

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

AB SINIRDA KARBON DÜZENLEME MEKANİZMASI'NIN TÜRKİYE'NİN KARBON EMİSYONU YÜKSEK SEKTÖRLERİNDEKİ POTANSİYEL MALİYETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ASSESSING THE POTENTIAL COSTS OF THE EU CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM IN TURKEY'S HIGH CARBON EMITTING SECTORS

Ceran Zeynep Zafir BAHÇEKAPILI* 

Öz

Bu çalışma, AB'nin Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (SKDM) birinci fazında uygulanacak karbon vergisinin Türkiye'nin karbon yoğun ihracat sektörleri üzerinde yaratacağı ek vergi maliyetlerini değerlendirmektedir. Çalışmanın amacı Türkiye'nin karbon yoğun üretim yaptığı ve AB'ye ihracatının yüksek olduğu çimento, demir-çelik, alüminyum ve gübre sektörlerindeki karbon vergisi maliyetlerini tahmini karbon tahsisat fiyatları, ihracat miktarları ve fiyatları üzerinden simüle etmektir. Sonuçlara göre bu sektörler bedelsiz ödeneklerin yıllık azaltımının başlayacağı 2026'dan 2034'e kadar toplamda 10 ile 21 milyar Euro arasında karbon vergisi yükünü taşımak zorunda kalabilir. Özellikle alüminyum ve çimento sektörleri, bu süreçte göreceli olarak en yüksek maliyet artışını yaşayacaktır. Bu durum, Türkiye'nin ihracat rekabetçiliğini koruyabilmesi için karbon emisyonlarını azaltıcı stratejiler geliştirmesini zorunlu hale getirmektedir. SKDM'nin uygulanması, Türkiye'nin enerji ve sanayi sektörlerinde daha temiz üretim tekniklerine geçiş yapmasını gerektirecektir. Sonuç olarak, Türkiye'nin yeşil dönüşüm sürecinde SKDM'ye uyum sağlaması hem ekonomik sürdürülebilirlik hem de AB pazarında rekabet gücünü korumak açısından kritik bir öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: SKDM, Türkiye İhracatı, AB Ticaret, Karbon Fiyatlandırması, Yeşil Dönüşüm, Sürdürülebilir Üretim, Karbon Emisyonları

JEL Sınıflandırması: F18, Q56, F13, Q54

* Dr. Öğr. Üyesi, Marmara Üniversitesi, İktisat Fakültesi, İktisat Bölümü, İstanbul, E-mail: zzafir@marmara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-0699-4459

How to cite this article/Atıf için: Bahçekapılı C Z Z. (2025). Mekanizmasının Türkiye'nin Karbon Emisyonu Yüksek Sektörlerindeki Potansiyel Maliyetlerinin Değerlendirilmesi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 47(2), 346-380. DOI: 10.14780/muiibd.1570321



Abstract

This study assesses the additional tax costs of the carbon tax to be imposed in the first phase of the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) on Turkey's carbon-intensive export sectors. The objective of this study is to simulate the carbon tax costs on the cement, iron-steel, aluminum and fertilizer sectors, which are carbon-intensive and have high exports to the EU, based on estimated carbon allowance prices, export volumes and prices. According to the results, these sectors could have to bear a total carbon tax burden of between €10 billion and €21 billion from 2026 to 2034, when the annual reduction of allowances begins. The aluminum and cement sectors, in particular, will experience the highest relative cost increases during this period. This makes it imperative for Turkey to develop strategies to reduce carbon emissions in order to maintain its export competitiveness. The implementation of the CBAM will require Turkey to transition to cleaner production techniques in the energy and industrial sectors. As a result, Turkey's alignment with the CBAM in the green transformation process is critical for both economic sustainability and maintaining competitiveness in the EU market.

Key Words: CBAM, Turkey Exports, EU Trade, Carbon Pricing, Green Transformation, Sustainable Production, Carbon Emissions

JEL Classification: F18, Q56, F13, Q54

1. Giriş

Sürdürülebilir kalkınma ve iklim krizi ile mücadeleye ilişkin en geniş kapsamlı küresel kararlar ve anlaşmalar, 1992 Yeryüzü Zirvesi (Rio Konferansı) olarak da bilinen Birleşmiş Milletler  evre ve Kalkınma Konferansı'ndan itibaren hız kazanmıştır. Küresel sera gazlarının üçte bir oranında arttığı 1992'den beri bu konuda atılan uluslararası adımlardan ilki 1997'de kabul edilen ve 2005'te yürürlüğe girerek sanayileşmiş ülkeler için sayısallaştırılmış emisyon hedefleri içeren Kyoto Protokolüdür. 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşması ise Kyoto Protokolü'n n sona erme tarihi olan 2020 sonrası dönem için iklim değişikliği ile mücadelenin çerçevesini çizer. Anlaşmaya göre; uzun dönemde küresel sıcaklık artışını sanayileşme öncesi döneme göre 2 derecenin altında tutmak için ülkelerin düşük sera gazı emisyonlu ekonomilere geçiş adına kendi sorumluluklarını kendilerinin belirlemesi kararlaştırılmıştır. Türkiye, Paris Anlaşması'nı, 22 Nisan 2016 tarihinde imzalamış ve 7 Ekim 2021 tarihinde Cumhurbaşkanı tarafından onaylanmıştır. Bu  er evede Türkiye, 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi ilan etmiştir (T.C.  evre, 2023).

Türkiye, Paris Anlaşması kapsamında Nisan 2023 tarihinde sunduğu Birinci Ulusal Katkı Beyanı ile sera gazı emisyonlarına ilişkin resmi hedeflerini açıklamıştır. Bu beyana göre, 2012 yılı baz alınarak, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını referans senaryoya kıyasla %41 oranında azaltmayı (2030 yılında 695 milyon ton CO₂ eşdeğeri) taahhüt etmektedir. Türkiye, en geç 2038 yılına kadar emisyonlarını tepe noktasına ulaştırma niyetindedir (T.C.  evre, 2023).

Avrupa Birliği, iklim krizi ile mücadele için Kyoto Protokolü kapsamında 2005 yılında Emisyon Ticaret Sistemi'ni (EU Emission Trading System) devreye sokmuştur. Emisyon Ticaret Sistemi (ETS), karbon emisyonlarını azaltmak amacıyla ekonomik teşvikler sağlayan piyasa tabanlı bir mekanizmadır. Sistem, sera gazı emisyonlarının maliyetini kirleticilere yükleyerek, emisyonların azaltılmasına ve yeşil dönüşümün finansmanı için gelir sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. ETS, ' st sınır' ve 'ticaret' (cap and trade) prensibiyle çalışır ve böylelikle sistem kapsamındaki işletmeler

tarafından gerçekleştirilecek toplam sera gazı emisyonlarına bir sınır getirilmiş olur. Emisyon üst sınırını aşan işletmeler bu aşım kadar karbon emisyonu hakkını limitin altında salım gerçekleştiren taraflardan satın alabilmektedirler. Ayrıca AB uyum sürecinde ücretsiz kota tahsisatları yapmaktadır. 2005 yılından bu yana, işletmelerin satın alabileceği emisyon hakları kademeli olarak azaltılmaktadır. Ayrıca AB, 2030'a kadar ücretsiz kota tahsisatını da tamamen kaldırmayı planlamaktadır. ETS'ye tüm AB ülkeleri ile Avrupa Ekonomik Alanı (EEA) ve Avrupa Serbest Ticaret Birliği (EFTA) ülkeleri dahildir (European Commission, 2016).

İklim krizi ile mücadelenin AB'deki diğer önemli bir yansıması ise, 2019 yılında Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal) ve takiben 2021'de kabul edilen 55'e Uyum Paketi (Fit For 55) olmuştur. Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), AB'nin ekonomik büyümeyi sürdürülebilir bir biçimde sağlama ve toplumu çevresel zararlardan koruma stratejisi olarak özetlenebilir. Enerji, sanayi, tarım ve ulaştırma gibi birçok sektörde dönüşümü hedefleyen AYM, 2050 yılına kadar Avrupa'nın iklim nötr kıta olma hedefini destekler. AB'nin bu alandaki düzenlemeleri 2030 yılına kadar karbon emisyonlarının %55 azaltmak için 2026'da hayata geçirilmesi planlanan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'nı (Carbon Border Adjustment Mechanism) da içerir (Fetting, 2020).

SKDM, Avrupa Komisyonu tarafından AYM'nin bir parçası ve ETS'nin bir uzantısı olarak önerilen özel bir politika aracıdır. Avrupa Parlamentosu 10 Mart 2021 tarihinde "DTÖ ile uyumlu bir AB karbon sınır ayarlama mekanizması" başlıklı bir kararın ardından Temmuz 2021'de karbon sınır vergisi takvimini yürürlüğe koymuştur. Bu karar ile ayrımcı olmayan ve uluslararası ticaret üzerinde örtülü bir kısıtlama oluşturmayan, DTÖ kuralları ve AB'nin serbest ticaret anlaşmalarıyla uyumlu bir karbon kontrol mekanizması kurulmuştur. SKDM, AB'de faaliyet gösteren işletmelerin ETS çerçevesinde maruz kalacağı karbon fiyatlarına eşit tutarı ithal ürünlere de uygulamak üzere tasarlanmış bir politika aracıdır. Üretimin gevşek çevre regülasyonları ve yetersiz düzeydeki düşük karbon ekonomisi politikalarına sahip ülkelere taşınmasını yani *karbon kaçağını* (*carbon leakage*) önleyerek AB'nin iklim hedeflerinin gerçekleşmeme riskini azaltmayı amaçlar. Bu amaçlar doğrultusunda SKDM, ithal edilen malların AB'deki üretiminin karbon fiyatına eş değer bir vergilendirmeye tabi olmasını sağlar (European Parliament, 2021). Ancak SKDM uygulamaları AB ülkeleri ve AB'ye ihracat yapan ülkeleri de etkileyeceğinden özellikle belli sektörlerde daralma riski söz konusu olabilecektir. Riskin boyutu karbon sınır vergisine maruz kalacak sektörlerin dönüşüm esnekliğine bağlı olacaktır.

SKDM ithal malların karbon maliyetlerinin AB endüstrilerinin karşılaştığı maliyetlerle uyumlu olmasını sağlayarak karbon kaçağını kontrol etmek ve iklim krizinin etkilerini azaltmak için tasarlanmış bir politika aracı olduğundan, AYM ve Paris Anlaşması'nda belirlenen hedefler de dahil olmak üzere, AB'nin iklim hedeflerine ulaşma stratejisinin önemli bir bileşenidir.

SKDM ilk aşamada (1. Faz) çimento, demir-çelik, alüminyum, gübre, hidrojen ve elektrik sektörleri için geçerli olacaktır. Bu sektörler yüksek sera gazı emisyonlarının yanı sıra yüksek oranda dış ticarete konu olan üretimleri ve karbon kaçağı riski nedeniyle ilk aşamaya dahil edilmişlerdir. SKDM

kapsamında doğrudan (Scope 1/Kapsam 1) ve dolaylı (Scope 2/Kapsam 2) olmak üzere iki tip emisyon tanımlaması yapılmaktadır. Doğrudan emisyon; üretim sırasında tesis düzeyinde salınan sera gazı emisyonlarını kapsar. Bunlar genellikle yakıtları tüketme sonucunda ortaya çıkabilir. Bunun dışında nereden üretildiğinden bağımsız olarak üretim sürecinde soğutma veya ısıtma sırasında oluşan emisyonlar da doğrudan emisyon olarak nitelendirilir. Dolaylı emisyonlar ise imalat sürecinde tüketilen elektrikten kaynaklanan CO2 emisyonlarıdır (European Commission, 2023a).

AB'nin kısa vadeli SKDM planında yalnızca enerji ve emisyon yoğun sektörleri olan  imento, demir- elik, alüminyum, gübre ve hidrojen yer almaktadır. Bu  r nler hammadde niteliğinde olduğundan, gömülü emisyonlarını belirlemek daha kolaydır. SKDM'nin uzun dönemli hedefi ise bu mekanizmayı AB'ye ithal edilen tüm ürünlere uygulamaktır (Marcu vd., 2020).

SKDM kapsamında, geçiş sonrası dönemde, belirli malların ithalat ılarını temsil eden AB yetkili beyan sahipleri, ithal ettikleri malların gömülü emisyonları için SKDM sertifikaları satın alacak ve teslim edeceklerdir. İzleme, Raporlama ve Doğrulama (MRV) kuralları çerçevesinde tasarlanmış olan bu sertifikaların fiyatları AB ETS piyasa fiyatları üzerinden belirlenecektir. Böylelikle ithal edilen mallar ile AB ETS'ne katılan tesislerde üretilen mallar arasında ortaya çıkan karbon fiyatı farkı eşitlenmiş olacaktır (European Commission, 2023b)

Gelişmekte olan ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltabilmeleri, artan enerji ihtiyaçları gerçeği ile çelişmektedir. SKDM kapsamındaki yüksek enerji ihtiyacı olan sektörlere yönelik teknik ve mali desteklerin boyutu, mevcut finansman kaynakları ile karşılanmasını neredeyse imk nsız hale getirmektedir. Yüksek enerji ihtiyacı olan sektörlerin dönüşmesi için politika tutarlılığı, sübvansiyonlar ve yatırım destekleri gerekir. Bu engeller dikkate alındığında karbon emisyonunu azaltmak için kurulan SKDM, gelişmekte olan ülkelerdeki sektörleri dönüştürmeyi teşvik etmek yerine bu ülkelerin ihracat kapasitelerinin daralmasına neden olabilir. Bu yüzden SKDM'nin AB  lkeleri dışındaki etkilerinin araştırılması önem arz etmektedir.

SKDM'nin uygulanması, Türkiye gibi AB'nin önemli ticaret ortakları için ciddi ekonomik etkiler yaratabilir. Durant vd.'nin analizinde, Türkiye'nin AB-27'ye ihracatının iki olası senaryoya göre yıllık %-3,12 ile %-5,6 oranında, GSYH'nın ise %-1,01 ile %-1,73 oranında düşürebileceği hesaplanmıştır (Durant vd., 2021). Bu durum, Türkiye'nin karbon yoğun üretim yapan  imento, demir- elik, alüminyum ve gübre gibi sektörlerde rekabet gücünün azalmasına neden olabilir.

Avrupa Birliği'nin SKDM uygulaması, AB ülkelerine ihracat yapan karbon yoğun sektörlerdeki Türk firmalarını kaçınılmaz olarak etkileyecektir. İhracatçı firmalar, sadece beyan zorunluluklarıyla sınırlı kalmayacak, aynı zamanda karbon vergisi raporlama maliyetleri ile karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik teknolojik dönüşüm yatırımlarını da üstlenmek zorunda kalacaktır. Ancak, SKDM yalnızca bir maliyet unsuru olarak değerlendirilmemelidir. Türkiye açısından bakıldığında, bu düzenleme, yeşil dönüşüm sürecini hızlandırmak, uluslararası ticarete rekabet gücünü korumak ve uzun vadede sürdürülebilir bir üretim yapısına geçişi teşvik etmek için önemli bir fırsat olarak da görülebilir. Bu makale, AB'nin SKDM uygulamasının Türkiye'nin karbon emisyonu yüksek sektörlerinden  imento, demir- elik, alüminyum ve gübre ihracatına etkilerini incelemektedir.

Çalışmada, Türkiye'nin bu sektörlerdeki karbon salımı ve ihracat düzeyi, küresel rakipleriyle karşılaştırılarak değerlendirilecek ve SKDM kapsamında uygulanacak karbon vergisinin bu sektörler için yaratacağı potansiyel maliyet hesaplanacaktır. Elde edilen nicel tahminler doğrultusunda, ilgili sektör paydaşları ve politika yapıcılarına, karbon yoğun sektörlerde hızlı ve etkili bir karbonsuzlaşma sürecine öncelik vermenin gerekliliği vurgulanmaktadır. SKDM'nin ilk aşamasında uygulanacak karbon vergisinin, Türkiye'nin karbon yoğun ihracat sektörleri üzerindeki maliyet baskısını artıracığı ve bu sektörlerin AB pazarındaki rekabet avantajını sürdürebilmesi için dönüşüm sürecine hız kazandırması gerektiği ortaya konulmaktadır. Bununla birlikte, makalenin bir diğer amacı da Türkiye'nin Ulusal Emisyon Ticaret Sistemi'nin kurulmasına yönelik aciliyetin altını çizmektir. Türkiye'nin SKDM'ye uyum sağlamak ve AB ile ticaretindeki konumunu güçlendirmek adına karbon fiyatlandırma mekanizmalarını oluşturması ve karbon maliyetlerini yönetilebilir hale getirmesi kritik bir stratejik hamle olacaktır. Bu çalışma, Türkiye ekonomisi üzerine yapılan benzer araştırmalara ek olarak, ülkenin küresel rekabet ortamındaki pozisyonunu güncel veriler ve farklı bakış açılarıyla değerlendirerek literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. SKDM'nin etkileri yalnızca bugünü değil, gelecekteki sanayi politikalarını da şekillendireceğinden, bu dönüşüm sürecinde atılacak adımların hem ekonomik sürdürülebilirlik hem de çevresel uyumluluk açısından büyük önem taşıdığı vurgulanmaktadır.

2. Kavramsal Çerçeve ve Literatür Taraması

SKDM; AB Emisyon Ticaret Sistemi'ne dahil üye ülkelerden yapılan ithalatı, EEA ve EFTA'ya dahil ülkelerden yapılan ithalatı ve 150 Euro altındaki ithalatlar ile askeri faaliyetler için kullanılan malları kapsamaz.

İki aşamada devreye girecek olan SKDM'nin 1 Ekim 2023 itibariyle başlayan ve 2025 yılı sonuna kadar devam edecek geçiş döneminde, SKDM beyan zorunluluğu olan taraflar AB'ye ithal edilen malların üretiminde gömülü sera gazı emisyonlarının toplamını hesaplayarak bunlara ilişkin bilgileri raporlamakla yükümlüdürler. 1 Ocak 2026'da SKDM beyan zorunluluğu olanların SKDM sertifikası alması zorunlu olacaktır. AB ETS içerisinde ilgili sektörlerde uygulanan ücretsiz tahsisatlarını da SKDM sertifikası alım yükümlülüğüyle mahsuplaştırılacağından, SKDM'nin ihracatçılara mali yükü 2034 yılı itibariyle ücretsiz tahsisatların sıfırlanması sonrasında %100 olarak ortaya çıkacaktır (European Commission, 2023a) (Ticaret Bakanlığı, 2024). 2026-2034 döneminde mali yük, AB'nin ETS bedelsiz ödenekleri kademeli olarak azaltmasından ötürü her yıl artacaktır. Tablo 1'de Avrupa Parlamentosu tarafından yayınlanmış olan dokuz yıllık bedelsiz ödenek azaltım oranları yer almaktadır.

Tablo 1: AB ETS Bedelsiz Ödenekler Yıllık Azaltılma Tablosu

Yıllar	Azalma Oranı %
2026	2,50
2027	5,00
2028	10,00
2029	22,50
2030	48,50
2031	61,00
2032	73,50
2033	86,00
2034	100,00

Kaynak: Simões, (2023)

SKDM fiyatlaması yapılırken temel belirleyiciler olarak SKDM sertifikaları, sertifikaların fiyatı ve üçüncü ülkelerdeki karbon fiyatı esas alınmaktadır. SKDM sertifikaları, AB'ye ithal edilen ürünlerin gömülü emisyon bedelini ödemek için kullanılan bir belgedir. 2026'dan itibaren tüm AB ithalatçılarının ilgili SKDM sertifikasını satın almaları gerekmektedir. Bir sertifikanın fiyatı, salınan ton CO₂ başına AB ETS ortalama fiyatlarına göre hesaplanır. Tablo 2'de AB ETS karbon tahsisat fiyatları referans olarak verilmiştir. Çifte vergilendirmeyi önlemek için AB ithalatçıları SKDM sertifikalarında malın imal edildiği ülkedeki karbon fiyatı ödemeleri için indirim talep edebileceklerdir. Ancak bu indirim için mutlaka AB ithalatçısının menşe ülkede fiilen bir karbon fiyatı ödendiğini göstermeleri zorunludur (European Commission, 2023b, European Commission 2021).

Tablo 2: AB Karbon Tahsisat Fiyatları

Yillar	Euro/Ton CO2	Yillar	Euro/Ton CO2
2007	22,41	2016	6,57
2008	15,90	2017	8,18
2009	12,53	2018	25,01
2010	14,24	2019	24,64
2011	7,32	2020	32,72
2012	3,42	2021	80,65
2013	4,95	2022	88,00
2014	7,24	2023	82,87
2015	8,29	2024	60,79

Kaynak: World Bank (2024) ve Trading Economics (2024)¹

Bu çerçevede, SKDM yükümlüsü konumundaki AB'li yetkilendirilmiş ithalatçı veya onun yetkili gümrük temsilcisi, ithal edilen ürünlerin gömülü emisyon miktarına göre belirlenen SKDM sertifikalarını satın almak zorundadır. Eğer ithal edilen ürünler için menşe ülkte bir karbon fiyatı

1 Sadece 2024 yılı fiyatları Trading Economics (2024)'den alınmıştır.

ödenmişse, bu tutar indirilerek hesaplanacaktır. Bu yüzden Türkiye'nin ulusal ETS sistemini kurması kritik öneme sahiptir (Ticaret Bakanlığı, 2024).

İthalatçılar veya onların yetkili gümrük temsilcileri, her çeyreğin sonunda ithal ettikleri SKDM kapsamındaki ürünlerin gömülü emisyonlarını raporlayacak ve bu verileri ihracatçılardan talep edeceklerdir. İhracatçılar ise, AB ithalatçısına gönderdikleri emisyon verilerini toplamalı ve bu verileri, ihrac sırasında iletecekleri emisyon bilgilerine dahil etmelidirler. 2026 yılı itibarıyla başlayacak olan uygulama döneminde, SKDM Tüzüğü'nün 2 sayılı ekinde listelenen ürünler için yalnızca doğrudan emisyonlar dikkate alınacak; Ek I'de yer alan, ancak Ek-2'de bulunmayan SKDM ürünleri için ise hem doğrudan hem de dolaylı emisyonlar dikkate alınacaktır².

Karbon ayak izi hesaplamalarında ilgili AB mevzuatında yer alan hesaplama yöntemlerinin kullanılması zorunludur. Bu yöntemlerin dışında, başka uluslararası standartlara uygun olarak yapılan karbon ayak izi hesaplamaları SKDM kapsamında geçerli sayılmayacaktır (Ticaret Bakanlığı, 2024).

Konuyla ilgili yakın geçmiş literatür AB, Türkiye ve üçüncü ülke ekonomilerine etkiler ile DTÖ kuralları kapsamında doğabilecek olası sorunlar açısından tasnif edilerek aşağıda özetlenmiştir.

SKDM tasarımı varsayılan karbon salım düzeyi yoğunluklarının kullanılmasının ekonomik ve hukuki sakıncalarının ele alındığı bir raporda; varsayılan yoğunluklara dayalı bir SKDM'nin, emisyon azaltım teşviklerini çarpıtarak karbon fiyatlandırmasının ekonomik mantığına ters düştüğü savunulmaktadır. Bunun yerine, üreticilerin gerçek karbon yoğunluklarını belgeleyebilecekleri gönüllü bir "bireysel ayarlama mekanizması" önerilmektedir. Bu mekanizmanın, AB'nin uluslararası hukuk ve DTÖ kurallarıyla uyumunu artırabileceği öne sürülmektedir (Mehling ve Ritz, 2020).

UNCTAD tarafından 2021 yılında yayınlanan rapor ise, SKDM'nin uluslararası ticaret, karbondioksit emisyonları, gelir ve istihdam üzerindeki potansiyel etkilerini genel denge modeli kullanarak analiz etmektedir. SKDM'nin uygulanmasının küresel karbon emisyonlarını azaltmaya yardımcı olduğunu, ancak bu azalmanın toplam küresel emisyonlar içinde sadece küçük bir yüzde oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Gelişmekte olan ülkeler üzerine özel olarak odaklanan raporda, SKDM'nin gelişmekte olan ülkelerin ihracatında azalmaya neden olabileceği ve rekabet güçleri üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği vurgusu ön plana çıkmaktadır. Bu raporda kötümser senaryoda Türkiye'nin CO2 emisyonunun 1,01 milyon ton ile 1,73 milyon ton düşebileceği öngörülmektedir. Aynı çalışmada ayrıca GSYH ve ihracat üzerinde yaratabileceği olumsuz etkiler de hesaplanmıştır. Özellikle çimento, demir-çelik, gübre ve kimya sektörleri bu düzenlemeden en çok etkilenecek sektörler arasında yer almaktadır. Türkiye'nin AB-27'ye ihracatının önemli bir kısmını oluşturan demir-çelik ve alüminyum gibi sektörler, yüksek karbon yoğunluğu nedeniyle SKDM kapsamında ek maliyetlerle karşı karşıya kalacaklarından Türkiye'nin bu sektörlerdeki rekabet gücünü azaltabileceği vurgulanmakta ancak bu

2 SKDM kapsamında ürünlerin spesifik gömülü emisyonlarının hesaplanması, SKDM Tüzüğü'nün (AB) 2023/956 sayılı Ek IV'ünde belirtilen yöntemlere göre yapılmalıdır. Bu yöntemler, Uygulama Tüzüğü (AB) 2023/1773 Ek-III'te detaylı olarak açıklanmıştır (European Commission, 2023a) (Ticaret Bakanlığı, 2024).

durum tehditten ziyade yeşil dönüşümü hızlandırma fırsatı olarak değerlendirilmektedir (Durant vd., 2021).

Eicke, Weko vd. SKDM'nin üçüncü ülke risklerini değerlendirdikleri 2021 yılındaki makalelerinde; AB  yesi olmayan ülkelerin SKDM'ye tabi olacak sektörlerinin ilgili ülkelerin dış ticaretindeki payı, karbon emisyon seviyeleri ve izlenebilirlik, doğrulanabilirlik kapasitelerinden hareketle bir endeks çalışması yapmışlardır. Bu  alışmada Türkiye birçok gelişmekte olan ülke ile yüksek risk altındaki ekonomiler kategorisinde yer almaktadır (Eicke vd., 2021).

Aynı yıl SKDM'nin Çin, Hindistan, Rusya, Türkiye ve Ukrayna gibi gelişmekte olan ekonomiler üzerindeki ekonomik etkilerini incelediği makalesinde Simola; demir- elik, alüminyum,  imento, gübre ve elektrik sektörleri için 2019 yılı ihracat verileri ve mevcut karbon fiyatlarını temel alarak SKDM'nin serbest emisyon tahsisatlarının tam olarak kaldırılacağı 2035 yılında getireceği yıllık maliyeti 2021 yılı fiyatları ile tahmin etmeye çalışmıştır. Bulgulara göre Rusya, yıllık potansiyel maliyet olarak en yüksek rakama (2,1 milyar Euro) maruz kalırken, Hindistan'ın maliyetleri çok daha düşük olup yaklaşık 220 milyon Euro olarak tahmin edilmektedir. Türkiye için tahmin edilen toplam SKDM maliyetleri yaklaşık 690 milyon Euro olup bu rakam Türkiye'nin AB'ye yaptığı SKDM kapsamındaki ihracatların toplam değerinin %14' ne denk gelmektedir. Ukrayna için SKDM maliyetlerinin yaklaşık 850 milyon Euro olması ve bu maliyetlerin, Ukrayna'nın AB'ye yaptığı toplam SKDM  r nleri ihracatının %27'sine tekabül etmesi beklenmektedir. Makalede SKDM maliyetlerinin hesaplanması; ithal edilen ürünlerin karbon yoğunluğu, ithalat hacmi ve karbon fiyatı gibi temel faktörlerin bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Simola, 2021).

Literatürde SKDM uygulamasının GATT ve DT 'nün düzenlemelerinden bazılarını ihlal ettiği tartışılmaktadır. Başta Çin olmak üzere gelişmekte olan  lkeler, SKDM'ın DT  serbest ticaret ilkelerini ihlal ettiğini ve uluslararası ticaret çatışmalarına yol açabileceğini savunmaktadırlar. Özellikle GATT'ın En  ok Kayrılan  lke (Madde I) ilkesi ile çelişebilecek ihlaller tartışılmaktadır. Bununla birlikte Bağlayıcı Tarifeler  lkesi (Madde II) ve diğer GATT/DT  maddelerinin potansiyel ihlallerinin söz konusu olduğu iddia edilmekte ve uluslararası ticarete korumacılığın artması riski tartışılmaktadır. SKDM'nin uygulanması, GATT/DT  sistemiyle uyumlu olmayan yeni tek taraflı tarifeler getirmesi nedeniyle ticari çatışmalara ve misillemelere yol açabileceğinden küresel ticareti olumsuz yönde etkileyebileceği yönünde değerlendirmeler yapılmaktadır (Lim vd., 2021).

SKDM'nin küresel ticari rekabet ve refah üzerindeki potansiyel etkilerinin araştırıldığı Zong ve Pei'nin 2022'de çok bölgeli bir girdi-çıktı modeli kullanarak yaptıkları çalışma; ithalata karbon tarifeleri getirmenin AB sanayilerine fayda sağlayacağı ancak Çin, Rusya ve Hindistan gibi karbon yoğun end strelere sahip AB dışı ülkeleri olumsuz etkileyebileceğini ortaya koyan bir diğer çalışmadır. SKDM'nin refah dağılımı üzerindeki etkisinin olumsuz olacağının vurgulandığı çalışmada gelişmekte olan ülkelerin en fazla zararı göreceği belirtilmektedir. Ayrıca SKDM'nin karbon kaçağını azaltabileceğini ancak ticaret çatışmalarına yol açabileceğini ve küresel eşitsizlikleri artırabileceği de vurgulanmaktadır (Zhong ve Pei, 2022).

Overland ve Sabyrbekov'un 2022 tarihli çalışmaları; SKDM uygulamalarının AB dışı ülkeler tarafından uluslararası ölçüde ciddi bir dirençle karşılaşılabileceğini öngörmektedir. Yazarlar çalışmalarında SKDM'ye en güçlü şekilde karşı çıkması beklenen ülkeleri belirlemek için çok boyutlu bir SKDM Karşıtlık Endeksi oluşturmuşlardır. Bu endeks ticaret, karbon yoğunluğu, DTÖ'deki ihtilaf geçmiş, iklim krizi konusundaki kamuoyu ve yenilik kapasitesi gibi göstergelere dayanmaktadır. Analiz İran, Ukrayna, ABD, Birleşik Arap Emirlikleri, Mısır, Çin, Hindistan, Kazakistan, Rusya ve Belarus'un SKDM'ye en fazla direnç göstermesi beklenen ülkeler olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye, AB'nin en büyük ticaret ortaklarından biri olarak değerlendirilmiş ve SKDM'nin Türkiye üzerindeki potansiyel etkileri ele alınmıştır. Analize göre, Türkiye'nin karbon yoğunluğu yüksek sektörlerde AB'ye yaptığı ihracatlar SKDM'den etkilenebilir. Bununla birlikte, Türkiye'nin yenilik kapasitesinin görece düşük olması, SKDM'ye karşı çıkışında önemli bir faktör olarak belirtilmiştir. Endekse göre, Türkiye SKDM'ye karşı orta düzeyde bir direnç gösterebilir ancak bu direnç diğer büyük ekonomilere kıyasla daha düşük bir seviyede kalmaktadır (Overland ve Sabyrbekov, 2022).

AB'nin iklim nötr olma hedefi doğrultusunda karbon kaçığını azaltmak amacıyla çeşitli SKDM tasarımlarının ekonomik ve çevresel etkilerini değerlendirilerek bu tasarımların DTÖ kurallarıyla uyumluluğunu tartışıldığı diğer bir makalede yazarlar, SKDM'nin doğrudan ve dolaylı karbon kaçığını azaltma etkisi ve AB ETS kapsamında ücretsiz tahsislerin kademeli olarak kaldırılması ile ilgili sonuçları analiz etmişlerdir. Ayrıca, SKDM'nin uygulanmasının, ihracatçı firmalar için rekabet avantajını azaltabileceği ve demir-çelik, çimento, alüminyum gibi sektörler üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği vurgulanmaktadır. Çalışmanın sonucunda SKDM'nin etkinliğini ve DTÖ uyumluluğunu artırmak için, ithalatçılara yönelik alternatif karbon fiyatlandırma stratejileri ve ihracatçılara yönelik geri ödeme mekanizmaları gibi farklı senaryolar incelenmiştir (Bellora ve Fontagné, 2022).

AB, Finlandiya ve AB'ye ihracat yapan ülkelerin ekonomileri üzerinde SKDM'nin uygulanabilirliği, teknik ve hukuki zorlukları, ekonomik etkileri ve potansiyel sonuçları üzerine odaklanan diğer bir makale; SKDM'nin çeşitli teknik ve hukuki zorluklar barındırdığı, geniş kapsamlı bir senaryoda AB dışı ülkelere yapılan ithalatta %60 oranında düşüşlere yol açabileceği ve bunun sonucu olarak AB içindeki yüksek karbon emisyonlu sektörlerde talebin ve dolayısıyla ara malı fiyatlarının yükselmesine neden olacağını öngörmektedir. Bunların sonucu olarak AB'nin bu girdileri kullanan bazı sektörlerinin rekabet gücünü yitirebileceği belirtilmiştir. Türkiye özelinde ise SKDM'nin Türkiye'nin AB'ye yaptığı ihracatta önemli maliyet artışlarına yol açabileceği, özellikle çimento, demir-çelik, alüminyum gibi enerji yoğun sektörlerin bu düzenlemeden doğrudan etkileneneceği öngörülmüştür. (Kuusi vd., 2020).

Telli, Voyvoda ve Yeldan; Kyoto Protokolü'ne uyum için öngörülen politika senaryolarının ekonomik etkilerini incelemek üzere Türkiye için hesaplanabilir bir genel denge modeli kullanarak inceledikleri makalelerindeki bulgular ile doğrudan emisyon kotalarının uygulanmasının 2020 yılına kadar GSYİH'nin %30'undan fazla kayba neden olabileceğini hesaplamışlardır. Enerji kullanımına %20 vergi uygulanmasının, karbon emisyonlarını %25,8 oranında azaltabileceği ancak işsizliği artırıp GSYİH'yı %8,8 düşürebileceği belirtilmiştir (Telli vd., 2008). Eski tarihli bir çalışma olmasına rağmen

emisyon kotalarına ilişkin etkinin büyüklüğü konusunun Türkiye ekonomisi için ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermektedir.

Yeldan ve Voyvoda'nın 2015 tarihli çalışmasında da; Türkiye'nin önceliğinin düşük karbonlu kalkınmadan yana olması gerekliliğine vurgu yapılarak 2030 yılına kadar CO2 emisyonunun %20 artacağı hesaplanmıştır. Yapılan analizde, emisyon azaltım çabalarının geciktirilmesinin 2024 yılından sonra olumsuz ekonomik etkilere yol açabileceği ve erken harekete geçmenin önemi vurgulanmaktadır. Çalışma ayrıca Türkiye'nin, iklim politikalarına bütüncül bir yaklaşım benimseyerek önemli emisyon azaltımları sağlaması gerektiğini belirtmekte, ayrıca Türkiye'nin küresel iklim hedeflerine katkıda bulunabileceği ve potansiyel olarak uluslararası iklim finansmanından faydalanabileceği  ne sürmektedir (Yeldan ve Voyvoda, 2015).

Karbon vergisinin olası makroekonomik ve sektörel etkilerinin ele alındığı 2018 tarihli bir çalışmada, Türkiye'deki enerji, tekstil ve diğer hizmet sektörleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Karbon vergisi uygulandığında, emisyonlarda önemli azalmalar kaydedilebileceği, örneğin ton başına 7 dolarlık bir vergi ile %5,75'lik bir azalma saptanmış daha yüksek vergilerle bu oranın %16,95'e kadar çıkabileceği öngörülmüştür. Makroekonomik düzeyde, karbon vergisinin Türkiye'nin GSY H'sinde küçük bir düşüşe yol açacağı düşünülmektedir ki bu düşüş vergi oranına bağlı olarak %0,061 ile %0,328 arasında değişmektedir (Aydın, 2018).

şahin vd.'nin İstanbul Politikalar Merkezi için hazırladıkları “Türkiye'nin Karbonsuzlaşma Yol Haritası: 2050'de Net Sıfır” başlıklı rapor ise Türkiye'nin 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşmak için stratejik yol haritasını ortaya koymaktadır. Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda, elektrik, ulaşım, binalar ve sanayi gibi çeşitli sektörlerde kapsamlı bir dönüşümün önemi vurgulanmaktadır. Yol haritası, iki senaryo analizi önermektedir: *mevcut durum senaryosu* (baz senaryo) ve *net sıfır senaryosu*. Baz senaryo; emisyonları azaltmaya yönelik önemli politika değişiklikleri olmaksızın devam eden ekonomik büyümeyi var sayar ve 2070 yılına kadar karbondioksit emisyonlarında önemli bir artış öngörür. Net sıfır senaryosu ise; emisyonları azaltmak için gerekli müdahaleleri ortaya koyar ve yenilenebilir enerjiye geçiş, elektrifikasyon ve sektörler arası enerji verimliliğinin artırılmasına odaklanır. Ana bulgular, net sıfır senaryosu altında Türkiye'nin toplam karbon emisyonlarının önemli ölçüde azalacağını ve enerji sektörünün bu azaltımda önemli bir rol oynayacağını vurgulamaktadır. Sonuç olarak, Türkiye'nin 1990'dan itibaren yaklaşık %130 artan emisyonlarının, 2018 yılında tepe noktasına ulaştıktan sonra azalmaya başladığı ve 2050 yılında baz senaryoda öngörüldüğü gibi 700 milyon ton yerine, net sıfır senaryosunda %70 azaltımla 132 milyon tona düşeceği öngörülmektedir. Bu durumda, emisyonlar 1990 seviyesinin %13 altına inecektir. Ayrıca, 2050 yılında kalan artık emisyon düzeyi, sanayi prosesleri dahil edilmediğinde, 2018 seviyesine göre %80 azalarak 74 milyon tona düşecek ve 1990 seviyesinin %43 altına inecektir (şahin vd., 2021).

Aşıcı'nın 2021'de İstanbul Politikalar Merkezi için hazırladığı politika notunda belirttiği üzere, Türkiye gibi AB'nin ticaret ortakları olan ülkeler için SKDM, ihracat maliyetlerini artıracak ve özellikle  imento, demir- elik, alüminyum gibi enerji-yoğun sektörlerde rekabet gücünü olumsuz

etkileyebilecektir. Türkiye'nin bu mekanizmadan en az şekilde etkilenebilmesi için karbon fiyatlandırma sistemleri geliştirmesi ve bu sistemleri AB'nin ETS ile uyumlu hale getirmesi önerilmektedir (Aşıcı, 2021).

Acar vd.'nin yaptığı iki senaryolu modelleme sonuçlarına göre 2026 yılından itibaren uygulanacak SKDM'nin, ilgili sanayi kollarında önemli maliyetlere yol açacağı öngörülmektedir. Aynı çalışmada ihracatta SKDM uygulamasının Türkiye ekonomisi üzerinde daraltıcı etki yapacağı vurgulanmaktadır ve Türkiye'nin ETS uygulaması halinde ise büyüme üzerinde olumlu katkı yapacağı hesaplanmıştır (Acar vd., 2022).

Aşıcı'nın bir diğer çalışmasında SKDM'ye ilişkin olarak Türkiye'ye yönelik kritik unsurlar ve bu mekanizmanın etkileri değerlendirmektedir. Çalışmada, Türkiye'nin AB ile ticaretinde karbon maliyetlerinin nasıl hesaplanacağı ve bu maliyetlerin sektörlere göre dağılımı analiz edilmiştir. Buna göre demir-çelik, çimento, elektrik, kimya ve tarım sektörlerinde ETS fiyatlarının 2022 yılı düzeyinde yani 84 Euro/tCO_{2e} olması durumunda Türkiye'nin AB-27'ye ihracatının içerdiği toplam karbon maliyeti 3,029 milyar Euro olarak hesaplanmıştır. Türkiye için önerilen kritik unsurlar arasında, yeşil dönüşüm stratejilerinin hızla benimsenmesi, karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik teknolojilere yatırım yapılması ve uluslararası iş birliği mekanizmalarının güçlendirilmesi yer almaktadır (Aşıcı, 2022).

SKDM'nin Türkiye'nin AB-27 ile olan dış ticaret ilişkisi üzerindeki olası etkilerinin incelendiği diğer bir çalışmada da Türkiye'nin AB-27 pazarına ihraç edilen ürünlerinin AB gümrük bölgesine giriş sırasında ortaya çıkabilecek karbon maliyeti, girdi-çıkıtlı analizi yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Temel bulgulara göre, karbon fiyatının ve ihracat miktarlarının 2022 yılı düzeyinde olması durumunda, Türkiye'nin AB-27'ye ihracatının neden olacağı olası karbon maliyeti yaklaşık 3 milyar Euro (ETS birim fiyatının 84 Euro/tCO_{2e} olması durumunda) olarak hesaplanmıştır. İhracat gelirinde en fazla düşüş yaşanması beklenen sektörler sırasıyla çimento, elektrik, diğer mineralli ürünler, tarım ve demir-çelik sektörleri olarak tespit edilmiştir (Koç ve Kaynak, 2023).

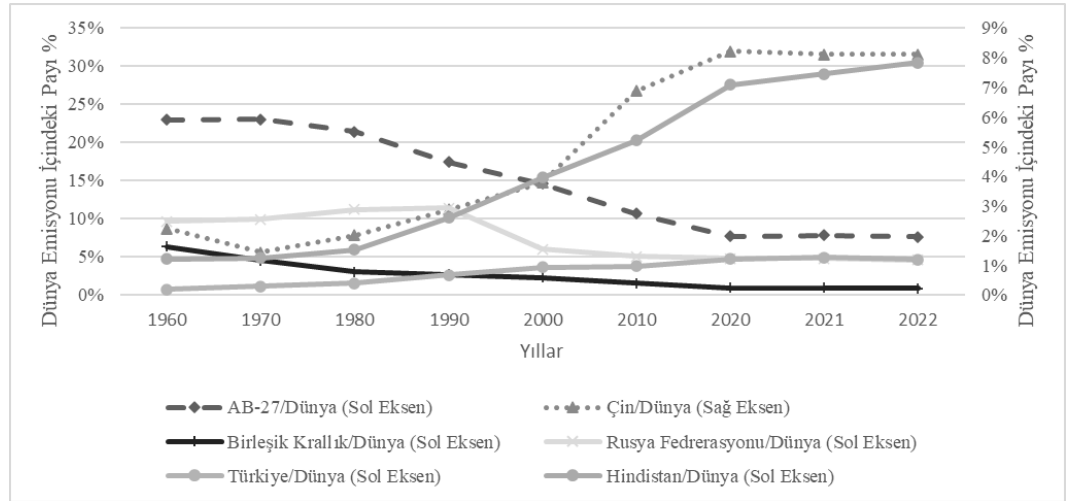
3. Türkiye, AB ve Seçilmiş Ülkeler Karşılaştırmalı Karbon Emisyon Düzeyleri

Bu bölümde küresel emisyonlar göz önüne alınarak dünya ekonomisindeki en yüksek karbondioksit emisyonu ile üretim gerçekleştiren seçilmiş ülkeler ile AB ülkeleri ve Türkiye karşılaştırması yapılmıştır. Tablo 3, 1960-2022 yılları arasında yıllık bölgesel CO₂ emisyonlarını milyon ton cinsinden göstermektedir. Sanayileşmiş ülkelerden bazıları (ABD, Almanya, Japonya) emisyonlarını stabilize etmeye çalışırken, gelişmekte olan büyük ülkelerden (Çin, Hindistan) kaynaklanan emisyonların hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu durum, iklim krizi ile mücadelede gelişmekte olan ülkelerin de önemli bir rol oynayacağını göstermektedir. Türkiye'nin emisyonları ise 1960 yılından bu yana artış göstermiş, 2022 yılında 436 milyon ton CO₂'ye ulaşmıştır. Bu artış, Türkiye'nin ekonomik büyümesi, artan enerji talebi ve çevreci olmayan teknoloji seçimi ile ilişkilendirilebilir. Şekil 1 ise bahsi geçen ülkelerin yıllar itibarıyla gelişimini görsel olarak çarpıcı bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 3: En Çok Kirletici Ülke/Bölgenin Yıllık Emisyonları (Milyon Ton CO2)

	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2021	2022
Cin	799	808	1.494	2.485	3.649	8.621	10.914	11.336	11.397
ABD	2.897	4.340	4.809	5.121	6.010	5.680	4.715	5.032	5.057
Hindistan	111	182	292	578	978	1.677	2.422	2.674	2.830
Rusya Federasyonu	885	1.441	2.129	2.536	1.479	1.633	1.633	1.712	1.652
Japonya	232	768	945	1.157	1.264	1.215	1.040	1.062	1.054
Endonezya	21	36	95	155	281	446	606	616	729
İran	37	92	120	210	364	553	679	688	691
Almanya	814	1.026	1.100	1.055	899	831	647	679	666
Suudi Arabistan	3	45	169	208	302	525	611	631	663
Güney Küre	13	54	135	251	440	594	598	616	601
Kanada	193	341	443	459	567	556	523	537	548
Meksika	63	114	268	317	392	457	442	469	512
Brezilya	47	93	186	219	340	440	445	497	483
Türkiye	17	43	75	152	230	316	413	453	436
Güney Afrika	98	150	228	313	378	463	435	426	404
AB-27 Toplam	2.099	3.331	4.078	3.870	3.602	3.431	2.630	2.806	2.762

Kaynak: Global Carbon Atlas (2024)

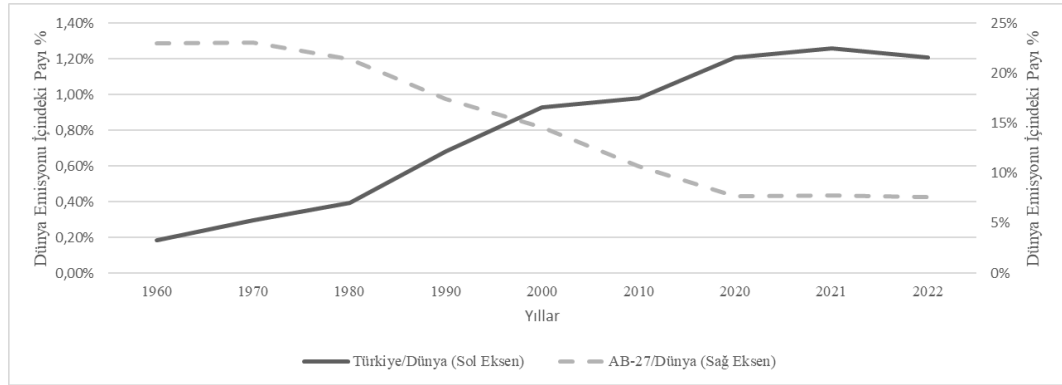
Şekil 1: Seçilmiş Ülkelerin Yıllara Göre Dünya Toplam CO2 Emisyonu İçindeki Payı %

Kaynak: Global Carbon Atlas (2024) verileri ile hazırlanmıştır.

Şekil 2, Türkiye ve AB'nin yıllar itibarıyla karbon emisyonlarındaki ters yönlü ilişkiyi göstermesi açısından dikkat çekicidir. Türkiye'nin dünya emisyonları içindeki payının sürekli artış göstermeye başladığı 1960'larda %0,2 civarında olan bu oran, 2000'li yıllarda hızla artarak 2022 yılında yaklaşık %1,2 seviyesine ulaşmıştır. Bu artış, Türkiye'nin ekonomik büyümesi, sanayileşmesi ve enerji talebinin artması ile doğrudan ilişkilidir. AB-27'nin dünya karbon emisyonları içindeki payı ise 1960 yılından itibaren kademeli olarak azalmıştır. 1960'larda %25'in üzerinde olan bu oran, 2022 yılında yaklaşık %8-10 arasında seyretmiştir. Bu düşüş, AB'de sürdürülebilir kalkınma stratejisinin kabulü ile hız kazanmış ve son kertede AB sanayinin tüm aktörlerini iklim nötr büyüme stratejisi

yönünde destekleyen eylemlere öncelik veren *yeni sanayi stratejisi* ile daha da öne çıkmıştır. Enerji verimliliğini artırma çabaları, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi, karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik politikalarını yeşil ve dijital dönüşümle bir arada destekleyen AB, küresel rekabet edebilirliğinden de ödün vermemek adına sanayisini dönüştürmektedir.

Şekil 2: Türkiye ve AB-27'nin Yıllara Göre Dünya CO2 Emisyonu İçindeki Payı %



Kaynak: Global Carbon Atlas (2024) verileri ile hazırlanmıştır.

Tablo 4, 2020 yılına ait seçilmiş ülkelerin farklı sektörlerdeki karbon emisyonlarını milyon ton CO2 cinsinden göstermektedir. Bu emisyonlar, elektrik/ısıtma, imalat/İNŞAAT, ulaştırma, endüstriyel prosesler, bina, diğer yakıt tüketimi ve kaçak emisyonlar³ gibi sektörlerle göre sınıflandırılmıştır. Çin belirtilen sektörlerde en yüksek kirletici olurken, elektrik ve ısıtma sektörlerinde 5.685 milyon ton CO2 emisyon ile dikkat çekmektedir. Rusya Federasyonu da kaçak emisyonlar kategorisinde ilk sırada yer almaktadır.

Tablo 4: Sektörlere Göre 2020 Yılı Seçilmiş Ülke Emisyonları (Milyon Ton CO2)

	Çin	AB-27	Hindistan	Rusya Federasyonu	Türkiye	Birleşik Krallık
Elektirik/Isıtma	5.685	858	1.115	820	143	89
İmalat/İNŞAAT	2.888	348	501	274	73	30
Ulaştırma	896	701	270	234	79	94
Endüstriyel Prosesler	858	70	123	21	41	4
Bina	454	418	125	210	61	84
Diğer Yakıt Tüketimi	158	69	64	14	10	6
Kaçak Emisyonlar	5	0	3	46		2

Kaynak: World Resources Institute (2024) verilerinden derlenmiştir.

³ Kaçak emisyon, basınç içeren ekipman veya tesislerden ve bir endüstriyel tesis içindeki vanalar, boru flanşları, pompalar, depolama tankları ve kompresörler gibi bileşenlerden kasıtsız ve istenmeyen gaz veya buhar emisyonu, sızıntısı veya tahliyesi olarak tanımlanır (Sotoodeh, K. 2022).

Tablo 5 ve Tablo 6'nın değerlendirilmesi sırasında göz önünde bulundurulması gereken iki önemli nokta bulunmaktadır. Bunlardan ilki, SKDM kapsamındaki HS kodları, NACE sınıflandırması ve sektör dönüşümleri ile ilgilidir. Avrupa Birliği, SKDM'ye ilişkin ekonomik faaliyetleri açıklarken PRODCOM sınıflandırmasını kullanmaktadır. PRODCOM'un ilk dört hanesi, AB'deki Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiksel Sınıflandırması (NACE) içindeki karşılık gelen sınıfı ifade etmektedir. PRODCOM, sekiz haneli ETS kodlarına kadar ekonomik aktivite tanımlamaları yaparken, verilerin temin edildiği OECD veri tabanında ise sadece iki haneli aktivite kodları bulunmaktadır. Bu nedenle, ilgili tablolardaki sektör kapsamı yalnızca belirtilen ekonomik aktivitelerle konsolide edilerek sunulmuştur. İkinci nokta olarak, OECD veri tabanındaki emisyon değerleri doğrudan ve dolaylı emisyonların toplamını içermektedir. Öte yandan, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), ilgili ekonomik aktivite gruplarında yalnızca doğrudan emisyon değerlerini paylaşmaktadır (TÜİK, 2023). Bu farklılık nedeniyle, OECD emisyon değerleri doğal olarak yüksek çıkmaktadır. AB, SKDM kapsamında doğrudan ve dolaylı tüm emisyonları vergilendirmeye dahil ettiğinden, bu çalışmada ilgili tablolarda OECD emisyon değerleri esas alınmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde yapılan potansiyel karbon vergisi maliyet hesaplamalarında, doğrudan AB mevzuatında yer alan emisyon değerleri dikkate alınmıştır. Yani, SKDM Tüzüğü'nün (AB) 2023/956 sayılı Ek IV'ünde belirtilen değer ve yöntemler esas alınmıştır (European Commission, 2023a).

Tablo 5'te yer alan veriler Türkiye'nin yıllara göre SKDM kapsamında yer alan sektörlerindeki toplam emisyonlarını göstermektedir. 2021 yılında toplam emisyonlar 452,04 milyon ton CO₂ olarak kaydedilmiştir, bu da 2010 yılına kıyasla önemli bir artışı temsil etmektedir. 2010 yılında toplam emisyonlar 316,19 milyon ton CO₂ iken, 2021 yılına gelindiğinde bu miktar yaklaşık %43 oranında artmıştır. Elektrik kategorisi karbondioksit emisyonlarında birinci sırada yer alırken, çimento sektörü ikinci sırada yer almaktadır. Genel olarak, Türkiye'nin SKDM kapsamındaki sektörlerdeki toplam emisyonları 2010'dan 2021'e kadar düzenli olarak artmıştır. Bu artış trendi, karbon azaltım politikalarının önemini vurgulamaktadır, çünkü SKDM'nin etkileri bu emisyonların azaltılmasını gerektirmektedir.

Tablo 5: Türkiye'nin Yıllara Göre SKDM Kapsamındaki Sektörlerdeki ve Ekonomik Aktivitelere Toplam Emisyonları (Milyon Ton CO₂)

Sektör	NACE Rev. 2 Aktivite Kodları	NACE Rev. 2 Ekonomik Aktivite	2010	2015	2019	2020	2021
Çimento	C23	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	55,77	70,73	64,54	77,20	83,90
Elektrik	D	Elektrik, Gaz, Buhar ve Havalandırma Sistemi Üretim ve Dağıtım	101,50	119,52	130,37	123,30	139,45
Gübre-Hidrojen	C20	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	1,07	2,35	2,22	2,12	3,27
Demir-Çelik	C24 ve C24	Ana metal sanayi ve Makine ve teçhizat hariç, fabrikasyon metal ürünleri imalatı	20,09	27,84	26,68	27,52	31,63
Diğer Sektörler	Diğer Tüm Kodlar	Diğer Tüm Aktiviteler	137,76	164,49	179,15	182,35	193,80
Tüm Sektörler Toplamı			316,19	384,93	402,95	412,48	452,04

Kaynak: OECD (2024) verilerinden derlenmiştir.

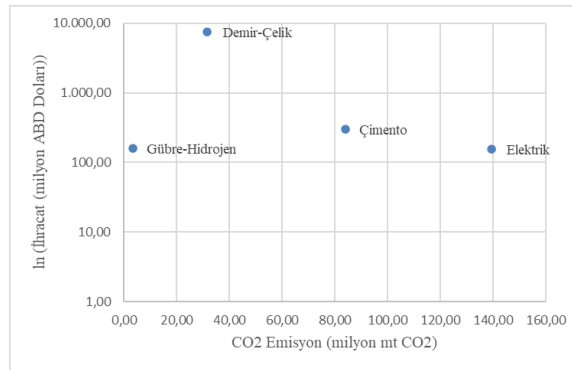
Tablo 6 ve Şekil 3 ise; Türkiye'nin SKDM kapsamındaki ihracat mal kategorilerinde 2021 yılında AB-27'ye yaptığı toplam ihracat ile bu sektörlerdeki toplam emisyon miktarlarını göstermektedir. Demir-çelik sektörü yüksek ihracat hacmine rağmen göreceli olarak düşük karbon salımı gerçekleştirmektedir. Çimento ise daha yüksek karbon salımı yapan bir sektördür. Paris Anlaşması kapsamında Nisan 2023 tarihinde Türkiye'nin sunduğu Birinci Ulusal Katkı Beyanı'ndaki sera gazı emisyonları resmi hedeflerinin tutturulabilmesi için gerekli teknolojik dönüşümler yapılırken bu tespitlerin dikkate alınması gerekir.

Tablo 6: Türkiye'nin 2021 Yılı SKDM Kapsamındaki Sektörlerinin İhracatı ve Ekonomik Aktivitelerin Emisyonları

Sektör	NACE Rev. 2 Aktivite Kodları	NACE Rev. 2 Ekonomik Aktivite	CO2 Emisyonu (milyon mt CO2)	HS Kodları	İhracat (milyon ABD Doları)
Çimento	C23	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	83,90	250700, 252310, 252321, 252329, 252330, 252390	299,78
Elektrik	D	Elektrik, Gaz, Buhar ve Havalandırma Sistemi Üretim ve Dağıtım	139,45	271600	155,71
Gübre-Hidrojen	C20	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	3,27	2814, 3102, 3105, 280800, 283421, 310210, 280410	160,66
Demir-Çelik	C24 ve C24	Ana metal sanayi ve Makine ve teçhizat hariç, fabrikasyon metal ürünleri imalatı	31,63	7203, 7205, 7206, 7207, 7208, 7209, 7210, 7211, 7212, 7213, 7214, 7215, 7216, 7217, 7218, 7219, 7220, 7221, 7222, 7223, 7224, 7225, 7226, 7227, 7228, 7229, 7301, 7302, 7303, 7304, 7305, 7306, 7307, 7308, 7309, 7310, 7311, 7318, 7326	7.461,40

Kaynak: OECD (2024) ve United Nations (2024) verilerinden derlenmiştir.

Şekil 3: Türkiye'nin 2021 Yılı SKDM Kapsamındaki İhracatı ve İlgili Sektörlerin Emisyonları



Kaynak: OECD (2024) ve United Nations (2024) verileri ile hazırlanmıştır.

4. Türkiye'nin Karbon Salımı Yüksek İhracat Sektörlerinin Uluslararası Karşılaştırması

Bu bölümde SKDM kapsamındaki sektörlerde farklı ülkelerin ihracat performansları, bu performanslara bağlı CO2 emisyonları ve uzun vadeli eğilimler hakkındaki bulgular sunulmaktadır. Özellikle Çin, Türkiye, Hindistan, Rusya Federasyonu ve Birleşik Krallık gibi ülkelerin verileri analiz

edilerek küresel ticaretin çevresel etkileri ortaya koyulmuştur.

Bu bölümde yapılan sektör bazında ihracat ve ithalat tutarlarının konsolidasyonu SKDM kapsamına giren ve bu araştırmamızın konusu olan sektörlerdeki dış ticaret malları SKDM Tüzüğünün (AB) 2023/956 sayılı Ek I'deki tablosunda yer almaktadır. Buna göre; Demir ve  elik: 7203, 7205, 7206, 7207, 7208, 7209, 7210, 7211, 7212, 7213, 7214, 7215, 7216, 7217, 7218, 7219, 7220, 7221, 7222, 7223, 7224, 7225, 7226, 7227, 7228, 7229, 7301, 7302, 7303, 7304, 7305, 7306, 7307, 7308, 7309, 7310, 7311, 7318, 7326; Alüminyum: 7601, 7603, 7604, 7605, 7606, 7607, 7608, 7610, 7612, 7614, 7616, 760900, 761100, 761300;  imento: 250700, 252310, 252321, 252329, 252330, 252390; Elektrik: 271600; Gübre: 2814, 3102, 3105, 280800, 283421, 310210; Hidrojen: 280410 (European Commission, 2023a).

AB'nin en çok ithalat gerçekleştirdiği yirmi ülkenin sıralandığı Tablo 7'de yer alan SKDM 1. Faz kapsamındaki sektörlerindeki 2023 yılı verilerine göre Çin, AB-27'ye en yüksek ihracat yapan ülke olarak 16.110 milyon ABD doları değerinde toplam ihracat gerçekleştirmiştir. Bu ihracatın büyük kısmı demir- elik sektöründen gelmekte olup, Çin'in bu sektördeki baskın rolünü sürdürdüğünü göstermektedir. Türkiye, 10.110 milyon ABD doları ihracatla ikinci sırada yer almakta ve özellikle demir- elik ile alüminyum sektörlerinde güçlü bir performans sergilemektedir. Birleşik Krallık, Hindistan ve Rusya Federasyonu gibi ülkeler de AB-27'ye yaptıkları ihracat açısından önemli bir konumda bulunmakta, özellikle demir- elik, alüminyum ve elektrik gibi sektörlerde  ne çıkmaktadırlar. Rusya Federasyonu'nun özellikle gübre sektöründeki yüksek ihracat hacmi, bu sektörün AB-27 ile ticaretinde önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir.

Tablo 7: AB-27'nin SKDM 1. Faz Kapsamındaki Sektörlere Göre 2023 Yılı İthalatı (Milyon ABD Doları)

	Alüminyum	�imento	Demir ve �elik	Elektrik	Gübre	Hidrojen	Genel Toplam
Çin	3.127	13	12.612	0.0	358	0.0	16.110
Türkiye	2.986	295	6.539	167	123	0.0	10.110
Birleşik Krallık	1.438	135	5.258	888	162	0.6	7.883
Hindistan	1.796	8	4.956	0.0	3	0.0	6.763
Rusya Federasyonu	1.692	0.0	2.437	69	1.917	0.0	6.115
Kore Cumhuriyeti	455	0.0	4.445	0.0	15	0.0	4.915
ABD	851	124	2.809	0.0	496	0.1	4.281
Mısır	463	45	1.000	0.0	2.188	0.0	3.695
Sırbistan	337	2	973	1.815	115	0.4	3.242
Vietnam	148	14	2.595	0.0	16	0.0	2.774
Japonya	154	8	2.386	0.0	8	0.0	2.556
BAE	1.889	5	446	0.0	59	0.0	2.400
Ukrayna	75	123	2.003	45	59	0.0	2.305
Cezayir	0.2	128	257	0.0	1.077	0.0	1.462
Brezilya	85	87	924	0.0	1.5	0.0	1.098
Bosna-Hersek	330	36	444	262	1.3	0.0	1.074
Mozambik	1.067	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.067
Malezya	651	12	321	0.0	25	0.0	1.010
Fas	60	27	74	36	729	0.0	927

Kaynak: United Nations (2024) verilerinden derlenmiştir.

Tablo 8'den AB'nin 2010-2023 yılları arasında en çok ithalat yaptığı yirmi ülkenin verilerine bakıldığında, Çin'in ihracat hacminin yıllar içinde önemli bir artış gösterdiği ve 2022 yılında zirveye ulaştığı görülmektedir. Ancak 2023 yılında, Çin'in ihracatında bir önceki yıla göre bir düşüş yaşanmıştır. Bu durum, Çin'in küresel ticaretteki baskın rolünü koruduğunu ancak ekonomik ve ticari dinamiklerdeki değişimlere bağlı olarak dalgalanmalar yaşadığını göstermektedir. Türkiye ise özellikle 2019'dan sonra ihracat hacmini hızla artırmış, 2021 ve 2022 yıllarında en yüksek seviyelere ulaşmıştır. Ancak 2023 yılında Türkiye'nin ihracatında bir düşüş gözlemlenmiştir ki bu da küresel ticaret dinamiklerindeki değişimlerin Türkiye ekonomisini etkilediğini göstermektedir. Rusya Federasyonu ve Hindistan gibi ülkeler de benzer trendler göstermiş, özellikle Rusya'nın 2021 yılındaki zirve seviyesindeki ihracat hacmi dikkat çekmiştir. Hindistan'ın ihracat trendi de sürekli bir artış eğilimi göstermiş, özellikle 2021 ve 2022 yıllarında büyük sıçramalar kaydedilmiştir. İhracatçı ilk beş ülkenin 2010-2023 yılları arasında ihracatlarının ortalama büyüme hızına baktığımızda Hindistan %13 ile birinci sırada yer alırken, Türkiye %10,3 ile ikinci en hızlı ihracat büyümesi gerçekleştiren ülke olmuştur. Göreceli daha düşük ihracat hacmine sahip olan Vietnam özellikle 2019-2023 yılları arasında gösterdiği performans ile 2010-2023 yılları arasında ortalama %24'lük ihracat büyümesi ile dikkat çekmektedir.

Tablo 8: AB-27'nin SKDM 1. Faz Kapsamındaki Sektörlere Göre İthalatı (Milyon ABD Doları)

	2010	2015	2019	2020	2021	2022	2023
Çin	7.824	10.360	12.533	10.512	14.247	20.510	16.110
Türkiye	3.081	3.532	7.303	6.018	10.889	13.990	10.110
Birleşik Krallık	8.055	6.780	6.950	6.338	8.051	12.921	7.883
Hindistan	1.448	2.147	3.397	2.819	6.021	8.045	6.763
Rusya Federasyonu	9.325	9.598	11.140	8.317	15.125	12.641	6.115
Kore Cumhuriyeti	1.780	2.404	3.390	3.079	3.777	5.277	4.915
ABD	2.885	3.513	3.647	2.817	3.083	4.521	4.281
Mısır	1.811	757	1.512	1.467	3.116	5.012	3.695
Sırbistan	1.272	1.154	1.742	1.413	2.529	3.840	3.242
Vietnam	182	427	692	740	2.153	3.134	2.774
Japonya	1.418	1.187	1.036	952	1.821	2.461	2.556
BAE	506	1.192	1.463	993	1.638	2.711	2.400
Ukrayna	3.725	3.014	3.611	3.068	6.225	3.578	2.305
Cezayir	274	1.047	729	519	1.739	3.731	1.462
Brezilya	984	1.337	971	504	524	1.326	1.098
Bosna-Hersek	619	609	829	719	1.587	1.421	1.074
Mozambik	1.141	786	1.062	964	1.040	1.712	1.067
Malezya	337	271	536	299	414	1.187	1.010
Fas	353	439	487	582	900	948	927
Bahreyn	389	172	459	371	744	1.112	923

Kaynak: (United Nations, 2024) verilerinden derlenmiştir.

Türkiye'nin AB-27'ye SKDM kapsamındaki sektörlerdeki ihracatı, 2010 yılından 2023 yılına kadar olan dönemde önemli dalgalanmalar göstermiştir. 2010 yılında 3.081 milyon ABD doları olan ihracat, 2022'de 13.990 milyon ABD dolarına kadar yükselmiş, ancak 2023 yılında bu rakam 10.110 milyon ABD dolarına gerilemiştir (Tablo 9). Türkiye'nin en güçlü ihracat kalemleri arasında demir-çelik ve alüminyum yer almaktadır. Demir-çelik sektörü, Türkiye'nin ihracatında her zaman önemli bir paya sahip olmuş ve 2023 yılında da bu sektör, en büyük ihracat kalemi olmaya devam etmiştir. Alüminyum sektörü de Türkiye'nin ihracatında önemli bir rol oynamaktadır ve 2023 yılı itibarıyla 2.986 milyon ABD doları değerinde ihracat gerçekleştirilmiştir. Ancak, 2022 yılına göre bahsi geçen tüm sektörlerde bir miktar düşüş yaşanmıştır.

Tablo 9: Türkiye'nin AB-27'ye SKDM 1. Faz Kapsamındaki Sektöre Göre İhracatı (Milyon ABD Doları)

	2010	2015	2019	2020	2021	2022	2023
Demir ve Çelik	1.781	2.060	5.458	4.237	7.461	8.979	6.539
Alüminyum	997	1.244	1.525	1.432	2.811	3.962	2.986
Çimento	229	76	130	189	300	357	295
Elektrik	0	28	94	70	156	198	167
Gübre	74	125	96	89	161	493	123
Hidrojen	0.000	0.002	0.000	0.004	0.000	0.006	0.008
Toplam	3.081	3.532	7.303	6.018	10.889	13.990	10.110

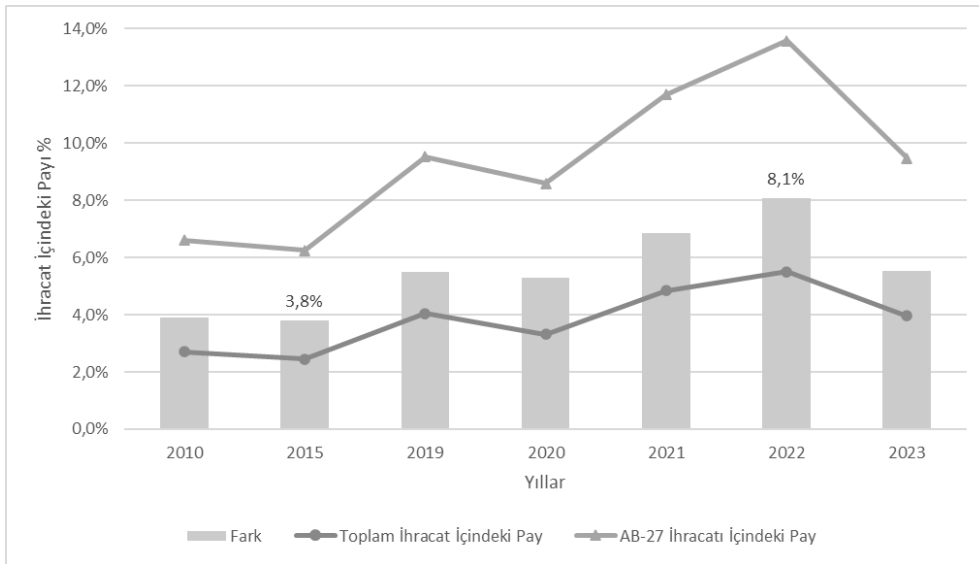
Kaynak: United Nations (2024) verilerinden derlenmiştir.

Türkiye'nin toplam ihracatı içinde SKDM 1. Faz kapsamındaki sektörlerin payı yıllar içinde artış göstermiştir. 2010 yılında bu sektörlerin toplam ihracat içindeki payı %2,7 iken, 2022 yılında %5,5'e yükselmiştir. AB-27'ye yönelik ihracat içindeki pay ise 2010'da %6,6 iken, 2022'de %13,6'ya kadar çıkmıştır (Şekil 4). Ancak, 2023 yılında bu oranlarda bir düşüş görülmektedir. Bu durum, Türkiye'nin bu sektörlerde AB-27'ye ihracatında güçlü bir performans sergilediğini, ancak 2023 yılında genel olarak bir duraklama yaşandığını göstermektedir. Toplam ihracat içindeki bu dalgalanma, Türkiye'nin ihracat stratejilerinde ve küresel ticaret koşullarında yaşanan değişimlere duyarlılığını ortaya koymaktadır. İhracat değerlerinin yer aldığı Tablo 10'da 2010-2023 yılları arasında gelişim yer almaktadır. SKDM 1. Faz kapsamındaki sektörlerde Türkiye'nin AB'ye olan ihracatı 2010 yılında yaklaşık 3 milyar dolar iken 2022 yılında 13,9 milyara yükselmiş, 2023 yılında bir miktar gerileyerek 10,1 milyar dolar seviyesinde gerçekleşmiştir.

Tablo 10: Türkiye'nin AB-27 SKDM 1. Faz Kapsamındaki Sektörlerdeki İhracatının Toplam İhracat İçindeki Payı (Milyon ABD Doları)

	2010	2015	2019	2020	2021	2022	2023
Türkiye'nin Toplam İhracatı	113.883	143.850	180.833	181.659	225.264	254.192	255.627
Türkiye'nin Toplam AB-27 İhracatı	46.674	56.479	76.726	70.020	93.053	103.049	106.681
Türkiye'nin AB-27 SKDM 1. Faz Kapsamındaki Sektörlerdeki Toplam İhracatı	3.081	3.532	7.303	6.018	10.889	13.990	10.110

Kaynak: United Nations (2024) verilerinden derlenmiştir.

Şekil 4: Türkiye'nin SKDM 1. Faz Kapsamındaki Sektörde Ülke Bazında İhracatı (Milyon ABD Doları)

Kaynak: United Nations (2024) verilerinden hazırlanmıştır.

2022 yılı verilerine göre, Çin, en yüksek ihracat hacmine sahip ülke olarak öne çıkmaktadır ve aynı zamanda en büyük bölgesel karbondioksit emisyonunu gerçekleştirmektedir. Çin, 20,51 milyar ABD doları ihracat gerçekleştirirken, bu ihracatın yol açtığı karbon emisyonu 11.396,78 milyon ton olmuştur. Bu, Çin'in yüksek üretim kapasitesinin büyük çevresel maliyetlerle geldiğini göstermektedir. Türkiye, 13,99 milyar ABD doları ihracatla önemli bir ticaret hacmi yakalamış, ancak karbon emisyonları 435,68 milyon ton olarak daha düşük seviyelerde kalmıştır. Bu durum Türkiye'nin daha düşük emisyon yaratan bir üretim sürecine sahip olabileceğini düşündürmektedir. Hindistan ise daha düşük bir ihracat hacmine sahip olmasına rağmen, oldukça yüksek bir karbon emisyonuna sahiptir ki bu da Hindistan'ın üretim süreçlerinin karbon yoğunluğunu yansıtmaktadır (Tablo 11)

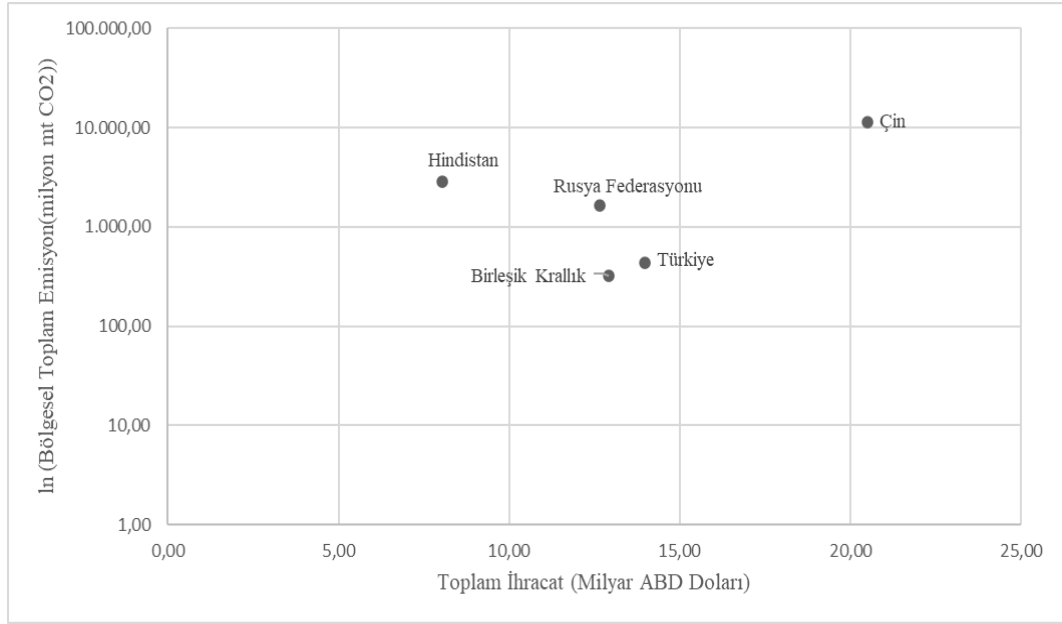
Tablo 11: Ülkeler Bazında AB-27'ye SKDM 1. Faz Kapsamındaki Sektörlerin İhracatı ve CO2 Emisyonu (2022)

	Toplam İhracatı (Milyar ABD Doları)	Bölgesel Toplam Emisyon(milyon mt CO2)
Çin	20,51	11.396,78
Hindistan	8,05	2.829,64
Rusya Federasyonu	12,64	1.652,18
Türkiye	13,99	435,68
Birleşik Krallık	12,92	318,65

Kaynak: World Resources Institute (2024) ve United Nations (2024) verilerinden oluşturulmuştur.

Toplam emisyon ve ihracat ilişkisinin yer aldığı Şekil 5'te görüleceği gibi Çin grafikte en üst noktada yer alırken, Türkiye Birleşik Krallık ile görece daha düşük emisyon seviyesi yaratan ihracat yapmaktadır.

Şekil 5: Seçilmiş  lkeler Bazında Toplam İhracat ve Bölgesel Toplam Emisyon

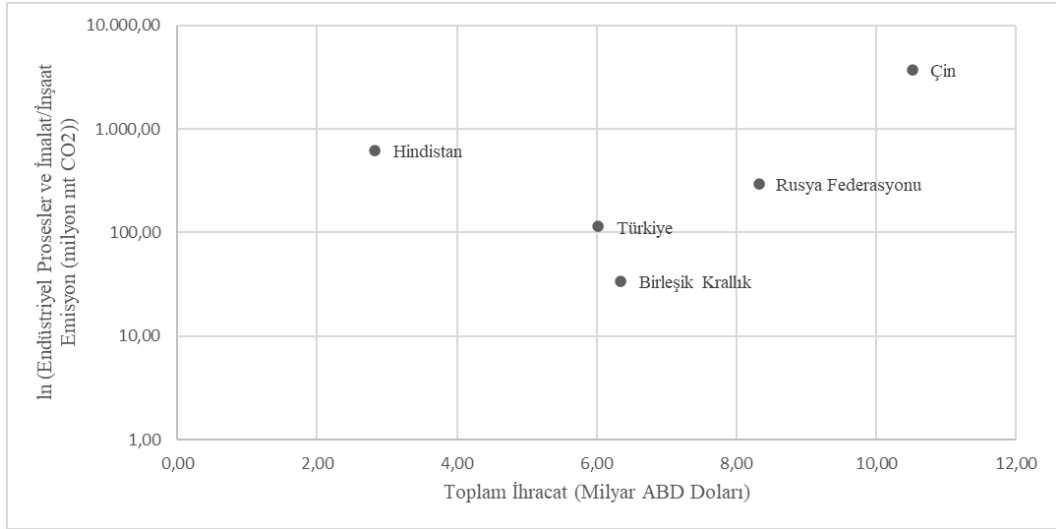


Kaynak: World Resources Institute (2024) ve United Nations (2024) verilerinden oluşturulmuştur.

Tablo 12: 2020 Yılı AB-27'ye SKDM 1. Faz Kapsamındaki Sektörlerdeki Seçilmiş  lke Bazında İhracat ile Endüstriyel Prosesler ve İmalat/İnşaat CO2 Emisyonu

	Toplam İhracatı (Milyar ABD Doları)	Endüstriyel Prosesler ve İmalat/İnşaat Emisyon (milyon mt CO2)
Çin	10,51	3.745,73
Hindistan	2,82	624,22
Rusya Federasyonu	8,32	294,13
Türkiye	6,02	114,09
Birleşik Krallık	6,34	33,65

Kaynak: World Resources Institute (2024) ve United Nations (2024) verilerinden oluşturulmuştur.

Şekil 6: Seçilmiş Ülke Bazında İhracat ile Endüstriyel Prosesler ve İmalat/İnşaat CO2 Emisyonu (2020)

Kaynak: World Resources Institute (2024) ve United Nations (2024) verilerinden oluşturulmuştur.

Tablo 12’de yer alan 2020 yılında endüstriyel prosesler ve imalat/inşaat emisyonlarının toplam ihracat ile ilişkilendiği veriler incelendiğinde, Çin’in yine en yüksek ihracat ve emisyon rakamlarına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Çin, 10,51 milyar ABD doları ihracat gerçekleştirmiş ve bu ihracatın endüstriyel prosesler ve imalat/inşaat sektörlerinden kaynaklanan CO2 emisyonları 3.745,73 milyon ton olmuştur. Diğer ülkelerle karşılaştırıldığında, Çin’in bu sektördeki emisyonlarının çok daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye ise 6,02 milyar ABD doları ihracat yapmış ve 114,09 milyon ton CO2 emisyonu üretmiştir. Bu durum, Türkiye’nin bu sektörlerde daha düşük karbon yoğunluğuna sahip üretim süreçleri kullandığını göstermektedir. Bu veriler, özellikle Türkiye gibi ülkeler için sürdürülebilir üretim teknolojilerine yatırım yapmanın ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Şekil 6’da da adı geçen beş ülkenin toplam ihracat ile karbon emisyonları arasındaki ilişki görsel olarak gösterilmiştir.

Sonuç olarak bu veriler ve analizler ülkelerin küresel ticaretteki pozisyonlarını, sanayi kapasitelerini ve çevresel etkilerini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Çin’in baskın bir ekonomik güç olarak öne çıkmasının çevresel etkileri de bir o kadar büyük olmuştur. Türkiye ise ihracat hacmini artırmış ancak emisyon oranlarını göreceli olarak düşük tutmayı başarmıştır. Ancak bu seviyeler yine de SKDM kapsamındaki sınırların oldukça üzerindedir. Bu durum, Türkiye’nin sürdürülebilir bir sanayi yapısına geçişte önemli adımlar atması gerektiğini bir kez daha göstermektedir. Hindistan ve Rusya Federasyonu gibi ülkeler de dikkat çeken ihracat hacimlerine sahipken, Hindistan’ın yüksek emisyon oranları çevresel sürdürülebilirlik açısından daha fazla dikkat gerektiren bir durum yaratmaktadır. Rusya Federasyonu’nun 2022 yılında başlayan ve 2023 yılında etkisini çok daha fazla gösteren ihracat seviyesindeki kayıplar Ukrayna ile olan savaşın sonrasında tüm dünyada uygulanan ambargonun bir sonucudur. Bu boşluğu kısmen Çin ve Türkiye’nin doldurduğu söylenebilir.

5. Türkiye'nin Karbon Salımı Yüksek Sektör İhracatçıları İçin Olası SKDM Maliyetlerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde SKDM'nin Türkiye'nin ihracatı üzerindeki potansiyel maliyetinin büyüklüğünü göstermek için olası SKDM maliyetlerine ilişkin iki senaryodan oluşan tahminler yapılmıştır. Bu hesaplamaya sadece SKDM'nin birinci fazına dahil olan ve Türkiye'nin AB-27'ye yaptığı ihracat içinde önemli yer tutan demir- elik, alüminyum,  imento ve g breyi kapsayan sektörler dahil edilmiştir, SKDM kapsamına giren hidrojen ve elektrik sektörleri ise ihracat payları düşük olduğu için hesaplamalara dahil edilmemiştir.

5.1. Temel Varsayımlar ve Metodoloji

AB karbon tahsisat fiyatları, sistemin kurulduğu 2019 yılında ortalama 24,64 Euro/ton CO2 olmuş ve 2023 yılına kadar yükseldikten sonra 2024 yılında bir düşüş trendine girmiştir. 2024 yılı ilk 9 ay ortalaması 70 Euro dolaylarındadır. 2025-2034 döneminde tahmini karbon fiyatlarının ne kadar olacağına dair yapılmış çalışmalar mevcuttur. Brand vd.'nin çalışmasında karbon fiyatının 2021'de 85 Euro'dan 2030'da ton CO2 emisyonu başına 140 Euro'ya yükseleceği varsayılmıştır (Brand vd., 2023). Bir diğer çalışmada (Konradt vd., 2024) 55'e Uyum Paketi kapsamında karbon fiyatının, 2021'de ton başına 50 Euro'dan 2030'a kadar 150 Euro'ya kadar istikrarlı bir şekilde artması öngörüsünden hareketle ton başına yıllık 7,5-10 Euro'luk bir artış göstereceğini hesaplamışlardır. Breckenfelder vd.'nin karbon vergisi fiyat tahmini CO2 emisyonlarının tonu başına 50 ila 100 Euro arasında değişmektedir (Breckenfelder vd., 2023).

Bizim hesaplamalarımızda karbon vergisi ödemelerinin başlayacağı 2026 yılından 2031 yılına kadar karbon vergisi 75 Euro/ton CO2, 2032-2034 arasında ise 150 Euro olarak varsayılmıştır. Toplam emisyon değerleri hesaplanırken AB tarafından yayınlanan geçiş dönemine ilişkin varsayılan değerler kullanılmıştır. Bu değerler Tablo 13'te verilmiştir. Ayrıca hesaplamaya dahil olan sektörlerdeki eşyalar karmaşık eşya olarak kabul edilmiş ve dolayısıyla doğrudan ve dolaylı tüm emisyon değerleri toplamı esas alınmıřtır⁴ (European Commission, 2023c).

Tablo 13: SKDM'nin Geçiş Dönemi İçin Varsayılan Emisyon Değerleri (Ton CO2e/Ton Eşya)

	Doğrudan Emisyon	Dolaylı Emisyon	Toplam Emisyon
Alüminyum	2,73	8,95	11,68
Çimento	0,85	0,06	0,92
Gübre	1,54	0,08	1,63
Demir ve �elik	1,99	0,68	2,68

Kaynak: European Commission (2023a)'dan konsolide edilmiştir.

4 Basit eşya, gömülü emisyon değeri sıfır olan malzeme girdilerinden üretilen ve bu nedenle sadece üretim faaliyeti sırasında gerçekleşen emisyonların esas alındığı eşyalardır. Karmaşık eşyada ise üretim sürecinde kullanılan girdilerin üretimi sırasında çıkan emisyonları da dahil eden eşyadır (European Commission, 2023b). Gerçek emisyon, ölçümlere veya üretim süreçleri sırasında elde edilen verilere dayanılarak hesaplanan emisyon değeridir. Varsayılan emisyon ise gerçek emisyonların bilinemediği durumlarda kullanılır. Varsayılan emisyon ayrıca dolaylı emisyon hesaplamalarında referans değer olarak kullanılır. (European Commission, 2023b).

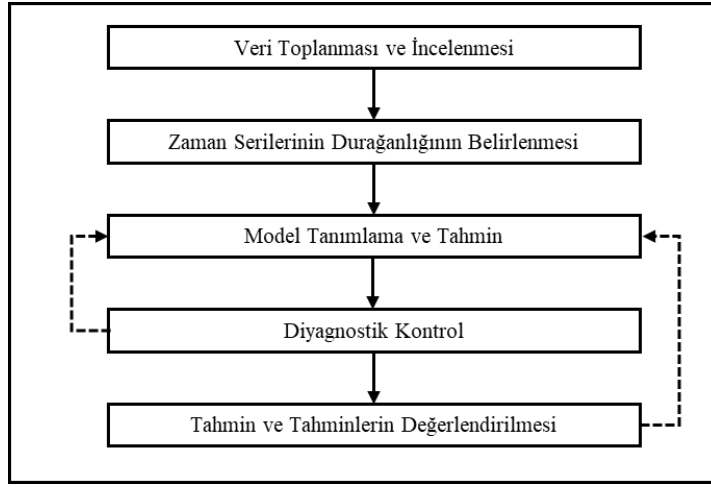
Ayrıca hesaplamalar yapılırken tüm karbon vergisi yükümlülüğünün ihracatçı ülkede (Türkiye) olacağı ve ulusal bir ETS tesis edilmeyeceği varsayılmıştır. Diğer bir güçlü varsayım ise Türkiye'nin hesaplamaya dahil sektörlerdeki tüm ihracatçı firmalarının varsayılan emisyon değerlerinin altında emisyon gerçekleştirmediği ve hesaplama döneminde de bir iyileştirme olmayacağıdır.

Bu bölümde, Türkiye'nin belirtilen ihraç malları (alüminyum, çimento, demir-çelik ve gübre) için 2024-2032 dönemine ilişkin potansiyel karbon vergisi maliyetlerinin niceliksel tahminlerinin sunulması hedeflenmektedir. Bu analizdeki amaç; tüm makroekonomik ve pazarla ilgili değişkenleri içeren kapsamlı bir ekonometrik model oluşturmak değil, politika yapıcılar ve paydaşlar için karbon vergisinin olası mali etkilerine dair yaklaşık bir tahmin sunmaktır. Bu yaklaşım, Chatfield'in 1996 tarihli çalışmasında belirttiği gibi; basit modellerin çoğu zaman pratik amaçlar için yeterince güvenilir tahminler sunabileceği fikrine dayanmaktadır. Kullanılan ARMA ve AR tahmin modelleri ekonomik verilerdeki zamana bağlı örüntüleri yakalamadaki başarılarıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Hamilton, 2020). Bu modeller, ilgili diğer dışsal değişkenlerin sınırlı tutulmak istenmesi durumlarda, tahminlerin oluşturulması açısından kullanışlı olabilmektedir (Granger ve Newbold, 2014).

Bu çalışmada, gelecekteki ihracat miktarları ve fiyatlarının tahmini için iki senaryo uygulanmıştır. Temel senaryo ARMA ve AR modellerinden elde edilen tahmin edilen değerleri yansıtırken, üst sınır senaryosunda ise temel tahminlere +2 standart hata eklenerek hesaplanmıştır. Üst sınır senaryosu, politika yapıcılara daha geniş bir tahmin aralığı sunarak farklı piyasa koşulları altında olası maliyetleri öngörmeye yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada kapsamlı tahminler yerine pratik maliyet aralıkları sunan basitleştirilmiş bir yaklaşım kullanılmıştır. Örneğin (Carbone ve Smith, 2013) makalelerinde, çevre vergilerinin ekonomik etkilerinin tahmin edilmesindeki belirsizlikleri tartışmakta ve ön tahminler için basitleştirilmiş modellerin kullanılmasını desteklemektedir. Bizim çalışmamızda izlenen yaklaşım da benzer bir anlayışı yansıtmaktadır. Türkiye'nin maruz kalacağı karbon vergisine dair tahmini maliyet hesaplamaları için makul ihraç rakamları ve ihraç malı fiyatları aralığı oluşturulmuştur. Hem temel hem de üst sınır senaryolarını içeren bu aralık, dış piyasa değişkenleri ve makroekonomik faktörleri içeren daha ayrıntılı çalışmalar için bir temel oluşturabilir. Şekil 7'de tahmin prosedürü özetlenmiştir.

Şekil 7: ARMA ve AR Tahmin Prosedürü



Denklem 1

Toplam Karbon Vergisi=İthalat Hacmi (ton) x Emisyon Yoğunluğu (CO₂ eşdeğeri/ton) x Karbon Fiyatı (Euro/ton) x AB ETS Bedelsiz Ödenekler Yıllık Azaltılma Oranı (%)

5.2. Hesaplama Sonuçları

ARMA ve AR modellerinin sonuçları Tablo 14'te özetlenmiştir. Özetle R², AIC, Durbin-Watson ve p-değerleri yer almaktadır. Detaylı sonuçlar makalenin sonunda yer alan ekte sunulmuştur.

Tablo 14: ARMA ve AR Modelleri Özet Sonuçları

Model	R ²	AIC	Durbin-Watson	Prob.
Alüminyum Fiyat Endeksi AR	0,456	8,854	1,763	0,000
Çimento Fiyat Endeksi ARMA	0,704	-2,341	0,954	0,000
Gübre Fiyat Endeksi ARMA	0,323	0,651	1,594	0,012
Demir-Çelik Fiyat Endeksi AR	0,813	10,22	1,631	0,000
Alüminyum İhracat Miktar AR	0,875	39,074	2,025	0,000
Çimento İhracat Miktar AR	0,713	44,027	1,130	0,000
Gübre İhracat Miktar AR	0,368	40,015	2,122	0,000
Demir-Çelik İhracat Miktar AR	0,686	44,501	2,164	0,000

ARMA ve AR modellerinden elde edilen ton cinsinden ithalat hacim rakamları Tablo 13'te yer alan ürün bazındaki emisyon yoğunlukları, tahmini karbon fiyatları ve Tablo 1'de yer alan ETS bedelsiz ödenekler yıllık azaltılma oranları ile çarpılarak toplam karbon vergisi tutarları hesaplanarak (bkz. Denklem 1) sonuçlar Tablo 15'te paylaşılmıştır. Buna göre 2026 yılında %2,5 ile başlayacak ve kademeli olarak 2034 yılında %100'e ulaşacak bedelsiz ödenek oranları ile 75 ve 150 Euro/ton CO₂ karbon tahsisat fiyatları varsayıldığında 9 yılda toplam 10,2 milyar ile 21,5 milyar Euro arasında

bir toplam karbon vergisi tutarı hesaplanmıştır. Alüminyum ve demir-çelik en yüksek toplam vergi tutarının oluşacağı sektörler olarak öngörülmektedir.

Tablo 15: Toplam Karbon Vergisi Tahminleri (Milyon Euro)

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2026-34 Toplamı
Alüminyum (Temel Senaryo)	13,7	27,7	56,1	127,7	278,2	353,7	861,1	1.017,6	1.194,6	3.930
Alüminyum (Üst Sınır Senaryosu)	20,2	43,4	92,6	221,1	503,1	665,6	1.681,4	2.056,5	2.493,4	7.777
Cimento (Temel Senaryo)	5,6	11,0	21,8	48,5	103,8	129,6	310,6	361,6	418,7	1.411
Cimento (Üst Sınır Senaryosu)	10,2	21,1	43,1	98,4	214,5	272,0	659,3	774,8	903,9	2.997
Gübre (Temel Senaryo)	0,6	1,2	2,4	5,3	11,5	14,4	34,6	40,4	47,0	157
Gübre (Üst Sınır Senaryosu)	1,5	3,0	6,1	13,7	29,6	37,2	89,5	104,8	121,8	407
Demir-Çelik (Temel Senaryo)	19,6	38,4	75,3	166,7	354,7	441,3	1.054,1	1.224,4	1.415,4	4.790
Demir-Çelik (Üst Sınır Senaryosu)	36,4	74,6	151,5	344,2	746,1	941,6	2.273,9	2.663,8	3.099,3	10.331
Genel Toplam (Temel Senaryo)	39,5	78,3	155,6	348,3	748,2	939,0	2.260,3	2.644,0	3.075,7	10.289
Genel Toplam (Üst Sınır Senaryosu)	68,3	142,2	293,4	677,4	1.493,3	1.916,3	4.704,1	5.599,8	6.618,4	21.513

Tablo 16 Türkiye'nin AB-27'ye SKDM 1. Faz kapsamındaki sektörlerde 2026-2034 yılları arasındaki ihracat tahminlerini temel senaryo ve üst sınır senaryosu olarak sunmaktadır. Alüminyum sektöründe 2023 yılında gerçekleşen 2.761 milyon Euro'luk ihracat, temel senaryoda 2026-2034 döneminde toplam 22.933 milyon Euro seviyesine ulaşırken, üst sınır senaryosunda 59.790 milyon Euro'ya kadar çıkabilir. Çimento sektöründe 2023 yılı gerçekleşmesi 273 milyon Euro olup, temel senaryoda bu rakamın 1.892 milyon Euro olurken, üst sınır senaryosunda ise 5.253 milyon Euro'ya çıkabileceği öngörülmektedir. Gübre sektöründe 2023'teki 114 milyon Euro'luk ihracat, temel senaryoya göre 9 yıl toplamında 557 milyon Euro'ya ulaşırken, üst sınır senaryosunda 2.608 milyon Euro seviyesine kadar çıkabilir. Demir-Çelik sektöründe 2023'teki 6.047 milyon Euro'luk ihracat, temel senaryoya göre 2026-2034 döneminde toplamda 40.823 milyon Euro olacak, üst sınır senaryosunda ise 169.076 milyon Euro'ya kadar çıkabilecektir. Genel olarak, temel senaryoda Türkiye'nin ilgili sektörlerde toplam ihracatının 66.206 milyon Euro olması beklenirken, üst sınır senaryosunda bu rakam 236.728 milyon Euro'ya kadar ulaşabilir.

Tablo 16: Türkiye'nin AB-27'ye SKDM 1. Faz Kapsamındaki Sektörlerdeki İhracat Tahminleri (Milyon Euro)

	2023 Gerçekleşme	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2026-34 Toplamı
Alüminyum (Temel Senaryo)	2.761	2.543	2.523	2.517	2.521	2.532	2.546	2.564	2.583	2.603	22.933
Alüminyum (Üst Sınır Senaryosu)	-	5.314	5.673	6.009	6.335	6.657	6.977	7.294	7.609	7.922	59.790
Cimento (Temel Senaryo)	273	236	227	219	213	208	203	199	196	193	1.892
Cimento (Üst Sınır Senaryosu)	-	546	567	580	589	593	595	596	595	593	5.253
Gübre (Temel Senaryo)	114	69	65	63	61	61	60	60	59	59	557
Gübre (Üst Sınır Senaryosu)	-	309	300	294	289	286	284	283	282	282	2.608
Demir-Çelik (Temel Senaryo)	6.047	5.111	4.900	4.727	4.585	4.467	4.369	4.287	4.218	4.160	40.823
Demir-Çelik (Üst Sınır Senaryosu)	-	16.062	17.162	17.992	18.637	19.150	19.564	19.903	20.185	20.421	169.076
Genel Toplam (Temel Senaryo)	9.196	7.960	7.714	7.526	7.380	7.267	7.178	7.110	7.056	7.015	66.206
Genel Toplam (Üst Sınır Senaryosu)	-	22.231	23.702	24.875	25.850	26.686	27.420	28.076	28.671	29.217	236.728

Tablo 17: Sektör Bazında Olası İhrac Miktarlarına Göre Toplam Emisyon Tahmini (Bin Ton Co2e/ Bin Ton Eşya)

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Alüminyum	0,5%	1,1%	2%	5%	11%	14%	34%	39%	46%
Alüminyum Üst Limit	0,4%	0,8%	2%	3%	8%	10%	23%	27%	31%
Çimento	2,4%	4,9%	10%	23%	50%	64%	156%	185%	217%
Çimento Üst Limit	1,9%	3,7%	7%	17%	36%	46%	111%	130%	153%
Gübre	0,9%	1,9%	4%	9%	19%	24%	58%	68%	79%
Gübre Üst Limit	0,5%	1,0%	2%	5%	10%	13%	32%	37%	43%
Demir ve Çelik	0,4%	0,8%	2%	4%	8%	10%	25%	29%	34%
Demir ve Çelik Üst Limit	0,2%	0,4%	1%	2%	4%	5%	11%	13%	15%
Sektörler Toplamı (Temel Senaryo)	0,5%	1,0%	2%	5%	10%	13%	32%	37%	44%
törler Toplamı (Üst Sınır Senaryosu)	0,3%	0,6%	1%	3%	6%	7%	17%	20%	23%

ARMA ve AR tahmin modelleri ile hesaplanmış ihracat miktarları ve tahmini birim fiyatları üzerinden 2026-2034 dönemi için toplam ihracat tutarları tahminleri yapılmıştır. Fiyatların ve miktarların ortalama değişim oranları baz ve üst sınır senaryolarında Tablo 17’de sektörler bazında 2023 gerçekleşmesi ve 2026-2034 yılları arasında toplam emisyon tahminlerine ilişkin hesaplamalar yer almaktadır. İki senaryo ile her bir sektörün olası ihracat miktarlarına göre emisyon tahminleri yapılmıştır. Alüminyum sektörü için 2023’te gerçekleşen emisyon 7.014 bin ton CO₂e iken, temel senaryoya göre 2026-2034 döneminde toplam emisyonun 68.775 bin ton CO₂e olması beklenmektedir. Üst sınır senaryosuna göre ise toplam emisyonun 124.001 bin ton CO₂e’ye ulaşacağı öngörülmektedir. Çimento sektörü için 2023 yılında gerçekleşen emisyon 3.151 bin ton CO₂e olarak kaydedilmiştir. Temel senaryoya göre bu sektörde 2026-2034 döneminde toplam emisyonun 25.795 bin ton CO₂e olacağı tahmin edilirken, üst sınır senaryosunda bu değerin 52.479 bin ton CO₂e’ye çıkması beklenmektedir. Gübre sektöründe 2023 yılı gerçekleşmesi 389 bin ton CO₂e iken, temel senaryoya göre toplam emisyon 2.858 bin ton CO₂e olarak tahmin edilmiştir. Üst sınır senaryosu ise bu sektörde toplam emisyonun 7.306 bin ton CO₂e olacağını öngörmektedir. Demir-çelik sektörü için 2023’te gerçekleşen emisyon 11.602 bin ton CO₂e olarak kaydedilmiştir. Temel senaryoya göre bu sektörde 2026-2034 yıllarında toplam emisyonun 88.522 bin ton CO₂e olacağı tahmin edilmektedir. Üst sınır senaryosuna göre ise bu miktarın 182.952 bin ton CO₂e’ye ulaşması beklenmektedir. Genel toplamda, temel senaryoya göre toplam emisyonların 2026-2034 döneminde 185.951 bin ton CO₂e olacağı öngörülmürken, üst sınır senaryosuna göre bu miktarın 366.738 bin ton CO₂e’ye çıkacağı tahmin edilmektedir.

Yeldan ve Voyvoda’nın tüm Türkiye için yaptıkları projeksiyonlar, 2026 yılında 705 milyon ton CO₂ olan Türkiye’nin emisyonlarının %20 artarak 2030 yılında 851 milyon ton CO₂’ye ulaşacağını göstermektedir (Yeldan ve Voyvoda, 2015). Bu çalışmada tahminleri kapsayan aynı dönemde (2026-2030) alüminyum, çimento, gübre ve demir-çelik sektörlerinde üst sınır senaryosundaki artış oranı %13’tür.

Tablo 18: Fiyat Artış Oranları Tahmin Tablosu 2024-2034 Yıllık Ortalama (%)

	Miktar Değişim %	Fiyat Değişimi %
Alüminyum	1,2%	-1,3%
Alüminyum Üst Limit	8,3%	2,4%
Çimento	-1,1%	-1,7%
Çimento Üst Limit	6,8%	1,6%
Gübre	-1,9%	-3,4%
Gübre Üst Limit	9,1%	2,6%
Demir ve Çelik	-1,9%	-1,1%
Demir ve Çelik Üst Limit	6,1%	6,8%

Tablo 19’da 2026-2034 yılları arasında Türkiye’nin alüminyum, çimento, gübre ve demir-çelik sektörlerinde ihraç ettiği malların toplam karbon vergisi/ihracat değeri oranları yer almaktadır. Sonuçlar değerlendirilirken 2026 yılında %2,5 ile başlayan bedelsiz ödenekler yıllık azaltılma oranlarının kademeli olarak 2034’te %100’e ulaştığını dikkate almak gerekir. Alüminyum sektörüne bakıldığında, 2026 yılında %1 olan karbon vergisi yükünün 2034 yılında %46’ya kadar yükseldiği görülmektedir. Bu durum sektörün karbon vergisinden ciddi bir şekilde etkilenebileceğine işaret etmektedir. Üst limit senaryosunda ise daha ılımlı bir artış gözlemlenmekte olup oran 2034 yılında %31’e kadar çıkmaktadır.

Çimento sektörüne baktığımızda karbon vergisinin etkisinin en fazla bu sektör üzerinde gerçekleşeceği görülmektedir. 2026 yılında %2 olan oran, 2034 yılında %217’ye kadar yükselmektedir. Üst limit senaryosu ise daha ılımlı bir artış göstermekte olup 2034 yılı için %153 oranına ulaşmaktadır. Çimento sektörünün karbon vergisi açısından çok yüksek maliyetlerle karşı karşıya kalacağı oldukça açıktır.

Gübre sektöründe 2026 yılında %1 olan oran, 2034 yılına kadar %79’a kadar çıkmaktadır. Üst limit senaryosunda ise bu oran %43’e kadar yükselmektedir. Bu durum, gübre sektörünün karbon vergisinden orta derecede etkileneceğini, ancak yine de dikkate değer bir maliyetle karşı karşıya kalacağını ortaya koymaktadır.

Demir-çelik sektörü için karbon vergisi oranı 2026 yılında %0,2 iken, 2034 yılına kadar %34’e çıkmaktadır. Üst limit senaryosunda ise %15’e kadar bir artış öngörülmektedir. Bu sektörde diğerlerine göre nispeten daha düşük bir artış oranı söz konusu olsa da yine de sektörde önemli bir maliyet artışı yaşanması muhtemeldir. Zira toplam vergi değeri olarak en çok ödemeyi yapacak sektördür.

Özetle Türkiye’nin AB’ye yüksek oranda ihracat yaptığı SKDM kapsamındaki sektörlerden sırasıyla çimento, gübre, alüminyum ve demir-çelik sektörleri, verginin toplam ihracat değerine oranı göz önüne alındığında yüksek oranda karbon vergisi ile karşılaşabileceklerdir.

Sektörlerin karbon vergisi toplamalarını, ihracat değeri toplamalarına oranladığımızda temel senaryoda 2026 yılında %0,5 ile başlayan vergi yükü 2034 yılında %44’e ulaşmaktadır. Üst sınır senaryosunda

ise bu değerler sırasıyla %0,3 ve %23 olarak hesaplanmaktadır. Bu tahminler Türkiye'nin SKDM kapsamındaki ihracat sektörlerinin karbon vergisi nedeniyle önemli maliyetlerle karşılaşacağını göstermektedir. Özellikle çimento ve alüminyum sektörlerinin bu vergiden ciddi şekilde etkileneceği öngörülmektedir. Üst limit senaryoları, uygulanan karbon vergisinin sektörlerde yaratacağı maliyetlerin büyük ölçüde farklılaşabileceğini göstermektedir.

Tablo 19: Toplam Karbon Vergisi/Toplam İhracat Değeri (%) (Tahmin)

	2023 Gerçekleşme	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2026-34 Toplam
Alüminyum (Temel Senaryo)	7.014	7.300	7.390	7.479	7.565	7.649	7.731	7.810	7.888	7.964	68.775
Alüminyum (Üst Sınır Senaryosu)	-	10.772	11.580	12.353	13.102	13.832	14.548	15.250	15.942	16.623	124.001
Çimento (Temel Senaryo)	3.151	2.978	2.938	2.905	2.876	2.853	2.833	2.817	2.803	2.792	25.795
Çimento (Üst Sınır Senaryosu)	-	5.432	5.616	5.743	5.833	5.897	5.945	5.980	6.006	6.026	52.479
Gübre (Temel Senaryo)	389	330	323	319	317	315	314	314	313	313	2.858
Gübre (Üst Sınır Senaryosu)	-	808	812	813	813	813	812	812	812	812	7.306
Demir-Çelik (Temel Senaryo)	11.602	10.480	10.237	10.040	9.880	9.751	9.646	9.561	9.492	9.436	88.522
Demir-Çelik (Üst Sınır Senaryosu)	-	19.417	19.905	20.206	20.394	20.511	20.582	20.625	20.649	20.662	182.952
Genel Toplam (Temel Senaryo)	22.157	21.087	20.888	20.742	20.638	20.568	20.524	20.502	20.496	20.505	185.951
Genel Toplam (Üst Sınır Senaryosu)	-	36.429	37.913	39.115	40.141	41.053	41.887	42.668	43.409	44.122	366.738

SKDM ve Türkiye'nin karbon yoğun sektörlerinin ihracat maliyetleri üzerine yapılmış diğer çalışmalarla bu çalışmanın bulguları karşılaştırarak genel bir değerlendirme yapıldığında şu saptamalar yapılabilir: Acar vd. Türkiye'nin karbon maliyetlerinin, çimento, demir-çelik ve elektrik gibi karbon yoğun sektörlerde yıllık %10-15 oranında artacağı ve ihracat maliyetlerinin artışının Türkiye ekonomisine ciddi yansımaları olacağını öngörmüşlerdir. Ayrıca çalışmada, Türkiye'nin SKDM ile karşı karşıya kalacağı yıllık ihracat maliyetlerinin toplamda 1,5-2 milyar ABD doları düzeyine ulaşacağı tahmin edilmiştir (Acar vd., 2022). Diğer bir çalışma da Türkiye'nin toplam SKDM maliyetinin yaklaşık yıllık 690 milyon Euro ya da AB için Türkiye'den yapılan ithalatın SKDM'nin toplam değerinin %14'ü olacağını göstermektedir (Simola, 2021). Yedan vd.'nin çalışmasında ise SKDM'nin Türkiye'ye yıllık 1.1-1.8 milyar Euro arası ek maliyet getirebileceği hesaplanmaktadır (Yedan vd., 2020). Long ve diğerlerinin 2022 yılında hazırladıkları raporda 75 Euro/tCO₂e'lik karbon vergisi varsayıldığında, sanayiye yönelik potansiyel yıllık SKDM maliyetleri 2027 yılında 138 milyon Euro'ya ulaşabileceği sonucuna varılmıştır. Karbon vergisinin 150 Euro/tCO₂e'ye yükselmesi halinde, bu maliyetler 2032 yılına kadar yıllık 2,5 milyar Euro seviyelerine ulaşabileceğini hesaplamışlardır (Long vd., 2023). Dolayısıyla bu çalışmaların bizim hesaplamalarımızla paralellik gösterdiği söylenebilir.

Sonuç

AB'nin iklim eylemi odaklı büyüme stratejisi çerçevesinde yeşil dönüşümü gerçekleştirmek ve iklim nötr kıta olma hedefini ortaya koyduğu AYM ve SKDM uygulaması, Türkiye'nin kilit ihracat sektörleri için önemli sorunlara yol açacaktır. Türkiye'nin çimento, gübre, alüminyum ve demir-çelik sektörlerindeki ana ihraç ürünlerinin analizine dayanan öngörülen karbon vergisi yükü, zaman içinde artan karbon emisyon vergileri nedeniyle önemli bir maliyet artışı ortaya koymaktadır.

Türkiye için yapılan tahminlere göre tüm senaryolarda çimento sektörü göreceli olarak SKDM uygulamasından açık ara en fazla etkilenecek ihracat sektörümüz olarak; 2026'da %2'den başlayıp 2034'te %217'ye tırmanarak en yüksek vergi yüküyle karşı karşıya kalırken, üst sınır senaryosunda bu oran 2034'te %153'e çıkmaktadır. İkinci sırada gübre sektörü de yüksek oranda etkilenecek olup, 2026 yılında %1 olan vergiler 2034 yılına kadar baz senaryoda %79'a, üst limit senaryosunda ise %43'e yükselmektedir. Çimento ve gübre sektörlerinin ardından gelen alüminyum sektörü için karbon vergisinin 2026 yılında %1'den başlayarak 2034 yılına kadar baz senaryoda %46'ya, üst sınır senaryosunda ise %31'e yükselmesi beklenmektedir. Son olarak, demir-çelik sektörü daha düşük bir vergi artış oranına rağmen, verginin 2026'da %0,2'den 2034'e kadar baz senaryoda %34'e ve üst limit senaryosunda %15'e çıktığını görecektir. Bu sektörler 2026-34 döneminde toplamda 10 ile 21 milyar Euro arasında karbon vergisi yükünü taşımak zorunda kalabilirler. Diğer bir ifade ile tüm sektörlerde ortalama olarak yıllık ihracat maliyeti 1,1-2,3 milyar Euro düzeyinde gerçekleşebilir.

Bu simülasyonlara göre Türkiye'nin 2026-2034 yılları toplamında temel senaryoya göre 185 milyon ton CO₂e, üst sınır senaryosuna göre ise 366 milyon ton CO₂e salımı yapması olasıdır. Demir-çelik karbondioksit salımı yönünden bu hesaplamada birinci sırayı alırken alüminyum ikinci en yüksek salım yapan sektör olmaktadır.

Bu projeksiyonlar, özellikle çimento ve alüminyum gibi karbon emisyonu yoğun sektörler için karbon vergisi yükünün önümüzdeki yıllarda önemli bir mali yük haline geleceğini göstermektedir. Öngörülen vergi oranları, endüstrilerin SKDM'nin mali etkisini azaltmak için yeşil dönüşüme ve emisyon azaltım stratejilerine uyum sağlama ihtiyacının altını çizmektedir. Üst sınır senaryoları vergilerde daha ılımlı bir artışa işaret etse de genel eğilim, sürdürülebilir uygulamalarda inovasyonu ve yatırımı teşvik edebilecek artan maliyetlere işaret etmektedir.

Bu bağlamda, Türkiye'nin sanayi sektörleri hem artan maliyetleri yönetme zorluğuyla hem de düşük karbonlu üretim yöntemlerine geçiş fırsatıyla karşı karşıyadır. Öngörülen rakamlar, SKDM çerçevesi altında uluslararası pazarda rekabetçi kalabilmek için karbon emisyonlarının azaltılmasının aciliyetini vurgulamaktadır. AB çevre standartlarına uyum sağlama becerisi, karbon vergilerinin ekonomik etkisini en aza indirirken ihracat seviyelerini korumak için çok önemli olacaktır. Avrupa Birliği AYM ile küresel ekonomiyi özellikle de ithalat yaptığı ülkeleri bir anlamda dönüşüme zorladığından Türkiye için yeşil dönüşümün yol haritasının da AYM ve özellikle SKDM çerçevesinde belirleneceğini söyleyebiliriz. Bunun yanı sıra AB öngördüğü iklim hedeflerine ulaşma yolunda küresel ekonomiye ve özellikle de ticaret partnerlerine karbonsuzlaşma için adeta bir küresel eylem çağrısında bulunmaktadır.

Bilindiği gibi SKDM düzenlemesi menşe ülkelerin karbon vergisi ve ulusal ETS sistemi uygulamasına imkân tanımaktadır. Buna göre menşe ülkede ödenen karbon vergileri AB SKDM vergi ödemelerinden mahsup edilebilmektedir. Bu çerçevede Türkiye kendi ulusal ETS sistemini devreye sokması ile karbon vergilerinin Türkiye'nin bütçesine gelir yazılmasını sağlayacak ve bu gelirlerin ilgili sektörlerdeki karbon salımını azaltmak için alınacak önlem ve yatırımların finansmanında kullanılmasına katkıda bulunabilecektir.

Ek-1: ARMA ve AR Modelleri   in Sonuçlar

Alüminyum Fiyat Endeksi AR Sonuç
Tablosu

Dependent Variable: ALUMINIUM_PRICE__INDEX
Method: Least Squares
Date: 09/03/24 Time: 11:28
Sample: 1994 2023
Included observations: 30

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	42.42278	15.89927	2.668223	0.0125
ALUMINIUM_PRICE__INDEX(-1)	0.651868	0.134473	4.847559	0.0000
R-squared	0.456298	Mean dependent var	117.5155	
Adjusted R-squared	0.436880	S.D. dependent var	26.13465	
S.E. of regression	19.61178	Akaike info criterion	8.854478	
Sum squared resid	10769.41	Schwarz criterion	8.947891	
Log likelihood	-130.8172	Hannan-Quinn criter.	8.884362	
F-statistic	23.49883	Durbin-Watson stat	1.763246	
Prob(F-statistic)	0.000042			

 imento Fiyat Endeksi ARMA Sonuç
Tablosu

Dependent Variable: LOG(CEMENT_PRICE__INDEX)
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 04/26/24 Time: 15:13
Sample: 1994 2023
Included observations: 30
Convergence achieved after 13 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.593311	0.127299	36.08285	0.0000
AR(1)	0.908731	0.102948	8.827099	0.0000
SIGMASQ	0.004351	0.000630	6.904387	0.0000
R-squared	0.704748	Mean dependent var	4.526503	
Adjusted R-squared	0.682877	S.D. dependent var	0.123471	
S.E. of rearsion	0.069531	Akaike info criterion	-2.341202	
Sum squared resid	0.130533	Schwarz criterion	-2.201082	
Log likelihood	38.11802	Hannan-Quinn criter.	-2.296376	
F-statistic	32.22362	Durbin-Watson stat	0.954841	
Prob(F-statistic)	0.000000			
Inverted AR Roots	.91			

G bre Fiyat Endeksi ARMA Sonuç
Tablosu

Dependent Variable: LOG(FERTILIZER_PRICE__INDEX)
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 04/22/24 Time: 18:23
Sample: 2003 2023
Included observations: 21
Convergence achieved after 11 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.921279	0.157902	31.16676	0.0000
AR(1)	0.591637	0.214192	2.762175	0.0128
SIGMASQ	0.082655	0.030325	2.725620	0.0139
R-squared	0.323810	Mean dependent var	4.931007	
Adjusted R-squared	0.248678	S.D. dependent var	0.358258	
S.E. of regression	0.310534	Akaike info criterion	0.651030	
Sum squared resid	1.735760	Schwarz criterion	0.800248	
Log likelihood	-3.835816	Hannan-Quinn criter.	0.683414	
F-statistic	4.309870	Durbin-Watson stat	1.594946	
Prob(F-statistic)	0.029554			
Inverted AR Roots	.59			

Demir- elik Fiyat Endeksi AR Sonuç
Tablosu

Dependent Variable: IRON__ORE_PRICE__INDEX
Method: Least Squares
Date: 09/04/24 Time: 11:22
Sample: 1994 2023
Included observations: 30

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	15.66363	11.04605	1.418030	0.1672
IRON__ORE_PRICE__INDEX(-1)	0.907377	0.082140	11.04667	0.0000
R-squared	0.813369	Mean dependent var	109.0401	
Adjusted R-squared	0.806704	S.D. dependent var	88.58668	
S.E. of regression	38.94754	Akaike info criterion	10.22665	
Sum squared resid	42473.50	Schwarz criterion	10.32006	
Log likelihood	-151.3997	Hannan-Quinn criter.	10.25653	
F-statistic	122.0289	Durbin-Watson stat	1.631555	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Alüminyum İhracat Miktar AR Sonuç Tablosu

Method: Least Squares
Date: 09/03/24 Time: 08:58
Sample (adjusted): 1991 2023
Included observations: 33 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	23310301	18526248	1.258231	0.2177
TOPLAM_IHR_MIKTARI(-1)	0.975105	0.066097	14.75266	0.0000
Unadjusted R-squared	0.875322	Mean dependent var	2.25E+08	
Adjusted R-squared	0.871300	S.D. dependent var	2.00E+08	
Sum of squared residuals	71786734	Akaike info criterion	39.07499	
Log likelihood	1.60E+17	Schwarz criterion	39.16569	
F-statistic	-642.7373	Hannan-Quinn criter.	39.10551	
Prob(F-statistic)	217.6409	Durbin-Watson stat	2.025616	
	0.000000			

Çimento İhracat Miktar AR Sonuç Tablosu

Dependent Variable: CEM_TOPLAM_IHR_MIKTARI
Method: Least Squares
Date: 09/03/24 Time: 09:11
Sample (adjusted): 1991 2023
Included observations: 33 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.84E+08	2.84E+08	1.705779	0.0981
CEM_TOPLAM_IHR_MIKTARI(-1)	0.837018	0.095271	8.785664	0.0000
R-squared	0.713461	Mean dependent var	2.61E+09	
Adjusted R-squared	0.704218	S.D. dependent var	1.57E+09	
S.E. of regression	8.54E+08	Akaike info criterion	44.02766	
Sum squared resid	2.26E+19	Schwarz criterion	44.11835	
Log likelihood	-724.4563	Hannan-Quinn criter.	44.05817	
F-statistic	77.18790	Durbin-Watson stat	1.130108	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Gübre İhracat Miktar AR Sonuç Tablosu

Dependent Variable: FERT_TOPLAM_IHR_MIKTARI
Method: Least Squares
Date: 09/03/24 Time: 09:24
Sample (adjusted): 1991 2023
Included observations: 33 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	75691696	32707406	2.314207	0.0275
FERT_TOPLAM_IHR_MIKTARI(-1)	0.605624	0.142397	4.253069	0.0002
R-squared	0.368489	Mean dependent var	1.86E+08	
Adjusted R-squared	0.348117	S.D. dependent var	1.42E+08	
S.E. of regression	1.15E+08	Akaike info criterion	40.01557	
Sum squared resid	4.09E+17	Schwarz criterion	40.10626	
Log likelihood	-658.2568	Hannan-Quinn criter.	40.04608	
F-statistic	18.08860	Durbin-Watson stat	2.122657	
Prob(F-statistic)	0.000180			

Demir-Çelik İhracat Miktar AR Sonuç Tablosu

Dependent Variable: IRON_TOPLAM_IHR_MIKTARI
Method: Least Squares
Date: 09/03/24 Time: 08:10
Sample (adjusted): 1991 2023
Included observations: 33 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	6.48E+08	3.31E+08	1.960218	0.0590
IRON_TOPLAM_IHR_MIKTARI(-1)	0.811103	0.098531	8.231987	0.0000
R-squared	0.686126	Mean dependent var	2.88E+09	
Adjusted R-squared	0.676001	S.D. dependent var	1.90E+09	
S.E. of regression	1.08E+09	Akaike info criterion	44.50144	
Sum squared resid	3.63E+19	Schwarz criterion	44.59214	
Log likelihood	-732.2738	Hannan-Quinn criter.	44.53196	
F-statistic	67.76561	Durbin-Watson stat	2.164301	
Prob(F-statistic)	0.000000			

KAYNAKÇA

- Acar, S., Aşıcı, A. A., & Yeldan, A. E. (2022). Potential effects of the EU's carbon border adjustment mechanism on the Turkish economy. *Environment, Development and Sustainability*, 24(6), 8162-8194.
- Aşıcı, A. A. (2021). Avrupa Birliği'nin Sınırdaki Karbon Uyarlaması Mekanizması ve Türkiye Ekonomisi. *İstanbul: İPM-Mercator*.
- Aşıcı, A. A. (2022). Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması İşleyişi ve Riskli Ürün Analizi. *Yeşil İz Teknik Not*.
- Aydın, L. (2018). The possible macroeconomic and sectoral impacts of carbon taxation on Turkey's economy: A computable general equilibrium analyses. *Energy & environment*, 29(5), 784-801.
- Bellora, C., & Fontagné, L. (2022). EU in search of a WTO-compatible carbon border adjustment mechanism. *Available at SSRN 4168049*.
- Brand, C., Coenen, G., Hutchinson, J., & Saint Guilhem, A. (2023). How will higher carbon prices affect growth and inflation. *The ECB Blog*. https://www.ecb.europa.eu/press/blog/date/2023/html/ecb_blog_230525~4a51965f26.en.html
- Breckenfelder, J., Maćkowiak, B., Marques-Ibanez, D., Olovsson, C., Popov, A. A., Porcellacchia, D., & Schepens, G. (2023). The climate and the economy.

- Carbone, J. C., & Smith, V. K. (2013). Valuing nature in a general equilibrium. *Journal of Environmental Economics and Management*, 66(1), 72-89.
- Chatfield, C. (1996). Model uncertainty and forecast accuracy. *Journal of Forecasting*, 15(7), 495-508.
- Durant, I., Contreras, C., Hamwey, R., Mott, G., Nicita, A., Peters, R., Razo, C., Vivas, D., Chepeliev, M., & Corong, E. (2021). A European Union Carbon Border Adjustment Mechanism: Implications for developing countries. United Nations Conference on Trade and Development.
- Eicke, L., Weko, S., Apergi, M., & Marian, A. (2021). Pulling up the carbon ladder? Decarbonization, dependence, and third-country risks from the European carbon border adjustment mechanism. *Energy Research & Social Science*, 80, 102240.
- European Commission. (2016). *The EU Emissions Trading System (EU ETS)*. Retrieved 25.03 from https://climate.ec.europa.eu/document/download/5dee0b48-a38f-4d10-bf1a-14d0c1d6febd_en?filename=factsheet_ets_en.pdf
- European Commission. (2021). *Carbon Border Adjustment Mechanism: Questions and Answers*. Retrieved 22.03.2024 from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3661
- European Commission. (2023a). *Default values for the transitional period: Taxation and Customs Union*. Retrieved from <https://taxation-customs.ec.europa.eu/system/files/2023-12/Default%20values%20transitional%20period.pdf>
- European Commission. (2023b). Regulation (EU) 2023/1773 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on [title of the regulation]. EUR-Lex. Retrieved February 6, 2025, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1773>
- European Commission. (2023c). Guidance Document On CBAM Implementation for Importers of Goods Into the EU. https://taxation-customs.ec.europa.eu/document/download/bc15e68d-566d-4419-88ec-b8f5c6823eb2_en?filename=Guidance%20document%20on%20CBAM%20implementation%20for%20importers%20of%20goods%20into%20the%20EU.pdf
- European Parliament. (2021, 10.03.2021). *MEPs: Put a carbon price on certain EU imports to raise global climate ambition* <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20210304IPR99208/meps-put-a-carbon-price-on-certain-eu-imports-to-raise-global-climate-ambition>
- Fetting, C. (2020). The European green deal. ESDN report, 53.
- Global Carbon Atlas. (2024). *Carbon Emissions*. Retrieved 3 Nisan 2024 from <https://globalcarbonatlas.org/emissions/carbon-emissions/>
- Granger, C. W. J., & Newbold, P. (2014). *Forecasting economic time series*. Academic press.
- Hamilton, J. D. (2020). *Time series analysis*. Princeton university press.
- Koç, B. E., & Kaynak, S. (2023). Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizmasının Türkiye-AB-27 Dış Ticaret İlişkisi Üzerine Olası Etkisi. *Verimlilik Dergisi*, 57(2), 273-288.
- Konradt, M., McGregor, T., & Toscani, M. F. G. (2024). *Carbon prices and inflation in the euro area*. International Monetary Fund.
- Kuusi, T., Björklund, M., Kaitila, V., Kokko, K., Lehmus, M., Mechling, M., Oikarinen, T., Pohjola, J., Soimakallio, S., & Wang, M. (2020). Carbon border adjustment mechanisms and their economic impact on Finland and the EU.
- Lim, B., Hong, K., Yoon, J., Chang, J.-I., & Cheong, I. (2021). Pitfalls of the eu's carbon border adjustment mechanism. *Energies*, 14(21), 7303.
- Long, I., Inclan, C., Conway, D., Mikolajczyk, S., Voyvoda, E., Yeldan, E., Aşıcı, A. A., & Mert, E. (2023). *Potential Impact of the Carbon Border Adjustment Mechanism on the Turkish Economy*. E. B. f. R. a. Development & U. a. C. C. Republic of Türkiye Ministry of Environment.

- Marcu, A., Mehling, M., & Cosbey, A. (2020). Border carbon adjustments in the EU: Issues and options. *ERCST, Roundtable on Climate Change and Sustainable Transition*.
- Mehling, M. A., & Ritz, R. A. (2020). Going beyond default intensities in an EU carbon border adjustment mechanism.
- OECD. (2024). *Data Warehouse* <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1787/data-00900-en>
- Overland, I., & Sabyrbekov, R. (2022). Know your opponent: Which countries might fight the European carbon border adjustment mechanism? *Energy policy*, 169, 113175.
- Şahin, Ü., Tör, O. B., Kat, B., Teimourzadeh, S., Demirkol, K., Künar, A., Voyvoda, E., & Yeldan, E. (2021). Türkiye'nin karbonsuzlaşma yol haritası: 2050'de net sıfır. *Istanbul Policy Center*, 20211.103.19115588.
- Simões, H. M. (2023). Carbon Border Adjustment Mechanism. European Parliamentary Research Service Retrieved from [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/754626/EPRS_ATA\(2023\)754626_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/754626/EPRS_ATA(2023)754626_EN.pdf)
- Simola, H. (2021). CBAM!-Assessing potential costs of the EU carbon border adjustment mechanism for emerging economies.
- Sotoodeh, K. (2022). Case studies of material corrosion prevention for oil and gas valves. Gulf Professional Publishing.
- T.C. Çevre, Ş. v. İ. D. B. (2023). *Türkiye Cumhuriyeti Güncellenmiş Birinci Ulusal Katkı Beyanı*. Ankara Retrieved from <https://www.iklim.gov.tr/db/turkce/haberler/files/T%C3%BCrkiye%20Cumhuriyeti%20G%C3%BCncellenmi%C5%9F%20Birinci%20Ulusal%20Katk%C4%B1%20Beyan%C4%B1.pdf>
- Telli, Ç., Voyvoda, E., & Yeldan, E. (2008). Economics of environmental policy in Turkey: A general equilibrium investigation of the economic evaluation of sectoral emission reduction policies for climate change. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 321-340.
- Ticaret Bakanlığı, T. C. (2024). *AB Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması*. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. Retrieved 22.03.2024 from <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-sinirda-karbon-duzenleme-mekanizmasi>
- Trading Economics. (2024). EU Carbon Permits <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- TÜİK. (2023). Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990-2021 National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 1990-2019. <https://unfccc.int/documents/627786>
- United Nations. (2024). UN Comtrade Plus <https://comtradeplus.un.org/>
- World Bank. (2024). Carbon Pricing Watch <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/compliance/price>
- World Resources Institute. (2024). *Climate Watch*. Retrieved 5 Nisan 2024 from <https://www.climatewatchdata.org>
- Yeldan, A. E., & Voyvoda, E. (2015). Low Carbon Development Pathways and Priorities for Turkey. WWF, IPC.
- Yeldan, A. E., Aşıcı, A. A., & Acar, S. (2020). Ekonomi Göstergeleri Merceğinden Yeni İklim Rejimi New Climate Regime through the Lens of Economic Indicators]. TÜSİAD.
- Zhong, J., & Pei, J. (2022). Beggar thy neighbor? On the competitiveness and welfare impacts of the EU's proposed carbon border adjustment mechanism. *Energy policy*, 162, 112802.

ASSESSING THE POTENTIAL COSTS OF THE EU CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM IN TURKEY'S HIGH CARBON EMITTING SECTORS

Ceran Zeynep Zafir BAHÇEKAPILI 

This paper thoroughly examines the economic consequences of the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) on Turkey's carbon-intensive export sectors, focusing on industries such as cement, iron and steel, aluminum, and fertilizers. The CBAM, a crucial component of the EU's Green Deal, is designed to mitigate carbon leakage by imposing tariffs on imports equivalent to the carbon costs that EU producers face. While the policy promotes climate goals, it is likely to impose significant financial burdens on Turkey's key export industries, which heavily depend on the EU market.

Scheduled to begin in 2026, CBAM initially targets sectors with high carbon emissions that are subject to international trade competition. These industries, which contribute substantially to Turkey's exports to the EU, will face carbon pricing based on their carbon emissions and export volumes. The paper simulates potential carbon tax burdens for these sectors, estimating that Turkey may incur additional costs ranging from €10 billion to €21 billion by 2034. The phased reduction of free allowances under the EU Emission Trading System (ETS) will exacerbate these costs, particularly for high-emission sectors.

The results indicate that the cement and aluminum industries will be the most affected by the rising costs, primarily due to their high emission intensities and their reliance on the European market. For instance, the carbon tax burden for the cement sector is projected to increase from around 2% in 2026 to over 200% by 2034, highlighting the sector's vulnerability. Similarly, the aluminum and iron and steel sectors will experience significant cost increases, though not as steep as in the cement sector. These rising costs present a clear challenge to Turkey's export competitiveness unless effective emission-reduction strategies are implemented promptly.

The broader context of CBAM is the EU's ambition to become climate-neutral by 2050, as outlined in the European Green Deal. For Turkey, a major trading partner of the EU, this presents both a challenge and an opportunity. The introduction of CBAM will accelerate Turkey's need to transition

* Asst. Prof., Marmara University, Faculty of Economics, Department of Economics, Istanbul, E-mail: zzafir@marmara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-0699-4459

toward greener technologies and more sustainable industrial practices. Failure to comply with these new standards could result in diminished access to the EU market and reduced export volumes due to the higher costs of complying with carbon taxes.

Aligning Turkey's domestic policies with the EU's carbon pricing mechanisms will be critical to mitigating the financial burden of CBAM. Establishing a national Emissions Trading System (ETS) similar to the EU's would allow Turkish exporters to claim reductions in their carbon taxes. A domestic ETS would provide a mechanism for Turkish industries to demonstrate compliance with carbon pricing, thus reducing the overall tax burden. Without such a system, Turkish exporters will be forced to absorb the full impact of CBAM tariffs, which could severely hinder their competitiveness in the EU market.

Additionally, the gradual reduction of free allowances under the EU ETS, which is set to phase out entirely by 2034, will further strain Turkey's industrial sectors. Free allowances currently help reduce carbon costs for industries in the EU and Turkey, but their removal will lead to sharp increases in the cost of carbon for non-EU producers. As a result, Turkish exporters, particularly those in energy-intensive sectors such as cement, aluminum, and iron and steel, must invest in cleaner technologies to lower their carbon footprint and maintain competitiveness in the EU market.

The transition to sustainable industrial practices will require substantial investments in renewable energy, energy efficiency, and low-carbon technologies. These investments will be necessary not only to comply with CBAM but also to maintain long-term competitiveness. Furthermore, the Turkish government must play an active role by providing financial support, such as tax incentives and subsidies for industries that invest in cleaner production processes. This would help offset the costs of transitioning to greener technologies, enabling Turkish exporters to adapt to the EU's new carbon pricing regime without sacrificing market share.

In addition to the challenges, CBAM also presents Turkey with a unique opportunity to advance its green transformation. By proactively adopting sustainable production methods, Turkish industries can reduce their carbon tax liabilities and position themselves as leaders in the global shift toward environmentally friendly products. Moreover, this transition aligns with Turkey's own climate goals, including its commitment to achieving net-zero emissions by 2053. The green transformation driven by CBAM will not only help Turkey meet its climate commitments but also enhance its export resilience by aligning with the evolving environmental standards in the global marketplace.

In conclusion, CBAM represents a significant challenge for Turkey's high carbon-emitting sectors, particularly those that rely heavily on the EU market. However, it also presents a clear path for modernization and green transformation. By investing in cleaner technologies and aligning national policies with EU carbon pricing mechanisms, Turkey can mitigate the economic impact of CBAM and maintain its export competitiveness in the European market. This study emphasizes the importance of proactive policy-making and strategic investments in green technologies as essential steps for Turkey to navigate the challenges posed by CBAM and leverage the opportunities it presents for long-term economic sustainability.