

RESEARCH ARTICLE/ARAŞTIRMA MAKALESİ

Bursa İlinde Bir Boya Fabrikasının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

Calculating the Carbon Footprint of a Paint Factory in Bursa

Erkut SEYMENLER* Nurettin YAMANKARADENİZ**

ÖZ

Bu çalışmanın amacı Bursa ilinde faaliyet gösteren bir boya fabrikasının 2024 yılı karbon ayak izinin hesaplanmasıdır. Karbon ayak izi hesabı yapılan boya fabrikası yaklaşık 25 500 m²'lik bir tesis alanına ve 300 kişilik istihdam kapasitesine sahip olup 2024 yılı verisi olarak 18 830 361 kg boya üreten bir firmadır. Bu firmanın karbon ayak izi hesabı Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin Tier 1 metodolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde yıllık toplam karbon ayak izi miktarı yaklaşık 1.836,742 ton CO₂e olarak bulunmuştur. Karbon ayak izi olarak en yüksek miktar 1 047,027 ton CO₂e sonucuyla Kapsam 2 kategorisinde olan elektrik tüketimine aittir. Daha sonra en fazla karbon ayak izi miktarları sırasıyla Kapsam 1 kategorisinde bulunan 317,316 ton CO₂e ile doğalgaz, 219,147 ton CO₂e ile dizel ve 171,285 ton CO₂e ile benzinden kaynaklanmaktadır. Firmanın 2024 yılına ait karbon vergisi, halihazırda Türkiye'de uygulanmamasına rağmen, 23 Avrupa ülkesinin ton CO₂e başına ortalama fiyat değeri alınarak hesaplandığında ise yaklaşık 3.161.181 TL olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon ayak izi, Karbon vergisi, Tier yöntemi 1

JEL Kodu: Q56, Q52, H23

*Yüksek Lisans Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa-Türkiye

ORCID: 0009-0006-9787-037X

**Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Termodinamik, Bursa-Türkiye

ORCID: 0000-0003-1657-2604

Corresponding author/Sorumlu yazar:

Erkut SEYMENLER

E-mail / E-posta:

erkutseymenler@gmail.com



DOI: 10.62844/jerf.26

Submitted / Başvuru

:11.08.2025

Accepted / Kabul

:

ABSTRACT

The aim of this study is to demonstrate the 2024 carbon footprint of a paint factory operating in Bursa. The paint factory whose carbon footprint was calculated has a facility area of approximately 25.500 m², employs 300 people, and produced 18.830.361 kg of paint in 2024. This company's carbon footprint was calculated using the Tier 1 method of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The study results in a total annual carbon footprint of approximately 1.836,742 tonnes of CO₂e. The highest carbon footprint, at 1 047,027 tonnes of CO₂e, belongs to electricity consumption, which falls within the scope of Scope 2. The largest carbon footprints are then found in Scope 1: natural gas 317,316 tons CO₂e, diesel 219,147 tons CO₂e, and gasoline 171,285 tons CO₂e. The company's 2024 carbon tax, although implemented in Turkey, is set at approximately 3.161.181 TL based on the average price per ton of CO₂e across 23 European countries.

Keywords: Carbon footprint, Carbon tax, Tier method 1

JEL Codes: Q56, Q52, H23

Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, günümüz dünyasında insanoğlunun karşılaştığı en büyük çevresel tehditlerden biri olarak görülmektedir. Küresel ısınma, insan aktivitesi sonucu sera etkisi yapan gazların atmosferdeki oranlarının hızla artmasıdır. Sanayi Devrimi ile artan insan aktivitesi, gelişen teknolojinin hızla yaygınlaşması ve yaşam standardının yükseltilmesi çabaları, atmosferde sera etkisi yapan gazların miktarında gereğinden fazla artmaya neden olmuştur. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sera gazlarının hızla artmasıyla küresel ısınmanın neden olduğu ve insan başta olmak üzere bitki ve hayvan türlerinin yaşamını tehdit eden doğa felaketleri görülmeye başlamıştır (Bozoğlu ve diğ., 2003). Güneşten gelen dalgali radyasyonun bir kısmı doğrudan atmosfer tarafından uzaya verilirken, bir kısmı da yeryüzü tarafından emilir. Isınan yeryüzünden salınan uzun dalgali radyasyonun önemli bir bölümü tekrar atmosfer tarafından emilir. Atmosferdeki gazların kısa dalgali güneş ışınlarına karşı çok geçirgen, yeryüzünden verilen uzun dalgali radyasyona karşı ise, biriken sera gazları nedeniyle daha az geçirgen olması sonucunda, yere yakın kısımların beklenenden daha fazla ısınması olayına atmosferin sera etkisi denilmektedir (Öztürk, 2002).

Sera gazları, atmosferde bir tür sera etkisi yaratarak, güneş ışınlarının yeryüzüne düşmesini ve yüzeydeki ısının geri yansımaları engellemektedirler. Bu da dünya yüzeyinin ısısının artmasına ve iklim değişikliği olarak bilinen birçok olumsuz çevresel etkiye neden olmaktadır (Demir, 2025). İnsan faaliyetleri sonucu çevreye verilen zararın CO₂ cinsinden üretilen sera gazının bir ölçüsü olan karbon ayak izi terimi “kg CO₂-eşdeğer” veya “ton CO₂-eşdeğer” şeklinde birimler ile ifade edilir. Diğer bir tanımıyla, Kyoto Protokolü tarafından belirlenen üretim, hizmet gibi faaliyetler sonucu oluşan sera gazı etkilerinin CO₂ cinsinden eşdeğeri şeklinde

hesaplanmasına karbon ayak izi denir (Dindar, 2021). Kurumsal karbon ayak izi ya da 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, Çolak, 2023).

Türkiye sera gazı envanteri sonuçlarına göre, 2023 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %1,4 azalarak 552,2 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri (eşd.) olarak hesaplandı. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4,1 ton CO₂ eşd., 2022 yılında 6,6 ton CO₂ eşd. ve 2023 yılında 6,5 ton CO₂ eşd. olarak hesaplandı. Toplam sera gazı emisyonlarında 2024 yılında CO₂ eşd. olarak en büyük payı %71,6 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, bunu sırasıyla %13,0 ile tarım, %12,8 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %2,5 ile atık sektörü takip etti (TÜİK, 2025). Türkiye sera gazı emisyon değerleri bu durumdayken boya endüstrisi ile ilgili karbon ayak izi çalışmaları yok denecek kadar azdır. Oysaki boya endüstrisi Türkiye adına oldukça önemli bir sektördür.

Türkiye, sektörel yapısı itibarı ile Avrupa'nın 5. boya üreticisi konumundadır. Sektörün toplam üretim kapasitesi yaklaşık 800 bin ton/yıl olup, kapasite kullanım oranı %65 düzeyindedir. Toplam üretim kapasitesinin %55'ini su bazlı boyalar %45'ini solvent bazlı boyalar oluşturmakta olup, sektörde %35 yerli hammadde kullanılmaktadır (TB, 2023). Ülkemizde boya tüketiminin, kullanım alanlarına göre dağılımı şu şekilde gerçekleşmektedir; İnşaat boya ve vernikleri %55, ahşap mobilya boyaları %15, deniz boyaları %3, otomotiv boyaları %9, metal boya ve vernikler %9, toz boya %7 ve diğer boyalar yaklaşık %2 pay almaktadır (ÇŞİDB, 2012). Boya; çeşitli malzeme yüzeylerine kaplama, koruma, dekoratif özellik vermek amacıyla sürülerek sert ve ince bir tabaka oluşturan, ana maddeleri organik, metalik veya plastik esaslı pigment, bağlayıcı ve incelticilerden (solventlerden) meydana gelmiş, renkli bir sıvı ya da toz bileşimidir. Boya üretiminde, farklı maddelerin bir araya getirilmesi ile boya elde edilmektedir. Boyanın kullanım alanına ve özelliklerine göre farklı türde bileşimler elde edilse de temel olarak boya 5 bileşenden oluşan bir karışımdır. Bunlar, pigment, bağlayıcılar (binder, reçine, alkid, sentetik reçine vb.), dolgu malzemeleri (talk, barit, kaolin, kalsit, vb.), diğer katkıları ve çözücüler (organik solventler, su, vb.)'dir (ÇŞİDB, 2020).

Boya fabrikasının karbon ayak izinin hesaplanabilmesi için bazı standartlar çerçevesinde hareket etmek gerekmektedir. ISO 14000 standart serisi ve Sera Gazı (GHG) Protokolü gibi çeşitli standartlar, sera gazlarının haritalanmasına ve raporlanmasına rehberlik eder. GHG Protokolü, organizasyonel düzeyde karbon ayak izinin hesaplanması için en yaygın kullanılan çerçevedir ve bu çalışma da GHG Protokolü hesaplama yöntemine dayanmaktadır. Hesaplamalar Kyoto Protokolü tarafından belirlenen sera gazlarını kapsar: Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PCF'ler), kükürt hekzaflorür (SF₆) ve azot triflorür (NF₃) (Karyağ, 2025). Hesaplamalarda kullanılmak üzere bu sera gazlarının küresel ısınma potansiyeli değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (United States Environmental Protection Agency – EPA)'na göre gazların atmosfer içerisinde ısıyı

tutabilme kapasitesi ve atmosfer içerisinde kalma sürelerinin karbondioksit ile karşılaştırılarak etkisinin belirlenme katsayısına Küresel Isınma Potansiyeli denir (Işık, 2023). Karbon ayak izi hesabında göz önünde bulundurulmuş üç önemli gaz CO₂, CH₄ ve N₂O'dur. Bu gazların küresel ısınma potansiyelleri IPCC 6. değerlendirme raporuna göre sırasıyla 1, 27.9 ve 273'tür (IPCC, 2013).

ISO 14064, sera gazı emisyonlarının hesaplanması, raporlanması ve doğrulanması için uluslararası kabul görmüş bir standarttır. Sera gazı emisyonlarını yönetmek, azaltmak ve izlemek isteyen kuruluşlar için oluşturulmuş üç bölümden oluşmaktadır. Bu standart, özellikle işletmelerin ve kuruluşların çevresel etkilerini daha iyi yönetmelerine ve azaltmalarına yardımcı olmaktadır (Arhan, 2025).

Kapsam 1- Doğrudan sera gazı emisyonları: Bir kuruluşun sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklardan çıkan sera gazı emisyonlarıdır.

Kapsam 2- Dolaylı sera gazı emisyonları: Bir kuruluşun dışarıdan temin ettiği elektrik, ısı veya buharın üretimi esnasında ortaya çıkan sera gazı emisyonlarıdır.

Kapsam 3- Diğer dolaylı sera gazı emisyonları: Enerji dışında, bir kuruluşun faaliyetleri sonucu diğer kuruluşların sahip olduğu veya kontrol ettiği kaynaklardan oluşan sera gazı emisyonlarıdır (Binboğa, 2014).

Kyoto Protokolü, iklim değişikliği ile mücadele konusunda atılacak adımların netleştirilmesi yönündeki ilk adım olarak, 1997 yılında kabul edilmiş ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir (İDB, 2025). Kyoto Protokolü, ülkelerin emisyonlarını belirli bir zaman dilimi içinde sınırlamayı amaçlayan en önemli anlaşma olarak gösterilebilir (Sözen ve Alp, 2009). Protokol iki dönemden oluşmaktadır. I. Taahhüt Dönemi 2008-2012 yıllarını kapsarken, II. Taahhüt Dönemi 2013-2020 yılları arasında kalan dönemdir. Bu iki dönem devletlere farklı yükümlülükler getirmesi açısından birbirinden farklıdır. I. Taahhüt Dönemi, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin Ek-I listesinde yer alan ülkelere toplam salımlarını 1990 yılı seviyelerine nazaran en az % 5 oranında azaltma yükümlülüğü getirmektedir (Özsoy, 2015). Türkiye protokole 2009 yılında taraf olmuştur (DB, 2025). Buna göre Türkiye, 2030 yılına kadar emisyonlarını referans senaryoya kıyasla %41 azaltmayı ve 2053 yılında net sıfır emisyonu ulaşmayı taahhüt etmiştir. Güncellenmiş Ulusal Katkı Beyanına göre, Türkiye'nin emisyonlarının 2038 yılında en üst noktaya ulaşması öngörülmektedir (CSBB, 2023).

Kyoto Protokolü ile birlikte ortaya çıkan mekanizmalardan belki de en önemlisi “Karbon salınımı ve ticareti” dir. Karbon salınımı ve ticareti; “bir alıcının karbon azaltımına yönelik taahhüt ettiği hedeflerini yerine getirmede kullanacağı ve belli bir miktarda karbon salınımı indirimi yapma hakkını ifade eden “krediler” karşılığında, başka bir tarafa ödeme yapması ile ortaya çıkan alım sözleşmeleri” olarak tanımlanmaktadır (Tunahan, 2010). Aynı zamanda Emisyon Ticareti olarak da adlandırılan bu mekanizma, ülkelerin taahhüt ettikleri emisyon hedeflerini tutturmak için kendi aralarında emisyon alım satım işlemleri yapabilmelerini öngörmektedir (Ayrıçay, 2008). Buna göre gelişmiş ülkeler ile gelişmemiş ülkeler

arasında işbirliği yapılarak, gelişmemiş ülkede elde edilen karbon indirimi, söz konusu gelişmiş ülkenin taahhüdünden düşülebilir. Bu şekilde hem gelişmiş ülke taahhüdünü yerine getirmekte hem de gelişmekte olan ülkeyi bir anlamda sürdürülebilir kalkınmaya teşvik etmektedir (Duman ve diğ., 2012).

Karbon muhasebesi; atmosfere salınan sera gazlarının karbon ayak izlerinin hesaplanması, takip edilmesi, kayıt altına alınması, raporlanmasının yanı sıra işletmeye olan maliyetlerinin hesaplanmasıdır (Karakoç, 2012). İşletme düzeyinde karbon muhasebesinin işlevleri incelendiğinde, karbon muhasebesinin iki kısımdan oluştuğu görülmektedir. Birinci kısımda karbon akışları, karbon maliyetleri ve karbon salınımı ile ilgili stratejik kararlar yönetim tarafından alınmakta; bu kararlar alınırken işletmenin fiziksel ve finansal durumu da göz önünde bulundurulmaktadır. İkinci kısımda ise üretilen ürün ve hizmet bazında karbon ayak izleri hesaplanmakta ve hesaplanan bu değerler iklim değişiklikleri ve devlet politikalarında ki olası değişimlere karşı analiz edilmektedir. (Duman ve diğ., 2012).

Karbon vergileri, CO₂ emisyonunu azaltmak amacıyla tüketilen fosil yakıtın karbon içeriğine bağlı olarak alınan bir emisyon vergisidir. Emisyon vergileri, salınan sera gazı emisyonu birimi başına ödenen vergilerdir (Baranzini ve diğ., 2000). Bu anlamda karbon vergileri 1990'lı yılların başında Avrupa Birliği ülkelerinin öncü olduğu “yeşil vergi reformu” çerçevesinde uygulamaya konulan çevre vergilerinin bir parçasıdır. (Tekin ve Vural, 2004). Karbon vergisi devlet için bir gelir kaynağı iken, işletmeler için ekstra bir maliyet kalemi haline gelmektedir. Karbon vergisi işletmeler açısından bakıldığında, emisyon azaltım maliyetlerinin artmasına ve üretilen birim başına atmosfere salınan sera gazları için vergi ödeme durumuna yol açmaktadır (Alıcı ve Yıldız, 2012). Türkiye’de sera gazı emisyon miktarını azaltmak için karbon vergisi politika aracı olarak benimsenebilir. Karbon vergisi, Türkiye için ilk olarak karbondioksit salınımının yoğun olduğu sektörlerle uygulanmalı ve vergi tabanı kademeli olarak genişletilmelidir. Karbon vergisinden etkinliğin tam anlamıyla sağlanabilmesi için bu vergiden elde edilen gelirlerin hangi alanda kullanacağı önem teşkil etmektedir. Karbon vergisinden elde edilen gelirler olası çevresel hasarlar için kullanılmak üzere bir fonda toplanmalıdır. Bu şekilde kullanıldığı zaman vergiden beklenen olası verim yüksek olabilecektir (Sapmaz, 2022).

Üretim olarak alanında hatırı sayılır anlamda yer tutan Türkiye’deki boya sektöründen kaynaklı karbon ayak izinin tespiti ve bunun azaltılmasına yönelik önlemler ciddi önem arz etmektedir. Bir işletmenin karbon ayak izinin hesaplanması ve Kyoto Protokolü ile birlikte ortaya çıkan karbon ticareti ve karbon vergisi gibi kavramların maliyet hesaplamaları yapan şirketler tarafından dikkate alınması gereken konulardır. Henüz Türkiye’de karbon vergisi uygulanmıyor olsa da iklim kanunu ve iklim değişikliği azaltım stratejisi ve eylem planı gibi yaşanan gelişmeler doğrultusunda sürecin buraya doğru evrileceği tahmin edilmektedir. Türkiye’nin önemli sanayi şehirlerinden biri olan Bursa ilindeki bir boya fabrikasından kaynaklı kurumsal karbon ayak izinin tespiti ve karbon vergisi hesabı bu alandaki çalışmalara katkı sunacaktır.

Materyal ve Yöntem

Bursa ilinde faaliyet gösteren bir boya fabrikasının karbon ayak izinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmadaki hesaplamalar; Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Kılavuzunda yer alan ‘Tier 1 Metodu’ kullanılarak yapılmıştır. 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 Metoduna ait genel formül Eşitlik 1’de gösterilmektedir.

$$\text{Karbon Emisyonu (KE)} = \text{Faaliyet Verisi (FV)} \times \text{Emisyon Faktörü (EF)} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

KE: Bir tesisin doğrudan, enerji dolaylı ve diğer dolaylı faaliyetlerin sonucunda atmosfere verilen sera gazı emisyon miktarıdır.

FV: Bir tesise ait tüketilen ya da üretilen yakıt veya maddelerdir.

EF: Bir tesisin birim değeri hacim, kütle vb için yaklaşık atmosfere verdikleri sera gazı emisyon miktarını temsil etmektedir (IPCC, 2006).

Karbon ayak izi hesaplamaları yapılacak tesis Bursa’da hafif ve ağır sanayi boya üretimi alanında faaliyet sürdüren yaklaşık 25500 m2 tesis alanı ve 300 kişilik istihdam kapasitesine sahip bir işletmedir. Çalışılan gün sayısı yılda 300 gün olarak belirlenmiştir.

İşletmeye ait 2024 yılı faaliyet verileri Tablo 1’de verilmiştir. Bu veriler kullanılarak yıl sonunda üretilen toplam boya miktarı için emisyon miktarı, dizel tüketiminden kaynaklanan emisyon miktarı, benzin tüketiminden kaynaklanan emisyon miktarı, doğalgaz tüketiminden kaynaklanan emisyon miktarı, elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyon miktarı, su tedarikinden kaynaklanan emisyon miktarı, servis dizel kullanımından kaynaklanan emisyon miktarı, tehlikeli ve tehlikesiz atıktan kaynaklanan emisyon miktarı, atık kamyonu ve yangın tüplerinden kaynaklanan emisyon miktarı hesaplanmıştır.

Tablo 1. İşletmeye Ait Faaliyet Verileri (2024)

Faaliyet Adı	Birim	Miktar
Üretim	kg/yıl	18.830.361
Dizel tüketimi	L/yıl	81.573
Benzin tüketimi	L/yıl	72.879
Doğalgaz tüketimi	m3/yıl	166.563
Elektrik tüketimi	kwh/yıl	2.342.343
Su tedariki	m3/yıl	7.383
Servis dizel kullanımı	km/yıl	350.892
Tehlikesiz atık	kg/yıl	131.685
Tehlikeli atık	kg/yıl	641.289
Atık kamyonu	km/yıl	27.906
Yangın tüpleri	adet/yıl	57

Tablo 2. Yakıt Türlerine ait CO₂ Emisyon Faktörleri

Yakıt Türü	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)	Kaynak
Benzin	69 300	25	8	IPCC 2006
Dizel	74 100	3,9	3,9	IPCC 2006
Doğalgaz	56 100	5	0,1	IPCC 2006

Hesaplamalarda kullanılan benzin, dizel, doğalgaz yakıt türlerine ait emisyon faktörleri Tablo 2’de, elektrik tüketimi, su tedariki, su arıtımı, servis-dizel, tehlikeli ve tehlikesiz atık ve atık kamyonu hesaplamaları için gerekli emisyon faktörleri Tablo 3’te verilmiştir. Benzin, dizel ve doğalgaz emisyon faktörleri Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2006 raporundan, elektrik tüketimi emisyon faktörü Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı 2024 raporundan, tabloda belirtilen diğer emisyon faktörleri İngiltere Çalışma, Enerji ve Endüstriyel Strateji Bakanlığı (DBEIS) veri tabanı kullanılarak hazırlanan (Işık, 2023) tarafından yapılan çalışmadaki değerler olarak alınmıştır.

Tablo 3. Emisyon Faktörleri

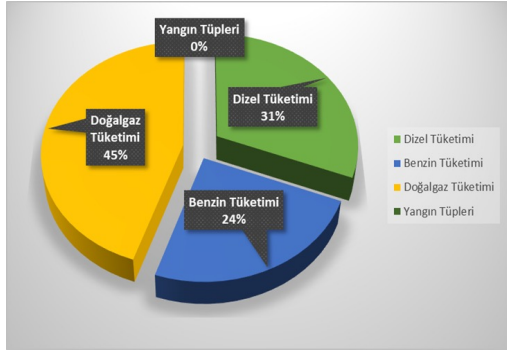
Faaliyet Adı	Birim	Emisyon Faktörü	Kaynak
Elektirik tüketimi	ton CO ₂ e/MWh	0,478	ETKB, 2024
Su tedariki	kg CO ₂ e/m ³	0,15311	DBEIS 2021
Su arıtımı	kg CO ₂ e/m ³	0,272	DBEIS 2021
Servis-dizel	kg CO ₂ e/km	0,17	DBEIS 2021
Tehlikesiz atık	kg CO ₂ e/ton	21,294	DBEIS 2021
Tehlikeli atık	kg CO ₂ e/ton	21,294	DBEIS 2021
Atık kamyonu	kg CO ₂ e/km	0,17	DBEIS 2021

Bulgular ve Tartışma

IPCC’nin Tier 1 metodolojisine göre Bursa ilinde faaliyet gösteren boya fabrikasının 2024 yılı karbon ayak izi hesaplamaları yapıldığında, kaynaklarına göre karbon ayak izi miktarları Tablo 1’de; Kapsam 1 – Direk emisyonlara göre karbon ayak izi yüzdesel dağılımı ise Şekil 2’de gösterilmiştir. Kapsam 1’in içerdiği karbon emisyonu kaynakları dizel tüketimi, benzin tüketimi, doğalgaz tüketimi ve yangın tüplerinin kaçak emisyonlarından oluşmaktadır. Doğalgaz tüketimi 317,316 ton CO₂e emisyon ve %45 lik oran ile en yüksek karbon ayak izine neden olmaktadır. Doğalgaz tüketimini sırasıyla %31 ile dizel tüketimi kaynaklı, %24 ile benzin tüketimi kaynaklı, % 00001 ile yangın tüplerinin yaydığı kaçak emisyonlar kaynaklı karbon ayak izi yüzdelik dağılımları takip etmektedir.

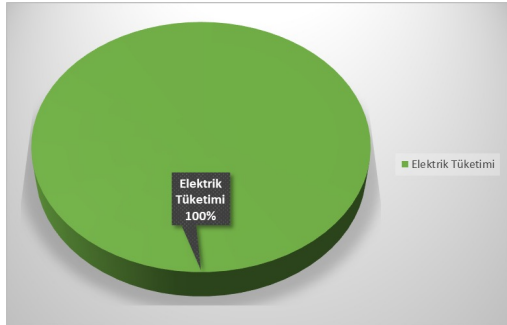
Tablo4. Boya Fabrikasının Kaynaklarına Göre 2024 Yılı Karbon Ayak İzi Miktarları (Bursa)

Karbon Ayak İzi Kaynakları	Karbon Ayak İzi (ton CO ₂ e)
Dizel Tüketimi	219.147
Benzin Tüketimi	171.285
Doğalgaz Tüketimi	317.316
Yangın Tüpleri	0.011
Elektirik Tüketimi	1.047.027
Tehlikeli Atık	13.656
Tehlikesiz Atık	2.804
Su Tedariki	1.100
Servis	59.652
Atık Kamyonu	4.744
Toplam	1.836,742



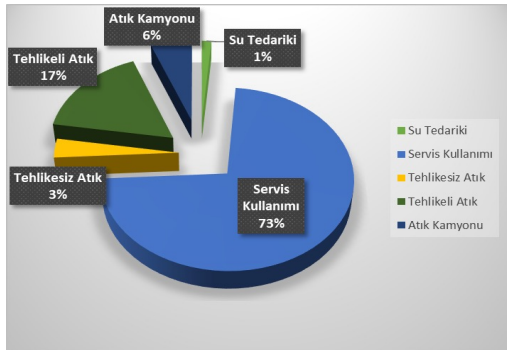
Şekil 1. Bursa İlindeki bir Boya Fabrikasının 2024 yılı Kapsam 1 – Direkt Emisyonlara Göre Karbon Ayak İzi Yüzdesel Dağılımı

Şekil 2’de görüldüğü gibi Kapsam 2’ye göre karbon emisyonu kaynakları sadece elektrik tüketiminden oluşmakta olup 1 047,027 tonCO₂e miktarıyla enerji dolaylı emisyonların %100’ünü oluşturmaktadır.



Şekil 2. Bursa İlindeki Bir Boya Fabrikasının 2024 yılı Kapsam 2 – Enerji Dolaylı Emisyonlara göre Karbon Ayak İzi Yüzdesel Dağılımı

Şekil 3’te; Kapsam 3’e göre karbon emisyonu kaynakları su tedariki, personel servisi, tehlikeli atık, tehlikesiz atık ve atık kamyonundan oluşan emisyonlar gösterilmiştir.



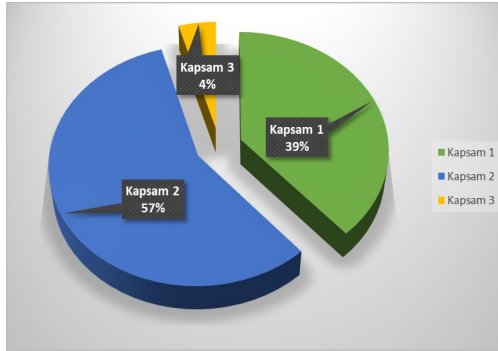
Şekil 3. Bursa İlindeki Bir Boya Fabrikasının 2024 yılı Kapsam 3 – Diğer Kaynaklı Emisyonlara Göre Karbon Ayak İzi Yüzdesel Dağılımı

Personel servisi kullanımı kaynaklı karbon ayak izi %73 lük oran ve 59,652 ton CO₂e emisyon ile en yüksek yüzdelik dilimle ilk sırada gelmektedir. Servis kullanımını sırasıyla, %17 ile tehlikeli atık, % 6 ile atık kamyonu, %3 ile tehlikesiz atık, %1 ile su tedariki takip etmektedir.

Bursa ili içerisindeki boya fabrikasının kapsamlara göre 2024 yılı karbon ayak izi miktarları Tablo 5'te, yüzdelik dağılımları Şekil 5'te gösterilmiştir. Kapsam 2 – Enerji dolaylı emisyonlar 1047,027 ton CO₂e karbon ayak izi miktarı ve ve %57 lik oranla ilk sırada gelmektedir. Enerji dolaylı emisyonları 707,759 ton CO₂e miktarı ve %39'luk dağılımla kapsam 1 - direk emisyonlar takip etmektedir. Kapsam 3 – diğer kaynaklı emisyonlar ise 81,957 ton CO₂e miktar ve %4'lük oranla son sırada gelmektedir.

Tablo 5. Bursa İlindeki Bir Boya Fabrikasının Kapsamlarına Göre 2024 Yılı Karbon Ayak İzi Miktarları

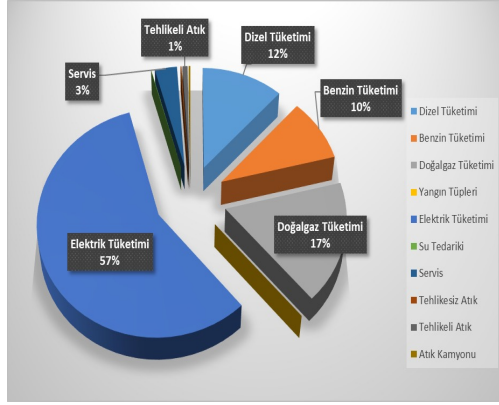
Kapsamlar	Karbon Ayak İzi (ton CO ₂ e)
Kapsam 1 - Direk Emisyonlar	707,759
Kapsam 2 - Enerji Dolaylı Emisyonlar	1047,027
Kapsam 3 - Diğer Kaynaklı Emisyonlar	81,956
Toplam	1836,742



Şekil 4. Bursa ilindeki bir boya fabrikasının kapsamlarına göre 2024 yılı karbon ayak izi yüzdesel dağılımı

IPCC'nin Tier 1 metoduna uygun şekilde hesaplanan karbon ayak izinin 2024 yılı verilerine göre nihai sonuçları Tablo 3'te verilmişti. Yüzdelik dağılım tablosu ise Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre Bursa ilindeki boya fabrikasının 2024 yılı toplam karbon ayak izi miktarı 1 836,742 ton CO₂e olarak bulunmuştur.

Kaynaklarına göre karbon ayak izi değerlendirmesi yapıldığında en yüksek emisyon 1.047,027 ton CO₂e değeri ve %57 lik oran ile elektrik tüketiminde görülmüştür. Elektrik tüketimini sırasıyla 317,316 ton CO₂e ve %17 lik oran ile doğalgaz tüketimi, 219,147 ton CO₂e ve %12 lik oran ile ile dizel tüketimi, 171,285 ton CO₂e ve %10 luk oran ile benzin tüketimi takip etmektedir. En düşük karbon ayak izinin 0,011 ton CO₂e ile yangın tüplerinde olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Bursa İlindeki Bir Boya Fabrikasının Kaynaklarına Göre 2024 Yılı Karbon Ayak İzi Yüzdesel Dağılımı

Firmanın 2024 yılı karbon ayak izi hesabı kaynaklarına ve kapsamlarına göre yapıldıktan sonra bu veriler doğrultusunda firmanın yaklaşık karbon vergisi maliyeti hesaplanacaktır. Türkiye için günümüzde karbon vergisi uygulanmamakla birlikte, rekabetin küreselleştiği ve hat safhaya çıktığı, sürdürülebilirliğin büyük önem arz ettiği şu aşamada şirketlerin geleceğe dönük strateji, hedef ve maliyetlerini belirlemeleri adına karbon vergisi hesabı yapmalarının faydası olacaktır.

Tablo 7’de Avrupa’da bazı ülkelerdeki 2024 yılına ait karbon vergileri gösterilmiştir. Karbon vergileri sıralamasında İsviçre ve Lihtenştayn ton CO₂e başına 122,87 euro ile en yüksek karbon vergisi uygulamaktadır. Daha sonra sırasıyla 118,35 euro ile İsveç, 99,01 euro ile Norveç, 93,02 euro ile Finlandiya gelmektedir (TFE, 2024).

Tablo 6. Bazı Avrupa Ülkelerinin 2024 Yılı Karbon Vergileri (TFE, 2024)

Ülke	Karbon Vergisi Ton Başı (€)	Vergilendirilen Emisyon / Toplam Emisyon (%)	Uygulama Yılı
Avusturya	45	40	2022
Danimarka	26,13	48	1992
Estonya	2	10	2000
Finlandiya	93,02	45	1990
Fransa	44,60	40	2014
Almanya	45	39	2021
Lihtenştayn	122,87	72	2008
Hollanda	66,50	45	2021
Norveç	99,01	65	1991
Portekiz	56,25	40	2015
İspanya	15	2	2014
İsveç	118,35	40	1991
İsviçre	122,87	12	2008
Birleşik Krallık	21,04	13	2013

Karbon vergileri, karbondioksit, metan, azot oksit ve florlu gazlar gibi farklı sera gazı türlerine uygulanabilir. Her ülkenin karbon vergisinin kapsamı farklılık gösterdiğinden, vergi kapsamındaki sera gazı emisyonlarının payları da farklılık gösterir. Örneğin, İspanya’nın karbon vergisi yalnızca florlu gazlar için geçerlidir ve ülkenin toplam sera gazı emisyonlarının yalnızca %2’sini vergilendirir. Buna karşılık Arnavutluk, Lihtenştayn ve Lüksemburg, sera gazı emisyonlarının %72’sinden fazlasını karşılamaktadır. Avrupa Birliği’nin tüm üye devletleri (ayrıca İzlanda, Lihtenştayn ve Norveç), belirli sayıda sera gazı emisyonu izninin ticareti için oluşturulmuş bir piyasa olan AB Emisyon Ticaret Sistemi’nin (AB ETS) bir parçasıdır. İsviçre, Ukrayna ve Birleşik Krallık hariç, karbon vergisi uygulayan tüm

Avrupa ülkeleri de AB ETS'nin bir parçasıdır. İsviçre'nin, Ocak 2020'den beri AB ETS'ye bağlı olan kendi ETS'si bulunmaktadır. Brexit'in ardından Birleşik Krallık, Ocak 2021'de kendi Birleşik Krallık ETS'sini uygulamaya koymuştur. Son yıllarda birçok Avrupa ülkesi karbon vergisi veya ETS uygulamaya koymuştur. Almanya ve Avusturya, sırasıyla 2021 ve 2022 yıllarında karbon vergileri uygulamış ve bu vergiler 2026 yılına kadar aşamalı olarak ETS'ye dönüştürülecektir. Arnavutluk ve Macaristan ise sırasıyla 2022 ve 2023 yıllarında karbon vergileri uygulamaya koymuştur. Bazı ülkeler, karbon emisyonu kaynaklarına farklı örtük veya açık vergi oranlarıyla birden fazla özel tüketim vergisi veya ETS uygulamaktadır. İdeal olarak, bir karbon vergisi tüm sektörlerin karbon emisyonlarına aynı oranda uygulanmalıdır (TFE, 2024).

1 Nisan 2024 itibarıyla 23 Avrupa ülkesinin ortalama ton CO₂e başına karbon vergisi bedeli 49,23 € idi (TFE, 2024). 1 Nisan 2024 kuru itibarıyla euro 34,96 TL'dir (TCMB, 2024). Fabrikanın 2024 yılı karbon ayak izi miktarı 1 836,742 ton CO₂e dir. Bu veriler doğrultusunda Bursa ilindeki bir boya fabrikasının karbon vergisini Eşitlik 2 ile hesaplayabiliriz.

Karbon Vergisi = Karbon Ayak İzi Miktarı x Karbon Vergisi Bedeli (Eşitlik 2)

Karbon Vergisi: 1836,742 ton CO₂e x 49,23 euro / ton CO₂e x 34,96 TL/euro

Karbon Vergisi = 3.161.181 TL

Tablo 7. Bursa ilindeki Bir Boya Fabrikasının Karbon Ayak İzi Kaynaklarına Göre 2024 Yılı Karbon Vergi Maliyeti

Karbon Ayak İzi Kaynakları	Karbon Vergisi (TL)
Dizel Tüketimi	377.169
Benzin Tüketimi	294.795
Doğalgaz Tüketimi	546.126
Yangın Tüpleri	19
Elektrik Tüketimi	1.802.018
Su Tedariki	1.893
Servis Kullanımı	102.666
Tehlikesiz Atık	4.826
Tehlikeli Atık	23.503
Atık Kamyonu	8.166
Toplam	3.161.181

Bu hesaplama göre firmanın 2024 yılı karbon vergisi yaklaşık 3.161.181 TL bulunmuştur.

Sonuç

Türkiye küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele konusunda '2053 Net Sıfır Emisyon ve Yeşil Kalkınma' hedefleri doğrultusunda sanayiden tarıma, enerjiden ulaşıma bir çok strateji ve eylem planı belirlemiştir. Avrupa'nın beşinci büyük boya üreticisi olan Türkiye'deki bir fabrikanın karbon ayak izinin hesaplanması bu eylem planlarına hizmet etmesi açısından önemli bir nokta teşkil edecektir.

Bursa ilinde faaliyet gösteren ve 300 kişilik istihdam alanı oluşturan bir boya fabrikasının 2024 yılı gerçek verileri ve IPCC Tier 1 metodolojisi kullanılarak hesaplanan 2024 yılı karbon ayak izi miktarı 1 836, 742 ton CO₂e çıkmıştır. Buna mukabil birim boya başına karbon emisyonu olarak yaklaşık 0,0975 ton CO₂e/

ton boya ortaya çıkmıştır. Kapsamlarına göre 2024 yılı karbon ayak izi miktarları incelendiğinde en fazla karbon ayak izinin %57 lik oranla kapsam 2 kaynaklı elektrik tüketiminden açığa çıkan emisyonlar olduğu görülmektedir.

Tesisin 2024 yılı karbon vergisi yirmi üç Avrupa devletinin ortalaması birim bedel olarak alınarak hesaplandığında 3 161 181 TL çıkmıştır. Karbon fiyatlandırma politikası Türkiye’de henüz uygulanmamakla birlikte ve maliyet yükü olarak negatif etkileri görülse de küresel ısınmayı önleme ve sera gazı emisyonlarını azaltımı adına önemli bir araç olarak kullanılabilir olması, firmaların geleceğe dönük strateji ve hedeflerinin belirlenmesi adına karbon vergisi hesabının yapılması çok faydalı olacaktır.

Sürdürülebilir çevre ve gelecek için karbon ayak izinin azaltılması hayati öneme sahiptir. Bu doğrultuda kaynaklarına göre karbon ayak izine bakıldığında fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı karbon ayak izinin düşürülmesi adına önemli miktarda etki edecektir. Boya üretim sektöründe enerji verimliliği üzerine projelerin gerçekleştirilmesi ve şirketleri net sıfır emisyon hedeflerini üst seviyede benimsemesi gerekmektedir. İklim değişikliği ve karbon ayak izinin azaltılmasının önemi hakkında eğitim ve farkındalık seminerleri gerçekleştirilmesi bu çalışmalara katkı sunacaktır.

Peer-Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The author has no conflict of interest to declare.

Grant Support: The author declared that this study has received no financial support.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Finansal Destek: Yazar finansal destek beyan etmemiştir.

Kaynakça /References

Alıcı, B., Yıldız H., (2012). Küresel Kamusal Bir Mal Olan Çevrenin Korunmasında Karbon Vergisi ve Etkinliği, Hukuk ve İktisat Araştırmaları Dergisi, Cilt 4, No 1:55-64.

Arhan N., 2025. Altın-Gümüş Zenginleştirme Tesisinde Karbon Ayak İli Hesaplanması ve Tekisinin Azaltılmasında Kilt Rol Oynayan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.

Ayrıçay Y., Karataş A., (2008). Çevre Finansmanı Muhasebe ve Finansman İçin Yeni Trendler, Gazi Kitapevi, Ankara

Baranzini Andrea, Jose Goldemberg ve Stefan Speck, 2000. A Future for Carbon Taxes, Ecological Economics, 32, S: 395-412

Binboğa, G. (2014). Uluslararası Karbon Ticareti ve Türkiye, Journal of Yasar

University, 9 (34) 5732-5759.

Bozoğlu, B., Keskin, B., Çavdar S. (2003). “Küresel Isınma”. 6. Çevre Sorunları Öğrenci Yaklaşımları Sempozyumu Nisan 2003. Mersin.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2012. Türkiye’de Sanayiden Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Yönetiminin İyileştirilmesi, Boya Üretimi, Rehber Doküman.

https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/05_boyauret-m--20191127111558.pdf

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020. Boya Üretimi Sektörel Uygulama Kılavuzu, Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik Uygulamanın Kolaylaştırılmasının Sağlanması Projesi. https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler/05_boya-uret-m--20200103075113.pdf

Çolak G. ve Türkmen B.A., 2023. Kurumsal Karbon Ayak İzi Analizi: Bir Kimya Fabrikası İçin Örnek Hesaplama. Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi. 2023,9. S. 191-201

DBEIS, 2017. Greenhouse gas reporting: conversion factors. Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Condensed set (for most users), <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversionfactors-2017>.

Demir, A.S. 2025. Tekstil Sektöründe Karbon Ayak İzi Hesabı ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Teknolojileri Anabilim Dalı, Enerji Teknolojileri Programı, İstanbul.

Dindar, G. 2021. Otomotiv Yan Sanayinde Karbon Ayak İzinin Hesaplanması Bursa İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Duman H., Özpeynirci R., Yücenurşen M., Bağcı H., 2012. Karbon Muhasebesi. Selçuk Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi. Cilt 12, Sayı 24, 2012, 105 – 120.

IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, General Guidance and Reporting <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>

IPCC, 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FIN_AL.pdf.

Işık, S. 2023. Tekstil Sektöründe Karbon Ayak İzi Hesaplaması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

İklim Değişikliği Başkanlığı. Kyoto Protokolü. <https://iklim.gov.tr/kyoto-protokolu-i-35>

Karakoç, M. (2012). Karbon Emisyon Muhasebesi ve Türkiye’de Uygulanabilirliği, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Karyağ, G.S. 2025. Kurumsal Karbon Ayak İzi Hesaplama: Emülgatör Üretimi Yapan Fabrika Örneği ve Kurumsal Sürdürülebilirlik. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilimdalı. Kocaeli.

Sapmaz, H., 2022. Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi Aralık 2022, Cilt:8, Sayı:3.

Sözen, A., Alp, İ., 2009. “Comparison of Turkey’s Performance of Greenhouse Gas Emissions and Local/Regional Pollutants with EU Countries”, Energy Policy, 37(12), 5007-5018.

Özsoy C. E., (2015). Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye’nin karbon ayak izi. Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 4(9), 198-215.

Öztürk K., 2002. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye’ye Olası Etkileri. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı Sayfa 47-65. 2002.

Tax Foundation Europe, 2024. Carbon Taxes in Europe.

<https://taxfoundation.org/data/all/eu/carbon-taxes-europe/>

Tekin, A., Vural, İ.Y. (2004). Global Kamusal Malların Finansman Aracı Olarak Global Vergi Önerileri. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1722240>

TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, 2025. Sera Gazı Emisyon İstatistikleri 1990-2023. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2023-53974>

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023. On İkinci Kalkınma Planı 2024-2028. İklim Değişikliğinin Sürdürülebilir Kalkınmaya Etkisi. Özel İhtisas Komisyonu Raporu.

T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2025. <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>

T.C. Ticaret Bakanlığı, 2023. Boya Sektörü. İhracat Genel Müdürlüğü Kimya Ürünleri ve Özel İhracat Daire Başkanlığı <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Boya%20Sekt%C3%B6r%C3%BC%20-Nisan%202023.pdf>

Tunahan H., 2010. Küresel İklim Değişikliğini Azaltmanın Bir Yolu Olarak Karbon Finansmanı, Muhasebe ve Finansman Dergisi, Sayı: 46.

Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, 2024. 1Nisan 2024 Euro Kuru <https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/202404/01042024.xml>

Ulusal A., 2021. Tarımda Karbon Ayak İzimiz. Toros İnovasyon Bülteni, Haziran 2021, Sayı 19.