



Küresel İklim Krizi Tedbirlerine Uyum Sürecinde Demir Çelik Sektörü: CRITIC ve CoCoSo Yöntemleriyle Bir Değerlendirme

Ümit Remzi Ergün¹ , Elif Bulut² 

ÖZET

Amaç: Bu araştırmanın amacı, başlıca çelik üretimi gerçekleştiren 46 ülkenin küresel iklim krizi tedbirlerine uyum süreçlerindeki performanslarını 2018-2021 dönemi için ortaya çıkarmaktır.

Yöntem: Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan CRITIC ve CoCoSo yöntemleri tercih edilmiştir. Kriter ağırlıklandırma problemi CRITIC yöntemiyle, karar alternatiflerinin sıralanması ise CoCoSo yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Analize tabi tutulan ülkeler GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamaları ortalamalarına göre iki grupta sınıflandırılmış ve bulgular tüm yıllar için ayrı ayrı elde edilmiştir.

Bulgular: Birinci grupta yer alan ülkeler içerisinde en yüksek performansın Güney Kore'ye ve en düşük performansın ise ABD'ye ait olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. İkinci gruptan elde edilen bulgular ise en yüksek performansın Türkiye'ye, en düşük performansın ise Rusya'ya ait olduğu şeklindedir. Endonezya'nın küresel iklim krizi tedbirlerine uyum sürecindeki gelişim ivmesi de çalışmanın dikkat çekici sonuçları arasında yer almaktadır.

Özgünlük: Çok kriterli karar verme yöntemlerinden CRITIC ve CoCoSo'nun eşanlı olarak kullanıldığı çalışmalar hem demir çelik sektörü özelinde hem de iklim krizi ile yeşil ekonomi konularında oldukça sınırlıdır. Elde edilen sonuçların ülkelerin konjonktürel durumları ve literatür ile uyumu, çalışmada tercih edilen yöntemin uygunluğuna işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Küresel İklim Krizi, Demir Çelik, Çok Kriterli Karar Verme, CRITIC, CoCoSo.

JEL Kodları: C4, I38, Q5.

Iron and Steel Sector in the Process of Adaptation to Global Climate Crisis Measures: An Evaluation with CRITIC and CoCoSo Methods

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study is to reveal the performance of 46 major steel producing countries in their adaptation processes to global climate crisis measures for the period 2018-2021.

Methodology: In this research, CRITIC and CoCoSo methods, which are multi-criteria decision making methods, were preferred. The criterion weighting problem was performed by CRITIC method and the ranking of decision alternatives was performed by CoCoSo method. The analyzed countries were classified into two groups according to their average R&D expenditures as a percentage of GDP. The findings were obtained separately for all years.

Findings: Among the countries in the first group, the highest performance belongs to South Korea and the lowest performance belongs to the USA. The findings from the second group show that the highest performance belongs to Turkey and the lowest performance belongs to Russia. Indonesia's development momentum in the process of adaptation to global climate crisis measures is also among the remarkable results of the study.

Originality: The studies in which CRITIC and CoCoSo, two MCDM, are used simultaneously are quite limited both in the iron and steel sector and in the climate crisis and green economy. The consistency of the results obtained with the cyclical conditions of the countries and the literature points to the efficiency of the method preferred in this study.

Keywords: The Climate Crisis, Iron and Steel, MCDM, CRITIC, CoCoSo.

JEL Codes: C4, I38, Q5.

¹ Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yönetim Bilimleri Ana Bilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Samsun, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Ümit Remzi Ergün, umit.r.ergun@gmail.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1393071

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 19.11.2023 | Kabul / Accepted: 17.05.2024

Atıf/Cite: Ergün, Ü.R. ve Bulut, E. (2024). "Küresel İklim Krizi Tedbirlerine Uyum Sürecinde Demir Çelik Sektörü: CRITIC ve CoCoSo Yöntemleriyle Bir Değerlendirme", *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 305-324.

EXTENDED ABSTRACT

As a result of globalization, changing demographics, increasing production and consumption, and changing patterns of supply and demand, man-made ecological problems have signaled a catastrophic situation in today's world, and a series of international authority measures had to be put into effect in order to eliminate possible risks. Developments and findings obtained from environmental data both encourage and oblige countries to participate in activist activities on climate change and global warming by encouraging them to act as more than just observers or researchers.

The use of fossil fuels in industry and the increase in the generation of harmful wastes that pollute nature in parallel with the increase in production are among the main reasons for the increase in temperature differences between the hemispheres of the world. Therefore, one of the most critical global crises of the twenty-first century is climate change and global warming. International binding provisions and authority decisions such as the Kyoto Protocol, the Paris Climate Agreement, the European Green Deal and the ECC, which came into force and expanded their scope following the UNFCCC, are important in terms of showing the seriousness of the issue.

The iron and steel sector is primarily included in the fields of study of both the natural resources economy and the industrial economy. As a result of this situation, the iron and steel sector is directly and primarily affected by the decisions of international political authorities. For this reason, the iron and steel industry has started to realize a series of transformations and investments within its structure for the reduction of production and waste costs, green competitive structure and clean production processes.

Multi-criteria decision-making methods were used to evaluate the adaptation processes of the countries included in the scope of the study to the Global Climate Crisis measures specific to iron and steel sector. All countries which are produce iron and steel sector in the world constitute the research population of the study. The 50 major steel producing countries were selected as the sample of the study according to their steel production amounts. According to the information obtained from data sources, Taiwan, the Philippines, Serbia and Chile were excluded as the limitations of the study, and the analyzes were carried out on 46 countries. Annual data for the 2018-2021 period were used in the study.

In this research, CRITIC and CoCoSo methods, which are multi-criteria decision making methods, were preferred. The criterion weighting problem was performed by CRITIC method and the ranking of decision alternatives was performed by CoCoSo method. The analyzed countries were classified into two groups according to their average R&D expenditures as a percentage of GDP and the findings were obtained separately for all years.

According to the results obtained from the CoCoSo method, it is seen that South Korea has the best performance among the countries in the first group for the 2018-2021 period, and Japan, Germany and Italy are the other countries with the best performance. The US has the worst performance, followed by Australia and the UK. For the 2018-2021 period, Turkey has the best performance among the countries in the second group, followed by Brazil and Ukraine. Russia has the worst performance, followed by Kuwait, Bangladesh and Colombia. Among the second group of countries, it is noteworthy that Indonesia ranked 11th in 2018, 6th in 2019, 5th in 2020 and second in 2021. The study is expected to contribute to the literature in the context of the findings and methods used.

1. GİRİŞ

Küreselleşme olgusu içerisinde yaşamını sürdüren küresel insanın isteklerini ihtiyaç olarak değerlendirmeye alma eğilimindeki artış, istek ve ihtiyaçları karşılamaya yönelik mal ve hizmet üreten firmaların üretimlerinin motivasyon kaynakları arasında yer almaktadır. Üretimin motivasyon kaynağı olarak sınırsız istekleri referans alması, kit kaynaklar prensibine göre küresel değerlerde dar boğaza girilmesi sonucuyla karşı karşıya kalınmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Küreselleşme, değişen demografik yapı, artan üretim ve tüketim ile arz talep desenlerinin değişiminin bir sonucu olarak insan yapımı ekolojik sorunların felaket sinyallerini verdiği günümüz dünyası, olası riskleri bertaraf edebilmek adına bir dizi uluslararası otorite tedbirlerini yürürlüğe almak durumunda kalmıştır. Yaşanan gelişmeler, çevresel verilerden elde edilen bulgular ülkeleri, iklim değişikliği ve küresel ısınma konularında izlemci ya da araştırmacı özelliklerinden daha fazlasını gerçekleştirmeye sevk ederek eylemci faaliyetlere katılmaları konusunda hem teşvik etmekte hem de zorunlu tutmaktadır.

Sanayide fosil yakıtların kullanımı, üretim artışına paralel biçimde doğayı kirleten zararlı atık oluşumundaki artış dünyanın yarım küreleri arasındaki sıcaklık farklarının artmasının başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle yirmi birinci yüzyılın küresel krizlerinin en kritiklerinden biri iklim değişikliği ve küresel ısınma olarak ifade edilebilecektir. Avrupa Birliği (AB) ve Birleşmiş Milletler gibi uluslararası kurumlar küresel ve yerel düzeyde bu krize sebep olan olumsuz etkileri en aza indirmeyi hedefleyen politikalar geliştirmektedirler (Avunduk ve İçen, 2023). 1980'li yıllarda başlayan sera gazı emisyonları ile küresel iklim değişikliği arasındaki ilişki 1990'lı yıllarda Avrupa Birliği'nin gündeminde yer almaya başlamıştır. İklim değişikliği ile küresel ölçekte gerçekleştirilen ilk somut tavır 9 Mayıs 1992'de kabul edilerek 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe alınan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'dir (Koç ve Kaynak, 2023). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi'ni (BMİDÇS) takiben yürürlüğe alınarak kapsamı genişletilen Kyoto Protokolü, Paris İklim Anlaşması, Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) gibi uluslararası bağlayıcı hükümler ve otorite kararları konunun ciddiyetini göstermesi açısından önem arz etmektedir.

Kalkolitik Çağ'dan bugüne devletlerin ve toplumların iktisadî büyümesinin lokomotifini kabul edilen demir çelik sektörünün önemli özelliklerinden birinin de sektörde üretilen yan ve yarı mamul ürünlerinin diğer sanayi kollarının varlığının devam edebilmesinde büyük önem arz etmesidir. Sektörden doğrudan hammadde temin eden dayanıklı tüketim mamulleri, otomotiv ve ulaştırma, gemi inşaa sanayi gibi endüstriler aynı zamanda gelişmiş endüstriler olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle demir çelik sektörü tamamlayıcı ve destekleyici bir sektör olarak da iktisadî döngüye katkı sağlamaktadır. Demir çelik sektöründe üretimi tamamlanan nihai ürün için üretim süreçlerinde hammadde, hazır parçalar, enerji, makine ve teçhizatlar gibi ara mallara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç çoğu zaman ithalat yolu ile giderilmektedir. Dolayısıyla demir çelik sektörü üretim süreçlerinden elde ettiği değeri ihracat yoluyla kazanım değerine dönüştürmeyi hedeflerken, üretimi tamamlayabilmek için de ithalata ihtiyaç duyan bir sektör olarak ifade edilebilecektir. Sektörün bu özelliğinin uluslararasılaşabilirliğini şekillendirdiği değerlendirilmektedir (Ergün ve Ener, 2022). Bu şekillenme ağır sanayi ve imalat sektörünün bir üyesi olarak demir çelik sektörünün küreselleşmenin önemli aktörleri arasında yer almasını sağlamaktadır. Demir çelik sektörünün önemli aktörler arasında yer alması sektörün küreselleşik üretim ve ticaret yapısı gereği çevresel sorunlar konusunda da dikkatleri üzerine toplaması anlamına gelmektedir.

Yakın geçmişe kadar ticaret tartışmalarında çevresel sorunların yüzeysel kalması ve beklenen ekolojik sorunların artışı gelişmiş ve az gelişmiş ülkeler özelinde farklı algı biçimleriyle ortaya çıkmaktadır. Gelişmiş ülkeler, çevreye ilişkin yasaların daha serbest olduğu veya hiç var olmadığı az gelişmiş ülkelerdeki daha düşük maliyetli üretime kıyasla, kendilerini dezavantajlı olarak ifade etmektedirler. Buna karşılık az gelişmiş ülkeler ise çevresel yasaları ve düzenlemeleri kendi ekonomik gelişmelerini geriletme tehdidi olarak algılamaktadırlar (Kotler ve diğerleri, 1997: 31). Bu durum uluslararası politik otoriteler tarafından bağlayıcı ve belirleyici politika veya kararların uygulamaya alınmasının nedenleri arasında gösterilebilecektir. Bu nedenlere dayalı olarak çalışmada, başlıca çelik üretimi gerçekleştiren 46 ülkeyi incelemeye küresel iklim kriziyle ve demir çelik endüstrisini ilişkilendiren başlıca kriterler üzerinden incelemeye alınmıştır. Sera gazı yayılımını gerçekleştiren sanayi sektörlerinin radikal bir şekilde modernizasyonu, düşük karbon ekonomisine geçiş için vazgeçilmez olarak değerlendirilmektedir. Demir çelik endüstrisi ise küresel olarak insan kaynaklı karbondioksit emisyonlarından öncelikli olarak sorumlu tutulmaktadır (Shatokha, 2016). AYM, Avrupa Komisyonu tarafından 2019 yılında kabul edilen yeni ekonomik büyüme stratejisi olarak tanımlanmaktadır. Bu stratejinin gerçekleştirilmesindeki en önemli görevlerden birinin de demir çelik sektörünün temiz ve döngüsel bir ekonomi için harekete geçirilmesi olduğu ifade edilebilecektir (Smol ve diğerleri, 2020). Bu durumun demir çelik endüstrisinin mevcut en iyi ve yenilikçi teknolojilerin yardımıyla çeşitli pazarlara giriş stratejilerini ve bu pazarlarda tutunma sürelerini etkilemesi beklenmektedir. Bu nedenle çalışma, başlıca çelik üreten ülkeler özelinde küresel iklim krizi tedbir ve kararlarını dikkate alarak demir çelik sektöründe en verimli üretimi gerçekleştiren ülkeler hangileridir, sorusuna yanıt aramaktadır.

Geleneksel demir çelik üretiminin büyük miktarda enerji tüketimi, endüstrisinin enerji tasarrufu ve CO₂ azaltma hedefleri açısından büyük zorluk teşkil etmektedir (Zeng ve diğerleri, 2009). Sürdürülebilir kalkınma mevcut ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayan ve dengeleyen bir iş ve yatırım stratejisi olarak tanımlanmaktadır (Lee ve diğerleri, 2015). Sürdürülebilir kalkınma, çevrenin korunması ve ekonominin desteklenmesi olmak üzere iki kritik önem düzeyini kapsamaktadır. Karbon verimliliği ise zaman içerisinde çevresel ve ekonomik verimliliğin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakta ve sürdürülebilir kalkınmanın uygun göstergesi olarak kabul edilmektedir (Lu ve diğerleri, 2018). Genel anlamda verimlilik, girdilerin etkili bir şekilde çıktılara nasıl dönüştüğünün uygun bir göstergesi olarak ifade edilmektedir. Sürdürülebilir kalkınmaya gösterilen eğilimin artmasıyla birlikte verimlilik kavramının karbon emisyonları ile birlikte değerlendirilmesi daha fazla önem kazanmaktadır (Gronroos ve Ojasalo, 2004; Li ve Liu, 2010; BP, 2018; Lu ve diğerleri, 2018). Bu anlamda demir çelik üretimi ve küresel iklim krizi tedbirlerine uyum ilişkisinde Ar-Ge harcamalarının da sürece olumlu etki etmesi düşünülen bir faktör olduğu değerlendirilmektedir. Literatür incelendiğinde özellikle son dönemde bu konu yaygın bir şekilde kendisine çalışma alanı bulmaktadır (Ruth ve diğerleri 2004; Shatokha, 2016; Zhang ve diğerleri 2021; Kim ve diğerleri 2022). Mevcut çalışmalar incelendiğinde Ar-Ge harcamalarının araştırmalara değişken veya kriter olarak dahil edildiği görülmektedir. Bu çalışmada Ar-Ge harcamaları ülkeleri sınıflandırma kullanılan bir araç olarak ele alınmıştır. Çalışmanın bu yönüyle literatürdeki diğer çalışmalardan farklılaştığı ifade edilmektedir. Bu bağlamda küresel iklim krizi tedbirlerine uyum sürecinde demir çelik sektörünün birbirine yakın Ar-Ge harcamalarına sahip ülkeler üzerindeki performanslarının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda çalışmanın organizasyon yapısında öncelikli olarak demir çelik sektörü kavramları ve küresel iklim krizine ilişkin çevresel regülasyonlar tanıtılmıştır. Literatür araştırması demir çelik sektörü ve iklim krizi özelinde gerçekleştirilmiştir. Yöntem başlığı altında, çalışmada uygulanan sayısal yöntemlerin açıklayıcı bilgilerine ve notasyon gösterimlerine yer verilmiştir. Bulgular kısmında yöntemlerin uygulamalarından elde edilen sayısal sonuçlar tablo gösterimiyle sunulmuştur. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen bulgular değerlendirilerek sonuç çıkarımları yapılmış ve gelecek çalışmalara değinilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Demir çelik sektörü, topraktan cevher olarak demirin çıkarılmasıyla faaliyetlerine başlayan, demir ve çelik ürünlerini çeşitli üretim yöntemleri kullanarak çeşitlendirmek suretiyle nihai bir ürün olarak piyasaya veya piyasada kullanım ömrünü tamamlamış hurda olarak bulunan demir ve çelik ürünlerini dönüştürme veya yeniden işleme teknikleriyle kendisine hammadde olarak sağlayan ileri geri bağlantısı yüksek ağır sanayi ve imalat sektörü olarak ifade edilebilecektir. Sektör, bu özellikleri nedeniyle hem doğal kaynaklar ekonomisinin hem de sanayi ekonomisinin çalışma alanları içerisinde öncelikli olarak yer almaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak demir çelik sektörü uluslararası politik otoritelerin kararlarından doğrudan ve öncelikli olarak etkilenmektedir. Bu nedenle demir çelik sektörü de üretim ve atık maliyetlerinin azaltılması, yeşil rekabetçi yapı ve temiz üretim süreçleri için bünyesinde bir dizi dönüşüm ve yatırımı gerçekleştirmeye başlamıştır. Bu dönüşüm ve yatırımların bütünü etkin kaynak verimliliği olarak ifade edilmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından etkin kaynak verimliliği, daha az kaynak tüketimi ile daha fazla refah sağlamak olarak tanımlanmıştır (Fresner ve diğerleri, 2010: 9). Demir çelik sektörü, teknoloji, sermaye, kaynak ve enerji kullanımı açısından yoğun bir sektördür. Sektörün verimli bir şekilde gelişimi, yeterli demir cevheri, su ve kok tedariklerinin yanı sıra ileri teknolojiler ve uygun politikalar da dahil olmak üzere birçok farklı dış koşulun kapsamlı bir şekilde dengelenmesini gerektirmektedir (Ma ve diğerleri, 2014).

Dünya'da çelik üretimi ana girdi olarak demir cevheri kullanan yüksek fırın (YF) ve bazik oksijen fırını (BOF) ile üretim yapan entegre tesisler ve ana girdi olarak hurda metal kullanan elektrik ark ocaklı (EAF) veya indüksiyon ocaklı (IF) tesisler tarafından gerçekleştirilmektedir. Çelik üretim süreçlerinde en büyük çevresel etkilerin gaz emisyonları, katı atıklar, enerji tüketimi ve su tüketimi ile ilgili olduğu bilinmektedir. Entegre demir ve çelik tesislerindeki üretim aşamalarındaki kok üretimi, toz ve gaz emisyonlarının ana kaynağını oluşturmaktadır. EAF'li tesislerde ise toplam emisyonların yaklaşık %95'ini birincil atık gazlar oluşturmaktadır. Hurda malzemelerin hazırlanması, şarj edilmesi ve döküm alınması gibi işlemlerden kaynaklı emisyonların tamamı birincil emisyonlar içerisinde değerlendirilmeye alınmaktadır. (Avinal ve diğerleri, 2019: 29-35).

Demir çelik sektörü çevresel boyutları ile sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm ekonomisi çerçevesinde değerlendirmeye alındığında sektörün atık ve hurda malzemesinin üretim yöntemlerine bağlı olarak yeniden işlenip sanayiye veya piyasaya kazandırılması demir çelik tesisleri bulunan ülkelerde demirli atık ve hurda malzemeye olan talebi arttırmıştır. Bu artışın nedenlerinin dünya demir çelik ticaret hacminin ve mesafesinin artması, dünya demir cevheri kaynaklarının tükenme eğilimi ve sektör ürünlerinin artan iktisadî kıymetleri olduğu değerlendirilmektedir. İktisadî bir kıymete sahip maden kaynaklarının korunmasının önemi, bu kaynakların bulunabilirliklerinin sınırlı olmasıyla ve üretimde yer almalarının gelecekteki kullanılabilirlikleri pahasına gerçekleşmesiyle ilgilidir. Bu nedenle demir çelik malzemelerinin çıkarılması, işlenmesi, dağıtılması, kullanılması ve imha edilmesi çevresel etkiler düşünüldüğünde giderek artan bir endişe kaynağı

oluşturmaktadır. Demir ve çelik malzemelerinin çıkarılması, işlenmesi veya geri dönüştürülmesi için gerekli enerji yüksek olup, ağırlıklı olarak fosil yakıt tüketimiyle gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, demir çelik sektörü hem çevresel hem de iktisadî olarak daha da önem kazanmaktadır. Sektör için enerji ve malzeme akışlarının belirlenmesi, kaynakların korunması, çevresel iyileştirme için fırsat ve tehditlerin sınıflandırılması modern ekonominin kaydılaştırılması açısından elzem konular arasında yer almaktadır (Michaelis ve Jackson, 2000). Bu durumda sektörün karşı karşıya kaldığı de facto veya de jure değişimlerinin küreselleşme, sektörün uluslararası ticaret kapasitesinin artması, teknolojik ilerlemeler ve hurda malzemenin önem kazanmasıyla ilgili olduğu çıkarsaması yapılabilecektir.

Yüksek enerji yoğunluğuna sahip demir çelik sektörü, 2019 yılında küresel endüstriyel karbondioksit emisyonlarının %25'inden sorumlu tutulmaktadır (Lei ve diğerleri, 2023). Bu nedenle çelik üretim sürecinin genel ürünleri ve çelik malzemesi net sifıra geçiş hedeflerinin gerçekleştirilmesi adına gereken altyapılar için kritik girdiler arasında yer almaktadır (Huang ve diğerleri, 2023). Yakın gelecekte beklenen çelik talebi artışının politikalar değişmediği sürece sektörden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının arttırılması da muhtemel olarak değerlendirilmektedir (Hebeda, 2023). Demir çelik sektörünün dünyanın en büyük enerji tüketicilerinden biri olması, üretim işlemleri sırasında atmosfere salınan önemli miktarda atık ısının da kaybedilmesi sonucunu beraberinde getirmektedir. Bu nedenle demir çelik sektörünün enerji tasarrufunu gerçekleştirirken enerji verimliliğini de arttırmaya yönelmesi sektörün öncelikleri arasında yer almaktadır (Inayat, 2023). Demir çelik sektörünün çevresel kaygılarının sadece üretim süreçleri ile ortaya çıktığı değerlendirilmemelidir. Birçok endüstride yaygın olarak kullanılan demir çelik ürünleri agresif ortamlarda korozyona eğilimli ürünler arasında yer almaktadır. Bu nedenle ürünler hem çevresel güvenlik endişelerine hem de iktisadi kayıplara yol açmaktadırlar (Boudalia ve diğerleri, 2023).

Uluslararası ticaret sistemi içerisinde yer alan ülkelerin millî üretimlerini ihraç edebilme ve millî üretim ihracatında sürekliliği sağlayabilme ortak amaçlarını oluşturmaktadır. Bu ortak amaçlar demir çelik sektörünün endüstriyel, küresel ve ticari yapısı dikkate alındığında daha da önemli hale gelmektedir. Küresel iklim krizi ve etkileriyle ortaya çıkan sorunlarla mücadelede uluslararası politik otoritelerin bağlayıcı ve zorlayıcı kararları veya iş birliği projeleriyle çözüme kavuşturulabileceği düşüncesinin az gelişmiş ve gelişmiş ülkelerdeki karşılıklarının birbirinden farklı olduğu değerlendirilmektedir. Bu durum çevresel etkiler ile mücadelede gündeme veya uygulamaya alınan program ve kararların ülkelerin ulusal iktisadî ve küresel ticaret stratejileriyle ne derecede uyumlu olduğu tartışmasını da beraberinde getirmektedir. Küresel iklim krizinin etkilerini en aza indirebilmek adına uluslararası politik otoriteler tarafından belirlenen çerçeve, bağlayıcı hüküm, politika ve öngörüler demir çelik sektörü açısından hayati önem arz etmektedir. Bu anlamda demir çelik sektörünü etkileyen ve uygulamaya alınan seçilmiş uluslararası tedbirlerin de etki alanları ile birlikte açıklanmasının gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

Herhangi bir yasal bağlayıcılığı, kontrol mekanizmalarını ve hedefleri açıkça içermeyen Viyana Sözleşmesi'nin kabulünden sonra ozon tabakasını incelten maddelerin kullanımının ve üretiminin kontrol altına alınmasını sağlayacak olan bir protokole ihtiyaç duyulmuştur. Bu anlamda 1987'de yılında kararlaştırılan Montreal Protokolü 1989 yılında yürürlüğe alınmıştır (İklim Değişikliği Başkanlığı, 2023). Demir çelik sektörü ile üretim süreçlerinde yoğun etkileşim içerisinde bulunan dayanıklı tüketim mamullerinin üretiminde ve demir çelik tesislerinde yer alan ısı teknolojilerinde kullanılan hidroflorokarbon gazı Montreal Protokolü'nce kısıtlanan ürünler arasında yer almaktadır.

1994 yılında yürürlüğe giren BMİDÇS ile tehlikeli boyutlara ulaşan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkisinin önlenmesi ve belirli bir düzeyde durdurulması için uluslararası iş birliğine gidilmesi amaçlanmıştır (Dağdemir, 2015). BMİDÇS sözleşmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılması için, ülkelerin kalkınma önceliklerini ve özel koşullarını göz önüne alarak "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler" ilkesine dayanmaktadır (İklim Değişikliği Başkanlığı, 2023). Sözleşmenin ilkeler başlığı altında yer alan, taraflar, özellikle gelişmekte olan taraf ülkelerde sürdürülebilir ekonomik büyüme ve kalkınmaya yol açacak açık ve destekleyici bir uluslararası ekonomik sistemi teşvik etmek ve böylece iklim değişikliği sorunlarıyla daha iyi ilgilenebilmelerini sağlamak için iş birliği yapmalıdır, ifadesinin demir çelik sektörünün uluslararası ve ticari özellikleriyle ilgili olduğu değerlendirilmektedir (İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, 2002).

BMİDÇS'nin 2020 yılına kadar Kyoto Protokolü ve 2020 yılından sonra Paris Anlaşması olmak üzere iki uygulama aracı bulunmaktadır. BMİDÇS'nin ilk uygulama anlaşması niteliğinde olan Kyoto Protokolü, 1997 yılında kabul edilmiş olup, 2005'te yürürlüğe girmiştir (T.C. Dış İşleri Bakanlığı, 2023). Kyoto Protokolü, Montreal Protokolü ve BMİDÇS'ye kıyasla demir çelik sektörü için daha açık ve sınırları belirli hükümler içermektedir. Protokolde yer alan ilgili maddelere, atmosfere salınan sera gazı miktarlarının %5 seviyelerine düşürülmesi, alternatif enerji kaynaklarına yönelmesi, fosil yakıtlar yerine bio-dizel yakıtların tercih edilmesi, demir çelik gibi yüksek enerji tüketen işletmelerde atık işlemlerinin yeniden düzenlenmesi ile fazla yakıt tüketen ve fazla karbon üreten daha fazla vergi alınması, örnek olarak verilebilecektir (Ankara

Ticaret Borsası, 2008). Kyoto Protokolü'nün zayıf ve sembolik bir çaba olarak anılmasının nedenleri arasında karbon gazı üreten ülkelerin büyüklük ölçütlerine göre protokole katılmaması, katılan ülkelerin daha sonra ayrılması, 1997-2005 yılları arasında etkin ve verimli bir hazırlık aşamasının bulunmaması, yer almaktadır (Özcan, 2020).

BMİDÇS'nin 2020 ve sonrasında uygulama aracı olan Paris İklim Anlaşması, 2015 yılında Paris'te düzenlenen 21'inci taraflar konferansında kabul edilmiştir. Anlaşma, insan kaynaklı sera gazı salımlarının neden olduğu küresel sıcaklık artışını uzun vadede, sanayileşme öncesi döneme kıyasla 2 santigrat derecenin altıyla sınırlamayı hedeflemektedir; bu konuda 1,5 santigrat dereceyi yakalamanın önemine dikkat çekmektedir. Paris Anlaşması'nın, BMİDÇS ile karşılaştırıldığında en belirgin özelliği, tüm ülkelerin katkılarına dayanacak bir sistem öngörülmüş olmasıdır (T.C. Dış İşleri Bakanlığı, 2023). Paris İklim Anlaşması'nı diğerlerinden ayıran bir özelliği de ülkelere herhangi bir niceliksel hedef dayatmasında bulunmamasıdır. Taraf ülkeler bu anlamda ne zaman ve ne kadar sera gazı azaltım taahhüdünde bulunacağına kendileri karar vermektedir. Anlaşmanın sera gazı ve karbondioksit emisyonlarını vurgulayıcı ilkeleri nedeniyle demir çelik sektörünü yakından ilgilendirdiği değerlendirilmektedir.

Avrupa Komisyonu tarafından 2019 yılı sonunda ortaya konulan AYM, Avrupa'nın 2050 yılına kadar karbondan arındırılmasını amaçlamakta; bu amaçla da ekonomide köklü bir dönüşümü ve Avrupa kıtasında iklim nötrlüğüne ulaşılmasını öngörmektedir. Böylesine geniş ve derin bir dönüşüm hedefinin, üye ülkeler ve bölgeler arasında riskleri ve fırsatları makul bir dengede buluşturması gerekmektedir (Ecer ve diğerleri, 2021). AYM'nin demir çelik sektörü özelinde karşılık bulduğu hususlar, temiz enerji, sürdürülebilir sanayi ve inşaat üst başlıklarında toplanabilecektir. AYM fosil yakıtlara duyulan ihtiyacı minimize ederek, sürdürülebilir ve çevre dostu üretimi teşvik etmektedir. AYM'nin demir çelik sektörü için diğer bir karşılığı da dış ticaret ve fiyatlarla ilgilidir. AYM, AB-27'ye komşu ve dış ticaret hacmi yüksek olan ülkeleri küresel ölçekte etkileyecek önemli regülasyonlar planlamaktadır. Bununla birlikte, karbonun etkin biçimde fiyatlandırılması ve Dünya Ticaret Örgütü yükümlüklerine uyumlu sınırdaki karbon düzenleme mekanizması yeni vergiler ve tarife dışı engeller ortaya koyan yeni bir uluslararası ticaret mekanizmasına işaret etmektedir (Koç ve Kaynak, 2023).

İnsanlık elindeki kaynakları sayı ile kalite arasında bölüştürmede, bütün tarihi boyunca hep isabetli mi olmuştur, sorusuna cevap vermek mümkün görülmemektedir. Bu durumun değerlendirilebilmesi pek çok değişkenin varlığı ile birlikte ağırlıklı olarak kültür değerleri ile de ilişkilidir. Bununla birlikte bazı olgular değerlendirmeye alınarak hiç değilse genel eğilimin hangi doğrultuda olduğu belirlenebilmektedir (Cipolla, 1980: 114). Küreselleşmenin hız kazandığı günümüz dünyasında üretimle birlikte ekonominin de karbonsuzlaştırılmasının bir dizi zorlukla karşı karşıya olduğu değerlendirilmektedir. Bu nedenle ülkelerin emisyon azaltma hedeflerine nasıl ulaşabileceklerini anlamak bir anlamda düşük karbon teknolojilerini anlamının da ötesinde konumlandırılmaktadır (Hebeda, 2023). Bu bağlamda, yenilikçi teknolojilerin rolünü analiz edebilmek için öncesinde ülke özelliklerinin ortaya çıkarılmasının daha anlamlı olduğu değerlendirilmektedir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Çok kriterli karar verme tekniklerinin uygulama sahası alanyazın üzerinde disiplinlerarası çalışmalarda ve farklı sektörler üzerinde kendisine oldukça geniş bir alanda yer bulmaktadır. Bu nedenle çalışmanın literatür taraması demir çelik sektörü ve iklim krizi kavramları özelinde filtrelenerek gerçekleştirilmiştir.

Arens ve diğerleri (2017), düşük karbonlu demir çelik endüstrisine ulaşma hedefini Almanya özelinde incelemeye almışlardır. Yazarlar matematiksel modeller yardımıyla çelik üretim yöntemlerine göre enerji tüketimi, enerji tasarrufu, teknolojik gelişim, çelik endüstrisinin enerji tüketimi ve karbon emisyonları verileri üzerinde hesaplamalar gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri bulguları duyarlılık analizleriyle de destekleyen yazarlar, yeni çelik üretim süreçlerinin gündeme alınmasıyla Almanya'nın düşük karbon hedeflerine ulaşabileceği sonucunu elde etmişlerdir.

Xylia ve diğerleri (2018) çalışmalarında çelik hurda bulunabilirliğinin 2100 yılına kadar gelecekteki çelik üretimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çelik optimizasyon modelinin yöntem olarak kullanıldığı çalışmada yazarlar, yeni yatırımcıların, yatırım bölgelerinde hurda bulunabilirliklerine dikkat etmeleri gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Wang ve diğerleri (2018) Çin özelinde demir çelik endüstrisi de dahil olmak üzere belirlenen enerji yoğun endüstriler için düşük karbon teknolojilerine yönelik kısa vadeli bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanan yazarlar AHP yöntemini uygulamaya almışlardır. Çalışmada demir çelik sektörü için sinterleme baca gazı geri dönüşüm teknolojileri ile enerji yönetim sistemleri kriterlerinin daha iyi bir gelişme performansına sahip olduğu bulgusu elde edilmiştir.

Khan ve Haleem (2020) yayımladıkları makalelerinde gelişmekte olan ekonomiler üzerinde döngüsel ekonomi uygulamalarını CoCoSo yaklaşımıyla incelemeye almışlardır. Çalışmada döngüsel ekonomi uygulamaları arasında en önemli faktörün tüketici farkındalığı olduğu ve bunu mevzuat ve politika yönetimi, döngüsel kültürün geliştirilmesi, istihdama dönük teknolojik gelişim ve atıkların en aza indirgenmesine imkân tanıyan süreç tasarımlarının takip ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kasap ve diğerleri (2020) tarafından yayımlanan çalışma bulanık tabanlı çok kriterli karar verme teknikleriyle demir çelik endüstrisi için en uygun yatırım seçeneğini araştırmayı konu edinmiştir. Yenilikçilik ve ergonomi gibi altı ana kriterin ve on dört alt kriterin de yer aldığı çalışma analiz metodu olarak BAHŞ ve VIKOR yöntemlerini tercih etmiştir. Çalışma demir çelik sektörü için çok sayıda değişken tarafından etkilenen yatırım seçeneklerinin belirlenebilmesi satın alma süreçlerini etkileyen spesifik değişkenleri ortaya çıkararak bunları önem ağırlıklarına göre sıralamaktadır.

Özcan ve Ömürbek (2020) tarafından yayımlanan makalede yazarlar, Türkiye’de faaliyet gösteren bir demir çelik ihracatçısı işletmenin 2000-2018 dönemini üretim, ihracat, enerji tüketimi gibi literatürden seçilen kriterlerle entropi, TOPSIS, MULTIMOORA ve MAUT yöntemleriyle değerlendirmişlerdir. Performans değerlendirmesinden elde edilen bulgulardan işletme için 2018 yılının en iyi performansa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dwivedi ve diğerleri (2021), BSE-200 endeksi, GSYİH ve kişi başına çelik tüketimi kriterlerini ekonomik kalkınma ile ilişkilendirerek incelemeye almışlardır. Çalışmada, model olarak MARCOS ve CRITIC yöntemlerinden faydalanılmıştır. Hindistan’ın çelik endüstrisinin performansında dikkat çeken yükseliş çalışmanın bulguları arasında yer almaktadır.

Binboğa ve Özdi (2020) tarafından yayımlanan makalede yazarlar, demir çelik sektörü özelinde çok kriterli karar verme teknikleriyle sürdürülebilirliğin işletme performansına etkilerini işletmelerin BIST Sürdürülebilirlik Endeksi’nde yer alma durumlarını dikkate alarak araştırmışlardır. Araştırma kapsamına alınan yüz işletmede demir çelik sektöründe faaliyet gösteren firmaların ilk elli içerisinde yer almadığı görülmektedir. Yazarların entropi ve TOPSIS analizlerinden elde ettiği bulgular neticesinde BIST Sürdürülebilirlik Endeksi’nde yer alan firmaların yer almayanlara oranla aralarında belirgin farklılıkların olmadığı, daha iyi bir finansal performansa sahip olmadıkları sonucuna ulaşılmıştır.

Monajemzadeh ve diğerleri (2022) tarafından hazırlanan çalışmada, çelik ürünlerinin ihracatını etkileyen faktörleri belirlemede WASPAS ve Shannon entropi yöntemlerinden faydalanılmıştır. İran’da faaliyet gösteren Khouzestan Steel Company isimli işletme rol model alınarak çalışmada çelik ihracatını etkileyebilecek üç önemli faktörün bilgi beceri yönetimi, ihracat ve tedarik zinciri olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Yazarlar, İran’ın petrol ve gaz kaynaklarının yakın gelecekte tükenme riskine karşılık ülkenin çelik endüstrisindeki potansiyeline dikkat çekmişlerdir.

OECD ülkelerinin sosyo-ekonomik küresel endeksler perspektifinden karşılaştırılmasında CRITIC ve CoCoSo yöntemlerinden faydalanan Acar (2022), çalışmasında GINI, beşerî kalkınma, iş yapma kolaylığı, küresel rekabet, küresel girişimcilik ve çevresel performans endekslerinden faydalanmıştır. 2015-2019 dönemini ele alan çalışma, en büyük ağırlığa sahip endeksin GINI, en iyi performansın Danimarka ve en düşük performansın Meksika olduğu bulgularıyla sonuçlanmıştır.

Sindhvani ve diğerleri (2022) net sıfır emisyonunun uygulanmasında başarı faktörlerini PF, Delphi, AHP ve CoCoSo yöntemlerinden faydalanarak modellemişlerdir. Çalışma yenilenebilir kaynakların ve net sıfır emisyon teknolojilerinin başarı faktörleri sıralamasında en iyi performansa sahip kriterler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Akram ve diğerleri (2023) tarafından yayımlanan makale, ekonomik büyümesinin büyük bir bölümünün çelik endüstrisine bağlı olduğu Pakistan’ı incelemeye almıştır. Yazarlar Pakistan’ın en büyük çelik üreticisi olan PSMC işletmesinde endüstriyel katı atık oluşum süreçlerini dikkate alarak çok kriterli karar verme yöntemlerini incelemeye alarak yeni bir model önerisinde bulunmuşlardır. Çalışma, çelik endüstrisi üzerinden örneklenilerek optimal endüstriyel atık yönetimi tekniğinin seçimi için önerilen LPFH, CRITIC ve EDAS tekniğinin niteliksel ve niceliksel bulanık bilgilerle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Singh ve diğerleri (2024) çalışmalarında Hindistan’da iklim değişikliği etkilerinin azaltılması stratejilerini değerlendirmeye almışlardır. Yazarlar stratejiler üzerinde etkili olan itici güçleri ve engelleri TISM ve MICMAC analizleri kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada pragmatik ve uygun maliyetli teknoloji, daha az tedarik zinciri karmaşıklığı, sağlam politika ve yasal çerçevenin, diğer tüm etkenler arasında en yüksek itici güce sahip olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Gargari ve diğerleri (2024), çelik endüstrisinin su ve enerji kaynaklarına bağımlı olmasından hareketle kentsel atık su arıtma teknolojilerinin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında etkili olduğunu savunmuşlardır. Yazarlar bu savlarını Pareto optimizasyonu ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile

desteklemişlerdir. Çalışma fiyat, debi, tesisler ve indirim oranları kriterlerinden hareketle üçlü bir bağlantı noktası projesiyle savlarının gerçekleşebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Alanyazın incelendiğinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden CRITIC ve CoCoSo yöntemlerinin farklı disiplin ve sektör araştırmalarında tercih edildiği ancak ülkelerin sanayileşme süreçlerinin lokomotif gücü olarak ifade edilen demir çelik sektöründe karşılaştırmalı veya sıralamalı ülke incelemelerini iklim krizi ile ilişkilendirerek sunan çalışmalarda sayıca daha az yer aldığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı umulmaktadır. Ayrıca çalışma küresel iklim krizi tedbirleri, yapısal dönüşüm ve teknolojik gelişmeye odaklı olarak incelemeye aldığı ülkeleri GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamalarına göre sınıflandırması bakımından diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Küresel iklim krizine uyum tedbirleri sürecinde ülkeler özelinde gerçekleştirilen yapısal dönüşümlerin maliyet yönünün, teknolojik yatırımların ve mikro ekonomik faktörlerin etkilerinin bu şekilde daha sonuç odaklı bulgular elde edilmesine imkân tanıyabileceği değerlendirilmektedir.

4. YÖNTEM

Çalışma kapsamına alınan ülkelerin demir çelik sektörü özelinde küresel iklim krizi tedbir ve kararlarına uyum süreçlerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanılmıştır. Dünya demir çelik sektöründe üretim gerçekleştiren tüm ülkeler çalışmanın araştırma evrenini oluşturmaktadır. Başlıca çelik üreten 50 ülke araştırmanın örnekleme olarak çelik üretim miktarlarına göre seçilmiştir. Veri kaynaklarından elde edilen bilgilere göre Tayvan, Filipinler, Sırbistan ve Şili araştırmanın kısıtları olarak kapsam dışı bırakılmış, analizler 46 ülke üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 2018-2021 dönemine ilişkin yıllık veriler kullanılmıştır. Çalışmanın veri setine ilişkin bilgiler Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Değerlendirme kriterleri birim ve kaynak bilgileri

<i>Değerlendirme Kriterleri</i>	<i>Birim</i>	<i>Kaynak</i>
Ham Çelik Üretimi	Ton	World Steel Association (2023)
Demir Çelik İhracatı	ABD Doları	World Trade Organization (2023)
Kümülatif Karbondioksit Emisyonları	Ton	Global Carbon Budget (2023)
Fosil Yakıt Tüketimi	Teravatsaat	Energy Institute (2023)

Tablo 1'de yer alan bilgiler küresel iklim krizi tedbirlerine uyum sürecinde demir çelik sektörü özelinde etkili olduğu değerlendirilen veri setlerini kapsamı içerisine almaktadır. Küresel CO₂ emisyonlarının %8'lik bir dilimini oluşturan çelik endüstrisi, iklim hedeflerine ulaşmanın anahtar endüstrileri arasında yer almaktadır. Bununla birlikte küresel çelik üretim kapasitesinin yaklaşık %90'ı net sıfır karbon hedeflerini açıklayan ülkelerde bulunmaktadır (OECD, 2022: 5). Global Forum on Steel Excess Capacity (2022) tarafından yayımlanan raporda gerçekleştirilen yapısal dönüşümler ve bir dizi alanda meydana gelen ilerlemelere rağmen çelik endüstrisinin Paris Anlaşması ile uyumlu bir yolda bulunmadığı belirtilmiştir. Sakamoto ve Manaki (2017), sektörlere özgü çevresel verimliliğin ihracat performansı üzerindeki olumlu etkisinin tutarlı olduğu bulgusuna ulaşmışlardır. Demir çelik endüstrisinin ise bu tutarlılığa erişmede bir dizi yapısal dönüşüme ihtiyacı olduğu değerlendirilmektedir. Teknolojinin yükseltilmesi demir çelik endüstrisinde temiz üretimi gerçekleştirmenin yaygın ve etkili alternatiflerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Morfeldt ve diğerleri, 2015). Bu durumda araştırmanın tasarımında ham çelik üretimi verileri sadece hurda malzemenin geri dönüşümü veya ikincil çelik üretimi olarak değil karbon yakalama ve depolama gibi tekniklerle de birincil çelik üretiminde yenilikçi süreçler de dikkate alınmaktadır. Tanaka (2008), enerji tüketimi ve enerji yoğunluğunun genellikle bir endüstrinin sınırlarının farklı tanımlamalarına dayalı olarak tahmin edildiğini ifade etmektedir. Bu bağlamda çalışma esasen minimum karbon emisyonu, maksimum çelik üretimi ve ihracatı yaklaşımından hareketle çelik üreticisi ülkelerin küresel iklim krizi tedbirlerine karşı barındırdıkları yüksek teknoloji ve yeşil çelik üretimi potansiyellerini ortaya çıkarmak üzere kurgulanmıştır. Çalışmada değerlendirme kriterlerinin belirlenmesinde iç tüketim ile ihracat talepleri arasındaki farkın göz ardı edilmemesine dikkat edilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin farklı coğrafya ve ekonomik gelişmişlik düzeyine sahip 46 ülke için elde edilmiş olması analizlerin homojen dağılım özelliği göstermemesine neden olmaktadır. Bu nedenle çalışmada ülkeler gayrisafi yurt içi hasıla (GSYİH) oranı olarak Ar-Ge harcamaları ortalamalarına göre yüksek ve düşük ülkeler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Küreselleşmenin bir sonucu olarak ülkeler arası rekabetin günden güne artması diğerlerinden farklılaştığını ortaya çıkarmak isteyen ülkelerin Ar-Ge, inovasyon, yatırım ve yenilik hareketlerini hızlandırdıkları görülmektedir (Börü ve Çelik, 2019). Çevresel boyutlarıyla üretim tesisleri ele alındığında ise karbon yakalama ve hapsetme gibi çeşitli komplekslerin araştırılması ve geliştirilmesi faaliyetlerine ciddi boyutlarda ekonomik kaynak aktarılmasına gereksinim duyulduğu bilinmektedir (Taner, 2012: 1). Teknoloji geliştirme ve yenilikçi faaliyetlerin vasıflı iş gücü ve Ar-Ge harcamaları oranının yüksek olduğu ülkelerde daha yoğun bir biçimde ortaya çıktığı değerlendirilmektedir (Vernon, 1966). Bu nedenle ülkelerin 2018 yılı GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamalarının ortalamasınının 1,3540 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu değer üzerinde kalan ülkeler

birinci grupta, altında kalan ülkeler ise ikinci grupta analize tabi tutulmuşlardır. Ülkelerin gruplara göre dağılım sonuçlarına Tablo 2’de yer verilmiştir.

Tablo 2. GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamalarına göre ülkelerin sınıflandırılması

Grup	Ülkeler
Birinci Grup	Çin, Japonya, ABD, Güney Kore, Almanya, İtalya, Fransa, Kanada, Avusturya, İngiltere, Belçika, Hollanda, Avustralya, Çekya, İsveç, Finlandiya
İkinci Grup	Hindistan, Rusya, Türkiye, Brezilya, İran, Vietnam, Ukrayna, Meksika, Endonezya, İspanya, Mısır, Suudi Arabistan, Polonya, Malezya, Bangladeş, Tayland, Pakistan, Güney Afrika, Slovakya, Kazakistan, Cezayir, Romanya, Birleşik Arap Emirlikleri, Belarus, Lüksemburg, Umman, Portekiz, Yunanistan, Kolombiya, Kuveyt

Birden fazla kriterin söz konusu olduğu durumlarda karar alternatiflerinin sıralanmasını ve en iyisinin seçilmesini sağlayan yöntemler çok kriterli karar verme yöntemleri olarak tanımlanmaktadır (Abacıoğlu, 2023: 29). Çalışmada uygulamaya alınan dört kriter dikkate alınarak birinci grupta bulunan on altı ülke ve ikinci grupta bulunan otuz ülke üzerinde sıralama yapılması ihtiyacı nedeniyle çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Alanyazın taramasında yayımlanan çalışmalar incelendiğinde Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) yönteminin sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji gibi konularda ağırlıklı olarak tercih edildiği görülmektedir (Ayan ve Abacıoğlu, 2022). Diakoulaki ve diğerleri (1995) tarafından geliştirilen CRITIC yöntemi, değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının objektif olarak belirlenmesinin tercih edildiği durumlarda kullanılmaktadır (Ayçin, 2020: 75). Çok kriterli karar verme problemlerinin kritik süreci ağırlıkların belirlenebilmesi ve birbirleriyle ilişkilendirilebilmesi aşamasıdır. Özellikle kriterler arasında korelasyonun bulunması durumunda CRITIC yönteminin daha iyi bir uzlaşma performansı sergilediği ifade edilebilecektir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995). Bu nedenle CRITIC yönteminde kriterlerin birbiri ile ilişkisi ve çelişkisi hesaplanarak değerlendirmeler yapılmakta ve bu değerlendirmeler kriterlerin standart sapmalarını ve korelasyonlarını dikkate almaktadır (Yıldırım, 2023: 3, 47).

CRITIC yönteminin uygulama adımlarından sırasıyla bahsedilmiştir. n alternatiften oluşan sonlu bir A kümesi için belirli bir m sistemi için f_j değerlendirme kriterinin tanımlanmış haline Eşitlik 1’de yer verilmiştir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995).

$$\text{Max} \{f_1(a), f_2(a), \dots, f_m(a) / a \in A\} \quad (1)$$

Çok kriterli karar problemlerinde, kriterlerin $[0, 1]$ aralığında değerler almasını sağlamak amacıyla, her f_j kriterine karşılık x_j fonksiyonu oluşturulacak şekilde normalizasyon uygulaması yapılmaktadır. Bu uygulama sonucunda ideal değer noktası elde edilmektedir. İdeal değer noktası kriter değerinin ortak bir birime dönüştürülebilmesi açısından önemlidir. x_{aj} değerlerinin a alternatifi için ideal noktaya ne kadar yakın olduğu Eşitlik 2’de gösterildiği şekliyle ifade edilmektedir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995).

$$x_{aj} = \frac{f_j(a) - f_j^*}{f_j^* - f_j^*} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de yer alan gösterimde j kriterindeki en iyi performans f_j^* ile en kötü performans ise f_j^* ile uzaklık olarak ifade edilmektedir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995). Eşitlik 2 üzerinden fayda (max.) nitelikli ölçütler ve maliyet (min.) nitelikli ölçütler de modele uygulanabilmektedir. Normalizasyon modelinin fayda (max.) yönlü olarak belirlenmesi durumunda kriterlerin yüksek değerlere ulaşabilmesi; maliyet (min.) yönlü olarak belirlenmesi durumunda ise kriterlerin mümkün olan en düşük seviyede değer alması beklenmektedir. Normalizasyon işleminin değerlendirme kriterlerinin fayda ve maliyet niteliklerini dikkate alarak gerçekleştirilmesinin model ile gösterimi sırasıyla Eşitlik 3 ve 4’te yer almaktadır (Akgül, 2021).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (3)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (4)$$

Eşitlik 3 ve 4 ile ifade edilen modellerde r_{ij} değerleri karar matrisine göre normalize edilmiş değerleri göstermektedir. x_j^{\max} kriterin aldığı en büyük değere ve x_j^{\min} ise kriterin aldığı en küçük değere karşılık gelmektedir. Elde edilen bulgular ile ham haliyle işleme alınan değerlendirme matrisinin göreceli şekilde puanlanmış değerlerden oluşan bir karar matrisine dönüşmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde incelemeye alınan n alternatifin puanları j ’inci kriter için ayrı ayrı değerlendirilerek x_j vektörü elde edilmektedir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995).

$$x_j = (x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)) \quad (5)$$

Her x_j vektörü kontrast yoğunluğunu ölçen standart sapma ile karakterize edilmektedir. Daha sonra $m \times m$ boyutuna ve x_j ile x_k vektörleri arasındaki doğrusal korelasyon katsayısı olan r_{jk} elemanına sahip korelasyon matrisi oluşturulmaktadır.

$$\sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad (6)$$

Eşitlik 6'da gösterilen modelde r_{jk} Pearson korelasyon katsayısını ifade etmektedir. Ancak sıralamanın kullanıldığı durumlarda R_{jk}^S olarak da ifade edilen Spearman korelasyon katsayısı kullanılmaktadır. Her bir değerlendirme kriterine ait bilgi miktarını gösteren C_j değeri, kriterlerin birbiri ile ilişki yoğunluğu ve çelişkisi ölçümlerinin Eşitlik 7'de gösterilen model yardımıyla birleşiminden elde edilmektedir.

$$C_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad (7)$$

Eşitlik 7'de yer verilen σ_j , j'inci değerin standart sapmasını ifade etmektedir. Modelde C_j değerinin yüksek olması ilgili kritere ait bilgi miktarının da büyük olması anlamına gelmektedir. Nesnel ağırlıklar, Eşitlik 7'den elde edilen bulgulara göre sonuçların normalleştirilmesiyle elde edilmektedir. Kriter ağırlıklarının elde edilmesindeki hesaplama Eşitlik 8'de yer almaktadır.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad (8)$$

Yazdani ve diğerleri (2019) tarafından geliştirilen Combined Compromise Solution (CoCoSo) yöntemi, kombinatuvar metodoloji üzerine kurgulanmıştır. CoCoSo yönteminin literatürde sürdürülebilirlik ve optimizasyon gibi konularda ağırlıklı olarak tercih edildiği bulgusuna ulaşılmıştır (Ayan ve Abacıoğlu, 2022). Pratik problemlerin çözümünde farklı karar verici grupların sürece dahil olması, araştırmayı ya da araştırmacıyı her grubun farklı kriteri veya bakış açısını sürece dahil etmesi ile karşı karşıya getirmektedir. Bu durumda ihtiyaç duyulan karşılıklı uzlaşma çerçevesi içerisinde yer alan ve tüm gereksinimleri eşzamanlı karşılayan bir çözüm yöntemidir. Bu nedenle çalışmada entegre basit toplamsal ağırlıklandırmaya dayalı, üstel ağırlıklı ve uzlaşmacı çözümleri özet olarak sunabilen CoCoSo yöntemi tercih edilmiştir (Yazdani ve diğerleri, 2019). Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesi CRITIC yönteminden faydalanılarak gerçekleştirildiğinden, CoCoSo yöntemine ait çok kriterli karar verme aşamalarının aktarımı ile devam edilmiştir.

CoCoSo yöntemiyle ağırlıklı karşılaştırılabilirlik toplamı olan S_i ve her bir alternatif için karşılaştırılabilirlik dizilerinin güç ağırlığı toplamı olan P_i değerlerinin hesaplama yöntemleri Eşitlik 9 ve 10'da yer almaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n (w_j; r_{ij}) \quad (9)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (10)$$

Eşitlik 9'da yer alan S_i değerleri gri ilişkisel yaklaşımına ve Eşitlik 10'da yer alan P_i değerleri ise ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım modellerinin katsayı ile bütünleştirilmesi sonucu uygulamaya alınan WASPAS teorisine dayanmaktadır. Eşitlik 11, 12 ve 13'te yer alan toplama yöntemlerini kullanan alternatiflerin göreceli ağırlıklarının hesaplanmasında üç değerlendirme puanı stratejisinden faydalanılmaktadır (Yazdani ve diğerleri, 2019).

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad (11)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i} \quad (12)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1-\lambda)(P_i)}{(\lambda \max_i S_i + (1-\lambda) \max_i P_i)} ; 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (13)$$

Alternatiflerin göreceli ağırlıklarının hesaplandığı yukarıdaki üç modelde yer alan $\min_i S_i$ değeri S_i değerlerinin minimum değerini; $\min_i P_i$ değeri ise P_i değerlerinin minimum değerine karşılık gelmektedir. λ değeri de Eşitlik 13'te yer verilen aralıkta ve genellikle karar vericiler tarafından 0.5 olarak seçilmektedir. Son olarak alternatiflerin sıralaması Eşitlik 14'te gösterilen k_i değerlerine göre gerçekleşmekte ve en büyük k_i değerine sahip alternatifin en iyi olduğu çıkarsaması ile yorumlanmaktadır.

$$k_i = (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{1/3} + 1/3(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (14)$$

Çalışmada seçilen değerlendirme kriterlerinin, demir çelik endüstrisi özelinde birbirleri ile ilişki ve etkileşim düzeyinin yüksek olmasının ve çalışmanın birden çok zaman dönemi içermesinin bir sonucu olarak tüm hesaplamalar incelemeye alınan her bir yıl dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

5. BULGULAR

Çalışmanın analiz süreçlerinde ilk olarak CRITIC yöntemiyle her iki grupta yer alan ülkeler için değerlendirme kriterlerinin ağırlık skorları belirlenmiştir. Analizde kullanılan değerlendirme kriterleri ve kriterlere ait nitelikler Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Değerlendirme kriterleri ve kriterlere ait nitelikler

<i>Değerlendirme Kriterleri</i>	<i>Kısa Gösterim</i>	<i>Amaç</i>
Ham Çelik Üretimi	HCU	Max.
Demir Çelik İhracatı	DCIHR	Max.
Kümülatif Karbondioksit Emisyonları	KCO2EM	Min.
Fosil Yakıt Tüketimi	FYT	Min.

Çalışmada değerlendirme kriterlerinin ve kriterlere ait amaçların belirlenmesinde uluslararası Küresel İklim Krizi otoritelerinin kararlarından ve demir çelik endüstrisi sektör raporlarından istifade edilmiştir. Birinci grupta yer alan ülkelerin CRITIC sonuçlarına göre 2018-2021 dönemi için değerlendirme kriterlerinin ağırlık skorları Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Birinci grupta yer alan ülkelerin değerlendirme kriterleri ağırlık skorları

<i>Yıllar</i>	<i>Kriterler</i>	$\sum_{k=1}^m(1 - r_{jk})$	σ_j	C_j	w_j
2018	HCU	3.4812	0.2462	0.8573	0.2453
	DCIHR	3.2429	0.2484	0.8056	0.2305
	KCO2EM	2.9983	0.2625	0.7873	0.2253
	FYT	3.7216	0.2806	1.0445	0.2989
2019	HCU	3.5167	0.2462	0.8661	0.2467
	DCIHR	3.2497	0.2509	0.8156	0.2323
	KCO2EM	3.0115	0.2639	0.7948	0.2264
	FYT	3.7305	0.2771	1.0338	0.2945
2020	HCU	3.5470	0.2467	0.8751	0.2473
	DCIHR	3.2886	0.2527	0.8313	0.2350
	KCO2EM	3.0440	0.2659	0.8095	0.2288
	FYT	3.7902	0.2696	1.0219	0.2889
2021	HCU	3.4958	0.2465	0.8624	0.2454
	DCIHR	3.2886	0.2399	0.7892	0.2246
	KCO2EM	3.0794	0.2680	0.8254	0.2349
	FYT	3.8323	0.2706	1.0371	0.2951

Tablo 4 incelendiğinde birinci grupta yer alan ülkelere ilişkin verilerle yapılan CRITIC yöntemi hesaplamalarından tüm yıllar için FYT kriterinin en yüksek ağırlık değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En düşük değerler dikkate alındığında ise 2018,2019 ve 2020 yıllarında en düşük ağırlıklandırma değerlerinin KCO2EM kriterine ait olduğu, 2021 yılında ise en düşük değer DCIHR kriterine ait olduğu görülmektedir. İkinci grupta yer alan ülkelerin CRITIC sonuçlarına göre 2018-2021 dönemi için değerlendirme kriterlerinin ağırlık skorları Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. İkinci grupta yer alan ülkelerin değerlendirme kriterleri ağırlık skorları

<i>Yıllar</i>	<i>Kriterler</i>	$\sum_{k=1}^m(1 - r_{jk})$	σ_j	C_j	w_j
2018	HCU	3.9736	0.2158	0.8577	0.2659
	DCIHR	3.5267	0.2391	0.8435	0.2615
	KCO2EM	3.5793	0.1911	0.6841	0.2121
	FYT	3.6374	0.2309	0.8398	0.2604
2019	HCU	4.0127	0.2126	0.8531	0.2707
	DCIHR	3.4710	0.2286	0.7937	0.2518
	KCO2EM	3.5263	0.1918	0.6765	0.2147
	FYT	3.6262	0.2284	0.8283	0.2628
2020	HCU	3.9790	0.2218	0.8826	0.2728
	DCIHR	3.4512	0.2394	0.8263	0.2554
	KCO2EM	3.5406	0.1925	0.6817	0.2107
	FYT	3.6552	0.2312	0.8453	0.2612
2021	HCU	3.9109	0.2141	0.8376	0.2480
	DCIHR	3.5414	0.2800	0.9917	0.2936
	KCO2EM	3.5766	0.1933	0.6915	0.2047
	FYT	3.7219	0.2302	0.8570	0.2537

Tablo 5 incelendiğinde ikinci grupta yer alan ülkelere ilişkin verilerle yapılan CRITIC yöntemi hesaplamalarından 2018, 2019 ve 2020 yılları için HCU kriterinin, 2021 yılı için ise DCIHR'nin en yüksek ağırlık değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En düşük değerler dikkate alındığında ise tüm yıllar için yıllarında en düşük ağırlıklandırma değerlerinin KCO2EM kriterine ait olduğu görülmektedir. Birinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2018 dönemi için Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. Birinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2018

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Çin	0.5822	2.8445	0.0633	4.8073	0.8655	2.5531
Japonya	0.5894	3.3498	0.0728	5.1037	0.9949	2.7748
ABD	0.1727	1.9824	0.0398	2.0000	0.5443	1.2127
Güney Kore	0.6096	3.3205	0.0726	5.2057	0.9926	2.8116
Almanya	0.5763	3.2322	0.0704	4.9684	0.9619	2.6957
İtalya	0.5850	3.1500	0.0690	4.9775	0.9433	2.6835
Fransa	0.5532	3.0316	0.0663	4.7336	0.9054	2.5590
Kanada	0.5113	2.8749	0.0626	4.4114	0.8552	2.3945
Avusturya	0.5571	2.8819	0.0636	4.6803	0.8686	2.5077
İngiltere	0.4893	2.7590	0.0600	4.2259	0.8204	2.2948
Belçika	0.5852	3.0085	0.0664	4.9073	0.9077	2.6268
Hollanda	0.5660	2.9386	0.0648	4.7605	0.8851	2.5521
Avustralya	0.5044	2.1875	0.0498	4.0247	0.6799	2.0992
Çekya	0.5350	2.7162	0.0601	4.4687	0.8211	2.3874
İsveç	0.5512	2.7609	0.0612	4.5855	0.8365	2.4447
Finlandiya	0.5423	2.5568	0.0573	4.4310	0.7827	2.3405

İkinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2018 dönemi için Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7. İkinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2018

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Hindistan	0.4990	2.6892	0.0316	2.4541	0.7184	1.449834
Rusya	0.4301	2.4116	0.0281	2.1555	0.6404	1.279963
Türkiye	0.7588	3.6790	0.0439	3.5563	1.0000	2.072016
Brezilya	0.5889	3.4552	0.0400	3.0168	0.9113	1.801947
İran	0.4446	3.1375	0.0355	2.5042	0.8072	1.531063
Vietnam	0.5283	3.2069	0.0370	2.7524	0.8417	1.651205
Ukrayna	0.5415	3.3261	0.0383	2.8377	0.8715	1.705001
Meksika	0.4592	3.1317	0.0356	2.5397	0.8092	1.546174
Endonezya	0.4593	3.0270	0.0345	2.4953	0.7856	1.512633
İspanya	0.5419	3.2816	0.0379	2.8198	0.8616	1.691140
Mısır	0.4575	2.8561	0.0328	2.4174	0.7467	1.455411
Suudi Arabistan	0.3830	2.8290	0.0318	2.2113	0.7238	1.359577
Polonya	0.4665	3.0953	0.0353	2.5433	0.8026	1.543071
Malezya	0.4698	2.9214	0.0336	2.4774	0.7642	1.490803
Bangladeş	0.4654	2.3568	0.0279	2.2243	0.6360	1.303360
Tayland	0.4507	2.8972	0.0331	2.4171	0.7544	1.460677
Pakistan	0.4485	2.5743	0.0299	2.2733	0.6812	1.353989
Güney Afrika	0.4674	3.0427	0.0348	2.5229	0.7909	1.527047
Slovakya	0.5162	3.0243	0.0351	2.6425	0.7978	1.578097
Kazakistan	0.4707	2.9339	0.0337	2.4852	0.7672	1.495926
Cezayir	0.4489	2.4523	0.0287	2.2221	0.6538	1.315046
Romanya	0.4832	2.8921	0.0334	2.4997	0.7606	1.496922
BAE	0.4592	2.8471	0.0327	2.4179	0.7450	1.454460
Belarus	0.4717	2.7381	0.0318	2.4040	0.7233	1.433911
Lüksemburg	0.4992	2.8249	0.0329	2.5127	0.7490	1.493884
Umman	0.4766	2.7191	0.0316	2.4085	0.7201	1.433416
Portekiz	0.4823	2.7639	0.0321	2.4426	0.7315	1.454553
Yunanistan	0.4706	2.6228	0.0306	2.3517	0.6971	1.395371
Kolombiya	0.4634	2.3683	0.0280	2.2240	0.6381	1.304769
Kuveyt	0.4554	2.3355	0.0276	2.1890	0.6289	1.284812

Birinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2019 dönemi için Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8. Birinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2019

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Çin	0.5816	2.8358	0.0632	4.6822	0.8697	2.5077
Japonya	0.5904	3.3392	0.0727	4.9843	1.0000	2.7318
ABD	0.1785	1.9909	0.0401	2.0000	0.5521	1.2179
Güney Kore	0.6134	3.3200	0.0727	5.1035	1.0010	2.7780
Almanya	0.5762	3.2192	0.0702	4.8445	0.9658	2.6501
İtalya	0.5855	3.1439	0.0690	4.8589	0.9491	2.6415
Fransa	0.5500	3.0180	0.0660	4.5964	0.9080	2.5074
Kanada	0.5066	2.8522	0.0621	4.2701	0.8547	2.3387
Avusturya	0.5534	2.8921	0.0637	4.5525	0.8768	2.4646
İngiltere	0.4873	2.7610	0.0601	4.1166	0.8266	2.2568
Belçika	0.5810	3.0029	0.0663	4.7626	0.9120	2.5739
Hollanda	0.5614	2.9342	0.0646	4.6183	0.8895	2.5002
Avustralya	0.5012	2.1963	0.0499	3.9108	0.6865	2.0607
Çekya	0.5309	2.7132	0.0600	4.3365	0.8255	2.3395
İsveç	0.5482	2.8039	0.0620	4.4792	0.8530	2.4168
Finlandiya	0.5418	2.5711	0.0576	4.3261	0.7921	2.3074

İkinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2019 dönemi için Tablo 9'da yer almaktadır.

Tablo 9. İkinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2019

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Hindistan	0.5047	2.7022	0.0318	2.5320	0.7295	1.4864
Rusya	0.3923	2.3906	0.0276	2.0986	0.6330	1.2519
Türkiye	0.7453	3.6509	0.0436	3.5862	1.0000	2.0819
Brezilya	0.5806	3.4337	0.0398	3.0591	0.9131	1.8181
İran	0.4488	3.1528	0.0357	2.5892	0.8192	1.5712
Vietnam	0.5308	3.2233	0.0372	2.8345	0.8539	1.6901
Ukrayna	0.5391	3.3152	0.0382	2.8975	0.8767	1.7304
Meksika	0.4553	3.1052	0.0353	2.5846	0.8099	1.5629
Endonezya	0.4816	3.1207	0.0357	2.6602	0.8194	1.5988
İspanya	0.5361	3.2598	0.0376	2.8649	0.8634	1.7085
Mısır	0.4585	2.8132	0.0324	2.4616	0.7442	1.4696
Suudi Arabistan	0.3838	2.7742	0.0313	2.2492	0.7183	1.3694
Polonya	0.4657	3.0722	0.0351	2.5970	0.8048	1.5641
Malezya	0.4958	3.0637	0.0353	2.6714	0.8097	1.5963
Bangladeş	0.4718	2.3875	0.0283	2.3044	0.6504	1.3433
Tayland	0.4458	2.8134	0.0323	2.4284	0.7413	1.4548
Pakistan	0.4499	2.5318	0.0296	2.3124	0.6782	1.3660
Güney Afrika	0.4619	3.0198	0.0345	2.5634	0.7920	1.5422
Slovakya	0.5112	2.9678	0.0345	2.6685	0.7914	1.5824
Kazakistan	0.4695	2.9213	0.0336	2.5389	0.7713	1.5184
Cezayir	0.4537	2.5168	0.0294	2.3157	0.6757	1.3654
Romanya	0.4863	2.8869	0.0334	2.5672	0.7673	1.5265
BAE	0.4664	2.8730	0.0331	2.5090	0.7596	1.4987
Belarus	0.4764	2.7494	0.0320	2.4794	0.7338	1.4692
Lüksemburg	0.5016	2.8092	0.0328	2.5720	0.7531	1.5184
Umman	0.4789	2.7002	0.0315	2.4638	0.7231	1.4558
Portekiz	0.4860	2.7470	0.0320	2.5033	0.7354	1.4796
Yunanistan	0.4730	2.5563	0.0300	2.3835	0.6891	1.4009
Kolombiya	0.4680	2.5149	0.0296	2.3520	0.6785	1.3814
Kuveyt	0.4616	2.2208	0.0266	2.2029	0.6102	1.2760

Birinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2020 dönemi için Tablo 10'da yer almaktadır.

Tablo 10. Birinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2020

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Çin	0.5813	2.8256	0.0634	4.4371	0.8684	2.4147
Japonya	0.5891	3.3105	0.0725	4.7205	0.9940	2.6272
ABD	0.1924	1.9951	0.0407	2.0000	0.5576	1.2228
Güney Kore	0.6127	3.3052	0.0729	4.8404	0.9986	2.6769
Almanya	0.5775	3.2034	0.0703	4.6064	0.9637	2.5585
İtalya	0.5830	3.1203	0.0689	4.5936	0.9439	2.5373
Fransa	0.5424	2.9697	0.0653	4.3072	0.8952	2.3875
Kanada	0.5065	2.8337	0.0621	4.0523	0.8514	2.2537
Avusturya	0.5497	2.8691	0.0636	4.2944	0.8714	2.3628
İngiltere	0.4870	2.7549	0.0603	3.9115	0.8263	2.1792
Belçika	0.5753	2.9581	0.0657	4.4723	0.9006	2.4550
Hollanda	0.5593	2.9153	0.0646	4.3676	0.8856	2.4026
Avustralya	0.4991	2.1923	0.0501	3.6923	0.6860	1.9785
Çekya	0.5294	2.7164	0.0604	4.1124	0.8273	2.2567
İsveç	0.5446	2.7794	0.0618	4.2231	0.8473	2.3155
Finlandiya	0.5358	2.5480	0.0574	4.0616	0.7860	2.2029

İkinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2020 dönemi için Tablo 11'de yer almaktadır.

Tablo 11. İkinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2020

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Hindistan	0.5293	2.7402	0.0322	2.5650	0.7369	1.5046
Rusya	0.4164	2.4074	0.0278	2.1244	0.6365	1.2645
Türkiye	0.7564	3.6803	0.0437	3.5658	1.0000	2.0745
Brezilya	0.5750	3.4277	0.0394	2.9771	0.9022	1.7792
İran	0.4488	3.1728	0.0356	2.5342	0.8163	1.5480
Vietnam	0.5554	3.3140	0.0381	2.8771	0.8721	1.7196
Ukrayna	0.5435	3.3333	0.0382	2.8537	0.8738	1.7118
Meksika	0.4553	3.1087	0.0351	2.5244	0.8033	1.5353
Endonezya	0.5459	3.3036	0.0379	2.8475	0.8677	1.7051
İspanya	0.5318	3.2389	0.0371	2.7825	0.8499	1.6676
Mısır	0.4593	2.8562	0.0326	2.4280	0.7473	1.4591
Suudi Arabistan	0.3766	2.7733	0.0310	2.1733	0.7099	1.3344
Polonya	0.4640	3.0714	0.0348	2.5317	0.7968	1.5337
Malezya	0.5033	3.1023	0.0355	2.6491	0.8127	1.5901
Bangladeş	0.4684	2.4106	0.0283	2.2638	0.6489	1.3269
Tayland	0.4429	2.8308	0.0322	2.3737	0.7379	1.4315
Pakistan	0.4455	2.5781	0.0298	2.2738	0.6815	1.3536
Güney Afrika	0.4460	2.9378	0.0333	2.4273	0.7627	1.4695
Slovakya	0.5040	2.9486	0.0340	2.5859	0.7782	1.5416
Kazakistan	0.4688	2.9351	0.0335	2.4868	0.7672	1.4957
Cezayir	0.4498	2.5122	0.0292	2.2574	0.6676	1.3376
Romanya	0.4807	2.8644	0.0329	2.4883	0.7539	1.4870
BAE	0.4682	2.8861	0.0330	2.4644	0.7560	1.4792
Belarus	0.4713	2.7476	0.0317	2.4140	0.7255	1.4385
Lüksemburg	0.4943	2.7874	0.0323	2.4921	0.7397	1.4785
Umman	0.4794	2.7880	0.0322	2.4527	0.7364	1.4611
Portekiz	0.4830	2.7781	0.0321	2.4581	0.7350	1.4621
Yunanistan	0.4707	2.6293	0.0305	2.3625	0.6987	1.3999
Kolombiya	0.4618	2.3636	0.0278	2.2264	0.6368	1.3040
Kuveyt	0.4566	2.4102	0.0282	2.2324	0.6462	1.3129

Birinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2021 dönemi için Tablo 12'te yer almaktadır.

Tablo 12. Birinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2021

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Çin	0.5668	2.8120	0.0631	4.5346	0.8681	2.4506
Japonya	0.5744	3.2973	0.0723	4.8207	0.9947	2.6652
ABD	0.1818	1.9840	0.0405	2.0000	0.5564	1.2214
Güney Kore	0.5950	3.2723	0.0722	4.9214	0.9936	2.7027
Almanya	0.5570	3.1761	0.0697	4.6644	0.9591	2.5760
İtalya	0.5811	3.1248	0.0692	4.7711	0.9521	2.6109
Fransa	0.5453	2.9755	0.0658	4.4987	0.9046	2.4675
Kanada	0.5204	2.8799	0.0635	4.3134	0.8736	2.3711
Avusturya	0.5537	2.8577	0.0637	4.4857	0.8765	2.4391
İngiltere	0.4917	2.7199	0.0600	4.0751	0.8251	2.2399
Belçika	0.5755	2.9455	0.0658	4.6498	0.9046	2.5250
Hollanda	0.5613	2.8970	0.0646	4.5471	0.8885	2.4725
Avustralya	0.5114	2.1800	0.0503	3.9112	0.6915	2.0652
Çekya	0.5383	2.6889	0.0603	4.3159	0.8291	2.3349
İsveç	0.5497	2.7244	0.0612	4.3961	0.8412	2.3754
Finlandiya	0.5451	2.5457	0.0577	4.2811	0.7941	2.2921

İkinci grupta yer alan ülkelerin CoCoSo sonuçlarından elde edilen bulgular 2021 dönemi için Tablo 13'te yer almaktadır.

Tablo 13. İkinci grup ülkelerinin CoCoSo bulguları, 2021

Ülkeler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i
Hindistan	0.5784	2.7980	0.0330	2.8523	0.7568	1.6287
Rusya	0.4675	2.4549	0.0286	2.3956	0.6551	1.3818
Türkiye	0.7693	3.6921	0.0436	3.7801	1.0000	2.1564
Brezilya	0.5856	3.4497	0.0395	3.1752	0.9045	1.8571
İran	0.4526	3.1932	0.0357	2.6993	0.8172	1.6125
Vietnam	0.5976	3.4051	0.0392	3.1863	0.8972	1.8562
Ukrayna	0.5596	3.3547	0.0383	3.0612	0.8774	1.7942
Meksika	0.4533	3.1185	0.0349	2.6665	0.8006	1.5883
Endonezya	0.6095	3.3960	0.0392	3.2140	0.8978	1.8672
İspanya	0.5468	3.2828	0.0375	2.9934	0.8584	1.7547
Mısır	0.4546	2.9130	0.0329	2.5743	0.7548	1.5207
Suudi Arabistan	0.3733	2.7897	0.0309	2.2990	0.7090	1.3824
Polonya	0.4665	3.0784	0.0347	2.6830	0.7946	1.5905
Malezya	0.4977	3.1112	0.0353	2.7821	0.8089	1.6387
Bangladeş	0.4527	2.4235	0.0281	2.3413	0.6447	1.3536
Tayland	0.4395	2.8519	0.0322	2.5054	0.7378	1.4822
Pakistan	0.4332	2.5602	0.0293	2.3526	0.6710	1.3765
Güney Afrika	0.4533	2.9769	0.0336	2.6005	0.7689	1.5407
Slovakya	0.5139	3.0283	0.0347	2.7869	0.7940	1.6300
Kazakistan	0.4652	2.9413	0.0333	2.6158	0.7635	1.5428
Cezayir	0.4438	2.6878	0.0306	2.4404	0.7019	1.4320
Romanya	0.4822	2.9054	0.0331	2.6446	0.7593	1.5509
BAE	0.4610	2.8734	0.0326	2.5731	0.7474	1.5150
Belarus	0.4607	2.7197	0.0311	2.5006	0.7129	1.4629
Lüksemburg	0.4828	2.7601	0.0317	2.5787	0.7269	1.5028
Umman	0.4686	2.7725	0.0317	2.5463	0.7265	1.4900
Portekiz	0.4744	2.7365	0.0314	2.5452	0.7197	1.4849
Yunanistan	0.4571	2.5663	0.0296	2.4195	0.6777	1.4069
Kolombiya	0.4487	2.4336	0.0282	2.3351	0.6461	1.3522
Kuveyt	0.4430	2.1476	0.0253	2.1868	0.5807	1.2490

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Çalışma içerisinde yer alan 46 ülke öncelikli olarak analizlerin de başlangıç dönemi olan 2018 yılı verileriyle GSYİH oranı olarak Ar-Ge harcamaları ortalamalarına göre sınıflandırılmıştır. Araştırma tasarımı demir çelik endüstrisinde başlıca çelik üreten 50 ülke olarak tasarlanmış ancak değişkenler üzerinde tam veri setine ulaşılamayan 4 ülke araştırmanın kısıtlarını oluşturmuştur. Bu nedenle Tayvan, Arantin, Sırbistan ve Şili araştırma kapsamına dahil edilememiştir. Çalışmada Ar-Ge harcamalarına göre yapılan

sınıflandırmada ortalamanın üstünde olan ülkeler birinci grup ülkeler başlığı altında GSYİH oranı olarak yüksek Ar-Ge harcamalarına sahip ülkeler; ikinci grup ülkeler başlığı altında ise GSYİH oranı olarak düşük Ar-Ge harcamalarına sahip ülkeler olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda birinci grupta yer alan ülkelerin sanayileşme süreçlerini tamamlamış, insani ve iktisadi gelişmişlik ile yüksek teknoloji seviyesinde olan ülkeler olduğu dikkat çekmektedir.

Çalışmada kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak CRITIC yönteminden faydalanılmıştır. Birinci grupta yer alan ülkelerin fosil yakıt tüketimi kriterinin en yüksek ağırlık skoruna sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En düşük skorlar incelemeye alındığında ise 2018-2020 dönemleri için kümülatif karbondioksit emisyonları, 2021 yılı için demir çelik ihracatına ait olduğu bulgusu elde edilmiştir. Gelişmişlik seviyesi yüksek ülkelerde fosil yakıt tüketiminin önem ağırlığının yüksek çıkması hem literatür hem de beklentiler açısından uygun olarak değerlendirilmektedir.

İkinci grupta yer alan ülkelerde ise 2018-2020 dönemi için ham çelik üretiminin, 2021 yılı için ise demir çelik ihracatının en yüksek ağırlık skoruna ulaştığı tespit edilmiştir. En düşük değerler dikkate alındığında ise tüm yıllar için kümülatif karbondioksit emisyonlarının düşük ağırlık skoruna sahip olduğu görülmektedir. 2021 yılında yüksek ağırlık skorunun ham çelik üretiminden demir çelik ihracatına geçmesi ise pandemi sonrası dış ticarete yaşanan hareketlilik ve dünya çelik üretiminin ilgili yılda yaklaşık 70 milyon ton üretim artışı ile açıklanabilmektedir. Bu durumda GSYİH oranı olarak düşük Ar-Ge harcamalarına sahip ülkelerin demir çelik üretim ve ihracatına, sektörün çevresel etkilerinden daha fazla önem verdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

CoCoSo yönteminden elde edilen sonuçlara göre 2018-2021 dönemi için birinci grupta yer alan ülkeler içerisinde en iyi performansın Güney Kore'ye ait olduğu ve Japonya, Almanya ve İtalya'nın diğer en iyi performansa sahip ülkeler olduğu görülmektedir. En kötü performansa sahip ABD'yi ise Avustralya ve İngiltere takip etmektedir. En iyi performansa sahip ülkelerin Ar-Ge, yüksek teknoloji ürünü, çevre koruma gibi konularda öncü ülkeler arasında yer almasının elde edilen bulgular ile uyumlu olduğu görülmektedir. İngiltere ve Avustralya'da çelik üretiminin büyük bir yüzdesinin BOF'lu tesislerde gerçekleşmesi ile ABD'nin de çelik üretim ve ihracat politikalarında özellikle ABD Çin Ticaret Savaşları ekseninde agresif tavırlarının sonuçlar üzerinde belirleyici olduğu değerlendirilmektedir.

2018-2021 dönemi için ikinci grupta yer alan ülkeler içerisinde en iyi performansın Türkiye'ye ait olduğu ve Brezilya ve Ukrayna'nın diğer en iyi performansa sahip ülkeler olduğu görülmektedir. En kötü performansa sahip Rusya'yı ise Kuveyt, Bangladeş ve Kolombiya takip etmektedir. İkinci grup ülkeler içerisinde Endonezya'nın 2018 yılında 11'inci, 2019 yılında 6'ıncı, 2020 yılında 5'inci ve 2021 yılında ikinci sıraya yükselmesi dikkat çekicidir. Dünyanın ikinci büyük çelik üreticisi konumunda bulunan Hindistan'ın ise performans sıralamasında iklim krizi tedbirlerine beklenen ölçüde cevap veremediği değerlendirilmektedir. Türkiye'nin uygulamaya aldığı karbon emisyonu hedefleri ve iklim krizi tedbirleri ile ülkede BOF'lu tesis sayısının az olmasının sonuçların verimliliğiyle uyumlu olduğu değerlendirilmektedir.

Çevresel kalitenin bozulmasında görülen artış, üretimi önceleyen ekonomi politikalarının gündemdeki ağırlıklarını kaybetmelerine yol açmıştır. Bununla birlikte sürdürülebilir iktisadî büyüme stratejileri de önem kazanmıştır (Erdoğan ve diğerleri, 2019). Aynı zamanda elde edilen sıralama sonuçların ülkelerin çevresel regülasyon algılarıyla da uyumlu olduğu görülmektedir. Az gelişmiş ülkelerin çevresel yasa ve düzenlemeleri kendi ekonomik gelişmeleri için bir tehdit olarak algılamaları bu duruma örnek olarak verilebilmektedir (Kotler ve diğerleri, 1997: 31). Çalışmada CoCoSo yönteminden elde edilen sonuçlar 2018-2021 döneminde en iyi performansın Güney Kore'ye ait olduğunu göstermektedir. Özellikle 1980 sonrası dönemde olağanüstü ekonomik gelişmesiyle dikkat çeken ülke, teknolojik kabiliyetiyle ve Ar-Ge faaliyetlerindeki sürekliliğiyle diğer ülkeler için örnek teşkil etmektedir (Tunçsiper ve Fırat, 2016). Çalışma bulgularında Endonezya'ya ait performans değerlerinin gelişimi dikkat çekici olarak değerlendirilmektedir. Bu durum ülkenin gemi geri dönüşüm endüstrisinde öne çıkmasıyla açıklanmaktadır. Gemi geri dönüşümünden elde edilen çelik ikincil kaynak olarak çelik üretiminde değerlendirilmektedir. Endonezya'da gemi geri dönüşümü, ömrünü tamamlamış gemilerin ve ekonomik olmayan ulusal bayraklı gemilerin sayısındaki artış nedeniyle dikkat çekmekte ve olası bir ekonomik kalkınma ve istihdam fırsatı kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Sunaryo ve diğerleri, 2021). Bununla birlikte ülkenin bu gelişimi sürdürebilmesinin küresel iklim krizi tedbirlerine uyum göstermesi ile gerçekleşebileceği değerlendirilmektedir.

Ülkeler ve vatandaşlarının geleceğini belirlemede ekolojik sorunlar ilk sırada yer almaya başlamıştır. Bu durumda ekonomik zenginliği ve sanayi gelişmişliğini temsil eden ülkelerin hızlı büyümenin çevresel etkileri konusunda daha fazla kaygı duyduğu görülmektedir. Bu ülkelerin ekonomik zenginliği veya sanayi gelişmişliği bulunmayan ülkelere kıyasla daha fazla çevre koruma yasaları çıkardıkları bilinmektedir. Endüstri açısından az gelişmiş ve ekonomik zenginliği beklenen seviyede elde edememiş ülkelerde ise öncelikli olarak yer alan yaşam standardını yükseltme çabası ve daha fazla ihracat yapabilme beklentisi

ekolojik kirlenme ve büyümenin diğer olumsuz etkilerine daha az ilgi duyulmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda küresel iklim krizi tedbirlerine uyum süreci demir çelik sektörü özelinde değerlendirildiğinde karbon emisyonlarının ticaret çeşitlendirmesi üzerine etkisi, çelik üretim proseslerinin ülkeler veya firmalar düzeyinde verimlilikleri ve birincil çelik üretiminde karbon yakalama veya yapay kok kullanımı gibi yeni teknolojik gelişmelere ilişkin konuların gelecek çalışmalara vizyon oluşturabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca literatürdeki değişim eğilimleri dikkate alındığında demirli atık ve çelik hurdalarına ilişkin son kullanım, ürün ömürleri, stok doygunluk oranları ile metal geri dönüşümünde ekonomik maliyet, sosyal davranış, tasarım ve teknoloji konularında temel bilgi açığının devam ettiği değerlendirilmektedir.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Ümit Remzi Ergün: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak. Elif Bulut: Literatür Taraması, Metodoloji, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak inceleme ve düzenleme.

Ümit Remzi Ergün: Literature Review, Methodology, Data Curation, Analysis, Writing-original draft. Elif Bulut: Literature Review, Methodology, Analysis, Writing-original draft-review and editing.

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No potential conflict of interest was declared by the authors.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazarlar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.

It was declared by the authors that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.

Etik Beyanı / Ethical Statement

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.

It was declared by the authors that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Abacıoğlu, S. (2023). "İmalat Sektöründe Yer Alan Firmaların Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Acar, E. (2022). "Comparison of the Performances of OECD Countries in the Perspective of Socio-Economic Global Indices: CRITIC-Based Cocoso Method", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 73, 256-277. DOI: 10.51290/dpusbe.1122650
- Akgül, Y. (2021). "Borsa İstanbul'da İşlem Gören Ticari Bankaların Finansal Performansının Bütünleşik CRITIC CoCoSo Modeliyle Analizi", *Ekonomi ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 71-90.
- Akram, M., Ramzan, N. ve Deveci, M. (2023). "Linguistic Pythagorean Fuzzy CRITIC-EDAS Method for Multiple-Attribute Group Decision Analysis", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 119, 105777. DOI: 10.1016/j.engappai.2022.105777
- Ankara Ticaret Borsası. (2008). "Kyoto Protokolü", Ankara, Ticaret Borsası Raporları.
- Arens, M., Worrell, E., Eichhammer, W., Hasanbeigi, A. ve Zhang, Q. (2017). "Pathways to A Low-Carbon Iron and Steel Industry in the Medium-Term The Case of Germany", *Journal of Cleaner Production*, 163(1), 84-98. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.097
- Avinal, A., Tosun, C., Dağlı, S., Duhbaci, T.B. ve Şık, E. (2019). "Ana Demir ve Çelik Ürünleri ile Ferro Alaşımların İmalatı Kaynak Verimliliği Rehberi", T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara.
- Avunduk, Z.B. ve İçen, H. (2023). "Eko-İnovasyon Performansının Ekonomik Büyümeye Etkisi: Avrupa Birliği Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi," *Verimlilik Dergisi*, 57(4), 657-670. DOI: 10.51551/verimlilik.1357187
- Ayan, B. ve Abacıoğlu, S. (2022). "Bibliometric Analysis of the MCDM Methods in the Last Decade: WASPAS, MABAC, EDAS, CODAS, COCOSO, and MARCOS", *International Journal of Business & Economic Studies*, 4(2), 65-85. DOI: 10.54821/uiecd.1183443
- Ayçin, E. (2020). "Çok Kriterli Karar Verme: Bilgisayar Uygulamalı Çözümler", Nobel Yayınları, Ankara.
- Binboğa, G. ve Özdil, T. (2021). "Sürdürülebilirliğin İşletme Performansına Etkisinin Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle İncelenmesi", *International Review of Economics and Management*, 9(2), 182-199. DOI: 10.18825/iremjournal.1003203
- Boudalia, M., Laourayed, M., El Moudane, M., Sekkat, Z., Campos, O.S., Bellaouchou, A., Guenbour, A., Anton, J.S. ve Amin, H.M. (2023). "Phosphate Glass Doped With Niobium and Bismuth Oxides as an Eco-Friendly Corrosion Protection Matrix of Iron Steel in HCl Medium: Experimental and Theoretical Insights," *Journal of Alloys and Compounds*, 938, 168570. DOI: 10.3390/ma16020678
- Börü, M.K. ve Çelik, D. (2019). "Türkiye'de Ar-Ge Harcamaları İnovasyon ve Ekonomik Büyüme İlişkisi", *R&S - Research Studies Anatolia Journal*, 2(5), 196-206. DOI: 10.33723/rs.537587
- BP. (2018). "BP Statistical Review of World Energy Report", BP Corp. Pub.
- Cipolla, C.M. (1980). "Dünya Nüfusunun İktisat Tarihi", (Çev. Mehmet Sırrı Gezgin), Ötüken Yayınları, İstanbul.
- Dağdemir, Ö. (2015). "Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Ekonomik Büyüme: İklim Değişikliği Politikasının Türkiye İmalat Sanayii Üzerindeki Olası Etkileri", *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 60(2), 49-70.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. ve Papayannakis, L. (1995). "Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method", *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770. DOI: 10.1016/0305-0548(94)00059-H
- Dwivedi, R., Prasad, K., Jha, P.K. and Singh, S. (2021). "An Integrated CRITIC-MARCOS Technique for Analysing the Performance of Steel Industry", *Data-Driven Optimization of Manufacturing Processes IGI Global*. 115-127.
- Ecer, K., Güner, O. ve Çetin, M. (2021). "Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye Ekonomisinin Uyum Politikaları," *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 9(2), 125-144.
- Energy Institute. (2023). <https://www.energyinst.org/>, (Erişim Tarihi: 02.11.2023)
- Erdoğan, S., Yıldırım, S., Yıldırım, D.Ç., ve Gedikli, A. (2019). "G20 Ülkelerinde İnnovasyon ve CO₂ Emisyonu", *International Congress of Energy Economy and Security*, 193.
- Ergün, Ü.R. ve Ener, M. (2022). "Demir Çelik Sektöründe Uluslararası İş Bölümü: Türkiye Örneği", *Journal of International Applied Economics and Administration Research*, 3(2), 61-71.
- Fresner J., Dobes, V., Bürki, T., Angerbauer, C. ve Tiefenbrunner, K. (2020). "PRE-SME Promoting Resource Efficiency in Small & Medium Sized Enterprises Industrial Training Handbook", United Nations Environment Programme, Paris.
- Gargari, L. S., Joda, F. ve Ameri, M. (2024). "A Techno-Economic Assessment for the Water Energy Carbon Nexus Based on the Development of A Mathematical Model: In the Iron and Steel Industry", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 63, 103653. DOI: 10.1016/j.seta.2024.103653

- Global Carbon Budget. (2023). <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/> (Erişim Tarihi: 10.11.2023).
- Global Forum on Steel Excess Capacity (2022). "New Analytical Work: Impacts of Global Excess Capacity on the Health of GFSEC Steel Industries", <https://www.steelforum.org/> (Erişim Tarihi: 10.04.2024).
- Gronoos, C. ve Ojasalo, K. (2004). "Service Productivity: Towards a Conceptualization of the Transformation of Inputs Into Economic Results in Services", *Journal of Business Research*, 57(4), 414-423.
- Hebeda, O., Guimarães, B.S., Cretton-Souza, G., La Rovere, E.L. ve Pereira, A.O. (2023). "Pathways for Deep Decarbonization of the Brazilian Iron and Steel Industry", *Journal of Cleaner Production*, 401, 136675. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136675
- Huang, D., Dinga, C.D., Tao, Y., Wen, Z., Wang, Y. ve Razmadze, D. (2023). "Quantitative Analysis of Net-Zero Transition Pathways and Synergies in China's Iron and Steel Industry", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 113495. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113495
- Inayat, A. (2023). "Current Progress of Process Integration for Waste Heat Recovery in Steel and Iron Industries", *Fuel*, 338, 127237. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.127237
- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). <https://iklim.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 16.11.2023).
- İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (2002). <https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33> (Erişim Tarihi: 16.11.2023).
- Kasap, S.S., Şahin, Y. ve Çınar, T. (2020). "Bulanık Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Demir Çelik Endüstrisinde En Uygun Yatırım Seçeneğinin Belirlenmesi", *Endüstri Mühendisliği*, 31(0), 59-71.
- Khan, S. ve Haleem, A. (2021). "Investigation of Circular Economy Practices in the Context of Emerging Economies: a CoCoSo Approach", *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(3), 357-367. DOI: 10.1080/19397038.2020.1871442
- Kim, J., Sovacool, B. K., Bazilian, M., Griffiths, S., Lee, J., Yang, M. ve Lee, J. (2022). "Decarbonizing the Iron and Steel Industry: A Systematic Review of Sociotechnical Systems, Technological Innovations and Policy Options", *Energy Research & Social Science*, 89, 102565. DOI: 10.1016/j.erss.2022.102565
- Koç, B.E. ve Kaynak, S. (2023). "Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizmasının Türkiye - AB-27 Dış Ticaret İlişkisi Üzerine Olası Etkisi", *Verimlilik Dergisi*, 57(2), 273-288. DOI: 10.51551/verimlilik.1166045
- Kotler, P., Jatusripitak, S. ve Maesincee, S. (1997). "Ulusların Pazarlanması", (Çev. Ahmet Buğdaycı), Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul.
- Lee, K-H., Min, B. ve Yook, K-H. (2015). "The Impacts of Carbon (CO₂) Emissions and Environmental Research and Development (R&D) Investment on Firm Performance", *International Journal of Production Economics*, 167, 1-11. DOI: 10.1016/j.ijpe.2015.05.018
- Lei, T., Wang, D., Yu, X., Ma, S., Zhao, W., Cui, C., Meng, J., Tao, S. ve Guan, D. (2023). "Global Iron and Steel Plant CO₂ Emissions and Carbon-Neutrality Pathways", *Nature*, 1-7.
- Li, Y. ve Liu, C. (2010) "Malmquist Indices of Total Factor Productivity Changes in the Australian Construction Industry", *Construction Management and Economics*, 28(9), 933-945. DOI: 10.1080/01446191003762231
- Lu, M., Wang, X. ve Cang, Y. (2018). "Carbon Productivity: Findings from Industry Case Studies in Beijing", *Energies*, 11(10), 2796. DOI: 10.3390/en11102796
- Ma, S.H., Wen, Z.G., Chen, J.N. ve Wen, Z.C. (2014). "Mode of Circular Economy in China's Iron and Steel Industry: A Case Study in Wu'an City", *Journal of Cleaner Production*, 64, 505-512.
- Michaelis, P. ve Jackson, T. (2000). "Material and Energy Flow Through the UK Iron and Steel Sector. Part 1: 1954-1994", *Resources, Conservation and Recycling*, 29(1-2), 131-156. DOI: 10.1016/S0921-3449(00)00048-3
- Monajemzadeh, N., Karbassi Yazdi, A., Hanne, T., Shirbabadi, S. ve Khosravi, Z. (2022). "Identifying and Prioritizing Export-Related CSFs of Steel Products Using Hybrid Multi-Criteria Methods", *Cogent Engineering*, 9(1), 1-40. DOI: 10.1080/23311916.2022.2077162
- Morfeldt, J., Nijs, W. ve Silveria, S. (2015). "The Impact of Climate Targets on Future Steel Production - An Analysis Based on a Global Energy System Model", *Journal of Cleaner Production*, 103, 469-482. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.04.045
- OECD (2022). "Assessing Steel Decarbonisation Progress in the Context of Excess Capacity", OECD Facilitator, Fransa.
- Özcan, A. ve Ömürbek, N. (2020). "Bir Demir Çelik İşletmesinin Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi", *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, 8, 77-98. DOI: 10.21733/ibad.714295
- Özcan, B.A. (2020). "Ortak Mülkiyet Çerçevesinde İklim Değişikliği Sorununun Çözümünde Kyoto Protokolü'nün Etkisi", *Akdeniz İİBF Dergisi*, 20(2), 169-184. DOI: 10.25294/auibfd.827487

- Ruth, M., Davidsdottir, B. ve Amato, A. (2004). "Climate Change Policies and Capital Vintage Effects: The Cases of US Pulp and Paper, Iron and Steel and Ethylene", *Journal of Environmental Management*, 70(3), 235-252. DOI: 10.1016/j.jenvman.2003.11.008
- Sakamoto, T. ve Managi, S. (2016). "New Evidence of Environmental Efficiency on the Export Performance", *Applied Energy*, 185(P1), 615-626. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.10.126
- Shatokha, V. (2016). "Environmental Sustainability of the Iron and Steel Industry: Towards Reaching the Climate Goals", *European Journal of Sustainable Development*, 5(4), 289-300. DOI: 10.14207/ejsd.2016.v5n4p289
- Sindhvani, R., Singh, P.L., Behl, A., Afridi, M.S., Sammanit, D. ve Tiwari, A.K. (2022). "Modeling the Critical Success Factors of Implementing Net Zero Emission (NZE) and Promoting Resilience and Social Value Creation", *Technological Forecasting and Social Change*, 181, 121759. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121759
- Singh, P., Pradhan, V.S. ve Patil, Y.B. (2024). "Modeling Drivers and Barriers of Climate Change Mitigation Strategies in Indian Iron and Steel Industry: A TISM-Based Approach", *Management of Environmental Quality*, 35(1), 38-60. DOI: 10.1108/MEQ-04-2023-0097
- Smol, M., Marcinek, P., Duda, J. ve Szoldrowska, D. (2020). "Importance of Sustainable Mineral Resource Management in Implementing the Circular Economy (CE) Model and The European Green Deal Strategy", *Resources*, 9(5), 1-21. DOI: 10.3390/resources9050055
- Sunaryo, S., Djatmiko, E., Fariya, S., Kurt, R. ve Gunbeyaz, S. (2021). "A Gap Analysis of Ship-Recycling Practices in Indonesia", *Recycling*, 6(3), 1-18. DOI: 10.3390/recycling6030048
- T.C. Dış İşleri Bakanlığı. (2023). "Kyoto Protokolü" <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa> (Erişim Tarihi: 16.11.2023).
- Tanaka, K. (2008). "Assessment of Energy Efficiency Performance Measures in Industry and Their Application for Policy", *Energy Policy*, 36(8), 2887-2902.
- Taner, A.C. (2012). "Karbon Yakalama ve Depolama (CCS) Teknolojisi Kapsamında Son Yapılan Küresel Bilimsel Araştırma ve Geliştirme (ARGE) Faaliyetleri", *Fizik Mühendisleri Odası Yayınları*, 1-6.
- Tunçsiper, B. ve Fırat, E. (2016). "Kalkınmada Ar&Ge ve İnovasyonun Önemi; Güney Kore Örneği", *Teknoloji ve Rekabet*, 3E, 847-855.
- Vernon, R. (1966). "International Investment and International Trade in the Product Cycle", *Quarterly Journal of Economics*, 80, 190-207. DOI: 10.2307/1880689
- Wang, N., Chen, X., Wu, G., Chang, Y.C. ve Yao, S. (2018). "A Short-Term Based Analysis on the Critical Low Carbon Technologies for the Main Energy Intensive Industries in China", *Journal of Cleaner Production*, 171, 98-106. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.261
- World Steel Association. (2023). <https://worldsteel.org/> (Erişim Tarihi: 15.11.2023).
- World Trade Organization. (2023). <https://www.wto.org/> (Erişim Tarihi: 15.11.2023).
- Xylia, M., Silveira, S., Duerinck, J. ve Meinke-Hubeny, F. (2018). "Weighing Regional Scrap Availability in Global Pathways for Steel Production Processes", *Energy Efficiency*, 11, 1135-1159. DOI: 10.1007/s12053-017-9583-7
- Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E. ve Turskis, Z. (2019). "A Combined Compromise Solution (CoCoSo) Method for Multi-Criteria Decision-Making Problems", *Management Decision*, 57(9), 2501-2519. DOI: 10.1108/MD-05-2017-0458
- Yıldırım, E.C. (2023). "G-20 Ülkelerinin Ekonomik İnovasyon Performanslarının CRITIC Temelli WASPAS ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılmalı Analizi." Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aksaray.
- Zeng, S., Lan, Y. ve Huang, J. (2009). "Mitigation Paths for Chinese Iron and Steel Industry to Tackle Global Climate Change", *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3(6), 675-682. DOI: 10.1016/j.ijggc.2009.06.001
- Zhang, X., Jiao, K., Zhang, J. ve Guo, Z. (2021). "A Review on Low Carbon Emissions Projects of Steel Industry in the World." *Journal of Cleaner Production*, 306, 127259. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127259