,434$$

$$\text{Emisyon}_E = 96.955,6 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Benzinli araçlara ilişkin yıllık toplam kullanım mesafesi 57.400 km olarak belirlenmiştir. Karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında, 2,35372 kg CO₂e/km emisyon faktörü kullanılmıştır. Bu yöntem, yakıt tüketim verilerinin bulunmadığı durumlarda literatürde yaygın olarak tercih edilmektedir. Hesaplama sonucunda benzinli araç kullanımına bağlı sera gazı emisyonu 10.808,28224 kg CO₂e olarak bulunmuştur.

$$57.400 \div 100 \times 8 = 4.592 \text{ L}$$

$$\text{Emisyon}_B = 4.592 \times 2,35372$$

$$\text{Emisyon}_B = 10.808,28224 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Dizel araç kullanımına ilişkin yıllık toplam mesafe 29.350 km olarak belirlenmiştir. Dizel araçlar için kullanılan 2,661 kg CO₂e/km emisyon faktörü esas alınarak yapılan hesaplama sonucunda dizel araçlardan kaynaklanan sera gazı emisyonu 78.100,35 kg CO₂e olarak hesaplanmıştır.

$$29.350 \div 100 \times 7 = 2.054,5 \text{ L}$$

$$\text{Emisyon}_D = 2.054,5 \times 2,661$$

$$\text{Emisyon}_D = 5.467,0245 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Çalışma kapsamında ele alınan tüm faaliyet türlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları bir araya getirilerek toplam karbon ayak izi hesaplanmıştır. Doğal gaz tüketimi, elektrik tüketimi ile benzinli ve dizel araç kullanımına ait emisyon değerlerinin toplanması sonucunda kurumun toplam sera gazı emisyonu 191.458,2917 kg CO₂e olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değer, incelenen dönem itibarıyla kurumun faaliyetlerinden kaynaklanan toplam karbon ayak izini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda hesaplanan toplam emisyon miktarı, kurumun çevresel etkilerinin nicel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamakta ve ilerleyen aşamalarda geliştirilecek emisyon azaltım stratejileri için temel bir referans oluşturmaktadır. Ayrıca söz konusu sonuç, enerji tüketimi ve ulaşım kaynaklı emisyonların kurumun karbon ayak izi üzerindeki belirleyici rolünü açık biçimde göstermektedir. Tablo 4' te ISO 14064-1 yöntemi ile karbon ayak izinin hesaplanmasından elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

$$\text{Toplam SGE} = 78.227,385 + 96.955,6 + 10.808,28224 + 5.467,0245$$

$$\text{Toplam SGE} = 191.458,2917 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Tablo 4. ISO 14064-1 Yöntemi İle Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

Kapsam	Faaliyet	Yıllık Tüketim / Mesafe	Emisyon Faktörü	Emisyon (kg CO ₂ e)	Emisyon (ton CO ₂ e)
Scope 1	Doğal gaz Tüketimi	38.253 m ³	2,045 kg CO ₂ e / m ³	78.227,385 (kg CO ₂ e)	78,227 (ton CO ₂ e)
Scope 2	Elektrik Tüketimi	223.400 kWh	0,434 kg CO ₂ e / kWh	96.955,6 (kg CO ₂ e)	96,956 (ton CO ₂ e)
Scope 3	Benzinli Araçlar	57.400 km	2,35372 kg CO ₂ e/km	10.808,28224 (kg CO ₂ e)	10,808 (ton CO ₂ e)
Scope 3	Dizel Araçlar	29.350 km	2,661 kg CO ₂ e/km	5.467,0245 (kg CO ₂ e)	5,467 (ton CO ₂ e)
TOPLAM				191.458,2917 kg CO ₂ e	191,458 (ton CO ₂ e)

3.3. GHG Protocol Yöntemi İle Asil Çelik Kapı Firmasının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

Bu çalışmada kurumun sera gazı emisyonları, GHG Protocol Kurumsal Muhasebe ve Raporlama Standardı doğrultusunda Scope 1, Scope 2 ve Scope 3 kapsamı altında değerlendirilmiştir. Emisyon hesaplamalarında faaliyet verileri ile literatürde yaygın olarak kabul gören emisyon faktörleri kullanılmış ve tüm sonuçlar karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) cinsinden ifade edilmiştir.

Scope 1 – Doğrudan Emisyonlar:

Kurumun doğrudan kontrolü altında gerçekleşen doğal gaz tüketiminden kaynaklanan emisyonlar ele alınmıştır. Doğal gaz tüketimine ilişkin yıllık faaliyet verisi 38.253 m³ olarak belirlenmiştir. Emisyon hesaplamasında, doğal gaz için literatürde yaygın olarak kullanılan 2,045 kg CO₂e/m³ emisyon faktörü esas alınmıştır. Faaliyet verisinin ilgili emisyon faktörü ile çarpılması sonucunda doğal gaz tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonu 78.227,385 kg CO₂e, yani yaklaşık 78,227 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Doğal gaz tüketimi } 38.253 \text{ m}^3 \times 2,045 \text{ kg CO}_2\text{e} = 78.227,385 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Scope 2 – Elektrik Tüketimi:

Satın alınan elektrik enerjisinin kullanımından kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonları değerlendirilmiştir. Elektrik tüketimine ait yıllık faaliyet verisi 223.400 kWh olarak tespit edilmiştir. Elektrik tüketimine bağlı emisyonların hesaplanmasında, elektrik üretiminin ortalama karbon yoğunluğunu temsil eden 0,434 kg CO₂e/kWh emisyon faktörü kullanılmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda elektrik tüketiminden kaynaklanan toplam sera gazı emisyonu 96.955,6 kg CO₂e, yani yaklaşık 96,956 ton CO₂e olarak belirlenmiştir.

$$\text{Elektrik tüketimi } 223.400 \text{ kWh} \times 0,434 \text{ kg CO}_2\text{e} = 96.955,6 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Scope 3 – Lojistik Kaynaklı Emisyonlar:

Scope 3 kapsamında, kurum faaliyetleriyle ilişkili olmakla birlikte doğrudan kontrol altında olmayan lojistik faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda benzinli ve dizel araç kullanımına bağlı emisyonlar hesaplanmıştır.

Benzinli Araçlar:

Benzinli araçlara ait yıllık toplam mesafe 57.400 km olarak belirlenmiş ve ortalama yakıt tüketimi 8 L/100 km olarak kabul edilmiştir. Bu varsayımına göre yıllık benzin tüketimi 4.592 L olarak hesaplanmıştır. Benzin için kullanılan 2,35372 kg CO₂e/L

Asil Çelik Kapı Firmasının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması ve Sürecin İyileşmesi için Stratejilerin Belirlenmesi

emisyona faktörü esas alınarak yapılan hesaplama sonucunda benzinli araçlardan kaynaklanan sera gazı emisyonu 10.808,28224 kg CO_{2e}, yani yaklaşık 10,808 ton CO_{2e} olarak bulunmuştur.

Mesafe: 57.400 km, yıllık tüketim sonucu ortalama: 8 L / 100 km

$$57.400 \div 100 \times 8 = 4.592 \text{ L}$$

$$4.592 \text{ L} \times 2,35372 = \mathbf{10.808,28224 \text{ kg CO}_2e}$$

Dizel Araçlar:

Dizel araçlara ait yıllık toplam mesafe 29.350 km olup, ortalama yakıt tüketimi 7 L/100 km olarak varsayılmıştır. Bu doğrultuda yıllık dizel tüketimi 2.054,5 L olarak hesaplanmıştır. Dizel yakıt için kullanılan 2,661 kg CO_{2e}/L emisyon faktörü ile yapılan hesaplama sonucunda dizel araçlardan kaynaklanan sera gazı emisyonu 5.467,0245 kg CO_{2e}, yani yaklaşık 5,467 ton CO_{2e} olarak belirlenmiştir.

Mesafe: 29.350 km, tüketim varsayımı: 7 L / 100 km

$$29.350 \div 100 \times 7 = 2.054,5 \text{ L}$$

$$2.054,5 \text{ L} \times 2,661 = \mathbf{5.467,0245 \text{ kg CO}_2e}$$

Benzinli ve dizel araç kullanımından kaynaklanan emisyonların toplamı dikkate alındığında, Scope 3 kapsamındaki toplam lojistik kaynaklı sera gazı emisyonu 16,12 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Emisyon değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. GHG Protocol Yöntemi İle Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

Kapsam	Faaliyet	Yıllık Tüketim / Mesafe	Emisyon Faktörü	Emisyon (kg CO _{2e})	Emisyon (ton CO _{2e})
Scope 1	Doğal gaz Tüketimi	38.253 m ³	2,045 kg CO _{2e} / m ³	78.227,385 (kg CO _{2e})	78,227 (ton CO _{2e})
Scope 2	Elektrik Tüketimi	223.400 kWh	0,434 kg CO _{2e} / kWh	96.955,6 (kg CO _{2e})	96,956 (ton CO _{2e})
Scope 3	Benzinli Araçlar	57.400 km	2,35372 kg CO _{2e} /km	10.808,28224 (kg CO _{2e})	10,808 (ton CO _{2e})
Scope 3	Dizel Araçlar	29.350 km	2,661 kg CO _{2e} /km	5.467,0245 (kg CO _{2e})	5,467 (ton CO _{2e})
TOPLAM				191.458,2917 kg CO _{2e}	191,458 (ton CO _{2e})

3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi ve ISO 14064 ve GHG Protocol Karşılaştırması

ISO 14064 yaklaşımı, sera gazı envanterlerinin oluşturulmasına yönelik teknik bir hesaplama çerçevesi sunmakta ve emisyonların sayısal olarak güvenilir biçimde belirlenmesine odaklanmaktadır. Bu kapsamda doğal gaz, elektrik ve araç yakıtlarına bağlı doğrudan ve enerji kaynaklı dolaylı emisyonlar hesaplamaya dâhil edilmekte, kurumsal düzeyde toplam emisyon miktarı net ve doğrulanabilir bir biçimde ortaya konulmaktadır. Bu yönüyle ISO 14064, daha sınırlı kapsamda olmakla birlikte güçlü ve denetlenebilir bir hesaplama altyapısı sunmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda toplam sera gazı emisyonu 191.458,2917 kg CO_{2e} olarak belirlenmiştir.

GHG Protocol yaklaşımı ise emisyonları yalnızca toplam değer üzerinden ele almakla kalmamakta, aynı zamanda emisyon kaynaklarını Scope 1, Scope 2 ve Scope 3 kapsamında ayrıştırarak daha bütüncül bir değerlendirme imkânı sunmaktadır. Özellikle değer zinciri boyunca oluşan dolaylı emisyonların da (örneğin lojistik ve yakıt kaynaklı farklılaştırmalar) analize dahil edilmesi, toplam emisyon profilinin daha kapsamlı şekilde ortaya konulmasını sağlamaktadır. Bu kapsamlı yapı nedeniyle GHG Protocol'e göre hesaplanan toplam emisyon değeri 191.458,2917 kg CO_{2e} olarak ISO 14064 ile aynı düzeyde gerçekleşmiş olup, fark yöntemsel sınıflandırma yaklaşımından kaynaklanmaktadır.

Elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde, iki yöntem arasında sayısal açıdan belirgin bir farklılık bulunmamakta, temel ayrışmanın metodolojik sınıflandırma yaklaşımından kaynaklandığı görülmektedir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

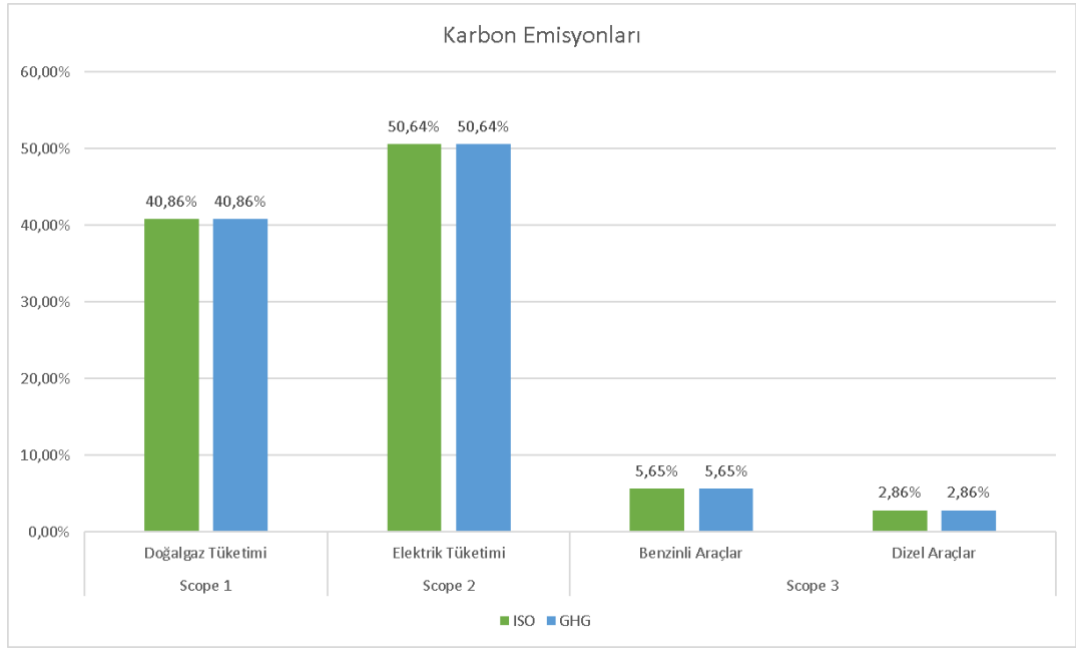
Bu çalışmada, Asil Çelik Kapı Firması'nın 2025 yılına ait üretim ve destek faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izi, IPCC rehberleri esas alınarak GHG Protocol çerçevesinde hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda firmanın toplam sera gazı salımının 191.458,2917 kg CO_{2e} olduğu belirlenmiş ve bu emisyonların doğrudan, dolaylı enerji kaynaklı ve diğer dolaylı emisyonlar olmak üzere üç ana kapsam altında dağıldığı ortaya konulmuştur. Elde edilen bu nicel sonuçlar, işletmenin çevresel etkilerinin somut biçimde değerlendirilmesine olanak tanımakta ve sürdürülebilirlik temelli karar alma süreçleri için önemli bir referans oluşturmaktadır. Doğal gaz tüketimi sonucu ortaya çıkan emisyonumuzun 78.227,385 kg CO_{2e}, elektrik tüketiminden oluşan emisyonumuzun 96.955,6 kg CO_{2e} ve lojistik sonucu ortaya çıkan emisyonumuzun 16.275,30674 kg CO_{2e} olduğu hesaplanmıştır. Elektrik tüketiminde ciddi bir seviyede sera gazı salımını yapmaktadır. İyileştirme

stratejilerinde ilk olarak elektrik tüketimi kaynaklı karbon ayak izi ele alınmalıdır. Fabrikada bulunan kompresör makinesi, akbant büküm, giyotin makas gibi makineler yüksek elektrik kullanan makinelerdir. Karbon emisyon oranları Tablo 6’ da verilmiş ve Şekil 1’de şematize edilmiştir.

Tablo 6. Karbon Emisyonları

GHG Protocol Sınıfı	Emisyon Kaynağı	ISO	GHG
Scope 1	Doğalgaz Tüketimi	40,86%	40,86%
Scope 2	Elektrik Tüketimi	50,64%	50,64%
Scope 3	Benzinli Araçlar	5,65%	5,65%
	Dizel Araçlar	2,86%	2,86%

Tablo 6 incelendiğinde, karbon emisyonlarının büyük ölçüde enerji tüketiminden kaynaklandığı görülmektedir. En yüksek pay %50,64 ile elektrik tüketimine (Scope 2) ait olup, bunu %40,86 ile doğalgaz tüketimi (Scope 1) takip etmektedir. Scope 3 kapsamında yer alan benzinli ve dizel araçlar ise toplam emisyonların daha düşük bir kısmını oluşturmaktadır. ISO ve GHG Protocol sonuçlarının aynı olması, hesaplamalarda yöntemsel tutarlılığın sağlandığını göstermektedir.



Şekil 1. Karbon Emisyonları

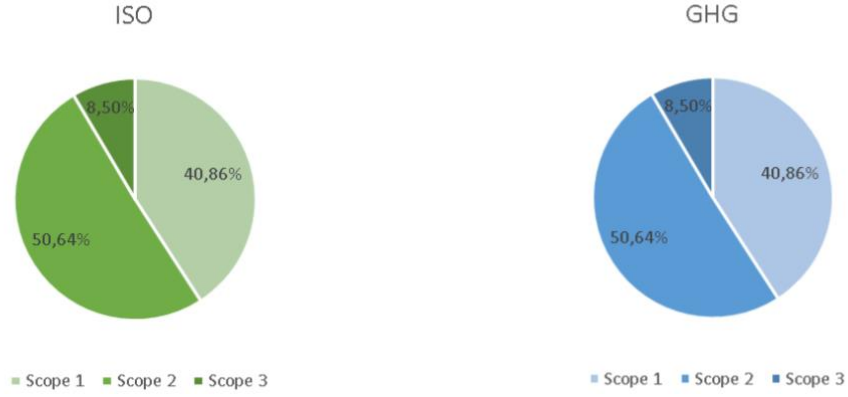
Şekil 1’de karbon emisyonlarının dağılımı görsel olarak sunulmuş olup, enerji tüketiminin toplam emisyonlar üzerindeki baskın etkisi açıkça görülmektedir. Özellikle elektrik ve doğalgaz kullanımının toplam emisyonların büyük kısmını oluşturduğu, ulaşım kaynaklı emisyonların ise daha sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır. Tablo 7’ de sınıflara göre ISO ve GHG Protocol yüzdeleri verilmiştir ve Şekil 2’ de emisyonların pasta grafiğinde gösterimine yer verilmiştir.

Tablo 7. Sınıflara Göre ISO ve GHG Protocol Yüzdeleri

GHG Protocol Sınıfı	ISO	GHG
Scope 1	40,86%	40,86%
Scope 2	50,64%	50,64%
Scope 3	8,50%	8,50%

Tablo 7’de ISO ve GHG Protocol kapsamında sınıflandırılan emisyonların dağılımı sunulmaktadır. Sonuçlar, Scope 2’nin %50,64 ile en yüksek paya sahip olduğunu, bunu %40,86 ile Scope 1’in takip ettiğini göstermektedir. Scope 3 emisyonları ise toplam emisyonlar içinde daha düşük bir paya (%8,50) sahiptir. ISO ve GHG Protocol sonuçlarının birebir aynı çıkması, sınıflandırma ve hesaplama sürecinde tutarlılık sağlandığını göstermektedir.

Asil Çelik Kapı Firmasının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması ve Sürecin İyileşmesi için Stratejilerin Belirlenmesi



Şekil 2. Emisyonların Pasta Grafiğinde Gösterimi

Şekil 2’de emisyonların pasta grafiği ile dağılımı görselleştirilmiştir. Grafik, emisyonların yarısından fazlasının enerji tüketimi kaynaklı Scope 2 emisyonlarından oluştuğunu açıkça göstermektedir. Scope 1 emisyonları da önemli bir paya sahipken, Scope 3 emisyonlarının toplam içindeki etkisinin daha sınırlı olduğu görülmektedir.

Emisyonların dağılımı incelendiğinde, toplam karbon ayak izinin en büyük bölümünün elektrik tüketiminden kaynaklanan dolaylı emisyonlara (Scope 2) ait olduğu görülmektedir. Elektrik tüketiminin bu denli yüksek bir paya sahip olması, üretim hacminden bağımsız olarak kullanılan enerji kaynağının karbon yoğunluğunun işletmenin çevresel performansında belirleyici olduğunu göstermektedir. Türkiye elektrik üretim sisteminin fosil yakıtlara dayalı yapısı göz önüne alındığında, sanayi işletmelerinin elektrik tüketimi kaynaklı emisyonlarının yüksek çıkması beklenen bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Benzer sonuçlara, farklı sektörlerde yapılan kurumsal karbon ayak izi çalışmalarında da sıklıkla rastlanmaktadır. Doğrudan emisyonlar kapsamında değerlendirilen doğal gaz kullanımı (Scope 1), toplam emisyonlar içerisinde ikinci sırada yer almakta ve üretim süreçlerinde kullanılan ısı enerjinin çevresel etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Çelik kapı üretimi gibi metal esaslı imalat süreçlerinde doğal gaz, üretimin sürekliliği açısından önemli bir girdi olmakla birlikte, karbon salımı açısından da dikkatle yönetilmesi gereken bir enerji kaynağıdır. Literatürde, demir-çelik ve metal işleme sektörlerinde doğal gaz tüketiminin karbon ayak izi üzerindeki etkisinin yüksek olduğu ve bu etkinin enerji verimliliği uygulamalarıyla azaltılabileceği vurgulanmaktadır. Ulaşım ve lojistik faaliyetlerinden kaynaklanan Scope 3 emisyonları, toplam karbon ayak izi içerisinde daha sınırlı bir paya sahip olmakla birlikte, işletmenin dolaylı çevresel etkilerini temsil etmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada lojistik kaynaklı emisyonların görece düşük çıkması, firmanın taşıma mesafelerinin sınırlı olması ve üretim faaliyetlerinin büyük ölçüde tesis içinde gerçekleşmesiyle açıklanabilir. Ancak tedarik zincirinin genişlemesi, müşteri ağıнын büyümesi ve sevkiyat sıklığının artması gibi faktörler, ilerleyen dönemlerde bu emisyon türünün toplam içindeki payını artıracaktır. Bu nedenle Scope 3 emisyonları, mevcut düşük oranlarına rağmen uzun vadeli sürdürülebilirlik planlaması açısından göz ardı edilmemelidir. Çalışmadan elde edilen bulgular, Asil Çelik Kapı Firması’nın karbon ayak izinin büyük ölçüde enerji tüketimine dayalı olduğunu ortaya koymakta ve emisyon azaltımına yönelik stratejilerin de bu doğrultuda şekillendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle elektrik tüketimine bağlı emisyonların yüksekliği, enerji temelli dönüşümlerin işletme açısından öncelikli bir alan olduğunu ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, yeşil enerji tedarik anlaşmaları veya tesis içi güneş enerjisi sistemlerinin kurulması, Scope 2 emisyonlarının azaltılmasında etkili çözümler arasında yer almaktadır. Literatürde, bu tür uygulamaların kısa ve orta vadede karbon ayak izi üzerinde anlamlı düşüşler sağladığı ifade edilmektedir (Özsoy, 2015: 120–142). Doğal gaz kullanımına bağlı emisyonların azaltılması açısından ise üretim süreçlerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknik ve yönetsel uygulamalar ön plana çıkmaktadır. Isı kayıplarının azaltılması, enerji yoğun ekipmanların modernizasyonu, bakım ve işletme süreçlerinin iyileştirilmesi gibi uygulamalar hem çevresel hem de ekonomik açıdan işletmeye katkı sağlayabilecek niteliktedir. Enerji verimliliği yatırımlarının, sanayi işletmelerinde uzun vadede maliyet avantajı sağladığı ve karbon salımlarını düşürdüğü birçok çalışmada ortaya konulmuştur. Lojistik faaliyetlerden kaynaklanan emisyonların azaltılmasına yönelik olarak ise yakıt verimliliği yüksek araçların kullanılması, sevkiyat planlamasında rota optimizasyonunun yapılması ve mümkün olan durumlarda yerel tedarikçilere yönelmesi etkili stratejiler arasında yer almaktadır. Bu tür uygulamalar, Scope 3 emisyonlarının kontrol altına alınmasına katkı sağlarken, aynı zamanda işletmenin tedarik zinciri maliyetlerini de düşürebilmektedir. Dolaylı emisyonların yönetimine yönelik bu yaklaşım, sürdürülebilir tedarik zinciri anlayışının temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Demir vd., 2020: 115–132).

Bu çalışmada elde edilen 191.458,2917 kg CO_{2e} toplam emisyon değeri, literatürde yer alan benzer metal ve üretim sektörü çalışmalarına kıyasla değerlendirildiğinde, işletmenin ölçeği ve üretim kapasitesi dikkate alındığında orta düzeyde bir emisyon profiline işaret etmektedir. Örneğin, Demirci ve Aydın (2025) gerçekleştirdikleri çalışma doğrultusunda asansör üretim fabrikasında toplam emisyonların oldukça yüksek seviyelerde olduğu ve özellikle doğrudan emisyonların baskın olduğu görülürken bu çalışmada elektrik tüketimine bağlı dolaylı emisyonların daha yüksek paya sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum, işletmenin enerji tüketim yapısının emisyon dağılımını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Dolayısıyla elde edilen emisyon değerinin yüksek ya da düşük olarak değerlendirilmesi, tesisin üretim hacmi ve enerji kaynaklarına bağlı olup, mevcut sonuçların sektör ortalamasına yakın bir dağılım sergilediği söylenebilir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, literatürde yer alan karbon ayak izi çalışmalarının genel eğilimleri ile büyük ölçüde örtüşmektedir. Pandey vd. (2011) ve Özden vd. (2018) tarafından vurgulanan metodolojik farklılıkların sonuçlar üzerindeki etkisi, bu çalışmada ISO ve GHG Protocol sonuçlarının karşılaştırılmasıyla ele alınmış ve yöntemsel tutarlılığın sağlandığı görülmüştür. Ayrıca Wells vd. (2012) ve Coşkun vd. (2021) çalışmalarında olduğu gibi, enerji tüketiminin (özellikle elektrik ve doğalgaz) toplam emisyonlar üzerindeki belirleyici rolü bu çalışmada da açıkça ortaya konulmuştur. Yaka vd. (2015) ve Kılıç vd. (2021) tarafından ulaştırma ve enerji tüketiminin emisyonlar üzerindeki etkisi vurgulanırken, bu çalışmada da Scope 3 kapsamında yer alan lojistik faaliyetlerin toplam emisyonlar içindeki payı belirlenmiş ancak enerji tüketimine kıyasla daha sınırlı kaldığı görülmüştür. Benzer şekilde Çolak vd. (2023) ve Akbaş vd. (2024) çalışmalarında üretim süreçleri ve enerji yoğun yapının emisyonları artırdığı ifade edilirken, bu çalışmada elektrik tüketiminin en yüksek paya sahip olması bu bulgularla paralellik göstermektedir. Öte yandan, Mirici vd. (2022) ve Hiçyılmaz vd. (2022) çalışmalarında vurgulanan sürdürülebilirlik ve karbonsuzlaşma gerekliliği, bu çalışmada önerilen enerji verimliliği ve süreç iyileştirme stratejileri ile desteklenmektedir. Darıcı vd. (2024) ve Eryüzlü (2026) çalışmalarında ortaya konulan üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve geri dönüşüm uygulamalarının emisyon azaltımındaki rolü de bu çalışma kapsamında geliştirilen önerilerle uyumlu sonuçlar sunmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma literatürdeki bulguları destekler nitelikte olup, özellikle metal ve üretim sektöründe faaliyet gösteren işletmeler için enerji tüketimi odaklı emisyonların azaltılmasının kritik olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, Scope 3 emisyonlarının sınırlı kapsamda değerlendirilmiş olması, literatürde de vurgulanan veri kısıtlarıyla paralellik göstermektedir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, bu çalışma Asil Çelik Kapı Firması'nın karbon ayak izini sayısal verilerle ortaya koyarak, çevresel etkilerin hangi faaliyet alanlarında yoğunlaştığını açık biçimde göstermektedir. Elde edilen bulgular, işletmenin mevcut durumunu görmesini sağlamanın yanı sıra, gelecekte uygulanabilecek emisyon azaltım politikalarına da yön göstermektedir. Ayrıca çalışma, olası karbon vergisi uygulamaları ve uluslararası çevre düzenlemeleri karşısında işletmenin hazırlık düzeyini artırabilecek bir altyapı sunmaktadır. Sonuç olarak, Asil Çelik Kapı Firması özelinde gerçekleştirilen bu karbon ayak izi analizi, sanayi işletmelerinin çevresel sorumluluklarını yerine getirmesinde karbon ayak izi hesaplamalarının ne denli kritik bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda kurumsal rekabet gücünün artırılması ve uzun vadeli maliyet avantajlarının sağlanması açısından da önemli çıktılar sunmaktadır.

Bu çalışmanın önemli sınırlılıklarından biri, Scope 3 emisyonlarının yalnızca lojistik faaliyetler (akaryakıt tüketimi) ile sınırlandırılmış olmasıdır. Bu durum, çelik kapı üretiminde karbon yoğunluğunun önemli bir bölümünü oluşturan satın alınan çeliğin gömülü emisyonlarının analiz kapsamı dışında kalmasına neden olmaktadır. Oysa çelik üretimi (sıvı çelik üretimi, haddeleme vb.) yüksek karbon yoğunluğuna sahip olup, nihai ürünün toplam karbon ayak izinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, Asil Çelik Kapı Firması'nın bir hammadde üreticisi değil, nihai ürün imalatçısı olması ve çelik üretimine ilişkin süreçlerin işletme bünyesinde gerçekleştirilmemesi nedeniyle, çalışma beşikten kapıya bir yaşam döngüsü analizi yerine işletmenin doğrudan kontrol edebildiği operasyonel süreçlere odaklanacak şekilde kurgulanmıştır. Bu kapsamda, hammaddeden kaynaklanan gömülü karbon emisyonlarının detaylı olarak analiz edilememesi çalışmanın bir sınırlılığı olarak değerlendirilmekte olup, gelecekte yapılacak çalışmalarda tedarik zinciri verilerinin de dâhil edilmesiyle daha kapsamlı bir yaşam döngüsü yaklaşımının benimsenmesi önerilmektedir.

Bu çalışma sonucu elde edilen verilere göre, Asil Çelik Kapı Firması'nın karbon ayak izinin ağırlıklı olarak enerji tüketiminden kaynaklandığını ortaya koymakla birlikte, gelecekte yapılacak araştırmalar için de önemli bir zemin oluşturmaktadır. İlerleyen çalışmalarda, karbon ayak izi hesaplamalarının birden fazla yıl verisi kullanılarak zamansal eğilim analizi ile desteklenmesi, uygulanan iyileştirme stratejilerinin etkinliğinin ölçülmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca Scope 3 kapsamındaki emisyonların, yalnızca lojistik faaliyetlerle sınırlı kalmayıp hammadde temini, tedarikçi süreçleri ve ürünlerin kullanım sonrası aşamalarını da içerecek şekilde genişletilmesi, işletmenin değer zinciri boyunca oluşan çevresel etkilerinin daha bütüncül biçimde değerlendirilmesine olanak tanıyabilir. Bunun yanı sıra karbon ayak izi hesaplamalarının yaşam döngüsü analizi (LCA) ile entegre edilmesi, ürün bazlı çevresel etkilerin ortaya konulmasını sağlayarak stratejik karar alma süreçlerini güçlendirebilir. Gelecek araştırmalarda, yenilenebilir enerji yatırımlarının ve enerji verimliliği uygulamalarının senaryo bazlı emisyon azaltım potansiyellerinin incelenmesi, sanayi işletmeleri için uygulanabilir ve ölçülebilir yol haritalarının geliştirilmesine katkı sunacaktır.

5. TEŞEKKÜR VE BİLGİLENDİRME

Araştırma sürecinde veri temini ve saha uygulamalarına erişim konusunda sağladıkları katkı ve iş birliği için Asil Çelik Kapı Firması yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

- AKBAŞ, A., & ÇALIŞKAN, Ö. (2024). “İnşaat sektörü ve karbon ayak izi”. *4th International Conference on Frontiers in Academic Research*, 264–271.
- AŞIR, B. (2024). Karbon ayak izinin hesaplaması: alüminyum firması örneği. *Yüksek Lisans, Bursa Teknik Üniversitesi*.
- CANDAN, Z., TUNÇEL, S., & SERBEST, A. (2024). “Sürdürülebilirlik ve mobilya endüstrisi”. *Ağaç ve Orman*, 5(1), 18–31.
- CİVELEKOĞLU, G., & BIYIK, Y. (2018). “Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi”. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 157–166.
- COŞKUN, S., & DOĞAN, N. (2021). “Tekstil endüstrisinde karbon ayak izinin belirlenmesi”. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 28–35.
- ÇOLAK, G., & ATILGAN TÜRKMEN, B. (2023). “Kurumsal karbon ayak izi analizi: Bir kimya fabrikası için örnek hesaplama”. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1), 191–201.
- DARICI, E., ŞAHİN, B., & KORKMAZ, H. (2024). “Çelik üretiminde karbon ayak izi üzerine bir değerlendirme”. *Sanayi ve Enerji Dergisi*, 16(1), 55–78.
- DEMİR, E., & USLU, A. (2020). “Sanayi işletmelerinde çevresel veri toplama süreçlerinin yönetimi: Uygulamalı bir analiz”. *Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre Dergisi*, 6(2), 115–132.
- DEMİRCİ, M. O., & AYDIN, S. (2025). “Metal sektörü kurumsal karbon ayak izi: Asansör üretim fabrikası örneği”. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(4), 1293–1302.
- DEMİRCİOĞLU, E., & EVER, D. (2021). “Karbon maliyetlerinin belirlenmesine ilişkin demir-çelik işletmesinde uygulama”. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(1), 649–662.
- ERSOY MİRİCİ, M., & BERBEROĞLU, S. (2022). “Türkiye perspektifinde yeşil mutabakat ve karbon ayak izi: Tehdit mi? Fırsat mı?”. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 156–164.
- ERSOY, M., YILDIRIM, A., & DEMİR, B. (2012). “Sanayi işletmelerinde çevresel performans göstergeleri ve karbon ayak izi yönetimi”. *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, 31(2), 643–661.
- ERYÜZLÜ, H. (2026). “Türkiye’de hurda çelik geri dönüşümü ve çevresel etkileri”. *Metalurji ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, 12(1), 30–52.
- HİÇYILMAZ, B., ALATAŞ, S., & KARAKAYA, E. (2022). “Sanayide karbonsuzlaşma: Malzeme etkinliği stratejilerinin rolü”. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 1(2), 81–118.
- https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri#:~:text=%20Birimler.%20*%20Merkez%20Teşkilatı%20*%20Enerji,Üretimi%20ve%20Elektrik%20Tüketim%20Noktası%20Emisyon%20Faktörleri.
- <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2024>
- IPCC. (2021). *AR6 Working Group I Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISO. (2018). *ISO 14064-1: Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level*. International Organization for Standardization.
- KAYPAK, Ş. (2013). “Ekolojik ayak izinden çevre barışına bakmak”. *Turkish Journal of Scientific Reviews*, 6(1), 154–159.
- KÖKSAL, B. (2023). “Yapı malzemelerinin gömülü karbon miktarına etkisi: Örnek bir yapı üzerinden inceleme”. *Yapı Bilgi Modelleme*, 5(1), 14–25.

- KUMAŞ, K., AKYÜZ, A. Ö., ZAMAN, M., & GÜNGÖR, A. (2019). *Sürdürülebilir bir çevre için karbon ayak izi tespiti: MAKÜ Bucak Sağlık Yüksekokulu örneği. El-Cezeri, 6 (1), 108-117.*
- MÜLLER, L. J., KÄTELHÖN, A., BRİNGEZU, S., MCCOY, S., SUH, S., EDWARDS, R., ... & BARDOW, A. (2020). The carbon footprint of the carbon feedstock CO 2. *Energy & Environmental Science, 13(9), 2979-2992.*
- ONAT, N. C. (2018). "Türkiye inşaat sektörünün global karbon ayak izi analizi". *Sakarya University Journal of Science, 22(2), 529-547.*
- ÖNCAR ŞENTÜRK, G., GÖK, G., & KOÇYİĞİT, H. (2023). "Tarımda karbon ayak izi ve iklim değişikliğine etkisi". *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), 12-24.*
- ÖZDEN, S., KARABULUT, D., & ERBAŞ, M. (2018). "Kurumsal karbon ayak izi nasıl hesaplanır: Teorik bir çalışma". *Çevre Yönetimi ve Politikaları Dergisi, 6(1), 40-90.*
- ÖZSOY, C. E. (2015). "Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye'nin karbon ayak izi". *Enerji, Çevre ve Sürdürülebilirlik Dergisi, 4(2), 120-142.*
- PANDEY, D., AGRAWAL, M., & PANDEY, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental monitoring and assessment, 178(1), 135-160.*
- SEYMENLER, E. (2025). "Bursa ilinde bir boya fabrikasının karbon ayak izinin hesaplanması" (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- TURGUT, A., & BUDAK, T. (2022). "Lojistik ve taşımacılığın karbon ayak izi: Sistematik bir literatür incelemesi". *Kent Akademisi, 15(2), 916-930.*
- WELLS, J. R., BOUCHER, J. F., LAURENT, A. B., & VİLLENEUVE, C. (2012). Carbon footprint assessment of a paperback book: Can planned integration of deinked market pulp be detrimental to climate?. *Journal of Industrial Ecology, 16(2), 212-222.*
- YAKA, İ. F., KOÇER, A., & GÜNGÖR, A. (2015). "Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu karbon ayak izinin tespiti". *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 12(3), 37-45.*
- YALILI KILIÇ, M., DÖNMEZ, T., & ADALI, S. (2021). "Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi: Çanakkale örneği". *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(3), 943-955.*