

## Üretim Yöntemlerine Göre Demir Çelik Endüstrisinin Hammadde Bağımlılığı: Türkiye Üzerine Bir Araştırma

Ümit Remzi ERGÜN <sup>1</sup>, Seda ABACIOĞLU YEŞİLTEPE <sup>2</sup>, Elif BULUT <sup>3</sup>

### Özet

Küreselleşme, artan talep ve çelik üretim teknolojilerinin gelişiminin bir sonucu olarak azalan demir cevheri kaynakları ve hurda malzeme bulunabilirliğinin sınırlı olması sektörün hammadde temininde dış ticaret, üretim ve maliyet kriterlerini öne çıkarmaktadır. Türkiye'nin demir çelik endüstrisinde hammadde bağımlılığını ve dış ticaret verimliliğini ortaya çıkarmak çalışmanın ana amacı olarak ifade edilmektedir. Bu amaç doğrultusunda Türkiye'nin en iyi performans gösterdiği ülkelerin ve yılların belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda çalışmada 2008 finansal krizinin etkilerini değerlendirebilmek adına 2008-2022 dönemi incelemeye alınmıştır. Çalışmada çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanılmıştır. Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde "CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation" (CRITIC) ve alternatiflerin sıralanmasında ise "Compherensive Distance Based Ranking" (COBRA) yöntemi tercih edilmiştir. Türkiye demir çelik endüstrisinin demir cevherinden üretim yöntemine göre en iyi performans gösterdiği yılların sırasıyla 2021, 2008 ve 2022; hurda malzemeden üretim yöntemine göre ise 2021, 2019 ve 2008 olduğu bulgusu elde edilmiştir. 2009 ve 2015 yıllarının her iki üretim yönteminde de en düşük performansa sahip oldukları görülmüştür. Ülkeler özelinde gerçekleştirilen uygulamada İtalya'nın en yüksek Rusya'nın ise en düşük performans değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma, demir çelik endüstrisinde hammadde bağımlılığı konusunu üretim yöntemlerine göre sınıflandırması, ihracat ile ilişkilendirerek ticaret verimliliğini dikkate alması ve Türkiye özelinde hem yılları hem de ülkeleri incelemesi bakımından literatürdeki diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Demir Çelik, Hammadde Bağımlılığı, Dış Ticaret Verimliliği, CRITIC, COBRA

**Jel Kodu:** C4, D24, F14

## Raw Material Dependency in the Iron and Steel Industry According to Production Methods: A Research on Türkiye

### Abstract

Globalization, coupled with advancements in steel production technologies and increased demand, has intensified the focus on external trade, production, and cost criteria in raw material procurement due to dwindling iron ore resources and limited availability of scrap materials. This study aims to reveal Türkiye's raw material dependency and foreign trade efficiency in the iron and steel industry. Specifically, it seeks to identify both the best-performing countries and years for Türkiye. To evaluate the impact of the 2008 financial crisis, the study examines the period from 2008 to 2022. The research employs multi-criteria decision-making methods, utilizing the CRITIC method for determining criterion weights and the COBRA method for alternative ranking. Results indicate that Türkiye performed best in years 2021, 2008, and 2022 using iron ore-based production methods, and in years 2021, 2019, and 2008 using scrap material-based methods. Conversely, 2009 and 2015 were the years with the lowest performance across both production methods. Country-specific analysis reveals Italy with the highest performance and Russia with the lowest. This study contributes uniquely to the literature by categorizing raw material dependency in the iron and steel industry by production methods, considering trade efficiency through exports, and examining specific years and countries pertinent to Türkiye.

**Keywords:** Iron and Steel, Raw Material Dependency, Trade Efficiency, CRITIC, COBRA

**Jel Codes:** C4, D24, F14

**ATIF ÖNERİSİ (APA):** Ergün, Ü. R., Abacıoğlu Yeşiltepe, S., Bulut, E. (2025). Üretim yöntemlerine göre demir çelik endüstrisinin hammadde bağımlılığı: Türkiye üzerine bir araştırma. *İzmir İktisat Dergisi*. 40(2). 434-473. Doi: 10.24988/ije.1520060

<sup>1</sup> MSc., Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yönetim Bilimleri Ana Bilim Dalı, Çanakkale, Türkiye  
**EMAIL:** umit.r.ergun@gmail.com **ORCID:** 0000-0002-8967-1892

<sup>2</sup> Arş. Gör. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Samsun, Türkiye **EMAIL:** seda.abacioglu@omu.edu.tr **ORCID:** 0000-0002-3150-2770

<sup>3</sup> Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İktisadî ve İdarî Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Samsun, Türkiye **EMAIL:** elif@omu.edu.tr **ORCID:** 0000-0001-8278-1821

## 1. GİRİŞ

Günümüzde endüstrilerin kârlılık ve üretim göstergeleri çevresel regülasyonlar nedeniyle kaynak verimliliğini dikkate alarak dönüşüme uğramaktadır. Bu dönüşüm ile gündeme gelen hammadde bağımlılığının ülkelerin refah ve endüstrilerin verimlilik seviyelerini etkilediği değerlendirilmektedir. Literatürde hammadde bağımlılığının ülkeler veya kurumlar ile çevre ilişkilerini anlamak adına öncelikli bir çerçeve sunduğu ifade edilmektedir (Alkhuzaim, Kouhizadeh ve Sarkis, 2022; Drees ve Heugens, 2013). Rekabetin ve küreselleşmenin ağırlık kazandığı uluslararası endüstrilerde daha rekabetçi faaliyetleri gerçekleştirebilmek adına etkin kaynak temini bir zorunluluk haline dönüşmektedir (Tehseen ve Sajilan, 2016). Bu bağlamda hammadde bağımlılığı, arz kesintileri, haksız rekabet uygulamaları ve fiyat dalgalanmaları gibi dışsal faktörler bir ülkenin ekonomik güvenliği açısından önem arz etmektedir. Biermann ve Harsch (2016), günümüzde kaynak bağımlılığının canlanma, iyileştirme ve deneysel uygulama aşaması yaşadığını ifade etmişlerdir. Demir çelik endüstrisinde üretimin temelde ana girdi olarak demir cevheri kullanan ve ana girdi olarak hurda malzeme kullanan yöntemler olarak sınıflandırılması hem doğal kaynakların hem de hurdanın ticarî açıdan etkin yönetimini gerektirmektedir. Kritik bir hammadde olarak demir cevheri, ülke ekonomilerinin gelişmesinde önemli bir rol oynamakta ve demir cevheri ithalatçıları arasında yoğun rekabet yaşanmasına sebep olmaktadır. Yeterince demir cevheri kaynağına sahip olmayan ülkelerin kaynakların arz güvenliğini sağlamak adına yurt dışında bulunan kaynaklar için de rekabet ettikleri görülmektedir (Hao, An, Sun ve Zhong, 2018). Emisyonuz elektrik ile desteklenen hurda çeliğin geri dönüşümü daha düşük maliyetle ve düşük emisyonla çelik üretebilmektedir. Bu yöntemin fizibilitesi gelecekteki hurda bulunabilirliğine bağımlıdır (Watari, Hata, Nakajima ve Nansai, 2023). Bu durumun demir çelik endüstrisinde hem her iki üretim yöntemini kullanan hem de üretimde hammadde bağımlılığına sahip Türkiye için önem arz ettiği değerlendirilmektedir. Bu çalışmada Türkiye özelinde demir çelik endüstrisinin hammadde bağımlılığı incelemeye alınmaktadır. Bu nedenle bu araştırma öncelikli olarak Türkiye'nin 2008-2022 döneminde demir cevherinden ve hurda malzemedan üretim yöntemlerine göre hammadde kullanımında en verimli olduğu yılları ortaya çıkarmayı ve sonrasında da yine üretim yöntemlerine göre en verimli olduğu yıllarda hammadde bağımlılığı konusunda en başarılı ticaret performansı gösterdiği ülkeleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Türkiye'nin demir çelik üretim yapısı cevherden üretim yapan bazık oksijen fırınlı (BOF), hurdadan üretim yapan elektrik ark ocaklı (EAF) ve indüksiyon fırınlı (IF) tesislerden oluşmaktadır. Türkiye'de demir çelik üretiminin yaklaşık %75'lik kısmı ana girdi olarak hurda malzeme kullanan tesislerde ve yaklaşık %25'lik kısmı ise ana girdi olarak demir cevheri kullanan tesislerde gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda çalışmanın motivasyon kaynakları şu şekilde sayılmaktadır: (1) Türkiye'de demir çelik sektörünün hammadde olarak kullandığı cevherin yaklaşık %60'ı, koklaşabilir taş kömürünün yaklaşık %90'ı ve hurda malzemenin yaklaşık %70'i ithal edilmektedir (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022: 29). Bu durum sektörün dış ticaret açığı vermesinin nedenleri arasında sayılmaktadır. (2) Avrupa Çelik Birliği (EUROFER)'nin hurda ihracatını engellemek için hurda malzemenin kritik hammaddeler listesine alınmasını talep etmesi ticaret ilişkilerinin sektöre uğrayacağı yönündeki kaygıların artmasına ve sektörün mevcut dış ticaret olumsuzluklarının daha da derinleşmesine neden olmaktadır. (3) Paulik, Milford, Müller ve Allwood (2013), yirmi birinci yüzyılın sonunu çelik hurda çağı olarak ifade etmektedir. Dünya sathında azalan demir cevheri rezervleri ve demir çelik ürünlerine artan talep cevher, hurda ve kömür açısından net ithalatçı konumunda bulunan Türkiye gibi ülkeleri olumsuz etkilemektedir. Çevresel regülasyonlarla birlikte tedarik baskısının önümüzdeki dönemde daha da artacağı öngörülmektedir. Motivasyon kaynakları dikkate alınarak çalışmanın araştırma taslağı oluşturulmuştur. Çalışma, ayrıca demir çelik endüstrisinde üretim yöntemlerine göre en iyi performans sergilenen yıllarda Türkiye'nin en iyi performansla sahip ticaret ortaklarını belirlemesi ve bu konuda yöntem olarak çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinden faydalanması nedeniyle literatürdeki diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın organizasyon yapısı şu

şekilde oluşturulmuştur; kavramsal çerçeve bölümünde demir çelik endüstrisi, endüstrinin üretim yöntemleri, girdileri ve Türkiye'deki durumu aktarılmıştır. Literatür araştırması demir çelik endüstrisini, hammadde ticaretini ve bu konularda ÇKKV yöntemlerinden faydalanan çalışmaları incelemeye alarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemlerin notasyon gösterimlerinin ardından elde edilen bulgular tartışılmıştır. Sonuç ve öneriler başlığı altında ise Türkiye özelinde demir çelik endüstrisinin hammadde bağımlılığına dair yıllar ve ülkeler üzerinde genel bir değerlendirme yapılarak bu konuda politika önerileri sunulmuştur. Yakın gelecekte öneminin daha da artacağı değerlendirilen bu konu ile çalışmanın literatüre katkı sunacağı umulmaktadır.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Demir çelik endüstrisi, demir cevherinin arıtılmasıyla veya hurdaların ark ocaklarında eritilmesiyle başlamak üzere demir ve çeliğin çeşitli metotlarla üretimini, bunların sıcak ve soğuk şekillendirilmeleri sonucu çubuk, profil, levha sac, boru tel haline ve çeşitli döküm parçaları şekline getirilmelerini kapsamaktadır (Tezeren, Tan, Özdeş, Yücel ve Aykın, 1981: 9; Uysal, 2015: 1). Demir çelik üretimi, küresel büyüme ve ekonomi üzerinde büyük etkisi olan en önemli sanayi sektörleri arasında kabul edilmektedir. Çelik üretim süreci genel olarak yüksek fırın/bazık oksijen fırını (BF-BOF), doğrudan indirgeme/elektrik ark ocağı (BF-EAF), izabe indirgeme/bazık oksijen fırını (SR-BOF) ve çeliklerin eritilmesi olmak üzere dört ana farklı rotada sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmanın dünya üzerindeki dağılımı, BF-BOF üretim süreci dünya çelik üretiminin yaklaşık %70'ine, EAF'li üretim yaklaşık %25'ine ve SR-BOF üretimi ise %5'ine karşılık gelmektedir (Mousa, Wang, Riesbeck ve Larsson, 2016: 1247-1249). 2022 yılı itibarıyla Türkiye'de 27 adet EAF'li, 11 adet IF'li ve 3 adet BOF'lu olmak üzere kırk bir adet ham çelik üretim tesisi bulunmaktadır (Baş, 2023: 15). Sanayi sektöründe birçok malzemenin hem işlenmesi hem de tüketilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle sanayi sektörü için çelik ürünlerin temel bir yapı taşı teşkil ettiği ifade edilmektedir (Gajdzik, 2020). Özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra birçok gelişmiş ülkenin ekonomilerini yeniden inşa etmek için yaptığı büyük yatırımlar metal tüketimin hızlı bir artış göstermesine, metal arzı endişelerine ve erken tükenme kaygısına yol açmıştır (Wärell, 2014: 134). Bu anlamda endüstriyel sürdürülebilirliğin modern toplumun, özellikle demir ve çelik üretim endüstrilerinin nihaî hedefi haline geldiği ifade edilmektedir. Demir çelik üretim oranlarının artması ekonomik zenginliğe katkı sunmakla birlikte emisyon hedefleri ve kaynak kullanımı oranları ülkelerin ve endüstrilerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine zorluklar da getirmektedir (Strezov, Evans ve Evans, 2013: 66-67). Sektörün başlıca hammadde kaynaklarının demir cevheri, koklaşabilir taş kömürü, kireçtaşı, hurda malzeme, ferro alaşımlar olarak sayılmaktadır (Avinal ve diğerleri, 2019: 19; Gonzáles ve Kamiński, 2011). Tablo 1'de üretim yöntemlerine göre tesislerin hammadde tüketimleri yer almaktadır.

**Tablo 1:** Bir ton ham çelik üretimi için hammadde tüketimi

| Hammadde                | BOF'lu tesisler | EAF'li tesisler |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Hurda (Kg)              | -               | 1150            |
| Cevher (Kg)             | 1500            | -               |
| Grafit Elektrot (Kg)    | 0,7             | 1,7             |
| Kok Kömürü (Kg)         | 500             | -               |
| Antrasit Toz Kömür (Kg) | -               | 7               |

**Kaynak:** Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022

Tablo 1 incelendiğinde hammadde tüketimi açısından EAF'li tesislerin daha sürdürülebilir olduğu çıkarsaması yapılmaktadır. EAF teknolojisi açık ticaret politikası rejimine sahip ülkelerde daha hızlı yayılmaktadır (Hill, 1999). Türkiye'de demir yataklarından yeterince ve istenilen nitelikte demir cevheri temin edilememesiyle birlikte ithal cevher fiyatlarında görülen artışların sektörün hurda malzemeye yönelmesine yol açtığı ifade edilmektedir (Yaşar, 2009: 53). Hurda malzemedan üretim

olarak genellenen ikincil çelik üretiminin devamlılığı çelik hurdasının küresel mevcudiyeti ile sınırlıdır (Oda, Akimoto ve Tomoda, 2013). Bununla birlikte Türkiye’de elektrik tüketimi fiyatlarının Almanya, ABD, Brezilya ve Japonya’ya kıyasla Çin, Rusya, Güney Kore’ye yakın ve uygun olmasının EAF’li tesislerin mevcudiyeti üzerinde etkili olduğu değerlendirilmektedir (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022: 15). Küresel çelik endüstrisi, büyük ölçüde fosil yakıt tüketimine bağımlı olması nedeniyle çimento sektöründen sonra sera gazı emisyonlarında en yüksek paya sahip ikinci büyük sanayi sektörüdür (Muslemanı, Liang, Kaeshage, Ascui ve Wilson, 2021). Paris Anlaşması’nın gerektirdiği emisyon azaltıcı tedbirler ile sektörün hızlı ve radikal biçimde farklı üretim teknolojileri geliştirerek uygulamaya alması beklenmektedir (“World Steel Association,” 2023). Ağır sanayi, heterojen yapısı nedeniyle (dünya üzerindeki tesislerin, ürün çeşitliliğinin ve kalitesinin farklı olması), sera gazı yoğunluğu, ticarete açıklığı, maliyet hassasiyeti ve uzun vadeli plânlamalar nedeniyle karbondan arındırılması en zor sanayi olarak nitelendirilmektedir (Bataille ve diğerleri, 2018). Bu durumda mevcut dönüşümler veya uygulamalar tamamlanana kadar geçen sürede hammaddeye optimum şart ve maliyetlerle erişimin çelik üreticisi ülkelerin gündemde yer aldığı görülmektedir.

Demir çelik sektöründe kullanılan hammaddeler inşaat, gemi inşa, savunma, otomotiv gibi birçok stratejik sektörde yüksek teknoloji ve ikame seviyesi düşük mamûllerin üretiminde kullanılmaktadır. İthalatçı ülkelerde üretimin devamlılığı sektörün hammaddelerinin güvenilir bir şekilde temin edilmesine bağımlıdır. Çelik endüstrisi dünya çapında faaliyet gösteren ve önemli bir pazar payına sahip büyük firmalardan oluşmaktadır (González ve Kamiński, 2011). Demir çelik endüstrisi, ileri geri bağlantısının yüksekliği bir başka ifadeyle endüstrinin ürettiği ürünleri nihai veya ara malı olarak endüstriye, piyasada kullanım ömrünü tamamlamış ürünleri ise dönüştürme veya yeniden işleme yoluyla kendisine hammadde olarak sağlaması nedeniyle hammadde ticareti konusunda odak noktası haline gelmektedir. Türkiye’de dış ticaretin ithalata dayalı ihracat biçimli yapısal özelliği ihracatçı olan sektörlerin aynı zamanda önemli ölçüde ithalatçı olmalarına da neden olmaktadır. Böylesi bir yapının sürdürülebilir olması için Türk Lirası’nın değerlendirilmesi ile ithal hammaddelerin yerli hammaddelere kıyasla daha ucuz hale gelmesi gerekmektedir. Bu şekilde sanayi kesiminin hammadde ihtiyaçlarını ithalatla karşılama eğiliminde artış gözlemlenebileceği değerlendirilmektedir (Tüyen, 2016: 396). Dış ticaretin uzun vadeli yapısal özelliği olarak örneklendirilen bu durumun ivedi alternatifinin ise çevresel regülasyonlara duyarlı biçimde en uygun girdi tedariki ile maksimum çıktı ticareti olabileceği değerlendirilmektedir. Stratejik metaller üzerindeki ihracat kısıtlamalarının etkisinin çoğu durumda daha da kötüleşmesi üretici ülkelerin arz konusunda yarı-tekel sahibi olması ile ilişkilendirilmektedir. Hammaddelerin bazı yüksek teknoloji ürünlerin üretiminde gerekli olması ve orta vadede kolayca değiştirilememesi ithalatçı ülkelerin fiyatlar konusunda endişe duymasına neden olmaktadır (Korinek ve Kim, 2010). Bu bağlamda demir çelik sektörünün ihracat kısıtlamaları ve ticaretin önündeki engellerden de etkilendiği ifade edilmektedir. Jeopolitik gerilimler, beklenmedik kesintiler durumunda üretim veya tüketimin aksamasına neden olabilecek ticarî riskleri de beraberinde getirmektedir. Bir ülkede ithalatın hammadde açısından bağımlılık düzeyinde seyretmesi ticaretin hangi noktada gerçekleşeceği konusunda endişe yaratmaktadır. Endüstriyel hammaddelerin bazı özellikleri onları hem üretime hem de ticaret yoğunlaşmasına daha yatkın hale getirmektedir. Bu durum demir çelik endüstrisi için özel düzenlemeler ile diğer sektörlerle göre daha fazla müdahale anlamına gelmektedir. Bunun bir göstergesi olarak özellikle son on yılda hammadde ticaretinde uygulanan ticarî kısıtlamaların sayılarında artış gözlemlenmesi gösterilmektedir (Kowalski ve Legendre, 2023: 8). Dünyanın ilk on çelik üreticisi arasında yer alan Türkiye’nin hammadde bakımından ithalata bağımlı olduğu görülmektedir. Bu durum, demir çelik sektörünün dış faktörlerden etkilenmesine ve küresel pazarlardaki dalgalanmalara karşı riskli bir konumda olmasına sebep olmaktadır. Küreselleşme ve teknolojik ilerlemenin getirdiği yeniliklerin de etkisiyle gelişmiş ülkelerin çelik üretim miktarlarını arttırmak yerine katma değeri yüksek çelik üretimine ağırlık verdikleri görülmektedir (Gökkaya ve Dügenci, 2018: 476-478). Türkiye’nin üretim yapısı dikkate alındığında dış ticarete ve hammadde

temininde maliyet verimliliğinin hem ülke hem de demir çelik endüstrisinin stratejik yatırımları için oldukça önemli olduğu ifade edilmektedir.

### 3. LİTERATÜR

Demir çelik sektörü ve ÇKKV yöntemlerinin literatürde yaygın olarak yer almaları nedeniyle çalışmanın alanyazın taraması demir çelik endüstrisinde ÇKKV yöntemlerinden faydalanan çalışmalar, CRITIC ve COBRA yöntemlerini uygulamaya alan çalışmalar ile ham madde ithalatı, üretim ve ihracat konularını değerlendirmeye alan çalışmalar şeklinde gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 2:** Literatür özeti

| Yazar(lar)                                        | Yöntem(ler)                            | Kapsam                                                                                             |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zhang, Peng, Tian, Wang ve Xie (2017)             | ANP, DEMATEL, GRA ve TOPSIS            | Sürdürülebilir üretim için yeşil malzeme seçimi                                                    |
| Kargı (2019)                                      | SWARA ve EDAS                          | Çelik imalat firmasında risk seviyesi değerlendirilmesi                                            |
| Zandieh ve Aslani (2019)                          | GA, AHP, CCS ve BWM                    | Tedarik zincirinde sipariş dağıtımının değerlendirilmesi                                           |
| Ghaleb, Kaid, Alsamhan, Mian ve Hidri (2020)      | TOPSIS, AHP ve VIKOR                   | Çelik endüstrisi için üretim süreci seçimi                                                         |
| Singh, Pant, Godiyal ve Kumar-Sharma (2020)       | TOPSIS, F-TOPSIS ve M-TOPSIS           | Kağıt endüstrisinde hammadde seçimi                                                                |
| Schoeman, Oberholster ve Somerset (2021)          | i-ZWETA                                | Demir çelik endüstrisinin endüstriyel sıfır atık analizi                                           |
| Wang, Nguyen ve Dang (2022)                       | F-AHP ve F-TOPSIS                      | Demir çelik endüstrisinde yeşil tedarikçi seçimi                                                   |
| Bağlan, Başlıgil, Akasu ve İnan (2022)            | AHP, TOPSIS, KKEK ve YEM               | Ağır sanayi çalışanlarının demografik özelliklerinin yaşam kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi |
| Goswami, Jena ve Behera (2022)                    | ENTROPI ve TOPSIS                      | Alaşımli çelik kalitesinin değerlendirilmesi                                                       |
| Gabrijela, Đorde ve Florentin (2022)              | MEREC ve COBRA                         | E-ticareti geliştirme stratejilerinin değerlendirilmesi                                            |
| Krstić, Agnusdei, Miglietta, Tadić ve Roso (2022) | BWM ve COBRA                           | Tersine lojistikte Endüstri 4.0'ın uygulanması ve döngüsel ekonomi değerlendirmesi                 |
| Verma, Ajaygopal ve Koul (2022)                   | BWM ve COBRA                           | Çelik imalat sektöründe döngüsel tedarikçi seçimi                                                  |
| Polat, Yücesan ve Gül (2023)                      | B-BWM ve TOPSIS                        | Türkiye'deki stratejik hammaddelerin kritiklik değerlendirmesi                                     |
| Ulutaş, Balo ve Topal (2023)                      | FFSWARA ve COBRA                       | Bina kaplamaları için doğal taş seçimi                                                             |
| Thanh, Tinh ve Nhi (2023)                         | F-AHP ve TODIM                         | Vietnam çelik işletmelerinin ölçek, üretim, teknoloji ve atık açısından değerlendirilmesi          |
| Özekenci (2024)                                   | FUCOM, LOPCOW, SPOTIS, RSMVC ve CoCoSo | Demir çelik sektöründe uluslararası pazar seçimi                                                   |

|                                     |                     |                                                                 |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Tadić, Krstić ve Radovanović (2024) | F-D-FARE ve F-COBRA | Son kilometre lojistiğinde drone kullanımının değerlendirilmesi |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------|

Tablo 2’de yer alan çalışmalar ile birlikte literatürde ÇKKV yöntemlerinden faydalananak demir çelik sektörünü incelemeye alan çalışmalar arasında yatırım kararlarının alınması (Kasap, Şahin ve Çınar, 2020; Özcan ve Yilmazer, 2020), işletme veya şirket performansı değerlendirmesi (Binboğa ve Özdi, 2021; Özcan ve Ömürbek, 2020), finansal performansın değerlendirilmesi (Güçlü ve Muzaç, 2024; Yıldırım, Bal ve Doğan, 2021), tedarikçi seçimi (Chakraborty, Chattopadhyay ve Chakraborty, 2020; Ren, Zhou, Makowski, Zhang, Yu ve Ma, 2022) ve karbonsuzlaştırma, enerji verimliliği ve çevresel faktörlerin değerlendirilmesi (Gargari, Joda ve Ameri, 2024; Prasad ve Rajesh, 2023; Quader ve Ahmed, 2016) gibi çalışmalar da yer almaktadır. Bu çalışmanın mevcut literatüre olan katkısını güçlendirebilmek ve literatür boşluğunu ortaya çıkarabilmek adına benzer kriterlerden faydalananak ÇKKV analizi gerçekleştiren araştırmalar da incelemeye alınmıştır. Bu inceleme hangi kriterlerin daha etkili olduğunu ve mevcut çalışmanın geçerliliğini arttırmak adına gerçekleştirilmiştir. Tablo 3’te çalışmada kullanılan kriterleri benzer şekilde veya yöntemlerle kullanan diğer çalışmalara ilişkin literatür araştırması yer almaktadır. Mevcut kriterlerin multi-disipliner yapısı gereği literatür araştırması demir çelik endüstrisi ve imalat sanayi özelinde gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 3:** Benzer kriterleri kullanan çalışmalara ilişkin literatür özeti

| Yazar(lar)                                                 | Yöntem(ler)                             | Kapsam                                                                       |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Cho ve Hong (1998)                                         | ANP                                     | Kore’nin çelik ihracatının ülkenin mevcut koşullarına göre değerlendirilmesi |
| Spengler, Gelderman, Hähre, Sieverdingbeck ve Rentz (1998) | LCA ve KOSIMEUS                         | Demir çelik üretiminde geri dönüşüm uygulamalarının çevresel değerlendirmesi |
| Singh, Choudhury, Tiwari ve Maull (2006)                   | Bulanık AHP                             | Çelik endüstrisinde yalın üretim araçlarının seçimi                          |
| Önüt, Tuzkaya ve Saadet (2008)                             | ANP                                     | İmalat sanayi enerji kaynaklarının değerlendirilmesi                         |
| Yücekaya (2013)                                            | AHP                                     | Kömür tedarik zincirlerinin ve taşımacılık yönetimlerinin değerlendirilmesi  |
| Mohaghar ve Zarchi (2015)                                  | AHP ve DEMATEL                          | Çelik endüstrisi tarafından finanse edilen projelerin değerlendirilmesi      |
| Maity ve Chakraborty (2015)                                | PROMETHEE II                            | Takım çeliğinde malzeme seçimi                                               |
| Zhang ve diğerleri (2018)                                  | AHP ve PROMETHEE                        | Çin özelinde kritik mineral güvenliğinin değerlendirilmesi                   |
| Yeh ve Kuo (2020)                                          | TOPSIS, SAW ve AHP                      | Demir dışı hurda metallerde tedarikçi seçiminin gerçekleştirilmesi           |
| Badi ve Abdulshahed (2021)                                 | AHP                                     | Libya örneğinde bir demir çelik işletmesi için sürdürülebilirlik ölçümü      |
| Rayhanizadeh ve Anbarzadeh (2021)                          | DEMATEL                                 | EAF’li tesislerde malzeme ve enerji etkisinin incelenmesi                    |
| Mohammed, Yazdani, Oukil ve Gonzales (2021)                | D-DEMATEL, MABAC, OCRA, TOPSIS ve VIKOR | Dayanıklı kaynakların öngörülemeyen durumlar                                 |

|                                                                |                        |                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                |                        | karşısında potansiyellerinin değerlendirilmesi                                                                            |
| Monajemzadeh, Yazdi, Hanne, Shirbabadi, Khosravi ve Guo (2022) | ENTROPI ve WASPAS      | Çelik ürünleri ihracatında kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi                                                       |
| Goswami ve diğerleri (2022)                                    | COPRAS ve ARAS         | Yüksek karbonlu krom çelik levhalarının işlenmesi sırasında EDM parametrelerinin optimizasyonu                            |
| Ghosh, Raut, Mandal, ve Ray (2023)                             | ENTROPI ve COPRAS      | Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ile çelik üreticilerinin performansları arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılması |
| Borji, Sayadi ve Nikbakhshs (2023)                             | $\epsilon$ -CONSTRAINT | Çelik endüstrisinin teknik ve yönetsel sorunları dikkate alarak tedarik zinciri tasarımının değerlendirilmesi             |
| Kawecka, Perec ve Radomska-Zalas (2024)                        | MEREC ve DoE           | Yüksek alaşımlı çelik kesme işlemlerinin optimize edilmesi                                                                |

Tablo 3'te yer alan çalışmalar incelendiğinde araştırmaların üretim, operasyon yönetimi, kalite iyileştirme, tedarik zinciri ve lojistik gibi konulara odaklandıkları görülmektedir. Çalışmaların genel olarak verimliliği arttırmayı, maliyetleri düşürmeyi ve genel operasyonel performansı iyileştirmeyi amaçlamasının bu çalışmada tercih edilen kriterlerin çalışmanın amacına göre tutarlılığına işaret ettiği değerlendirilmektedir. Genel olarak literatür incelendiğinde demir çelik sektörünü üretim yöntemlerine göre ayırarak değerlendirilmeye alan çalışmalar, CRITIC ve COBRA yöntemlerini bütünsel biçimde kullanan ve demir çelik sektöründe ham madde ve nihai ürün ticaretini eşanlı olarak inceleyen çalışmaların sayıca daha az oldukları görülmektedir. Bununla birlikte demir çelik endüstrisini ticarî açıdan üretim yöntemi ve kaynak kullanımına göre incelemeye alan literatürün oldukça sınırlı olduğu ifade edilmektedir. Bu bağlamda çalışmanın literatürdeki boşluğu dolduracağı umulmaktadır.

#### 4. YÖNTEM

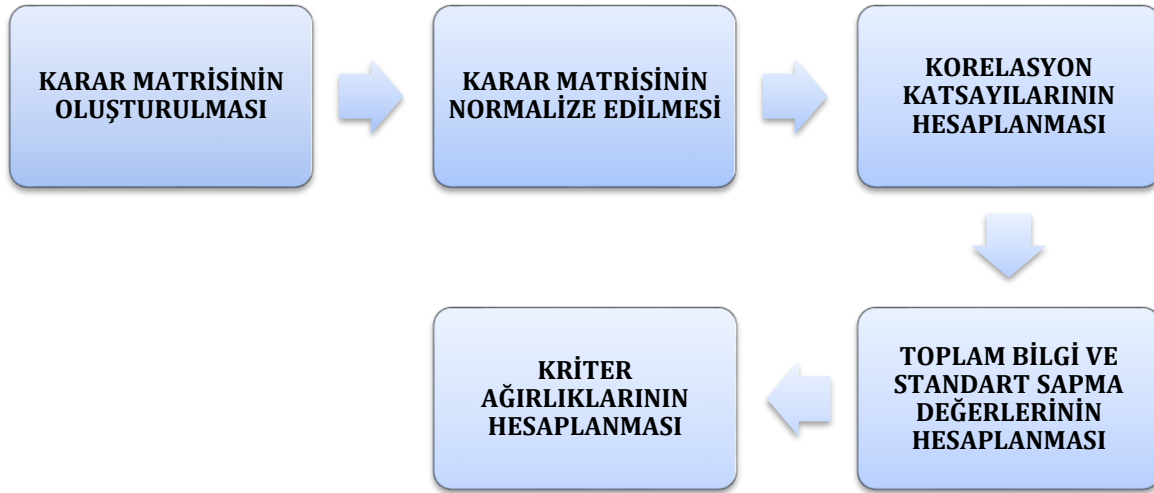
ÇKKV yöntemleri birçok kriterin ortaya çıktığı yerlerde en iyi alternatifleri seçmeye yardımcı olmaktadır. ÇKKV en iyi kritere ulaşmak için farklı kapsamları ve kriter ağırlıklarını dikkate alarak optimum olanların belirlenmesine odaklanmaktadır. ÇKKV en iyi alternatifin seçiminin oldukça karmaşık olduğu durumlarda karar vericiye güçlü karar verme imkânı sağlamaktadır. Karar verme inkâr edilemez ve karmaşık formda veya basit bir prosedür olarak hemen hemen tüm süreçlerin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu bağlamda ÇKKV, birçok kriteri birlikte değerlendirerek alternatiflere değerler atama süreci olarak tanımlanmaktadır. (Aruldoss, Lakshmi ve Venkatesan, 2013; Karaatlı, Ömürbek, Budak ve Dağ, 2015: 215; Singh ve Pant, 2021: 126). ÇKKV yöntemleri ele alınan sorunlarla mücadele etmede başarılı oldukları için etkili yöntemler arasında değerlendirilmektedir (Lee ve Yang, 2018). ÇKKV tekniklerinde kriterler, kriterlerin sırasıyla alternatifleri en üst düzeye çıkarmadaki veya en aza indirgemedeki rollerini yansıtmak için fayda ve maliyet olarak nitelendirilmektedir. ÇKKV yöntemlerinde kriter ağırlıklandırma aşaması nihai karar verme üzerinde etkilidir (Demir ve Bircan, 2020: 170). Karar verme süreçlerinin minimum hatayla sonuçlanması her bir kriterin göreceli önemini doğru bir şekilde belirleyen ağırlıklandırma yöntemlerine bağlıdır (Singh and Pant, 2021). Bu anlamda kriter ağırlıklandırmanın avantajları, önceliklerin belirlenmesi, daha kaliteli karar almanın teşvik edilmesi, karar matrisinde sunulan sınırlı bilginin etkin kullanımı ve karar verme birimlerinin iyi kararlara yönlendirilmesi olarak

sayılmaktadır. Bu çalışmada kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde CRITIC yönteminden faydalanılmıştır. Alternatiflerin sıralanmasında ÇKKV literatürüne ilişkin literatürün yöntem açısından oldukça zengin olduğu görülmektedir (Keeney ve Raiffa, 1976; Kim ve Song, 2009; Koca ve Yıldırım, 2020; Maniya ve Bhat, 2010; Tursun ve Özkoç, 2022; Yakowitz, Lane, ve Szidarovszky, 1993; Yücel, 2024; Zavadskas, Turskis, Antucheviciene ve Zakarevicius, 2012). Alternatifleri belirli bir mesafe ölçütüne göre karşılaştıran yöntemler mesafeye dayalı yöntemler olarak anılmaktadır. Bu yöntemler kriterler arasındaki ilişkileri ve alternatifler arasındaki mesafeleri analiz ederek karmaşıklığı yönetilebilir düzeye indirmektedir. Bu çalışmada alternatiflerin sıralanmasında mesafeye dayalı yöntemler arasında bulunan COBRA yönteminden faydalanılmıştır. Her iki yöntemden elde edilen sonuçların sınama gösterimlerinde duyarlılık analizleri tercih edilmiştir. Çalışmada hesaplama yöntemleri için Microsoft Excel 15.0 ve EvIEWS 11.0 paket programlarından faydalanılmıştır.

#### 4.1 Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi (CRITIC Yöntemi)

Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Diakoulaki, Mavrotas ve Papayannakis (1995) tarafından geliştirilen CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Objektif ağırlıklandırma yöntemleri arasında yer alan CRITIC yöntemiyle elde edilen ağırlıklar her bir kriterin kontrast yoğunluğu ile kriterler arasındaki çatışma düzeyini içermektedir (Çınaroğlu, 2021). Yöntemin uygulanmasına ilişkin gösterim adımları Şekil 1’de yer almaktadır.

Şekil 1: CRITIC Yöntemi Uygulama Aşamaları



CRITIC yönteminin hem kriterler arasındaki korelasyonu hem de kriter içi sapmaları birlikte ele alan yaklaşımı yöntemin avantajları arasında sayılmaktadır (Pala, 2022). Yöntemin uygulama adımları aşağıda yer almaktadır (Ayçin, 2020: 4; Diakoulaki ve diğerleri, 1995: 763). Karar matrisi  $X$  ile simgelenmek üzere  $x_{ij}$  değerlerinden oluşan matris Eşitlik 1’de gösterildiği şekliyle oluşturulmaktadır.

$$X = \begin{matrix} A_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_m & \begin{bmatrix} x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Karar matrisinin normalizasyon işlemi maksimizasyon yönlü kriterler için Eşitlik 2’de minimizasyon yönlü kriterler için ise Eşitlik 3’te yer alan modeller yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}; j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}}; j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Normalizasyon işleminden sonra ilişkili karar matrisinin oluşturulması için Eşitlik 4'te yer alan notasyon uygulanmaktadır.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}}; j, k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Eşitlik 4'te yer alan  $\rho_{jk}$  ifadesi doğrusal ilişki katsayılarına karşılık gelmekte ve değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkilerin derecesini ölçmede kullanılmaktadır. CRITIC yöntemi, karar problemindeki bilgiyi değerlendirme kriterlerine ait zıtlık yoğunluğu ve çelişkilerden elde etmektedir. Her iki özelliği birleştiren ve  $j$ . kriterde bulunan toplam bilgi Eşitlik 5 ve Eşitlik 6'da yer alan modeller ile hesaplanmaktadır (Ayçin, 2020: 5).

$$C_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}); j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m - 1}}; j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

CRITIC yönteminin son aşaması Eşitlik 7'de yer almaktadır. Eşitlik 7'de gösterildiği şekliyle her bir kriterin  $C_j$  değerinin, tüm kriterlerin  $C_j$  değerleri toplamına oranlanması sonucunda kriterlerin ağırlık değerleri elde edilmektedir.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad (7)$$

#### 4.2 Alternatiflerin Sıralanması (COBRA Yöntemi)

Çalışmada kriter alternatiflerin sıralanmasında güncel yöntemler arasında kabul edilen COBRA yöntemi uygulanmıştır. Kristić, Agnusdei, Miglietta, Tadić ve Roso (2022) tarafından geliştirilen COBRA yöntemi mesafeye dayalı ÇKKV uygulamaları arasında yer almaktadır. COBRA yönteminde alternatiflerin değerlendirilmesi pozitif ideal, negatif ideal ve ortalama çözümler olmak üzere üç çözüm türüne göre gerçekleştirilmektedir. Yöntem, mesafeleri hesaplamak için hem Öklid hem de taxicab ölçümlerinden faydalanmaktadır. Yöntemin uygulanmasına ilişkin gösterim adımları Şekil 2'de yer almaktadır.

Şekil 2: COBRA Yöntemi Uygulama Aşamaları



Kristić ve diğerleri (2022), Spearman korelasyon endeksi yardımıyla COBRA yönteminin TOPSIS yönteminden daha tutarlı sonuçlar elde ettiğini öne sürmüşlerdir. Yöntemin uygulama adımları şu şekilde gerçekleştirilmektedir: Karar probleminin tanımlanmasına müteakip değerlendirmeye alınan alternatif sayısını  $m$  ve  $n$  kriter sayısını göstermek üzere karar matrisi Eşitlik 8'deki gibi oluşturulmaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} (a_{11} & \dots & a_{1m}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (a_{n1} & \dots & a_{nm}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Eşitlik 8'de gösterildiği şekliyle oluşturulan karar matrisi Eşitlik 9 ve 10'da yer alan gösterimler yardımıyla normalize edilmektedir.

$$\Delta = [\alpha_{ij}]_{n \times m} \quad (9)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\max_i \alpha_{ij}} \quad (10)$$

Yukarıdaki eşitlikler,  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) alternatiflerinin  $\alpha_{ij}$  ile ilişkili olacak şekilde  $j$ . kritere göre değerlendirildiğini ifade etmektedir. Normalizasyon işleminin tamamlanmasının ardından kriter ağırlıklarının dikkate alarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Eşitlik 11'de yer alan model aracılığıyla elde edilmektedir.

$$\Delta_w = [w_j x \alpha_{ij}]_{n \times m} \quad (11)$$

Eşitlik 11'de yer alan  $w_j$  ifadesi  $j$ . kriterin göreceli ağırlığına karşılık gelmektedir. COBRA yöntemine pozitif ideal ( $PIS_j$ ), negatif ideal ( $NIS_j$ ) ve ortalama değerlerin ( $AS_j$ ) hesaplanmasıyla devam edilmektedir. Hesaplamaların notasyon ile gösterimleri Eşitlik 12, 13 ve 14'te yer almaktadır.

$$PIS_j = \max_i (w_j x \alpha_{ij}), \forall j = 1, \dots, m \text{ za } j \in J^B \quad (12)$$

$$PIS_j = \min_i (w_j x \alpha_{ij}), \forall j = 1, \dots, m \text{ za } j \in J^C$$

$$NIS_j = \min_i (w_j x \alpha_{ij}), \forall j = 1, \dots, m \text{ za } j \in J^B \quad (13)$$

$$NIS_j = \max_i (w_j x \alpha_{ij}), \forall j = 1, \dots, m \text{ za } j \in J^C$$

$$AS_j = \frac{\sum_{i=1}^n (w_j x \alpha_{ij})}{n}, \forall j = 1, \dots, m \text{ za } j \in J^C J^B \quad (14)$$

Yukarıdaki eşitliklerde yer alan  $J^B$  fayda yönlü kriterleri,  $J^C$  ise maliyet yönlü kriterleri ifade etmektedir. Her alternatifin pozitif ideal çözüme  $[d(PIS_j)]$ , negatif ideal çözüme  $[d(NIS_j)]$ , pozitif ortalama çözüme  $[d(AS_j^+)]$  ve negatif ortalama çözüme  $[d(AS_j^-)]$  olan uzaklıkları Eşitlik 15'te yer alan notasyon ile hesaplanmaktadır.

$$d(S_j) = dE(S_j) + \sigma * dE(S_j) * dT(S_j), \forall j = 1, \dots, m \quad (15)$$

Eşitlik 15'te yer alan  $\sigma$  simgesi düzeltme katsayısını,  $dE(S_j)$  ifadesi Öklid uzaklığını ve  $dT(S_j)$  ifadesi ise taxicab uzaklığını ifade etmektedir. Düzeltme katsayısının hesaplanması Eşitlik 16 ile gerçekleştirilmektedir.

$$\sigma = \max_i dE(S_j) - \min_i dE(S_j) \quad (16)$$

Eşitlik 12-16'da yer alan notasyon gösterimleri yöntemin uygulanmasında genel gösterimlere karşılık gelmektedir. Uygulama adımları pozitif, negatif, ortalama pozitif ve ortalama negatif olmak üzere özelleştirilerek gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda pozitif ideal çözüm için hesaplama yöntemleri Eşitlik 17, 18, 19 ve 20'de yer almaktadır.

$$dE(PIS_j)_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (PIS_j - w_j * \alpha_{ij})^2}, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \quad (17)$$

$$dT(PIS_j)_i = \sum_{j=1}^m |PIS_j - w_j * \alpha_{ij}| \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \quad (18)$$

$$\sigma = \max_i dE(PIS_j)_i - \min_i dE(PIS_j)_i \quad (19)$$

$$d(PIS_j) = dE(PIS_j) + \sigma * dE(PIS_j) * dT(PIS_j) \quad (20)$$

Negatif ideal çözüm için hesaplama yöntemlerinin notasyon gösterimleri Eşitlik 21, 22, 23 ve 24'te gösterilmektedir.

$$dE(NIS_j)_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (NIS_j - w_j * \alpha_{ij})^2}, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \quad (21)$$

$$dT(NIS_j)_i = \sum_{j=1}^m |NIS_j - w_j * \alpha_{ij}| \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \quad (22)$$

$$\sigma = \max_i dE(NIS_j)_i - \min_i dE(NIS_j)_i \quad (23)$$

$$d(NIS_j) = dE(NIS_j) + \sigma * dE(NIS_j) * dT(NIS_j) \quad (24)$$

Ortalama çözümlerin de hesaplanmasıyla işlemlere devam edilmektedir. Ortalama çözümlere ilişkin hesaplamalar gerçekleştirilirken modellere pozitif ve negatif olmak üzere tau katsayısı çarpım olarak eklenmektedir. Pozitif ortalama çözümlere ilişkin uzaklıkların hesaplanması Eşitlik 25, 26, 27, 28 ve 29'da gösterilen modeller yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

$$\tau^+ = \begin{cases} 1 & \text{if } AS_j < w_j * \alpha_{ij} \\ 0 & \text{if } AS_j > w_j * \alpha_{ij} \end{cases} \quad (25)$$

$$dE(AS_j)_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m \tau^+ (AS_j - w_j * \alpha_{ij})^2}, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \quad (26)$$

$$dT(AS_j)_i^+ = \sum_{j=1}^m \tau^+ |AS_j - w_j * \alpha_{ij}| \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \quad (27)$$

$$\sigma = \max_i dE(AS_j)_i^+ - \min_i dE(AS_j)_i^+ \quad (28)$$

$$d(AS^+) = dE(AS^+) + \sigma * dE(AS^+) * dT(AS^+) \quad (29)$$

Negatif ortalama çözümlere ilişkin uzaklıkların hesaplanması Eşitlik 30, 31, 32, 33 ve 34'te gösterilen modeller yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

$$\tau^- = \begin{cases} 0 & \text{if } AS_j < w_j * \alpha_{ij} \\ 1 & \text{if } AS_j > w_j * \alpha_{ij} \end{cases} \quad (30)$$

$$dE(AS_j)_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m \tau^-(AS_j - w_j * \alpha_{ij})^2}, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \quad (31)$$

$$dT(AS_j)_i^- = \sum_{j=1}^m \tau^- |AS_j - w_j * \alpha_{ij}| \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \quad (32)$$

$$\sigma = \max_i dE(AS_j)_i^- - \min_i dE(AS_j)_i^- \quad (33)$$

$$d(AS^-) = dE(AS^-) + \sigma * dE(AS^-) * dT(AS^-) \quad (34)$$

Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak alternatiflerin sıralaması Eşitlik 35'teki model yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Kapsamlı uzaklık değerlerine ( $dC_i$ ) göre, en düşük değer en iyi alternatifi göstermektedir, varsayımından hareketle sıralama yapılmaktadır.

$$dC_i = \frac{d(PIS_j)_i - d(NIS_j)_i - d(AS_j)_i^+ + d(AS_j)_i^-}{4}; \forall i = 1, \dots, n \quad (35)$$

### 4.3 Duyarlılık Analizleri

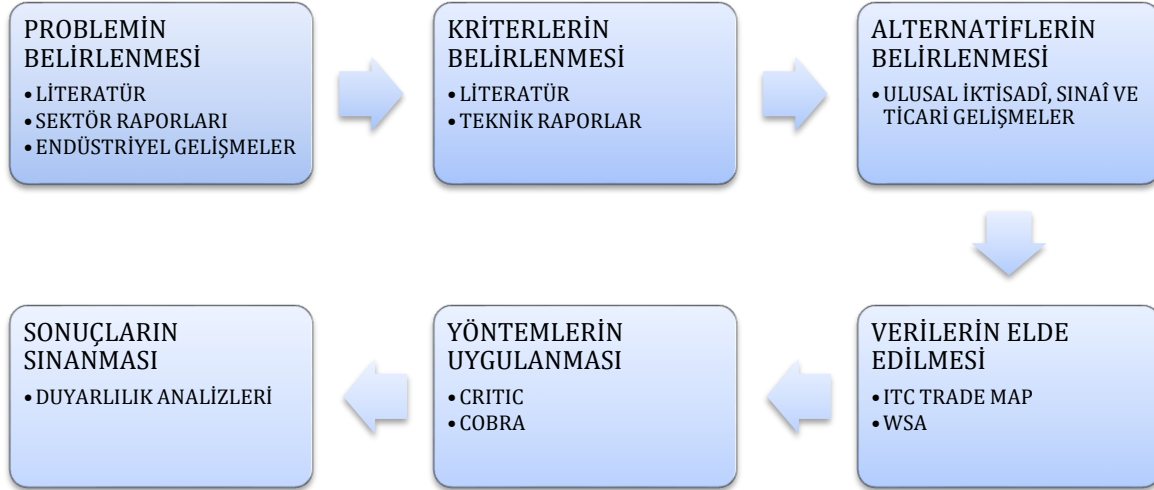
Çalışmada uygulanan sıralama metodolojilerinde daha fazla bilgi elde etmek için temel durum girdilerinin varsayımlarına göre duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi sonucun daha kapsamlı bir şekilde görülmesine imkân vermektedir (Koca ve Behdioğlu, 2019: 694). Bu çalışmada duyarlılık analizleri iki farklı üst senaryo ile gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi analizlerde kullanılan kriterlerin eşit ağırlıklı olduğu varsayım, fayda ve maliyet yönlü kriterlerin ağırlıklarının %50-%50 olarak dağıldığı varsayım, fayda yönlü kriterlerin %60 ve maliyet yönlü kriterlerin %40 olduğu varsayım ve fayda yönlü kriterlerin %70 ve maliyet yönlü kriterlerin %30 olduğu varsayım şeklinde uygulanmıştır. İkinci senaryonun alt senaryolarının her birinde en kötü alternatif bir sonraki değerlendirmeden çıkarılacak şekilde organize edilmiştir. Bu durumda her yeni senaryo için kalan alternatifler yeni başlangıç karar matrisine dayalı olarak sıralanmıştır (Stevic, Pamučar, Puška ve Chatterjee, 2020; Taşçı, 2023: 48). Çalışmada uygulanan duyarlılık analizleri uygulamaya alınan tüm yöntemler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamına alınan verilerden ithalat ve ihracat değerleri ITC Trade Map veri tabanından, ham çelik üretimi verileri ise World Steel Association (2008-2023) süreli yayınlarından elde edilmiştir. Üretim türlerine göre veri dağılımı Dünya Çelik Birliği'nce yıllık olarak sunulan oranlar dikkate alınarak yazarlar tarafından hesaplanmıştır. Ekonomik şokların uluslararası ölçekte yayılması sorunu ve çoğu zaman coğrafi olarak uzak bölgelerde bulunan ülke ve pazarların karşılıklı ekonomik etkileri literatürde ampirik çalışmaların ilgi odağını oluşturmaktadır (Gajdzik ve Wolniak, 2022). Başlangıçta bir finans krizi olarak ortaya çıkan 2008 Krizi daha sonrasında reel sektör üzerinde yayılma göstererek küresel bir ekonomik krize dönüşmüştür (Eğilmez, 2020). Bu nedenle çalışmada sanayinin lokomotif gücü olarak demir çelik sektörünü de etkileyen 2008 Krizi dönemi başlangıç tarihi olarak ele alınmıştır. Serilerin oluşturulması ve veri derleme süreçlerinde Dünya Çelik Birliği tarafından 2023 yılına ait verilerin henüz yayımlanmaması ve her ülke ile tüm hammaddelere ilişkin

karşılıklı dış ticaretin eş anlı olarak gerçekleştirilmemesi araştırmanın kısıtlarını oluşturmaktadır. Bu nedenle çalışma 2008-2022 dönemini incelemeye almaktadır. Çalışmanın araştırma tasarımına ilişkin uygulama adımları aşağıdaki akış diyagramıyla özetlenmektedir.

**Şekil 3: Araştırma Tasarımı**



Demir çelik endüstrisinin üretim yöntemlerine göre kullandığı ana hammaddelerin belirlenmesinde Avinal ve diğerleri (2019) tarafından hazırlanan rapor dikkate alınmıştır. Raporda yer alan hammaddelerin belirlenme süreci literatür ile de desteklenmiştir (Cheng, Chu, Zhang ve Tang, 2024; Gonzáles, Gonzáles ve Gonzáles, 2020; Krzak ve Paulo, 2018; Mohan ve Berkowitz, 1988; New, 2010; Richmond, Millstead ve Wilson, 2006). Çalışmada kullanılan dış ticaret verileri Armonize Sistem Nomanklatürü sınıflandırması kapsamındadır. Bu bağlamda çalışmada yer alan dış ticaret verileri dörtlü kod sistemiyle çalışmaya dâhil edilmiştir. Veri setlerinde yer alan üretim ve ihracat kriterlerinin optimizasyon yönü fayda, ithalat değerlerinin optimizasyon yönü ise maliyet olarak belirlenmiştir. Dış ticarete ilişkin kriterlerin toplam ve ülke olarak ayrıldığı görülmektedir. Türkiye'nin ele alınan dönemde ve üründe dünya ile yaptığı dış ticaret göstergeleri toplam, ilgili ülke ile yaptığı dış ticaret göstergeleri de ülke olarak belirtilmiştir.

### 5.1 Türkiye'nin Demir Çelik Endüstrisinde Hammadde Bağımlılığı (2008-2022)

Çalışmada öncelikli olarak Türkiye'nin 2008-2022 döneminde üretim yöntemlerine göre ana hammaddelerin ithalatı, üretim ve ihracat değerleri incelemeye alınmıştır. Bu inceleme için demir cevherinden ve hurda malzemeden üretim süreçlerinde kullanılan veri setine ilişkin özet bilgiler Tablo 4'te yer almaktadır.

**Tablo 4: Değerlendirme kriterleri bilgi tablosu**

| Demir Cevherinden Üretim                                        |            |            |      |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|------|
| Kriter adı                                                      | Kısaltması | Birimi     | Kodu |
| Çelik üretimi (O <sub>2</sub> )                                 | STPRDo     | Mmt        | -    |
| Demir çelik ihracatı (Dünya)                                    | STXw       | ABD Doları | 7200 |
| Taş kömürü, linyit ve turbadan elde edilen kok ithalatı (Dünya) | COCMw      | ABD Doları | 2704 |
| Demir cevheri ithalatı (Dünya)                                  | IOCMw      | ABD Doları | 2601 |
| Ferro alaşımlar ithalatı (Dünya)                                | FERMw      | ABD Doları | 7202 |

| Hurda Malzemededen Üretim                                       |               |            |      |
|-----------------------------------------------------------------|---------------|------------|------|
| Kriter adı                                                      | Kısaltması    | Birimi     | Kodu |
| Çelik üretimi (Elektrik)                                        | <i>STPRDe</i> | Mmt        | -    |
| Demir çelik ihracatı (Dünya)                                    | <i>STXw</i>   | ABD Doları | 7200 |
| Demir veya çeliğin döküntü ve hurdaları ithalatı (Dünya)        | <i>FWSMw</i>  | ABD Doları | 7204 |
| Taş kömürü, linyit ve turbadan elde edilen kok ithalatı (Dünya) | <i>COCMw</i>  | ABD Doları | 2704 |
| Ferro alaşımlar ithalatı (Dünya)                                | <i>FERMw</i>  | ABD Doları | 7202 |

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde uygulanan CRITIC yöntemine ilişkin normalize karar matrisleri Tablo 5 ve Tablo 6'da yer almaktadır.

**Tablo 5:** Demir cevherinden üretim süreçlerine ilişkin normalize karar matrisi (CRITIC)

| Yıllar | <i>STPRDo</i> | <i>STXw</i> | <i>COCMw</i> | <i>IOCMw</i> | <i>FERMw</i> |
|--------|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 2008   | 0,0000        | 0,8044      | 0,8719       | 0,9616       | 0,3706       |
| 2009   | 0,1199        | 0,1335      | 0,9356       | 0,8482       | 0,9264       |
| 2010   | 0,2680        | 0,2345      | 0,9411       | 0,8324       | 0,6821       |
| 2011   | 0,3998        | 0,4627      | 0,8201       | 0,6500       | 0,6260       |
| 2012   | 0,5106        | 0,4725      | 0,8406       | 0,6655       | 0,7308       |
| 2013   | 0,6486        | 0,3305      | 0,8289       | 0,6817       | 0,7823       |
| 2014   | 0,7169        | 0,2692      | 0,9024       | 0,7903       | 0,7601       |
| 2015   | 0,8841        | 0,0340      | 0,8496       | 0,9238       | 0,9045       |
| 2016   | 0,9495        | 0,0000      | 0,8658       | 1,0000       | 1,0000       |
| 2017   | 1,0000        | 0,1877      | 0,2576       | 0,7679       | 0,6463       |
| 2018   | 0,9946        | 0,4922      | 0,6095       | 0,7792       | 0,6391       |
| 2019   | 0,8457        | 0,3520      | 1,0000       | 0,7005       | 0,7823       |
| 2020   | 0,8844        | 0,2403      | 0,7862       | 0,7379       | 0,8165       |
| 2021   | 0,9831        | 1,0000      | 0,1940       | 0,0000       | 0,3619       |
| 2022   | 0,6585        | 0,7752      | 0,0000       | 0,4895       | 0,0000       |

**Tablo 6:** Hurda malzemededen üretim süreçlerine ilişkin normalize karar matrisi (CRITIC)

| Yıllar | <i>STPRDo</i> | <i>STXw</i> | <i>COCMw</i> | <i>IOCMw</i> | <i>FERMw</i> |
|--------|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 2008   | 0,1826        | 0,8044      | 0,8719       | 0,3022       | 0,3706       |
| 2009   | 0,0000        | 0,1335      | 0,9356       | 0,9612       | 0,9264       |
| 2010   | 0,2796        | 0,2345      | 0,9411       | 0,5589       | 0,6821       |
| 2011   | 0,6731        | 0,4627      | 0,8201       | 0,1897       | 0,6260       |
| 2012   | 0,7891        | 0,4725      | 0,8406       | 0,2383       | 0,7308       |
| 2013   | 0,6260        | 0,3305      | 0,8289       | 0,5059       | 0,7823       |
| 2014   | 0,5358        | 0,2692      | 0,9024       | 0,5559       | 0,7601       |
| 2015   | 0,2448        | 0,0340      | 0,8496       | 0,9545       | 0,9045       |
| 2016   | 0,3702        | 0,0000      | 0,8658       | 1,0000       | 1,0000       |
| 2017   | 0,7340        | 0,1877      | 0,2576       | 0,6963       | 0,6463       |
| 2018   | 0,7183        | 0,4922      | 0,6095       | 0,5568       | 0,6391       |
| 2019   | 0,4569        | 0,3520      | 1,0000       | 0,7707       | 0,7823       |
| 2020   | 0,6289        | 0,2403      | 0,7862       | 0,6820       | 0,8165       |
| 2021   | 1,0000        | 1,0000      | 0,1940       | 0,0000       | 0,3619       |
| 2022   | 0,6578        | 0,7752      | 0,0000       | 0,1964       | 0,0000       |

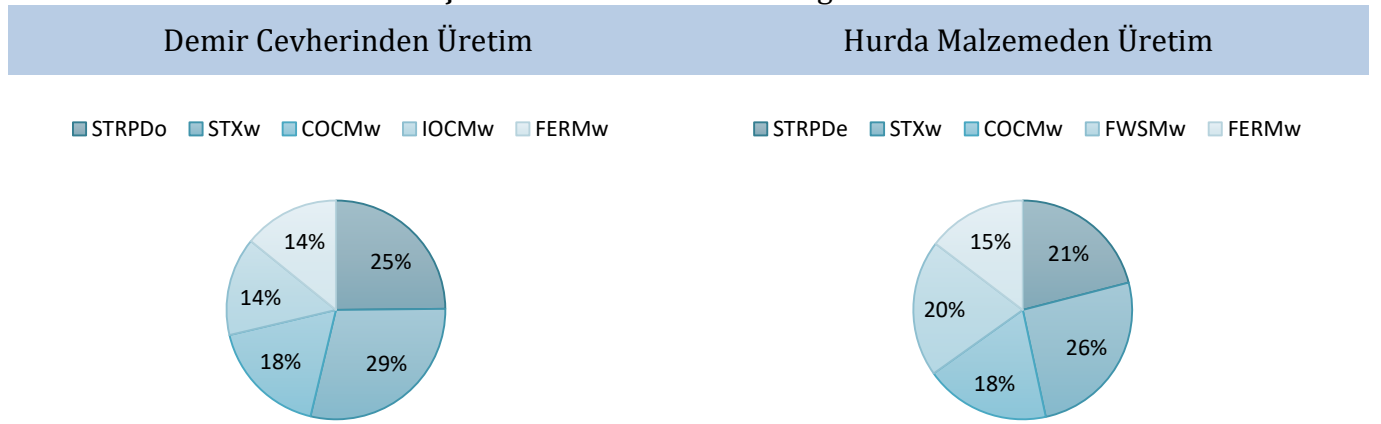
Tablo 5 ve Tablo 6'da yer alan normalize karar matrisleri üzerinde CRITIC yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen kriter ağırlıklıkları demir cevherinden üretim ve hurda malzemededen üretim olmak üzere bütünleşik bir gösterim ile Tablo 7'de yer almaktadır.

**Tablo 7:** Kriterlerin önem ağırlıkları

| Demir Cevherinden Üretim |         | Hurda Malzemededen Üretim |         |
|--------------------------|---------|---------------------------|---------|
| Kriter Adı               | Ağırlık | Kriter Adı                | Ağırlık |
| <i>STRPDo</i>            | 0,2484  | <i>STRPDe</i>             | 0,2098  |
| <i>STXw</i>              | 0,2890  | <i>STXw</i>               | 0,2564  |
| <i>COCMw</i>             | 0,1757  | <i>COCMw</i>              | 0,1852  |
| <i>IOCMw</i>             | 0,1452  | <i>FWSMw</i>              | 0,2021  |
| <i>FERMw</i>             | 0,1417  | <i>FERMw</i>              | 0,1465  |

Tablo 7’de her iki üretim yönteminde de önem ağırlığı en yüksek olan kriterlerin demir çelik ihracatı ve ham çelik üretimi oldukları görülmektedir. Sonuçların grafik ile gösterimleri Şekil 4’te yer almaktadır.

**Şekil 4:** Kriterlerin Önem Ağırlıkları



Ürün açısından Türkiye’de yassı ürünlerin güçlü kapasite artışıyla ihracatının artmasının yanı sıra çelik çubukların Türkiye üretiminde ve ihracatında önemini koruması dikkate değer gelişmeler olarak değerlendirilmektedir (Carvalho ve Sekiguchi, 2015: 19). Tablo 7’de hurda malzemededen üretim yapan tesislerde ana hammadde olan demirli atık ve hurda ithalatının, demir cevherinden üretim yapan tesislerin ana hammaddesi olan demir cevherine kıyasla daha yüksek önem ağırlığına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum Türkiye’nin üretim yapısının dağılımı ile ilişkilendirilmektedir. Aynı tabloda koklaşabilir taş kömürü ithalatının diğer ana hammaddelerin ithalatından daha yüksek olduğu da görülmektedir. Türkiye’de 1980’li yıllarda toplam taş kömürü tüketiminin %80’i yerli kaynaklardan karşılanırken 2022 yılı verilerine göre bu oranın %3,9’a düştüğü kaydedilmiştir. Bu durum, taş kömürü satışı için önemli bir pazar olan demir çelik sektöründe 1982 yılı ve sonrasında yaşanan kapasite artışlarının talebin yerli kaynaklardan karşılanamaması sonucunu doğurarak ithal kömüre yönelimin artmasıyla açıklanmaktadır (Türkiye Taşkömürü Kurumu, 2023: 35). Alternatiflerin sıralanması adına uygulanan COBRA yöntemine ilişkin normalize karar matrisleri Tablo 8 ve Tablo 9’da yer almaktadır.

**Tablo 8:** Demir cevherinden üretim süreçlerine ilişkin normalize karar matrisi (COBRA)

| Yıllar | <i>STRPDo</i> | <i>STXw</i> | <i>COCMw</i> | <i>IOCMw</i> | <i>FERMw</i> |
|--------|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 2008   | 0,6079        | 0,8753      | 0,1551       | 0,3663       | 0,7401       |
| 2009   | 0,6550        | 0,4475      | 0,0934       | 0,4410       | 0,3503       |
| 2010   | 0,7130        | 0,5118      | 0,0880       | 0,4515       | 0,5216       |
| 2011   | 0,7647        | 0,6574      | 0,2053       | 0,5716       | 0,5610       |
| 2012   | 0,8081        | 0,6637      | 0,1855       | 0,5614       | 0,4875       |
| 2013   | 0,8622        | 0,5731      | 0,1968       | 0,5508       | 0,4514       |

|      |        |        |        |        |        |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2014 | 0,8890 | 0,5340 | 0,1255 | 0,4792 | 0,4669 |
| 2015 | 0,9545 | 0,3840 | 0,1768 | 0,3912 | 0,3657 |
| 2016 | 0,9802 | 0,3623 | 0,1611 | 0,3410 | 0,2987 |
| 2017 | 1,0000 | 0,4820 | 0,7504 | 0,4939 | 0,5467 |
| 2018 | 0,9979 | 0,6762 | 0,4094 | 0,4865 | 0,5518 |
| 2019 | 0,9395 | 0,5868 | 0,0310 | 0,5383 | 0,4514 |
| 2020 | 0,9547 | 0,5155 | 0,2382 | 0,5137 | 0,4274 |
| 2021 | 0,9934 | 1,0000 | 0,8120 | 1,0000 | 0,7462 |
| 2022 | 0,8661 | 0,8567 | 1,0000 | 0,6774 | 1,0000 |

**Tablo 9:** Hurda malzemeden üretim süreçlerine ilişkin normalize karar matrisi (COBRA)

| Yıllar | <i>STPRDo</i> | <i>STXw</i> | <i>COCMw</i> | <i>IOCMw</i> | <i>FERMw</i> |
|--------|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 2008   | 0,6837        | 0,8753      | 0,1551       | 0,8054       | 0,7401       |
| 2009   | 0,6131        | 0,4475      | 0,0934       | 0,3811       | 0,3503       |
| 2010   | 0,7213        | 0,5118      | 0,0880       | 0,6401       | 0,5216       |
| 2011   | 0,8735        | 0,6574      | 0,2053       | 0,8779       | 0,5610       |
| 2012   | 0,9184        | 0,6637      | 0,1855       | 0,8466       | 0,4875       |
| 2013   | 0,8553        | 0,5731      | 0,1968       | 0,6742       | 0,4514       |
| 2014   | 0,8204        | 0,5340      | 0,1255       | 0,6421       | 0,4669       |
| 2015   | 0,7078        | 0,3840      | 0,1768       | 0,3854       | 0,3657       |
| 2016   | 0,7564        | 0,3623      | 0,1611       | 0,3561       | 0,2987       |
| 2017   | 0,8971        | 0,4820      | 0,7504       | 0,5517       | 0,5467       |
| 2018   | 0,8910        | 0,6762      | 0,4094       | 0,6415       | 0,5518       |
| 2019   | 0,7899        | 0,5868      | 0,0310       | 0,5037       | 0,4514       |
| 2020   | 0,8564        | 0,5155      | 0,2382       | 0,5609       | 0,4274       |
| 2021   | 1,0000        | 1,0000      | 0,8120       | 1,0000       | 0,7462       |
| 2022   | 0,8676        | 0,8567      | 1,0000       | 0,8735       | 1,0000       |

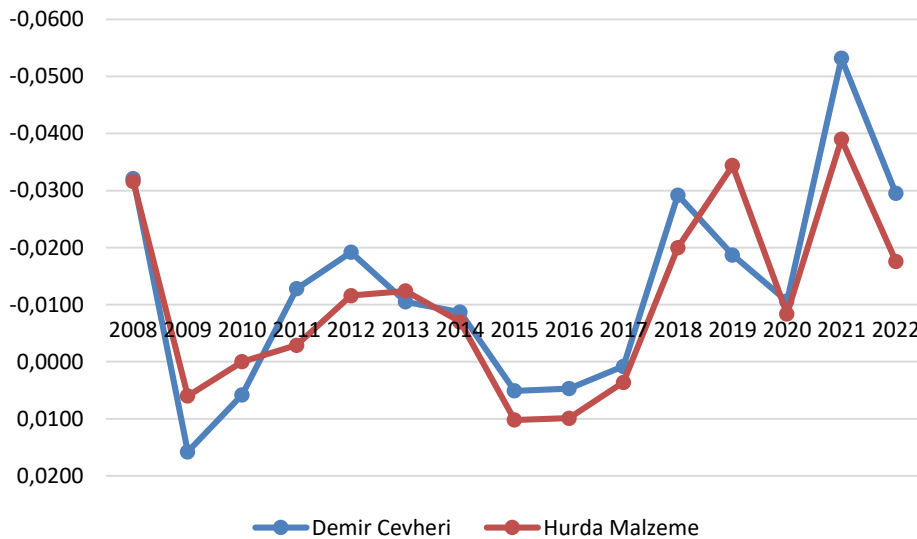
Tablo 8 ve Tablo 9’da yer alan normalize karar matrisleri üzerinde COBRA yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen sıralama sonuçları bütünleşik bir gösterim ile Tablo 10’da yer almaktadır.

**Tablo 10:** Alternatiflere ilişkin sıra değerleri

| Demir Cevherinden Üretim |        |         | Hurda Malzemeden Üretim |        |         |
|--------------------------|--------|---------|-------------------------|--------|---------|
| Sıra                     | Yıllar | $dC_i$  | Sıra                    | Yıllar | $dC_i$  |
| 1                        | 2021   | -0,0532 | 1                       | 2021   | -0,0390 |
| 2                        | 2008   | -0,0321 | 2                       | 2019   | -0,0344 |
| 3                        | 2022   | -0,0295 | 3                       | 2008   | -0,0316 |
| 4                        | 2018   | -0,0292 | 4                       | 2018   | -0,0200 |
| 5                        | 2012   | -0,0192 | 5                       | 2022   | -0,0176 |
| 6                        | 2019   | -0,0187 | 6                       | 2013   | -0,0124 |
| 7                        | 2011   | -0,0128 | 7                       | 2012   | -0,0116 |
| 8                        | 2020   | -0,0106 | 8                       | 2020   | -0,0084 |
| 9                        | 2013   | -0,0105 | 9                       | 2014   | -0,0070 |
| 10                       | 2014   | -0,0087 | 10                      | 2011   | -0,0029 |
| 11                       | 2017   | 0,0008  | 11                      | 2010   | 0,0000  |
| 12                       | 2016   | 0,0047  | 12                      | 2017   | 0,0036  |
| 13                       | 2015   | 0,0051  | 13                      | 2009   | 0,0060  |
| 14                       | 2010   | 0,0058  | 14                      | 2016   | 0,0099  |
| 15                       | 2009   | 0,0158  | 15                      | 2015   | 0,0102  |

Tablo 10 incelendiğinde her iki yöntemde en düşük sıralama puanlarının 2009 ve 2015 yıllarında ortak oldukları görülmektedir. 2008 Krizinin de etkileriyle 2009 yılında Türkiye demir çelik üretiminde %4,6 oranında bir azalma gözlemlenmiştir (Joulazadeh, 2010). 2000-2007 döneminde istikrarlı bir şekilde artan ham çelik üretimi 2008 ve 2009 yıllarında finansal krizin etkisiyle gerilemiştir (Başkol ve Bektaş, 2021: 60). 2015 yılı ise Türkiye çelik üretiminin arka arkaya üçüncü kez düşüş gösterdiği yıl olarak kayıtlara geçmiştir. 2015 yılında yaşanan düşüş eğiliminde Asya-Çin bölgesinin etkili olduğu değerlendirilmektedir. 2015 yılında dünya çelik üretiminde kaydedilen 48 milyon tonluk gerilemenin dağılımı, Çin’de 19 milyon ton ve Asya’da 25,5 milyon ton düşüş olarak kaydedilmiştir (Türkiye Çelik Üreticileri Derneği [TÇÜD], 2016). 2010 ve 2016 dönemlerinin ise 2009 ve 2015 dönemlerinde yaşanan gelişmelerin etkisinde kaldıkları ifade edilmektedir. Çalışmada Türkiye’nin ana hammadde ithalatı, üretim ve ihracat değerleri dikkate alınarak en iyi performansı gösterdiği yıllarda 2021 ve 2008 yıllarının her iki yöntem için ortak yıllar oldukları görülmektedir. 2021 yılında Türkiye’de çelik üretimi 40,4 milyon ton ile tüm zamanların en yüksek üretim miktarı olarak kayıtlara geçmiştir. Bu yüksek üretim miktarının, ABD tarafından başlatılan AB ve diğer ülkelerin de devam ettirdiği korumacılık politikalarına, pandemi nedeniyle yaşanan ekonomik durgunluk, talep daralması ve Türkiye-Avrupa Kömür Çelik Topluluğu Serbest Ticaret Anlaşması kapsamında herhangi bir devlet yardımı almamasına rağmen gerçekleşmesi Türkiye demir çelik endüstrisinin başarısı olarak değerlendirilmektedir (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022: 5). Çalışmada 2008 yılının bir başka ifadeyle kriz döneminin en iyi performans gösterilen yıllar arasında olduğu bulgusu da elde edilmiştir. Krizin çelik endüstrisine olan etkileri ise gelişmiş ülkelerde daha derinden hissedilirken gelişmekte olan ülkelerin krizin etkilerini daha çabuk atlattıkları görülmektedir. Bu dönemde gelişmekte olan ekonomilerin çelik endüstrilerinin önemli bir bölümü büyüme emaresi göstermeye devam etmiştir. Türkiye ise çelik endüstrisinde performans açısından gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkeler arasında bir performans sergileyerek daralmayı sınırlı seviyede tutmayı başaramıştır (TÇÜD, 2010). Alternatiflerin sıralanmasından elde edilen sonuçların grafik ile gösterimine Şekil 5’te yer verilmiştir.

**Şekil 5:** Alternatiflerin Sıra Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi



COBRA yönteminin en küçük değeri en iyi alternatif kabul etmesi nedeniyle Şekil 5’te yer alan dikey eksen değerleri ters çevrilerek grafik oluşturulmuştur. Şekil 5 incelendiğinde Türkiye’de demir çelik endüstrisinin hammadde bağımlılığının üretim ve ihracat karşısında tutarlı bir seyir izlediği değerlendirilmektedir. Bu durum Türkiye’de demir çelik endüstrisinin dış ticaret açığı veren sektörler arasında sayılması, bu açığın oluşmasında ağırlıklı olarak hurda malzemelerin ithalatının

yer alması ve Türkiye’de yassı ürün kapasite kullanımlarının az olması nedeniyle sektörün ithalat eğilimi ile açıklanmaktadır (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022; Sanayi Genel Müdürlüğü, 2021).

## 5.2 Türkiye’nin Demir Çelik Endüstrisinde Ticaret Ortakları ile Hammadde Bağımlılığının ve İhracat Performansının Değerlendirilmesi

Çalışmada Türkiye’nin en iyi performans gösterdiği yıllar ülkeler düzeyine indirgenerek de incelemeye alınmıştır. Ülkeler düzeyinde analizler tüm kriterlerde etkin olan ülkeler üzerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, Türkiye’nin eş anlı olarak demir çelik ihraç ettiği ve buna karşılık koklaşabilir taş kömürü, ferro alaşımlar, demir cevheri, demirli atık ve hurda malzeme ithalatı gerçekleştirdiği ülkeler incelemeye alınmıştır. Bu inceleme için demir cevherinden ve hurda malzemeden üretim süreçlerinde kullanılan veri setlerine ilişkin özet bilgiler Tablo 11’de yer almaktadır.

**Tablo 11:** Değerlendirme kriterleri bilgi tablosu

| Demir Cevherinden Üretim                                          |              |            |      |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|------------|------|
| Kriter adı                                                        | Kısaltması   | Birimi     | Kodu |
| Demir çelik ihracatı (Türkiye)                                    | <i>STXc</i>  | ABD Doları | 7200 |
| Taş kömürü, linyit ve turbadan elde edilen kok ithalatı (Türkiye) | <i>COCMc</i> | ABD Doları | 2704 |
| Demir cevheri ithalatı (Türkiye)                                  | <i>IOCMc</i> | ABD Doları | 2601 |
| Ferro alaşımlar ithalatı (Türkiye)                                | <i>FERMc</i> | ABD Doları | 7202 |
| Hurda Malzemeden Üretim                                           |              |            |      |
| Kriter adı                                                        | Kısaltması   | Birimi     | Kodu |
| Demir çelik ihracatı (Türkiye)                                    | <i>STXc</i>  | ABD Doları | 7200 |
| Demir veya çeliğin döküntü ve hurdaları ithalatı (Türkiye)        | <i>FWSMc</i> | ABD Doları | 7204 |
| Taş kömürü, linyit ve turbadan elde edilen kok ithalatı (Türkiye) | <i>COCMc</i> | ABD Doları | 2704 |
| Ferro alaşımlar ithalatı (Türkiye)                                | <i>FERMc</i> | ABD Doları | 7202 |

Tablo 11’de yer alan veriler üzerinden Türkiye’nin üretim yöntemlerine göre hammadde ithalatında en başarılı performans gösterdiği yıllarda yine üretim yöntemlerine göre Türkiye’nin eş anlı olarak demir çelik hammaddesi ithal ettiği ve bunun karşılığında demir çelik ihraç ettiği ülkeler ITC Trade Map veri tabanından yazarlar tarafından belirlenerek Tablo 12’de sunulmuştur.

**Tablo 12:** Belirlenen dış ticaret ortakları

| Demir Cevherinden Üretim |                                                            | Hurda Malzemeden Üretim |                                                                        |
|--------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Yıllar                   | Ülkeler                                                    | Yıllar                  | Ülkeler                                                                |
| 2008                     | Ukrayna, Rusya, Almanya, İran, ABD                         | 2008                    | Ukrayna, İtalya, Rusya, Almanya, İran, ABD                             |
| 2021                     | Rusya, ABD, İtalya, Ukrayna, Polonya, Almanya, İran        | 2019                    | Rusya, İtalya, Hollanda, Polonya, Almanya, Belçika, İspanya, İran, ABD |
| 2022                     | Rusya, İtalya, Kazakistan, Ukrayna, Almanya, İspanya, İran | 2021                    | Rusya, Çin, ABD, İtalya, Ukrayna, Polonya, İspanya, Almanya, İran      |

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde uygulanan CRITIC yöntemine ilişkin normalize karar matrisleri Tablo 13 ve Tablo 14’te yer almaktadır. Tablo 13’te demir cevherinden üretim sürecine ilişkin normalize karar matrisi yer almakta olup yöntem her yıl için ayrı ayrı uygulanmıştır.

**Tablo 13:** Demir cevherinden üretim süreçlerine ilişkin normalize karar matrisi (CRITIC)

| Üretim | Ülkeler    | <i>COCMc</i> | <i>FERMc</i> | <i>IOCMc</i> | <i>STXc</i> |
|--------|------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 2008   | Ukrayna    | 0,0000       | 0,0000       | 0,0000       | 0,0000      |
|        | Rusya      | 0,9106       | 0,8162       | 0,7883       | 0,0048      |
|        | Almanya    | 0,9673       | 0,9922       | 0,9874       | 0,3094      |
|        | İran       | 0,9996       | 0,9355       | 0,9287       | 0,3319      |
|        | ABD        | 1,0000       | 1,0000       | 1,0000       | 1,0000      |
| 2021   | Rusya      | 0,0000       | 0,3723       | 0,0433       | 0,0000      |
|        | ABD        | 0,8540       | 0,9928       | 0,9478       | 0,7091      |
|        | İtalya     | 0,9052       | 1,0000       | 0,9999       | 1,0000      |
|        | Ukrayna    | 0,9455       | 0,0000       | 0,0000       | 0,1541      |
|        | Polonya    | 0,9749       | 0,9993       | 1,0000       | 0,1149      |
|        | Almanya    | 0,9987       | 0,9673       | 1,0000       | 0,1884      |
|        | İran       | 1,0000       | 0,7961       | 1,0000       | 0,0155      |
| 2022   | Rusya      | 0,0000       | 0,0000       | 0,1731       | 0,0858      |
|        | İtalya     | 0,8539       | 1,0000       | 0,9999       | 1,0000      |
|        | Kazakistan | 0,9901       | 0,6861       | 1,0000       | 0,0000      |
|        | Ukrayna    | 0,9955       | 0,5732       | 0,0000       | 0,1821      |
|        | Almanya    | 0,9966       | 0,8976       | 0,9997       | 0,3262      |
|        | İspanya    | 0,9999       | 0,9658       | 1,0000       | 0,4941      |
|        | İran       | 1,0000       | 0,4842       | 0,9999       | 0,0574      |

Tablo 14’te ise hurda malzemeden üretim sürecine ilişkin normalize karar matrisi yer almakta olup yöntem her yıl için ayrı ayrı uygulanmıştır.

**Tablo 14:** Hurda malzemeden üretim süreçlerine ilişkin normalize karar matrisi (CRITIC)

| Üretim | Ülkeler  | <i>COCMc</i> | <i>FERMc</i> | <i>FWSMc</i> | <i>STXc</i> |
|--------|----------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 2008   | Ukrayna  | 0,0000       | 0,0000       | 0,9144       | 0,0000      |
|        | İtalya   | 0,8929       | 0,9975       | 1,0000       | 0,5638      |
|        | Rusya    | 0,9106       | 0,8162       | 0,5489       | 0,0048      |
|        | Almanya  | 0,9673       | 0,9922       | 0,9340       | 0,3094      |
|        | İran     | 0,9996       | 0,9355       | 0,9997       | 0,3319      |
|        | ABD      | 1,0000       | 1,0000       | 0,0000       | 1,0000      |
| 2019   | Rusya    | 0,0000       | 0,0000       | 0,4973       | 0,0000      |
|        | İtalya   | 0,8386       | 0,9995       | 0,9679       | 1,0000      |
|        | Hollanda | 0,8603       | 1,0000       | 0,3185       | 0,2302      |
|        | Polonya  | 0,9421       | 0,9996       | 0,9260       | 0,0604      |
|        | Almanya  | 0,9747       | 0,8828       | 0,7399       | 0,1804      |
|        | Belçika  | 0,9811       | 0,9813       | 0,6598       | 0,2385      |
|        | İspanya  | 0,9841       | 0,7763       | 1,0000       | 0,7463      |
|        | İran     | 0,9999       | 0,2937       | 0,9998       | 0,0559      |
| 2021   | ABD      | 1,0000       | 0,9889       | 0,0000       | 0,0964      |
|        | Rusya    | 0,0000       | 0,3723       | 0,4829       | 0,0000      |
|        | Çin      | 0,6226       | 0,8318       | 1,0000       | 0,0474      |
|        | ABD      | 0,8540       | 0,9928       | 0,0000       | 0,6989      |
|        | İtalya   | 0,9052       | 1,0000       | 0,9188       | 0,9856      |
|        | Ukrayna  | 0,9455       | 0,0000       | 0,8704       | 0,1519      |
|        | Polonya  | 0,9749       | 0,9993       | 0,8692       | 0,1133      |
| 2022   | İspanya  | 0,9810       | 0,9725       | 0,9776       | 1,0000      |

|  |         |        |        |        |        |
|--|---------|--------|--------|--------|--------|
|  | Almanya | 0,9987 | 0,9673 | 0,8183 | 0,1857 |
|  | İran    | 1,0000 | 0,7961 | 0,9993 | 0,0153 |

Tablo 13 ve Tablo 14’te yer alan normalize karar matrisleri üzerinde CRITIC yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen kriter ağırlıklıkları bütünleşik bir gösterim ile Tablo 15’te yer almaktadır.

**Tablo 15:** Kriterlerin önem ağırlıkları

| Üretim        | Yıllar | <i>COCMc</i> | <i>FERMc</i> | <i>FWSMc</i> | <i>IOCMc</i> | <i>STXc</i> |
|---------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Demir Cevheri | 2008   | 0,1936       | 0,1653       | -            | 0,1593       | 0,4818      |
|               | 2021   | 0,2709       | 0,2050       | -            | 0,2085       | 0,3156      |
|               | 2022   | 0,2599       | 0,1429       | -            | 0,3020       | 0,2953      |
| Hurda Malzeme | 2008   | 0,1779       | 0,1666       | 0,4150       | -            | 0,2405      |
|               | 2019   | 0,2075       | 0,2567       | 0,2996       | -            | 0,2362      |
|               | 2021   | 0,1923       | 0,2318       | 0,2797       | -            | 0,2962      |

Demir cevherinin ulusal kalkınma için stratejik bir kaynak olması nedeniyle yerli üretimin yanı sıra özellikle demir cevheri açısından yeterli kaynağa sahip olmayan ülkeler, kaynaklarının arz güvenliklerini sağlamak amacıyla ithalat kaynaklarına ulaşmak için de birbirleri ile rekabet etmektedirler (Hao ve diğerleri, 2018: 45). Küresel demir cevheri ticaret değerinin 2035 yılına kadar yıllık yaklaşık %5 oranında artacağı değerlendirilmektedir (Lundmark, 2018). Hurda malzemenin metal tüketimindeki küresel payının azalması, çelik ürünlerinin ve çelik üretiminde altyapının değişime uğramasıyla birlikte hurdanın bulunabilirlik ve üretime dahil edilmede daha da önemli bir hammadde kaynağı haline geleceği öngörülmektedir (Vercammen, Chalabyan, Ramsbottom, Ma ve Tsai, 2017: 3). Çalışmada Türkiye’nin demir çelik endüstrisinde ticaret ortakları ile hammadde bağımlılığının değerlendirilmesinde COBRA yöntemine ilişkin normalize karar matrisleri Tablo 16 ve Tablo 17’de yer almaktadır.

**Tablo 16:** Demir cevherinden üretim süreçlerine ilişkin normalize karar matrisi (COBRA)

| Üretim | Ülkeler    | <i>COCMc</i> | <i>FERMc</i> | <i>IOCMc</i> | <i>STXc</i> |
|--------|------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 2008   | Ukrayna    | 1,0000       | 1,0000       | 1,0000       | 0,0634      |
|        | Rusya      | 0,0894       | 0,1882       | 0,2117       | 0,0680      |
|        | Almanya    | 0,0328       | 0,0131       | 0,0126       | 0,3532      |
|        | İran       | 0,0005       | 0,0695       | 0,0713       | 0,3743      |
|        | ABD        | 0,0000       | 0,0054       | 0,0000       | 1,0000      |
| 2021   | Rusya      | 1,0000       | 0,6279       | 0,9567       | 0,0253      |
|        | ABD        | 0,1467       | 0,0076       | 0,0522       | 0,7165      |
|        | İtalya     | 0,0956       | 0,0004       | 0,0001       | 1,0000      |
|        | Ukrayna    | 0,0554       | 1,0000       | 1,0000       | 0,1755      |
|        | Polonya    | 0,0260       | 0,0011       | 0,0000       | 0,1374      |
|        | Almanya    | 0,0022       | 0,0331       | 0,0001       | 0,2089      |
|        | İran       | 0,0009       | 0,2042       | 0,0000       | 0,0405      |
| 2022   | Rusya      | 1,0000       | 1,0000       | 0,8269       | 0,0892      |
|        | İtalya     | 0,1463       | 0,0000       | 0,0001       | 1,0000      |
|        | Kazakistan | 0,0101       | 0,3139       | 0,0000       | 0,0037      |
|        | Ukrayna    | 0,0048       | 0,4268       | 1,0000       | 0,1851      |
|        | Almanya    | 0,0036       | 0,1025       | 0,0003       | 0,3287      |
|        | İspanya    | 0,0003       | 0,0342       | 0,0000       | 0,4959      |
|        | İran       | 0,0002       | 0,5158       | 0,0001       | 0,0609      |

**Tablo 17:** Hurda malzemeden üretim süreçlerine ilişkin normalize karar matrisi (COBRA)

| Üretim | Ülkeler  | <i>COCMc</i> | <i>FERMc</i> | <i>FWSMc</i> | <i>STXc</i> |
|--------|----------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 2008   | Ukrayna  | 1,0000       | 1,0000       | 0,0859       | 0,0634      |
|        | İtalya   | 0,1071       | 0,0079       | 0,0004       | 0,5915      |
|        | Rusya    | 0,0894       | 0,1882       | 0,4513       | 0,0680      |
|        | Almanya  | 0,0328       | 0,0131       | 0,0664       | 0,3532      |
|        | İran     | 0,0005       | 0,0695       | 0,0007       | 0,3743      |
|        | ABD      | 0,0000       | 0,0054       | 1,0000       | 1,0000      |
| 2019   | Rusya    | 1,0000       | 1,0000       | 0,5028       | 0,0300      |
|        | İtalya   | 0,1614       | 0,0008       | 0,0324       | 1,0000      |
|        | Hollanda | 0,1397       | 0,0003       | 0,6816       | 0,2533      |
|        | Polonya  | 0,0579       | 0,0007       | 0,0742       | 0,0886      |
|        | Almanya  | 0,0253       | 0,1175       | 0,2603       | 0,2050      |
|        | Belçika  | 0,0189       | 0,0191       | 0,3404       | 0,2613      |
|        | İspanya  | 0,0159       | 0,2240       | 0,0003       | 0,7539      |
|        | İran     | 0,0001       | 0,7064       | 0,0005       | 0,0842      |
|        | ABD      | 0,0000       | 0,0114       | 1,0000       | 0,1235      |
| 2021   | Rusya    | 1,0000       | 0,6279       | 0,5172       | 0,0250      |
|        | Çin      | 0,3780       | 0,1685       | 0,0000       | 0,0712      |
|        | ABD      | 0,1467       | 0,0076       | 1,0000       | 0,7064      |
|        | İtalya   | 0,0956       | 0,0004       | 0,0812       | 0,9860      |
|        | Ukrayna  | 0,0554       | 1,0000       | 0,1296       | 0,1731      |
|        | Polonya  | 0,0260       | 0,0011       | 0,1309       | 0,1354      |
|        | İspanya  | 0,0198       | 0,0278       | 0,0224       | 1,0000      |
|        | Almanya  | 0,0022       | 0,0331       | 0,1817       | 0,2060      |
|        | İran     | 0,0009       | 0,2042       | 0,0007       | 0,0399      |

Çalışmada COBRA yönteminden elde edilen alternatiflerin sıralanmasına ilişkin bulgular Tablo 18’de yer almaktadır.

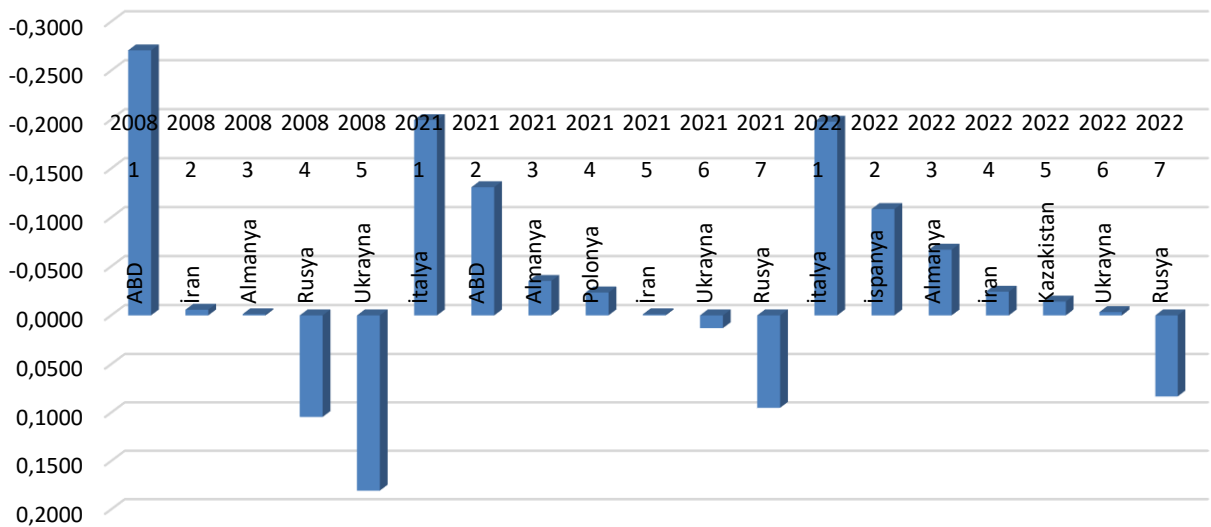
**Tablo 18:** Alternatiflere ilişkin sıra değerleri

| 2008 Demir Cevherinden Üretim |            |         | 2021 Demir Cevherinden Üretim |         |         |
|-------------------------------|------------|---------|-------------------------------|---------|---------|
| Sıra                          | Ülke       | $dC_i$  | Sıra                          | Ülke    | $dC_i$  |
| 1                             | ABD        | -0,2707 | 1                             | İtalya  | -0,1994 |
| 2                             | İran       | -0,0058 | 2                             | ABD     | -0,1309 |
| 3                             | Almanya    | -0,0012 | 3                             | Almanya | -0,0352 |
| 4                             | Rusya      | 0,1045  | 4                             | Polonya | -0,0234 |
| 5                             | Ukrayna    | 0,1806  | 5                             | İran    | -0,0011 |
|                               |            |         | 6                             | Ukrayna | 0,0130  |
|                               |            |         | 7                             | Rusya   | 0,0951  |
| 2022 Demir Cevherinden Üretim |            |         | 2008 Hurda Malzemeden Üretim  |         |         |
| Sıra                          | Ülke       | $dC_i$  | Sıra                          | Ülke    | $dC_i$  |
| 1                             | İtalya     | -0,1978 | 1                             | İtalya  | -0,0974 |
| 2                             | İspanya    | -0,1086 | 2                             | İran    | -0,0688 |
| 3                             | Almanya    | -0,0671 | 3                             | Almanya | -0,0653 |
| 4                             | İran       | -0,0242 | 4                             | ABD     | -0,0579 |
| 5                             | Kazakistan | -0,0141 | 5                             | Ukrayna | -0,0264 |
| 6                             | Ukrayna    | -0,0034 | 6                             | Rusya   | 0,0008  |
| 7                             | Rusya      | 0,0833  |                               |         |         |

| 2019 Hurda Malzemededen Üretim |          |         | 2021 Hurda Malzemededen Üretim |         |         |
|--------------------------------|----------|---------|--------------------------------|---------|---------|
| Sıra                           | Ülke     | $dC_i$  | Sıra                           | Ülke    | $dC_i$  |
| 1                              | İtalya   | -0,1659 | 1                              | İspanya | -0,1895 |
| 2                              | İspanya  | -0,1246 | 2                              | İtalya  | -0,1806 |
| 3                              | Belçika  | -0,0479 | 3                              | ABD     | -0,0697 |
| 4                              | Almanya  | -0,0461 | 4                              | Almanya | -0,0296 |
| 5                              | Polonya  | -0,0453 | 5                              | Polonya | -0,0220 |
| 6                              | Hollanda | -0,0325 | 6                              | Ukrayna | -0,0153 |
| 7                              | İran     | -0,0324 | 7                              | Çin     | -0,0067 |
| 8                              | ABD      | -0,0198 | 8                              | İran    | -0,0052 |
| 9                              | Rusya    | 0,0455  | 9                              | Rusya   | 0,0608  |

Tablo 18 incelendiğinde her iki üretim yönteminde de tüm yıllarda İtalya'nın performansının yüksek olması Türkiye ve İtalya arasında 1381 yılında başlayan ticarî ve 1856 yılında başlayan diplomatik ilişkilerin günümüzde devam etmesi ile ilişkilendirilmektedir (Canbulat, 2020: 1). Rusya ve İran gibi Türkiye'nin sınır komşusu olan ülkelerin sıralama değerleri incelendiğinde tüm dönemler için Rusya'nın, 2019 ve 2021 yıllarında hurda malzemededen üretim yöntemine göre İran'ın performans sıralamasının düşük olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Ülkelerin sınır komşusu oldukları ülkelerle görece daha az ithalat yapma eğilimi göstermeleri benzer ekonomik yapıları sahip olmaları nedeniyle ithal ürün gereksinmelerini komşu ülkelerden karşılayamamaları ile açıklanmaktadır. Bununla birlikte sınır komşusu olan ülkelerin iş çevrimlerinin yüksek oranda korele hareket etmeleri nedeniyle yatırımcıların katlandıkları risklerin bilgi eksikliğinden kaynaklı risklerden daha yüksek olmasıdır (Aşık ve Karadam, 2023; Ustalar, 2021). Dworak ve Fellner (2021) çalışmalarında Avrupa Birliği'nde hurda fazlasının çoğunluğunun Avrupa Birliği'nden ihraç edildiği bulgusuna ulaşmışlardır. Kesik (2020) ülkelere ilişkin demir cevheri ticaretinin, kullanımının ve üretiminin keskin sınırlara sahip olmadığını ifade etmektedir. Demir cevherinden üretim yapan ülkelere ilişkin sonuçların grafik ile gösterimine Şekil 6'da yer verilmiştir. COBRA yönteminin en küçük değeri en iyi alternatif kabul etmesi nedeniyle Şekil 6'da ve Şekil 7'de yer alan dikey eksen değerleri ters çevrilerek grafik oluşturulmuştur

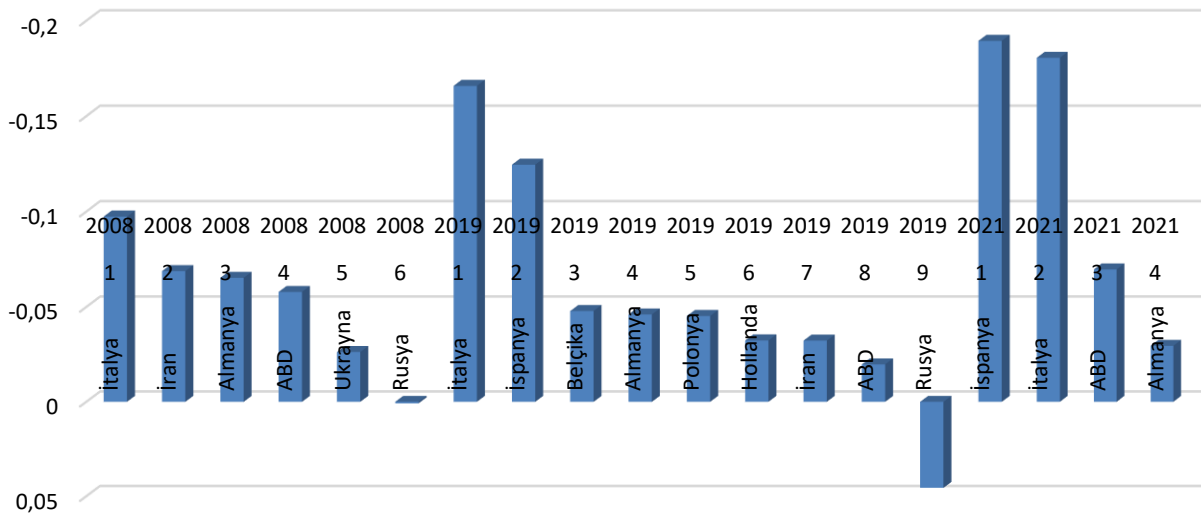
**Şekil 6:** Demir Cevherinden Üretim Süreçlerinde Alternatiflerin Sıra Değerlerinin Değişimi



Şekil 6 incelendiğinde 2021'den 2022'ye geçişle birlikte ülkelere ilişkin değerlerde yüksek değişimler olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte Rusya-Ukrayna gerilimine ait sonuçların da

değerlere yansıdığı ifade edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi olarak ilan edilen ve tüm dünyayı olumsuz bir şekilde etkisi altına alan COVID-19, doğal olarak ekonomik önemi olan ana metal sektörünü de etkilemiştir. Ana metal sektörü ürünlerinin, doğrudan veya dolaylı olarak girdi veya ara mamul olarak kullanıldığı diğer sektörler de bu durumdan olumsuz olarak etkilenmişlerdir (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022). Özellikle 2021 yılı ve sonrasında İtalya'ya ilişkin değerler de dikkat çekmektedir. Bu durum İtalya'nın Türkiye'nin önemli ticaret ortaklarından biri olması, çelik ürünlerin her iki ülkenin de önemli ihracat kalemlerinden birini oluşturması ve bu ürünlerin ticaretinin ekonomik ilişkilerde önemli bir yer tutması ile açıklanmaktadır. Hurda malzemeden üretim süreçlerinde Türkiye'nin ticaret ortaklarına ilişkin sonuçlar Şekil 7'de gösterilmektedir.

Şekil 7: Hurda Malzemeden Üretim Süreçlerinde Alternatiflerin Sıra Değerlerinin Değişimi



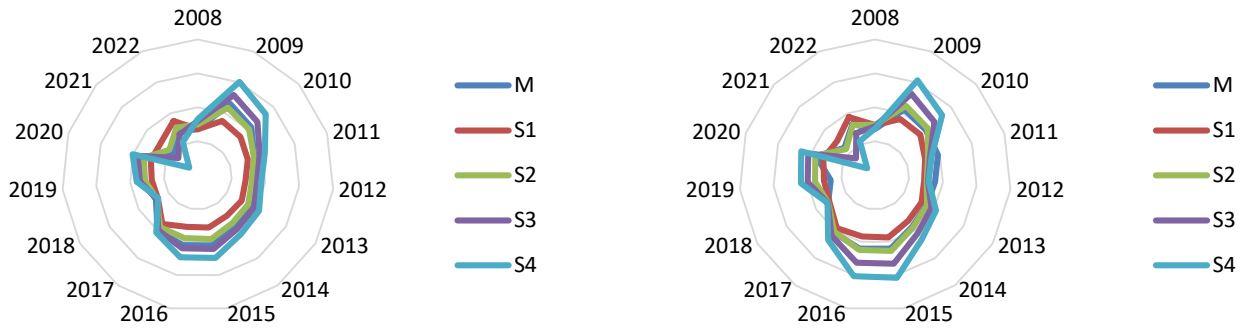
Grafik incelendiğinde özellikle 2019 yılı ve sonrasında İspanya'ya ait değerlerin artışı dikkat çekmektedir. Bu durum İspanya ve Türkiye'nin çelik üretim süreçlerine ilişkin oranların yakın olması ile ilişkilendirilmektedir. 2023 yılı değerlerine göre İspanya'da üretilen 11.4 milyon ton çeliğin %28.1'i demir cevherinden üretim yapan tesislerde, %71.9'u ise hurda malzemeden üretim yapan tesislerde gerçekleştirilmiştir. Aynı dönem Türkiye'de 33.7 milyon tonluk çelik üretiminin %28.4'ü demir cevherinden üretim yapan tesislerde, %71.6'lık kısmı ise hurda malzemeden üretim yapan tesislerde gerçekleştirilmiştir ("World Steel Association," 2023). Almanya'nın ise Türkiye'nin istikrarlı bir demir çelik ortağı olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Şekil 6 ve 7'de yer alan ülkelerin üretim yöntemleri fark etmeksizin başlıca çelik üreten veya ihraç eden ülkeler arasında yer alması ve bu konumlarına kıyasla Türkiye'nin bu ülkeler ile hammadde ithalatı, üretim ve ihracat perspektifinde ülkelerin yüksek performans sergilemeleri sonuçlar üzerinde uyumsuzluk bulgusu olarak değerlendirilmemelidir. Bu durumda dikkat çekilmek istenen nokta madencilik faaliyetlerinde veya hurda malzemenin geri dönüştürülmesinde demir çelik sektörü için işçilik ve enerji fiyatlarının önemli maliyet unsurları arasında sayılmalarıdır. Bununla birlikte Türkiye'nin hurda demir ticaret ağında kaynak çeşitliliği yaratmayı başarabilen ülkeler arasında olduğu ifade edilmektedir (Çetin ve Filiz, 2023: 180). Tablo 18'den hareketle ülkelerin ana metal sanayi içerisinde yer alan sektörleriyle dış ticaretlerini kontrol etme eğiliminde oldukları çıkarımına ulaşılabilmektedir. Dünyada son dönemde artan çelik kapasitesi, G-20 Başkanlığında kurulan Küresel Çelik Kapasitesi Fazlalığına İlişkin Forum (GFSEC)'ün kurulmasına sebep olmuştur. Çelik arzının özellikle Çin tarafından baskın bir şekilde piyasada rekabet edebilirliği azaltması, son dönemde OECD tarafından yayımlanan raporlarda görüldüğü üzere, ülkeleri kendi çelik sektörlerini korumaya

yönelik politikalar oluşturmaya itmiştir (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2021). Ayrıca Şekil 2’de özellikle son dönemde İtalya ve İspanya’nın çelik üretimindeki olası değişikliklerin Türkiye’nin Avrupa pazarındaki rekabet avantajını ve stratejilerini etkileyebilirliğine işaret ettiği değerlendirilmektedir. Bu bağlamda çalışmada uygulanan yöntemlerden elde edilen sonuçların teori ve beklentileri karşıladığı ifade edilmektedir.

### 5.3 Duyarlılık Analizleri

Çalışmada duyarlılık analizleri öncelikli olarak kriter ağırlıklarına ilişkin farklı senaryoların uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda yöntem kısmında açıklanan dört senaryo  $S$  ile ifade edilmiştir. Çalışmanın mevcut bulguları ise  $M$  ile gösterilmektedir. Duyarlılık analizleri ülkeler ve yıllar üzerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Türkiye’nin demir çelik endüstrisinde hammadde bağımlılığına ilişkin sonuçların grafik ile gösterimi Şekil 8’de sunulmuştur.

**Şekil 8:** Yıllara Göre Ağırlıkları Dikkate Alan Duyarlılık Analizleri

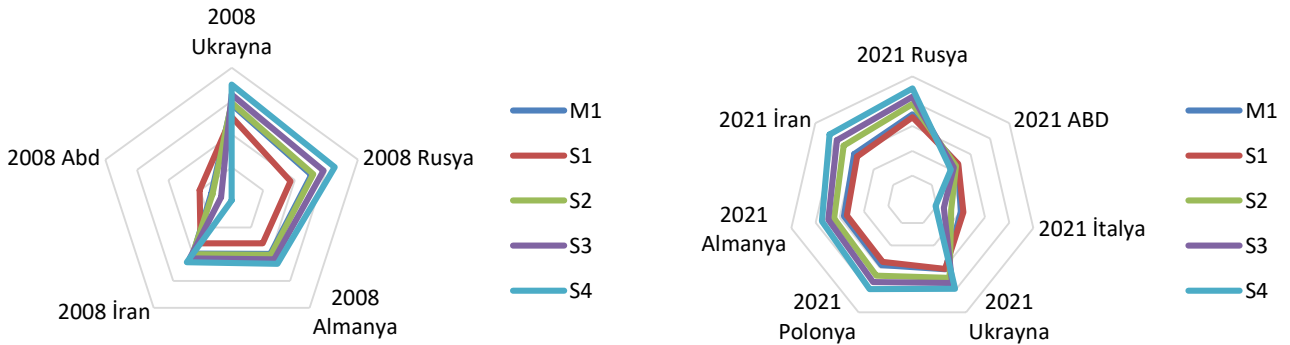


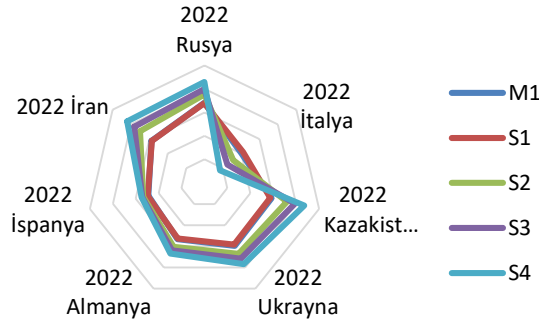
Demir Cevherinden Üretim

Hurda Malzemeden Üretim

Şekil 8 incelendiğinde her bir kritere eşit ağırlığın verildiği  $S_1$  senaryosunun diğer senaryolardan ve mevcut çözümden farklı sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 9’da demir cevherinden üretim sürecine ilişkin Türkiye’nin demir çelik endüstrisinde ticaret ortakları ile hammadde bağımlılığının sonuçlarına ait duyarlılık analizlerinin grafik gösterimleri yer almaktadır.

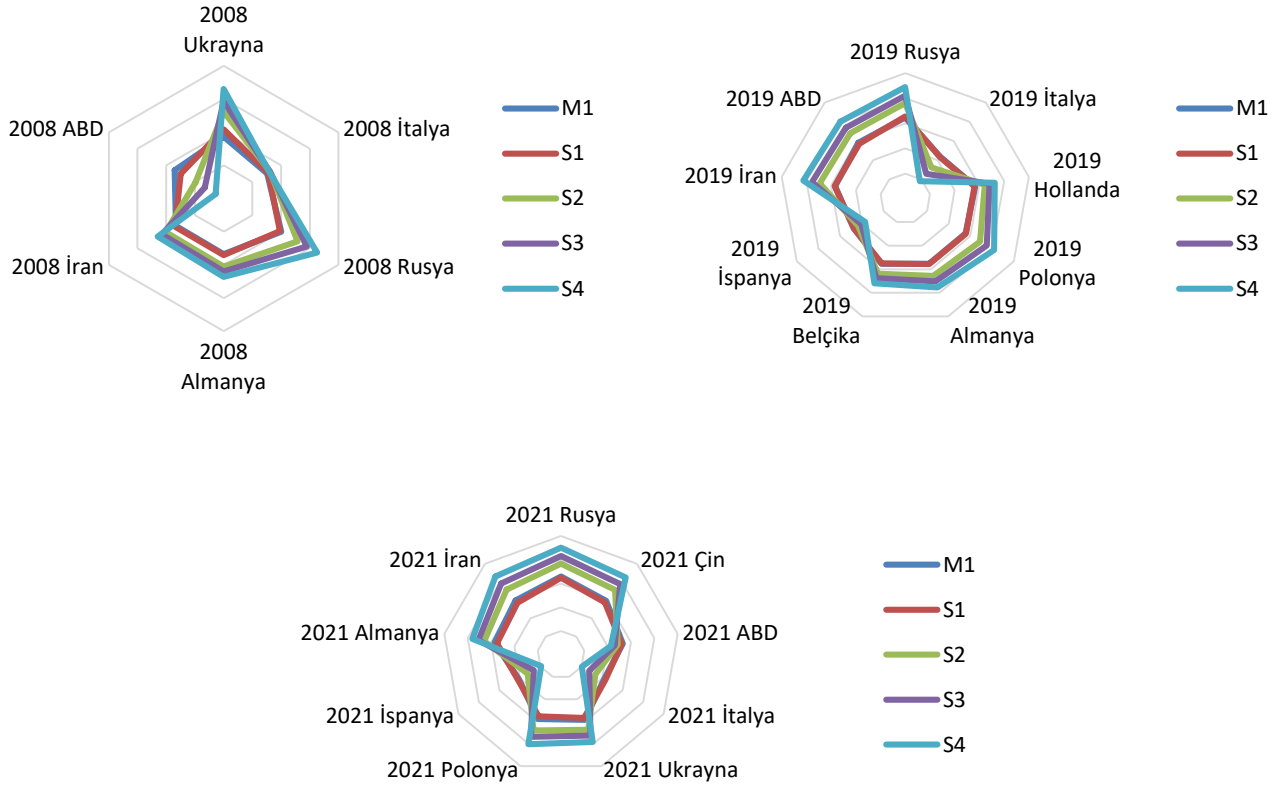
**Şekil 9:** Demir Cevherinden Üretimde Ülkelere Göre Ağırlıkları Dikkate Alan Duyarlılık Analizleri





Şekil 9 incelendiğinde benzer şekilde her bir kriter eşit ağırlığın verildiği  $S_1$  senaryosunun diğer senaryolardan ve mevcut çözümden farklı sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 10'da hurda malzemeden üretim sürecine ilişkin Türkiye'nin demir çelik endüstrisinde ticaret ortakları ile hammadde bağımlılığının sonuçlarına ait duyarlılık analizlerinin grafik gösterimleri yer almaktadır.

**Şekil 10:** Hurda Malzemeden Üretimde Ülkelere Göre Ağırlıkları Dikkate Alan Duyarlılık Analizleri



Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'daki grafikler incelendiğinde kriterlere eşit ağırlık verilmesi durumunda sonuçların farklılık gösterdiği görülmektedir. Karar verme süreçlerinin minimum hatayla sonuçlanması her bir kriterin göreceli önemini doğru bir şekilde belirleyen ağırlıklandırma yöntemlerine bağlıdır (Singh and Pant, 2021). Bu anlamda kriter ağırlıklandırmanın avantajları, önceliklerin belirlenmesi, daha kaliteli karar almanın teşvik edilmesi, karar matrisinde sunulan sınırlı bilginin etkin kullanımı ve karar verme birimlerinin iyi kararlara yönlendirilmesi olarak sayılmaktadır. ÇKKV tekniklerinde kriter önemlerinin yorumlanma ve hesaplanma biçimleri ile her kriterle ait seçeneklerin ağırlıklıklarının normalizasyon biçimleri arasında bir ilişki olması

beklenmektedir (Schoner ve Wedley, 1989). ÇKKV yöntemlerinde herhangi bir modelin yararlılığı, sonuçlarının kesinliğe yakınlığı veya güvenilirliğine bağlı olsa da kriterlerin göreceli önemlerinin belirlenmesi sonuçların değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Buna yardımcı olmak için duyarlılık analizinin kullanımı bilimin birçok alanında yaygınlaşmıştır ve artık metodolojinin güvenilirliğini ve doğruluğunu teyit etmede kritik bir adım ve yaygın olarak kabul edilmektedir (Maliene, Dixon-Gough ve Malys, 2018). Bu nedenle çalışmada tercih edilen ağırlıkların değiştirilmesiyle türetilen senaryolara dayalı duyarlılık analizlerinin beklenen sonuçları verdiği ve çalışmanın tutarlılığına işaret ettiği ifade edilmektedir. Çalışmada duyarlılık analizlerine en kötü alternatif bir sonraki değerlendirmeden çıkarılacak şekilde alternatifler üzerinde kurgulanan senaryolar ile devam edilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak Türkiye'nin demir çelik endüstrisinde hammadde bağımlılığına ilişkin duyarlılık analizlerine ilişkin sonuçlar Tablo 18'de sunulmuştur.

**Tablo 18:** Her iki üretim yöntemine göre alternatifleri dikkate alan duyarlılık analizleri

| Sonuçlar, Yıllar ve Sıralamalar |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |    |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|----|
|                                 | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     |        |      |    |
| M                               | 2021   | 2008   | 2022   | 2018   | 2012   | 2019   | 2011   | 2020   | 2013   | 2014   | 2017   | 2016   | 2015   | 2010   | 2009   | 2021   | S14  |    |
|                                 | -0,053 | -0,032 | -0,030 | -0,029 | -0,019 | -0,019 | -0,013 | -0,011 | -0,010 | -0,009 | 0,001  | 0,005  | 0,005  | 0,006  | 0,016  | -0,001 |      |    |
| S1                              | 2021   | 2008   | 2018   | 2022   | 2012   | 2019   | 2011   | 2013   | 2020   | 2014   | 2017   | 2016   | 2015   | 2010   | 2008   | 2021   | S13  |    |
|                                 | -0,051 | -0,029 | -0,027 | -0,026 | -0,017 | -0,017 | -0,010 | -0,009 | -0,008 | -0,006 | 0,003  | 0,007  | 0,007  | 0,008  | 0,001  | -0,001 |      |    |
| S2                              | 2021   | 2008   | 2018   | 2022   | 2012   | 2019   | 2011   | 2013   | 2020   | 2014   | 2017   | 2016   | 2015   | 2012   | 2008   | 2021   | S12  |    |
|                                 | -0,050 | -0,027 | -0,025 | -0,025 | -0,015 | -0,015 | -0,008 | -0,007 | -0,007 | -0,005 | 0,005  | 0,008  | 0,009  | -0,003 | -0,007 | -0,015 |      |    |
| S3                              | 2020   | 2008   | 2018   | 2022   | 2019   | 2012   | 2011   | 2013   | 2020   | 2014   | 2017   | 2016   | 2011   | 2012   | 2008   | 2021   | S11  |    |
|                                 | -0,048 | -0,026 | -0,025 | -0,023 | -0,014 | -0,013 | -0,007 | -0,006 | -0,005 | -0,003 | 0,007  | 0,010  | -0,002 | -0,007 | -0,012 | -0,019 |      |    |
| S4                              | 2021   | 2018   | 2008   | 2022   | 2019   | 2012   | 2011   | 2020   | 2013   | 2014   | 2017   | 2019   | 2011   | 2012   | 2008   | 2021   | S10  |    |
|                                 | -0,040 | -0,021 | -0,020 | -0,017 | -0,012 | -0,009 | -0,004 | -0,003 | -0,002 | -0,001 | -0,010 | -0,001 | -0,002 | -0,006 | -0,014 | -0,016 |      |    |
| S5                              | 2021   | 2018   | 2008   | 2022   | 2019   | 2012   | 2011   | 2020   | 2013   | 2014   | 2018   | 2019   | 2011   | 2012   | 2008   | 2021   | S9   |    |
|                                 | -0,038 | -0,021 | -0,019 | -0,016 | -0,013 | -0,010 | -0,004 | -0,003 | -0,002 | -0,002 | -0,000 | -0,001 | -0,003 | -0,007 | -0,014 | -0,015 |      |    |
| S6                              | 2021   | -2018  | 2008   | 2022   | 2019   | 2012   | 2011   | 2020   | 2013   | 2013   | 2018   | 2019   | 2011   | 2012   | 2008   | 2021   | S8   |    |
|                                 | -0,037 | -0,020 | -0,017 | -0,015 | -0,011 | -0,008 | -0,003 | -0,001 | 0,000  | -0,001 | -0,002 | -0,003 | -0,006 | -0,009 | -0,016 | -0,018 |      |    |
| S7                              | 2021   | 2018   | 2008   | 2022   | 2019   | 2012   | 2011   | 2020   | 2022   | 2013   | 2019   | 2018   | 2011   | 2012   | 2008   | 2021   | S7   |    |
|                                 | -0,035 | -0,019 | -0,015 | -0,013 | -0,010 | -0,007 | -0,002 | -0,001 | 0,000  | -0,001 | -0,004 | -0,005 | -0,007 | -0,011 | -0,016 | -0,020 |      |    |
| S8                              | 2021   | 2018   | 2008   | 2019   | 2022   | 2012   | 2011   | 2014   | 2013   | 2022   | 2019   | 2018   | 2011   | 2012   | 2008   | 2021   | S6   |    |
|                                 | -0,029 | -0,016 | -0,011 | -0,008 | -0,008 | -0,004 | 0,000  | 0,000  | -0,003 | -0,004 | -0,007 | -0,008 | -0,011 | -0,014 | -0,020 | -0,024 |      |    |
| S9                              | 2021   | 2018   | 2008   | 2022   | 2019   | 2012   | 2011   | 2020   | 2014   | 2013   | 2022   | 2019   | 2018   | 2011   | 2012   | 2008   | 2021 | S5 |
|                                 | -0,027 | -0,014 | -0,008 | -0,006 | -0,005 | -0,002 | 0,001  | -0,002 | -0,005 | -0,006 | -0,008 | -0,010 | -0,013 | -0,016 | -0,023 | -0,027 |      |    |
| S10                             | 2021   | 2018   | 2008   | 2022   | 2019   | 2010   | 2020   | 2014   | 2013   | 2022   | 2019   | 2018   | 2011   | 2012   | 2008   | 2021   | S4   |    |
|                                 | -0,024 | -0,011 | -0,004 | -0,002 | -0,001 | -0,002 | -0,001 | -0,004 | -0,007 | -0,008 | -0,010 | -0,012 | -0,015 | -0,018 | -0,025 | -0,029 |      |    |
| S11                             | 2021   | 2018   | 2022   | 2008   | 2017   | 2010   | 2020   | 2014   | 2013   | 2022   | 2019   | 2018   | 2011   | 2012   | 2008   | 2021   | S3   |    |
|                                 | -0,019 | -0,008 | 0,001  | 0,004  | 0,011  | 0,003  | -0,001 | -0,003 | -0,007 | -0,009 | -0,009 | -0,012 | -0,014 | -0,018 | -0,026 | -0,030 |      |    |
| S12                             | 2021   | 2018   | 2022   | 2009   | 2017   | 2010   | 2020   | 2014   | 2013   | 2022   | 2019   | 2011   | 2018   | 2017   | 2008   | 2021   | S2   |    |
|                                 | -0,016 | 0,006  | 0,008  | 0,009  | 0,008  | 0,003  | -0,004 | -0,004 | -0,008 | -0,011 | -0,011 | -0,014 | -0,014 | -0,017 | -0,025 | -0,031 |      |    |
| S13                             | 2021   | 2018   | 2016   | 2009   | 2017   | 2010   | 2014   | 2020   | 2013   | 2019   | 2022   | 2011   | 2018   | 2012   | 2008   | 2021   | S1   |    |
|                                 | -0,023 | 0,004  | 0,011  | 0,008  | 0,006  | 0,002  | -0,005 | -0,006 | -0,010 | -0,013 | -0,016 | -0,016 | -0,017 | -0,020 | -0,029 | -0,036 |      |    |
| S14                             | 2021   | 2015   | 2016   | 2009   | 2017   | 2010   | 2011   | 2014   | 2020   | 2012   | 2013   | 2022   | 2018   | 2008   | 2019   | 2021   | M    |    |
|                                 | -0,023 | 0,010  | 0,010  | 0,006  | 0,004  | 0,000  | -0,003 | -0,007 | -0,008 | -0,012 | -0,012 | -0,018 | -0,018 | -0,032 | -0,034 | -0,039 |      |    |
|                                 | 15     | 14     | 13     | 12     | 11     | 10     | 9      | 8      | 7      | 6      | 5      | 4      | 3      | 2      | 1      |        |      |    |

Demir cevherinden üretim

Hurda malzemeden üretim

Tablo 18'de yer alan değerlerde demir cevherinden üretim süreçlerinde tüm senaryolar için 2021 yılının ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlarla paralellik gösterecek şekilde 2008 ve 2022 yıllarına ilişkin değerlerin de sıra numaralarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Hurda malzemeden üretim sürecinde ise tüm senaryolarda 2021 yılının en iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En düşük performansa ait sonuçların ise alternatif çıkarma yöntemine uygun şekilde sırasıyla analiz dışı kalması yöntemin tutarlılığına işaret etmektedir. Demir cevherinden üretim sürecine ilişkin Türkiye'nin demir çelik endüstrisinde ticaret ortakları ile hammadde bağımlılığının sonuçlarına ait alternatif odaklı duyarlılık analizlerinin sonuçları Tablo 19'da yer almaktadır.

**Tablo 19:** Demir cevherinden üretimde ülkeleri dikkate alan duyarlılık analizleri

| Yıllara Göre Sonuçlar, Ülkeler ve Sıralamalar |        |                    |                    |                    |                    |                       |                       |                 |
|-----------------------------------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
|                                               | Yıllar | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                     |                       |                 |
| M                                             | 2008   | ABD<br>-0,2707     | İran<br>-0,0057    | Almanya<br>-0,0012 | Rusya<br>0,1045    | Ukrayna<br>0,1806     |                       |                 |
| S1                                            | 2008   | ABD<br>-0,2493     | İran<br>-0,0217    | Almanya<br>-0,0245 | Rusya<br>0,1983    |                       |                       |                 |
| S2                                            | 2008   | ABD<br>-0,1531     | Almanya<br>0,0587  | İran<br>0,0592     |                    |                       |                       |                 |
| S3                                            | 2008   | ABD<br>-0,1405     | Almanya<br>0,1405  |                    |                    |                       |                       |                 |
| S4                                            | 2008   | ABD<br>-0,1405     |                    |                    |                    |                       |                       |                 |
|                                               | Yıllar | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                     | 6                     | 7               |
| M                                             | 2021   | İtalya<br>-0,994   | ABD<br>-0,1309     | Polonya<br>-0,0234 | Almanya<br>-0,0352 | İran<br>-0,0011       | Ukrayna<br>0,0130     | Rusya<br>0,0951 |
| S1                                            | 2021   | İtalya<br>-0,1923  | ABD<br>-0,1243     | Almanya<br>-0,0308 | Polonya<br>-0,0187 | Ukrayna<br>-0,0200    | Rusya<br>0,1031       |                 |
| S2                                            | 2021   | İtalya<br>-0,1099  | ABD<br>-0,0521     | Almanya<br>-0,0102 | Polonya<br>0,0029  | Ukrayna<br>0,0347     |                       |                 |
| S3                                            | 2021   | İtalya<br>-0,0926  | ABD<br>-0,0216     | Almanya<br>0,0015  | Polonya<br>0,0147  |                       |                       |                 |
| S4                                            | 2021   | İtalya<br>-0,0684  | ABD<br>0,0010      | Almanya<br>0,0214  |                    |                       |                       |                 |
| S5                                            | 2021   | İtalya<br>-0,0667  | ABD<br>0,0667      |                    |                    |                       |                       |                 |
| S6                                            | 2021   | İtalya<br>-0,0667  |                    |                    |                    |                       |                       |                 |
|                                               | Yıllar | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                     | 6                     | 7               |
| M                                             | 2022   | İtalya<br>-0,1978  | İspanya<br>-0,1086 | Almanya<br>-0,0671 | İran<br>-0,0242    | Kazakistan<br>-0,0141 | Ukrayna<br>-0,0034    | Rusya<br>0,0833 |
| S1                                            | 2022   | İtalya<br>-0,1167  | İspanya<br>-0,0786 | Almanya<br>-0,0485 | İran<br>-0,0165    | Ukrayna<br>-0,0046    | Kazakistan<br>-0,0002 |                 |
| S2                                            | 2022   | İtalya<br>-0,1062  | İspanya<br>-0,0695 | Almanya<br>-0,0438 | İran<br>-0,0112    | Ukrayna<br>0,0042     |                       |                 |
| S3                                            | 2022   | İtalya<br>-0,0791  | İspanya<br>-0,0490 | Almanya<br>-0,0058 | İran<br>0,0074     |                       |                       |                 |
| S4                                            | 2022   | İtalya<br>-0,0444  | İspanya<br>-0,0293 | Almanya<br>0,0262  |                    |                       |                       |                 |
| S5                                            | 2022   | İspanya<br>-0,0145 | İtalya<br>0,0145   |                    |                    |                       |                       |                 |
| S6                                            | 2022   | İspanya<br>-0,0145 |                    |                    |                    |                       |                       |                 |

Tablo 20’de ise hurda malzemeden üretim sürecine ilişkin Türkiye’nin demir çelik endüstrisinde ticaret ortakları ile hammadde bağımlılığının sonuçlarına ait alternatif odaklı duyarlılık analizlerinin sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 20:** Hurda malzemeden üretimde ülkeleri dikkate alan duyarlılık analizleri

| Yıllara Göre Sonuçlar, Ülkeler ve Sıralamalar |        |                   |                 |                    |                |                    |                 |
|-----------------------------------------------|--------|-------------------|-----------------|--------------------|----------------|--------------------|-----------------|
|                                               | Yıllar | 1                 | 2               | 3                  | 4              | 5                  | 6               |
| M                                             | 2008   | İtalya<br>-0,0974 | İran<br>-0,0688 | Almanya<br>-0,0653 | ABD<br>-0,0579 | Ukrayna<br>-0,0264 | Rusya<br>0,0008 |
| S1                                            | 2008   | İtalya<br>-0,0944 | İran<br>-0,0693 | Almanya<br>-0,0652 | ABD<br>-0,0585 | Ukrayna<br>-0,0237 |                 |
| S2                                            | 2008   | İtalya<br>-0,0698 | İran<br>-0,0606 | Almanya<br>-0,0482 | ABD<br>-0,0341 |                    |                 |
| S3                                            | 2008   | İtalya<br>-0,0781 | İran<br>-0,0673 | Almanya<br>0,0164  |                |                    |                 |
| S4                                            | 2008   | İtalya<br>-0,0132 | İran<br>0,0132  |                    |                |                    |                 |
| S5                                            | 2008   | İtalya<br>-0,0132 |                 |                    |                |                    |                 |

|    | Yıllar | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                  | 6                   | 7               | 8                   | 9               |
|----|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| M  | 2019   | İtalya<br>-0,1659  | İspanya<br>-0,1246 | Belçika<br>-0,0479 | Almanya<br>-0,0461 | Polonya<br>-0,0453 | Hollanda<br>-0,0325 | İran<br>-0,0324 | ABD<br>-0,0198      | Rusya<br>0,0455 |
| S1 | 2019   | İtalya<br>-0,1017  | İspanya<br>-0,0946 | Belçika<br>-0,0348 | Almanya<br>-0,0284 | Polonya<br>-0,0249 | İran<br>-0,0261     | ABD<br>-0,0153  | Hollanda<br>-0,0100 |                 |
| S2 | 2019   | İtalya<br>-0,1026  | İspanya<br>-0,0946 | Belçika<br>-0,0367 | Almanya<br>-0,0286 | Polonya<br>-0,0268 | İran<br>-0,0266     | ABD<br>-0,0193  |                     |                 |
| S3 | 2019   | İtalya<br>-0,0930  | İspanya<br>-0,0860 | Belçika<br>-0,0177 | İran<br>-0,0179    | Polonya<br>-0,0140 | Almanya<br>-0,0100  |                 |                     |                 |
| S4 | 2019   | İtalya<br>-0,0920  | İspanya<br>-0,0866 | Belçika<br>-0,0212 | İran<br>-0,0183    | Polonya<br>-0,0105 |                     |                 |                     |                 |
| S5 | 2019   | İtalya<br>-0,0841  | İspanya<br>-0,0804 | Belçika<br>-0,0139 | İran<br>-0,0095    |                    |                     |                 |                     |                 |
| S6 | 2019   | İtalya<br>-0,0682  | İspanya<br>-0,0403 | Belçika<br>0,0015  |                    |                    |                     |                 |                     |                 |
| S7 | 2019   | İspanya<br>-0,0112 | İtalya<br>0,0112   |                    |                    |                    |                     |                 |                     |                 |
| S8 | 2019   | İspanya<br>-0,0112 |                    |                    |                    |                    |                     |                 |                     |                 |
|    | Yıllar | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                  | 6                   | 7               | 8                   | 9               |
| M  | 2021   | İspanya<br>-0,1895 | İtalya<br>-0,1806  | ABD<br>-0,0697     | Almanya<br>-0,0296 | Polonya<br>-0,0220 | Ukrayna<br>-0,0153  | Çin<br>-0,0067  | İran<br>-0,0052     | Rusya<br>0,0608 |
| S1 | 2021   | İspanya<br>-0,1695 | İtalya<br>-0,1549  | ABD<br>-0,0592     | Almanya<br>-0,0195 | Polonya<br>-0,0114 | Ukrayna<br>-0,0109  | Çin<br>-0,0031  | İran<br>0,0033      |                 |
| S2 | 2021   | İspanya<br>-0,1608 | İtalya<br>-0,1472  | ABD<br>-0,0534     | Almanya<br>-0,0147 | Polonya<br>-0,0065 | Ukrayna<br>-0,0057  | Çin<br>0,0035   |                     |                 |
| S3 | 2021   | İspanya<br>-0,1450 | İtalya<br>-0,1142  | ABD<br>-0,0323     | Almanya<br>-0,0073 | Polonya<br>0,0022  | Ukrayna<br>0,0083   |                 |                     |                 |
| S4 | 2021   | İtalya<br>-0,0958  | İspanya<br>-0,0834 | ABD<br>-0,0187     | Almanya<br>-0,0139 | Polonya<br>0,0134  |                     |                 |                     |                 |
| S5 | 2021   | İtalya<br>-0,0759  | İspanya<br>-0,0642 | ABD<br>-0,0024     | Almanya<br>0,0302  |                    |                     |                 |                     |                 |
| S6 | 2021   | İtalya<br>-0,0506  | İspanya<br>-0,0327 | ABD<br>0,0190      |                    |                    |                     |                 |                     |                 |
| S7 | 2021   | İspanya<br>-0,0033 | İtalya<br>0,0033   |                    |                    |                    |                     |                 |                     |                 |
| S8 | 2021   | İspanya<br>-0,0033 |                    |                    |                    |                    |                     |                 |                     |                 |

Demir cevherinden ve hurda malzemedan üretim süreçlerine ilişkin Türkiye'nin demir çelik endüstrisinde ticaret ortakları ile hammadde bağımlılığının sonuçlarına ait alternatif odaklı duyarlılık analizlerinin sonuçlarının mevcut sonuçlar ile uyumlu oldukları görülmektedir. Duyarlılık analizi, model oluşturma ve sonuç iletim sürecinde önemli bir adım olarak ifade edilmektedir. Duyarlılık analizi yoluyla model davranışı, yapısı ve model girdilerindeki değişikliklere verdiği yanıt hakkında temel bilgiler edinilmesine imkân vermektedir (Borgonovo ve Plischke, 2016). Çalışmada duyarlılık analizleri ile modeldeki değişkenlerin sonuçlar üzerindeki etkilerini sistematik bir şekilde incelenmiş, belirli parametrelerdeki değişikliklerin genel sonuçlar üzerindeki etkisi net ve tutarlı bir şekilde ortaya konulmuştur. Sonuçların yüksek uyumu, modelin tahmin gücünü ve sonuçların doğruluğunu artırarak, bulguların uygulama ve karar verme süreçlerinde güvenilir bir temel sunduğunu göstermektedir. Bu uyum, aynı zamanda modelin varsayımlarının ve yapı taşlarının doğru bir şekilde yansıtıldığını ve gerçek dünya verileriyle tutarlı bir şekilde çalıştığını ortaya koymaktadır. Çalışmada uygulanan yöntemlerden elde edilen bulguların kümülatif değerlendirmesine bir sonraki bölümde yer verilmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bir ekonominin belirli kaynaklara veya hammaddelere bağımlı olduğu durum olarak ifade edilen hammadde bağımlılığının, Türkiye'nin demir çelik endüstrisinde acil çözüm bekleyen konuları arasında yer alması gerektiği değerlendirilmektedir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinden elde edilen sonuçlar Türkiye'de çelik üretimi ve ihracatının önemine işaret etmektedir. Hammaddeler

arasında ise koklaşabilir taş kömürü ve hurda malzeme ithalatının diğerlerine göre daha yüksek önem düzeyine sahip oldukları görülmektedir. Her iki üretim yöntemine göre en iyi performansın sergilendiği yıl 2021 yılı olarak tespit edilmiştir. Bu dönem, Türkiye'nin kendi demir çelik tarihinde üretimde ve ihracatta en yüksek değerlere ulaştığı dönemdir. Bu değerlerin pandeminin etkisine, devlet sübvansiyonlarının bulunmamasına ve korumacılık politikalarına rağmen kaydedilmesi dikkat çekmektedir. Ülkeler özelinde uygulamada ise demir cevherinden üretimde ihracatın hurda malzemedan üretimde ise demirli atık ve hurda ithalatının diğer kriterlere kıyasla daha yüksek önem düzeyine sahip olduğu görülmektedir. Üretimin devamlılığının sağlanabilmesiyle ilişkilendirilen bu durumun Türkiye için de kritik düzeyde önem arz ettiği ifade edilmektedir. Çalışmada dış ticaret verimliliği açısından örneklik olarak elde edilen Türkiye'nin demir çelik üretimi, ihracatı ve hammadde dış ticaretinde en iyi performans gösteren ülkelerin demir çelik endüstrileri, nihai çıktılarındaki katma değerleri ve demir çelik endüstrilerinin diğer sektörler ile ilişkilerinin aynı zamanda Türkiye için örnek teşkil edebileceği ifade edilmektedir. Bu nedenle sektör özelinde Ar-Ge yatırımlarının, kamu öncülüğünde gerçekleştirilecek desteklerin ve teşviklerin öne çıktığı değerlendirilmektedir. Bu durum Finlandiya'da uygulanan çelik endüstrisinin pazarını ve paslanmaz çeliklerin yapı uygulamalarında kullanım sahasını genişletmeye yönelik uyguladığı RDD projesi ile örneklendirilmektedir (Kouhi, Talja, Salmi ve Ala-Outinen, 2000). Finlandiya'nın RDD stratejileri çelik endüstrisinde önemli ilerlemelere yol açmış, hem çevresel hem de ekonomik açıdan olumlu sonuçlar doğurmuştur. Çelik endüstrisinin geleceği açısından bu tür yenilikçi yaklaşımlar, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde önemli bir model teşkil etmektedir. Benzer şekilde Türkiye'nin de yerleşik metal sektörü ile ilgili konusunda akredite olmuş ve dünyada geçerliliği bulunan enstitülere, mükemmeliyet merkezlerine, Ar-Ge merkezlerine, test ve analiz laboratuvarlarına sahip olması küresel piyasa aktörlerinin de dikkatini çekmektedir. Türkiye'nin global hurda pazarları, demir çelik üretimi ve teknolojileri, vasıflı çelik, ısıtma işlem, endüstriyel kalıp üretimi, demir çelik sanayiinde dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 konusundaki bilgi paylaşımı gibi faaliyetlerinin ülkenin küresel ilişkilerini üst seviyelere çıkarması beklenmektedir (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022). Bu anlamda Türkiye'nin de Finlandiya örneğinde olduğu gibi araştırma, geliştirme ve yayınlama projesine ihtiyacı olduğu ifade edilmektedir. Bu durum iyi uygulama örnekleri arasında yer aldığı gibi aksi uygulamalarla da literatürde karşılaşılmıştır. 1980 sonrası dönemde İsveç'te üniversiteler, enstitüler ve araştırma merkezlerinin demir çelik endüstrisi için yürüttükleri proje çalışmalarının pratiğe alınması oldukça düşük seviyede yansımıştır. Bu durumun temel nedeni olarak uygulanan Ar-Ge sisteminin çeşitli sektörler arasındaki etkileşimsizliği gösterilmektedir (Höglund ve Persson, 1987). Türkiye'nin hurda ve cevherden oluşan üretim yapısı, Avrupa standartlarında faaliyet gösteren gemi geri dönüşüm endüstrisine sahip olması ve ülkede demir çelik endüstrisinin bir okul niteliği taşıyan köklü geçmişi dikkate alındığında İsveç örneğine benzer şekilde bir etkileşimsizlik ile karşı karşıya kalmayacağı değerlendirilmektedir. Paulik ve diğerleri (2013)'nin ifade ettiği gibi 2030 sonrasının hurda çağı olarak anılması nedeniyle Türkiye'nin kendi üretim yapısının bir gereği olarak hurda malzeme akışını, ticaretini ve kullanımını kontrol etmesi gerektiği önemli bir husus olarak vurgulanmaktadır. Demir çelik endüstrisinin rekabetçi ve daha sürdürülebilir üretim ve ticarete ulaşması adına çalışma sonuçlarından ulaşılan somut politikalar arasında ilk sırada Türkiye'nin kısa vadeli ticarî çelik yükümlülükleri ile uzun vadeli değer yaratma politikalarını optimize etmesi gerektiği yer almaktadır. Bu durumun da kamu öncülüğünde riskleri, maliyetleri ve kaliteyi dengeli bir şekilde teşvik edilmesiyle gerçekleştirileceği öngörülmektedir. Hurda malzemedan üretimde ağırlıklı bir paya sahip olan Türkiye'nin geleceğe yönelik artması muhtemel çelik talebini ve hurda arzını tahminlemeye yönelik projelere ihtiyacı olduğu görülmektedir. Çevresel regülasyonlar, sınırda karbon düzenlemesi ve bu politikaların sektör üzerinde oluşturacağı baskının daha iyi anlaşılabilmesi adına endüstrinin kısa vadede gelecek senaryoları üzerinde gölge karbon fiyat mekanizması üzerinden simülasyonlar gerçekleştirmesi ve elde edilen sonuçların iktisadî, malî ve ticarî stratejileri belirlemede ilgili paydaşlara sunulması alternatif bir öneri olarak değerlendirilmektedir. Çelik ürünlerin stratejik

yapısı, uluslararası ticaret üzerindeki belirleyiciliği ve niteliklerinin yükseltilmesi kamu öncülüğünde işletmeleri, üreticileri ve tedarikçileri ilgilendiren bir dizi teşvik ve iktisadî politikanın uygulamaya alınmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda demir çelik sektörünün ihracat kısıtlamaları ve ticaretin önündeki engellerden etkilenen özelliği dikkate alınarak örneğin Avrupa Çelik Derneği (EUROFER)'nin hurda ihracatını engellemek için hurda malzemenin de kritik hammaddeler listesine alınmasını talep etmesi gibi sektör özelinde oluşan kaygıların giderilmesi adına daha fazla uluslararası işbirliğine ihtiyaç duyduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Türkiye özelinde demir çelik endüstrisine ilişkin politika çıkarımlarının ekonomik, teknik, sosyal ve politik olması gerektiği kadar çevresel de olması gerektiği değerlendirilmektedir. Hâlihazırda demir çelik sektörü için oldukça önem arz eden karbon emisyonları ve küresel iklim krizi tedbirlerinin de aynı başlıklarda buluşması politika önerilerine dair genel bir çerçeveye ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir. Bu bağlamda Türkiye'nin öncelikli olarak paslanmaz ve vasıflı çelik yatırımlarını arttırması ve katma değeri yüksek ürünlere yönelmesi hem üretim hem de dış ticaret açısından önerilmektedir. Sınırdaki Karbon Düzenlemesi'nin etkileri de göz önüne alındığında demir çelik endüstrisi için kaynak kısıtı, haksız rekabet uygulamaları ve enerji fiyatları gibi konuların politik açıdan kapsamlı bir programa alınması gerektiği ifade edilmektedir. Dijital dönüşüm ve modernizasyonun sadece sektöre değil sektörün tüm paydaşlarına uygulanması üretim maliyetlerine azaltıcı etki edeceğinden rekabet avantajına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Sürdürülebilirlik, küresel iklim krizi ve uluslararası dinamikleri de içeren geleceğe dönük ulusal demir çelik stratejisinin oluşturulmasının sektör için elzem olacağı değerlendirilmektedir. Son olarak küresel hurda ticareti görünüm analizi, gemi söküm sanayinin demir çelik sanayi ile hammadde bağlamındaki ilişkilerinin ortaya çıkarılması ve hurda bağış konularının gelecek çalışmalar için bir vizyon oluşturabileceği değerlendirilmektedir.

---

## KAYNAKÇA

---

- Alkhuzaim, L., Kouhizadeh, M. ve Sarkis, J. (2022). Resource and natural resource dependence theories in supply chains. İç. W. Tate, L. Ellram ve L. Bals (Ed.), *Handbook of theories for purchasing, supply chain and management research*, (ss. 153-167). Elgar Business 2022. <https://doi.org/10.4337/9781839104503.00015>
- Aruldoss, M., Lakshmi, T. M. ve Venkatesan, V. P. (2013). A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43. <https://doi.org/10.12691/ajis-1-1-5>
- Aşık, S. A. ve Karadam, D. Y. (2023). Determinants of trade flows in Eurasian countries: evidence from panel gravity models. İ. Sözen ve A. H. Gencer (Ed.) *International Congress On Eurasian Economies*, (208-214 ss.). İzmir.
- Avinal, A., Tosun, C., Dağlı, S., Duhbacı, T. B. ve Şık, E. (2019). *Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı*. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayınları.
- Ayçin, E. (2020). Personel seçim sürecinde CRITIC ve MAIRCA yöntemlerinin kullanılması. *İşletme*, 1(1), 1-12.
- Bağlan, F. B., Başlıgil, H., Akarsu, C. H. ve İnan, U. H. (2022). Ağır sanayi çalışanlarının demografik özelliklerinin yaşam kaliteleri üzerindeki etkisinin analizi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 35, 1-13. <https://doi.org/10.20875/makusobed.1080416>
- Badi, I. ve Abdulshahed, A. (2021). Sustainability performance measurement for Libyan iron and steel company using rough AHP. *Journal of Decision Analytics and Intelligent Computing*, 1(1), 22-34. <https://doi.org/10.31181/jdaic1001202222b>
- Baş, D. (2023). *Türkiye’de çelik sektörünün karbonsuzlaşması: Mevcut Durum*. İstanbul: Sabancı Üniversitesi IPM Yayınları.
- Başkol, M. O. ve Bektaş, S. (2021). Türkiye demir-çelik sektörünün ürün haritalaması: Widodo yöntemiyle bir analiz. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 19(Özel Sayı), 57-84. <https://doi.org/10.35408/comuybd.973529>
- Bataille, C., Åhman, M., Neuhoﬀ, K., Nilsson, L. J., Fishedick, M., Lechtenböhmer, S., ... ve Rahbar, S. (2018). A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement. *Journal of Cleaner Production*, 187, 960-973. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.107>
- Biermann, R. ve Harsch, M. (2017). Resource dependence theory. İç. R. Biermann ve J. A. Koops (Ed). *Palgrave handbook of inter-organizational relations in world politics* (ss. 135-155), Palgrave Macmillian. [https://doi.org/10.1057/978-1-137-36039-7\\_6](https://doi.org/10.1057/978-1-137-36039-7_6)
- Binboğa, G. ve Özdil, T. (2021). Sürdürülebilirliğin işletme performansına etkisinin çok kriterli karar verme teknikleriyle incelenmesi. *International Review of Economics and Management*, 9(2), 182-199. <https://doi.org/10.18825/iremjournal.1003203>
- Borgonovo, E. ve Plischke, E. (2016). Sensitivity analysis: A review of recent advances. *European Journal of Operational Research*, 248(3), 869-887. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.032>
- Borji, K. M., Sayadi, A. R. ve Nikbakhsh, E. (2023). A novel sustainable multi-objective optimization model for steel supply chain design considering technical and managerial issues: a case study. *Journal of Mining and Environment*, 14(1), 295-319. <https://doi.org/10.22044/jme.2023.12556.2280>

- Canbulat, M. (2020). *Economic Relations Between Turkey & Italy*. Master's Degree Thesis. University of Politecnico Di Torino Department of Management & Production Engineering, Italy.
- Carvalho, A. ve Sekiguchi, N. (2015), *The structure of steel exports: Changes in specialisation and the role of innovation*, OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2015(07), <https://doi.org/10.1787/5jrxfmstf0xt-en>
- Chakraborty, S., Chattopadhyay, R. ve Chakraborty, S. (2020). An integrated D-MARCOS method for supplier selection in an iron and steel industry. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(2), 49-69. <https://doi.org/10.31181/dmame2003049c>
- Cheng, C., Chu, H., Zhang, L. ve Tang, L. (2024). Green supply chain for steel raw materials under price and demand uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 462, 142621. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142621>
- Cho, T. K. ve Hong, S. W. (1998). An applied study of the analytic network process to assess country conditions for Korean steel exports. *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, 23(3), 209-233.
- Çetin, B. ve Filiz, T. (2023). Küresel hurda demir ticareti ilişkilerinin sosyal ağ analizi yöntemiyle değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 158-182. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.1097376>
- Çınaroğlu, E. (2021). CRITIC temelli MARCOS yöntemi ile yenilikçi ve girişimci üniversite analizi. *Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 10(1), 111-133.
- Demir, G. ve Bircan, H. (2020). Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden BWM ve FUCOM yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 170-185. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.616766>
- 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. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H)
- Drees, J. M. ve Heugens, P. P. (2013). Synthesizing and extending resource dependence theory: A meta-analysis. *Journal of Management*, 39(6), 1666-1698. <https://doi.org/10.1177/0149206312471391>
- Dworak, S. ve Fellner, J. (2021). Potential and challenges of steel scrap recycling-a detailed analysis of the european scrap arisings and its quality. In *Proceedings Sardinia 2021 18th International Symposium on Waste Management and Sustainable Landfilling*. (1-9 ss.).
- Eğilmez, M. (2020). *2008 krizi üzerine*. *İktisat ve Toplum Dergisi*, 120. Erişim adresi: <https://iktisatvetoplum.com/2008-kriziuzerine-mahfi-egilmez-itd-120/#>
- Gabrijela, P., Đorde, P. ve Florentin, S. (2022). MEREC-COBRA approach in e-commerce development strategy selection. *Journal of Process Management and New Technologies*, 10(3-4), 66-74. <https://doi.org/10.5937/jouproman2203066P>
- Gajdzik, B. (2020). Consumption of steel in Poland-quantity analysis in time. *Organizacja i Zarządzanie: Kwartalnik Naukowy*, 1, 41-56. <https://doi.org/10.29119/1899-6116.2020.49.3>
- Gajdzik, B. ve Wolniak, R. (2022). Sensitivity of the steel sector to economic crises: Impact of the Covid-19 crisis on steel production in Poland. In T. Semwal ve F. Iqbal (Eds.) *Cyber-Physical Systems* (27-41 ss.). CRC Press.
- 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103653>

- Ghaleb, A. M., Kaid, H., Alsamhan, A., Mian, S. H. ve Hidri, L. (2020). Assessment and comparison of various MCDM approaches in the selection of manufacturing process. *Advances in Materials Science and Engineering*, 40392531. <https://doi.org/10.1155/2020/4039253>
- Ghosh, S., Raut, R. D., Mandal, M. C. ve Ray, A. (2023). Revisiting the nexus between sustainable supply chain management and the performance of steel manufacturing organizations: A case study from an emerging economy. *IEEE Engineering Management Review*, 51(1), 189-213. <https://doi.org/10.1109/EMR.2022.3233484>
- González, I. H. ve Kamiński, J. (2011). The iron and steel industry: a global market perspective. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 27(3), 5-28.
- González, J. I. V., González, D. F. ve González, L. F. V. (2020). Raw materials. In: *Operations and basic processes in ironmaking, topics in mining, metallurgy and materials engineering*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54606-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54606-9_1)
- Goswami, S. S., Behera, D. K., Mitra, S., Saleel, C. A., Saleh, B., Razak, A., ... ve Ketema, A. (2022). Development of entropy embedded COPRAS-ARAS hybrid MCDM model for optimizing EDM parameters while machining high carbon chromium steel plate. *Advances in Mechanical Engineering*, 14(10), 16878132221129702. <https://doi.org/10.1177/16878132221129702>
- Goswami, S. S., Jena, S. ve Behera, D. K. (2022). Selecting the best AISI steel grades and their proper heat treatment process by integrated entropy-TOPSIS decision making techniques. *Materials Today: Proceedings*, 60(2), 1130-1139. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.286>
- Gökkaya, A. ve Düğenci, M. (2018). Türkiye demir çelik sektörünün hammadde ve nihaî ürün gruplarına yönelik incelemesi ve üretim metotlarının analizi. İç. İ. Esen ve H. Çuğ (Eds.) *IV. Uluslararası Raylı Sistemler Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (476-488). Karabük: Karabük Üniversitesi Yayını.
- Güçlü, P. ve Muzac, G. (2024). Genişletilmiş gri MULTIMOORA yöntemi ile çok dönemli çok kriterli karar verme: Demir çelik sektöründe finansal performans değerlendirmesi örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19(1), 267-291. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.1373450>
- Hao, X., An, H., Sun, X. ve Zhong, W. (2018). The import competition relationship and intensity in the international iron ore trade: From network perspective. *Resources Policy*, 57, 45-54. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.01.005>
- Hill, V. R. (1999). Trade and environment: An empirical analysis of the technology effect in the steel industry. *Journal of Environmental Economics and Management* Volume, 38(3), 283-301. <https://doi.org/10.1006/jeem.1999.1085>
- Höglund, L. ve Persson, O. (1987). Communication within a national R&D-system: a study of iron and steel in Sweden. *Research Policy*, 16(1), 29-37. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(87\)90004-7](https://doi.org/10.1016/0048-7333(87)90004-7)
- ITC Trade Map. (t.y.). Trade statistics for international business development. Erişim adresi <https://www.trademap.org/Index.aspx>
- Joulazadeh, M. M. (2010). *Türk Demir Çelik Sanayinde 2009 Yılındaki Gelişmelerin Değerlendirilmesi*. Erişim adresi: <https://demircelik.com.tr/makale/turk-demir-celik-sanayi-nde-2009-y-305-l-305-ndaki-geli-351-melerin-de-287-erlendirilmesi-101>

- Karaatlı, M., Ömürbek, N., Budak, İ. ve Dağ, O. (2015). Çok kriterli karar verme yöntemleri ile yaşanabilir illerin sıralanması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (33), 215-228.
- Kargı, V. S. A. (2019). Evaluation of risk levels through an integrated SWARA and EDAS methods: A case study in steel fabrication company. İçinde V. Krystev, R. Efe ve E. Atasoy (Eds) *Theory and Practice in Social Sciences* (467-477 pp.) Sofia: St. Kliment Ohridski University Press.
- 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, 59-71.
- Kawecka, E., Percec, A. ve Radomska-Zalas, A. (2024). Use of the Simple Multicriteria Decision-Making (MCDM) Method for Optimization of the High-Alloy Steel Cutting Process by the Abrasive Water Jet. *Spectrum of Mechanical Engineering and Operational Research*, 1(1), 111-120. <https://doi.org/10.31181/smeor11202411>
- Keeney, R. L. ve Raiffa, H. (1976). *Decision with multiple objectives*, Cambridge University Press, Wiley.
- Kesik, A. Ç. (2020). *Çin demir cevheri ithalatının ve demir cevheri fiyatlarının dünya GSYİH üzerindeki etkisinin belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul). Erişim adresi: <https://polen.itu.edu.tr:8443/>
- Kim, S. K. ve Song, O. (2009). A MAUT approach for selecting a dismantling scenario for the thermal column in KRR-1. *Annals of Nuclear Energy*, 36(2), 145-150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anucene.2008.11.034>
- Koca, G. ve Behdioğlu, S. (2019). Yeşil tedarik zinciri yönetiminde çok kriterli karar verme: otomotiv ana sanayi örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 14(3), 675-698. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.491356>
- Koca, G. ve Yıldırım, S. (2020). Bulanık çok kriterli karar verme çalışmalarına yönelik bibliyometrik analiz: 2005-2019 dönemi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(2), 257-272. <https://doi.org/10.33905/bseusbed.787164>
- Korinek, J. ve Kim, J. (2010). Export restrictions on strategic raw materials and their impact on trade and global supply. *Journal of World Trade*, 45(2). <https://doi.org/10.1787/5kmh8pk441g8-en>
- Kouhi, J., Talja, A., Salmi, P. ve Ala-Outinen, T. (2000). Current R&D work on the use of stainless steel in construction in Finland. *Journal of Constructional Steel Research*, 54(1), 31-50. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.020>
- Kowalski, P. ve Legendre, C. (2023). *Raw materials critical for the green transition: Production, international trade and export restrictions*. OECD Trade Policy Papers 269, OECD Publishing.
- Krstić, M., Agnusdei, G. P., Miglietta, P. P., Tadić, S. ve Roso, V. (2022). Applicability of industry 4.0 technologies in the reverse logistics: a circular economy approach based on comprehensive distance based ranking (COBRA) method. *Sustainability*, 14(9), 5632. <https://doi.org/10.3390/su14095632>
- Lee, P. T. W. ve Yang, Z. (2018). *Multi-criteria decision making in maritime studies and logistics*. Springer: Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62338-2>
- Lundmark, R. (2018). Analysis and projection of global iron ore trade: A panel data gravity model approach. *Miner Econ*, 31, 191-202. <https://doi.org/10.1007/s13563-017-0125-8>

- Maliene, V., Dixon-Gough, R., ve Malys, N. (2018). Dispersion of relative importance values contributes to the ranking uncertainty: Sensitivity analysis of Multiple Criteria Decision-Making methods. *Applied Soft Computing*, 67, 286-298. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.03.003>
- Maniya, K. ve Bhatt, M. G. (2010). A selection of material using a novel type decision-making method: Preference selection index method. *Materials & Design*, 31(4), 1785-1789. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.11.020>
- Maity, S. R. ve Chakraborty, S. (2015). Tool steel material selection using PROMETHEE II method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78, 1537-1547. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6760-0>
- Mohaghar, A. ve Zarchi, E. S. (2015). Identification and ranking of projects funded by the steel industry by using of multi criteria decision making (MCDM). *Global Journal of Management Studies and Researches*, 2(1), 38-47.
- Mohammed, A., Yazdani, M., Oukil, A. ve Gonzalez, E. D. S. (2021). A hybrid MCDM approach towards resilient sourcing. *Sustainability*, 13(5), 2695. <https://doi.org/10.3390/su13052695>
- Mohan, K. ve Berkowitz, M. (1988). Raw materials procurement strategy: the differential advantage in the success of Japanese steel. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 24(1), 15-22. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1988.tb00200.x>
- Monajemzadeh, N., Yazdi, A. K., Hanne, T., Shirbabadi, S., Khosravi, Z. ve Guo, J. (2022). Identifying and prioritizing export-related CSFs of steel products using hybrid multi-criteria methods. *Cogent Engineering*, 9(1), 2077162. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2077162>
- Mousa, E., Wang, C., Riesbeck, J. ve Larsson, M. (2016). Biomass applications in iron and steel industry: An overview of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 1247-1266. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.061>
- Muslemani, H., Liang, X., Kaesehage, K., Ascui, F. ve Wilson, J. (2021). Opportunities and challenges for decarbonizing steel production by creating markets for 'green steel' products. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128127>
- New, R. (2010). Steel and steel-making raw materials. *Australian Commodities: Forecasts and Issues*, 17(1), 168-178.
- Oda, J., Akimoto, K. ve Tomoda, T. (2013). Long-term global availability of steel scrap. *Resources, Conservation and Recycling*, 81(C), 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.002>
- Önüt, S., Tuzkaya, U. R. ve Saadet, N. (2008). Multiple criteria evaluation of current energy resources for Turkish manufacturing industry. *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1480-1492. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.12.026>
- Özcan, A. ve Ömürbek, N. (2020). Bir demir çelik işletmesinin performansının çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, (8), 77-98. <https://doi.org/10.21733/ibad.714295>
- Özcan, B. ve Yilmazer, E. (2020). Demir çelik sektöründe yatırım kararının analitik hiyerarşi yöntemi (AHP) ile analizi. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 536-548.
- Özekenci, E. K. (2024). Entegre MCDM yöntemlerine dayalı uluslararası pazar seçimi: Demir çelik sektörüne ilişkin bir örnek çalışma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 27(1), 274-293. <https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.1440711>
- Pala, O. (2022). BIST Sigorta Endeksinde CRITIC ve MULTIMOOSRAL tekniklerine dayalı finansal analiz. *İzmir İktisat Dergisi*, 37(1), 218-235. <https://doi.org/10.24988/ije.939532>

- Pauliuk, S., Milford, R. L., Muller, D. B. ve Allwood, J. M. (2013). The steel scrap age. *Environmental Science & Technology*, 47(7), 3448-3454. <https://doi.org/10.1021/es303149z>
- Paulo, A. ve Krzak, M. (2018). Modern trade standards for steel raw materials. *Gosp. Sur. Miner*, 34(3), 5-30. <https://doi.org/10.24425/122585>
- Polat, E. G., Yücesan, M. ve Gül, M. (2023). A comparative framework for criticality assessment of strategic raw materials in Turkey. *Resources Policy*, 82, 103511. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103511>
- Prasad, R. V. ve Rajesh, R. (2023). Development of coating material for low carbon steels using MCDM. *International Journal of Enterprise Network Management*, 14(4), 299-315.
- Quader, M. A. ve Ahmed, S. (2016). A hybrid fuzzy mcdm approach to identify critical factors and co 2 capture technology for sustainable iron and steel manufacturing. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41, 4411-4430. <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2134-2>
- Rayhanizadeh, A. ve Anbarzadeh, A. (2021). Numerical investigation of the mutual influence of materials and energy in the electric arc furnace: A case study in Khorasan Steel Complex. *Journal of Environmental Friendly Materials*, 5(2), 45-49. DOR: 20.1001.1.25383620.2021.5.2.7.3
- Ren, H., Zhou, W., Makowski, M., Zhang, S., Yu, Y. ve Ma, T. (2023). A multi-criteria decision support model for adopting energy efficiency technologies in the iron and steel industry. *Annals of Operations Research*, 325(2), 1111-1132. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04548-z>
- Richmond, S., Millsteed, W. ve Wilson, R. (2006). Steel and steel making raw materials: prospects for iron ore, steel, metallurgical coal and nickel. *Australian Commodities: Forecasts and Issues*, 13(1), 115-136. <https://doi.org/10.3316/informit.080674486571037>
- Sanayi Genel Müdürlüğü. (2021). *Demir çelik sektörü raporu 2021*. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Sanayi Genel Müdürlüğü. (2022). *Demir çelik sektörü raporu 2021*. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Schoeman, Y., Oberholster, P. ve Somerset, V. (2021). A zero-waste multi-criteria decision-support model for the iron and steel industry in developing countries: A case study. *Sustainability*, 13(5), 2832. <https://doi.org/10.3390/su13052832>
- Schoner, B. ve Wedley, W. C. (1989). Ambiguous criteria weights in AHP: Consequences and solutions. *Decision Sciences*, 20(3), 462-475. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1989.tb01561.x>
- Singh, M. ve Pant, M. (2021). A review of selected weighing methods in MCDM with a case study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 12, 126-144. <https://doi.org/10.1007/s13198-020-01033-3>
- Singh, M., Pant, M., Godiyal, R. D. ve Kumar-Sharma, A. (2020). MCDM approach for selection of raw material in pulp and papermaking industry. *Materials and Manufacturing Processes*, 35(3), 241-249. <https://doi.org/10.1080/10426914.2020.1711917>
- Singh, R. K., Choudhury, A. K., Tiwari, M. K. ve Maull, R. S. (2006). An integrated fuzzy-based decision support system for the selection of lean tools: a case study from the steel industry. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: *Journal of Engineering Manufacture*, 220(10), 1735-1749. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM494>
- Spengler, T., Geldermann, J., Hähre, S., Sieverdingbeck, A. ve Rentz, O. (1998). Development of a multiple criteria based decision support system for environmental assessment of recycling

- measures in the iron and steel making industry. *Journal of Cleaner Production*, 6(1), 37-52. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00048-6)
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A. ve Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>
- Strezov, V., Evans, A. ve Evans, T. (2013). Defining sustainability indicators of iron and steel production. *Journal of Cleaner Production*, 51, 66-70. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.016>
- Tadić, S., Krstić, M. ve Radovanović, L. (2024). Assessing strategies to overcome barriers for drone usage in last-mile logistics: A novel hybrid fuzzy MCDM model. *Mathematics*, 12(3), 367. <https://doi.org/10.3390/math12030367>
- Taşcı, M. Z. (2024). MEREC ve CRADIS yöntemlerini içeren entegre bir ÇKKV modeli ile DASK özelinde bir uygulama. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 25(1), 35-53. <https://doi.org/10.31671/doujournal.1294336>
- Tehseen, S. ve Sajilan, S. (2016). Network competence based on resource-based view and resource dependence theory. *International Journal of Trade and Global Markets*, 9(1), 60-82. <https://doi.org/10.1504/IJTGM.2016.074138>
- Tezeren, A., Tan, S., Özdeş, N., Yücel, E. ve Aykın, N. (1981). *Özel sektör demir çelik tesislerinde envanter ve kapasite çalışmaları entegre tesislerde verimlilik ölçümleri*. Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları 245.
- Thanh, V. N., Tinh, N. V. ve Nhi, T. H. T. (2023). Strategic decision making at a steel industry assisted by fuzzy theory and multicriteria decision making model. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3341364>
- Tursun, S. S. ve Özkoç, H. H. (2022). Çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak tedarikçi seçim kararı ile ilgili yapılmış çalışmaların bibliyometrik analizi: 2000-2020. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 64-82.
- Türkiye Çelik Üreticileri Derneği [TÇÜD] (2016). *Demir çelik sektörü*. Erişim adresi: <https://celik.org.tr/demir-celik-sektoru/>
- Türkiye Taşkömürü Kurumu. (2023). *2022 yılı taşkömürü sektör raporu*. Ankara: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Tüyen, Z. (2016). *Türkiye’de dış ticaret politika ve uygulamaları*. İstanbul: Globus Dünya Basımevi.
- Ulutaş, A., Balo, F. ve Topal, A. (2023). A new hybrid MCDM method for optimizing natural stone selection for building envelopes. *Revista de la Construcción*, 22(3), 646-660. <http://dx.doi.org/10.7764/rdlc.22.3.646>
- Ustalar, S. A. (2021). Riskten korunma yaklaşımı çerçevesinde uluslararası hisse senedi yatırımları ile ticaret arasındaki ilişki. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 39(3), 475-490. <https://doi.org/10.17065/huniibf.794085>
- Uysal, U. (2015). *Demir çelik hurda ithalatında yaşanan sorunların belirlenmesi ve çözüm önerileri*. (Yüksek lisans tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Vercammen, S., Chalabyan, A., Ramsbottom, O., Ma, J. ve Tsai, C. (2017). *Tsunami Spring Tide or High Tide, The Growing Importance of Steel Scrap in China*. McKinsey & Company.

- Verma, R., Ajaygopal, K. V. ve Koul, S. (2022). *Circular supplier evaluation and selection using hybrid MCDM methods: Case of the steel manufacturing industry*. In. International Symposium of the Analytic Hierarchy Process 2022, 15-18 Aralık, Web Conference.
- Wang, C. N., Nguyen, T. L. ve Dang, T. T. (2022). Two-stage fuzzy MCDM for green supplier selection in steel industry. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 33(2), 1245-1260 <https://doi.org/10.32604/iasc.2022.024548>
- Wårell, L. (2014). Trends and developments in long-term steel demand the intensity of use hypothesis revisited. *Resources Policy*, 39, 134-143. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.12.002>
- Watari, T., Hata, S., Nakajima, K. ve Nansai, K. (2023). Limited quantity and quality of steel supply in a zero-emission future. *Nature Sustainability*, 6(3), 336-343. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-01025-0>
- World Steel Association. (t.y.). World steel in figures in 2008-2023. Erişim adresi: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/>
- Yakowitz, D. S., Lane, L. J. ve Szidarovszky, F. (1993). Multi-attribute decision making: dominance with respect to an importance order of the attributes. *Applied Mathematics and Computation*, 54(2-3), 167-181.
- Yaşar, O. (2013). Türk imalat sanayinde lokomotif bir sektör: Demir çelik sanayi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 20, 42-78.
- Yeh, C. H. ve Kuo, Y. L. (2020). Fuzzy multi-criteria selection of non-ferrous scrap metal suppliers. İç. *2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (ss. 841-847), IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMC42975.2020.9283322>
- Yıldırım, M., Bal, K. ve Doğan, M. (2021). Gri ilişkisel analiz yöntemi ile finansal performans analizi: BIST’te işlem gören demir çelik şirketleri üzerinde bir uygulama. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 23(1), 122-143. <https://doi.org/10.31460/mbdd.788840>
- Yücekaya, A. (2013). Managing fuel coal supply chains with multiple objectives and multimode transportation. *Engineering Management Journal*, 25(1), 58-70. <https://doi.org/10.1080/10429247.2013.11431966>
- Yücel, Ş. (2024). Karar verme teknikleri üzerinde yapılan çalışmaların bibliyometrik analizi. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 16(30), 153-172. <https://doi.org/10.20990/kilisiibfakademik.1442217>
- Zandieh, M. ve Aslani, B. (2019). A hybrid MCDM approach for order distribution in a multiple-supplier supply chain: A case study. *Journal of Industrial Information Integration*, 16, 100104. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.08.002>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. ve Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 122(6), 3-6. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>
- Zhang, H., Peng, Y., Tian, G., Wang, D. ve Xie, P. (2017). Green material selection for sustainability: A hybrid MCDM approach. *PloS one*, 12(5), e0177578. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177578>
- Zhang, L., Bai, W., Yu, J., Ma, L., Ren, J., Zhang, W. ve Cui, Y. (2018). Critical mineral security in China: an evaluation based on hybrid MCDM methods. *Sustainability*, 10(11), 4114. <https://doi.org/10.3390/su10114114>



© 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

### ***Raw Material Dependency in the Iron and Steel Industry According to Production Methods: A Research on Türkiye***

#### **1. Introduction**

Currently, the profitability and production indicators of industries are undergoing transformation due to environmental regulations that emphasize resource efficiency. The issue of raw material dependency, highlighted by this transformation, is assessed to affect the welfare of nations and the productivity levels of industries in this context. External factors such as raw material dependence, supply cuts, unfair competition practices in the steel industry, and the classification of production as methods that primarily use iron ore as the main input and the use of iron materials as the primary input require both the effective management of natural resources and the commercial management of the ore. Iron ore, recognized as a critical raw material, plays a significant role in the economic development of countries and intensifies competition among importers of iron ore. Countries with insufficient supply of iron ore appear to be competing for resources abroad in order to ensure security of supply (Hao et al., 2018). Decreasing iron ore reserves worldwide and increasing demand for iron and steel products adversely affect countries like Türkiye, which are net importers of ore, scrap, and coal. Along with environmental regulations, supply pressure is expected to rise further in the coming period. Considering Türkiye's production structure, cost efficiency in foreign trade and raw material procurement is emphasized as crucial for the country.

#### **2. Data Set and Method**

The import and export values from the data included in the study were obtained from the ITC Trade Map database, while raw steel production data were sourced from publications of the World Steel Association (2008-2023). Data distribution according to production types was calculated by the authors based on annual rates presented by the World Steel Association. The report prepared by Avinal et al. (2019) was consulted for identifying the primary raw materials used by the iron and steel industry according to production methods. The CRITIC and COBRA MCDM methods were sequentially employed in the study.

#### **3. Empirical Findings**

It has been concluded that the most significant criteria in both EAF and BOF methods are iron and steel exports and raw steel production. The importance of imported coking coal is observed to outweigh the importance of imports of other primary raw materials. Regarding Türkiye's iron and steel industry, it was found that the years with the best performance based on production methods from iron ore were 2021, 2008, and 2022, while based on scrap material, they were 2021, 2019, and 2008. The years 2009 and 2015 showed the lowest performance in both production methods. In a country-specific analysis, Italy was found to have the highest performance, while Russia had the lowest performance.

#### **4. Discussion and Conclusion**

It is considered that raw material dependency, defined as the situation where an economy relies on specific resources or raw materials, should be among the urgent issues requiring resolution in Türkiye's iron and steel industry. The study suggests that Türkiye's performance in iron and steel

production, exports, and raw material foreign trade, exemplified for efficiency in foreign trade, could serve as a model for other countries' iron and steel industries in terms of value-added outputs and their relationships with other sectors. In this case, sector-specific R&D investments, support and incentives that can be made under public leadership are considered to be highlighted. As indicated by Paulik et al. (2013), referred to as the era of scrap after 2030, it is emphasized as crucial for Türkiye to control the flow, trade, and utilization of scrap material as a necessity of its own production structure. Policy implications specific to Türkiye's iron and steel industry are evaluated to be not only economic, technical, social, and political but also environmental. Currently, it is noted that carbon emissions, which are highly significant for the steel sector, and measures addressing the global climate crisis, need to converge under the same headings in policy recommendations. In this context, it is recommended that Türkiye prioritize increasing investments in stainless and specialty steels and focus on high-value-added products, beneficial for both production and foreign trade. Considering the impacts of Border Carbon Adjustments, it is expressed that issues such as resource constraints, unfair competition practices, and energy prices need to be comprehensively addressed in a political program for the iron and steel industry. It is believed that digital transformation and modernization, when applied not only to the sector but also to all stakeholders, will reduce production costs and contribute to competitive advantage. Implementation of digital transformation and modernization not only to the sector but to all stakeholders in the sector is thought to contribute to the competitive advantage, as it will have a reducing effect on production costs. Lastly, the analysis of the global scrap trade outlook, uncovering the relationship of the ship dismantling industry with the iron and steel industry in the context of raw materials, and exploring issues related to scrap donations, is considered to formulate a vision for future studies.