

Bir Mermer Ocağı İşletmesine Ait Karbon Ayak İzinin Hesaplanması *Calculation of the Carbon Footprint of A Marble Quarry*

Serdar Ercins^{1*}, Fuat Özyonar²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü,

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas

*Sorumlu yazar: sercins@cumhuriyet.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, bir mermer ocağı işletmesinin bir yıllık yakıt, elektrik ve su tüketimleri incelenerek karbon ayak izi hesaplanmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında, sera gazı emisyonlarını küresel ölçekte değerlendiren Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin Tier metodolojisi kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda, elektrik tüketiminden kaynaklanan CO₂e emisyon değeri 316,621 ton CO₂e, su tüketimini için 12,940 ton CO₂e ve yakıt tüketimini için 2426,000 ton CO₂e olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre işletmenin karbon ayak izinin büyük ölçüde fosil yakıt tüketiminden kaynaklandığı bulunmuştur. Karbon ayak izinin yüksek olduğu işletmeler, gelecekte sınırda karbon piyasasının getireceği düzenlemeler ve ihracata yönelik karbon sınırlamalarıyla karşı karşıya kalabilir. Bu durum, işletmelerin uluslararası ticarete rekabet gücünü azaltırken, aynı zamanda karbon salınımının artmasıyla iklim değişikliğini hızlandırarak çevresel ve ekonomik riskleri de arttırabilir. Bu nedenle, işletmelerde enerji verimliliğini artıran önlemler alınmalı, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmeli ve su tüketimi optimize edilmelidir. Sonuç olarak, sürdürülebilir madencilik uygulamaları benimsenerek sera gazı emisyonlarının azaltılması hem çevresel etkilerin minimize edilmesine hem de uzun vadede işletmelerin maliyet avantajı sağlamasına katkı sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: CH₄, CO₂, IPCC Tier, karbon ayak izi, mermer ocağı işletmesi, N₂O

Abstract

In this study, the annual fuel, electricity and water consumption of a marble quarry was examined and its carbon footprint was calculated. The carbon footprint was calculated using the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tier methodology, which assesses greenhouse gas emissions on a global scale. As a result of the calculations, the CO₂e emissions from electricity consumption were calculated at 316,621 tonnes CO₂e, water consumption at 12,940 tonnes CO₂e and fuel consumption at 2426,000 tonnes CO₂e. The results showed that the company's carbon footprint is largely due to the use of fossil fuels. Companies with high carbon footprints may face carbon market regulations and export restrictions in the future. This situation can make companies less competitive in international trade, while increasing environmental and economic risks by accelerating climate change through increased carbon emissions. Therefore, measures should be taken to increase energy efficiency in operations, use renewable energy sources and optimise water consumption. As a result, reducing greenhouse gas emissions through the adoption of sustainable mining practices will both minimise environmental impacts and provide cost benefits to companies in the long term.

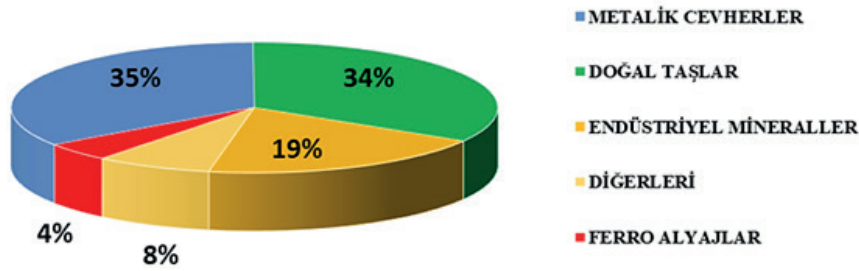
Keywords: CH₄, CO₂, IPCC Tier, carbon footprint, marble quarry, N₂O

1.Giriş

Mermer, dünya genelinde inşaat, dekorasyon ve sanayi sektörlerinde yoğun olarak kullanılan değerli bir doğal taş olup, küresel ticarete önemli bir yere sahiptir. Türkiye, dünya mermer rezervinin yaklaşık olarak %40'ına sahiptir ve bu alanda küresel ölçekte önemli bir aktördür (Çetin, 2003).

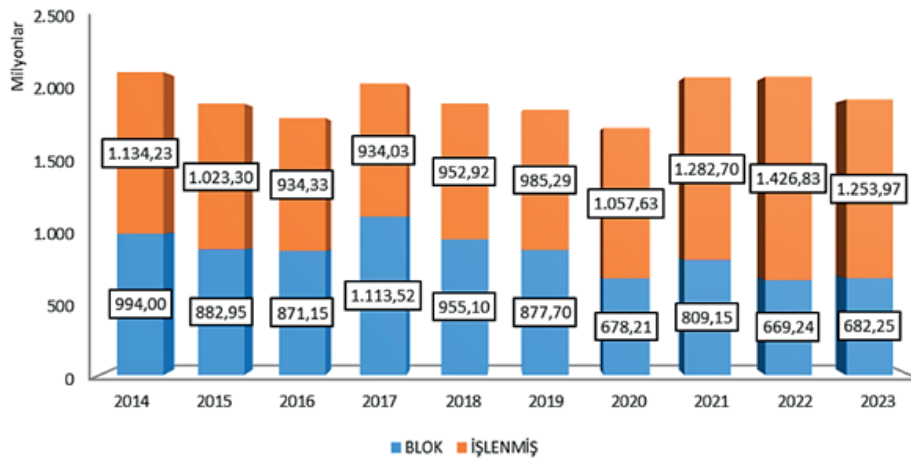
Özellikle İtalya, Çin, Hindistan, İspanya ve Türkiye gibi ülkeler, mermer üretimi ve ihracatında lider konumdadır. Bu ülkelerde çıkarılan mermerler, yüksek kaliteli ürünler olarak dünya çapında birçok projede kullanılmaktadır. Türkiye, mermer üretimi ve ihracatıyla yalnızca yerel pazara değil, aynı zamanda ABD, Çin, Hindistan ve Avrupa başta olmak üzere birçok ülkeye doğal taş sağlamaktadır. Hem ham blok hem de işlenmiş mermer ihracatında üst sıralarda yer alan Türkiye, bu sektördeki yatırımlarıyla rekabet gücünü artırmayı sürdürmektedir.

2023 yılında ülkemizin toplam ihracatı 255,8 milyar USD olarak gerçekleşmiştir ve madencilik sektörü bu ihracatın %2,6'sını oluşturmuştur. İhracatta en yüksek paya sahip maden ürün grupları arasında ilk sırayı, 9,8 milyon ton ve 2 milyar USD değerindeki metalik cevherler alırken, onu 6,3 milyon ton ve 1,9 milyar USD ile doğal taşlar takip etmiştir. 2023 yılına ait maden ihracatımızın ürün gruplarına göre yüzdesel payları Şekil 1'de verilmiştir (Url 1, 2023).



Şekil 1: 2023 Yılı Maden İhracatımızın Ürün Gruplarına Göre Payları (%) (Url 1, 2023)

2023 yılında toplam maden ihracatımızda en yüksek ihracat hacmine ulaşan ürün, 1,88 milyon ton ve 897,34 milyon USD ile işlenmiş mermer olmuştur. Ham, kabaca yontulmuş veya blok olarak üretilmiş mermer-traverten ise 3,44 milyon ton ve 665,62 milyon USD ile ikinci sırada yer almıştır. Şekil 2'de son 10 yıllık doğal taş ihracatımıza ilişkin veriler gösterilmektedir (Url 1, 2023).



Şekil 2: Son 10 Yıla Ait Doğal Taş İhracatı (Milyon USD) (Url 1, 2023)

Ülkemizin kalkınmasında oldukça önemli bir yeri olan mermer sektöründe, üretim faaliyetlerine bağlı enerji tüketimleri ve çevresel etkiler açısından önemli sorular gündeme gelmektedir.

Mermer çıkarma ve işleme süreçleri, yüksek enerji gereksinimleri ve çevresel etkileri nedeniyle sürdürülebilirlik açısından dikkatli değerlendirilmelidir (Url 2, 2025).

Mermer ocaklarının yol açtığı çevresel etkileri arasında, su kirliliği, ekosistem bozulması, toprak erozyonu, gürültü ve görüntü kirliliği gibi çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu doğrultuda, mermer ocaklarının sürdürülebilirliği sağlamak adına çeşitli çevresel önlemler alması gerekmektedir. (Url 3, 2025).

Özellikle enerji yoğun süreçler, elektrik ve yakıt tüketimi nedeniyle yüksek karbon emisyonlarına neden olarak sera gazı salınımlarını artırmaktadır. Bu durum, küresel iklim değişikliğine katkıda bulunurken, doğal kaynakların tükenmesine ve çevresel bozulmalara yol açmaktadır (Atabey, 2024).

Bununla birlikte, modern teknolojiler çevresel etkilerin minimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Gelişmiş su geri kazanım sistemleri ve atık yönetim yöntemleri, ocaklarda suyun tekrar kullanılmasına imkân tanırken, atık mermer parçalarının geri dönüştürülmesini de mümkün kılmaktadır (Url 4, 2025).

Son yıllarda küresel iklim değişikliği, dünya genelinde en önemli çevresel tehditlerden biri haline gelmiştir. İklim değişikliği, yalnızca ekosistemleri değil, insan yaşamını da doğrudan etkileyerek gıda üretimi, su kaynakları ve sağlık üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir üretim ve karbon ayak izinin azaltılması konularını her zamankinden daha önemli hale getirmiştir. Bu kapsamda Paris İklim Anlaşması, küresel sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlamayı hedefleyen uluslararası bir mutabakat olup, ülkelerin karbon emisyonlarını azaltmalarını teşvik etmektedir. Türkiye de bu anlaşmaya taraf olmuş ve karbon nötr hedefleri doğrultusunda çeşitli düzenlemeleri hayata geçirmeye başlamıştır. Öte yandan, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), bilimsel veriler ışığında iklim değişikliğinin etkilerini analiz eden ve politika yapıcılara yol gösteren önemli bir kuruluştur. IPCC raporları, sektör bazlı emisyon azaltım stratejileri geliştirerek sanayi kollarının sürdürülebilir dönüşümüne rehberlik etmektedir.

Karbon ayak izi, Kyoto Protokolü çerçevesinde belirlenen ulaşım, üretim ve hizmet gibi insan faaliyetleri sonucu oluşan sera gazlarının, karbondioksit (CO₂) eşdeğeri üzerinden hesaplanmasıdır. İnsan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın, atmosfere salınan sera gazı miktarı açısından değerlendirilmesi ve karbondioksit birimiyle ifade edilmesi şeklinde de tanımlanabilir (Mancini vd., 2016).

Madencilik sektörü, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları nedeniyle karbon ayak izini azaltma konusunda özel bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, madencilik faaliyetlerinin karbon ayak izini azaltmak için çeşitli teknikler ve stratejiler geliştirilmiştir (Url 5, 2024).

Madencilikte sürdürülebilirlik, çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla ele alınmalıdır. Türkiye ve dünyadaki uygulamalar karşılaştırılarak, madencilik faaliyetlerinin karbon ayak izi değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, madencilik faaliyetlerinin ekosistemler, yerel topluluklar ve ekonomi üzerindeki etkileri ele alınarak, sürdürülebilir bir madencilik modelinin nasıl geliştirilebileceği üzerinde durulmalıdır (Url 6, 2024).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde mermer ocağı işletmelerine ait karbon ayak izi hesapla-

malarını içeren çalışmalara rastlanmamıştır. Bu amaçla çalışmada, bir mermer ocağının yıllık enerji tüketim verilerini kullanarak karbon ayak izini hesaplanmış ve bu hesaplamalarla çevresel etkileri değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, mermer ocaklarının enerji verimliliğini artırma ve karbon ayak izini azaltma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Çalışma, bir mermer ocağının yıllık enerji tüketim verileriyle sınırlı olup, hesaplamalar IPCC Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Bu sonuçlar diğer mermer ocağı işletmelerinin ton başına düşen karbon ayak izi değeri için bir yol gösterici olacaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında konu alınan işletme, yıllık 21170 ton mermer üretimine sahip bir mermer ocağıdır. IPCC ve ISO 14064 gibi kılavuzlar iklim değiştirici olarak ifade edilen emisyonların hesaplanmasında standart yol gösterici olarak kullanılmaktadırlar. Özellikle ISO 14064 incelendiğinde hesaplamalar için IPCC kılavuzuna atıfta bulunmaktadır. Bu amaçla küresel ısınma potansiyeli olan gazların hesaplanmasında üç farklı Tier yaklaşımı kullanılabilmektedir.

IPCC metodolojisi, Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımlarından oluşmaktadır. Tier 1 yaklaşımı daha az veri gerektiren ve daha basit bir yöntemdir. Tier 2 ve Tier 3 yaklaşımları daha karmaşıktır ve daha fazla veri gerektirir (IPCC, 2006).

Tier-1 Metodu: Tüm yakıt kaynaklı emisyonlar, genellikle ulusal enerji istatistiklerinden türetilen, yakılan yakıt miktarlarına ve ortalama emisyon faktörlerine göre tahmin edilen ve kullanılan yakıt temelli bir hesaplama metodudur (IPCC, 2006).

Tier-2 Metodu: Yakıt tüketimi yerine aracın kat ettiği mesafe dikkate alınır. Tier 2 metodunda, yanma kaynaklı emisyonlar, Tier 1 yönteminde kullanılan benzer yakıt istatistiklerinden tahmin edilebilir. Ancak 1. kademe varsayılanlar yerine ülkeye özgü emisyon faktörleri kullanılır. Tier 2 metodunda, karayolu taşımacılığında satılan yakıtın ülkeye özgü karbon içeriğinin kullanılması dışında Tier 1 ile benzer hesaplama yapılır. Tier 2, CO₂ emisyon faktörleri, oksitlenmemiş karbon veya CO₂ dışındaki bir gazdan (CH₄ ve N₂O) yayılan karbonu hesaba katacak şekilde ayarlanabilir (IPCC, 2006).

Tier-3 Metodu: Tier 3 metodu ayrıntılı emisyon modelleri ya da bireysel tesis düzeyinde ölçüm verileri ile hesaplanabilir bir metottur. Bu metot, uygun verilerle uygulandığında yapılan hesaplamalar ve ölçümler ayrıntı içereceğinden, sera gazları hakkında yapılan tahminlerin daha iyi olmasını sağlar (IPCC, 2006).

Bu çalışmada bir mermer ocağına ait yakıt, elektrik ve su tüketim verileri kullanılarak üretim miktarı temel alınacak biçimde Tier 1 ve Tier 2 yöntemleri ile karbon ayak izi hesaplanmıştır (IPCC, 2006; IPCC, 2007). Tier 3 yönteminin uygulanması için gerekli ölçüm verileri ve ayrıntılı bilgiye ulaşılmadığından bu metot uygulanamamıştır.

Tier 1 ve Tier 2 yönteminde hesaplamada kullanılan eşitlikler;

$$\text{Enerji Tüketimi (TJ)} = \text{Yakıt Tüketimi (t)} \times 10^{-3} \times \text{Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)} \quad (1)$$

$$\text{Karbon İçeriği (Gg C)} = \text{Karbon Emisyon Faktörü (TC/TJ)} \times \text{Enerji Tüketimi (TJ)} \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$\text{Karbon Emisyonu (Gg C)} = \text{Karbon İçeriği (Gg C)} \times \text{Karbon Oksitlenme Oranı} \quad (3)$$

$$\text{Karbondioksit Emisyonu (Gg CO}_2\text{)} = \text{Karbon emisyonu (Gg C)} \times 44/12 \quad (4)$$

$$\text{Karbondioksit Emisyonu (ton CO}_2\text{)} = \text{Elektrik Tüketimi (kW)} \times \text{Emisyon Faktörü (kg/kW)} \quad (5)$$

$$\text{Karbondioksit Emisyonu (kg CO}_2\text{)} = \text{Emisyon Faktörü (kg/L)} \times \text{Su Tüketimi (L)} \quad (6)$$

Tablo 1’de yıllık üretim ve tüketim miktarı verilmiştir. Ayrıca Tablo 2 ve 3’te kullanılan dönüşüm faktörleri IPCC kılavuzuna göre belirlenmiştir. IPCC’ye göre bir yakıtın enerji değerinden yakıtın ton cinsi değerini bulmak gerekmektedir. Bu hesaplamada dizel yakıtın özgül ağırlığı 0,833 kg/L alınarak hesaplama yapılmıştır (Url 7, 2025).

Tablo 1. Mermer sanayi üretimi için tüketim verileri

	Yıllık Üretim Miktarı 21170 ton mermer	Aylık Üretim Miktarı 1924,5 ton mermer
Su tüketimi (m³)	9240	840
Yakıt Tüketimi (Lt)	245969	22360
Elektrik Tüketimi (kW)	662387	60217

Tablo 2. Yakıtların net kalori değerlerine göre belirlenmiş dönüşüm faktörleri ve Karbondioksit emisyon faktörleri ve CH₄ ve N₂O emisyon faktörleri (kg/TJ) (IPCC, 2006)

Yakıt Tipi	Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)	Emisyon Faktörü (tC/TJ)	Karbon Oksitlenme Oranı	CH ₄	N ₂ O
Benzin	44,80	18,9	0,99	33	3,2
Motorin	43,33	20,2	0,99	3,9	3,9
Sıvılaştırılmış Petrol Gazları	47,31	17,2	0,995	62	0,2

Tablo 3. Sera Gazları Küresel Isınma Potansiyelleri (GWP) (Url 8, 2025)

Sera Gazı Küresel Isınma Potansiyeli			
	İkinci Değerlendirme Raporu (SAR)	Dördüncü Değerlendirme Raporu (AR4)	Beşinci Değerlendirme Raporu (AR5)
CO₂	1	1	1
CH₄	21	25	28
N₂O	310	298	265

Tablo 4’te mermer üretimi için tüketilen motorin yakıtının yanması sonucu oluşan sera gazı emisyon değerinin toplamı eşdeğer karbondioksit miktarı olarak hesaplanmıştır. Elektrik, su ve yakıt tüketim verilerinden mermer tesisinin üretiminde harcanan verilerden sera gazı emisyon değerleri hesaplanarak Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan yakıt türüne göre hesaplanan eşdeğer CO₂ miktarı

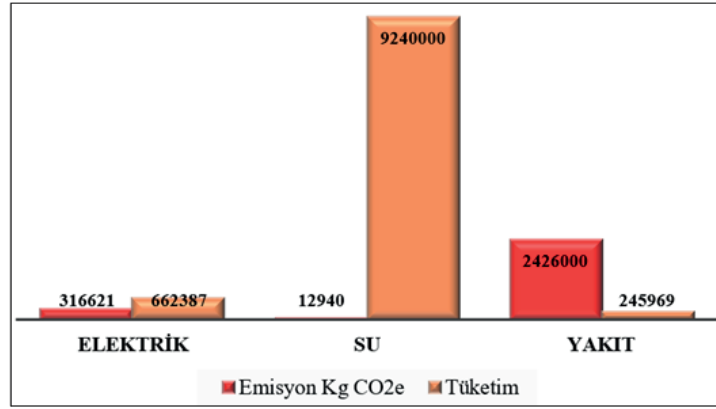
Yakıt Tipi	Yakıt Tüketimi (ton)	Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)	Enerji Tüketimi (TJ)	Karbon Emisyon Faktörü (kgC/TJ)	Karbon İçeriği (Gg C)	Karbon Oksitlenme Oranı	Karbon Emisyonu (Gg C)	CO ₂ Emisyonu (Gg CO ₂)
	A	B	$C=A \times B \times 10^{-3}$	D	$E=C \times D \times 10^{-6}$	F	$G=EXF$	
CO ₂								
Dizel	204,892	43,330	8,878	74100,000	0,658	0,990	0,651	2,388
Yakıt Tipi	Yakıt Tüketimi (ton)	Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)	Enerji Tüketimi (TJ)	Karbon Emisyon Faktörü (kg/TJ)	Karbon İçeriği (Gg CH ₄)	Küresel Isınma Potansiyeli	Karbon Emisyonu (Gg C)	Eşdeğer CO ₂ Emisyonu (Gg CO ₂)
	A	B	$C=A \times B \times 10^{-3}$	D	$E=C \times D \times 10^{-3}$	F	$G=EXF$	
CH ₄								
Dizel	204,892	43,330	8,878	3,900	0,000	28,000	0,001	0,004
Yakıt Tipi	Yakıt Tüketimi (ton)	Dönüşüm Faktörü (TJ/kt)	Enerji Tüketimi (TJ)	Karbon Emisyon Faktörü (kg/TJ)	Karbon İçeriği (Gg N ₂ O)	Küresel Isınma Potansiyeli	Karbon Emisyonu (Gg C)	Eşdeğer CO ₂ Emisyonu (Gg CO ₂)
	A	B	$C=A \times B \times 10^{-3}$	D	$E=C \times D \times 10^{-3}$	F	$G=EXF$	
N ₂ O								
Dizel	204,892	43,330	8,878	3,900	0,000	265,000	0,009	0,034
							Toplam:	2,426 Gg CO ₂ e

Tablo 5. Elektrik, Su ve Yakıt Tüketimi için Emisyon Faktörleri ve Sera gazı Emisyon değerleri

Faaliyet	Birim	kg CO ₂ e	Kaynak	Tüketim	Emisyon kg CO ₂ e
Elektrik Tüketimi	kW	0,478	Uluslararası Enerji Ajansı, 2016	662387	316621
Su Tüketimi	L	0,0014	Sawant vd., 2015	9240000	12940
Yakıt Tüketimi	L			245969	2426000
				Toplam	2755561
					0,130 kg CO ₂ e /kg mermer

3. Değerlendirme ve Tartışma

Tier yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda bir mermer ocağı işletmesinin yıllık elektrik, su ve yakıt tüketimlerine ait eşdeğer karbon ayak izi 2,755561 Gg CO₂e olarak bulunmuştur. Ürün başına düşen eşdeğer karbon ayak izi miktarı ise 0,130kg CO₂e /kg mermer olarak bulunmuştur. Bu veriler Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3: Ürün başına düşen eşdeğer karbon ayak izi

Özcan, 2019 yılında asfalt plant tesisinde yaptığı çalışmada, elektrik, su ve yakıt tüketimi kaynaklı toplam karbondioksit emisyon miktarı 4,11 Gg CO₂ olarak belirlemiştir. Sandallar, 2024 yılında bir maden işletmesinde yaptığı çalışmada, elektrik, su ve yakıt tüketimi kaynaklı toplam karbondioksit emisyon miktarı 2,117 Gg CO₂ olarak belirlemiştir. Bir başka çalışmada ise Eti Bakır A.Ş. bünyesindeki 8 farklı maden işletmesinde elektrik, su ve yakıt tüketimi kaynaklı toplam karbondioksit emisyon miktarı 658,433 Gg CO₂ olarak belirlenmiştir (Url 9, 2023). Bir çimento fabrikasında yapılan karbon ayak izi belirlenmesi çalışmasında, CO₂, N₂O ve CH₄ emisyon gazlarının göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamada toplam 1425748 ton CO₂ olduğu hesaplanmıştır (Kahraman, 2024). Bir alüminyum üretim tesisinde yürütülen karbon ayak izi hesaplanması çalışmasında, sera gazı emisyonları ISO 14064-1 standardına göre doğrudan emisyonlar 24000 ton CO₂e ve dolaylı emisyonlar 14239 ton CO₂e olarak belirlenmiştir (Aşır, 2024).

4.Sonuç ve Öneriler

Çalışmamızda, karbon ayak izinin yüksek bir değere sahip olduğu belirlenmiş olup, bunun %88,4'ünün yakıt tüketiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni, işletmelerdeki yakıt kullanımının yüksek seviyelerde olmasıdır. Özellikle mermer işletmelerinde kullanılan iş makinelerinin yoğunluğu ve buna bağlı olarak yakıt tüketiminin fazla olması, karbon salınımını önemli ölçüde artırmaktadır. Genel olarak, fosil yakıtların yoğun tüketimi çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle, işletmelerin enerji verimliliğini artıracak stratejiler geliştirmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi, karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

2050 yılına kadar karbon sıfır hedeflerine ulaşmak için mermer işletmelerinde çeşitli önlemler alınmalıdır. Öncelikle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artırılarak fosil yakıtlara olan bağımlılık azaltılmalıdır. Mermer ocaklarında elektrikli ve hibrit iş makinelerinin kullanımı yaygınlaştırılmalı, enerji verimliliği artırılmalıdır. Atık yönetimi ve su geri kazanımı sistemleri uygulanarak çevresel etkiler minimize edilmelidir. Ayrıca, karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojileri ile sera gazı emisyonları azaltılabilir. Tüm bu önlemler, mermer sektörünün sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda dönüşümünü hızlandırarak çevresel etkileri en aza indirmeye yardımcı olacaktır.

Sonuç olarak, mermer ocağı işletmelerinde karbon ayak izinin azaltılması için fosil yakıt kullanımının minimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının işletmelerde yaygınlaştırılması, enerji verimliliğinin artırılması ve düşük emisyonlu ya da elektrikli iş makinelerinin kullanımına geçilmesi sürdürülebilirlik açı-

sından kritik adımlardır. Ayrıca enerji tasarrufu sağlayan teknolojilerin entegrasyonu, yakıt tüketimini azaltarak çevresel etkileri en aza indirebilir. Bu tür stratejiler, hem işletmelerin karbon ayak izini düşürmesine hem de uzun vadede ekonomik avantajlar elde etmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

Ajansı, U. E. (2016). Energy Policies of IEA Countries Türkiye.

Aşır, B., 2024. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Alüminyum Firması Örneği. Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa, Yüksek Lisans Tezi, 61s.

Atabey, E., 2024. Mermer ve taş ocaklarının çevreye etkileri. Sarmal Kitabevi, İstanbul, ISBN: 978-625-6885-05-9.

Çetin, T., 2003. Türkiye mermer potansiyeli, üretimi ve ihracatı. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23(3).

IPCC (International Panel on Climate Change), 2006. 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

IPCC (Intergovernmental Panel on ClimateChange), 2007. Changes in Atmospheric Constituent-sin Radiative Forcing, , IPCC 4th Assessment Report Chapter 2., s.214.

Kahraman, K., 2024. Karbon Ayak İzi Hesaplaması: Çimento Fabrika Örneği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana, Yüksek Lisans Tezi, 87s.

Mancini, M.S., Galli, A., Niccolucci, V., Lin, D., Bastianoni, S., Wackernagel, M., Marchettini, N., 2016. Ecological footprint: refining the carbon footprint calculation. Ecological Indicators, 61, 390-403, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.040>.

Özcan, T., 2019. Asfalt Plent Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sivas, Yüksek Lisans Tezi, 59s.

Sandallar, S., 2024. Madencilik Sektöründe Karbon Ayak İzi Hesaplamaları ve Türkiye'deki Uygulamaları. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Aksaray, Yüksek Lisans Tezi, 74s.

Sawant, B., 2015. A new method of assessment and equations on carbon footprint. J. Appl. Geology and Geophysics, 3, 52-59.

Url-1, 2023. <https://imib.org.tr/wp-content/uploads/2023.pdf> (Erişim Tarihi: 31.01.2025)

Url-2, 2025. <https://www.mermer.com.tr/blog/mermer-ocaklarinin-cevresel-etkileri-ve-surdurulebilirlik.html> (Erişim Tarihi: 31.01.2025)

Url-3, 2025. <https://nhstone.com.tr/mermer-ocagi-isleyisi-ve-surdurulebilirlik/> (Erişim Tarihi: 01.02.2025)

Url-4, 2025. <https://www.mermer.com.tr/blog/mermer-ocaklarinda-kullanilan-modern-teknolojiler.html> (Erişim Tarihi: 01.02.2025)

Url-5, 2024. <https://www.geotolia.com/post/karbon-ayak-i-zini-azaltan-madencilik-teknikleri-s%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilirlik-ve-inovasyon> (Erişim Tarihi: 31.01.2025)

Url-6, 2024. <https://madencilikturkiye.com/madencilikte-surdurulebilirlik-cevresel-sosyal-ve-ekonomik-etkiler/> (Erişim Tarihi: 01.02.2025)

Url-7, 2025. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=527awOxymM0=> (Erişim Tarihi: 02.02.2025)

Url-8, 2025. www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf (Erişim Tarihi: 02.02.2025)

Url-9, 2023. <https://www.cengizholding.com.tr/Content/files/uploads/1573/Eti%20Bak%C4%B1r%202023%20Y%C4%B1l%C4%B1%20Karbon%20ve%20Su%20Ayak%20I%CC%87zi%20Raporu.pdf> (Erişim Tarihi: 03.02.2025)