



Article Info/Makale Bilgisi

✓Received/Geliş: 01.06.2024 ✓Accepted/Kabul: 17.09.2024

DOI:10.30794/pausbed.1494113

Research Article/Araştırma Makalesi

Ergün, Ü. R. (2024). "Türkiye'de Çelik Üretimi, Hurda Malzeme İthalatı ve Karbon Emisyonları Arasındaki İlişki: Yapısal Kırılmalı Zaman Serileri Analizi", *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, sayı 65, ss. 313-338.

TÜRKİYE'DE ÇELİK ÜRETİMİ, HURDA MALZEME İTHALATI VE KARBON EMİSYONLARI ARASINDAKİ İLİŞKİ: YAPISAL KIRILMALI ZAMAN SERİLERİ ANALİZİ

Ümit Remzi ERGÜN*

Öz

Bu çalışmada, küresel iklim krizi uyum tedbirleri ve çevresel regülasyonlar açısından uluslararası politik ve ticarî otoritelerin gündeminde yer alan demir çelik endüstrisi için çelik üretimi, demirli atık ve hurda ithalatı ile karbon emisyonları arasındaki ilişki Türkiye özelinde 1983-2023 dönemi kapsamında araştırılmıştır. Çalışmada sırasıyla KPSS -1992 durağanlık sınaması, LS-2004 tek yapısal kırılmalı birim kök testi, Gregory-Hansen (1996) kırılmalı eşbütünleşme testi, Hacker-Hatemi-J (2006) simetrik nedensellik ve Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testlerinden faydalanılmıştır. Simetrik nedensellik sonuçlarına göre demirli atık ve hurda malzeme ithalatından çelik üretimine doğru güçlü bir nedensellik ilişkisi olduğu görülmektedir. Bununla birlikte asimetrik nedensellik testi sonuçları da karbon emisyonlarının negatif şoklarından demirli atık ve hurda ithalatının pozitif şoklarına doğru ve ham çelik üretiminin negatif şoklarından demirli atık ve hurda ithalatının negatif şoklarına doğru tek yönlü nedenselliğin olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin demir çelik endüstrisinde yatırım ve ticaret politikaları ile endüstriyel gruplarını ve portföyünü iklim krizi etkilerine göre yeniden değerlendirmeye alması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: *Demir çelik, Hurda, Karbon emisyonları, Simetrik asimetrik nedensellik.*

TÜRKİYE'S STEEL PRODUCTION, SCRAP RAW MATERIAL IMPORTS AND CARBON EMISSIONS NEXUS: A STRUCTURAL BREAK TIME SERIES ANALYSIS

Abstract

In this study, the relationship between steel production, scrap imports, and carbon emissions in Türkiye was investigated for the period of 1983-2023. The study employed the KPSS-1992 stationarity test, the LS-2004 unit root test with a single structural break, the Gregory-Hansen (1996) cointegration test with a structural break, the Hacker-Hatemi J (2006) symmetric causality test, and the Hatemi J (2012) asymmetric causality test. According to the results of symmetric causality, a strong causal relationship was found from scrap material imports to steel production. Additionally, the results of the asymmetric causality test indicate one-way causality from negative shocks in carbon emissions to positive shocks in scrap imports, and from negative shocks in crude steel production to negative shocks in scrap imports. It is recommended that Türkiye reassess its investment and trade policies in the steel industry, as well as its industrial groups and portfolio, in light of the climate crisis.

Keywords: *Iron and Steel, Scrap, Carbon emissions, Symmetric asymmetric causality.*

*MSc., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ÇANAKKALE.
e-posta: umit.r.ergun@gmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-8967-1892>)

1. GİRİŞ

Kişisel ve endüstriyel faaliyetlerin her kıtada büyük ekosistemlerin doğal bütünlüğüne zarar vermesi bu ekosistemlere bağımlı toplumların güvenliğini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Bu tehdit konusundaki en endişe verici durumun çevresel eğilimlerin küresel olması ve tüm insanlık ile endüstrileri kapsamı içerisine alması olduğu ifade edilmektedir (Brown, 1998; Roseland, 2000). Sürdürülebilir kalkınmanın insanların ve kuruluşların farklı dünya görüşleri tarafından şekillendirilen teoriye sahip olması sorunların nasıl formüle edileceği ve politikaların nasıl belirleneceği konusunda kabul edilebilir büyüklükte bir etkiye sahiptir (Giddings vd., 2002). Bununla birlikte çevresel konuların gerçek bir sürdürülebilir kalkınmayı tanımlamak ve uygulamak için sinerjik ve tutarlı biçimde birçok aktör tarafından değerlendirme kriteri olarak öne sürüldüğü görülmektedir (Ianos vd., 2009). Bu kriterin çevre, toplum ve ürün üçlüsünü etkilediği ifade edilmektedir. Demir çelik ile çevre arasındaki bağlantı esasen bir malzeme olarak demir çeliğin sürdürülebilirliğine odaklanmakta, üretim ve kullanım açısından önemine atıfta bulunmakta ve toplum-çevre-malzeme üçlüsüne değer katmaktadır (Birat, 2020). Demir çelik endüstrisi ve karbon ilişkilerini inceleyen ampirik çalışmalar genellikle iki başlık altında sınıflandırılmaktadır. Birinci grupta yer alan çalışmalar belirli bir dönemde uluslararası karşılaştırmalara odaklanırken ikinci grupta yer alan çalışmalar ise belirli bir bölgede zaman içerisinde gözlemlenen değişimlere odaklanmaktadır (Oda ve Akimoto, 2022). Bu çalışma, ikinci grupta yer alan çalışmalara bir örnek olarak Türkiye özelinde çelik üretimi, karbon emisyonları ve demirli atık ve hurda malzeme ithalatı ilişkisini incelemeye almaktadır. Çalışma, belirli bir bölge olarak Türkiye’de zaman içerisinde gözlemlenen değişimlere odaklanırken küresel gelişmelerin etkilerini de demir çelik sektörünün uluslararası yapısını ve özellikle son dönemde sektörün birlikte anıldığı faktörler arasında sayılan sürdürülebilir kalkınma, çevresel regülasyonlar, üretim yöntemleri gibi faktörleri de göz önüne almaktadır. Küresel ölçekte sürdürülebilir bir kalkınmanın gerçekleşebilmesinin çevre, kaynak ve ekonomi arasındaki ilişkiye bağlı olması çalışmanın motivasyonunu oluşturmaktadır. Bu nedenle hali hazırda ülke ekonomilerinin lokomotif gücü veya temeli olarak nitelendirilen demir çelik sektörünün odak noktası haline geldiği değerlendirilmektedir. Çevresel etkiler, bu etkilerle mücadelede uygulanan çevresel regülasyonlar, kaynak ve malzeme akışları ile iktisadî faydalar arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması öncelikli bir ihtiyaç olarak ele alınmaktadır. Son on yılda inşaat, altyapı ve ulaştırma endüstrilerinde yaşanan gelişmeler nedeniyle çeliğe olan talebin artış gösterdiği görülmektedir. Dünyanın çelik tüketiminin 2050 yılına kadar yaklaşık 2500 milyon ton artacağı öngörülmektedir (Sahoo vd., 2019; Andersson vd., 2013). Çelik endüstrisi, küresel fosil yakıt kullanımından kaynaklanan doğrudan emisyonların %7-9'unu üretmektedir (World Steel Association, 2018). Endüstriler içerisinde demir çelik sektörü, tüm endüstriyel sektörlerin (kimyasallar ve petrokimyasallardan sonra) ikinci en büyük enerji tüketimine sahip endüstrisi olup, 2012’de toplam endüstriyel enerji kullanımının %22’sini ve endüstriyel doğrudan karbon emisyonlarının %31’ini oluşturmaktadır (International Energy Agency). Çeliğin birincil üretiminde enerji verimliliğinin iyileştirilmesinin yanı sıra çelik hurdasının geri dönüşümünün teşvik edilmesi, karbon emisyonlarını azaltmak ve çelik endüstrisini dairesel ekonomiye doğru yönlendirmek için önemli bir rol oynamaktadır. Uluslararası ticarete dünya ülkeleri arasında demirli atık ve hurda malzeme ithalatında ilk sırada bulunan Türkiye aynı zamanda başlıca çelik ihracatçıları ve üreticileri arasında da sayılmaktadır. Bu sonucun Türkiye’de demir çelik sanayisinin gelişiminin Avrupa örneğinde olduğu gibi doğrudan savaş ekonomisinin etkisiyle değil Türkiye’nin ekonomik kalkınmasının hedefine sanayileşmeyi koymasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Demir çelik sektörü, demir cevherinin artırılıp ham demir elde edilmesinden başlayarak bu demirin çeliğe dönüştürülmesini ve çelikten sıcak ve soğuk şekillendirme yöntemleri ile çubuk, profil, levha vb. ürünlerin üretimini kapsamaktadır (Tezeren, 1990: 3). Demir çelik sektörü diğer sektörlerle karşılaştırıldığında oldukça ayrıcalık gösteren bir sanayi kolu olarak değerlendirilmektedir. Sanayi kolları arasında gerek ileriye gerekse de geriye doğru bağlantı katsayısının yüksekliği, bu sektörün ülke ekonomisindeki hayatî önemine işaret etmektedir. Kalkınma ile demir çelik tüketimi arasındaki ilişki gelişmiş ya da gelişmekte olan tüm ülkelerin demir çelik endüstrisini kurup geliştirme arzuları için önemli bir nedendir (Tan, 1983). Bu anlamda sektörün ülkeler açısından ekonomik ve yapısal olarak önem arz ettiği değerlendirilmektedir. Sektörün genel anlamda yapısal özellikleri geniş üretim zinciri, yoğun teknoloji kullanımı, yüksek sermaye, sürdürülebilirlik, işgücü sahasının genişliği, küresel ticaret ve stratejik önem olarak ifade edilmektedir. Demir çelik sektörünün ekonomik özelliklerini ise yüksek arz talep dengesi, fiyat volatilitésinin bulunması, yatırım yoğunluğu, küresel rekabet ve çevresel etkiler olarak genellemek mümkündür (Tezeren, 1990; Glais, 1995; Wu, 2019; Erol ve Türkmen, 2020). Çevresel etkilerin ve sürdürülebilirlik politikalarının sektörün hem yapısal hem de ekonomik özellikleri arasında yer alması çalışmanın değişken ve yöntem seçiminde etkili olmuştur. Çalışmada Türkiye’de demir çelik üretiminin yapısına uygun olarak oluşturulan model ile incelemeye alınan dönem 1983-2023 olarak belirlenmiştir. 24 Ocak Kararları ile ihracata yönelik sanayileşme stratejileri doğrultusunda ivme kazanan Türkiye ekonomisinde dış ticaret rejiminin liberalleştirilmesi 1983 yılından sonra artan bir hızla sürdürülmüştür (Saçık, 2009). Bu anlamda 1983 yılı askerî rejim sonrası Türkiye’nin liberalleşme ve

yeni dünya düzenine entegre olması açısından önemli adımların uygulamaya alındığı dönemin başlangıcına karşılık gelmektedir (Eştürk, 2006).

Çelik üretim süreçleri enerji, kaynak ve emisyon yoğun olmasına rağmen farklı üretim rotaları, ürün karışımları ve süreçler nedeniyle ülkeden ülkeye önemli farklılıklar göstermektedir (Xylia, 2018). Türkiye'nin demir çelik üretiminin %28,4'ü demir cevherinden üretim yapan entegre tesislerde, %71,6'sı ise hurda malzemedan üretim yapan elektrikli veya indüksiyon ocaklı tesislerde gerçekleştirilmektedir (World Steel Association, 2024). Bu bilgidan hareketle Türkiye'nin üretim yapısının hurda malzeme ağırlıklı tesislerde gerçekleştiği ifade edilmektedir. Paulik ve diğerleri (2013), yirmi birinci yüzyılın sonunu çelik hurda çağı olarak isimlendirmektedir. Bununla birlikte Avrupa Çelik Birliği (EUROFER)'nin çelik hurdasının kritik hammaddeler listesine dahil edilmesi girişimleri Türkiye'deki üreticileri tedirgin etmektedir. Hali hazırda hurda arzında yaşanan problemlerin de etkisiyle demir çelik endüstrisine ait ihracat ve hurda ithalatı pazarlarının aynı çevresel ve sosyal standartlara sahip olmamasının konunun önemini pekiştirdiği ifade edilmektedir. Bu durumdan hareketle bu çalışma, Türkiye'de çelik üretimi, hurda malzeme ithalatı ve karbon emisyonları arasındaki ilişki ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Çelik endüstrisinde hurda geri dönüşümü karbon emisyonlarını azaltarak yeşil teknoloji geliştirmede önemli bir rol oynamaktadır (Sahoo vd., 2019). Sanayide sürdürülebilir uygulamalara yönelik son çağrılar, endüstriyel malzeme ve enerji kullanımındaki değişiklikler, malzeme ve enerji kaynaklarının bulunabilirliği ve kalitesi ile emisyonlar arasındaki karşılıklı ilişkilerin değerlendirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır (Ruth, 1995). Bu ihtiyaç, dünyanın başlıca çelik üreticileri arasında yer alan Türkiye gibi hammadde ithalatında dışa bağımlı, hurda malzemedan ağırlıklı üretim yapısına sahip, iklim krizi tedbirlerine uyum gösterme politikalarını benimseyen ülkeler için daha da önemli hale gelmektedir. Hurda malzeme ithalatı, karbon emisyonları ve çelik üretimi ilişkisinin Türkiye'de Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın projeksiyonu ile uyumlu olduğu da görülmektedir. Bu konuya Sanayi Genel Müdürlüğü firmaların, korozyon, karbon emisyonu gibi rekabet öncesi alanlarda Ar-Ge projeleri geliştirebilmelerinin ve Türkiye'deki sektörün hammadde, enerji ve çevre gibi ortak sorunlarının çözümünde beraber çalışılabilecekleri bir ortamın oluşturulmasının sektörün sürdürülebilir rekabetçiliği açısından önem taşıdığını belirterek değinmiştir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022). Bu bağlamda çalışmanın Türkiye özelinde hurda malzeme ithalatı, çelik üretimi ve karbon emisyonlarına ilişkin sorunları formülize etmesi ve ulusal politika önerilerini desteklemesi hedeflenmektedir. Bu çalışmanın öncelikli amacı, Türkiye özelinde ve ülkenin üretim yapısına uygun biçimde çelik üretimini karbon emisyonlarını da dikkate alarak uzun dönemli etkileşimleri ve nedensellikleri ortaya çıkarmaktır. Bu doğrultuda hurda hammadde ithalatının çelik üretimi ile ilişkisini ortaya çıkarmak, karbon emisyonlarının belirleyiciliğini belirtmek ve sektörü politik, çevresel ve ekonomik açıdan değerlendirmek ise çalışmanın diğer amaçları arasında sayılmaktadır. Çalışmanın, Türkiye'de çelik üretimi ve hammadde ithalatının sürdürülebilirliği açısından politika ve strateji önerileri geliştirmesi ve çelik endüstrisinde belirlenen projeksiyonları desteklemesi açısından literatüre katkı sunması beklenmektedir.

Çalışmada yöntem olarak zaman serileri analizlerinden faydalanılmıştır. Zaman serileri analizleri, serilerin zaman içerisindeki değişimlerini anlamak, tahminde bulunmak, karar süreçlerini desteklemek veya stratejik planlama ve politika çıkarımlarına ulaşmak için tercih edilmektedir. Yapısal kırılmalı zaman serileri ise zaman serisi serilerindeki yapısal değişiklikleri ve kırılmaları belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Yapısal kırılmaların veya değişim noktalarının analiz kökeni kalite kontrolünden gelmektedir (Page, 1954; Aue ve Horváth, 2012). Yapısal kırılmalı analizler veri aykırılıklarını tespit etme ve politika değişikliklerinin etkilerini kavrama açısından önem arz etmektedir. Çalışmada değişkenler arası ilişkileri anlamak ve ilişkilerin doğasını belirlemek adına simetrik ve asimetrik nedensellik testlerinden faydalanılmıştır. Hacker ve Hatemi-J (2006) tarafından literatüre kazandırılan simetrik nedensellik testi serilerin farklı derecelerde durağan olmalarına izin vermektedir. Bu testte kullanılacak kritik değerlerin veri setinin durumuna uygun olarak bootstrap ile belirlenmesi yöntemin avantajı olarak ifade edilmektedir. Gecikme sayısının haricen girilmesi zayıflık olarak görüldüğünden Hacker ve Hatemi-J (2012) testinde bu zayıflık giderilmiştir (Göçer ve Bulut, 2015). Çalışmada, değişkenler arası nedensellik ilişkilerinde bir değişkenin diğerini etkilerken bu etkinin yönünün ve büyüklüğünün değişebileceği ihtimali göz önüne alınarak asimetrik nedensellik testleri de uygulanmıştır. Nedensellik testlerinde pozitif değişimlerin nedensellik etkilerinin negatif değişimler ile aynı kabul edilmesi Hatemi-J (2012) tarafından eleştirilmiştir. Bu bağlamda asimetrik nedensellik testlerinde ilk önce hata terimleri sonrasında ise değişkenler pozitif ve negatif şoklara ayrılmaktadır (Yıldırım, 2015). Çalışmada kullanılan değişkenler arasında hurda malzeme ithalatı ve karbon emisyonları arasında asimetrik ilişki beklentisi nedeniyle asimetrik nedensellik testleri tercih edilmiştir. Bu çalışmanın organizasyon yapısı şu şekildedir: Takip eden bölümde çelik üretimi, hurda malzeme ithalatı ve karbon emisyonları kavramları Türkiye özelinde açıklanmıştır. Çalışmanın literatür araştırması başlığı altında demir çelik sektörünü hurda malzeme ithalatı, sürdürülebilirlik, karbon emisyonu gibi başlıklarda incelemeye alan teorik ve

ampirik çalışmalara yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde veri seti ve uygulamaya alınan modele ilişkin açıklayıcı bilgiler notasyon gösterimleriyle desteklenecek şekilde sunulmuştur. Dördüncü bölümde analiz sonuçlarından elde edilen bulgular literatür ile desteklenerek tartışılmıştır. Çalışmanın sonuç bölümünde ise politika önerileri ve gelecek çalışmalara ilişkin görüşlere yer verilmiştir.

2. TÜRKİYE'DE ÇELİK ÜRETİMİ, HURDA MALZEME İTHALATI VE KARBON EMİSYONLARI

Türkiye Cumhuriyeti, kuruluş yıllarında sınırlı kaynaklar zorlanarak “*bir karış fazla şimendifer*” politikasını esas almış ve ülkede “*demir ağlarla örmek*” gururunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir (Akçakaya, 2022: 58). Bu politika sayesinde vatanın bütün bölgelerinin birbirine çelik raylarla bağlanması plânlanmıştır. Türkiye Cumhuriyeti'nin çelik üretim kronolojisinde sanayi tarihçelerinin ilk üretimin Kırıkkale'de mi yoksa Karabük'te mi yapıldığı konusunda ihtilafta oldukları görülmektedir. Esasen, Türkiye'de çelik üretimi ilk olarak Kırıkkale'de konuşlu bulunan askerî tesislerde gerçekleştirilmiştir. Ancak o dönemde Kırıkkale tesislerinin askerî tesis olma özelliğinden ve Kırıkkale'de üretilen rayların kalitesine güvenilmediğinden dış sipariş alınmasına tereddütlü yaklaşmıştır. Bu nedenle Kırıkkale tesislerinde üretilen raylar kalite değerlendirmesi amacıyla İsviçre'ye gönderilerek sınamış ve standartların oldukça üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçların etkisiyle dış sipariş alımı gerçekleştirilmiştir (Tekeli, 2009: 3). Daha sonra Türkiye'nin sanayileşme programını ve hedefini özetleyen “*üç beyazlar-üç karalar*” sloganı un, şeker ve pamuk ile kömür, demir ve petrolün halkla buluşturulmasına vurgu yapmıştır. Nihayetinde “*fabrikalar kuran fabrika*” unvanına sahip Karabük Demir Çelik Fabrikaları'nda 9 Eylül 1939'da faaliyete geçen birinci yüksek fırından ilk demir 10 Eylül 1939'da alınmıştır (Cebecik, 2017: 50). Bu konuda çalışmada Türkiye'de üretilen demir ve çeliğin uluslararasılaşmadan önce kalitesinin ortaya çıkarılmasında Kırıkkale tesislerinin ve modern anlamda bir endüstri üretimi olarak da Karabük tesislerinin önemi dikkate alınarak tarihsel süreç içerisinde kronolojik başlangıç için ayırım yapılmasından imtina edilmiştir. Bu tarihten itibaren Türkiye'de çelik üretimi ivmelenerek gelişimini sürdürmüştür.

Günümüzde çelik üretimi ana girdi olarak demir cevheri kullanan yüksek fırın (YF) ve bazik oksijen fırını (BOF) ile üretim yapan entegre tesisler ve ana girdi olarak hurda metal kullanan elektrik ark ocaklı (EAF) veya indüksiyon ocaklı (IF) tesislerde gerçekleştirilmektedir (Avinal vd., 2019: 19). Türkiye'de 1960'lı yıllardan itibaren özel sektöre ait elektrik ark ocaklı tesisler faaliyete geçmeye başlamıştır (Yaşar, 2009: 50). Türkiye'de 2021 yılı itibarıyla, demir cevherinden üretim yapan üç adet entegre BOF'lu tesis, hurdadan üretim yapan yirmi altı adet EAF'li ve 11 adet IF'li tesis olmak üzere toplamda kırk adet çelik üretim tesisi faaliyet göstermektedir (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022: 20). Türkiye'de çelik üretim süreçlerinin proseslere göre dağılımı, üretim ve dış ticaret sıralamaları Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Türkiye'de Ham Çelik Üretimi ve Dış Ticareti Özet Göstergeleri 2013-2022

Yıl	Üretim	Sıra	Oksijen	Elektrik	İhracat	Miktar	İthalat	Miktar
2013	34.7	8	%28,7	%71,3	9785707	17.3	18677999	14.5
2014	34.0	8	%30,2	%68,2	9118083	16.2	17765157	13.4
2015	31.5	9	%35,0	%65,0	6556742	15.0	14775094	18.6
2016	33.2	8	%34,1	%65,9	6187046	15.3	12575455	17.0
2017	37.5	8	%30,8	%69,2	8230403	16.6	16761929	15.8
2018	37.3	8	%30,9	%69,1	11546435	19.9	18401452	14.0
2019	33.7	8	%32,2	%67,8	10020302	19.7	15049697	12.4
2020	35.8	7	%30,8	%69,2	8803211	18.5	15102954	12.5
2021	40.4	7	%28,4	%71,6	17075722	22.1	27617950	16.2
2022	35.1	8	%28,5	%71,5	14628379	18.0	28366867	17.4

Kaynak: Dünya Çelik Birliği ve ITC Trade Map'ten alınan bilgilerle yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 1'de yer alan üretim ve miktar değerleri milyon ton, ihracat ve ithalat değerleri ise bin ABD doları cinsinden birimlere karşılık gelmektedir. Tablo 1 incelendiğinde Türkiye'nin 2013-2022 döneminde ürettiği 353,2 milyon tonluk ham çeliğin yaklaşık %30,9'u oksijenli tesislerde %69,1'i ise elektrikli üretim prosesi içeren tesislerde üretilmiş olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte Türkiye'nin dünya ham çelik üretiminde başlıca çelik üreten ülkeler arasında 7-8'inci sıralarda yer aldığı görülmektedir. Tablo 1'de yer alan dış ticaret verileri incelendiğinde ise Armonize Sistem Nomanklatürü'ne göre hazırlanan değerler dikkate alındığında 70.00 kodlu demir ve çelik ürün grubunda Türkiye'nin dış ticaret açığı verdiği görülmektedir. Türkiye, demir çelik sektöründe hammadde olarak kullandığı demir cevherinin %60'ını, taşkömürünün %90'ını ve hurda malzemenin %70'ini

ithalat yoluyla karşılamaktadır. Ayrıca ülkemizde üretilen yassı ürünlerin yaklaşık %50'si de ithal edilmektedir. Bu durumlar sektörün dış ticaret açığı vermesine neden olmaktadır (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2021: 23). Bu bölüme kadar aktarılan bilgilerden hareketle Türkiye çelik üretim süreçlerinde entegre tesislerin sadece demir cevheri kullandığı veya EAF/IF'li tesisler dışında hurda malzeme kullanılmadığı çıkarsaması yapmak hatalı bir değerlendirmeye sebebiyet verecektir. Demir cevherinden çelik üretim sürecinde kömür, toz cevher, demir cevheri, kok, ferro alaşımlar gibi girdilere ek olarak hurda malzemeler de üretim süreçlerine girdi olarak dâhil edilmektedir (Avinal, 2019: 20). Bu nedenle hurda malzeme ihtiyacının ve ithalatının üretim dağılımı yaklaşık %30'a %70 olarak değişen Türkiye için önem arz ettiği değerlendirilmektedir.

Türkiye kamuoyunda hurda malzeme ithalatının Türkiye'nin dış ticaretinde 'en büyük kara delik' olarak nitelendirilmesine eleştiri getiren Yayan (2014), hurda ithalatının ekonomiye yük olmadığını ifade etmiştir. Yayan (2014), Türkiye Çelik Üreticileri Derneği 2013 verileriyle örneklediği açıklamasında, 2013 yılında Türkiye'de çelik sektörü ithal ve iç piyasadan topladığı 30,4 milyon ton hurda tüketimi gerçekleştirdiğini belirtmektedir. Aynı yıl Türkiye'nin hurda ithalatı 7,5 milyar dolar ödediği buna karşılık çelik ürünleri ihracatından 15,8 milyar dolar gelir elde ettiği ve iç piyasaya da aynı tutarda çelik ürünleri teslim edildiği ifade edilmektedir. Yayan (2014)'a göre hurda ithalatındaki değer cinsinden bir birimlik gerilemenin ihracat düşüşü ve ithalat artışı yoluyla dış ticaret üzerindeki yaklaşık iki birimlik değer kaybına neden olması konunun en büyük kara delik olarak ifade edilmesi açısından hatalı bir değerlendirmedir. Bu görüş çalışmada desteklenmektedir. Bu anlamda yurt dışından ithal edilen hurda malzemenin tamamının kullanılması ve sektörün rekabet gücü ile üretim yapısına katkısı göz önüne alındığında hurda malzeme ithalatının endüstrinin ekonomik gelişmesine katkıda bulunduğu değerlendirilmektedir.

Başlıca İthalatçılar (Dünya)				Başlıca İhracatçılar (Türkiye)			
Ülkeler	2020	2021	2022	Ülkeler	2020	2021	2022
Türkiye	6240632	11126300	9719324	ABD	1205353	1739010	1909737
Hindistan	2709015	3978243	6129476	Hollanda	891386	1426029	1022525
Belçika	1844789	3398700	3340102	Belçika	477204	744678	699365
G. Kore	1465986	2751786	2764195	Birleşik K.	636378	1021230	909625
İtalya	1535002	3222549	2633601	Danimarka	244109	408849	498021

Kaynak: ITC Trade Map, <https://www.trademap.org/Index.aspx>

Tablo 2'de 72.04 demirli atık ve hurdalar ürün grubuna ait ithalat değerleri yer almaktadır. Türkiye'nin hurda malzeme ithal eden ülkeler sıralamasında ilk sırada yer aldığı ve Türkiye'yi ikinci sırada dünya başlıca çelik üreten ülkeler sıralamasında da ikinci sırada yer alan Hindistan'ın takip ettiği görülmektedir. Tablo 2'ye göre Türkiye'nin demirli atık ve hurda ithal ettiği ilk beş ülke ABD, Hollanda, Belçika, Birleşik Krallık ve Danimarka olarak sıralanmaktadır. ITC Trade Map (2024) verilerine göre 2021 yılında 72.04 ürün kodunda dünya toplam demirli atık ve hurda malzeme ithalatı 56,9 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu ithalatın yaklaşık %20'lik kısmını 24,9 milyon ton ile sadece Türkiye gerçekleştirmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde hurda malzeme ithalatının Türkiye'nin çelik üretimi için hayati bir önem taşıdığı değerlendirilmektedir.

2022 yılında enerji maliyetlerindeki artışa ek olarak Avrupa'nın çevresel regülasyonların etkisinde kalarak ticarî mülâhazalar ile hurda ihracatını sınırlama girişimleri Türkiye demir çelik endüstrisi için üretimin sektöre uğrayabileceği nedeniyle endişeye sebep olmuştur (TÇÜD, 2022). ABD ve Avrupa Birliği'nin Dünya Ticaret Örgütü'nün kararına rağmen koruma tedbirlerine ısrar etmeleri Avrupa Demir Çelik Sanayileri Konfederasyonu'nun (EUROFER) hurda ithalatını engellemek için her yola başvurması, Atık Sevkiyat Yönetmeliği ve çevresel regülasyonları gerekçe göstererek gerçekleştirdiği engelleme girişimleri sonrasında hurdanın kritik hammaddeler listesine eklenmesini talep etmesi serbest ticaret ilkeleri üzerinde ve sektörde yaşanan bu tür endişelerin daha da derinleşmesine neden olmuştur (TÇÜD, 2023). Buna karşın OECD ülkelerinin hurda ihracatı konusunda sınırlamaya tabi tutulmaması konusunda Avrupa Komisyonu ENVI komitesinin kararı henüz nihai bir karar olmasa da olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmektedir (TÇÜD, 2022c). Bu bağlamda çelik endüstrisinde yeşil dönüşüm kapsamında hurdaya yönelik talebin, özellikle dünyanın ikinci büyük çelik üreticisi Hindistan'ın da dâhil olmasıyla artması ve EUROFER'in hurda malzemenin kritik hammaddeler listesine eklenmesi talebi gibi nedenlerle hurda malzeme ithalatı sektör için dikkate alınması gereken bir konu olarak değerlendirilmektedir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), 1994 yılında tehlikeli boyutlara ulaşan sera gazı emisyonlarının küresel iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkilerinin bertaraf edilebilmesi veya belirli bir düzeyde durdurulabilmesi amacıyla iş birliğine gidilmesini önermektedir (Dağdemir, 2015: 52). BMİDÇS bu amacını ülkelerin kalkınma önceliklerini ve münferit koşullarını dikkate alarak “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler,” özelliğine dayandırmaktadır (İklim Değişikliği Başkanlığı, 2024). Avrupa Komisyonu tarafından 2019 yılında kabul edilen Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) yeni ekonomik büyüme stratejisi olarak nitelendirilmektedir. Bu stratejinin gerçekleştirilmesindeki öncelikli görevlerden biri de demir çelik endüstrisine yüklenmiştir (Smol vd., 2020). Çelik üretimi, tüm küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %8’ini oluşturmaktadır. Demir cevheri kullanan birincil çelik üretimi yöntemi, esas olarak fosil bazlı indirgeyicilerin ve yakıtların kullanımından kaynaklı olarak bu oranın %80’lik kısmına karşılık gelmektedir (Raabe, 2024). Wang ve diğerleri (2021) küresel çelik endüstrisinin iki yönlü bir zorlukla karşı karşıya kaldığını ifade etmektedirler. Bu zorluklar, artan dünya nüfusunun taleplerini karşılamak ve aynı zamanda sınırlı bir zaman dilimi içerisinde üretim süreçlerini karbondan arındırmak olarak sayılmaktadır. Bu nedenle, çelik endüstrisinin karbondan arındırılmasının, sadece endüstrinin çabalarına değil, kamu otoriteleri ve çelik kullanıcılarıyla ortak faaliyetlerine bağlı olduğu değerlendirilmektedir.

Türkiye Büyük Millet Meclisi’nde 06.10.2021 tarihinde Paris İklim Anlaşması’nın yürürlüğe alınmasını sağlayan yasayı kabul etmiş ve karbon hedeflerini açıklayarak 2053 yılında sıfır karbon taahhüdünde bulunmuştur (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022: 42). Ancak küresel çapta üretimin %80’ini gerçekleştiren Avrupa Birliği, ABD, Çin ve Japonya’nın iklim krizi ile uyumlu kalkınma yolunu izlemeleri nedeniyle global, iktisadî, ticarî, finansal ve siyasi ilişkilerde oyunun kurallarını değiştirebilecekleri değerlendirilmektedir. Bu yeni kalkınma yolunun maliyeti dikkate alındığında kural değiştirici ülkeler ile siyasi ve ticarî anlamda ilişkili bulunan ülkelerin de etkilenmesi kaçınılmaz olarak ifade edilmektedir (Ecer vd., 2021: 134). Ülkelerin karşılıklı ilişkilerini belirleyecek olan bu durumla ilgili düzenlemelerin başında sınırda karbon mekanizması gelmektedir. Avrupa Birliği başta olmak üzere birçok ülke döngüsel ekonomi ve sınırda karbon mekanizmaları ile ilişkisinin bulunduğu ülkeleri kendisi gibi yeşil dönüşüme teşvik etmektedir. Bu teşvik edilişin Türkiye üzerinde de maliyet etkisinin bulunabileceği göz ardı edilmemelidir (Aşıcı, 2020). Bir tedbir niteliğinde uygulamaya alınan Emisyon Ticaret Sistemi, demir çelik sektörünü de kapsamaktadır. Piyasa mekanizması işleyişi ile sera gazı emisyonlarını sınırlandırmayı hedefleyen bu sistemde uzun vadede farklı emisyon ticaret sistemlerin de gündeme alınarak birbirine bağlanması ile küresel tek bir karbon fiyatına ulaşılması beklenmektedir (Koç ve Kaynak, 2023: 273). Bu durumda ise ülkelerin uluslararası ticaretin dışında kalmamak adına ilgili düzenlemeleri ivedilikle uygulamaya almaları gerekmektedir. Ayrıca piyasalar üzerindeki endişelerin giderilmesi adına iklim krizi politikalarının üretim, iktisadî ve ticarî sınırlarının netleştirilmesi de elzem olarak görülmektedir. Bu nedenle Türkiye’nin karbon emisyonlarına ilişkin verileri, demir çelik sektöründe dünyadaki konumu ve Türkiye’de çelik üretiminin hurda malzemeye olan bağımlılığı dikkate alındığında karbon emisyonları, çelik üretimi ve hurda malzeme ithalatı ilişkisinin önemli ve araştırmaya değer bulunduğu ifade edilmektedir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Demir çelik sektörüne ilişkin araştırmalarda iklim krizi, sınırda karbon mekanizması ve çevresel regülasyonları doğrudan incelemeye almamış çalışmalarda bile politika önerileri veya çalışma bulgularının bu konularla ilişkilendirildiği görülmektedir. Bununla birlikte özellikle son dönemde demir çelik endüstrisinin karbondan arındırılması, kaynak kullanımı ve hammadde ihtiyaçları üzerinde gerçekleştirilen çalışmaların literatürde ağırlıklı olarak yer almaya başladıkları görülmektedir.

Bıyık ve Özkale (2017), çalışmalarında Türkiye’de demir çelik endüstrisinin üretim yöntemleri ile ihracat, katma değer ve karbon emisyonu azaltma politikaları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Çalışmada yöntem olarak regresyon analizi ve Monte Carlo simülasyonları tercih edilmiştir. Yazarlar, karbon salınımını azaltma politikalarını demir çelik sektörünün karşı karşıya kaldığı ve orta/uzun vadede şiddetini daha da arttıracığı bir maliyet faktörü olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada karbon vergisi uygulamasının belirli bir fiyat düzeyine kadar etkisinin olmayacağı ancak görece yüksek birim karbon fiyat uygulamalarında yüksek fırın oranındaki artış ile endüstriyel katma değer kazanım potansiyelinin daralacağı öngörülmüştür.

Kayabaş (2019) çalışmasında demir çelik sektöründe yeşil üretimi bulanık bilişsel haritalama yöntemiyle değerlendirmeye almıştır. Yazar, demir çelik sektöründe çevre kirliliğine neden olan unsurları katı, sıvı ve gaz maden atıkları, gürültü ve kullanılan kaynak miktarı olarak özetlemektedir. Çalışmada son yıllarda demir çelik sektöründe faaliyetlerin ve çevresel kirliliğe sebep olan etmenlerin yerini üretim süreçlerinde çevresel etkiye sahip faaliyetlerde iyileştirmelere gidilmesinin aldığı ifade edilmektedir.

Erol ve Türkmen (2020), demir çelik fiyatlarının bölgesel olarak farklılık göstermesi, sektörde fiyat şeffaflığının bulunmaması ve fiyat dalgalanmalarına karşı korumacı bir mekanizma geliştirilmemiş olması nedeniyle küresel ekonomik ve siyasî gelişmelerin demir çelik sektöründe kullanılan hammaddeler üzerinde etkili olduğunu ifade etmektedirler. Yazarlara göre demir cevheri ile hurda fiyatları arasındaki farkı açabilen global etkilerin, demir cevherinden üretim yapan entegre tesisler ile hammadde olarak hurda malzemeyi kullanan tesislerin üretim ve kârlılıklarında farklılıklar meydana getirdiği değerlendirilmektedir. Bu nedenle çalışmada çelik hurda vadeli işlem sözleşmelerinin önemine vurgu yapılmıştır.

Vogl ve diğerleri (2021), Avrupa Birliği'nde yeşil çeliğin erken ticarileştirilmesi politikalarını değerlendirmeye almışlardır. Yazarlar incelemeye aldıkları politikalar üzerinde yenilenebilir enerjiye sahip olmayan bölgelerin dezavantajlı olduklarını, Avrupa Birliği sınırda karbon mekanizması uygulamalarının belirsizliğini korumasının yeni yatırımlar üzerinde engel oluşturduğunu ve düşük emisyonlu çelik üretimine geçiş maliyetlerinin üretimde eşit olmayan bir dağılıma neden olabileceği çıkarsamalarında bulunmuşlardır. Muslemani ve diğerleri (2021) çalışmalarında nitel veri analizi yöntemlerinden faydalanarak yeşil çelik pazarlarının fırsat ve zorluklarını incelemeye almışlardır. Yazarlar çalışmalarında çelik üretimi bağlamında yeşilin ne anlama geldiğine dair ortak bir anlayış oluşturmaya ve çeşitli karbon hesaplamaları ve güvencesi sorunlarını çözmeye ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada sürdürülebilirlik uzmanları, bilim insanları ve firma yöneticileriyle görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Otomotiv endüstrisinin yeşil çelik talebi için önemli bir aday olduğu çalışmanın bulguları arasında yer almaktadır.

Tan ve diğerleri (2022), Danimarka özelinde metal hurda ticaretinin döngüsel ekonomiye etkisini incelemeye almışlardır. Yazarlar çalışmalarında stok ve akış sistemi yönteminden faydalanmışlardır. Uluslararası metal hurda ticaretinde, hurda malzemenin içerdiği alışımaların da ekonomik katma değeri dikkate alınarak dikkatli davranılması gerektiğini ifade eden yazarlar aksi takdirde bu durumun döngüsel ekonomik döngüyü olumsuz etkileyebileceğini ifade etmişlerdir. Orlando ve diğerleri (2022), demir hurdasının çelik hurdasına etkisini bibliyometrik analiz yöntemiyle incelemeye almışlardır. 2011-2021 dönemini kapsayan çalışmada yazarlar öncelikli olarak çelik endüstrisine ait ürünlerin ülkelerin kalkınması için gerekli ve farklı endüstriler için kullanıldığına dikkat çekmişlerdir. Çalışmada dünyada üretilen çeliğin yaklaşık %86'sının demir hurdası girdisi olduğu ifade edilmektedir. Yazarlar, en fazla demir çelik hurdası ihraç eden ülkenin ABD ve en fazla demir çelik ithal eden ülkenin yıllık yaklaşık 23 milyon ton ile Türkiye olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ülkelerin demir toplama politikalarının bulunmamasını sektör için bir eksiklik olarak ifade edildiği çalışmada döngüsel ekonominin çelik üretiminin hayati bir parçası olduğu ifade edilmektedir. Yılmaz ve Karabiber (2022), Türkiye'de ihracat, doğrudan yabancı yatırımlar, ekonomik büyüme ve karbon emisyonu ilişkisini incelemeye almışlardır. Yazarlar çalışmalarında yöntem olarak Balassa (1965) açıklanmış karşılaştırmalı üstünlükler ve zaman serileri analizinden faydalanmışlardır. Bu bağlamda ilk olarak çalışmada 1995-2019 yılları arasında Türkiye'nin karşılaştırmalı üstünlüğe sahip olduğu sektörler arasında demir çelik sektörünün yer aldığı bulgusuna ulaşılmıştır. Zaman serileri analizi ile de Türkiye'de ihracatın karbon emisyonları üzerinde etkisi olduğu ve doğrudan yabancı yatırımlar ile karbon emisyonları arasında güçlü bir bağlantı bulunduğu sonuçları elde edilmiştir.

Liu ve diğerleri (2023), Çin'de çelik işletmelerini, hurda çelik işleyen firmaları ve hükümetin davranış stratejilerini etkileyen faktörleri incelemeye almışlardır. Yazarlar çalışmalarında evrimsel oyun teorisi yönteminden faydalanmışlardır. Çalışmada, çelik endüstrisinin karbondan arındırma stratejileri için çelik üretim işletmeleri ile hurda işleme işletmelerinin karbondan arındırma süreçlerine katılımının artmasının bununla birlikte devletin bu konudaki müdahalesinin azaltılmasının daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Çetin ve Filiz (2023), küresel hurda demir ticareti ilişkilerinin belirlenmesinde sosyal ağ analizi yönteminden faydalanmışlardır. 2010 ve 2020 yıllarına ait verilerle analiz edilen küresel hurda demir ticareti sonuçlarına göre Türkiye'nin ağı en çok bağlantıya sahip ülkesi olması bulgusuyla çalışma sonuçlanmıştır. Yazarlar, hurda demir ticaretinde Türkiye ve Hindistan gibi ülkelerin kaynak çeşitliliği yarattığını belirtmiş ancak kota, kısıtlama ve maliyet artışı gibi faktörlere karşı ticarî bağlantıların geliştirilmesi gerektiğini önermişlerdir. Watari ve diğerleri (2023), emisyonuz elektrikle desteklenen hurda çeliğin geri dönüşümünün alternatif birincil çelik üretimine göre hem daha düşük maliyetli hem de sıfır emisyona yaklaşık çelik üretimi gerçekleştirebileceğini ifade etmektedir. Ancak yazarlar bu üretim yöntemine ait fizibilitenin gelecekteki hurda bulunabilirliğine bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Raabe ve diğerleri (2024), günümüzde birçok çelik ürünün ömrünün birkaç on yıl olduğundan hareketle küresel çelik talebinin yalnızca üçte birinin hurda malzeme kullanımı yoluyla ikincil çelik üretiminden karşılandığını ifade etmektedirler. Yazarlar, 2050 yılına ulaşıldığında hurda bulunabilirliğinin toplam talebin üçte ikisine ulaşacağını öngörmektedirler. Bu nedenle ikincil çelik üretiminin hurdaya bağlı yabancı maddelerin çelik

özellikleri üzerindeki etkilerine daha fazla odaklanması gerektiği çalışmada önerilmektedir. Klotz ve diğerleri (2024) çalışmalarında Endüstri 4.0'ın üretim ve ticaretle gelişmiş makine ve araçları kullanıma sunmasıyla ortaya çıkardığı dijital değişimin gelişmiş ürün üretkenliğini, yüksek kaynak verimliliğini ve atık azaltımını vaat etmesinden hareketle BOF fırınlarındaki çelik üretim değişkenlerinin gelecekteki davranışlarını tahmin etmeye odaklanmışlardır. Yazarlar çalışmalarında VAR, ElasticNet regresyon, K-en yakın komşu algoritması, uzun-kısa vade hafıza ağları ve çoklu lineer regresyon modellerinden faydalanmışlardır. Brezilya özelinde gerçekleştirilen çalışmada yazarlar, demir çelik sektörünün olgunluğu nedeniyle yıkıcı yeniliklerin uygulanmasında sektörün daha ihtiyatlı davrandığını ifade etmektedirler. Çalışmada Brezilya çelik fabrikalarında dijitalleşme teknolojilerinin beklenen seviyede yayılmamasının nedenleri arasında uygulamaların malî getirilerinin belirsizliği, Brezilya çelik fabrikalarında dijitalleşme teknolojilerinin beklenen seviyede yayılmamasının nedenleri arasında hükümet teşviklerinin ve teknik eğitim müfredatlarının yetersizliği sayılmaktadır. Hao ve diğerleri (2024), çelik endüstrisinde hurda malzemenin geri dönüşümü için karbon azaltma endeksi önermektedirler. Yazarlar çalışmalarının tahmin sonuçlarına göre gelecekte bir ton çelik hurdası başına karbon emisyonu azaltma endeksinde kademeli bir artış olacağı sonucuna ulaşmışlardır. Klimek ve diğerleri (2024), Avrupa çelik endüstrisinin döngüsel ekonomi için hurda metali stratejik bir kaynak haline getirmesini incelemeye almışlardır. İstatistiksel yöntemlerden faydalanan yazarlar, Avrupa sınırları içerisinde faaliyet gösteren hurda işletmelerinin yılda yaklaşık yetmiş dokuz bin tonluk EAF tabanlı çelik üretimine katkı sağladığı sonucuna ulaşarak hurda metalin stratejik bir kaynak haline gelme olasılığının yüksek olduğunu ifade etmektedirler. Benzer şekilde Reck ve diğerleri (2024), ABD'de çeliğin karbon etkisini daha da azaltma seçenekleri tartışmaktadırlar. Daha verimli toplama ve ayırma yoluyla ikincil üretimi artırma, yüksek fırınlardan doğrudan indirgenmiş demir (DRI) teknolojisine geçiş yoluyla birincil üretimin enerji yoğunluğunu azaltılabileceğini savunan yazarlar, DRI ve EAF fırınları için düşük karbonlu elektrik kaynaklarına geçişi önemli bir yapısal değişim olarak ifade etmişlerdir. Bu çalışmalara bir eleştiri olarak Kaiser ve diğerleri (2024), EAF'li tesislerde gerçekleşen çelik üretiminin de enerji yoğun bir süreci barındırdığını ve karbon emisyonlarına etkisi olduğunu savunmuşlardır. Bu nedenle yazarlar, EAF'li tesislerde bulunan fırınların da düşük karbon için modernize edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. İspanya'nın EAF'li çelik tesislerinde bir vaka çalışması ile desteklenen bu öneri ile yazarlar yaşam döngüsü ve malzeme akış analizlerinin bu konuda tutarlı bir sonuç verdiğini ortaya çıkarmışlardır.

Literatür incelendiğinde demir çelik sektörü üzerine gerçekleştirilen karbon emisyonları ve hurda malzeme ithalatına ilişkin çalışmaların ağırlıklı olarak malzeme akış, stok ve tahminleme, fiyat seviyeleri ve ulusal politikalar başlıklarında gruplandığı görülmektedir. Ülkelerin demir çelik üretim yapılarını dikkate alarak teknik anlamın dışında konuyu sosyo-ekonomik ve iktisadî açıdan ele alan çalışmaların sayıca daha az olduğu tespit edilmiştir. Özellikle uluslararası literatürde Türkiye'nin başlıca demirli atık ve hurda ithalatçıları arasında olduğu vurgulanmaktadır. İncelenen araştırmaların iktisadî ve ticarî anlamda beklenen düzeyde bulunmamasının nedeni sınırda karbon mekanizmasına ilişkin uygulamaların belirsizliğini korumasıyla ilişkilendirilmektedir. Ulusal literatür incelendiğinde son yıllarda çelik endüstrisine ilişkin karbonsuzlaştırma ve üretim başlıklı çalışmaların ağırlıklı olarak malzeme verimliliği, inşaat ve otomotiv endüstrileri ile üretim ilişkileri, enerji maliyeti ve enerji verimliliği konularına odaklandığı görülmektedir (Başkol ve Bektaş, 2021; Baygut, 2022; Çakır ve Arianpour, 2023; Tozsın ve Kavasoglu, 2023; Özsoy ve Fırat, 2023; Erdoğan vd., 2024). Bununla birlikte ulusal literatürde son dönemde konuyu rekabet gücü, makroekonomik ve finansal performans, sektör analizi, verimlilik ve kaynak tüketim muhasebesi başlıklarında ele alan çalışmalarla da karşılaşılacaktır (Çetin, 2020; Tamsöz ve Elmas, 2021; Yıldırım vd., 2021; Ünlü ve Duran, 2021; Dereli, 2021; Gökecek ve Dulkadiroğlu, 2021; Taşdelen, 2021; Kurun, 2022; Gürler, 2024). Bu bağlamda bu çalışmanın her iki grupta yer alan çalışmalar arasında ve bağlayıcı bir konumda yer almayı hedeflediği değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmanın zayıflığı olarak demir çelik endüstrisine ilişkin hurda malzemeyi hammadde olarak kullanan EAF/ IF'li tesislere ve BOF'lu tesislere ait üretim rakamlarını ayrı ayrı kullanmak yerine endüstriyel üretimi bir bütün olarak ele alması gösterilebilmektedir. Ancak Avinal ve diğerleri (2019)'nin raporu referans alınarak BOF'lu tesislerde az da olsa hurda malzeme kullanımı nedeniyle bu çalışmada üretim süreçleri bir bütün olarak ele alınmaktadır. Kalkınma ekonomisti Hirschman (1958), gelişen ekonomilere ilişkin sanayi dallarının ileri ve geri bağlantılarının önemini vurgulamaktadır. Bu durum belirli bir faaliyet için girdi sağlamanın çıktı kullanımı ile ilişkili olduğu anlamına gelmektedir. Yeni faaliyetlerin önemli destekçileri arasında sayılan ileri geri bağlantılarının demir çelik sektörü özelinde de önemli olduğu hurda malzeme kullanımı ile görülmektedir. Bu bağlamda çalışmanın Türkiye demir çelik sektöründe ileri geri bağlantı ilişkilerini ortaya çıkararak literatüre katkı sağlaması beklenmektedir. Bu konuda çalışmanın incelediği dönem, simetrik ve asimetric etkileri dikkate alan yaklaşımı ve karbon emisyonlarını kapsamına alması nedeniyle literatürden farklılaşmakta olduğu görülmekte ve alandaki literatür boşluğunu doldurması umulmaktadır.

4. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde çelik üretimi, karbon emisyonları ve hurda malzeme ithalatı arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik hazırlanan veri setleri ile gerçekleştirilen analizlerin tanıtıcı ve açıklayıcı bilgilerine yer verilmiştir. Çalışmada kullanılan çelik üretimi verileri Türkiye Çelik Üreticileri Derneği'ne ait yayımlardan, karbon emisyonu verileri Küresel Karbon Bütçesi veri tabanından ve hurda malzeme ithalatı ise Türkiye İstatistik Kurumu dış ticaret istatistiklerinden ikincil veriler olarak derlenmiştir (TÇÜD, 2024; GCB, 2024; TÜİK, 2024). Çalışma, tüm değişkenler üzerinde tam veri setine ulaşılabilen 1983-2023 dönemini kapsamaktadır. Kullanılan serilere ilişkin bilgi ve açıklamalar Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Serilere ilişkin bilgi ve açıklamalar

Serinin Adı	Değişken Türü	Birimi	Kısaltma
Fosil Yakıt ve Endüstri Kaynaklı Yıllık CO ₂ Emisyonları	Bağımlı	Milyar Ton	CO2
Ham Çelik Üretimi	Bağımsız	Ton	CU
Demir Çelik Döküntü ve Hurdaları (Bunların Külçeleri) İthalatı	Bağımsız	ABD Doları	DCHUR

DCHUR değişkenine ait seriler, mamül özelliklerine göre dış ticaret sınıflandırması yapan uluslararası ticaret sınıflandırması (SITC Rev. 3) nomanklatürüne göre belirlenmiş ve 282 koduna aittir. Serilerde meydana gelen değişkenliği en aza indirmek ve ekonometrik hesaplamalarda meydana gelen sapmaları azaltmak için bütün serilerin doğal logaritmaları alınmıştır. Doğal logaritmaların alınmasına müteakip serilerin kısa gösterimleri, $\ln CO_2$, $\ln CU$ ve $\ln DCHUR$ olarak değişmiştir. Çalışmanın ekonometrik analizlerinde Eviews 11, WinRats 10, Stata 15 ve Gauss 14 programlarından faydalanılmıştır.

Zamanla ilişkili olarak tanımlanan değişkenlere ait gözlem değerlerini gün, ay, yıl gibi zamana göre sıralanmış gösteren seriler zaman serisi olarak tanımlanmaktadır. Ekonometrik çalışmalarda zaman serisi çözümlemesi serinin yapısını ve özelliklerini araştırmayı amaçlamaktadır (Dikmen, 2018: 305). Bu nedenle çalışmada yöntem olarak zaman serileri analizinden istifade edilmiştir. Çalışmanın araştırma konusuna ilişkin model gösterimine Eşitlik 4.1'de yer verilmiştir.

$$\ln CO_2 = \beta_0 + \beta_1 \ln HCU + \beta_2 \ln DCHUR + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'de yer alan ε_t ifadesi hata terimlerine karşılık gelmektedir. Bir zaman serisinin entegrasyon sırasının belirlenmesi problemine yönelik yaklaşımlar arasında serilerde birim köklerin varlığının tespit edilmesi önem arz etmektedir (Gimeno vd., 1999: 73). Bir serinin uzun dönemde sahip olduğu özellikleri anlamak için geçmiş dönem değerlerinin seriyi ne şekilde etkilediğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bağlamda serilerin zaman yolu süreçlerini anlayabilmek için Y_t ve Y_{t-1} ilişkisinin tahmin edilmesi gerekmektedir (Dikmen, 2018: 315). Bu amaçla geliştirilen tahmin etme yöntemleri birim kök testleri olarak tanımlanmaktadır. Kwiatkowski ve diğerleri (1992) tarafından geliştirilen KPSS birim kök testi serinin durağan olmadığı alternatif hipotezine karşın, durağan olduğu temel hipotezinin test edilmesi için Lagrange Multiplier (LM) istatistiğini önermişlerdir. Kwiatkowski ve diğerleri (1992) bu önerilerini birim kök testleri ve durağanlık testlerinin birbirlerinin tamamlayıcısı oldukları savını temel alarak sunmuşlardır (Yavuz, 2004, s. 241). KPSS birim kök testi, artıkların uzun dönem varyansının nonparametrik tahmincisine dayanmaktadır. Testin model ile gösterimine Eşitlik 4.2, 4.3 ve 4.4'te yer verilmiştir.

$$y_t = x_t' \delta + u_t \quad (4.2)$$

$$LM = T^{-2} \sum_{t=1}^T S_t^2 / f_0 \quad (4.3)$$

$$\hat{f}_0 = \hat{\gamma}_0 + 2 \sum_{j=1}^{T-1} K\left(\frac{q}{j}\right) \hat{\gamma}_j \quad (4.4)$$

Eşitlik 4.2'de yer alan x_t sabite veya sabit ve trende karşılık gelen deterministik bileşeni ifade etmektedir. Eşitlik 4.3 ise Eşitlik 4.2'den elde edilen artıklar ile test istatistiğinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Eşitlik 4.3'te T gözlem sayısını, S_t birikimli artık fonksiyonu göstermektedir. Bu fonksiyon $S(t) = \sum_{r=1}^t \hat{u}_r$ notasyonu ile hesaplanmaktadır. f_0 ise sıfır frekansta artık spektrumunun tahmincisini ifade etmektedir. Bu tahminci Eşitlik 4.4'te gösterilen model yardımıyla elde edilmekte ve $\gamma_j = T^{-1} \sum_{t=j+1}^T e_t e_{t-j}$ notasyonu ile tanımlanmaktadır.

Eşitlik 4.4'te K Kernel fonksiyonunu ve q ise bant genişliğini ifade etmektedir. KPSS testinde diğer geleneksel birim kök testlerinden farklı olarak hipotezler $H_0: \rho < 1$ ve $H_0: \rho = 1$ olarak kurulmaktadır (Çağlayan ve Saçaklı, 2006: 124-125). KPSS testinde elde edilen LM test istatistiği değerleri ile kritik değerler karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmaktadır.

Perron (1989), geleneksel birim kök testlerinden faydalanarak gerçekleştirdiği çalışmalarda tüm serilerin birim köklü yapıda olmadığı sonucunu elde etmiştir. Serinin birim köklü ifade edilmesinin nedeni olarak makroekonomik değişkenlere ait zaman serilerinde meydana gelen fiyat şokları, iktisadî krizler veya politika değişiklikleri gösterilmektedir. Son dönemde gerçekleştirilen çalışmaların da yapısal kırılmaların varlığını ve yerini tespit etmede ağırlık kazandıkları görülmektedir (Allaro vd., 2011: 392). Ekonometrik bir analizde yapısal kırılmaların dikkate alınmaması önemli istatistiksel sorunlara ve sistematik sapmalı sonuçlara neden olabilmektedir. Bu bağlamda literatürde önerilen birçok yapısal kırılmalı birim kök testi bulunmaktadır.

Zivot ve Andrews (1992) ile Lumsdaine ve Papell (1997) birim kök testlerinin birim kökün varlığını gösteren temel hipotezleri yapısal kırılma olmadığını varsaymakta ve kritik değerleri bu durumu dikkate alarak belirlemektedirler. Lee ve Strazicich (2003, 2004) ise bu testlerde temel hipotezin alternatifinin yapısal kırılmalı durağan olmaması gerektiğini ifade etmişlerdir. Aksi halde temel hipotezin reddi halinde alternatif hipoteze dayalı serinin durağanlık özelliğiyle ilgili yapılan yorumlar karışıklığa karşı duyarlı hale gelmektedir. Bu nedenle Lee ve Strazicich (2003, 2004) testinde hem temel hem de alternatif hipotez için yapısal kırılmalara yer verilmektedir (Yılancı, 2009: 329; Yıldırım vd., 2015: 94). Ele alınan serilerde yapısal kırılmanın varlığını içsel olarak belirleyen ve bir yapısal kırılmaya izin veren Lee ve Strazicich (2004) testi bu çalışmada LS-2004 olarak anılmaktadır. LS 2004 testinin uygulama adımlarında belirlenen model seçiminde hem düzeyde hem de eğimde kırılmaya izin veren modelin, düzeyde kırılmaya izin veren ve eğimde kırılmaya izin veren modellerden daha üstün olduğu bulgusu elde edilmiştir (Sen, 2003). LS-2004 testi için veri yaratma sürecinin model gösterimi Eşitlik 4.5'te yer almaktadır (Lee ve Strazicich, 2004; Tıraşoğlu ve Yıldırım, 2012: 113).

$$y_t = \delta'Z_t + X_t \quad X_t = \beta X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.5'te yer alan Z_t dışsal değişkenlere ilişkin vektörü, ε_t ise hata terimini ifade etmektedir. Bu modelde hata terimleri $\varepsilon_t \sim iid N(0, \sigma^2)$ özelliği göstermektedir. LS-2004 testinde LM birim kök test istatistiği Eşitlik 4.6'da yer alan model yardımıyla elde edilmektedir (Tıraşoğlu, 2014: 75).

$$\Delta y_{i,t} = \delta' \Delta Z_t + \phi \hat{S}_{t-1} + u_t \quad (4.6)$$

Tek yapısal kırılmalı LS-2004 testinde hem düzeyde hem de eğimde kırılmaya izin veren modelde $t \geq T_B + 1$ için $DT_t = t - T_B$, diğer durumlar için ise $DT_t = 0$ gölge değişkene karşılık gelmek üzere dışsal değişkenler vektörü $Z_t = [1, t, D_t, DT_t]$ ile ifade edilmektedir. LS-2004 testine ilişkin hipotezler Eşitlik 4.7 ve 4.8'de gösterilmiştir (Tıraşoğlu, 2014).

$$H_0: Y_{i,t} = \mu_0 + d_1 \beta_t + d_2 D_t + Y_{i,t-1} + v_{1t} \quad (4.7)$$

$$H_1: Y_{i,t} = \mu_1 + \gamma_t + d_1 D_t + DT_t + v_{2t} \quad (4.8)$$

Tek kırılmalı LS 2004 testinde LM birim kök testi için kritik değerlere Lee ve Strazicich (2004)'ten ulaşılmakta ve karşılaştırma ile sonuçlar yorumlanmaktadır. Zaman serileri analizlerinde serilerin birinci farklarında durağan hale gelmeleri durumunda uygulamaya eşbütünleşme testleri ile devam edilmektedir. Eşbütünleşme testleri ile değişkenlerin bütünleşme derecelerine bağlı olarak analize dâhil edilen değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin olup olmadığının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Gregory ve Hansen (1996) değişkenler arasında uzun dönem ilişkisinin belirlenmesinde birim kök testlerinin yeterli olmayacağından hareketle yapısal kırılmaların da dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Yapısal kırılmaların dikkate alınmadan gerçekleştirilecek eşbütünleşme testlerinin sahte koentegrasyon sorununa neden olmasına karşılık Gregory ve Hansen (1996) değişkenler arasındaki eşbütünleşmenin varlığını, sabitte kırılma, trendli sabitte kırılma ve rejim değişikliği modelleriyle açıklamaktadırlar. Yapısal kırılmaların model katsayıları üzerindeki etkiyi gösterebilecek nitelikteki model rejim değişimi modeli olarak tanımlanmaktadır. Rejim değişimi modelinin notasyon gösterimi Eşitlik 4.9'da yer almaktadır.

$$y_{1,t} = \mu_1 + \mu_2 \varphi_{t\tau} + a_1^T y_{2t} + a_2^T y_{2t} \varphi_{t\tau} + e_t \quad t = 1, \dots, n \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.9’da yer alan uzun dönem denge ilişkisinin hem düzey hem de parametrelerdeki değişimini aynı anda yansıtan modelde μ_1 ve μ_2 ifadeleri sırasıyla yapısal kırılma öncesindeki sabit terimi ve yapısal kırılma sırasındaki sabit terimi ifade etmektedir. Eşitlik 4.9’da yer alan a_1 rejim değişimi öncesi eğim katsayısını gösterirken a_2 ise rejim değişimi sonrasında eğim katsayılarındaki değişimi ifade etmektedir. Gözlem sayısı n ile temsil edilen modelde $\tau \in (0,1)$ bilinmeyen yapısal kırılma dönemine karşılık gelmektedir. Gregory ve Hansen (1996) yapısal değişimi $\varphi_{t\tau}$ ile ifade edilen kukla değişkenler ile modellemiştir. Kukla değişken kırılma dönemi ve öncesinde sıfır, kırılma dönemi sonrasında bir değerini almaktadır. Kukla değişkenlere ilişkin notasyon gösterimi Eşitlik 4.10’da yer almaktadır (Algan ve Sencer, 2015, s. 36).

$$\varphi_{t\tau} = \begin{cases} 0; & t \leq (n\tau) \\ 1; & t > (n\tau) \end{cases} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} ADF^* &= \inf_{\tau \in T} ADF(\tau) \\ Za^* &= \inf_{\tau \in T} Za(\tau) \\ Zt^* &= \inf_{\tau \in T} Zt(\tau) \end{aligned} \quad (4.11)$$

Gregory ve Hansen (1996) eşbütünlük ilişkisine tahmin edilen modelden elde edilen hata teriminin Eşitlik 4.11’de gösterilen ADF , Za ve Zt test istatistikleri yardımıyla karar verilmektedir (Fenkli ve Uysal, 2022: 1586). Eşbütünlük ilişkisinin bulunmadığı şekilde kurulan sıfır hipotezi elde edilen test istatistiklerinin Gregory ve Hansen (1996) eşbütünlük testinde hesaplanan kritik değerlerden mutlak değerce büyük olması durumunda reddedilmektedir (Şahin ve Durmuş, 2019: 218). Eşbütünlük testinin çalışmanın değişkenlerine uyarlanmış gösterimi Eşitlik 4.12’de yer almaktadır.

$$\ln CO_2 = \mu_1 + \mu_2 \varphi_{t\tau} + a_1 \ln HCU_t + a_2 \ln DCHUR_t + a_{11} \varphi_{t\tau} \ln HCU_t + a_{22} \varphi_{t\tau} \ln DCHUR_t + e_t \quad (4.12)$$

İki değişken arasında ilişkinin tespit edilmesi değişkenlerden biri üzerinde görülen değişimin nedeninin diğer değişkende meydana gelen değişim olduğu anlamına gelmemektedir. Bu durumun tespit edilebilmesi için nedensellik testlerinden faydalanılmaktadır. İlk olarak Granger (1969) tarafından literatüre kazandırılan nedensellik testi uzun dönemde bilgi kaybına neden olması nedeniyle eleştirilmiştir. Daha sonrasında geliştirilen Toda-Yamamoto (1995) nedensellik testi ise serilerin durağanlık dereceleri göz ardı ederek bu değişkenleri modele $I(0)$ olarak dâhil etmektedir. Bu nedenlerle Hacker ve Hatemi-J (2006) küçük örneklem boyutunda uygulanması durumunda Toda ve Yamamoto (1995) testinin asimptotik dağılımında ki-karenin zayıf performans sergilediğini tespit ederek boyut bozulmalarını azaltmak için kaldırılabilir bir bootstrap dağılımının kullanılmasını önermişlerdir. Hacker ve Hatemi-J (2006) simetrik nedensellik testi $VAR(p)$ modeli üzerine kurulmuştur.

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \dots + A_{p+d} y_{t-p-d} + \varepsilon_t \quad (4.13)$$

Eşitlik 4.13’te p ve d sırasıyla gecikme uzunluğunu ve maksimum entegrasyon derecesini ifade etmektedir. Toda ve Yamamoto (1995) örnek büyüklüğü T için aşağıdaki eşitlikleri kullanmıştır.

$$Y = (y_1, \dots, y_T); (nxT) \text{ matrisi} \quad (4.14)$$

$$\hat{D} = (\hat{v}, \hat{A}_1, \dots, \hat{A}_p, \dots, \hat{A}_{p+d}), (nx(1 + n(p + d))) \text{ matrisi} \quad (4.15)$$

$$Z_t = \begin{bmatrix} 1 \\ y_t \\ y_{t-1} \\ \vdots \\ y_{t-p-d+1} \end{bmatrix}; ((1 + n(p + d))x1) \text{ matrisi}, t = 1, \dots, T \text{ olmak üzere} \quad (4.16)$$

$$Z = (Z_0, \dots, Z_{T-1}); ((1 + n(p + d))xT) \text{ matrisi ve}$$

$$\hat{\delta} = (\hat{\varepsilon}_1, \dots, \hat{\varepsilon}_T); (nxT) \text{ matrisi olmak üzere}$$

$VAR(p + d)$ modelinde (\hat{v}) sabit terime karşılık gelmektedir

Eşitlik 4.14, 4.15 ve 4.16’da yer alan notasyon gösterimleri $Y = \hat{D}Z + \hat{\delta}$ şeklinde toparlanmaktadır (Hacker ve Hatemi-J, 2006; Özcan, 2015: 184). Toda ve Yamamoto’nun modifiye edilmiş MWald testi Eşitlik 4.17’de yer almaktadır.

$$MWald = (C\hat{\beta})'[C((Z'Z)^{-1} \otimes S_u)C']^{-1}(C\hat{\beta}) \quad (4.17)$$

Eşitlik 4.17'de \otimes Kronecker çarpımını ve C kısıtları içeren $j \times n(1 + n(j + d_{max}))$ boyutundaki gösterge fonksiyonuna ait matrise karşılık gelmektedir. C 'nin her bir j satırı β katsayısının sıfıra eşit olup olmadığı kısıtlamasıyla ilişkili olup ilgili modelde sıfır hipotezi $H_0 = C\beta = 0$ şeklinde test edilmektedir (Değer ve Pata, 2017: 38). Bununla birlikte Hatemi-J (2003) *SIC* ve *HQ* bilgi kriterlerinin uygulamada farklı sonuçlara mahal vermesi nedeniyle iki bilgi kriterinin de ortalamasına dayanan Hatemi-J (HJC) bilgi kriterini geliştirmiştir (Pata, 2018: 141).

$$HJC = \ln \left(|\hat{\Omega}| + j \frac{n^2 \ln T + 2n^2 \ln(\ln T)}{2T} \right), j = 0, \dots, k \quad (4.18)$$

Eşitlik 4.18'de n ifadesi *VAR* modelindeki denklem sayısını T ise gözlem sayısını ifade etmektedir (Pata, 2018: 104). $|\hat{\Omega}|$ simgesi j gecikme uzunluğuna dayalı tahmin edilen *VAR* modeline ait hata terimlerinin $\sigma^2 Cov$ matrisini temsil etmektedir. Hacker ve Hatemi-J (2006) simetrik nedensellik testinin Toda ve Yamamoto (1995) testinden farklı testin bootstrap (yeniden örnekleme) yöntemini kullanmasıdır. Bootstrap yönteminde kullanılan $TX1$ boyutlu kaldıraç vektörleri Eşitlik 4.19'da yer almaktadır.

$$\begin{aligned} h_1 &= \text{diag}(X_1(X_1'X_1)^{-1}X_1') \\ h_j &= \text{diag}(X(X'X)^{-1}X') \\ j &= i - 1; i = 1, 2, 3, \dots, j \end{aligned} \quad (4.19)$$

Eşitlik 4.19'te gösterimine yer verilen modeller için Hacker ve Hatemi-J (2006) çalışmalarında bazı notasyon açıklamalarına ihtiyaç duyulduğunu ifade etmektedirler. Bu bağlamda X değişkeninin $X = (Y'_{-1}, \dots, Y'_{-p})$ ve X_i değişkenin $X_i = (Y'_{i-1}, \dots, Y'_{i-p})$ olarak ataması yapılmaktadır. X_1 matrisi, y_{1t} 'yi, X matrisi ise y_{2t} 'yi belirleyen denklem için açıklayıcı değişken matrislerini ifade etmektedir. Denklemler arasındaki fark şu şekilde ifade edilmektedir; X_1 Granger nedenselliğine sahip olmayacak şekilde sınırlandırılmışken, X ise her iki değişkenin de tüm gecikmelerinin denkleme dâhil edilmesine izin vermektedir. Hata terimi matrisi ise Eşitlik 4.20'de yer alan model ile ifade edilmektedir.

$$\tilde{\varepsilon}_{it}^m = \frac{\varepsilon_{it}}{\sqrt{1 - h_{it}}} \quad (4.20)$$

Eşitlik 4.20'de yer alan h_{it} ifadesi h_i 'nin t 'inci bileşenini ve $\tilde{\varepsilon}_{it}$ ise değiştirilmemiş hata terimini bir başka ifadeyle hata terimlerinin ham hâlini göstermektedir (Hatemi ve Roca, 2006; Batmaz ve Yürük, 2021: 1773). Hacker ve Hatemi-J (2006) nedensellik testi kritik değerlerin elde edilmesinde bootstrap simülasyonunu kullanması ve modelde ARCH etkisini Engle (1982) tarafından geliştirilen otoregresif şartlı değişen varyans testi ile test etmesi nedenleriyle bulguların daha güvenilir olmasına imkân tanımaktadır (Değer ve Pata, 2017: 38). Hacker ve Hatemi-J simetrik nedensellik testinin çalışmanın değişkenlerine uyarlanmış gösterimine aşağıda yer verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \ln CO2_t \\ \ln DCHUR_t \end{bmatrix} = \partial_0 + \partial_1 \begin{bmatrix} \ln CO2_{t-1} \\ \ln DCHUR_{t-1} \end{bmatrix} + \dots + \partial_{p+d_{max}} \begin{bmatrix} \ln CO2_{t-p+d_{max}} \\ \ln DCHUR_{t-p+d_{max}} \end{bmatrix} + w_t \quad (4.21)$$

Eşitlik 4.21'de yer alan gösterimlerde değişkenlerin yerleri değiştirilerek ve diğer değişkenler de eklenerek ters yönlü hipotezler de kontrol edilmektedir. Granger ve Yoon (2002), serilerin birikimli pozitif ve negatif değişimlerini içeren bileşenlere dönüştürme fikrini ortaya atmışlardır (Tülümce ve Zeren, 2017: 304). Daha sonra Hatemi-J (2012) nedensellik testlerinde pozitif ve negatif şokların da önemli olabileceğini belirterek değişkenler arasında saklı bir nedensellik ilişkisi olabileceğinden hareketle asimetrik nedensellik testini geliştirmiştir. Hatemi-J (2012) asimetrik nedenselliği incelemeye değişkenleri pozitif ve negatif bileşenlere ayırarak başlamaktadır. Bu test pozitif ve negatif şokların toplamları aracılığıyla asimetriye izin vermektedir. Bu bağlamda, $y_{1,0}, y_{2,0}$ başlangıç değerlerini, ε_{1i} ve ε_{2i} beyaz gürültü hata terimlerini ve $t = 1, 2, \dots, T$ zamanı göstermektedir. Bu şekilde formülize edilen bütünleşik serinin rassal yürüyüş süreci Eşitlik 4.22'de gösterildiği şekliye varsayılmaktadır (Tülümce ve Zeren, 2017: 305).

$$y_{1t} = y_{1t-1} + \varepsilon_{1t} = y_{1,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i} \quad (4.22)$$

$$y_{2t} = y_{2t-1} + \varepsilon_{2t} = y_{2,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}$$

Bu durumda seriler üzerindeki pozitif ve negatif şokların notasyon ile gösterimleri Eşitlik 4.23'te yer almaktadır.

$$\varepsilon_{1i}^+ = \max(\varepsilon_{1i}, 0), \varepsilon_{2i}^+ = \max(\varepsilon_{2i}, 0), \varepsilon_{1i}^- = \min(\varepsilon_{1i}, 0), \varepsilon_{2i}^- = \min(\varepsilon_{2i}, 0) \quad (4.23)$$

Eşitlik 4.23'ten hareketle $\varepsilon_{1i} = \varepsilon_{1i}^+ + \varepsilon_{1i}^-$ ve $\varepsilon_{2i} = \varepsilon_{2i}^+ + \varepsilon_{2i}^-$ olmak üzere değişkenlerin pozitif ve negatif şoklar ile ifadesi Eşitlik 4.24'te yer aldığı şekliyle düzenlenmektedir.

$$y_{1t} = y_{1t-1} + \varepsilon_{1t} = y_{1,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^+ + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^- \quad (4.24)$$

$$y_{2t} = y_{2t-1} + \varepsilon_{2t} = y_{2,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^+ + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^-$$

Bu durumda her bir serinin birikimli pozitif ve negatif şokları Eşitlik 4.25'te görüldüğü gibi modellenmektedir.

$$y_{1t}^+ = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^+, y_{1t}^- = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^-, y_{2t}^+ = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^+, y_{2t}^- = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^-, \quad (4.25)$$

Hatemi-J (2012) testinde y_t^+ değişkeninin $(y_{1,t}^+, y_{2,t}^+)$ ikilisine eşit olduğu varsayılırsa bu bileşenler arasındaki nedensellik ilişkisi p gecikmeye sahip vektör otoregresif model kullanılarak sınanmaktadır (Yılancı ve Bozoklu, 2014: 214). Sınama işleminin model ile gösterimi Eşitlik 4.26'da yer almaktadır.

$$y_t^+ = a + A_1 y_{t-1}^+ + \dots + A_p y_{t-p}^+ + u_t^+ \quad (4.26)$$

Eşitlik 4.26'da yer alan y_t^+ ifadesi (2×1) boyutlu vektörü, a ifadesi (2×1) boyutlu kesme terimi vektörünü, u_t^+ ifadesi hata terimi vektörünü ve A_r ise (2×2) boyutlu r mertebesinde, gecikme uzunluğu bilgi kriterleri kullanılarak belirlenen parametre matrisini ifade etmektedir. Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testinin sıfır hipotezi, $H_0: A_r$ 'daki k . sütun ve w . satırdaki eleman sıfıra eşittir, $r = 1, \dots, p$ şeklindedir (Tülümce ve Zeren, 2017: 304). Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testinin uygulama adımları ve işleyişini gösterebilmek adına pozitif şoklar arasındaki nedensellik ilişkisi üzerinden açıklamalar yapılmıştır. Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testinin çalışmanın değişkenlerine uyarlanmış gösterimine aşağıda yer verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \ln CO2_t^+ \\ \ln DCHUR_t^+ \end{bmatrix} = \partial_0 + \partial_1 \begin{bmatrix} \ln CO2_{t-1}^+ \\ \ln DCHUR_{t-1}^+ \end{bmatrix} + \dots + \partial_p \begin{bmatrix} \ln CO2_{t-p}^+ \\ \ln DCHUR_{t-p}^+ \end{bmatrix} + \gamma_t \quad (4.27)$$

Eşitlik 4.27'de çalışmada yer alan değişkenler arasından seçilmiş bir modelin örnek gösterimi pozitif şoklar özelinde yer almaktadır. Örneklendirme dışında değişkenlerin, negatif, pozitif-negatif ve negatif-pozitif şokları da modellenmektedir. Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testi, değişkenlerin normal dağılımlı olmaması ve ARCH etkili olması halinde dahi yeniden örnekleme simülasyonları ile elde edilen kritik değerlerin daha uygun olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde çalışmanın yöntem kısmında açıklanan uygulamalardan elde edilen bulgulara ve bulgulara ilişkin özet tartışmalara yer verilmiştir. Durağanlık sınamaları öncesinde kullanılan birim kök testlerinin model seçim sonuçları Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Birim kök testi model seçim bulguları

Model	$\ln CO_2$	$\ln DCHUR$	$\ln HCU$
Sabitli	18.5188 (0.0000)	19.1240 (0.0000)	15.5791 (0.0000)
Trendli	0.0381 (0.0000)	0.1077 (0.0000)	0.0542 (0.0000)

Tablo 4'te yer alan bulgular sabitli ve trendli modellere ilişkin katsayıları göstermektedir. Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerine karşılık gelmekte olup, tüm serilere ilişkin değerlerin hem sabitli hem de trendli modelde 0.05'ten küçük oldukları görülmektedir. Bu nedenle serilere uygulanacak birim kök testlerinin sabitli ve trendli olmalarına karar verilmiştir. Öncelikli olarak geleneksel birim kök testleri arasında sayılan KPSS testinden elde edilen bulgular Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. KPSS durağanlık testi bulguları

Düzye				
Değişken	LM test ist.	Kritik Değerler		
		%1	%5	%10
$\ln CO_2$	0.1947	0.2160	0.1460	0.1190
$\ln DCHUR$	0.1012	0.2160	0.1460	0.1190
$\ln HCU$	0.1930	0.2160	0.1460	0.1190
Birinci Fark				
Kritik Değerler				
Değişken	LM test ist.	%1	%5	%10
$\ln CO_2$	0.1212	0.2160	0.1460	0.1190
$\ln DCHUR$	0.0555	0.2160	0.1460	0.1190
$\ln HCU$	0.0945	0.2160	0.1460	0.1190

Tablo 5 incelendiğinde tüm değişkenlerin %1 anlamlılık seviyesinde düzeyde birim kök ihtiva ettikleri görülmektedir. Serilerin birinci farkları alındığında tüm anlamlılık seviyelerinde değişkenlerin durağan hale geldikleri tespit edilmiştir. Durağanlık sınamaları serilerde meydana gelen şokların kalıcı mı yoksa geçici mi olduğunu belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir serinin birim kök ihtiva etmesi incelemeye aldığı konuda meydana gelen politika şoklarının kalıcı, birim kök ihtiva etmemesi ise bu şokların geçici olduğu anlamına gelmektedir (Yurtkuran, 2020). Bu durumda $\ln CO_2$, $\ln DCHUR$ ve $\ln HCU$ serilerinin KPSS durağanlık sınamasından elde edilen sonuçlara göre serilerin önceki dönemlerde ortaya çıkan politik veya iktisadî şokların etkisi altında oldukları ifade edilmektedir. Çalışmada incelemeye alınan dönemde Türkiye özelinde yaşanan ve Türkiye'yi etkileyen başlıca ekonomik krizler özellikle sermaye hareketlerinin serbest bırakıldığı 1989 yılı ve sonrasında 1994, 2000-2001, 2008-2009 ve 2018-2023 dönemlerinde gerçekleşmiştir (Keyder, 2023). Ekonomiler sadece talep yönlü ekonomik şoklarla değil arza dayalı yani üretime dayalı sebeplerden de etkilenmektedir. Bununla birlikte savaşlar, doğal afetler gibi tamamen dışsal olayların da iktisadî göstergeler üzerinde etkisi bulunmaktadır (Kabadayı, 2013). Birbirini yakın takip eden bu dönemlerin etkilerinin çalışmanın sonuçlarına da yansdığı ifade edilmektedir. Bu durumun seriler ve seriler arası ilişkileri de olumsuz etkilediği değerlendirilmektedir. Çalışmada sonraki bölümlerinde uygulamaya alınan testler için gerekli olan gecikme uzunluğu VAR yöntemiyle belirlenmiştir. Aşırı parametreleşme sorununu gidermek amacıyla uygun gecikme uzunluğuna ilişkin bulgular Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. Gecikme uzunlukları testi bulguları

Gecikme	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-40.7217	NA	0.0324	2.2485	2.3347	2.2791
1	51.2270	169.3793*	0.0003*	-2.3803*	-2.1218*	-2.2883*
2	51.8239	1.0367	0.0003	-2.2012	-1.7703	-2.0479
3	56.7119	7.9750	0.0003	-2.2447	-1.6446	-2.0333

VAR modelinin derecesinin belirlenmesi için kullanılan en yaygın testler olabilirlik oranı testi, AIC ve SC olarak sayılmaktadır. Bu testlere ek olarak paket programlar tarafından sunulan FPE ve HQ de yer almaktadır. Bu kriterleri minimum yapan gecikme uzunluğu optimal gecikme uzunluğu olarak isimlendirilmektedir (Bozdağlıoğlu

ve Özpinar, 2011). Çalışmada kurulan VAR modeli için uygun gecikme sayısı LR, FPE, AIC, SC ve HQ kriterleri dikkate alınarak bir (1) olarak belirlenmiştir. Çalışmada olası sistematik sapmalı sonuçların bertaraf edilebilmesi gibi durumlar adına yapısal kırılmalı birim kök testlerinden faydalanılmıştır. Bu bağlamda uygulanan LS-2004 testi bulguları Tablo 7’de yer almaktadır.

Tablo 7. Tek yapısal kırılmalı LS-2004 testi bulguları

Düzeyde						
Değişken	tau ist.	Kırılma	Gecikme	Kritik Değerler		
				%1	%5	%10
<i>lnCO₂</i>	-3.1149	2013	0	-4.8437	-4.2786	-3.9918
<i>lnDCHUR</i>	-3.1631	2009	1	-4.8965	-4.3336	-4.0530
<i>lnHCU</i>	-3.0512	2015	1	-4.8003	-4.2322	-3.9410
Birinci Fark						
Kritik Değerler						
Değişken	tau ist.	Kırılma	Gecikme	%1	%5	%10
<i>lnCO₂</i>	-6.1429	2017	1	-4.7142	-4.1425	-3.8529
<i>lnDCHUR</i>	-6.6633	1998	0	-4.8856	-4.3191	-4.0366
<i>lnHCU</i>	-7.2598	1999	1	-4.8939	-4.3291	-4.0478

LS 2004 sonuçları incelendiğinde tüm değişkenlerin bütün anlamlılık seviyelerinde düzey değerlerinin yapısal kırılmalarla birlikte birim köke sahip oldukları, birinci farkları alındığında ise sıfır hipotezi reddedilerek serilerin durağan hale geldikleri görülmektedir. Düzey değerleri içerisinde kırılma tarihleri *lnCO₂*, *lnDCHUR* ve *lnHCU* değişkenleri için sırasıyla 2013, 2009 ve 2015 olarak elde edilmiştir. Türkiye’de 2012 yılında karbon emisyonlarının bir önceki yıla göre yüzdelik değişimi 3,3 olarak tespit edilmiştir. 2013 yılında ise karbon emisyonlarının 2012 yılına göre yüzdelik değişimi -1,5 olarak ölçülmüştür (İklim Haber, 2018). 2008 yılında yaşanan küresel ekonomik krizden çıkış yolları arasında uygulamaya alınan maliye politikaları ve üretimin yeterince finans piyasaları tarafından desteklenmemesi sonucunda 2009 yılında küresel olarak arz ve talepte düşüş gözlemlenmiştir. Aynı yıl küresel üretimde meydana gelen %2,2’lik daralma İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra bu oranda meydana gelen ilk daralma olarak ölçülmüştür (Can ve Karataş, 2014). Küresel ekonomide 2012 yılında meydana gelen Euro bölgesi krizi birçok Avrupa ülkesinin teknik resesyona girmesine neden olmuştur. Bu durum dış talepte daralmaya yol açmıştır. Sadece Euro bölgesinde değil ABD ve Çin’de yaşanan seçimler dünyanın iki büyük ekonomisinin kabul değişimi olarak ifade edilmektedir. 2009 yılında Türkiye’deki üretimin %29,9’u hammadde olarak demir cevherini kullanan entegre tesislerde gerçekleşirken %70,1’i hammadde olarak hurda malzeme kullanan tesislerde gerçekleşmiştir (World Steel Association, 2010). Daha öncesinde dünya çelik üretimini yukarı yönlü sürükleyen Çin ve Asya bölgeleri 2015 yılında ise dünya üretimini negatife taşıyan unsurlar olarak anılmaktadır. Aynı dönemde Türkiye’nin çelik üretimi ise peş peşe üçüncü kez düşüş göstermiştir (Gebze Ticaret Odası, 2020). Bu düşüşün nedenleri arasında ise küresel kapasite fazlası sorunu ve bu sorunla ilişkili olarak bazı ülkelerin kapasite fazlalıklarını, yararlandıkları sübvansiyonların da desteği ile dumpingli fiyatlarla dünya piyasalarına sunması da yer almaktadır. Türkiye’nin ise bu durum karşısında kendi pazarını korumada yavaş hareket ederek ithalatı sınırlayıcı bir önlem almaması hem söz konusu olumsuzluğu derinleştirmiş hem de dumpingli ürünleri korumasız kalan en büyük pazarlardan biri olarak Türkiye’ye yönlendirerek yerli üreticiyi zor durumda bırakmıştır (Yayan, 2015). Bu bağlamda LS 2004 testlerinden elde edilen bulguların küresel gelişmeler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Değişkenler üzerinde meydana gelen değişimlerin etki ve nedenlerinin birbiri ile ilişkili konulardan oluştuğu ve global veya ulusal ölçekte benzer dinamiklerin etkisi altında kaldıkları görülmektedir. Bu nedenle analizlere eşbütünlük ilişkilerinin belirlenmesi ile devam edilmiştir. Gregory ve Hansen (1996) yapısal kırılmaları dikkate alan eşbütünlük testinden elde edilen bulgular Tablo 8’de yer almaktadır.

Tablo 8. Gregory ve Hansen (1996) yapısal kırılmalı eşbütünlük testi bulguları

Asimptotik Kritik Değerler						
Test	Model	Test İst.	Kırılma	%1	%5	%10
<i>ADF</i>	C/S	-6.27	2010	-6.45	-5.96	-5.72
<i>Z_t</i>	C/S	-6.35	2010	-6.45	-5.96	-5.72
<i>Z_a</i>	C/S	-43.95	2010	-79.65	-68.43	-63.10

Çalışmada Gregory ve Hansen (1996) yapısal kırılmaları dikkate alan eşbütünleşme testi rejim değişikliği (C/S) modeliyle uygulanmıştır. Bilgi kriteri seçimi olarak Bayesian bilgi kriteri (BIC) tercih edilmiştir. BIC tutarlı tahmin için daha iyi sonuçlar vermektedir (Alakuş, 2019). Bununla birlikte BIC diğer kriterlere kıyasla daha az veri kaybı yaşanmaktadır. Tablo 8’de yer alan kritik değerler Gregory ve Hansen (1996) çalışması baz alınarak elde edilmiştir. Tablo 8’de yer alan test istatistiği değerleri $lnCO_2$, $lnDCHUR$ ve $lnHCU$ değişkenleri arasında kurulan regresyon modelinden elde edilen hata terimlerine karşılık gelmektedir. Gregory ve Hansen (1996) yapısal kırılmaları dikkate alan eşbütünleşme testinde oluşturulan yapısal kırılmalar altında eşbütünleşme yoktur sıfır hipotezi, test istatistiklerinin kritik değerlerden büyük olması durumunda reddedilerek yapısal kırılmalar altında değişkenler arasında eşbütünleşme olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. ADF ve Z_t testlerinden elde edilen test istatistiği değerlerinin %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde asimptotik kritik değerlerden büyük olduğu, Z_a testinde ise tüm anlamlılık düzeyinde değerin düşük olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Z_a ve Z_t testleri en iyi güç ve boyut özelliklerine göre karşılaştırıldığında Z_t testine ait istatistiğin en iyi güç ve boyut özelliğine sahip olduğu bilinmektedir (Gregory ve Hansen, 1996). Bununla birlikte ADF ve Z_t test istatistiklerinin aynı asimptotik dağılıma sahip olması ve ADF test istatistiğinin boyut özelliğinin nominal anlamlılık düzeyine yakın olması testlerin avantajları arasında sayılmaktadır (Çağlar ve Mert, 2017). Bu nedenle $lnCO_2$, $lnDCHUR$ ve $lnHCU$ değişkenleri arasında %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde ADF ve Z_t test sonuçlarına göre eşbütünleşme ilişkisi olduğu kabul edilmektedir. Gregory ve Hansen (1996) yapısal kırılmalı eşbütünleşme testinde kırılma tarihi 2010 olarak elde edilmiştir. 2008 küresel finans ve 2009 Avrupa borç krizlerinin tarihsel örneklerine kıyasla sermaye ve ticaretin serbestleşmesi ile küreselleşme gibi faktörlerin çok önemli – çok dinamikli etkileri demir çelik sektörünün gelişimi üzerinde belirleyici olmuştur. Bu anlamda 2010 yılı sektörün büyüme değil toparlanma yılı olarak nitelendirilmektedir. 2010 yılının kümülatif anlamda Türkiye için verimli geçtiği demir çelik sektörüne ait göstergeler dikkate alınarak ifade edilmektedir. Ancak aynı dönemin akümülatif göstergeleri belirsiz ve dalgalı bir seyir izlemektedir. 2010 yılında nihai mamül üretimi, ham çelik üretiminin %15,2 artmasına rağmen sadece %4,6’lık bir gelişme göstermiştir. Aynı yıl üretilen 5,3 milyon tonluk yassı çeliğe karşılık Türkiye’de 11,6 milyon tonluk yassı çelik tüketimi gerçekleşmiştir (Tatlıdil ve Sayın, 2011). Ayrıca 2010 yılı dünya karbon salımının 1998’ten sonra ilk düşüş yaşadığı yıl olarak kaydedilmiştir (Milliyet, 2010). Türkiye için 2010 yılının ilk yarısının ekonomik anlamda iyi bir performans gösterdiği ifade edilmektedir. Bununla birlikte yılın ikinci yarısında ülkenin kur, enflasyon ve faiz sarmalı etkisinde beklenen performansı sergileyemediği ifade edilmektedir. Dünya demir çelik sektörünün ağırlıklı olarak kamu tekelinde olması ve yabancı yatırımcılara izin verilmesi ve toplam üretim kapasitesinin fazlalığı sektörde faaliyet gösteren firmaların büyüklükleri üzerinde sınırlandırıcı etkiye sahiptir. Bu durum sektörü yönlendirebilecek güçte firma sayısının az olmasına ve işletmeler arası rekabetin sert gerçekleşmesine yol açmaktadır. 2010 yılı ve sonrasında sayılan gerekçelerle demir çelik sektöründe faaliyet gösteren birçok firma küçülme veya el değiştirme durumuyla karşılaşmıştır (Doğaka, 2014). Demir çelik sektörünün ileri geri bağlantısının yüksek olması da sektöre ilişkin göstergelerin tek başlarına yorumlanmaması açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda Gregory ve Hansen (1996) yapısal kırılmaları dikkate alan eşbütünleşme testinden elde edilen bulguların beklentiler ile uygun olduğu görülmektedir. Eşbütünleşme ilişkisinin tespit edilmesini takiben değişkenler arasında nedensellik ilişkileri de belirlenmiştir. Bu amaçla ilk olarak Hacker ve Hatemi-J (2006-2012) simetrik nedensellik testi uygulanmıştır.

Tablo 9. Hacker ve Hatemi-J simetrik nedensellik testi bulguları

Nedensellik Yönü	Kritik Değerler				Karar
	WALD İst.	%1	%5	%10	
$lnCO_2 \rightarrow lnHCU$	4.030	7.396	4.119	2.897	Nedensellik Var ¹⁰
$lnCO_2 \rightarrow lnDCHUR$	0.497	7.499	4.115	2.899	Nedensellik Yok
$lnHCU \rightarrow lnCO_2$	1.125	7.841	4.160	2.898	Nedensellik Yok
$lnHCU \rightarrow lnDCHUR$	0.266	7.636	4.222	2.907	Nedensellik Yok
$lnDCHUR \rightarrow lnCO_2$	0.008	7.276	4.318	2.871	Nedensellik Yok
$lnDCHUR \rightarrow lnHCU$	10.155	7.689	4.269	3.000	Nedensellik Var ^{1,5,10}

Hacker ve Hatemi-J simetrik nedensellik testinde HJC bilgi kriteri dikkate alınmıştır. Kritik değerler bootstrap ile elde edilmiştir. Tablo 9’da nedensellik karar ifadelerinde üstel olarak yer verilen rakamlar mevcut nedenselliğin istatistiksel anlamlılık düzeylerine karşılık gelmektedir. Tablo 9 incelendiğinde $lnDCHUR$ ile $lnHCU$ değişkenleri arasında tüm anlamlılık düzeylerinde güçlü nedensellik ilişkisi olduğu görülmektedir. Bu anlamda demirli atık ve hurda malzeme ithalatından ham çelik üretimine doğru nedensellik ilişkisinin olduğu ifade edilmektedir. Bu durum teori ve beklentilere uygun olarak sonuçlanmıştır. Türkiye’nin üretim yapısı ağırlıklı olarak hurdadan üretim yapan elektrik ark ocaklı ve indüksiyon fırınlı tesislerden oluşmaktadır. 2021 yılı verileri

örneklüğünde Türkiye’de demir cevherinden üretim yapan üç adet entegre bazık oksijen fırınlı tesise karşılık, hurdadan üretim yapan yirmi altı elektrik ark ocaklı ve on bir adet indüksiyon ocaklı tesis bulunmaktadır (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022). Hurda malzemeden üretim yapan tesislerin ana hammadde kaynağını oluşturan demirli atık ve hurdanın üretim için gerekliliği çalışmanın sonuçları ile uyumlu olarak değerlendirilmektedir. $\ln CO_2$ ile $\ln HCU$ değişkenleri arasında %10 anlamlılık düzeylerinde nedensellik ilişkisi olduğu görülmektedir. Önemli bir temel sanayi sektörü olarak kabul edilen çelik endüstrisi karbondioksit ve sera gazlarının en büyük üreticileri arasında yer almaktadır (Zhang vd., 2021). İkincil çelik üretimi, düşük enerji tüketimi ve elektrifikasyon yoluyla karbondan arındırılmasının daha kolay olması gibi özellikleri nedeniyle genel anlamda karbon emisyonları üzerinde azaltıcı potansiyele sahip bir yöntem olarak ifade edilmektedir (Fan ve Friedmann, 2021). Çelik endüstrisinin karbonsuzlaştırılması, kömür bazlı metalurjiden hidrojen ve elektrik bazlı metalurjiye geçişi de gerektirmektedir (Suer vd., 2022). Bu durumun karbon emisyonları ile hurda malzeme ithalatı ve/veya çelik üretimi ile hurda malzeme ithalatı arasında saklı bir nedensellik ilişkisi olduğuna işaret ettiği düşünülmektedir. Değişkenler arası ilişkilerin birbirlerinin azalış ve artış miktarları ile pozitif ve negatif şoklara göre değerlendirilmesi etkin politika önerilerinin ortaya çıkarılabilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmada Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testlerinden faydalanılmıştır. Elde edilen bulgular Tablo 10’da yer almaktadır.

Tablo 10. Hatemi-J asimetrik nedensellik testi bulguları

Nedensellik Yönü	Kritik Değerler				Karar
	WALD İst.	%1	%5	%10	
$\ln CO_2^+ \rightarrow \ln HCU^+$	2.243	9.878	5.022	3.673	Nedensellik Yok
$\ln CO_2^+ \rightarrow \ln HCU^-$	0.043	11.343	4.434	3.142	Nedensellik Yok
$\ln CO_2^- \rightarrow \ln HCU^-$	0.879	13.633	5.392	3.417	Nedensellik Yok
$\ln CO_2^- \rightarrow \ln HCU^+$	0.177	9.197	5.222	3.357	Nedensellik Yok
$\ln CO_2^+ \rightarrow \ln DCHUR^+$	2.031	10.573	4.965	3.363	Nedensellik Yok
$\ln CO_2^+ \rightarrow \ln DCHUR^-$	0.917	7.557	4.291	2.962	Nedensellik Yok
$\ln CO_2^- \rightarrow \ln DCHUR^-$	0.632	10.900	5.392	3.604	Nedensellik Yok
$\ln CO_2^- \rightarrow \ln DCHUR^+$	40.161	15.068	5.505	3.192	Nedensellik Var ^{1,5,10}
$\ln HCU^+ \rightarrow \ln CO_2^+$	0.474	10.346	4.726	3.154	Nedensellik Yok
$\ln HCU^+ \rightarrow \ln CO_2^-$	0.997	8.336	4.553	3.006	Nedensellik Yok
$\ln HCU^- \rightarrow \ln CO_2^-$	0.120	21.018	5.236	3.211	Nedensellik Yok
$\ln HCU^- \rightarrow \ln CO_2^+$	0.234	8.361	5.066	3.202	Nedensellik Yok
$\ln HCU^+ \rightarrow \ln DCHUR^+$	2.673	10.138	4.644	3.421	Nedensellik Yok
$\ln HCU^+ \rightarrow \ln DCHUR^-$	0.001	14.636	6.815	3.808	Nedensellik Yok
$\ln HCU^- \rightarrow \ln DCHUR^-$	11.694	16.153	5.164	3.007	Nedensellik Var ^{1,5,10}
$\ln HCU^- \rightarrow \ln DCHUR^+$	0.342	10.023	4.480	3.205	Nedensellik Yok
$\ln DCHUR^+ \rightarrow \ln CO_2^+$	0.051	8.785	4.598	3.251	Nedensellik Yok
$\ln DCHUR^+ \rightarrow \ln CO_2^-$	3.699	7.674	4.499	3.011	Nedensellik Var ¹⁰
$\ln DCHUR^- \rightarrow \ln CO_2^-$	0.029	19.728	7.091	4.767	Nedensellik Yok
$\ln DCHUR^- \rightarrow \ln CO_2^+$	0.000	9.290	4.867	3.138	Nedensellik Yok
$\ln DCHUR^+ \rightarrow \ln HCU^+$	0.026	9.406	5.042	3.343	Nedensellik Yok
$\ln DCHUR^+ \rightarrow \ln HCU^-$	2.147	9.787	4.596	3.196	Nedensellik Yok
$\ln DCHUR^- \rightarrow \ln HCU^-$	0.023	14.008	4.650	2.995	Nedensellik Yok
$\ln DCHUR^- \rightarrow \ln HCU^+$	0.079	7.486	4.488	2.984	Nedensellik Yok

Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testinde HJC bilgi kriteri dikkate alınmıştır. Kritik değerler bootstrap ile elde edilmiştir. Tablo 10’da nedensellik karar ifadelerinde üstel olarak yer verilen rakamlar mevcut nedenselliğin istatistiksel anlamlılık düzeylerine karşılık gelmektedir. Tablo 10 incelendiğinde $\ln CO_2^-$ ’den $\ln DCHUR^+$ ’ye doğru ve $\ln HCU^-$ ’den $\ln DCHUR^-$ ’ye doğru değişkenleri arasında tüm anlamlılık düzeylerinde güçlü nedensellik ilişkisi olduğu, $\ln DCHUR^+$ ’den $\ln CO_2^-$ ’ye doğru da %10 anlamlılık düzeyinde nedensellik ilişkisi olduğu bulguları elde edilmiştir. Bu bağlamda sonuçlar değerlendirildiğinde, karbon emisyonlarının azalmasının demirli atık ve hurda ithalatının artmasının sebebi, ham çelik üretiminin azalmasının ise demirli atık ve hurda ithalatının azalmasının sebebi olduğu ifade edilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar aynı zamanda nedensellik bulguları arasında yer alan %10 anlamlılık düzeyinde demirli atık ve hurda ithalatının artmasının karbon emisyonlarının azalmasının sebebi olduğu sonucunu da desteklemektedir. Haupt ve diğerleri (2016), elektrik ark ocaklı

tesislerin, her ne kadar düşük kaliteli hurda girdisi olsa da çelik geri dönüşümünün çevresel açıdan birincil çelik üretiminden daha üstün olduğunu ve kaynak geri kazanımı açısından önemli bir potansiyeli barındırdığını ifade etmektedirler. Küresel anlamda çevre politikalarında alınan sıkı tedbirler ve uygulamalar son yıllarda üç R kavramının önemini arttırmıştır. Azaltma, yeniden kullanma ve geri dönüştürme olarak açıklanan üç R (*reduce, reuse ve recycle*) ile yenilikçi teknolojiler ve Ar-Ge çalışmaları endüstriyel yan ürünlerin uygun şekilde yeniden kullanımına yol açarak çelik sektörünün malzeme verimliliğine %97,6'lık olumlu katkı sunmaktadır (Biswal vd., 2020). Bu bağlamda Hatemi-J asimetrik nedensellik testlerinden elde edilen bulguların teori ve beklentiler ile uygun olduğu değerlendirilmektedir. Hacker ve Hatemi-J (2012) simetrik ve Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testleri incelendiğinde bulgular arasında ortak ve farklılaşan sonuçlar olduğu da görülmektedir. Bu durum modelleme yaklaşımı ile simetrik testlerin daha genel bir görüş sunması asimetrik nedensellik testlerinin ise nedensellik yönlerini daha hassas belirleyebilmesi ile ilişkilendirilmektedir. Literatür yaklaşımı ile de simetrik nedensellik testlerinden elde edilen *lnDCHUR* ile *lnHCU* değişkenleri arasındaki güçlü nedensellik ilişkisi çalışmanın demir çelik endüstrisini tüm üretim yöntemlerine göre bütün olarak ele alması ile açıklanmaktadır. Benzer şekilde *lnCO2* ile *lnHCU* değişkenleri arasında %10 anlamlılık düzeyinde elde edilen ilişkinin varlığı simetrik nedensellik testinin pozitif değişmelerin nedensellik etkilerinin negatif değişimler ile aynı kabul edilmesi varsayımından kaynaklı olduğu değerlendirilerek asimetrik nedensellik testleri ile de çalışmada uygulamaya alınmıştır. Bu durum, konu bağlamı açısından Yayan (2014) tarafından örneklendirilmiştir. Yayan (2014)'e göre Türkiye'de hurda ithalatının büyüklüğünün nicel bir büyüklük olması, etki büyüklüğü açısından yeterli nüfuza sahip olmaması ile açıklanmaktadır. Bu bağlamda hurda ithalatının 'kara delik' olarak ifade edilmesi hatalı bir değerlendirme olarak görülmektedir. Hurda ithalatındaki değer cinsinden bir birim gerileme, dış ticaret üzerinde ihracat, ithalat veya ithal ikamesi yolu ile yaklaşık iki birimlik kayba karşılık gelmektedir. Bu durum cevher zenginleştirme ve alternatif girdilerin göz ardı edilmesi anlamına gelmektedir. Türkiye özelinde demir çelik sektöründe özellikle hurda ithalatı, çelik üretimi ve karbon emisyonları konularında çok dinamikli etkilerin olabileceği de dikkate alınmalıdır. Hurda ithalatının düşmesi durumunda çelik sektörünün daha az üretim yapmasına paralel olarak dış ticaret açığı, hurda ithalatındaki düşüşten yaklaşık iki kat daha fazla artış göstermektedir. Çelik sektörünün hurda ithalatı sayesinde, ürettiği katma değer göz ardı edilmemesi ekonomideki hızlı gelişmenin sürdürülmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda asimetrik nedensellik testlerinden elde edilen bulguların daha tutarlı olduğu görülmektedir. Çalışmada ulaşılan bulguların genel değerlendirmesine ve politika önerilerine bir sonraki başlıkta yer verilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sera gazı salınımını gerçekleştiren endüstrilerin radikal bir şekilde modernizasyonu, düşük karbon ekonomisine geçişin vazgeçilmez bir tedbiri olarak değerlendirilmektedir (Shatokha vd., 2016: 289). Demir çelik üretim süreçleri de enerji yoğun özellikli olup önemli miktarda sera gazı emisyonlarından sorumlu tutulmaktadır (Xylia vd., 2018). Bu sorumluluk, demir çelik endüstrisinin üretim şekline ve rotasına, ürün portföy genişliğine ve üretim süreçlerinde kullanılan malzemelerin karbon yoğunluğuna bağlı olarak ülkeler özelinde farklılık göstermektedir. Bu nedenle incelemelerin ülkeler özelinde yapılmasının daha anlamlı olacağı değerlendirilmektedir. Türkiye'nin hem döngüsel ekonominin lokomotifleri olan ülkelerle olan ticarî ve siyasi ilişkileri hem de Türkiye'de çelik üretiminde hurda malzemenin üretim yapan tesis sayısının ağırlıklı olması nedeniyle önemli bir aktör olduğu değerlendirilmektedir. Bununla birlikte demir çelik endüstrisinde iklim krizi ve karbon emisyonlarına ilişkin regülasyon ve modernizasyonların tam zamanında ve gerektiği gibi gerçekleştirilememesi halinde sadece endüstrinin değil diğer sanayi kolları ile birlikte Türkiye'nin uluslararası ticaretinin de kuvvetle muhtemel bir dizi zorlukla karşılaşabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle bir mevcut durum analizi niteliğinde olan bu çalışmada Türkiye için karbon emisyonları, çelik üretimi ve hurda malzeme ithalatı ilişkisi araştırılmıştır.

Çalışmada öncelikli olarak serilerin durağan olup olmadıkları geleneksel birim kök testleri yardımıyla belirlenmiştir. Serilerin düzey değerlerinde tespit edilen birim kökün varlığı olası politik ve iktisadî şokların serileri kalıcı olarak etkilediği anlamına gelmektedir. Bu bilgiden hareketle Türkiye'de demir çelik sektörünün siyasi, ticarî ve iktisadî olaylara karşı duyarlı olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca düzey değerlerinin farklı anlamlılık seviyelerinde durağan olmalarının yapısal kırılmalara işaret ettiği varsayımından hareketle uygulanan yapısal kırılmalı birim kök testleriyle bu durum desteklenmiştir. Seriler arasındaki ilişkinin varlığını ortaya çıkarabilmek adına yapısal kırılmaları da dikkate alan eşbütünleşme testleri ile karbon emisyonları, hurda malzeme ithalatı ve ham çelik üretimi arasında ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Değişkenlerin birbiri ile ilişkili olma durumunun nedenselliği öncelikli olarak simetrik testler ile incelenmiş ve hurda malzeme ithalatından ham çelik üretimine doğru kuvvetli bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Değişken olarak seçilen karbon emisyonları ile hurda

malzeme ithalatı arasında beklenen teorik ters yönlü ilişki dikkate alındığında pozitif ve negatif şokların etkisi ve değişkenler arasındaki saklı ilişkilerin ortaya çıkarılmasına gerek görülerek çalışmada asimetrik nedensellik testlerinden de faydalanılmıştır. Bu anlamda 1983-2023 döneminde Türkiye özelinde hurda malzeme ithalatının artmasının karbon emisyonlarının azalmasına neden olan faktörler üzerinde etkili olduğu, hurda malzeme ithalatında görülen azalmaların ise ham çelik üretiminin de azalmasına neden olabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Literatürde ülkeler özelinde hurda malzemenin rolüne, karbon emisyonlarına ve çelik üretim süreçlerine bütünlük olarak odaklanan çalışmalar incelenerek mevcut bulgular ile bu çalışmaların sonuçları da karşılaştırılmıştır. Janke ve diğerleri (2000), düşük veya yüksek alaşımlı çelik üretimi açısından hurda bulunabilirliğine ve hurdanın kalitesine özel vurgu yapmışlardır. Kuramochi (2016), benzer şekilde Japon çelik endüstrisine odaklanmış ve hurda malzeme kullanımının arttırılmasının Japon çelik üreticileri için pazarı canlandırmak, orta vadede rekabet gücünü korumak ve küresel karbon emisyonlarını azaltmak açısından alternatif bir seçenek olabileceği sonucuna ulaşmıştır. Serrenho ve diğerleri (2016), İngiltere özelinde kendi çelik ürünlerinin daha fazlasını yerel ikincil çelik üretimiyle üretmeye yönelmediği sürece küresel çelik endüstrisinin karbon emisyonlarını azaltmada sınırlı bir etkiye sahip olabileceğini ifade etmişlerdir. Demir çelik endüstrisinde dünyanın en büyük üreticisi ve tüketicisi konumunda bulunan Çin'i inceleyen Wang ve diğerleri (2017), ülkede hurda üretiminin önümüzdeki yıllarda yetersiz kalması durumunda hurdanın yeniden kullanılmasının ve yeniden üretilmesinin de faydasının sınırlı olabileceğine atıfta bulunmuşlardır. Yazarlar analizlerinde aynı üretim için daha az malzeme ve daha yoğun kullanım teknolojilerini benimsemenin Çin çelik endüstrisinde sürdürülebilirliği iyileştirmek için etkili önlemler arasında olduğunu belirlemişlerdir. Bu anlamda çalışmanın literatürde diğer ülkeleri inceleyen çalışmalarla ortak ve benzer sonuçları desteklediği ifade edilmektedir. Türkiye'de hurda hammadde ithalatının çelik üretimi ile ilişkisini ortaya çıkarmayı, karbon emisyonlarının belirleyiciliğini açıklamayı ve sektörü politik, çevresel ve ekonomik açıdan incelemeyi amaçlayan bu çalışmada demir çelik endüstrisi konusunda Türkiye'nin diğer ülkelere farkı da değerlendirmeye alınmıştır. Bu bağlamda Türkiye'nin diğer ülkelere kıyasla avantajları arasında ülkede demir çelik sektörünün stratejik bir sektör olması, uluslararası standartlarda üretim yapabilme kapasitesine sahip olması ve mevcut tesislerde paslanmaz çelik üretebilmede daha az finansmana ihtiyaç duyması yer almaktadır (Kayır, 2007). Bu bağlamda, pazarlara yakınlık, iç ve dış talepte ürün deseninin çeşitliliği, sektör büyüklüğü ve üretim yapısı ile gemi geri dönüşümüne sahip olması hurda malzeme ithalatı, karbon emisyonları ve çelik üretimi başlıklarının Türkiye'yi stratejik olarak öne çıkardığı değerlendirilmesine imkân vermektedir. Bununla birlikte yeşil çelik süreçlerine ilişkin hazırlıklarının ivme kazanarak sonuçlanmaması halinde Türkiye demir çelik endüstrisini bir sorunlar dizisinin beklediği de ifade edilmektedir.

Hurda kaynaklarının da sonsuz özellik göstermemesi ve hurda malzemelerin fiyatlarının arz/talep ilkesine göre benimsenmesi üreticileri fiyat makas kırılımı sorunuyla karşılandırmaktadır. Küresel iklim krizi, sınırda karbon mekanizması gibi çevresel regülasyonların ve yaptırımların fiyatlar üzerinde artışa neden olacağı beklentisinin bu sorunu daha da derinleştirebileceği değerlendirilmektedir. Çalışma içeriğinden ve elde edilen sonuçlardan küresel iklim krizi tedbirlerinin ulusal zenginliğe erişme yöntemlerini değiştirebileceği öngörüsüne ulaşılmaktadır. Bu nedenle Türkiye'nin demir çelik endüstrisi özelinde yatırım ve ticaret politikaları ile endüstriyel gruplarını ve portföyünü revizyon mantığıyla iklim krizi ve etkilerine göre yeniden değerlendirmeye alması önerilmektedir. Türkiye'de öncelikli olarak yeşil dönüşüme uygun, geniş kapsamlı ve geleceğe dönük bir ulusal demir çelik stratejisinin oluşturulmasına ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir. İktisadî açıdan ise enerji ve hammaddeye ilişkin fiyat dalgalanmaları dikkate alındığında kamu öncülüğünde yerli kaynak araştırmalarının teşvik edilmesi elzem olarak ifade edilmektedir. Hurda miktarlarında yurt dışına olan aşırı bağımlılığın yurtiçi hurda kontrolü, alternatif girdiler ve uluslararası haksız rekabet koşullarına ilişkin alınacak tedbirlerle aşılabileceği düşünülmektedir. Türkiye'nin dünyanın sayılı gemi geri dönüşüm endüstrisine sahip ülkeler arasında yer alması ve gemilerin düşük kirletici seviyede E3 olarak nitelendirilen yüksek kaliteli hurda çelik kaynağı olması Türkiye'de çelik endüstrisinin avantajına olan faktörler arasında sayılmaktadır. Türkiye'deki tesislerin Avrupa Birliği tarafından kabul edilen Avrupa Gemi Geri Dönüşüm Yasası'na uygunluğu bir fırsat olarak değerlendirilmeli ve çelik sektörüne ilişkin proje, tedbir ve uygulamaların diğer sektörler ve paydaşlarla birlikte bütünlük olarak ele alınması gerektiği değerlendirilmektedir. Son olarak hurda bağıışı ve Türkiye özelinde hammadde malzeme akışı analizi konularının gelecek çalışmalar için bir vizyon oluşturabileceği ifade edilmektedir.

KAYNAKÇA

- Akçakaya, U. (2022). "Bir Karşış Fazla Şimendifer: Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Demiryolu Politikasının Değişimi", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tarih Dergisi*, 5(1), 29-61. <https://doi.org/10.47437/esogutd.1078259>
- Alakuş, K. (2019). *Hptz.Hf.10 Model Dağılımı ve Seçme*. <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/kamilal/108861/HPTZ.HF10.pdf> (Erişim tarihi: 20.04.2024).
- Algan, N. ve Gencer, S. (2015). "Türkiye'de Turizm Gelirlerinin Ekonomik Büyümeye Etkisi: Yapısal Kırılmalı Eşbütünleşme Testinden Bulgular", *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 31-44.
- Allaro, H. B., Kassa, B. ve Hundie, B. (2011). "A Time Series Analysis of Structural Break Time in the Macroeconomic Variables in Ethiopia", *African Journal of Agricultural Research*, 6(2), 392-400.
- Andersson, G., Sperle, J. O., Hallberg, L., Almemark, M., Lindfors, L. G., Ekdahl, Å., ... ve Schedin, E. (2013). *Environmental Evaluation of Steel and Steel Structures, Handbook of Engineers, Researchers and University Students*. Stockholm: Jernkontoret.
- Aşıcı, M. A. (2021). *Avrupa Birliği'nin Sınırdaki Karbon Uyarlaması Mekanizması ve Türkiye Ekonomisi*. İstanbul: IPM-Mercator.
- Aue, A. ve Horváth, L. (2012). "Structural Breaks in Time Series", *Journal of Time Series Analysis*, 34(1), 1-16. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.2012.00819.x>
- Avinal, A., Tosun, C., Dağlı, S., Duhbaci, T. B. ve Şık, E. (2019). *Ana Demir ve Çelik Ürünleri ile Ferro Alaşımın İmalatı*. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 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>
- Batmaz, T. ve Yürük, B. (2021). "Savunma Harcamaları ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Simetrik ve Asimetrik Nedensellik Analizi: Türkiye Örneği (1985-2019)", *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 8(3), 1764-1781. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.914932>
- Baygut, A., Çulha, O. ve Yağcı, T. (2022). "Ön Deformasyona Uğratılmış Hammadde Kullanılarak Paslanmaz Çelik Bağlantı Elemanının Simülasyon Destekli Soğuk Dövme Üretimi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 24(72), 689-702. <https://doi.org/10.21205/deufmd.202247201>
- Bıyık, Y. ve Özkale, L. (2017). "Demir Çelik Endüstrisi Üretim Yöntemleri ile İhracat Katma Değer ve Karbon Emisyonu Azaltma Politikaları Arasındaki İlişki", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(13), 718-735.
- Bigpara (2004). *Rakamlarla 2004 Türkiye Ekonomisi*. https://bigpara.hurriyet.com.tr/haberler/genel-haberler/rakamlarla-2004-turkiye-ekonomisi_ID506575/ (Erişim tarihi: 28.04.2024).
- Birat, J. P. (2020). "Society, Materials, and the Environment: The Case of Steel", *Metals*, 10(3), 331. <https://doi.org/10.3390/met10030331>
- Biswal, S., Pahlevani, F. ve Sahajwalla, V. (2020). "Wastes as Resources in Steelmaking Industry Current Trends", *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 26, 100377. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100377>
- Bozdağlıoğlu, Y. E. ve Özpınar, Ö. (2011). "Türkiye'ye Gelen Doğrudan Yabancı Yatırımların Türkiye'nin İhracat Performansına Etkilerinin VAR Yöntemi ile Tahmin Edilmesi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(3), 39-63.
- Brown, L. R. (1998). Facing Nature's Limits. Population and Global Security. İç. N. Polunin (Ed.), *Population and Global Security*, (ss. 251-270). Cambridge: Cambridge University Press.
- Can, Y. ve Karataş, A. (2014). "2008 Küresel Ekonomik Krizin İstihdama Etkileri", *Sosyal ve Beşerî Bilimler Dergisi*, 6(2), 12-21.
- Çağlayan, E. ve Saçaklı, İ. (2006). "Satın Alma Gücü Paritesinin Geçerliliğinin Sıfır Frekansta Spektrum Tahmincisine Dayanan Birim Kök Testleri ile İncelenmesi", *Atatürk Üniversitesi İktisadî ve İdarî Bilimler Dergisi*, 20(1), 121-137.
- Cebecik, H. (2017). *Türkiye'nin Sanayileşme Sürecinde Ağır Sanayii Kuruluşu Olarak Karabük Demir ve Çelik Fabrikası 1937-1995*. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi Enstitüsü, Ankara.

- Çakır, A. ve Arianpour, F. (2023). "Çelik Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Demir Oksitin Aventurin Sırlarında Yeniden Kullanımı", *International Journal of Engineering Research and Development*, 15(3), 143-152. <https://doi.org/10.29137/umagd.1312191>
- Çetin, B. ve Filiz, T. (2023). Küresel Hurda Demir Ticareti İlişkilerinin Sosyal Ağ Analizi Yöntemiyle Değerlendirilmesi", *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 10(1), 158-182. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.1097376>
- Çetin, R. (2020). Türkiye'nin Motorlu Kara Taşıtları ve Demir Çelik Sektörlerindeki Küresel Rekabet Gücünün Değerlendirilmesi. İ. M. Y. Alptekin (Ed.) *Sosyal Bilimlerde 2020 Gündemi Türkiye ve Doğu Akdeniz*, (ss. 164-185). Trabzon: Serander Yayınları.
- Dağdemir, Ö. (2015). "Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Ekonomik Büyüme: İklim Değişikliği Politikasının Türkiye İmalat Sanayii Üzerindeki Olası Etkileri", *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 60(2), 49-70.
- Değer, M. K. ve Pata, U. K. (2017). "Türkiye'de Dış Ticaret ve Karbondioksit Salınımı Arasındaki İlişkilerin Simetrik ve Asimetrik Nedensellik Testleriyle Analizi", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 18(1), 31-44.
- Dereli, N. (2021). "Kaynak Tüketim Muhasebesi: Çelik Üretim İşletmesinde Bir Uygulama", *Uluslararası Akademik Yönetim Bilimleri Dergisi*, 7(10), 137-153. <https://doi.org/10.51947/yonbil.873297>
- Dikmen, N. (2018). *E-Views Uygulamalı Ekonometriye Giriş Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Ecer, K., Güner, O. ve Çetin, M. (2021). "Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye Ekonomisinin Uyum Politikaları", *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 9(2), 125-144.
- Elektrik Mühendisleri Odası (2005). *Erdemir Gerçeği Oda Raporu*. [https://www.emo.org.tr/ekler/1665c93b72f55b2_ek.pdf?tipi=36&turu=X&sube=0#:~:text=2004%20y%C4%B1l%C4%B1nda%20d%C3%BCn%C3%A7elik%20C3%BCretimi,projeksiyonu%201%2C4%20milyar%20tondur.\(Erişim tarihi: 28.04.2024\).](https://www.emo.org.tr/ekler/1665c93b72f55b2_ek.pdf?tipi=36&turu=X&sube=0#:~:text=2004%20y%C4%B1l%C4%B1nda%20d%C3%BCn%C3%A7elik%20C3%BCretimi,projeksiyonu%201%2C4%20milyar%20tondur.(Erişim tarihi: 28.04.2024).)
- Erdoğan, N. Ş., Duru, M. O. ve Koç, İ. (2024). Yapı Üretiminde Alternatif Yaklaşım: Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri. İ. B. Tülek (Ed.) *Mimarlık Alanında Akademik Analizler* (ss. 1-23). Afyonkarahisar: Yaz Yayınları.
- Erol, F. G. ve Türkmen, S. Y. (2020). "Çelik Hurdası Vadeli İşlem Sözleşmeleri", *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(3), 388-405. <https://doi.org/10.29106/fesa.757906>
- Eştürk, Ö. (2006). *Türkiye'de Liberalizm: 1983-1989 Turgut Özal Dönemi Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hatay.
- Fenkli, M. ve Uysal, D. (2022). "Gregory Hansen Koentegrasyon Yöntemiyle Vergi-Harcama Hipotezi Üzerine Ampirik Bir Araştırma: Türkiye Örneği (2006-2022)", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(4), 1572-1601. <https://doi.org/10.16953/deusosbil.1177104>
- Gebze Ticaret Odası (2020). *Türkiye'de ve Dünyada Demir Çelik Sektörü*. Gebze: Gebze Ticaret Odası Ticaret Bölümü Yayını.
- Giddings, B., Hopwood, B. ve O'brien, G. (2002). "Environment, Economy and Society: Fitting them Together into Sustainable Development. *Sustainable Development*, 10(4), 187-196. <https://doi.org/10.1002/sd.199>
- Jimeno, R, Manchado, B. ve Minguez, R. (1999). "Stationarity Tests for Financial Time Series," *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 269(1), 72-78. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(99\)00081-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(99)00081-3)
- Glais, M. (1995). Steel Industry. İ. P. Buigues, A. Jacquemin ve A. Sapir (Ed.), *European Policies on Competition Trade and Industry*, (ss. 219-267). Monograph Book.
- Global Carbon Budget (2024). *Global Carbon Atlas*. <https://globalcarbonatlas.org/> (Erişim Tarihi: 25.04.2024).
- Göçer, İ. ve Bulut, Ş. (2015). "Petrol Fiyatlarındaki Değişimlerin Rusya Ekonomisine Etkileri: Çoklu Yapısal Kırılmalı Eşbütünlük ve Simetrik Nedensellik Analizi", *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 721-748.
- Gökcecik, G. ve Dulkadiroğlu, H. (2021). "Elektrik Ark Ocağı ile Üretim Yapan Bir Demir-Çelik Tesisinin Mevcut En İyi Teknikler Kapsamında Değerlendirilmesi", *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 465-471. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.824701>
- Granger, C. W. J. (1969). "Investigating Causal Relations by Econometric Models and CrossSpectral Methods", *Econometrica*, 37(3), 424-438. <https://doi.org/10.2307/1912791>

- Granger, C. W. J. ve Yoon, G. (2002). *Hidden Cointegration Department of Economics Working Paper*. University of California, No:2002-02.
- Gregory, A. W. ve Hansen, B. E. (1996). "Residual-Based Tests for Cointegration in Models with Regime Shifts", *Journal of Econometrics*, 70(1), 99- 126.
- Gregory, A. W. ve Hansen, B. E. (1996). "Tests for Cointegration in Models with Regime and Trend Shifts", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics, Department of Economics, University of Oxford*, 58(3), 555-560.
- Gürler, M. (2024). *Dünyada ve Türkiye’de Çelik Sektörünün Analizi*. Teknik Rapor İstanbul Medipol Üniversitesi Yayınları.
- Hacker, R.S. ve Hatemi-J, A. (2006). "Tests for Causality between Integrated Variables Using Asymptotic and Bootstrap Distributions: Theory and Application", *Applied Economics*, 38(13), 1489-1500. <https://doi.org/10.1080/00036840500405763>
- Hao, H., Wu, H., Wei, F., Xu, Z. ve Xu, Y. (2024). "Scrap Steel Recycling: A Carbon Emission Reduction Index for China", *Sustainability*, 16(10), 4250. <https://doi.org/10.3390/su16104250>
- Hatemi-J, A. (2003). "A New Method to Choose Optimal Lag Order in Stable and Unstable VAR Models", *Applied Economics Letters*, 10(3), 135-137. <https://doi.org/10.1080/1350485022000041050>
- Hatemi, J. A. (2012). "Asymmetric Causality Tests With an Application", *Empirical Economics*, 43, 447-456. <https://doi.org/10.1007/s00181-011-0484-x>
- Hatemi-J, A. ve Roca, E. (2006). "A Re-Examination of International Portfolio Diversification Based on Evidence From Leveraged Bootstrap Methods", *Economic Modelling*, 23(6), 993-1007. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2006.04.009>
- Haupt, M., Vadenbo, C., Zeltner, C. ve Hellweg, S. (2016). "Influence of Input-Scrap Quality on the Environmental Impact of Secondary Steel Production," *Journal of Industrial Ecology*, 21(2), 391-401. <https://doi.org/10.1111/jiec.12439>
- Hirschman, A. O. (1958), *Interdependence and Industrialization in The Strategy of Economic Development*. New Haven: Yale University Press.
- Ianos, I., Peptenatu, D. ve Zamfir, D. (2009). "Respect for Environment and Sustainable Development", *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 4(1), 81-93.
- International Energy Agency. *Energy Technology Perspectives*. IEA Publishing.
- ITC Trade Map (2024). *Trade Statistics for International Business Development*. <https://www.trademap.org/Index.aspx> (Erişim tarihi: 06.05.2024).
- İklim Değişikliği Başkanlığı (2024). *Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi*. <https://iklim.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-33> (Erişim tarihi: 04.05.2024)
- İklim Haber (2018). *Türkiye Sera Gazı Emisyon İstatistiklerine Yakın Bakış*. <https://www.iklimhaber.org/turkiye-sera-gazi-emisyon-istatistiklerine-yakin-bakis/> (Erişim Tarihi: 29.04.2024).
- Janke, D., Savov, L., Weddige, H. J. ve Schulz, E. (2000). "Scrap-Based Steel Production and Recycling of Steel", *Mater Tehnol*, 34(6), 387-399.
- Kabadayı, B. (2013). "Küresel Finansal Krizin Türkiye Sanayi Alt Dallarında Meydana Getirdiği Şok Etkisinin Derecelendirilmesi", *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 11(20), 1-15. <https://doi.org/10.11611/JMER170>
- Kaiser, F., Reichel, T., Echterhof, T., Mier, D., Unamuno, I. ve Pfeifer, H. (2024). Decreasing the Environmental Impact of the Electric Steel Making Process Through Implementation of Furnace Retrofitting Solutions. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (1309)1*, 012009, IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1309/1/012009>
- Kayabaş, Y. (2019). *Demir Çelik Sektöründe Yeşil Üretimin Bulanık Bilişsel Haritalama Metoduyla Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Kayır, Y. Z. (2007). "Türkiye paslanmaz çelik üretebilir mi", *Metalurji Dergisi*, (146), 1-12.
- Keyder, N. (2023). *Türkiye’nin Kriz Deneyimleri 1994, 2000-2001, 2008-2009 ve 2018-2022 Krizleri*. İktisat ve Toplum Dergisi. Mayıs 2023. <https://iktisatvetoplum.com/turkiyenin-kriz-deneyimleri-1994-2000-2001-2008-2009-ve-2018-2022-krizleri-nur-keyder/> (Erişim tarihi: 27.04.2024).

- Klimek, P., Hess, M., Gerschberger, M. ve Thurner, S. (2024). "Circular Transformation of the European Steel Industry Renders Scrap Metal a Strategic Resource", *ArXiv*, v1, 2406.12098. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.12098>
- Klotz, L., Lenz, G., Antoniassi, N., Borges, R. ve Nunes, T. (2024). "Multivariate Analysis of the Main Operational Variables Involved in Steel Producing on BOF Using Time Series Tools", *Metallurgical and Materials Engineering*, 30(1), 70-80. <https://doi.org/10.56801/MME1027>
- Koç, B. E. ve Kaynak, S. (2023). "Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizmasının Türkiye- AB-27 Dış Ticaret İlişkisi Üzerine Olası Etkisi", *Verimlilik Dergisi*, 57(2), 273-288. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1166045>
- Kuramochi, T. (2016). "Assessment of Midterm CO2 Emissions Reduction Potential in the Iron and Steel Industry: A Case of Japan", *Journal of Cleaner Production*, 132, 81-97. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.055>
- Kurun, A. (2022). *Türkiye’de Demir Çelik Sektörünün Genel Görünümü ve Ekonomik Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hatay.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P.C. B., Schmidt, P. ve Shin, Y. (1992). "Testing The Null Hypothesis of Stationarity Against the Alternative of a Unit Root: How Sure Are We That The Economic Time Series Have a Unit Root", *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y)
- Lee, J. ve Strazicizh, M. C. (2003). "Minimum Lagrange Multiplier Unit Root Test with Two Structural Breaks", *The Review of Economics and Statistics*, 85(4), 1082-1089. <https://doi.org/10.1162/003465303772815961>
- Lee, J. ve Strazicich, M. C. (2004). *Minimum LM Unit Root Test with One Structural Break*. Appalachian State University Working Papers, 04-17, 1-15.
- Liu, Y., Cui, M. ve Gao, X. (2023). "Building Up Scrap Steel Bases for Perfecting Scrap Steel Industry Chain in China: An Evolutionary Game Perspective", *Energy*, 278, 127742. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127742>
- Lumsdaine, R. L. ve Papell, D. H. (1997). "Multiple Trend Breaks and The Unit Root Hypothesis," *The Review of Economics and Statistics*, 79(2), 212- 218. <https://doi.org/10.1162/003465397556791>
- 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>
- Oda, J. ve Akimoto, K. (2022). "Carbon intensity of the Japanese Iron and steel Industry: Analysis of factors from 2000 to 2019", *Journal of Cleaner Production*, 345, 130920. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130920>
- Orlando, L. P. H., Junior, C. R. A. ve Wlamyr, P. A., (2022). "Impact Of Ferrous Scrap On The Steel Industry", *Journal of Language and Linguistic Studies*, 18(4), 613-625.
- Özcan, C. C. (2015). "Turizm Gelirleri-Ekonomik Büyüme İlişkisinin Simetrik ve Asimetrik Nedensellik Yaklaşımı İle Analizi: Türkiye Örneği", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (46), 177-199.
- Özsoy, M. ve Fırat, S. (2023). "Çelik Cürufu ile Yapılan Yol Altyapısı Katmanlarının Sayısal Analizleri", *Journal of Polytechnic*, 26(4), 1661-1673. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1199022>
- Page, E. S. (1954). "Continuous Inspection Schemes", *Biometrika*, 41(1/2), 100-115. <https://doi.org/10.2307/2333009>
- Pata, U. K. (2018). "Türkiye’de Enflasyon, Tasarruf ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkilerin Simetrik ve Asimetrik Nedensellik Testleri ile Analizi", *Maliye Dergisi*, 174, 92-111.
- Pata, U. K. (2018). "Türkiye’de Kadın İstihdamı ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Simetrik ve Asimetrik Nedensellik Testleri ile Sektörel Bir Analiz", *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (21), 135-150. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.391777>
- 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>
- Perron, P. (1989). "The Great Crash The Oil Price Shock and The Unit Root Hypothesis", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 1361-1401. <https://doi.org/10.2307/1913712>
- Raabe, D., Jovičević-Klug, M., Ponge, D., Gramlich, A., da Silva, A. K., Grundy, A. N., ... ve Ma, Y. (2024). Circular Steel for Fast Decarbonization: Thermodynamics, Kinetics, and Microstructure Behind Upcycling Scrap into High-Performance Sheet Steel. *Annual Review of Materials Research*, 54. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-080222-123648>

- Reck, B. K., Zhu, Y., Althaf, S. ve Cooper, D. R. (2024). Assessing the Status Quo of US Steel Circularity and Decarbonization Options. İç. N. Nasr (Ed.), *Technology Innovation for the Circular Economy: Recycling, Remanufacturing, Design, Systems Analysis and Logistics*, (ss. 211-221), Wiley Books. <https://doi.org/10.1002/9781394214297.ch17>
- Roseland, M. (2000). "Sustainable Community Development: Integrating Environmental, Economic, and Social Objectives", *Progress in planning*, 54(2), 73-132. [https://doi.org/10.1016/S0305-9006\(00\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S0305-9006(00)00003-9)
- Ruth, M. (1995). "Technology Change in US Iron and Steel Production: Implications for Material and Energy Use, and CO2 Emissions", *Resources Policy*, 21(3), 199-214. [https://doi.org/10.1016/0301-4207\(96\)89790-X](https://doi.org/10.1016/0301-4207(96)89790-X)
- Saçık, S. Y. (2009). "1980-2006 Döneminde Türkiye'nin Dış Ticaret Politikaları ve Performansı", *Mevzuat Dergisi*, 12(140). <https://www.mevzuatdergisi.com/2009/08a/02.htm> (Erişim tarihi: 07.05.2024).
- Sahoo, M., Sarkar, S., Das, A. C., Roy, G. G. ve Sen, P. K. (2019). "Role of Scrap Recycling for CO2 Emission Reduction in Steel Plant: A Model Based Approach", *Steel Research International*, 90(8), 1900034. <https://doi.org/10.1002/srin.201900034>
- Sanayi Genel Müdürlüğü (2021). *Demir-Çelik Sektörü Raporu 2020*. Ankara: Sanayi Genel Müdürlüğü Yayını.
- Sanayi Genel Müdürlüğü (2022). *Demir-Çelik Sektörü Raporu 2021*. Ankara: Sanayi Genel Müdürlüğü Yayını.
- Sen, A. (2003). "On Unit-Root Tests When The Alternative is a Trend Break Stationary Process", *Journal of Business and Economics Statistics*, 21, 174-184.
- Serrenho, A. C., Mourão, Z. S., Norman, J., Cullen, J. M. ve Allwood, J. M. (2016). "The Influence of UK Emissions Reduction Targets on the Emissions of the Global Steel Industry", *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 174-184. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.001>
- Shatokha, V. (2016). "Environmental Sustainability of the Iron and Steel Industry: Towards Reaching the Climate Goals", *European Journal of Sustainable Development*, 5(4), 289-300.
- Smol, M., Marcinek, P., Duda, J. ve Szoldrowska, D. (2020). "Importance of Sustainable Mineral Resource Management in Implementing the Circular Economy (CE) Model and The European Green Deal Strategy", *Resources*, 9(5). 1-21. <https://doi.org/10.3390/resources9050055>
- SteelOrbis (2005). *2004 Yılı İçin Küresel Paslanmaz Çelik Üretim Rakamları*. <https://tr.steelorbis.com/ceлик-haberleri/guncel-haberler/2004-yili-icin-kuresel-paslanmaz-celik-uretim-rakamlari-151420.htm> (Erişim tarihi: 28.04.2024).
- Şahin, D. ve Durmuş, S. (2019). "Türkiye'de Reel Efektif Döviz Kuru, İhracat ve İthalat Arasındaki Nedensellik İlişkisinin Analizi", *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 210-223.
- Tamsöz, H. ve Elmas, E. T. (2021). "Çelik Üretiminde Elektrik Ark Ocaklarında Enerji Maliyetlerinin ve Enerji Verimlilik Faktörlerinin Araştırılması", *Tasarım Mimarlık ve Mühendislik Dergisi*, 1(3), 163-180.
- Tan, S. (1983). *Demir Çelik Sektöründe Verimlilik (1982)*. Ankara: MPV Yayınları.
- Tan, J., Wehde, M. V., Brønd, F. ve Kalvig, P. (2021). "Traded Metal Scrap, Traded Alloying Elements: A Case Study of Denmark and Implications for Circular Economy", *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105242. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105242>
- Taşdelen, S. (2021). *2008 Küresel Finansal Krizinin Türkiye, Japonya ve Çin'de Demir Çelik Sektörüne Etkileri Üzerine Ekonometrik Bir Uygulama*. Doktora Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Tekeli, İ. (2009). *Sanayi Toplumunu İçin Sanayi Yazıları*. İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.
- Tezeren, A. (1990). *Demir Çelik Sektöründe Verimlilik Rapor Sistemi*. Ankara: MPV Yayınları.
- Tıraşoğlu, M. ve Yıldırım, B. (2012). "Yapısal Kırılma Durumunda Sağlık Harcamaları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Üzerine Bir Uygulama", *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 2(2), 111-117. https://doi.org/10.1501/OTAM_0000000515
- Toda, H.Y. ve Yamamoto, T. (1995). "Statistical Inference in Vector Autoregressions with Possibly Integrated Process", *Journal of Econometrics*, 66, 225-250. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)
- Tozsın, G. ve Kavasoglu, B. (2023). "Çelik Cürufklarının Potansiyel Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi", *Kent Akademisi*, 16(2), 1200-1211. <https://doi.org/10.35674/kent.1193822>
- Tülümce, S. Y. ve Zeren, F. (2017). "Türkiye'de Kamu Harcamaları ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Asimetrik Nedensellik Testi ile Analizi", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(2), 299-310. <https://doi.org/10.17130/ijmeb.2017228685>

- Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (2022). *TÇÜD Basın Bülteni*. <https://celik.org.tr/turkiye-celik-ureticileri-dernegi-basin-bulteni-56/> (Erişim tarihi: 26.04.2024).
- Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (2023). *TÇÜD Basın Bülteni*. <https://celik.org.tr/turkiye-celik-ureticileri-dernegi-basin-bulteni-59/> (Erişim tarihi: 26.04.2024).
- Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (2023). *TÇÜD Basın Bülteni*. <https://celik.org.tr/turkiye-celik-ureticileri-dernegi-basin-bulteni-60/> (Erişim tarihi: 26.04.2024).
- Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (2024). *Sektörel Değerlendirme*. <https://celik.org.tr/category/sektorel-degerlendirme/> (Erişim tarihi: 26.04.2024).
- Türkiye Çelik Üreticileri Derneği (2014). *Türkiye'nin 2013 Yılında Hurda İthalatı 20 Milyon Tonun Gerisinde Kaldı*. <https://celik.org.tr/turkiyenin-2013-yilinda-hurda-ithalati-20-milyon-tonun-gerisinde-kaldi/> (Erişim tarihi: 28.04.2024).
- Türkiye İstatistik Kurumu (2024). *Dış Ticaret İstatistikleri*. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Dis-Ticaret-104> (Erişim tarihi: 24.04.2024).
- Ünlü, İ. ve Duran, E. (2021). "COVID-19 Pandemisinin Dünya Çelik Üretimine Etkisi", *Turkish Studies-Social Sciences*, 16(3), 1321-1336. <https://dx.doi.org/10.47356/TurkishStudies.50890>
- Vogl, V., Ahman, M. ve Nilsson, L. J. (2021). "The Making of Green Steel in the EU: A Policy Evaluation for the Early Commercialization Phase", *Climate Policy*, 21(1), 78-92. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1803040>
- Wang, P., Li, W. ve Kara, S. (2017). "Cradle-to-Cradle Modeling of the Future Steel Flow in China", *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.009>
- Wang, P., Ryberg, M., Yang, Y., Feng, K., Kara, S., Hauschild, M. ve Chen, W. Q. (2021). "Efficiency Stagnation in Global Steel Production Urges Joint Supply and Demand Side Mitigation Efforts. *Nature Communications*, 12(1), 2066. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22245-6>
- Watari, T., Giurco, D. ve Cullen, J. (2023). "Scrap Endowment and Inequalities in Global Steel Decarbonization", *Journal of Cleaner Production*, 425, 139041. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139041>
- World Steel Association (2013-2024). *World Steel in Figures Series*. WSA Pubs.
- Wu, Y., Su, J., Li, K. ve Sun, C. (2019). "Comparative Study on Power Efficiency of China's Provincial Steel Industry and Its Influencing Factors", *Energy*, 175, 1009-1020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.144>
- Xylia, M., Silveira, S., Duerinck, J. and Meinke-Hubeny, F. (2018). "Weighing Regional Scrap Availability in Global Pathways for Steel Production Processes", *Energy Efficiency*, 11, 1135-1159. <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9583-7>
- Yavuz, N. Ç. (2004). "Durağanlığın Belirlenmesinde KPSS ve ADF Testleri: İMKB Ulusal-100 Endeksi ile Bir Uygulama", *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası*, 54(1), 239-247.
- Yayan, V. (2014). *Hurda İthalatı Ekonomiye Yük Değil*. <https://tr.steelorbis.com/celik-haberleri/guncel-haberler/dr-veysel-yayan-hurda-ithalati-ekonomiye-yuk-degil-828325.htm> (Erişim tarihi: 06.05.2024).
- Yayan, V. (2015). *2015 Şartları Bir Daha Yaşanmasın*. <https://celik.org.tr/en/2015-sartlari-bir-daha-yasanmasin/> (Erişim tarihi: 29.04.2024).
- Yılandı, V. (2009). "Yapısal Kırımlar Altında Türkiye İçin İşsizlik Histerisinin Sınanması", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 10(2), 324-335.
- Yılandı, V. ve Bozoklu, Ş. (2014). "Türk Sermaye Piyasasında Fiyat ve İşlem Hacmi İlişkisi: Zamanla Değişen Asimetrik Nedensellik Analizi", *Ege Academic Review*, 14(2), 211-220.
- Yıldırım, B. T. (2014). "Yapısal Kırımlı Birim Kök Testleri ile OECD Ülkelerinde Satın Alma Gücü Paritesi Geçerliliğinin Testi", *Istanbul University Econometrics and Statistics E-Journal* (20), 68-87.
- Yıldırım, E. (2015). "İhracata Dayalı Büyüme İllüzyon Mu Simetrik ve Asimetrik Nedensellik Testlerinden Kanıtlar", *International Journal of Economic & Administrative Studies*, 8(15), 21-40.
- Yıldırım, M., Bal, K. ve Doğan, M. (2021). "Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Finansal Performans Analizi: BIST'te İşlem Gören Demir Çelik Şirketleri Üzerinde Bir Uygulama", *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 23(1), 122-143. <https://doi.org/10.31460/mbdd.788840>
- Yıldırım, S., Ertuğrul, H. M. ve Soytaş, U. (2015). "Türkiye'de Aylık İstihdam Serisinin Durağanlığı: Geleneksel, Yapısal Kırımlı ve Mevsimsel Birim Kök Test Uygulamaları", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(4), 91-102. <https://doi.org/10.18037/ausbd.16380>

Yilmazer, M. ve Karabiber, B. (2022). "Türkiye'de İhracat, Doğrudan Yabancı Yatırımlar, Ekonomik Büyüme ve Karbon Emisyonu İlişkisi", *Business and Economics Research Journal*, 13(2), 199-220.

Yurtkuran, S. (2020). "N11 Ülkelerinde Ekolojik Ayak İzi Yakınsaması: Fourier Durağanlık Testinden Yeni Kanıtlar", *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 6(2), 191-210. <https://doi.org/10.20979/ueyd.681354>

Zivot, E. ve Andrews, D. W. K. (1992). "Further Evidence on the Great Crash, the Oil Price Shock and the Unit-Root Hypothesis", *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 251-270. <https://doi.org/10.2307/1391541>

Beyan ve Açıklamalar (Disclosure Statements)

1. Bu çalışmanın yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyduklarını kabul etmektedirler (The authors of this article confirm that their work complies with the principles of research and publication ethics).
2. Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir (No potential conflict of interest was reported by the authors).
3. Bu çalışma, intihal tarama programı kullanılarak intihal taramasından geçirilmiştir (This article was screened for potential plagiarism using a plagiarism screening program).