



Türkiye'nin AB 27 Ülkelerine Birincil Alüminyum İhracatının Sektörel Karbon Emisyonu Üzerine Etkileri

Zeliha Semra KILINÇ¹, Selim ŞANLISOY²

Özet

Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar karbon salınımını sıfıra indirme amacı doğrultusunda yapılan müzakereler sonucunda varılan Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında üye ülkeler için emisyon salınımı kontrol altına alınacak ilk beş sektör belirlenmiştir. Demir-Çelik, Alüminyum, Çimento, Gübre ve Enerji sektörleri hem karbon emisyonu yoğun hem de karbon kaçağı en yüksek sektörlerdir. Bu sektörlerde karbon emisyonunu azaltma hedefi Türkiye açısından da önem arz etmektedir. Çünkü ilgili sektörlerin en büyük ihracat pazarının AB ülkeleri olmasına bağlı olarak gelecekte emisyonun azaltılmaması durumunda karbon sertifikaları satın alınması gibi ek maliyetlerle karşılaşılmasına ve ihracatın olumsuz yönde etkilenmesine neden olabilecektir. Bu bağlamda çalışmada Türkiye'de birincil alüminyum üretiminden kaynaklı karbon emisyonunu etkileyen faktörlerin ortaya konulması aynı zamanda firma ve politika yapıcılara yol gösterilmesi hedeflenmektedir. Çalışmada söz konusu olan alüminyum sektöründe 1990-2021 dönemi verileri kullanılarak emisyon yoğun olan (GTİP Kodu: 7601) birincil alüminyum üretiminin, AB27 ülkelerine olan birincil alüminyum ihracat miktarının ve insanî gelişmişlik endeksinin birincil alüminyum sektörünün emisyon salınımına olan etkisi ARDL testi yardımıyla ölçülmüştür. Çalışmanın bulguları literatür ile uyumlu olup alüminyum ihracatının ve üretiminin söz konusu sektörde karbon emisyonunu artırıcı, insani gelişmişliğin ise azaltıcı yönde etkilediği yönündedir

Anahtar kelimeler: Birincil Alüminyum, Karbon Emisyonu, İhracat

Jel Kodu: C10, F10, Q54

Effects of Türkiye's Primary Aluminum Exports to EU 27 Countries on Sectoral Carbon Emissions

Abstract

Within the scope of the European Green Deal, which was reached as a result of negotiations in line with the European Union's aim of reducing carbon emissions to zero by 2050, the top five sectors whose emissions will be controlled for member countries have been determined. Iron-steel, aluminum, cement, fertilizer and energy sectors are both carbon emission-intensive and carbon leakage-intensive sectors. The goal of reducing carbon emissions in these sectors is also important for Turkey. Because the largest export market of the relevant sectors is the EU, if emissions are not reduced in the future, it may cause additional costs, such as purchasing carbon certificates, and negatively affect exports. In this context, the study aims to reveal the factors affecting carbon emissions from primary aluminum production in Turkey and to guide companies and policymakers. As a matter of fact, in the study, using the 1990-2021 period data in the aluminum sector, one of the sectors in question, the effect of primary aluminum production, which is emission-intensive (GTİP Code: 7601), primary aluminum export amount to EU27 countries, and human development index, on the emission release of the primary aluminum sector was measured with the help of the ARDL test. The study's findings are consistent with the literature and indicate that aluminum exports and production have an increasing effect on carbon emissions in the sector in question. In contrast, human development has a decreasing effect.

Keywords: Primary Aluminum, Carbon Emission, Export

Jel Codes: C10, F10, Q54

ATIF ÖNERİSİ (APA): Kılınç, Z. S., Şanlısoy S. (2024). Türkiye'nin AB 27 ülkelerine birincil alüminyum ihracatının sektörel karbon emisyonu üzerine etkileri. *İzmir İktisat Dergisi*. 39 (4). 952-971. Doi: 10.24988/ije.1459158

¹ Öğretim Görevlisi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi/Yenipazar Meslek Yüksekokulu, Bankacılık ve Finans Bölümü, Yenipazar / Aydın, Türkiye **EMAIL:** z.kilinc@adu.edu.tr **ORCID:** 0000-0001-9837-1587

² Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi/İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Fakültesi, İktisat Bölümü, Buca / İzmir, Türkiye **EMAIL:** selim.sanlisoy@deu.edu.tr **ORCID:** 0000-0002-0629-0905

1. GİRİŞ

Küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olan karbon emisyon yoğunluğu sadece doğanın dengesini bozmakla kalmamakta, aynı zamanda tüm canlıların yaşamını da tehdit etmektedir. Küresel ölçekte karbon emisyonunu azaltmaya yönelik girişimler bulunmakta ve bunların başında Birleşmiş Milletler' in attığı adımlar ile Avrupa Birliği'nin aldığı kararlar gelmektedir. Türkiye'nin de taraf olduğu Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) taraf ülkeleri karbon emisyonlarının azaltılması konusunda bağlayıcı birtakım uygulamaları beraberinde getirmiştir. Bu bağlamda UNFCCC'nin yürürlüğe girmesinden sonra, 1997 yılında Kyoto'da gerçekleştirilen "3. Taraflar Konferansı"nda Kyoto Protokolü UNFCCC'nin bağlayıcı yükümlülükler içeren bir parçası olarak gündeme gelmiş ve 16 Şubat 2005'te yürürlüğe girmiştir. Kyoto Protokolü (KP) Emisyon Ticaret Sistemini (ETS) karbon emisyonunu azaltma hedefine ulaşmak için bir politika aracı olarak ortaya koymuştur.

ETS, bir yıl için çevreye salınabilecek karbon salınımının sektörel olarak belirlenmesinin ardından sektörel veya ülke genelinde daha önceden belirlenen sınırın altında kalan firmaların izinlerinin kullanılmayan kısmını sertifika olarak satabilme olanağı sağlayan bir sistemdir. Avrupa Birliği söz konusu sistemi 2005 yılında uygulamaya koymuş ve Birlik içerisinde üretilen ürünlerin ortaya çıkartacağı karbon salınımlarının karbon sertifikaları aracılığıyla ücretlendirmeyi amaçlamıştır. ETS uygulayan ülkelere elde edilen sonuçlarda emisyonu azaltıcı ya da artış hızında azaltıcı veya caydırıcı etkisinin olmamasının yanı sıra ETS'nin karbon kaçağı olarak adlandırılan bir sorunu beraberinde getirme ihtimali AB'nin sınırdaki karbon düzenlemesi mekanizmasını (SKDM) gündeme almasını gerekli kılmıştır. Çünkü ETS uygulamasının firmalar üzerinde meydana getirebileceği ek maliyetlerden sakınmak amacıyla firmaların üretimlerini ETS'nin ya da ek karbon vergilerinin bulunmadığı ülkelere taşınması ardından da yine kendilerinin ürettiği ürünleri ithal etmeleri söz konusu olabilir. Böylece; ülke içerisinde getirilen düzenlemeler nedeniyle ülke dışında belirli bir sektörde karbon salınımının artması karbon kaçağını ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda Avrupa Birliği'nin yürürlüğe koyduğu 2021 yılında gerçekleşen Avrupa Yeşil Mutabakatı, AB ülkeleri ile dış ticaret ilişkisi içerisinde olan ülkeleri bağlayıcı nitelik taşımakta ve 2026 yılına kadar Türkiye'ye verilen raporlama süresi sonunda ise sınırdaki karbon vergisi uygulamasının hayata geçirilmesini hedeflemektedir.

Avrupa Yeşil Mutabakatı'nda karbon emisyonun en yoğun dolayısıyla karbon kaçağı yüksek beş sektör (demir-çelik, çimento, alüminyum, gübre, enerji) belirlenmiştir. Bu sektörler için alınan kararlar çerçevesinde SKDM uygulanması planlanmıştır. Söz konusu beş sektörden biri olan alüminyum sektörünün temel çıktısı olan alüminyumun hem uzun ömürlü olması hem de birçok alt sektörde yüksek oranda kullanılmasına bağlı olarak gelecekte de artan bir trend ile büyümeye devam edeceği ve üretim artışına bağlı emisyon miktarının da artacağı öngörülmektedir. Yaşanan süreç dikkate alındığında bu sektörde Türkiye'nin en büyük ihracat pazarının AB ülkeleri olmasına bağlı olarak gelecekte emisyonun azaltılamaması durumunda karbon sertifikaları satın alınması gibi ek maliyetlerle karşılaşılması ve ihracatın olumsuz yönde etkilenmesi söz konusu olabilecektir. Türkiye'de birincil alüminyum üretiminden kaynaklı karbon emisyonunu etkileyen faktörlerin ortaya konulması bu olumsuz durumla karşılaşılmasını açısından oldukça önemlidir. Bu bağlamda çalışmada Türkiye'nin AB 27 ülkelerine birincil alüminyum ihracatının sektörel karbon emisyonu üzerine etkilerinin araştırılması konu edinilmiştir. Alüminyum sektöründe üretimden kaynaklı emisyon salınımında birincil alüminyum (Dünya Ticaret Örgütü mal kodu: 7601) üretimi karbon emisyonu salınımında referans değer olarak kabul edilmekte; ikincil üretim ise UNFCCC tarafından yeşil üretim olarak kabul görmektedir. Bundan dolayı da çalışmada birincil alüminyum üretimi dikkate alınmaktadır.

Avrupa Yeşil Mutabakatında karbon emisyonun en yoğun sektörler için alınan kararlar çerçevesinde SKDM 2026 yılından sonra uygulanmaya başlanacaktır. İlgili sektörlerde AB üyesi olmayan ülkelere gerçekleştirilen ithalata sınırdaki karbon vergisi konulacak olup 2030 yılında ise bu

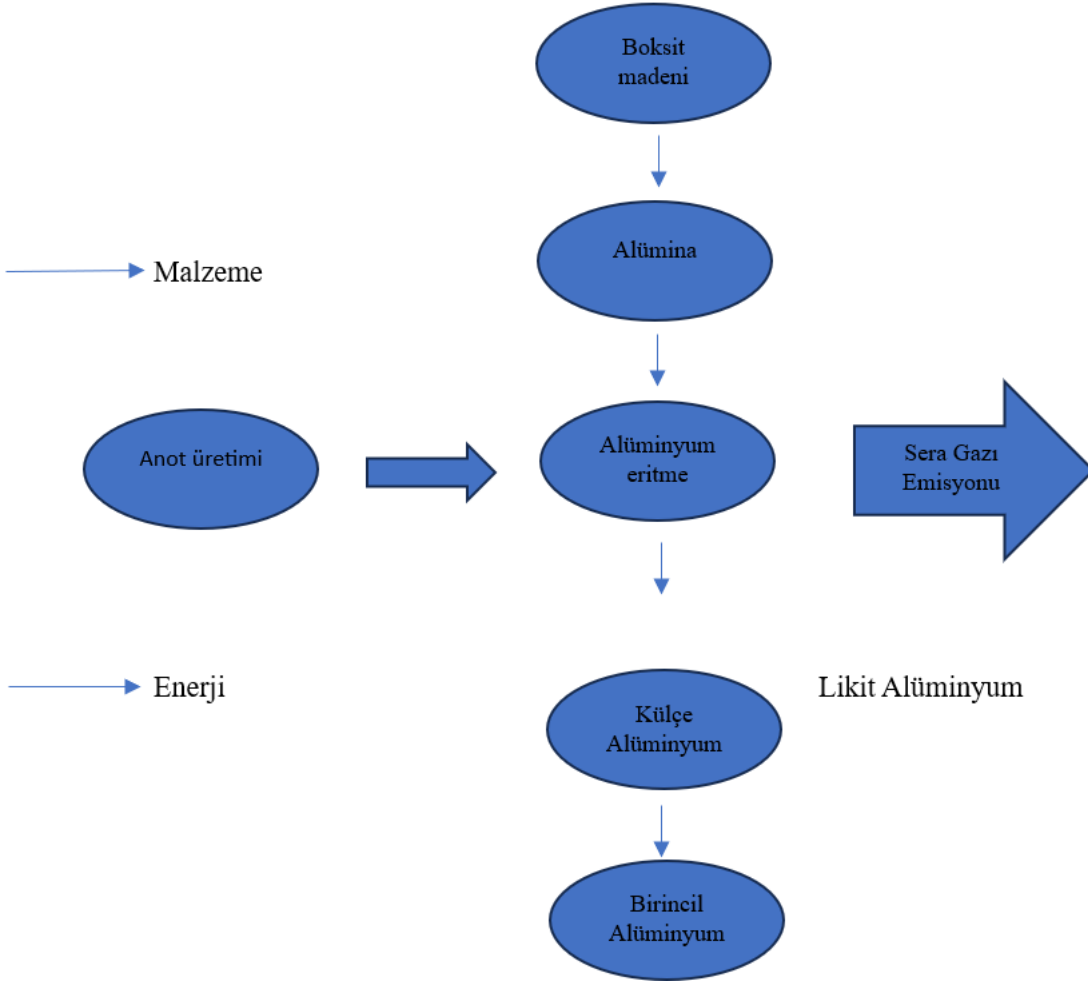
vergilerin diğer sektörler de getirilmesi planlanmaktadır. Sınırdaki karbon vergisi, emisyon içeriğine ve Avrupa Birliği emisyon ticaret sistemi fiyatı ile üretici ülkede ödenen karbon fiyatı arasındaki farka göre belirlenecektir. Bu noktada emisyon düzeylerini düşüremeyen firmalar yüksek vergilerle karşı karşıya kalacak ve rekabet güçlerini kaybedeceklerdir. Yakın gelecekte söz konusu sektörlerde üretim ve ihracat düzeyleri üzerinde etkili olacak bu uygulamaların Türkiye'nin en önemli dış ticaret partnerinin AB olduğu dikkate alındığında Türkiye ekonomisinde de önemli etkiler yaratması muhtemeldir. Ulusal ve uluslararası literatür incelendiğinde, birincil alüminyum üretiminden kaynaklı emisyon miktarını belirleyen değişkenleri inceleyen çalışmalar uluslararası literatürde nadir olarak var olsa da Türkiye özelinde konuyu ele alan ya da ulusal literatürde böyle bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışmada, birincil alüminyum üretiminden kaynaklı emisyonun belirleyicilerinin araştırılması ve sektöre yol gösterici nitelik taşıyabilecek politika önerileriyle literatürdeki boşluğu doldurması beklenmektedir.

Alüminyum, geçmişten günümüze farklı birçok alanda kullanımı olan bir metaldir. Alüminyum üretiminde boksit cevheri kullanılmakta ve üretim aşamasında farklı birçok süreçten geçmektedir. Üretim süreçleri dikkate alındığında birincil ve ikincil alüminyum üretimi olmak üzere ikiye ayrılmakta ve çalışmanın ana ögesi olan birincil alüminyum üretimi üç aşamadan oluşmaktadır.

Doğada direkt olarak bulunmayan alüminyumun üretiminde birincil üretim doğal kaynaklardan boksit madeninin işlenmesi sonucu elde edilirken, ikincil üretim ise alüminyum hurdasından geri dönüşümle elde edilmektedir. Birincil üretimde işleme süreçlerinde kullanılan kömür, doğalgaz ve hidroelektrik gibi yakıt kaynakları karbon emisyonuna neden olmaktadır, ikincil üretimde daha az enerji ihtiyacı duyulmakta ve böylece daha az emisyon yayılmaktadır (Nortgate ve Haque, 2010). Birincil üretim dünyada demir-çelik sektöründen sonra üretimi en fazla gerçekleştiren metal olmakla birlikte nihai ürüne dönüştüğü andan itibaren formunu koruması ve bozulmamasından dolayı gün geçtikçe daha çok talep edilmektedir. Bu bağlamda da Avrupa Yeşil Mutabakatında alınan karar dahilinde emisyon salınımı kontrol altına alınacak ilk beş sektör arasında yer almaktadır.

Boksit temel olarak yaklaşık %50 alüminyum oksit, %10-20 su ve diğer çeşitli yabancı maddelerden oluşan alüminyum cevheridir. Boksit madeninden ham alüminyum elde edilebilmesi için farklı yöntemler bulunsa da en çok kullanılan Carl Bayer tarafından geliştirilen Bayer yöntemidir. Cevherden saf alüminyum üretiminin ilk aşamasında Bayer metodu ile boksit cevherinden alümina (Al_2O_3); ikinci aşamasında ise alüminadan elektroliz yöntemi ile saf alüminyum elde edilmektedir. Yaklaşık dört ton boksitten; iki ton alümina ve bir ton metal alüminyum elde edilebilmektedir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021:7). Şekil 1'de de görüldüğü üzere boksit madeninin rafine edilmesi aşamasından dökme alüminyum ya da alüminyum levhaya kadar geçen her bir aşamada karbon emisyonu ortaya çıkmaktadır.

Şekil 1: Birincil Alüminyum Üretim Süreci



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

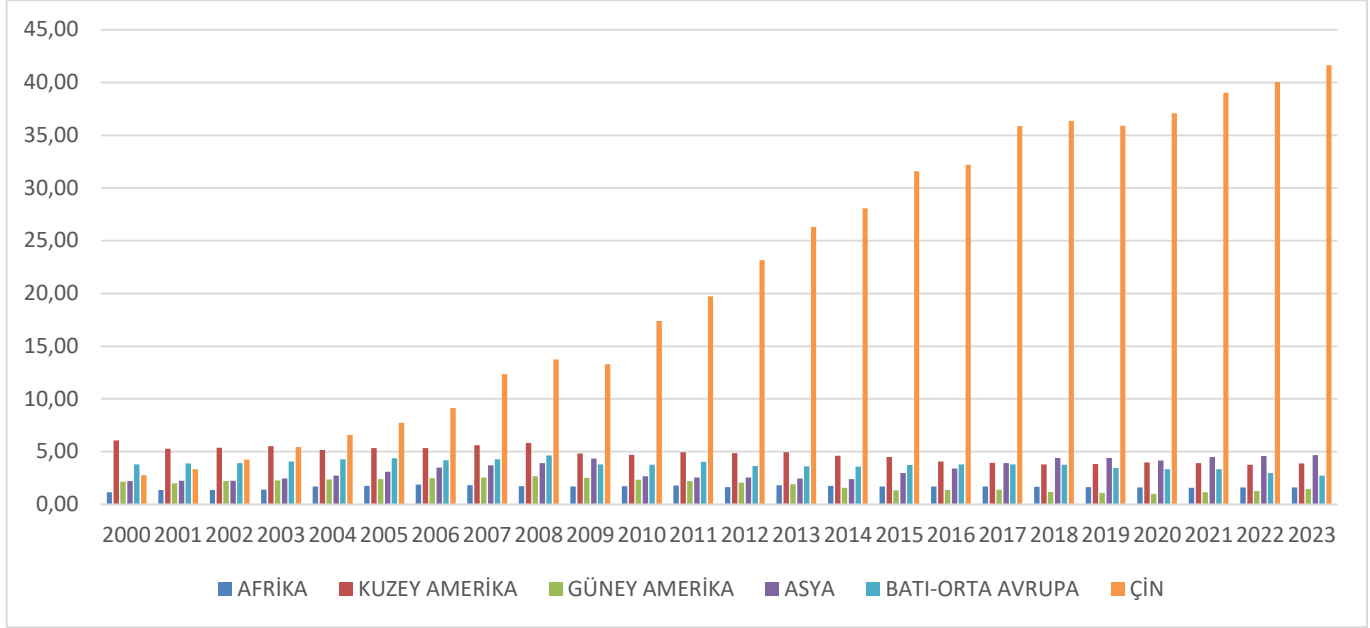
Birincil alüminyum üretimi esnasında ikincil üretim sürecine göre 10 kat daha fazla enerji tüketimi gerçekleşmektedir (Liu, Z., Geng, Y., Adams, M., Dong, L., Sun, L., Zhao, J., Tian, X., 2016). Nitekim bir ton birincil alüminyum üretimi için birim bazında 126 GJ enerji gerekmektedir (Gautam, M., Pandey, B. ve Agrawal, M., 2018).

Alüminyum üretim sürecinin tamamıyla ilişkili enerji kaynakları kömür, hidroelektrik ve doğal gazdır (Uluslararası Alüminyum Enstitüsü (IAI), 2011). Öyle ki alüminyum üretimi sırasında atmosfere yayılması muhtemel başlıca kirleticiler partikül madde, kükürt dioksit (SO₂), nitrik oksit (NO), cıva (II), su buharı, florürler, benzo{a}piren, karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), PFC'ler, HFC'ler ve polisiklik aromatik hidrokarbonlardır (Liu ve diğerleri, 2016). Ayrıca bu endüstriden üretilen katı atıklar; atık su arıtma tesisinden gelen çamur, alümina, silikon, demir, titanyum, sodyum, kalsiyum ve diğer organik oksitleri içeren kırmızı çamur (üretilen alüminyum tonu başına iki ton kadar çamur) ve inorganik bileşenlerdir (Gautam ve diğerleri, 2018:206).

Birincil alüminyum birçok sektörde yaygın olarak kullanıldığından talebi de artmaktadır. Bu bağlamda dünya birincil alüminyum üretimi son 20 yılda 2,73 kat artarken, tedarik zincirinde en önemli ülkelerden biri olan Çin'de bu oran 13,9 kat artış şeklinde gerçekleşmiştir (Huang, Wang ve Guo, 2023). Söz konusu dönemde toplam dünya üretiminin %52' sine karşılık gelen 522.854 milyon tonu Çin ve bölgesel düzeyde ise 113.908 milyon tonu Kuzey Amerika ve 90.658 milyon tonu ise Batı-

Orta Avrupa tarafından gerçekleştirilmiştir. İlgili döneme ilişkin üretim verileri Tablo 1’de yer almaktadır.

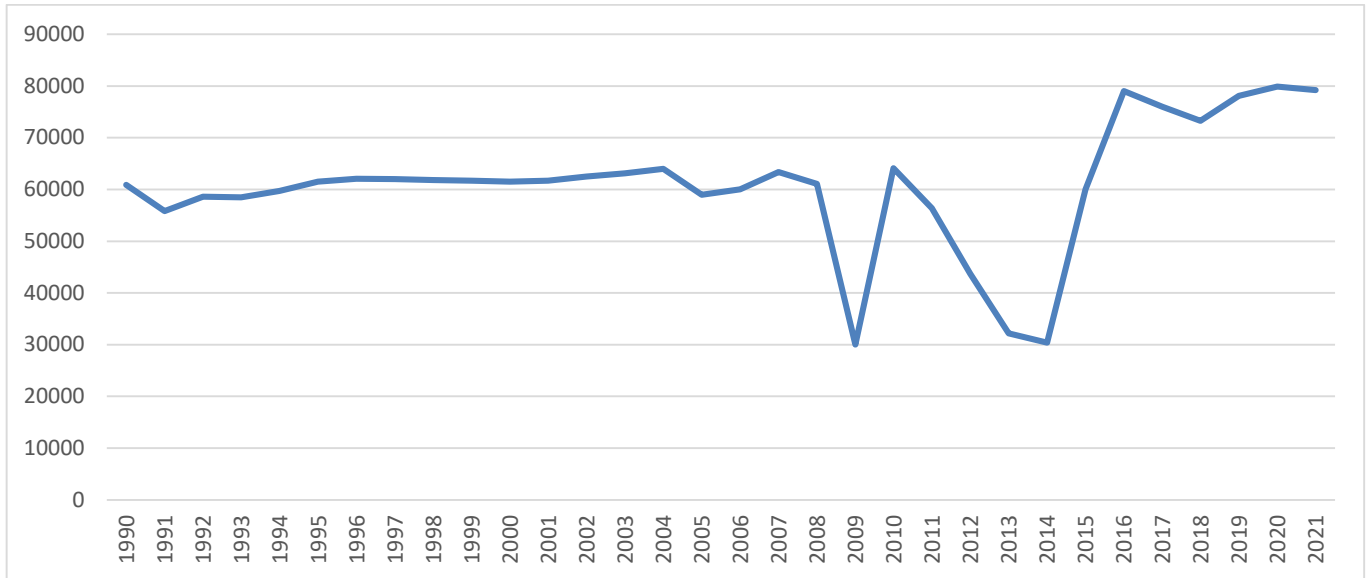
Tablo 1: Dünya’da Birincil Alüminyum Üretimi (Milyon Ton)



Kaynak: International Aluminium Institute (Uluslararası Alüminyum Enstitüsü)

Türkiye’de Antalya, Konya, Gaziantep illerinde 31 milyon tona yakın çıkarılabilecek boksit cevheri bulunmakta ve birincil üretimi ise sadece bir fabrika gerçekleştirmektedir. Eti Alüminyum, Türkiye'nin tek birincil alüminyum üreticisi olarak işlenmemiş cevheri alt havzaya alıp nihai ürüne kadar her aşamanın ihtiyacını karşılamaktadır. Şirketin fabrikaya sadece 20 kilometre uzaklıkta kendi boksit cevheri madenleri bulunmakta ve burası üretimin başlangıç noktası kabul edilmektedir.

Tablo 2: Türkiye’de Birincil Alüminyum Üretim Miktarı

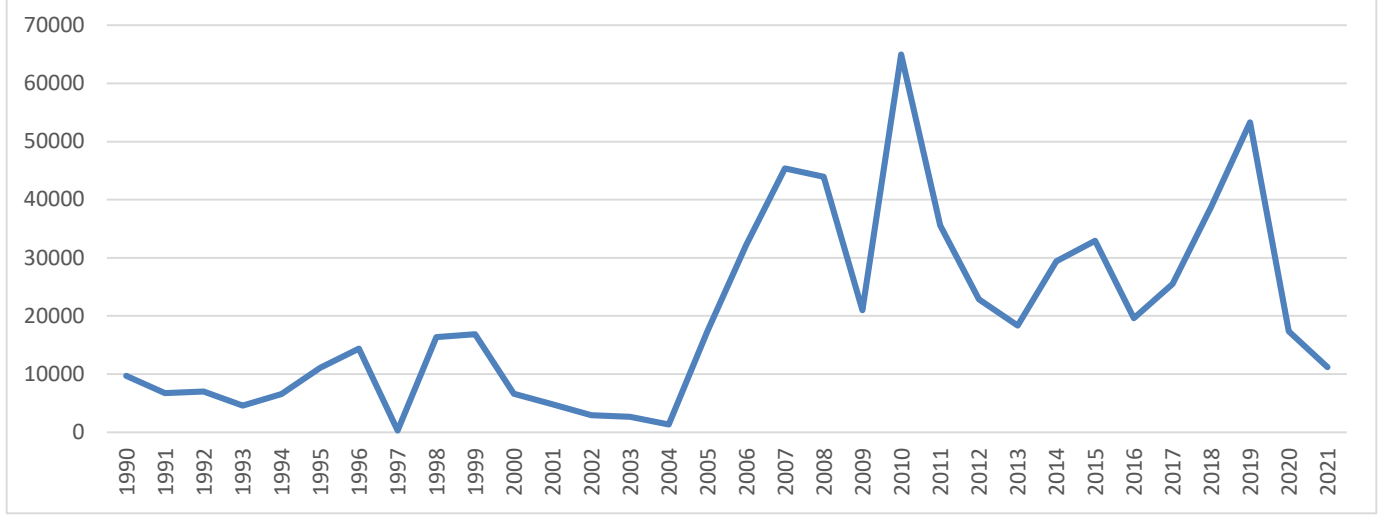


Kaynak: United States Geological Survey (<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/europe-and-central-eurasia#au>)

Türkiye’de birincil alüminyum üretimi yıllar içinde değişkenlik gösterse de artış trendini korumaktadır. Birincil alüminyum üretiminin bir kısmı ihracata dönük olup bu noktada AB en önemli

dış ticaret partneridir. Nitekim Türkiye'den AB27 ülkelerine yapılan birincil alüminyum ihracatı Tablo 3'de gösterilmektedir. İhracat miktarına göre ilk sırada Almanya yer alırken, İspanya ve İtalya gibi gelişmiş ülkeler ise Almanya'yı takip etmektedir.

Tablo 3: Türkiye'nin AB27 Ülkelerine Birincil Alüminyum İhracatı



Kaynak: comtrade'den elde edilen verilerle yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

SKDM'nın Türkiye'nin gelecekte AB27 ülkelerine yapacağı ihracatı etkilemesi ve olumsuz sonuçlarının ortaya çıkması olasıdır. Hatta sınırda karbon düzenleme mekanizması içinde karbon kaçağı yüksek olarak belirlenen beş sektör içinde Türkiye'den Topluluğa ihracat payı en yüksek sektör alüminyum sektörüdür (Özsalman ve Derindağ, 2023:38). Türkiye'nin AB27'ye birincil alüminyum ihracatının önemi Tablo 4'den görülebilir.

Tablo 4: Birincil Alüminyumun İhracat Görünümü

YILLAR	AB27'YE TOPLAM İHRACAT (Milyon DOLAR)	TR'DEN DÜNYAYA TOPLAM İHRACAT (Milyon DOLAR)	TOPLAM İHRACAT İÇİNDE AB27'NİN YÜZDE PAYI (%)
2021	8.382.435	21.845.183	% 38,37
2020	4.203.792	12.412.611	% 33,87
2019	4.827.493	13.808.027	% 34,96
2018	5.996.451	15.286.543	% 39,23

Kaynak: Özsalman ve Derindağ, 2023:38.

2018 yılından 2021 yılına kadar Türkiye'den dünyaya ve AB27 ülkelere toplam birincil alüminyum ihracat değeri incelendiğinde, 2018 yılı özellikle dikkat çekmekte olup Dünyaya gerçekleştirilen birincil alüminyum ihracatı içinde AB27 ülkeleri %39,23 pay almışlardır. 2019 ve 2020 yıllarında küresel olarak dış ticareti sekteye uğratan Covid Pandemisi nedeniyle hem dünyaya hem de AB27 ülkelere gerçekleştirilen birincil alüminyum ihracatı düşmüş ve 2021 yılında Covid Pandemisi'nin etkisinin azalmasıyla birlikte 2018 yılındaki ivmesini tekrar yakalamıştır. Alüminyumun kullanım ömrünün sonlanmaması ve geri dönüşüm ile hurdadan tekrar nihai ürün üretilebiliyor olması ayrıca hafif ve dayanıklı bir metal olması gibi avantajlarından ötürü gelecek yıllarda üretimin daha da artması muhtemeldir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Uluslararası literatürde birincil alüminyum ihracatı ve emisyon ilişkisini açıklayan sınırlı sayıda çalışma olmasının yanı sıra Türkiye’de ise bu ilişkiyi açıklayan bir akademik çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın Türkiye özelinde literatürdeki boşluğu doldurma hedefi olduğu söylenebilir.

Konuya ilişkin araştırmaların başlangıçta emisyonu etkileyen faktörler üzerinde yoğunlaştığı ifade edilebilir. Bu bağlamda büyümenin ve sanayileşmenin çevre üzerine olan olumsuz etkileri ilk etapta çalışmalara konu edilmiştir. Bu noktada önemli bir katkı ise Grossman ve Krueger (1991)’dan gelmiş ve ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi “Çevresel Kuznets Eğrisi” ile açıklamışlardır. Grossman ve Krueger (1991), Kuznets (1955)’in gelir dağılımı ile büyüme arasındaki ilişkiyi ortaya koyan Ters-U şeklindeki Kuznets Eğrisini çevre sorunlarına uyarlamışlar ve Çevresel Kuznets Eğrisini geliştirmişlerdir. Çevresel Kuznets Eğrisi, ekonomik büyümenin CO₂ emisyonunu önce artırıp ardından azalttığı hipotezine dayanan Ters-U görünümündeki eğridir. İlişkinin bu şekilde ortaya çıkmasının nedeni, ülkelerin belirli bir gelir düzeyine ulaştıktan sonra çevre kirliliğine karşı önlem aldıkları ve toplumda çevresel duyarlılığın giderek arttığı böylece çevresel göstergelerin giderek olumlu yönde gelişmesidir. Geniş bir literatürün bulunduğu bu konuda örneğin Roberts ve Grimes (1997), Magnani (2000), Atıcı ve Kurt (2007) ve Ang (2007) ülkelerin belirli bir gelir düzeyine eriştikten sonra teknolojik gelişmeler ve çevre düzenlemeleri aracılığı ile CO₂ emisyonundaki artışı düşürmeye başladığını tespit etmişlerdir. Bununla beraber He ve Richard (2010), Fodha ve Zaghdoud (2010) ve Koçak (2014) gibi aksi yönde bulgular elde edilmiş çalışmalar da bulunmaktadır.

Literatürün ilerleyen süreçlerinde büyüme ile beraber ihracatın da karbon emisyonu üzerindeki etkisi araştırma konusu yapılmıştır. İhracatın üretime bağlı olması ve enerji tüketimini gerektirmesi birçok araştırmada değişken olarak kullanılmasını beraberinde getirmiştir. Üretim,-büyüme ve ihracatın karbon emisyonu üzerine olan etkilerini araştıran çalışmalarda genellikle değişkenler arasında pozitif bir ilişkinin bulunduğu yönünde sonuçlar elde edilmiştir. Nitekim, Çetin ve Şeker (2014) büyüme ve dış ticaretin; Bağrıyanık (2021) ihracat çeşitliliği ve ekonomik büyümenin karbon emisyonunu pozitif yönde etkilediğini ortaya koymuşlardır. Yılmaz ve Karabiber (2022) ekonomik büyüme ve ihracatın yanı sıra doğrudan yabancı yatırımların da karbon emisyonu üzerine etkisini araştırmışlar ve değişkenlerle emisyon arasında güçlü nedensellik içerdiğini ortaya koymuşlardır. Benzer bir çalışmayı gerçekleştiren Özekenci (2023) de enerji tüketiminin ve doğrudan yabancı yatırımların karbon emisyonunu arttırıcı etkisi olduğunu ve ihracat ve ekonomik büyüme ile karbon emisyonu arasında istatistiki olarak anlamlı bir ilişkinin bulunmadığını tespit etmişlerdir. Çoban ve Özkan (2022) ile Karaca ve Çımat (2023) da benzer şekilde enerji tüketiminin çevre koşulları üzerinde olumsuz etki yarattığı bulgusuna ulaşmışlardır. Gültekin, (2023) büyümenin yanı sıra finansal gelişme ve inovasyon değişkenlerinin karbon emisyonu üzerine etkisini incelemiş; finansal gelişmenin ve ekonomik büyümenin karbon emisyonu üzerinde artışa neden olduğu inovasyon değişkeninin emisyonu azaltıcı etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur.

Literatürde birincil alüminyum üretim sürecinde kullanılan yoğun enerji miktarının ikincil alüminyum üretim sürecine göre çok daha fazla olmasına bağlı olarak birincil alüminyum üretiminin karbon emisyonu üzerindeki etkileri de araştırma konusu olmuştur. Özellikle dünyada alüminyum ve birincil alüminyum üreticilerinden ilk sırayı alan Çin’de bu yöndeki akademik çalışmalar artmıştır. Bir başka ifadeyle birincil alüminyumun en büyük üreticisi ve tüketicisi olan Çin’de sektörün önemi, enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı hususları akademik dünyayı da etkilemiştir. Birincil alüminyumun küresel malzeme akışında 1995 yılı temel alındığında 2010 yılı itibariyle yaratabileceği karbon emisyonunu ve belirleyenlerini tahmin eden Schwarz vd. (2001) alüminyuma olan talebin temel belirleyici olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Gün geçtikçe artan alüminyum talebi ile üretim artışının paralellik gösterdiği çalışmada üretim yöntemi ve yöntemde kullanılan yakıt

türünün Amerika, Brezilya, Latin Amerika, Sovyetler Birliği, Afrika, Hindistan, Çin ve Avusturya'daki emisyon artışı üzerinde etkisi olduğu açıklanmıştır. Birincil alüminyum üretim ve dış ticaretinde aktif olan 29 ülkeyi ele alarak bu üretimin çevreye verdiği zararı ve karbon emisyon miktarını hesaplayan Paraskevas vd. (2016), 2012 yılında küresel olarak ortalama 18,4 ton CO₂ eşdeğeri emisyon ve kg başına 1,87 kg birincil alüminyum üretimi elde edildiği ve toplamda alüminyum endüstrisinin yaklaşık 861 milyon ton CO₂ emisyonundan sorumlu olduğunu ortaya koymuşlardır. Ülkeler arasında Çin'in sistematik olarak tüm kategorilerde ve her düzeyde en önemli oyuncu olarak ortaya çıktığı gözlemlenmiş; küresel alüminanın %40'ını ve küresel birincil alüminyumun %46'sını üreterek, toplam CO₂ eşdeğeri emisyonların %56'sını ve küresel etkinin %54'ünü oluşturduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla Çin'in ürettiğiyle orantılı olarak daha fazla kirliliğe neden olduğu vurgulanmıştır.

Literatüre katkısı olan çalışmalar yalnızca birincil alüminyum üretimi esnasında ortaya çıkan emisyon yönünde değil, aynı zamanda yaşam döngüsünde ya da üretim aşamalarında ortaya çıkan sera gazı emisyonlarına yönelik olarak da gerçekleştirilmiştir. 2000'den 2020'ye kadar alüminyum endüstrisinin yarattığı sera gazı emisyonlarını belirlemeye yönelik bir çalışma da Huang vd (2023) tarafından gerçekleştirilmiş ve çalışmada 2000 yılından 2020 yılına kadar üretime bağlı olarak karbon emisyonunda artış olduğu belirlenmiştir. Bu artışın ana nedeninin birincil alüminyum üretiminde eritme işlemi olduğu ifade edilmiştir. Sera gazı emisyonlarının asıl nedeninin birincil alüminyum üretimi olduğu ve enerji yoğunluğunun bunu takip ettiği gözlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, temiz enerji kullanımı ve yeni düşük karbonlu teknolojilerin geliştirilmesi de dahil olmak üzere, birincil alüminyum endüstrisinde düşük karbonlu kalkınmaya yönelik stratejiler önerilmektedir. Wang vd. (2024) birincil alüminyum üretim sürecinin yaşam döngüsünü ele almış ve Çin alüminyum endüstrisinin 2011'den 2020'ye kadar olan yaşam döngüsü boyunca sera gazı emisyonlarının gidişatını ve özelliklerini analiz etmiş ve alüminyum endüstrisinde sera gazı emisyonlarının çoğunlukla elektrik üretiminden kaynaklanan dolaylı emisyonlardan (%69'un üzerinde) meydana geldiği bulgusuna ulaşmışlardır. Elektrolitik alüminyumun, alüminyum endüstrisinde sera gazı emisyonlarının en büyük alt süreci olduğunu vurgulayan bu çalışmada ayrıca toplam enerji tüketimi etkisi, alüminyum endüstrisinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarındaki artışın ana nedeni olarak belirlenmiştir.

Literatürde alüminyumun ara mal olarak kullanılmasının karbon emisyonu üzerine etkilerini belirlemeye yönelik olan çalışmalar da bulunmaktadır. Du vd. (2010) çalışmasında alüminyum yoğun üretilen araçlarda sera gazı emisyonu ve enerji tüketimini ölçmüşlerdir. Çalışmada yaşam döngüsü değerlendirmesi metodolojisini ve alüminyum yoğun araçların sera gazı emisyonları ile enerji tüketimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılan genel modelleme varsayımları açıklanmaktadır. Sonuçlara göre, bir otomobildeki maksimum alüminyum içeriği Kuzey Amerika'daki otomobillerdeki ortalama alüminyum kullanım seviyesi olan 145 kg olduğunda yaşam döngüsü sera gazı emisyonlarındaki ve enerji tüketimindeki azalmaların önemli olmadığını göstermektedir. 2010'dan 2020'ye kadar Çin'deki araç stokunu tahmin etmek için bir sinir ağı metodolojisi kullanılmış ve araç filosunun sera gazı emisyonlarını ve enerji tüketimini takip etmek için bir araç filosu modeli oluşturulmuştur. Karar vericilere yapay zekanın otomobillerde yaygın olarak uygulanması için rasyonel teklifler sunma konusunda daha fazla yardımcı olmak amacıyla yaşam döngüsü analizi metodolojisine bir malzeme kullanılabilirliği faktörü de dahil edilmiştir. Bir araçtaki alüminyum içeriğinin nihai sonuçlar üzerindeki etkisini incelemek için ayrıca duyarlılık analizi de gerçekleştirilmiştir. Bulgularda bir otomobildeki alüminyum içeriği arttığında sera gazı emisyonlarının ve enerji tüketiminin daha da azaltılabileceği ortaya konulmuştur. Benzer bir çalışmada Liu vd. (2016), Çin'de alüminyum endüstrisinin enerjiyle ilgili sera gazı emisyon döngüsünde, özellikleri ve itici güçleri, 2004'ten 2013'e kadar yaşam döngüsü analizi perspektifinden analiz edilmiştir. Sonuçlar, Çin alüminyum endüstrisinin enerjiyle ilgili sera gazı emisyonlarında 2004'ten 2013'e kadar yıllık ortalama 28,5 milyon ton CO₂'luk bir büyüme hızı

yaşadığını göstermektedir. Enerji ölçeği etkisi, Çin alüminyum endüstrisinde enerjiyle ilişkili sera gazı emisyonlarındaki artışın ana itici gücü olurken, ikincil alüminyum üretiminin emisyon faktörü etkisi marjinal bir etki oynamaktadır. İnşaat ve ulaşım ile ilgili faaliyetler, Çin alüminyum endüstrisinden kaynaklanan toplam gömülü emisyonların %40'undan fazlasına karşılık gelen ve yerleşik emisyonların büyük bir kısmını oluşturmaktadır. İkincil alüminyum endüstrisinin geliştirilmesi, enerji karışımının iyileştirilmesi ve üretimin kaynak verimliliğinin optimize edilmesi gibi Çin alüminyum endüstrisi içerisinde sera gazı azaltımına yönelik politika sonuçları çalışmada önerilmiştir.

Literatürde politika yapıcılara öneriler sunan çalışmaların yanı sıra emisyon azaltmaya yönelik Birleşmiş Milletler'in uygulamaya koyduğu anlaşmalar ve ülkelerin verdiği taahhütlerin karşılaştırıldığı çalışmalar ve anlaşmalardan Kyoto Protokol kapsamında gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere olan etkileri de tartışılmıştır. Örneğin, Harnisch vd. (1998) çalışmasında atmosferik gözlemleri 1990 ve 1995 temel yıllarına ait mevcut PFC emisyonlarını 2010 yılı için ulaştıkları tahminleriyle karşılaştırmışlardır. Farklı politika senaryoları altında MIT Emisyon Projeksiyonu ve Politika Analizi modelini kullanarak alüminyum endüstrisinden kaynaklanan bölgesel PFC emisyonlarına ilişkin tahminlerinde PFC ve CO₂ emisyonlarının azaltım maliyetleri Kyoto Protokolü bağlamında karşılaştırılmış ve sonuç olarak uygulanan yöntemlerin maliyetleri azalttığı ortaya konulmuştur. Xu vd. (2012) çalışmasında, sürdürülebilir kalkınmanın arka planı altında alüminyum endüstrisinin dünya ve Çin'deki mevcut durumu ele alınmış; alümina ve elektrolitik alüminyum üretim alanlarının gelişmiş ülkelere aktarıldığı ifade edilmiştir. Çalışmanın bulgularında bol kaynak ve enerjiye sahip ülkelerin modern alüminyum endüstrisinin, geri dönüştürülmüş alüminyuma birincil alüminyumdan daha fazla önem verdiği ortaya konulmuştur. Karşılaştırma yöntemi kullanılan çalışmada, alümina boksit, alüminyum oksit, elektrolitik alüminyum, geri dönüştürülmüş alüminyum ve alüminyum ürünleri işleme dahil olmak üzere alüminyum endüstrisinin Çin ile diğer ülkeler arasındaki gelişim farklılıkları ortaya konulmuştur. Ayrıca boksit kaynağı, üretimi, işlenmesi ve teknolojisi vb. konularda strateji önerileri sunulmuştur. Gomilšek vd. (2020) çalışmasında, alüminyum endüstrisinde ortaya çıkan emisyonları azaltmak amacıyla matematiksel programlama metodunu kullanmışlardır. Alüminyum slablar ve buharlaştırıcı paneller gibi belirli alüminyum ürünlerin üretimi için grafiksel, cebirsel ve optimizasyona dayalı yaklaşımlar uygulanmıştır. Grafiksel ve cebirsel yaklaşımlar, belirlenen emisyon sınırına ulaşmak için gereken minimum sıfır ve düşük karbonlu enerji kaynağı miktarını belirlemektedir. Çalışmanın bulgularına göre, 1 ton alüminyum slab üretimi için yaklaşık 2,14 MWh sıfır karbon veya 2,22 MWh düşük karbon ve aynı miktarda fazla enerjinin elde edildiğini göstermiştir. Shen ve Zhang (2024) ise sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmeye çalışmışlardır. Birincil ve ikincil alüminyum üretimindeki emisyon miktarları ton başına sırasıyla 14,98 t ve 0,32 t olarak tahmin edilirken, Çin'de alüminyum endüstrisi için odaklanması gereken noktanın kısa dönemde temiz üretim için maliyetlerin uygun olduğu teknolojilerin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

3. AMPİRİK UYGULAMA

3.1. Yöntem

Ekonomik ilişkilerin belirlenmesinde farklı ekonometrik analizlerden yararlanılmakta, özellikle de değişkenler arasındaki uzun ve kısa dönemli ilişkilerin incelenmesi için Engle ve Granger (1987), Johansen (1988) ve Johansen ve Juselius (1990) gibi farklı eş bütünleşme testleri kullanılabilir. Bu çalışmada ise gecikmesi dağıtılmış otoregresif sınır testi (ARDL) kullanılan değişkenlerin özelliklerine dayalı olarak tercih edilmiştir. Klasik eş bütünleşme testleri değişkenlerin aynı dereceden durağan olması şartını aramasına karşın ARDL yöntemi bu şartı aramamakta, başka bir ifadeyle serilerin I(0) veya I(1) düzeyinde durağan olması durumunda da değişkenler arasındaki eş bütünleşme ilişkisinin varlığının araştırılabilmesine olanak sağlamaktadır (Sharifi-Renani, 2007:

3). Ancak bağımlı değişkenin I(1), bağımsız değişkenlerin ise I(0) ve/veya I(1)'de durağan olması gerekmektedir (Pesaran ve diğerleri, 2001: 290). ARDL modelinin bir diğer olumlu yönü ise küçük örnekleme sahip çalışmalarda da uygulanabilmesi ve Engle ve Granger (1987) ve Johansen (1988, 1995) eş bütünleşme testlerine kıyasla daha etkin ve güvenilir sonuçlar vermesidir (Narayan ve Smyth, 2005: 103).

ARDL yöntemi ile değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda Y değişkeninin bağımlı, Z değişkeninin ise bağımsız değişkenleri temsil ettiği varsayımı altında uzun dönem ilişki Denklem 1'deki gibi tanımlanabilir.

$$Y_t = \phi + \beta Z_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Pesaran vd. (2001) Denklem 1'de ifade edilen uzun dönemli ilişkinin, sınır testi yaklaşımı ile tahmin edilebileceği bir yöntem geliştirmişlerdir. ARDL testi olarak ifade edilen bu yöntem, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkiyi kısıtsız hata düzeltme modeli aracılığıyla tahmine dayanmaktadır. Yani ilk önce kısıtsız hata düzeltme modeli tahmin edilmekte daha sonra bu model kısıtlı hata düzeltme modeline dönüştürülerek uzun dönem katsayıları elde edilmektedir.

Denklem 2'de gecikmesi dağıtılmış doğrusal bir ARDL modeli gösterilmiştir.

$$\Delta Y_t = \mu + \rho_Y Y_{t-1} + \rho_Z Z_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} a_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=0}^{q-1} \beta_i \Delta Z_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

3.2. Model ve Veri Seti

Bu çalışmanın amacı, birincil alüminyum sektöründe karbon emisyonunun belirleyenlerini ortaya koymaktır. Çalışmanın amacı bağlamında temel açıklayıcı değişken olarak AB27'ye birincil alüminyum ihracat miktarı modele dahil edilmiştir. Söz konusu değişkenin modele dahil edilmesinin iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi en büyük ve istikrarlı ihracat pazarının AB olması nedeniyle birincil alüminyum ihracatının bu sektördeki karbon emisyonu üzerine olan etkilerini belirlemektir. İkinci olarak AB'nin söz konusu sektörde ortaya koyduğu ve koyacağı uygulamaların ihracatçı firmalar üzerindeki etkilerini belirlemek bir başka ifadeyle ihracatçı firmaların karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik proaktif politikaları uygulamaya koyup koymadıklarını saptayabilmek amacıyla modele dahil edilmiştir. Öte yandan kontrol değişkenleri de modelde kullanılmıştır. İlk olarak ilgili sektörde karbon emisyonunun temel nedeni olan birincil alüminyum üretimine modelde yer verilmiştir. İkinci olarak Türkiye'de söz konusu dönemde yaşanan teknolojik gelişmenin ve çevresel duyarlılığın etkisini belirlemek üzere insani gelişmişlik endeksi modele dahil edilmiştir. Çalışmamızda değişkenlere ait zaman serileri üzerinde şok etkileri gözlenmektedir. Bu etkilerin tahminleme aşamasında parametreler üzerinde ortaya çıkaracağı sapmaya karşı, söz konusu tarihler için (1993 ve 2009) şok kukla değişkeni oluşturulmuştur. 1994 ve 2008 yıllarında yaşanan ekonomik krizin var olan stokların erimesine bile engel olarak üretimde artışın olmaması, emisyon salınımında da paralel bir durumun ortaya çıkmasına yol açmıştır (TUİK, 2023: 208). Ekonomik krizlerden kaynaklanan bu durum birincil alüminyum ihracatı ve emisyon ilişkisinde trendden sapmaya ve kırılmaya yol açmıştır. Kukla değişkenlerin modele eklenmesiyle hem tahminleme için daha dirençli parametreler elde edilmiş hem de şokların parametreler üzerindeki etkisine bağlı olarak ortalama ve eğimde kaymalar gösterilmiştir. Bunun sonucunda politika uygulamaları için ek bir bilgiye ulaşılmıştır. Kurulan model aşağıda gösterilmiştir.

Emisyon Düzeyi= f (AB'ye Alüminyum ihracat miktarı, Alüminyum üretim miktarı, İnsani gelişmişlik Endeksi)

Tablo 5: Modelde Kullanılan Değişkenler ve Tanımları

KISALTMA	TANIM	DEĞER	KAYNAK
LEMSYN	Alüminyum Emisyon Miktar Endeksi	Logaritmik	TÜİK
LEXPRT	AB'ye Alüminyum İhracat Miktarı	Logaritmik	Comtrade
LPRDCT	Alüminyum Üretim Miktar Endeksi	Logaritmik	UK Minerals
LHDI	İnsani Gelişmişlik Endeksi	Logaritmik	UNDP

Tablo 6: Değişkenlere İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

	LEMSYN	LEXPRT	LPRDCT	LHDI
Ortalama	4.590092	4.875822	4.570439	4.266684
Medyan	4.693651	5.169452	4.615055	4.255588
Maksimum	4.777446	6.504691	4.876680	4.433195
Minimum	3.943298	0.998761	3.897102	4.094345
Standart Sapma	0.251835	1.175524	0.244789	0.113802
Çarpıklık	-1.693655	-1.272622	-1.575820	0.092449
Basıklık	4.394999	4.998725	5.309818	1.672740
Jarque-Bera	17.89318	13.96423	20.35746	2.394408
Olasılık değeri	0.000130	0.000928	0.000038	0.302037

Tablo 6'ya göre, LEMSYN, LEXPRT VE LPRDCT değişkenlerinin çarpıklık değerleri negatiftir, diğer bir ifadeyle dağılımlarının sola çarpık, LHDI değişkeninin ise sağa çarpık olduğu söylenebilir. Serilerdeki negatif çarpıklık değeri uç olayların varlığını ifade etmektedir. Basıklık değerlerine göre LEMSYN LEXPRT ve LPRDCT değişkenlerin basıklık değeri normal dağılıma ilişkin '3' kritik değerinden büyük olduğu için kalın kuyruk özelliğine sahip olduğu, LHDI değişkeninin ise '3' kritik değerinden küçük olduğu için kalın kuyruk özelliğine sahip olmadığı görülmektedir. Jarque-Bera test istatistiğine göre LHDI dışındaki değişkenlerin normal dağılıma sahip olduğu ifade edilebilir.

3.3. Ampirik Bulgular

Klasik regresyon analizi, zaman serisi değişkenlerini durağan, bir başka ifadeyle varyansı ve ortalaması zaman içinde sabit olan değişkenler olarak kabul etse de (Gujarati, 2006: 713) birçok ekonomik zaman serisinin genellikle durağan olmadıkları görülmektedir. Durağan olmayan zaman serileri ile gerçekleştirilen ekonometrik çalışmalarda elde edilen sonuçlar sapmalı çıkmakta bir başka ifade ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında belirlenen ilişki "sahte regresyon" (spurious regression) sorununu beraberinde getirmektedir. Sahte regresyon sorununun varlığı durumunda, standart t istatistikleriyle diğer standart istatistikler olması gerekene göre daha yüksek çıkmaktadır. Bu durum elde edilen bulguların yanlış çıkmasına sebep olabilmektedir. Dolayısıyla model tahmin aşamasına geçilmeden önce sahte regresyon probleminin önüne geçilebilmesi açısından değişkenlerin durağanlık derecelerinin araştırılması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla çalışmada ADF (Genişletilmiş Dickey-Fuller) ve Phillips-Perron Testleriyle serilerin durağanlık düzeyleri belirlenerek sonuçları Tablo 7'de sunulmuştur. Elde edilen bulgular ışığında LEXPRT değişkeninin düzeyde (I(0)) diğer değişkenlerin ise 1. Farkta durağan (I(1)) olduğu ifade edilebilir.

Tablo 7 ADF ve PP Birim Kök Test Sonuçları

		Değişkenler	ADF	PP
Düzey	Sabit	LEMSYN	-3.528680 (0)**	-3.550112 (1)**
		LEXPRT	-3.333208 (0)**	-3.287280 (2)**
		LPRDCT	-2.686940 (0)	-2.645437 (4)
		LHDI	-0.554761 (0)	-0.540608 (3)
	Sabit+Trend	LEMSYN	-3.464308 (0)	-3.488764 (1)
		LEXPRT	-4.253987 (0)**	-4.254967 (1)**
		LPRDCT	-2.646318 (0)	-2.597448 (4)
		LHDI	-1.466660 (0)	-1.902713 (3)
Birinci Fark	Sabit	LEMSYN	-6.927796 (0)**	-14.40139 (29)**
		LEXPRT	-7.850554 (0)**	-14.44630 (18)**
		LPRDCT	-5.858362 (0)**	-9.518513 (27)**
		LHDI	-4.851651 (0)**	-4.904245 (3)**
	Sabit+Trend	LEMSYN	-6.824030 (0)**	-15.23637 (29)**
		LEXPRT	-7.714945 (0)**	-14.29510 (18)**
		LPRDCT	-5.335848 (0)**	-9.900404 (22)**
		LHDI	-4.809679 (0)**	-4.864175 (3)**

Not: * ve ** değerleri sırasıyla %1 ve %5 anlam seviyelerinde serilerin durağanlıklarını göstermektedir. Parantez içindeki değerler ADF için Schwarz bilgi kriterine göre gecikme uzunluğunu, PP için Bartlett Kernel Newey-West Bandwidth kriterini göstermektedir. ADF ve PP testleri için: Mac Kinnon (1996) kritik değerleri sabitte % 1 ve % 5 değerleri için sırasıyla -3.5661661 ve -2.960411 ve sabit + trend için % 1 ve % 5 olasılık değerleri için sırasıyla -4.284580 ve -3.562882'dir.

Standart birim kök testleri yapısal kırılmaları dikkate almadıkları için eleştirilmektedirler. Bununla beraber iktisadi zaman serileri gerek ülke ekonomisinde gerekse küresel düzeyde yaşanan olayların etkisiyle yapısal kırılmaların etkisini bünyesinde barındırabilmektedir. Yapısal kırılmaların söz konusu olması durumunda söz konusu kırılmaları dikkate almayan standart birim kök testlerinin gücü zayıflamaktadır. Bu bağlamda çalışmada yapısal kırılmaları dikkate alan Zivot-Andrews birim kök testi kullanılarak değişkenlerin yapısal kırılmalar altında birim kök içerip içermedikleri araştırılmıştır (Zivot ve Andrews, 1992). Zivot-Andrews birim kök testinin önemli bir özelliği kırılma dönemlerini içsel olarak belirlemesidir. Birim kökün varlığını ifade eden boş hipotez, 'kırılmanın varlığı durumunda değişken durağandır.' şeklindeki alternatif hipoteze karşı test edilmektedir. Test istatistiğinin alternatif önem düzeylerindeki kritik değerden küçük olması durumunda boş hipotez reddedilmekte, alternatif hipotez kabul edilmektedir.

Tablo 8'de yer alan sonuçlar incelendiğinde Model A'da LEXPRT'nin birim kök içermediği LEMSYN, LPRDCT VE LHDI değişkenlerinin ise birim kök içerdiği görülmektedir. Model B için tüm değişkenlerin birim köke sahip olduğu ve Model C'de ise LEXPRT'nin birim kök içermediği; LEMSYN (%5 anlamlılık düzeyinde içermekte), LPRDCT VE LHDI değişkenlerinin ise birim kök içerdiği ifade edilebilir.

Tablo 8: Zivot-Andrews Birim Kök Testi

Değişkenler		Model A	Model B	Model C		
LEMSYN	Test İstatistiği	-4.700334 (0)	-4.071207 (0)	-5.291968 (0)		
	Kırılma Dönemi	2009	2015	2009		
LEXPRT	Test İstatistiği	-6.418342 (0)	-4.381628 (0)	-6.183683		
	Kırılma Dönemi	2006	2016	2006		
LPRDCT	Test İstatistiği	-4.744605 (0)	-4.039424 (0)	-4.959097 (0)		
	Kırılma Dönemi	2015	2014	2009		
LHDI	Test İstatistiği	-4.061755 (4)	-3.484046 (4)	-3.767450 (3)		
	Kırılma Dönemi	2013	2004	2013		
Kritik Değerler		%1	%5	%1	%5	
		-5,34	-4,93	-4,80	-4,42	-5,57

Not: Model A: Ortalamada kırılma, Model B: Trendde Kırılma, Model C: Rejimde (ortalama+eğim) kırılmayı ifade etmektedir. Parantez içindeki değerler gecikme uzunluklarını göstermektedir.

Çalışmada gerek veri setinin kısıtlı olması gerekse değişkenlerin aynı seviyeden durağan olmamaları nedeniyle sınır testi (ARDL) yaklaşımı tercih edilerek kullanılmıştır. İlk olarak değişkenler arasındaki eş bütünleşme ilişkisi sınır testi yaklaşımına bağlı olarak belirlenmiştir. Yıllık verilerle çalışıldığı için maksimum gecikme uzunluğu 3 seçilerek uygun gecikme uzunluğu Akaike bilgi kriterine (AIC) göre belirlenmiştir. Tablo 9'da söz konusu sektöre yönelik eş bütünleşme test sonuçları yer almaktadır. Hesaplanan F istatistikleri %5 önem düzeyinde üst kritik değerden büyük olduğu için, değişkenler arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin olduğu görülmektedir. Modele ilişkin tanısal testler incelendiğinde ise Breusch-Pagan-Godfrey Testi, Ramsey Reset Testi, Breusch-Godfrey LM Testi ve Jarque-Bera Normallik Testleri sonuçlarına göre modelde sırasıyla serisel korelasyon, spesifikasyon hatası, değişen varyans ve normal dağılım açısından herhangi bir sorun olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 9: Sınır Test İstatistiği Sonuçları

	F İstatistiği	Kritik Değer	
K	3	Alt Sınır	Üst Sınır
F-istatistiği	21.18333	2.79	3.67
Tanısal Testler			
	Test İstatistiği	Olasılık Değeri	
Breusch Pagan Godfrey	1.381898	0.2889	
Ramsey Reset	0.597200	0.5625	
Breusch Godfrey	3.179037	0.0854	
Jarque-Bera Normallik Testi	0.607290	0.738123	
R ²		0.988191	
Düzeltilmiş R ²		0.972446	

Not: *k, bağımsız değişken sayısıdır. Kritik değerler Pesaran vd. (2001:300)'deki Tablo CI(iii)'ten alınmıştır. Kritik değerler %5 önem düzeyindeki kritik değerlerdir.

Değişkenler arasında uzun dönemli bir eş bütünleşme ilişkisinin varlığı ortaya konulduktan sonra uzun döneme ilişkin katsayılar tahmin edilmiştir. Sonuçlar Tablo 10'da gösterilmektedir. Uzun dönem model sonuçları incelendiğinde üretimde ve ihracat düzeyinde yaşanan artışların karbon emisyonunu artırdığı; insani gelişmişlik düzeyinde yaşanan artışların ise karbon emisyonunu azalttığı görülmektedir. Öte yandan AB'ye gerçekleştirilen ihracat değişkeninin pozitif bir sonuç vermesi ihracatçı firmaların üretim teknolojileri üzerinde yeterince değişikliğe gitmedikleri,

ihracatta karbon vergisi uygulamalarına yönelik gerekli önlemleri almaları konusunda proaktif davranmadıkları şeklinde yorumlanabilir. Birincil alüminyum üretiminin karbon emisyonu üzerine elde edilen bulgular literatürle (Huang vd. (2023); Paraskevas vd. (2016)) uyumludur.

Tablo 10: Uzun Dönem Model Sonuçları: Bağımlı Değişken LEMSYN

Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-istatistiği	Olasılık.
LPRDCT	0.866297	0.166583	5.200402	0.0002
LEXPRT	0.067029	0.030386	2.205914	0.0476
LHDI	-1.393816	0.344738	-4.043114	0.0016
C	6.405819	1.782520	3.593687	0.0037

Tablo 11: Kısa Dönem Model Sonuçları: Bağımlı Değişken LEMSYN

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği	Olasılık
D(LEMSYN(-1))	-0.308229	0.055491	-5.554611	0.0001
D(LEMSYN(-2))	-0.216387	0.046220	-4.681710	0.0005
D(LPRDCT)	0.742874	0.045279	16.40672	0.0000
D(LPRDCT(-1))	0.283260	0.063249	4.478471	0.0008
D(LPRDCT(-2))	0.182741	0.058884	3.103391	0.0091
D(LEXPRT)	0.022711	0.006321	3.592838	0.0037
D(LEXPRT(-1))	-0.009166	0.006715	-1.364991	0.1973
D(LHDI)	-0.982768	0.870565	-1.128886	0.2810
D(LHDI(-1))	-0.596806	0.833453	-0.716064	0.4877
D(LHDI(-2))	-3.876732	0.913436	-4.244120	0.0011
D1993	-0.748160	0.040718	-18.37437	0.0000
D2009	-0.257874	0.051061	-5.050361	0.0003
CointEq(-1)*	-0.627574	0.052810	-11.88369	0.0000

Kısa dönem hata düzeltme modelinin tahmin sonuçları değerlendirildiğinde; LPRDCT ve LEXPRT değişkenlerinin kısa dönemde de anlamlı olduğu LHDI değişkeninin ise kısa dönemde istatistiki olarak anlamsız olduğu görülmektedir. Diğer taraftan hata terimi mekanizması çalışmakta ve istatistiki olarak anlamlıdır. Bu durum değişkenler arasında kısa dönemli sapmaların uzun dönemde ortadan kalktığını göstermesinin yanı sıra sisteme gelen şoklar açısından kısa dönemli sapmaların yaklaşık (1/0,62=1,61 yıllık dönem) 19 ay sonra ortadan kalktığını ortaya koymaktadır. Alüminyum sektöründe 1994 yılında etkisini gösteren ekonomik kriz öncesi 1990'lı yılların başındaki stokların erimemesi nedeniyle üretimde artışın olmaması, emisyon salınımında da paralel bir durumun ortaya çıkmasına yol açmıştır. Benzer durum 2008 yılında yaşanan ekonomik kriz dolayısıyla 2009 yılında da üretim ve emisyon miktarlarına yansımıştır. Kurulan modelde kırılmanın etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla ilgili yıllar için kullanılan kukla değişkenlerin anlamlı çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla yaşanan ekonomik krizlerin ilgili sektörde karbon emisyonu üzerinde azaltıcı etki yarattığı ifade edilebilir.

4. SONUÇ

Türkçe literatürde konuya ilişkin çalışmaların kısıtlı olması, alüminyumun geniş kullanım alanı ve AB27 ülkelerine ihracatı dikkate alınarak üretim miktarının büyüklüğü, Sanayi Devrimi'nden bu yana artan karbon emisyon miktarının dikkat çekici düzeyde olması; bu çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Gelecekte yaşanabilecek bir dünya bırakmak adına emisyon miktarının azaltılması tüm ülkeler tarafından önemle üzerinde durulan bir konudur. Avrupa Birliği öncelikli adımları atarak Yeşil Mutabakat çerçevesinde emisyonun yoğun olduğu beş sektör belirlemiştir. Alüminyum sektörü

bu sektörlerden biri olup birincil alüminyumun üretim esnasında salınım yaptığı sera gazları miktarı ikincil üretim olan hurdadan dönüşüme göre çok daha fazladır. Bu çalışmada birincil alüminyum üretiminde karbon emisyonunun belirleyicileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Alüminyum sektöründe karbon emisyonunun belirleyicileri olarak seçilen değişkenlerden üretim ve ihracatın karbon emisyon miktarını artıracığı ve teknolojik gelişmeyi açıklayan insani gelişmişlik endeksinin ise emisyonu azaltacağı çalışmadaki bulgularla ispatlanmıştır. Elde edilen bulgular literatürle de uyumludur. Bu çerçevede Türkiye’de birincil alüminyum üretimi yapan ihracatçı firmaların üretimden kaynaklı emisyon miktarını azaltarak gelecekteki dış ticarete rekabet gücünü artırabilmesi ve geleceğine ya da sektörün geleceğine yön vermek adına üniversiteler, hükümet ile iş birliği içinde teknolojik gelişmelerinin sağlanması önem arz etmektedir. Türkiye’nin hem emisyon azaltımı hem de Yeşil Mutabakat çerçevesinde birincil alüminyum ihracatında karşı karşıya kalabileceği ekstra maliyetler, üreticileri iki farklı çözümle karşı karşıya bırakacaktır. Dış ticaretin sektöre uğramaması adına teknolojik gelişim sağlanarak temiz üretime geçilebilir ya da üretim miktarına göre sertifika satın alınarak maliyetlere katlanılabilir. İkinci seçenek rekabet açısından yerli firmaları dezavantajlı bir duruma sokacağından, temiz üretime geçilmesinin daha rasyonel olduğu açıktır. SKDM’nin çok yakın bir gelecekte yürürlüğe girecek olması firmaların bir zaman kısıtı ile de karşı karşıya olduklarını göstermektedir. Bu bağlamda hızlı adımların atılması gerekli yatırımların bir an önce gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ancak çalışmanın sonuçları aynı zamanda firmaların bu konuda gerekli adımları atmada geri kaldıklarını da ortaya koymaktadır. Bu konuda ekonomi politikası karar birimlerinin sadece alüminyum sektöründe faaliyet gösteren firmalarda değil; diğer sektörlerde de faaliyet gösteren firmalarda da farkındalık yaratacak politikaları devreye sokmaları gerektiği ifade edilebilir. Ayrıca firmaların gereken yatırımları yapmalarının önemli bir maliyet ile karşı karşıya kalmalarına neden olacağı da açıktır. Bu bağlamda da yine ekonomi politikası karar birimlerine düşen görev, gerekli teşviklerin optimal koşullarda uygulanması olacaktır. Böylece kısa dönemde ülke ve kamu bütçesi birtakım maliyetlerle karşı karşıya kalsa da bu politikaların uzun dönemli etkileri çok daha olumlu sonuçları beraberinde getirecektir. İlk olarak daha yaşanılabilir bir çevre için bu politikaların olumlu etkileri tartışılmazdır. İkinci olarak Türkiye’nin dış rekabet gücünün artırılması ve SKDM’nin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması açısından büyük önem teşkil etmektedir. Öte yandan Türkiye’nin kendisine ait bir ETS’sini kurması da bir gerekliliktir. UNFCCC kapsamında her yıl Mayıs ayında yayınlanan (National Inventory Report) ülke raporlarından hareketle SKDM uygulaması başlayana kadar diğer sektörlerle yönelik çalışmaların yapılması literatüre katkı sunabilir. Ayrıca bu çalışmalar gerek politika yapıcılara gerekse firma ve sektör temsilcilerine yol gösterici bir nitelik taşıyabilir.

KAYNAKÇA

- Ang, J.B. (2007). CO₂ emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778.
- Atıcı, C. ve Kurt, F. (2007). Türkiye'nin dış ticareti ve çevre kirliliği: Çevresel Kuznets eğrisi yaklaşımı. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 13(2), 61-69.
- Bağrıyanık, B. (2021). İhracat çeşitliliği ve ekonomik büyümenin karbon emisyonu üzerindeki etkileri: BRİCS ülkeleri üzerine bir çalışma. *Bilgi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(1), 30-52.
- Çetin, M., ve Seker, F. (2014). Ekonomik büyüme ve dış ticaretin çevre kirliliği üzerindeki etkisi: Türkiye için bir ARDL sınır testi yaklaşımı. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(2), 213-230.
- Çoban, M. N. ve Özkan, O. (2022). Türkiye'de enerji tüketimi, ticari açıklık, co₂ emisyonları ve kirlilik sığınağı hipotezi: yeni dinamik ARDL simülasyonlarından kanıtlar. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(2), 480-507.
- Du, J. D., Han, W. J., Peng, Y. H., Gu, C. C. (2010). Potential for reducing ghg emissions and energy consumption by implementing the aluminium intensive vehicle fleet in China. *Energy*, 35(12), 4671-4678.
- Engle, R., ve Granger, C. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276.
- Fodha, M. ve Zaghdoud, O. (2010). Economic growth and pollutant emissions in Tunisia: an empirical analysis of the environmental Kuznets curve. *Energy Policy*, 38(2), 1150-1156.
- Gautam, M., Pandey, B. ve Agrawal, M. (2018). Carbon footprint of aluminium production: Emissions and mitigation. *Environmental Carbon Footprints* (ss. 197-228). Butterworth-Heinemann.
- Gomilšek, R., Čuček, L., Homšak, M., Tan, R. R., Kravanja, Z. (2020). Carbon emissions constrained energy planning for aluminum products. *Energies*, 13(11), 2753.
- Grossman, G.M. ve Krueger, A.B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research*, (No. w3914).
- Gujarati, Damodar N. (2006), *Temel Ekonometri*. Çev: Ümit Şenesen ve Gülay Günlük Şenesen, 4.Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Gültekin, H. (2023). Finansal Gelişme, inovasyon ve co₂ emisyonları: ARDL sınır testi yaklaşımı. *Econder International Academic Journal*, 7(1), 25-39.
- Harnisch, J., Sue Wing, I., Jacoby, H. D., & Prinn, R. G. (1998). Primary aluminum production: Climate policy, emissions and costs. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, No 44.
- He, J. ve Richard, P. (2010). Environmental kuznets curve for CO₂ in Canada. *Ecological Economics*, 69(5), 1083-1093.
- International Aluminium Institute (IAI) (2011). *Primary aluminium smelting power consumption, 2010 data*. International Aluminium Institute. <http://www.worldaluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-power-consumption/>.
- International Aluminium Institute (IAI) (2016). *Results of the 2015 anode effect survey: report on the aluminium industry's global perfluorocarbon gases emissions, 2016 data*. International

Aluminium Institute. http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2016/08/08/2015_anode_effect_survey_result_2016.pdf.

- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 231-254.
- Johansen, S., ve Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration - with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169-210.
- Karaca, B. ve Çımat, A. (2023). Sanayileşme-enerji tüketimi ve büyümenin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi: TÜRKİYE için ARDL sınır testi yaklaşımı. *Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), 51-64.
- Koçak, E. (2014). Türkiye'de çevresel kuznets eğrisi hipotezinin geçerliliği: ARDL sınır testi yaklaşımı. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 2(3), 62-73.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1-28.
- Liu, Z., Geng, Y., Adams, M., Dong, L., Sun, L., Zhao, J., Tian, X. (2016). Uncovering driving forces on greenhouse gas emissions in China' aluminum industry from the perspective of life cycle analysis. *Applied Energy*, 166, 253-263.
- Magnani, E. (2000). The environmental Kuznets curve, environmental protection policy and income distribution. *Ecological Economics*, 32, 431-43.
- Narayan, P. K., ve Smyth, R. (2005). Trade liberalization and economic growth in Fiji. An empirical assessment using the ARDL approach. *Journal of the Asia Pacific Economy*, 10(1), 96-115.
- Norgate, T. ve Haque, N. (2010). Energy and greenhouse gas impacts of mining and mineral processing operations. *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 266-274.
- Özekenci, E. K. (2023). Karbondioksit emisyonu (CO₂) ile ihracat, enerji, doğrudan yabancı yatırımlar ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: Türkiye örneği. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (40), 83-98.
- Özsalman, E. ve Derindağ, Ö. F. (2023). Modern tarife dışı engel olarak sınırda karbon düzenleme mekanizması. *Gümrük ve Ticaret Dergisi*, 11(31), 31-42.
- Paraskevas, D., Kellens, K., Van de Voorde, A., Dewulf, W., Duflou, J. R. (2016). Environmental impact analysis of primary aluminum production at country level. *Procedia CIRP*, 40, 209-213.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., ve Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
- Roberts, J. T. ve Grimes, P. E. (1997). Carbon intensity and economic development 1962-91: A brief exploration of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 25, 191-198.
- Schwarz, H. G., Briem, S., Zapp, P. (2001). Future carbon dioxide emissions in the global material flow of primary aluminium. *Energy*, 26(8), 775-795.
- Sharifi-Renani, H. (2007). Demand for money in Iran: An ARDL approach. *MPRA*, 1-9
- Shen, A. Ve Zhang, J. (2024). Technologies for Co₂ emission reduction and low-carbon development in primary aluminium industry in China: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113965.
- TC Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2021). *Sektör raporları*. <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/sector-raporlari>

TUIK (2023). Turkish greenhouse gas inventory 1990 – 2021, national inventory report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/documents/627786>.

Wang, J., Zhao, Q., Ning, P. ve Wen, S. (2024). Greenhouse gas contribution and emission reduction potential prediction of China's aluminum industry. *Energy*, 290, 130183.

Wang, Q., Huang, P., Wang, Q. ve Guo, X. (2023). Greenhouse gas emissions and future development trends of primary aluminum in China. *Journal of Cleaner Production*, 403, 136828.

Xu, G. D., Ao, H. ve She, Y. G. (2012). Current status and development trend of aluminium industry in world and strategy suggestions in china under background of sustainable development. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 22(7), 2040-2050.

Yılmaz, M. ve Karabiber, B. (2022). Türkiye'de ihracat, doğrudan yabancı yatırımlar, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu ilişkisi. *Business and Economics Research Journal*, 13(2), 199-220.



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

EXTENDED ABSTRACT

Effects of Turkey's Primary Aluminum Exports to EU 27 Countries on Sectoral Carbon Emissions

1. Introduction

Carbon emission intensity, one of the main causes of global warming, not only disrupts the balance of nature but also threatens all lives. There are initiatives to reduce carbon emissions on a global scale, and the most important of these are the steps taken by the United Nations and the decisions taken by the European Union. The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), to which Turkey is also a party, has brought about several practices binding the party countries on reducing carbon emissions. The European Green Deal, which was put into effect by the European Union in 2021, is binding on countries that have foreign trade relations with EU countries and aims to implement a carbon tax at the border in 2050. With the border carbon regulation mechanism implemented by the decisions taken in the European Green Deal, carbon leakage was determined to be high in the five sectors where carbon emissions are most intense (iron-steel, cement, aluminum, fertilizer, and energy). These practices, which will have an impact on production and export levels in these sectors shortly, can be stated to have the potential to create significant impacts on the Turkish economy, considering that Turkey's most important foreign trade partner is the EU. In this context, the study examines the aluminum sector, one of the sectors in question, and makes policy recommendations by revealing the determinants of carbon emissions resulting from Turkey's aluminum production. While primary aluminum (World Trade Organization commodity code: 7601) production is important in carbon emission emissions in the aluminum sector due to production, secondary production is considered green production by the UNFCCC, so primary aluminum production is considered in the study. While there is no study in the literature explaining the relationship between primary aluminum exports and emissions in Turkey, there are a limited number of studies in the world. In this context, it can be stated that the study has the quality of filling the gap in the literature specifically for Turkey.

2. Data Set and Method

Since Turkey's largest export market is the EU27 countries and the border carbon certificate application will be implemented shortly, the amount of primary aluminum exports to the EU27 countries was taken as an explanatory variable. Other explanatory variables were determined, such as the human development index and the amount of primary aluminum production, to reveal environmental sensitivity and technological development. In the study, the bounds test (ARDL) approach was preferred and used due to the limited data set and the variables not being stationary at the same level.

3. Empirical Findings

First, the cointegration relationship between the variables was determined based on the bounds test approach. Since we were working with annual data, the maximum lag length was selected as 3, and the appropriate lag length was determined according to the Akaike information criterion (AIC). Since the calculated F statistics are greater than the upper critical value at the 5% significance level, it appears that there is a long-term cointegration relationship between the variables. When the diagnostic tests related to the model were examined, it was determined that there were no problems in the model created according to the results of the Breusch-Pagan-Godfrey Test, Ramsey Reset Test, Breusch-Godfrey LM Test, and Jarque-Bera Normality Tests in terms of serial correlation, specification error, heteroscedasticity, and normal distribution, respectively. After establishing the existence of a long-term cointegration relationship between the variables, the long-term coefficients were estimated. The results are shown in Table 10. When long-term model results are examined, it

is seen that increases in production and export levels increase carbon emissions, while increases in human development levels reduce carbon emissions. On the other hand, the positive result of the export variable to the EU can be interpreted as exporting companies not making enough changes in their production technologies and not being proactive in taking the necessary measures for carbon tax applications in exports. The findings obtained on the carbon emissions of primary aluminum production are compatible with the literature (Huang et al. (2023); Paraskevas et al. (2016)). When the prediction results of the short-term error correction model are evaluated, it is seen that the variables LPRDCT and LEXPRT are significant in the short term, while the LHDI variable is statistically insignificant in the short term. On the other hand, the error term mechanism works and is statistically significant. This situation not only shows that short-term deviations among the variables disappear in the long term but also shows that short-term deviations in terms of shocks to the system disappear after approximately 19 months ($1/0.62 = 1.61$ year period). Finally, dummy variables were also significant. It has been proven by the findings of the study that production and export, among the variables selected as determinants of carbon emissions in the aluminum sector, will increase the amount of carbon emissions and that the human development index, which explains technological development, will reduce emissions.

4. Discussion and Conclusion

The findings obtained are also compatible with the literature. In this context, it is important to ensure technological developments in cooperation with universities and the government to increase the competitiveness of exporting companies producing primary aluminum in Turkey in future foreign trade by reducing the amount of emissions resulting from production and to direct their future. The extra costs that Turkey may face in primary aluminum exports within the framework of both emission reduction and the Green Deal confront producers with two different solutions. To prevent foreign trade from being interrupted, clean production can be achieved through technological development, or costs can be incurred by purchasing a certificate based on the production amount. Since the second option would put domestic companies at a disadvantage in terms of competition, switching to cleaner production may be preferred.