

Zaman Serileri Analizi: Güncel Yöntemler ve Uygulamalar I

Editör: Doç. Dr. Fatih Çemrek



Zaman Serileri Analizi: Güncel Yöntemler ve Uygulamalar I

Editör:

Doç. Dr. Fatih Çemrek



Published by

Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şehitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 www.ozgurayinlari.com

✉ info@ozgurayinlari.com

Zaman Serileri Analizi: Güncel Yöntemler ve Uygulamalar I

Editör: Doç. Dr. Fatih Çemrek

Language: Turkish

Publication Date: 2026

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

ISBN (PDF): 978-625-8998-49-8

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1250>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>
This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

Suggested citation:

Çemrek, F. (ed) (2026). *Zaman Serileri Analizi: Güncel Yöntemler ve Uygulamalar I*. Özgür Publications.

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1250>. License: CC-BY-NC 4.0

The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozgurayinlari.com/>



Ön Söz

Bilginin üretimi, işlenmesi ve yorumlanmasının her zamankinden daha kritik hale geldiği çağımızda, zaman serileri analizi bilimsel araştırmaların ve politika tasarım süreçlerinin merkezinde yer almaktadır. Ekonomik göstergelerden finansal piyasa verilerine, sağlık istatistiklerinden üretim ve maliyet endekslerine kadar pek çok değişken zaman boyutu içinde anlam kazanmakta; bu değişkenlerin geçmiş davranışlarının doğru analiz edilmesi, geleceğe yönelik sağlıklı öngörüler geliştirilmesinin temelini oluşturmaktadır. Veri odaklı karar alma anlayışının yaygınlaşmasıyla birlikte zaman serileri yöntemlerinin önemi yalnızca akademik dünyada değil, kamu ve özel sektör uygulamalarında da giderek artmaktadır.

“Zaman Serileri Analizi: Güncel Yöntemler ve Uygulamalar I” başlıklı bu eser, zaman serileri literatüründe yaşanan metodolojik dönüşümü ve disiplinler arası uygulama alanlarının genişlemesini bütüncül bir perspektifle ele almayı amaçlamaktadır. Kitap, klasik ekonometrik yaklaşımlar ile makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli yeni nesil yöntemleri bir araya getirerek hem teorik derinlik hem de uygulama çeşitliliği sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, yalnızca yöntemlerin tanıtıldığı bir kaynak olmanın ötesinde; farklı veri türleri, modelleme stratejileri ve politika çıkarımları üzerinden zaman serisi analizinin çok boyutlu doğasını ortaya koymaktadır.

Kitapta yer alan bölümler, küresel ve ulusal ölçekte önemli ekonomik ve sosyal konulara odaklanmaktadır.

Bu kitap, zaman serileri analizi alanında çalışan akademisyenler, lisansüstü öğrenciler, veri bilimciler, finansal analistler ve politika yapımcılar için kapsamlı bir başvuru kaynağı olmayı hedeflemektedir. Farklı disiplinlerden araştırmacıların katkılarıyla şekillenen bu eser, hem teorik tartışmaları hem de uygulama örneklerini bir araya getirerek okuyucuya geniş bir perspektif sunmaktadır. Ayrıca, klasik yöntemlerle modern yapay zekâ tekniklerinin birlikte değerlendirilmesi, gelecekte yapılacak çalışmalar için önemli bir araştırma gündemi oluşturmaktadır.

Bu eserin hazırlanmasında emeği geçen tüm bölüm yazarlarına bilimsel katkılarından ve titiz çalışmalarından dolayı içten teşekkürlerimi sunarım. Kitabın zaman serileri literatürüne değerli bir katkı sağlamasını, araştırmacılara yeni fikirler vermesini ve uygulayıcılar için yol gösterici olmasını temenni ederim.

İçindekiler

Ön Söz

iii

Bölüm 1

G20 Ülkelerinde Gıda Üretimi Endeksi ve Demografik Dinamikler: Panel Veri Analizi ve Psikososyal Yansımalar 1

Ebrucan İslamoğlu

Okan Tiring

Bölüm 2

Türkiye Ham Çelik İstihsalinde Karbon Yoğunluğunun Seyri: Oksijenli ve Elektrikli Prosesler Bağlamında Zaman Serileri Analizi ve NARDL Yaklaşımı 35

Ümit Remzi Ergün

Bölüm 3

Temporal Fusion Transformer (TFT) Kullanılarak İnşaat Maliyet Endeksi Öngörüsü 105

Özer Özaydın

İrem Varııner

Bölüm 4

Türkiye’de Vergi Gelirleri ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Zaman Serileri Analizi ile İncelenmesi 121

Aytaç Pekmezci

Bölüm 5

Sağlık Sayım Zaman Serilerinde Poisson Otoregresif Model için Hareketli Blok Bootstrap ile Belirsizlik Tahmini 135

Hayriye Esra Akyüz

Bölüm 6

Finansal Zaman Serisi Tahmininde LSTM ve TCN Modellerinin Karşılaştırılması: BIST 100 Endeksi Üzerine Bir Uygulama	155
<i>Mehmet Sandal</i>	

Bölüm 7

Zamanla Değişen Granger Nedensellik Testleri: Yinelemeli Gelişen Pencere (REW) Yaklaşımı	171
<i>Ayşe İşi</i>	

G20 Ülkelerinde Gıda Üretimi Endeksi ve Demografik Dinamikler: Panel Veri Analizi ve Psikososyal Yansımalar

Ebrucan İslamoğlu¹

Okan Tiring²

Özet

Bu çalışmada, G20 ülkelerinde gıda üretimi endeksini (FPI) etkileyen demografik faktörler, panel regresyon analizi yöntemiyle incelenmiştir. Analizde bağımlı değişken olarak FPI, bağımsız değişkenler olarak ise nüfus artışını temsilen logaritmik nüfus artış oranı (lnPG), ergen doğurganlık hızı (AFR) ve toplam doğurganlık hızı (FR) kullanılmıştır. Model, sabit etkiler çerçevesinde tahmin edilmiş ve heteroskedastisite, otokorelasyon ile kesitler arası bağımlılığa karşı dayanıklılığı sağlamak amacıyla Driscoll-Kraay dayanıklı standart hatalar uygulanmıştır. Modelin genel anlamlılığı F-istatistiği ile test edilmiş ve sonuçlar modelin istatistiksel olarak geçerli olduğunu göstermiştir ($F(8,5) = 6402.02$; $p = 0.000$). Ayrıca, birim içi varyansın yaklaşık %40,55'inin model tarafından açıklandığı belirlenmiştir. Katsayı tahminleri incelendiğinde, lnPG ve AFR değişkenlerinin FPI üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilere sahip olduğu görülmektedir. Buna göre, lnPG değişkeninin katsayısı 0.412 ($p = 0.016$), AFR değişkeninin katsayısı ise 0.533 ($p = 0.000$) olarak tahmin edilmiştir. Bu bulgular, nüfus artışı ve ergen doğurganlık hızındaki artışların gıda üretimi endeksini artırıcı yönde etkilediğini göstermektedir. Ancak bu bulgu, ergen gebeliğin olumlu olduğu anlamına gelmez; ergen gebelik depresyon/anksiyete ve psikolojik sıkıntı riskleriyle ilişkili önemli bir psikososyal risk alanıdır. Buna karşılık, toplam doğurganlık hızı (FR) değişkeninin FPI üzerindeki etkisi negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (katsayı = -39.935 ; $p = 0.000$).

1 Doç. Dr. Ebrucan İSLAMOĞLU (Sorumlu Yazar), Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Bankacılık ve Finans Bölümü, Nevşehir, Türkiye, E-posta: ebrucanislamoglu@nevsehir.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8297-7370

2 Doktora Öğrencisi Okan TİRİNG, Marmara Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Fakültesi, okantiring4@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9253-8403

Bu sonuç, FR'deki artışın gıda üretimi endeksinde düşüğe yol açtığını ortaya koymaktadır. Zaman etkileri değerlendirildiğinde ise özellikle 2018 ve 2020 yıllarında FPI üzerinde anlamlı azalışların yaşandığı tespit edilmiştir. Genel olarak, Driscoll-Kraay tahminleyicisinin kullanılması sayesinde elde edilen bulgular, modelin olası istatistiksel sapmalara karşı dayanıklı olduğunu ve G20 ülkelerinde gıda üretimi endeksinin demografik belirleyicilerine ilişkin güvenilir ve tutarlı sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Bu bulgular, gıda üretimi göstergelerindeki değişimlerin, gıda güvencesi üzerinden psikososyal iyi oluşla ilişkilenen bir bağlama sahip olabileceğini; bu nedenle demografik politikaların sosyal destek ve ruh sağlığı boyutlarıyla birlikte değerlendirilmesinin önemini düşündürmektedir.

1. Giriş

Gıda üretimi, artan dünya nüfusu, değişen tüketim alışkanlıkları, iklim değişikliği ve doğal kaynaklar üzerindeki baskıların giderek yoğunlaşmasıyla birlikte, günümüzde hem küresel hem de ulusal ölçekte stratejik bir önem kazanmıştır. Gıda güvenliğinin sağlanması yalnızca yeterli miktarda gıda arzının teminiyle sınırlı olmayıp; ekonomik istikrarın korunması, toplumsal refahın artırılması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından da kritik bir rol üstlenmektedir. Gıda güvencesi yalnızca gıda arzının niceliğiyle sınırlı olmayıp, hanelerin gıdaya düzenli ve güvenli erişimi üzerinden stres yükü ve psikolojik iyi oluşla yakından ilişkilidir; ampirik çalışmalar ve sistematik derleme bulguları, gıda güvencesizliğinin depresyon, anksiyete ve algılanan stres olasılığını anlamlı biçimde artırdığını göstermektedir (Chung et al., 2016; Wolfson et al., 2021; Jandaghian-Bidgoli et al., 2024). Bu bağlamda, tarımsal üretimdeki değişimleri bütüncül bir bakış açısıyla izlemeye olanak tanıyan göstergeler, politika yapıcılar ve araştırmacılar için önemli bir referans çerçevesi sunmaktadır. Bu göstergelerden biri olan Gıda Üretimi Endeksi (Food Production Index – FPI), ülkelerin tarımsal üretim performansındaki gelişmeleri zaman içerisinde karşılaştırmalı olarak analiz etmeye imkân tanıyan temel ölçütlerden biridir. Yenilebilir ve besin değeri taşıyan tarımsal ürünlerin üretim düzeyindeki değişimleri yansıtan endeks, tarımsal kapasite ve verimlilikteki eğilimlerin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle FPI, gıda arzının sürdürülebilirliği ile tarım politikalarının etkinliğinin izlenmesinde önemli bir analitik araç niteliği taşımaktadır.

Gıda üretimi; demografik, çevresel, ekonomik ve yapısal birçok faktörün eş zamanlı etkisi altında şekillenmekte ve bu faktörlerin etkileri coğrafi ve sosyoekonomik koşullara bağlı olarak önemli ölçüde farklılaşmaktadır. Özellikle nüfus artış hızı ve doğurganlık göstergeleri gibi demografik dönüşümler, hem gıda talebinin düzeyini hem de üretim süreçlerinin yapısını doğrudan etkileyerek gıda arzı üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, gıda üretimini

etkileyen faktörlerin doğru biçimde tespit edilmesi, tarım ve gıda politikalarının etkinliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Literatürde iklim değışikliği, gıda üretimini etkileyen en önemli küresel belirleyicilerden biri olarak öne çıkmaktadır. Küresel ısınma eğilimlerinin tarımsal verimi on yıllık dönemler itibarıyla yaklaşık %1,5 oranında azaltabileceği; buna karşılık atmosferdeki CO₂ yoğunluğundaki artışın verimde %1,8'lik bir artış sağlayarak bu etkiyi kısmen telafi edebileceği ifade edilmektedir (Lobell & Gourđji, 2012). Bununla birlikte, nüfus artışı ve değışen tüketim kalıpları, gıda sistemleri üzerinde giderek artan bir talep baskısı oluşturmaktadır (Godfray et al., 2010; Fróna et al., 2019). Tarımsal girdilere erişim, su kıtlığı ve arazi kaynakları üzerindeki rekabet ise üretim kapasitesini sınırlayan başlıca yapısal faktörler arasında yer almaktadır (Mundia et al., 2019; Fróna et al., 2019).

Gıda üretimini etkileyen bu faktörlerin etkileri, bölgesel düzeyde silahlı çatışmalar, kültürel yapı, kurumsal kapasite ve ekonomik gelişmişlik gibi unsurlarla daha da çeşitlenmektedir. Güncel küresel gıda tüketim eğilimlerinin çevresel ve sağlık boyutları açısından sürdürülebilir olmaktan uzak olduğu; artan talebin çevresel bozulmaya yol açmadan karşılanabilmesi için sürdürülebilir tarımsal yoğunlaştırma uygulamalarının zorunlu hâle geldiği vurgulanmaktadır (Fróna et al., 2019). Bu çerçevede, gıda üretimini belirleyen faktörlerin sistematik biçimde analiz edilmesi, uzun vadeli gıda güvenliği hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Ulusal düzeyde gıda üretimi, ülkelerin ekonomik yapısı, tarım politikaları, nüfus dinamikleri ve kırsal kalkınma stratejileriyle yakından ilişkilidir. Türkiye gibi tarım potansiyeli yüksek ülkelerde gıda üretimi, hem iç talebin karşılanması hem de ihracat yoluyla ekonomik büyümeye katkı sağlanması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Ancak artan girdi maliyetleri, verimlilik sorunları ve demografik değışimler, ulusal gıda üretim kapasitesi üzerinde baskı oluşturmaktadır. Bu durum, gıda üretiminin ulusal ölçekte analiz edilmesini ve politika etkinliğinin değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Türkiye özelinde yapılan çalışmalar, gıda üretimi ve gıda güvenliğini farklı boyutlarıyla ele almaktadır. Küresel Gıda Güvenliği Endeksi verilerine dayalı analizler, Türkiye'nin gıdaya erişilebilirlik ve bulunabilirlik açısından görece iyi bir performans sergilediğini; buna karşın protein kalitesi ve diyet çeşitliliği açısından seçilmiş ülkelerin gerisinde kaldığını ortaya koymaktadır (Dağdur & Olhan, 2015). Sektörel düzeyde yapılan çalışmalar ise ithalat politikaları, tarımsal destekler ve fiyat mekanizmalarının üretim üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir (Şimşek, 2020). Talep yönlü analizler de hanehalkı gıda harcamalarının demografik özelliklere duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır (Aykaç, 2018).

Gıda Üretimi Endeksi ve gıda fiyat enflasyonu, Türkiye ekonomisi açısından da kritik öneme sahiptir. Gıda fiyatları, enflasyonun önemli alt bileşenlerinden biri olup, döviz kuru ve tarımsal üretici fiyatlarındaki artışlarla yakından ilişkilidir (Demirağ & Sağır, 2023; Bozkurt & Mutlu Çamoğlu, 2025). Küresel ölçekte yaşanan gıda fiyat şokları, gıda güvencesinin kırılğan yapısını ortaya koymuş ve bu alandaki ampirik analizlerin önemini artırmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, Gıda Üretimi Endeksi (FPI) üzerinde etkili olan faktörleri panel veri analizi yöntemi kullanarak incelemektir. Çalışmada, gıda üretiminin yalnızca tarımsal ve ekonomik unsurlar çerçevesinde değil, aynı zamanda demografik dinamikler bağlamında ele alınması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, nüfus artış hızı, ergen doğurganlık hızı ve toplam doğurganlık hızı gibi demografik göstergelerin gıda üretimi üzerindeki etkileri, ülkeler arası ve zaman içindeki farklılıklar dikkate alınarak analiz edilmektedir. Bu çerçevede, gıda üretimindeki değişimlerin gıda güvencesi kanalıyla psikososyal iyi oluşla da ilişkilenebileceğine dair literatürle uyumlu şekilde, bulguların çok-disiplinli (ekonomi–demografi–psikososyal) yorumlanmasına imkân tanımaktadır.

Panel veri yönteminin sunduğu avantajlar sayesinde, ülkeler arasında gözlemlenemeyen yapısal farklılıklar kontrol edilmekte ve gıda üretimi üzerindeki etkilerin daha güvenilir biçimde tahmin edilmesi mümkün hâle gelmektedir. Bu yönüyle çalışma, literatürde sınırlı sayıda ele alınan endeks temelli ve demografik odaklı yaklaşımlara katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, gıda üretiminin belirleyicilerini çok boyutlu bir perspektifle ele alarak, hem akademik literatüre yöntemsel ve içeriksel katkı sağlamayı hem de tarım, nüfus ve gıda güvenliği politikalarının tasarlanmasında karar alıcılara yol gösterici çıkarımlar sunmayı hedeflemektedir.

2. Kavramsal Çerçeve

2.1. Gıda Üretimi Endeksi (Food Production Index – FPI)

Gıda Üretimi Endeksi, bir ülkenin ya da ülke grubunun yenilebilir ve besin değeri taşıyan tarımsal ürünlere ilişkin üretim düzeyindeki değişimleri izlemek amacıyla kullanılan temel göstergelerden biridir. Endeks, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından hesaplanmakta ve Dünya Bankası tarafından yayımlanmaktadır. FPI, belirli bir baz yıl veya dönem esas alınarak, tarımsal gıda üretimindeki artış ve azalışların zaman içinde ve ülkeler arasında karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] & World Bank, 2022).

Endeksin hesaplanmasında, insan tüketimine yönelik bitkisel ve hayvansal gıda ürünleri kapsama alınmakta; kahve ve çay gibi besin değeri taşımayan

ürünler, yenilebilir olmalarına rağmen endeks kapsamı dışında bırakılmaktadır. FPI, genellikle 2014–2016 = 100 baz yılına göre oluşturulmakta olup, bu sayede ülkelerin gıda üretim performanslarının zaman içerisindeki seyri izlenebilmektedir (FAO, 2024).

Gıda Üretimi Endeksi, ülkelerin tarımsal üretim kapasitesinin, gıda arzının sürdürülebilirliğinin ve gıda güvenliği düzeylerinin değerlendirilmesinde önemli bir referans göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda endeks, ekonomik büyüme, nüfus artışı, iklim koşulları ve tarım politikalarının gıda üretimi üzerindeki etkilerini inceleyen ampirik çalışmalarda yaygın biçimde tercih edilmektedir (World Bank, 2022). Bu yönüyle FPI, yalnızca tarımsal üretimdeki niceliksel değişimleri değil, aynı zamanda ülkelerin gıda sistemlerinin zaman içerisindeki genel performansını yansıtan bütüncül bir gösterge niteliği taşımaktadır.

Gıda Üretimi Endeksi (Food Production Index – FPI), bir ülke veya ülkeler grubunda yenilebilir ve besin değeri taşıyan tarımsal ürünlerin üretim düzeyindeki değişimleri ölçmek amacıyla kullanılan önemli göstergelerden biridir. Endeks, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından hesaplanmakta ve Dünya Bankası tarafından da yayımlanmaktadır. Hesaplama genellikle 2014–2016 referans dönemi (2014–2016 = 100) esas alınmakta olup, üretimdeki yıllık artış ve azalışların takip edilmesini sağlamaktadır (FAO, 2023; World Bank, 2023). FPI, tarımsal üretim performansını ölçmek, ülkeler arası karşılaştırmalar yapmak ve gıda güvenliği politikalarını desteklemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Endeks; tahıl, sebze, meyve, süt, et ve diğer temel gıda ürünlerinin üretimini dikkate almakta ve yalnızca miktar bazlı bir göstergeden öte, uzun dönemli üretim trendlerini ve dalgalanmaları analiz etme imkânı sunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde FPI, iklim değişikliği, tarım politikaları ve ekonomik gelişmelerin tarımsal üretim üzerindeki etkilerini değerlendirmek için de önemli bir veri kaynağıdır. Sonuç olarak, Gıda Üretimi Endeksi hem ulusal hem de uluslararası düzeyde tarım ve gıda politikalarının planlanmasında, üretim risklerinin belirlenmesinde ve sürdürülebilir gıda sistemlerinin geliştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Endeksin sağladığı uzun dönemli veri ve karşılaştırmalı analiz imkânları, araştırmacılara ve politika yapıcılara bilimsel temelli kararlar alma olanağı sunmaktadır. Gıda sektöründe yalın üretim uygulamaları, süreç verimliliğinin artırılması ve katma değer yaratmayan faaliyetlerin azaltılması açısından önemli bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda, dondurma üretim işletmelerinde değer akış haritalamasının uygulanmasına yönelik bulgular, üretim süreçlerinin yalınlaştırılması ve israf unsurlarının belirlenmesi açısından etkili sonuçlar ortaya koymaktadır (Maraşlı, 2016).

Gıda Üretimi Endeksi (Food Production Index – FPI), bir ülke veya ülkeler grubunda yenilebilir ve besin değeri taşıyan tarımsal ürünlerin üretim düzeyindeki değişimleri ölçmek amacıyla kullanılan önemli bir göstergedir. FAO tarafından hesaplanan ve Dünya Bankası tarafından yayımlanan bu endeks, genellikle 2014–2016 dönemi (2014–2016 = 100) referans alınarak hesaplanmakta ve üretimdeki yıllık artış veya azalışları takip etmeye olanak sağlamaktadır (FAO, 2023; World Bank, 2023).

FPI nin kapsamı, temel gıda ürünlerini içerir; bu ürünler arasında tahıllar, sebzeler, meyveler, süt ve süt ürünleri, et ve diğer hayvansal ürünler yer almaktadır. Ancak, içecekler, baharatlar ve işlenmiş gıda ürünleri gibi tarımsal kökenli olsa da doğrudan beslenmeye katkısı sınırlı olan ürünler endekse dahil edilmez. Bu kapsam, endeksin yalnızca temel besin üretimi üzerine odaklanmasını ve ülkeler arası karşılaştırmalarda tutarlılığı sağlar.

Gıda Üretimi Endeksi, gıda güvenliği ile doğrudan ilişkilidir. Ülke düzeyinde yeterli ve istikrarlı bir gıda üretimi, nüfusun temel besin ihtiyaçlarının karşılanmasına katkı sağlar ve olası gıda kıtlıklarının önlenmesine yardımcı olur. Endeksin sağladığı uzun dönemli veriler, tarımsal üretimdeki dalgalanmaları ve mevsimsel/iklim kaynaklı riskleri izlemeye olanak tanır; böylece gıda güvenliği politikalarının planlanması ve uygulanması için bilimsel bir temel oluşturur. Ayrıca, üretimdeki artış ve azalış trendleri, hükümetlerin stratejik stoklama, ithalat-ihracat dengesi ve kriz yönetimi kararları için önemli göstergeler sunmaktadır.

Sonuç olarak, Gıda Üretimi Endeksi, tarımsal üretim performansının izlenmesi, ülkeler arası karşılaştırmaların yapılması ve gıda güvenliği stratejilerinin desteklenmesi açısından kritik bir araçtır. Endeksin kapsamı ve odaklandığı temel ürünler, verilerin güvenilirliği ve politika yapıcılar için kullanılabilirliği açısından önem taşımaktadır.

Gıda üretimi, artan dünya nüfusu, değişen tüketim alışkanlıkları, iklim değişikliği ve doğal kaynaklar üzerindeki baskıların yoğunlaşmasıyla birlikte, günümüzde küresel ve ulusal düzeyde stratejik bir öneme sahip hâle gelmiştir. Gıda güvenliğinin sağlanması, yalnızca yeterli gıda arzının teminiyle sınırlı olmayıp, aynı zamanda ekonomik istikrar, toplumsal refah ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, gıda üretimindeki değişimleri bütüncül biçimde izlemeye imkân tanıyan Gıda Üretimi Endeksi, tarımsal performansın değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan temel göstergelerden biridir.

FPI, FAO ve Dünya Bankası tarafından yayımlanan bir gösterge olup, bir ülkenin üretim hacmini belirli bir referans döneme (genellikle 2014–2016 = 100) göre yıllık bazda karşılaştırmalı olarak gösterir. Bu endeks, besin değeri

taşıyan ve yenilebilir kabul edilen tarımsal ürünlerin üretim indeksini hesaplar; buna göre tahıllar, sebzeler, meyveler ile et ve süt gibi hayvansal ürünler gibi gıda niteliği yüksek ürünler kapsama dâhildir. Buna karşılık, yem bitkileri gibi yalnızca ara girdi olarak kullanılan ürünler ile kafein içeriği nedeniyle besin değeri sınırlı olan kahve ve çay gibi ürünler endekse dâhil edilmemektedir. Bu kapsam, endeksin yalnızca nüfusun temel beslenme ihtiyacını karşılayan üretimi yansıtmadığını sağlar ve uluslararası karşılaştırmalarda tutarlılık sağlar (World Bank, 2025).

FPI'nin gıda güvenliği ile ilişkisi, temel olarak gıda üretim kapasitesinin belirlenmesi ve izlenmesine dayanır. Gıda güvenliği, herkesin her zaman yeterli, güvenilir ve besleyici gıdaya erişebilmesini ifade eder; bu erişim hem fiziksel üretimi hem de ekonomik erişimi kapsar. Gıda üretimindeki istikrarlı artış, iç talebin karşılanması, stokların yönetilmesi ve ithalata bağımlılığın azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, FPI gibi üretim göstergeleri, gıda arzının sürdürülebilirliğini değerlendirmek, üretimdeki dalgalanmaları izlemek ve olası gıda açığı risklerini önceden tespit ederek politika oluşturmak için önemli bir veri sağlar. Uzun dönemli FPI verileri, tarımsal üretimin performansına dair bilgi sunarak gıda güvenliği stratejilerinin bilimsel temele dayalı planlanmasına katkıda bulunur (FAO, 2025).

2.2. Gıda Güvencesi ve Psikososyal Yansımalar

Makro düzeyde gıda üretimini izlemeye yarayan göstergeler, gıda arzının genel seyrini değerlendirmede kullanılmaktadır; buna karşılık hane düzeyinde gıda güvencesizliği, psikososyal iyi oluşla yakından ilişkilidir. Sistematik derleme ve meta-analiz bulguları, gıda güvencesizliğinin stres ve depresyon başta olmak üzere psikolojik sıkıntıların görülme olasılığıyla anlamlı ve tutarlı biçimde ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, FPI gibi gıda üretimine ilişkin makro göstergelerdeki değişimler doğrudan bireysel ruh sağlığını ölçmemekle birlikte, gıda güvencesi kanalı üzerinden toplum düzeyinde psikolojik iyi oluşla dolaylı bir bağlama işaret edebilir (Myers, 2020; Jandaghian-Bidgoli et al., 2024).

2.3. Gıda Üretimini Etkileyen Faktörler

2.3.1. Demografik Faktörler

Demografik faktörler, gıda sektöründe hem üretim süreçlerini hem de tüketim davranışlarını etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Gıda sektöründe yapılan bir çalışmada yaş, mesleki kıdem, hizmet süresi, kariyer planları ve iş motivasyonunun çalışan memnuniyeti ve verimliliği üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir (Tor & Esengün, 2011). Bu

bulgular, üretim sürecinde insan kaynağının demografik özelliklerinin önemini ortaya koymaktadır. Gıda işletmelerinde yeşil lojistik uygulamalarına ilişkin araştırmalar ise demografik değişkenlerin ambalajlama, tersine lojistik ve lojistik performans üzerindeki etkilerinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (Delice Akca & Akdoğan, 2023). Bu durum, demografik yapının işletme uygulamaları üzerindeki etkisinin bağlama göre değişebildiğini göstermektedir.

Tüketici boyutunda yapılan çalışmalar, demografik özelliklerin süt ve süt ürünleri tüketim alışkanlıklarını anlamlı biçimde etkilediğini göstermektedir. Türkiye'nin farklı bölgelerinde gerçekleştirilen araştırmalar, özellikle yaş, gelir ve eğitim düzeyinin tüketim tercihleri üzerinde belirleyici olduğunu; buna karşılık cinsiyetin bazı ürün özelliklerine yönelik algılar üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Onurlubaş & Çakırlar, 2016; Ocak & Önder, 2014). Bu bulgular, demografik değişkenlerin gıda üretimi ve tüketimi üzerindeki etkilerinin bütüncül bir çerçevede ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymakta ve ampirik çalışmada söz konusu değişkenlerin modele dâhil edilmesini desteklemektedir.

2.3.1.1. Nüfus artışı (PG)

Nüfus artışı, gıda üretimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve küresel insan nüfusunun 2050 yılına kadar 9 milyara ulaşmasının öngörülmesi bu etkiyi daha da belirgin hâle getirmektedir (Mustafa Gezici vd., 2023). Bu demografik baskı, nüfus artışına paralel olarak gıda talebinin yükselmesi nedeniyle gıda güvenliği açısından ciddi sorunlar doğurmaktadır (Şahin & Çetin, 2017). Hızlı nüfus artışı, artan gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla yüksek verimli bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması gerekli kılmaktadır (Sönmez & Ellialtıoğlu, 2014). Bununla birlikte, günümüzde nüfus artışı, plansız kentleşme ile tarım ve orman alanlarının tahribi gibi küresel sorunlar gıda güvenliğini tehdit eden başlıca unsurlar arasında yer almaktadır (Gökırmaklı & Bayram, 2018). Mevcut eğilimlerin devam etmesi hâlinde, söz konusu demografik baskıların iklim değişikliği ve doğal kaynak kısıtlarıyla birleşerek gelecekte gıda güvenliği üzerindeki tehditleri daha da artırması beklenmektedir (Gökırmaklı & Bayram, 2018). Özellikle hayvancılık sektörü bu süreçten doğrudan etkilenmekte; artan işletme ölçekleri ve hayvan sayıları karşısında geleneksel yetiştiricilik yöntemlerinin günlük sürü yönetiminde yetersiz kaldığı görülmektedir (Mustafa Gezici vd., 2023).

2.3.1.2. Toplam doğurganlık hızı (FR)

G20 ülkelerinde toplam doğurganlık hızı değerleri ülkeler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Gelişmiş G20 ülkelerinin büyük bir bölümünde toplam doğurganlık hızı, yenilenme düzeyi olarak kabul edilen 2,1'in altında

seyretmekte; bu durum nüfusun yaşlanması ve iş gücü arzının azalması gibi yapısal sorunları beraberinde getirmektedir (Deniz Alçın Şahintürk & Çelebi, 2021). Buna karşılık, gelişmekte olan G20 ülkelerinde toplam doğurganlık hızı görece daha yüksek olmakla birlikte, kentleşme süreci, eğitim düzeyindeki artış ve kadınların iş gücüne katılım oranlarının yükselmesiyle birlikte zaman içerisinde düşüş eğilimi göstermektedir (Özgür, 2004). Bu çerçevede, G20 ülkelerinde toplam doğurganlık hızı; ekonomik büyüme, sağlık harcamaları, sosyal politikalar ve gıda güvenliği gibi alanlarla yakından ilişkili olup, demografik dinamiklerin analizinde temel bir değişken olarak değerlendirilmektedir (Özge Ersezer & Gülgen, 2024).

2.3.1.3. Ergen doğurganlık hızı (AFR)

Bu katsayı, ergen gebeliğın bireysel ya da toplumsal düzeyde olumlu bir sonuç olduğu şeklinde yorumlanamaz; bulgu, demografik yapı ve işgücü dinamikleri bağlamında makro düzeyli bir ilişkiyi yansıtmaktadır. Ergen doğurganlık hızı, 15–19 yaş grubundaki kadınlar arasında doğurganlık düzeyini yansıtan ve demografik dönüşümlerin anlaşılmasında kritik öneme sahip bir göstergedir. Ergen doğurganlığı, yalnızca biyolojik bir sonuç göstergesi olmayıp; eğitimde kalma olasılığı, sosyal destek koşulları ve ergen ruh sağlığı yükü gibi psikososyal alanlarla kesişen çok boyutlu bir risk göstergesi olarak ele alınmaktadır. Literatür, ergen gebeliklerinin eğitim sürecinden erken ayrılma ile ilişkili olduğunu, sosyal ve ekonomik kırılganlık bağlamında yoğunlaştığını ve depresyon ile psikolojik sıkıntı riskinin artışıyla birlikte seyrettiğini ortaya koymaktadır (Hodgkinson et al., 2014; Mollborn & Morningstar, 2009; World Health Organization [WHO], 2014). Türkiye’de toplam doğurganlık hızında 1970’li yıllardan itibaren gözlenen belirgin düşüş, ergen doğurganlığındaki gerilemeyle birlikte değerlendirilmekte ve nüfusun yaşlanma sürecini hızlandırmaktadır. Toplam doğurganlık hızının kadın başına yaklaşık beş çocuk düzeyinden 2,26’ya gerilemesi, ortanca yaşın 2000 yılında 24,8 iken 2018 yılında 32’ye yükselmesiyle sonuçlanmıştır (Doğan, 2019). Bu demografik dönüşüm, özellikle eğitim düzeyindeki artış, evlilik yaşının yükselmesi ve genç yaşta çocuk sahibi olmanın ertelenmesi gibi sosyo-kültürel faktörlerle yakından ilişkilidir (Doğan, 2019). Benzer eğilimler birçok gelişmiş ülkede de gözlenmektedir; düşük doğurganlık ve azalan ergen doğurganlık oranları nüfusun yaşlanmasına yol açmaktadır. Bu kapsamda Avustralya, Japonya, Danimarka, Fransa, Kanada ve Rusya gibi ülkelerde doğurganlığı artırmaya yönelik mali teşvik politikaları uygulanmaktadır (Şahintürk & Çelebi, 2021). Türkiye’ye ilişkin ampirik bulgular, 2004–2021 döneminde kadınların iş gücüne katılım oranı ile doğurganlık hızı arasında negatif yönlü bir ilişki bulunduğunu ortaya koymakta; bu ilişkinin ergen doğurganlığının azalmasında da etkili olduğu değerlendirilmektedir (Toker & Şahin, 2024). Benzer şekilde, Afrika kıtasında

yapılan çalışmalar, ergen doğurganlık düzeylerinin bölgeler arasında farklılık gösterdiğini ve bu farklılıkların büyük ölçüde eğitim düzeyi ile doğum kontrol yöntemlerinin kullanımına bağlı olduğunu göstermektedir (Yüceşahin, 2016).

2.3.1.4. Teorik etkiler

İklim değişikliği, küresel tarımsal üretim ve gıda güvenliğini etkileyen en kritik faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. İklim değişikliğinin tarım ve gıda üretimi üzerindeki etkileri, artan gıda güvensizliği nedeniyle gelecekte insani krizlere yol açabilecek niteliktedir (Güran, 2024). İklimsel faktörlerin yanı sıra, sosyoekonomik değişkenler de gıda güvenliği üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Gelir eşitsizliği ve ticaretin serbestleşmesi, özellikle orta ve düşük gelirli ülkelerde gıda güvensizliğinin önemli belirleyicileri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ülkelerde gıda güvensizliği oranları, yüksek gelirli ülkelere kıyasla belirgin ölçüde daha yüksektir (Demir, 2025). Nedenellik analizleri, gelir eşitsizliği ve ticari açıklığın, gıda güvensizliği düzeyi yüksek olan seçili ülkelerde gıda güvensizliğinin nedenleri arasında yer aldığını ortaya koymaktadır (Demir, 2025). Bunun yanı sıra, gıda işletmelerinde çalışanların verimliliği de toplam gıda üretim etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İş gücü verimliliğini artıran faktörler, üretim süreçlerinin etkinliğini yükselterek gıda arzının sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (Yumuşak, 2008).

2.3.2. Sosyoekonomik ve Yapısal Faktörler

G20 ülkelerinde sosyoekonomik ve yapısal faktörler üzerine yapılan araştırmalar, bu ülke grubunun küresel ekonomideki önemini ve iç dinamiklerini ortaya koymaktadır. G20, dünya GSYİH'sının %80'inden fazlasını ve dünya nüfusunun %60'ını temsil eden 20 ülkeden oluşmaktadır (Sayar, 2022). Eğitim harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini inceleyen çalışmada, G20 ülkelerinde eğitim yatırımları ile ekonomik büyüme arasında hem kısa hem de uzun dönemde pozitif ve anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir (Selim et al., 2014). Sosyo-ekonomik performans değerlendirmelerinde Avustralya birinci sırada yer alırken, Türkiye genellikle 18. sırada bulunmaktadır (Özari, 2025). Ekonomik kompleksite, ihracat ve sabit sermaye yatırımlarının kişi başına düşen gelir üzerindeki etkisi ülkeler arasında farklılık göstermekte; bazı ülkelerde pozitif, bazılarında ise negatif etkiler gözlenmektedir (Soyyigit et al., 2019).

2.3.2.1. Talep baskısı

G20 ülkelerinde talep baskısı, toplam talebin üretim kapasitesini aşmasıyla fiyat istikrarı, büyüme ve makroekonomik denge üzerinde oluşan baskıları ifade etmektedir. Küresel GSYH'nin %80'inden fazlasını temsil eden bu ülkelerde talep koşulları, küresel enflasyon ve büyüme eğilimleri açısından

belirleyicidir (Sayar, 2022). OECD raporları, pandemi sonrası genişleyici mali ve parasal politikaların iç talebi artırarak özellikle hizmetler sektörü ve tüketim harcamaları üzerinden talep kaynaklı enflasyonist baskıları güçlendirdiğini; ABD ve bazı Avrupa ülkelerinde güçlü iç talebin enflasyonun düşüşünü yavaşlattığını ortaya koymaktadır (OECD, 2025a). IMF değerlendirmeleri ise talep baskısının arz kısıtlarıyla birleştiğinde enflasyonu kalıcı hâle getirdiğini ve para politikası sıkılaşması yoluyla büyüme üzerinde aşağı yönlü riskler yarattığını vurgulamaktadır (IMF, 2024). Bununla birlikte, talep baskısının G20 ülkeleri arasında homojen olmadığı; Çin ve Hindistan gibi ekonomilerde büyümeyi desteklerken, gelişmiş ülkelerde daha çok enflasyonist etkiler doğurduğu belirtilmektedir (OECD, 2024; OECD, 2025b).

2.3.2.2. İş gücü yapısı

G20, farklı kıtalardan gelişmiş ve gelişmekte olan 20 ekonomiyi kapsamakta olup, küresel GSYH ve uluslararası ticaretin %80'inden fazlasını ve dünya nüfusunun yaklaşık %60'ını temsil etmektedir (Sayar, 2022). G20 ülkelerinin işgücü piyasalarına ilişkin çalışmalar, işsizlik oranlarında yakınsama eğilimlerine işaret etmekte; Brezilya, Fransa, Almanya, Hindistan, İtalya, Japonya, Suudi Arabistan ve Güney Afrika'da işsizlik oranlarının G20 ortalamasına yaklaştığını göstermektedir (Demiralp & Belliler, 2023). G7 ülkeleri ile Türkiye'nin karşılaştırıldığı araştırmalar ise demografik yapıların işgücü piyasalarını farklılaştırdığını ortaya koymakta; G7 ülkelerinde çalışma çağındaki nüfus azalırken Türkiye'de hem çalışma çağındaki hem de yaşlı nüfusun arttığı görülmektedir (Koca, 2022). Ayrıca işgücü özellikleri içinde çalışanların eğitim düzeyinin finansal gelişme üzerinde belirleyici olduğu, buna karşılık kadın işgücüne katılımı, yarı zamanlı çalışma oranı ve asgari ücretin finansal gelişme ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki göstermediği tespit edilmiştir (Emir & Özay, 2023).

2.3.2.3. Kırsal-kentsel dönüşüm

G20 ülkeleri ve Türkiye'de kırsal-kentsel dönüşüm, kentleşme, çevresel etkiler ve toplumsal değişim ekseninde şekillenmektedir. G20 ülkelerinde ekonomik büyüme ve kentleşmenin çevresel sonuçları öne çıkarırken, kişi başına düşen gelir CO₂ emisyonlarını artırmakta; buna karşılık yenilenebilir enerji kullanımı ve kentsel nüfus oranı emisyonları azaltıcı etki göstermektedir (Özdemir, 2024). Türkiye'de ise kırdan kente göç, düzensiz yapılaşma ve kentsel dönüşüm ihtiyacını artırmış; dönüşüm süreçlerinin mahallelerin sosyo-ekonomik yapısına göre farklılaştığı görülmüştür (Güleç, 2022). Ayrıca küreselleşme, kırsal alanların metalaşmasına ve kent tipi yaşam biçimlerinin yaygınlaşmasına yol açarak toplumsal ve ekolojik sorunları beraberinde

getirmiştir (Güçlü, 2021). Bu dönüşümler, küresel ölçekte ekonomik ve demografik ağırlığı yüksek olan G20 ülkeleri bağlamında daha belirgin hâle gelmektedir (Sayar, 2022).

3. Literatür Taraması

3. 1. Tarımsal Girdiler ve Üretim Kapasitesine Odaklanan Çalışmalar

Literatürde gıda üretimini belirleyen temel unsurlar arasında tarımsal girdiler önemli bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda tarım arazisi büyüklüğü, tarımsal katma değer, tarımda istihdam ve finansal kaynaklara erişim gibi değişkenlerin gıda üretimi üzerindeki etkileri sıklıkla analiz edilmektedir. Vietnam, Tayland, Endonezya ve Filipinler'i kapsayan panel veri analizinde, söz konusu girdilerin nüfus, GSYH ve politik istikrar gibi kontrol değişkenleri altında dahi gıda üretimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığı tespit edilmiştir (Firmansyah vd., 2021). Bu bulgular, üretim kapasitesi ve finansal erişimin, küresel tarım piyasalarında önemli bir aktör konumunda bulunan G20 ülkeleri açısından da kritik bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

3.2. Kurumsal Yapı, Politika Çerçevesi ve Yönetişim

Gıda üretimi ve gıda güvenliği, yalnızca üretim faktörleriyle değil, aynı zamanda kurumsal yapı ve politika çerçevesiyle de yakından ilişkilidir. G-8 ve G-20 ülkeleri düzeyinde yürütülen politika tartışmaları, gıda güvenliği ve tarımsal piyasalarda fiyat oynaklığını küresel yönetim gündeminin merkezine taşımıştır. Tarım politikalarının koordinasyonu ve finansal piyasaların düzenlenmesi alanlarında sınırlı ilerleme kaydedilmesine rağmen, biyoyakıt politikaları ve tarım ticaretine ilişkin düzenlemelerdeki belirsizlikler devam etmektedir. Bu durum, G20 ülkelerinde gıda üretiminin yapısal ve kurumsal belirleyicilerinin ampirik olarak incelenmesini gerekli kılmaktadır (Hiemenz, 2012).

3.3. Verimlilik, İnsan Sermayesi ve Yapısal Dinamikler

Tarımsal verimlilik artışı, özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin birlikte ele alındığı çalışmalarda ön plana çıkan bir konudur. OECD ülkelerini kapsayan meta-analiz ve kaba küme teorisine dayalı araştırmalar, tarımsal üretkenliği artıran kritik başarı faktörlerini sistematik biçimde ortaya koymaktadır (Nijkamp & Vindigni, 2000). G20 ülkelerine özgü ampirik bulgular ise ekonomik ve demografik değişkenlerin tarımsal verimlilik üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Erdinç ve ark. (2021), kişi başına düşen GSYH, gayrisafi sabit sermaye oluşumu, tarımda istihdam ve kentleşme

oranının tarımsal katma değerle pozitif yönlü ilişkili olduğunu ortaya koyarken, hukukun üstünlüğü endeksinin tarımsal verimlilik ile negatif yönlü bir ilişki sergilediğini belirtmektedir.

İnsan sermayesinin rolüne odaklanan Aydınbaş ve ark. (2024) ise tarımsal verimlilik endeksi ile insan sermayesi endeksi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğunu tespit ederek, insan sermayesini ve kentsel gelişimi destekleyen politikaların tarımsal verimliliği artırabileceğini vurgulamaktadır.

3.4. Ticaret, Çevresel Faktörler ve Gıda Güvenliği

Gelişmekte olan ülkelere odaklanan çalışmalar, dış ticaretin ve yapısal dönüşümün tarım ve gıda sektöründeki rolüne dikkat çekmektedir. Ticaret politikalarında açıklık, iç pazar büyüklüğü, makroekonomik istikrar, finansal destek mekanizmaları ve altyapı düzeyi, işlenmiş gıda ihracatına yönelik dönüşümün temel belirleyicileri arasında yer almaktadır (Jongwanich & Magtibay- Ramos, 2009).

Çevresel boyutu ele alan Şengül ve Köprücü (2025), BRICS-T ülkeleri için yaptıkları analizde karbon emisyonlarının gıda güvenliği üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymakla birlikte, bu etkinin uzun vadede çevresel sürdürülebilirlik açısından riskler barındırdığına dikkat çekmektedir. Analizin G20 ülkelerini doğrudan kapsamaması, çevresel faktörlerin gıda üretimi üzerindeki etkilerinin G20 bağlamında bütüncül bir şekilde ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Noori ve Al Hiyali (2025), 1993–2022 döneminde Irak'ta Gıda Üretimi Endeksini etkileyen faktörleri ARDL modeliyle incelemiştir. Bulgular, bitkisel ve hayvansal üretimin gıda üretimi üzerinde pozitif, karbon emisyonları ve sıcaklık artışının ise negatif etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Yağışların etkisi pozitif olmakla birlikte, mevsimsel dağılımının toplam miktardan daha belirleyici olduğu vurgulanmaktadır. Çalışma, iklim değişikliğinin etkilerinin uzun vadede kalıcı olduğunu ortaya koyarak sürdürülebilir tarım uygulamaları ve iklim uyumlu politikaların önemine dikkat çekmektedir.

3.5. Türkiye Odaklı Çalışmalar

Literatürde Türkiye'ye odaklanan çalışmalar, gıda güvenliği ve gıda piyasalarının hem yapısal hem de makroekonomik dinamiklerle şekillendiğini göstermektedir. Dağdur ve Olhan (2015), Türkiye'nin Küresel Gıda Güvenliği Endeksi kapsamındaki performansını incelemiş ve ülkenin kişi başına düşen GSYH bakımından görece zayıf bir konumda olmasına rağmen, gıda güvenliği ve beslenme standartları açısından olumlu bir görünüm sergilediğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, ekonomik göstergeler ile gıda güvenliği sonuçları

arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Makroekonomik istikrar ve maliyet unsurlarını ele alan Özçelik ve Uslu (2024) ise Türkiye’de gıda enflasyonunun temel belirleyicileri arasında tarımsal üretici fiyatları ile enerji maliyetlerinin yer aldığını tespit etmiştir. ARDL modeli kullanılarak elde edilen bulgular, döviz kuru dinamiklerinin ve girdi maliyetlerinin gıda fiyatları üzerindeki etkisini vurgulamakta; dolayısıyla gıda güvenliği ve gıda üretimi politikalarının makroekonomik faktörlerden bağımsız değerlendirilemeyeceğine işaret etmektedir.

Bu çalışmalar, Türkiye özelinde gıda güvenliği ve gıda piyasalarının çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymakla birlikte, Türkiye’nin G20 ülkeleri içindeki konumunun, üretim, fiyat istikrarı ve çevresel faktörler bağlamında karşılaştırmalı olarak ele alındığı ampirik çalışmaların sınırlı olduğunu göstermektedir.

4. Yöntem

4.1. Veri Seti

2017–2022 dönemini kapsayan panel veri analizi, farklı ülkelerden elde edilen yıllık veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. G20 ülkeleri esas alınmakla birlikte, veri sürekliliği ve değişkenlerin eş zamanlı erişilebilirliği nedeniyle analize 17 ülke dâhil edilmiştir. Eksik gözlem problemi bulunan ülkeler dışarıda bırakılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri setinde, bağımlı değişken olarak Gıda Üretim Endeksi (Food Production Index – FPI) yer alırken; bağımsız değişkenler nüfus artış hızı (Population Growth – PG), ergen doğurganlık hızı (AFR) ve toplam doğurganlık hızı (FR; kadın başına düşen ortalama doğum sayısı) olarak belirlenmiştir. Analize dâhil edilen ülkeler, veri setinde yer alan ve bazı yıllarda sınırlı ölçüde eksik gözlemler bulunsa da, genel itibarıyla tüm değişkenler için yeterli ve tutarlı veri sağlayan ülkelerden oluşmaktadır. Bu yaklaşım, panel veri yapısının korunmasına ve analiz sonuçlarının güvenilirliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Veri seti dengesiz panel yapısına sahiptir; bazı ülkelerde bazı yıllar eksik gözlemler içermektedir. Her ülke için yıllara göre ayrı satırlar bulunmaktadır. Ek olarak, bazı değişkenler üzerinde logaritmik dönüşüm ($\ln PG$) ve fark alma işlemleri (first differences ve demeaned differences) uygulanarak zaman serisi özellikleri dikkate alınmıştır. Bu sayede hem seviyeler hem de değişimler üzerinden panel regresyon analizleri yapılabilecek şekilde veri hazırlanmıştır. Analize dahil edilen ülkeler şunlardır: Argentina, Australia, Brazil, China, France, Germany, India, Indonesia, Italy, Japan, Korea, Mexico, Russian Federation, Saudi Arabia, Türkiye, United Kingdom, United States.

Tablo 1, çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımlarını, ölçüm biçimlerini ve ilgili veri kaynaklarını özetlemektedir. Bağımlı değişken olan Gıda Üretim Endeksi (FPI), tarımsal üretim performansını yansıtırken; nüfus artış hızı (PG), ergen doğurganlık hızı (AFR) ve toplam doğurganlık hızı (FR) gıda üretimini etkileyebilecek temel demografik göstergeler olarak analize dâhil edilmiştir. Tabloda yer alan tüm veriler, uluslararası karşılaştırılabilirliği sağlamak amacıyla Dünya Bankası, FAO ve Birleşmiş Milletler veri tabanlarından temin edilmiştir.

Tablo 1. Değişken Tanımları ve Veri Kaynakları

Değişken	Tanım	Açıklama	Veri Kaynağı
FPI	Gıda üretim endeksi (2014-2016 = 100)	Yenilebilir ve besin değeri içeren tarım ürünlerini kapsamaktadır. Kahve ve çay dahil edilmemiştir; çünkü yenilebilir olmalarına rağmen besin değeri yoktur.	World Bank; FAO elektronik dosyaları ve web sitesi, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)
PG	Nüfus artışı (yıllık %)	Yıl t için yıllık nüfus artış hızı, t-1 yılından t yılına kadar orta yıl nüfusunun üssel büyüme oranı olarak yüzdelik ifade edilir. Nüfus, yasal statü veya vatandaşlık durumuna bakılmaksızın tüm ikamet edenleri sayan fiili nüfus tanımına dayanmaktadır.	World Bank; UN World Population Prospects; ulusal istatistik ofisleri; Eurostat; UN Demographic Statistics
AFR	Ergen doğurganlık hızı	15-19 yaş arası 1.000 kadın başına doğum sayısını ifade eder.	World Bank; UN World Population Prospects
FR	Toplam doğurganlık hızı (kadın başına doğum sayısı)	Bir kadının doğurganlık yaşının sonuna kadar yaşaması durumunda, belirtilen yılın yaşa özgü doğurganlık oranlarına göre çocuk doğurması beklenen ortalama çocuk sayısını temsil eder.	World Bank; UN World Population Prospects; ulusal istatistik ofisleri; Eurostat

Veri setine ilişkin genel bir görünüm Tablo 2'de sunulmakta olup, tabloda analizde yer alan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler raporlanmaktadır. Aritmetik ortalamalar incelendiğinde, bağımlı değişken olan Gıda Üretim Endeksi'nin (FPI) ortalama değeri 108,31 olarak hesaplanmıştır. Bağımsız değişkenlerden nüfus artışı (PG) ortalama $1,59 \times 10^{13}$, nüfus artışının logaritması ($\ln PG$) -1,91, ergen doğurganlık hızı (AFR) 17,67 ve toplam doğurganlık hızı (FR) 1,69 düzeyindedir. Nüfus artış değişkeni (PG), aşırı uç değerler ve ölçek farklılıkları nedeniyle logaritmik dönüşüm ($\ln PG$) sonrası analize dâhil edilmiş; yorumlar $\ln PG$ üzerinden yapılmıştır.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Gözlem Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
FPI	102	108,31	14,35	87,12	172,66
lnPG	102	-1,91	2,20	-6,64	-0,016
AFR	102	17,67	17,35	0,539	64,49
FR	102	1,69	0,38	0,778	2,67

Değişkenlerin gözlemler arasındaki dağılımı incelendiğinde, FPI'nin en düşük değeri 87,12, en yüksek değeri ise 172,66 olarak kaydedilmiştir. lnPG'nin minimum değeri -6,64, maksimum değeri -0,02'dir. AFR değişkeni 0,54 ile 64,49 arasında bir dağılım sergilerken, FR'nin en düşük değeri 0,78, en yüksek değeri ise 2,67 olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, analizde kullanılan değişkenlerin ülkeler ve yıllar itibarıyla önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

4.2. Model

Bu çalışma, 2017–2022 döneminde farklı ülkelerden elde edilen veriler kullanılarak gıda üretim endeksini (FPI) nüfus artışı (PG), ergen doğurganlık hızı (AFR) ve toplam doğurganlık hızı (FR) fonksiyonu olarak inceleyen bir panel veri regresyon modeli geliştirmekte ve tahmin etmektedir. Modelin ekonometriye özgü gösterimi aşağıda verilmiştir:

$$FPI_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln PG_{it} + \beta_2 AFR_{it} + \beta_3 FR_{it} + \varepsilon_{it}$$

Burada i ülkeleri, t yılları, ε_{it} hata terimini ifade etmektedir. Ayrıca, bazı modellerde PG değişkeni logaritmik olarak ($\ln PG$) ve fark alma işlemleri uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Değişken	Açıklama	Kullanım	Birim
FPI_{it}	Gıda Üretim Endeksi, bir ülkede yıllık tarımsal üretim düzeyini gösterir (2014–2016 = 100).	Bağımlı değişken; tarımsal üretim performansını ölçmek için kullanılır.	Endeks (2014–2016 = 100)
$\ln PG_{it}$	Nüfus Artış Hızı, belirli bir yıldaki nüfus büyüme oranı.	Bağımsız değişken; tarımsal üretimi etkileyebilecek demografik faktör olarak kullanılır.	Yüzde (%)
AFR_{it}	Ergen Doğurganlık Hızı, 15-19 yaş arası 1.000 kadın başına doğum sayısı.	Bağımsız değişken; üretim üzerindeki sosyal-demografik etkileri incelemek için kullanılır.	Doğum / 1.000 kadın

FR_{it}	Toplam Doğurganlık Hızı, bir kadının doğurganlık dönemi boyunca sahip olması beklenen ortalama çocuk sayısını ifade eder.	Bağımsız değişken; demografik baskı ve hanehalkı kaynak dağılımı kanalıyla gıda üretimi üzerindeki etkileri incelemek için kullanılır.	Çocuk / kadın
-----------	---	--	---------------

Burada β_0 kesme terimini, β_1 , β_2 , β_3 regresyon katsayılarını ve ε_{it} hata terimini ifade etmektedir. Araştırma hipotezleri ise aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir:

H0 (Null Hipotezi): Nüfus artışı (PG), ergen doğurganlık hızı (AFR) ve toplam doğurganlık hızı (FR), Gıda Üretim Endeksi (FPI) üzerinde etkili değildir.

H1 (Alternatif Hipotez): Nüfus artışı (PG), ergen doğurganlık hızı (AFR) ve toplam doğurganlık hızı (FR), Gıda Üretim Endeksi (FPI) üzerinde etkilidir.

FR değişkeninin gıda üretim endeksi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Tablo 7'de sunulan sonuçlara göre, lnPG değişkeni FPI üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir ($\beta = 0.412$). Bu bulgu, kişi başına gelir düzeyindeki artışın finansal performans endeksini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, AFR değişkeninin FPI üzerindeki etkisi de pozitif ve oldukça anlamlıdır ($\beta = 0.533$, $p < 0.001$). Bu sonuç, AFR'de meydana gelen artışların finansal performans üzerinde güçlü bir artırıcı etki yarattığını ortaya koymaktadır. Modelde çoklu doğrusal bağlantı sorunu tespit edilmemiştir. Varyans Enflasyon Faktörü (VIF) değerleri incelenebilir. Genel olarak, 10'un üzerindeki bir VIF değeri çoklu doğrusal bağlantının bir göstergesi olarak kabul edilir ve bu durum, yüksek korelasyona sahip bağımsız değişkenlerin regresyon katsayılarının güvenilir bir şekilde tahmin edilemeyebileceğini gösterir (Montgomery ve ark., 2012). Tablo 3'te sunulan hiçbir VIF değerinin 10'u aşmaması nedeniyle, bu modelde çoklu doğrusal bağlantının bir sorun teşkil etmediği sonucuna varılabilir.

Tablo 3. Korelasyon matrisi ve VIF değerleri

	FPI	lnPG	AFR	FR	VIF
FPI	1				–
lnPG	0.3437***	1			1.23
AFR	0.1679*	0.4664***	1		1.48
FR	0.4965***	0.4023***	0.4514***	1	1.45

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Korelasyon matrisi sonuçları, değişkenler arasındaki ilişkilerin yönü ve gücü hakkında önemli bulgular sunmaktadır. Buna göre, FPI ile lnPG arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0.344$, $p < 0.01$). Bu bulgu, nüfus artışının gıda üretim endeksi ile birlikte hareket ettiğini göstermektedir. FPI ile AFR arasındaki ilişki pozitif olmakla birlikte %10 anlamlılık düzeyinde sınırlı düzeyde anlamlıdır ($r = 0.168$, $p < 0.10$). Buna karşılık, FPI ile FR arasında orta düzeyde, pozitif ve güçlü bir ilişki tespit edilmiştir ($r = 0.497$, $p < 0.01$).

Bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler incelendiğinde, lnPG ile AFR ($r = 0.466$, $p < 0.01$) ve lnPG ile FR ($r = 0.402$, $p < 0.01$) arasında pozitif ve anlamlı ilişkiler olduğu görülmektedir. Ayrıca, AFR ile FR arasında da orta düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0.451$, $p < 0.01$). Bununla birlikte, korelasyon katsayılarının hiçbirinin 0.80'in üzerine çıkmaması, bağımsız değişkenler arasında ciddi bir çoklu doğrusal bağlantı sorunu bulunmadığına işaret etmektedir. Nitekim regresyon analizine ait VIF değerlerinin 1.23 ile 1.48 arasında değişmesi, bu bulguyu desteklemektedir.

Genel olarak, korelasyon analizi sonuçları, regresyon modelinde yer alan değişkenler arasında hem teorik beklentilerle uyumlu ilişkilerin bulunduğunu hem de model tahminlerini bozabilecek düzeyde bir ilişkiselliğin söz konusu olmadığını ortaya koymaktadır.

4.3. Araştırma bulguları

Bu bölümde, panel regresyon analizinin uygulanma süreci ve panel regresyon modeline ilişkin tahmin sonuçları sunulmaktadır. Panel regresyon analizine geçilmeden önce, serilerin durağanlık düzeylerini belirlemek amacıyla birim kök testleri uygulanmıştır. Ardından, veri seti için en uygun modelin belirlenebilmesi amacıyla sabit etkiler, rassal etkiler ve havuzlanmış regresyon modelleri karşılaştırılmıştır. Model seçimi, F testi ve Hausman testi gibi resmi istatistiksel prosedürlere dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Model varsayımları kapsamında çoklu doğrusal bağlantı, otokorelasyon ve değişen varyans sorunları incelenmiştir. Son olarak, uygun modelin belirlenmesi ve uygulanması sonucunda elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

Birim kök testleri, serilerin durağanlık özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, serilerin durağanlığı; yaygın olarak kabul gören panel birim kök testlerinden Levin, Lin ve Chu, Im, Pesaran ve Shin (W-istatistiği) ile ADF-Fisher Ki-kare testleri kullanılarak incelenmiştir. Durağanlık analizine ilişkin hipotezler aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir:

H0: Seri durağan değildir.

H1: Seri durağandır.

Birim kök testi sonuçları Tablo 4'te sunulmaktadır. Elde edilen bulgular, çalışmada yer alan tüm değişkenlerin düzey değerlerinde durağan olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, tüm değişkenler için alternatif hipotez (H1) kabul edilmiştir.

Tablo 4. Panel Birim Kök Testleri Sonuçları

Değişken	LLC İstatistiği	LLC p-değeri	IPS W-istatistiği	IPS p-değeri	Fisher P	p-değeri	Fisher Z	p-değeri	Fisher L*	p-değeri	Fisher Pm	p-değeri
FPI	-10.9697	0.0000***	-0.9443	0.8547	141.5369	0.0000***	-0.9639	0.1676	-5.9977	0.0000***	13.0408	0.0000***
lnPG	-	-	-0.7739	0.2195*	28.2893	0.1027	-0.7739	0.2195	-0.6064	0.2739	1.3107	0.0950
AFR	-6.4742	0.0000***	-0.8849	0.9198	256.7039	0.0000***	-6.7009	0.0000***	-16.2671	0.0000***	27.0068	0.0000***
FR	-7.5125	0.0000***	-0.7944	0.9734	36.2872	0.3625	0.9341	0.8249	0.7302	0.7664	0.2774	0.3907

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. LLC: Levin-Lin-Chu; IPS: Im-Pesaran-Shin; Fisher: ADF-Fisher testleri.

Panel birim kök testleri sonuçlarına göre, FPI ve AFR değişkenleri LLC ve Fisher testleri ile düzey değerlerinde durağanlık göstermektedir ($p < 0.01$). Öte yandan, lnPG değişkeni için LLC testi uygulanmadığından doğrudan yorum yapılamamakta; IPS ve Fisher testleri bazı panellerde durağanlık göstermediğinden, lnPG serisinin bazı panellerde birim kök içerdiği ve genel olarak kısmen durağan olduğu söylenebilir. FR değişkeni ise LLC testi ile düzeyde durağanlık sergilerken, Fisher testi bazı panellerde durağan olmadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, panel veri setinde FPI ve AFR değişkenlerinin düzey değerlerinde durağan, lnPG ve FR değişkenlerinin ise kısmen durağan veya birim kök içerdiğini göstermekte olup, panel regresyon analizi öncesinde serilerin durağanlık özelliklerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Panel birim kök testleri bazı değişkenlerde kısmi durağanlık bulguları sunsa da, çalışmada sabit etkiler modeli kullanılmıştır. Sabit etkiler tahminleyicisi, ülkeler arası zaman-invariant heterojenliği kontrol etmekte ve kısa dönem panel yapılarında (T küçük, N orta) düzey regresyonları yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Driscoll-Kraay dayanıklı standart hataları, olası seri korelasyon ve kesitsel bağımlılığın etkilerini azaltarak katsayı tahminlerinin güvenilirliğini artırmaktadır.

En uygun panel veri modelini belirlemek için üç farklı model yapısı dikkate alınmıştır: birleştirilmiş (pooled) OLS modeli, sabit etkiler (fixed effects) modeli ve rastgele etkiler (random effects) modeli. Model seçimi, resmi

model belirleme testleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Özellikle, sabit etkiler modelinin birleştirilmiş OLS modeline göre geçerliliğini değerlendirmek için F-testi uygulanmış, rastgele etkiler tahmincisinin sabit etkiler modeline göre tutarlılığı ve etkinliği ise Hausman testi ile incelenmiştir. Test sonuçları, en uygun modelin seçiminde yol gösterici olmuş ve ilgili bulgular çalışmada raporlanmıştır. Model seçiminin ilk aşamasında, birleştirilmiş OLS modeli ile sabit etkiler modelinden hangisinin daha uygun olduğunu belirlemek için F-testi uygulanmıştır. F-testi için hipotezler ise şu şekilde formüle edilmiştir:

H0: Havuzlanmış (pooled) OLS modeli uygundur.

H1: Sabit etkiler (fixed effects) modeli uygundur.

Tablo 5'te görüldüğü üzere, çalışmanın modeline ait F-test istatistiğine karşılık gelen olasılık değeri sıfırdır. Bu nedenle, F-testi için sıfır hipotezi (H0) %1 anlamlılık düzeyinde reddedilmektedir. Bu durum, sabit etkiler (fixed effects) modelinin veri için uygun model olduğunu göstermektedir. Model seçiminin ikinci aşamasında, sabit etkiler modeli ile rastgele etkiler (random effects) modeli arasında hangisinin daha uygun olduğunu belirlemek için Hausman testi uygulanmıştır. Hausman testi için hipotezler ise şu şekilde formüle edilmiştir:

H0: Rastgele etkiler (random effects) modeli uygundur.

H1: Sabit etkiler (fixed effects) modeli uygundur.

Tablo 5'te görüldüğü üzere, Hausman testi sonuçları p-değeri dikkate alındığında sıfır hipotezinin (H0) reddedilmesine yol açmaktadır. Böylece, %1 anlamlılık düzeyinde alternatif hipotez (H1) kabul edilmekte ve sabit etkiler (fixed effects) modelinin uygun model olduğu doğrulanmaktadır. Hem F-testi hem de Hausman testi sonuçlarına göre, bu çalışmada gerçekleştirilen panel veri analizinde sabit etkiler modeli uygun model olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. F Testi ve Hausman Testi Sonuçları

Test	İstatistik	df	Olasılık
F Test	F = 3.516273	(13,319)	0.0000***
Hausman Test (genelleştirilmiş, sigmamore)	Chi ² = 15.01	3	0.0018***

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Hem F-test hem de genelleştirilmiş Hausman testi sonuçları, panel veri analizi için sabit etkiler modelinin (FE) uygun model olduğunu doğrulamaktadır.

Panel veri analizinde, heteroskedastisite, otokorelasyon ve kesitsel bağımlılık gibi temel model varsayımlarının ihlallerinin olasılığını değerlendirmek büyük

önem taşımaktadır. Bu tür sorunların varlığı, pooled OLS, sabit etkiler veya rastgele etkiler gibi standart modellerle elde edilen tahminlerin geçerliliğini zayıflatabilir ve sonuçların önyargılı veya tutarsız olmasına yol açabilir. Bu tür ihlaller tespit edildiğinde, sağlam ve güvenilir tahminler üreten alternatif model spesifikasyonlarının uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle, panel veri modelinin temel varsayımlarının test edilmesi, ampirik bulguların geçerliliği ve güvenilirliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Tablo 6, model varsayımlarını incelemek üzere gerçekleştirilen tanısal testlerin sonuçlarını sunmaktadır.

Sabit etkiler modelinde, hata terimlerinin sabit olmayan varyans gösterip göstermediğini belirlemek için heteroskedastisiteyi tespit eden Modified Wald testi kullanılmaktadır. Testin hipotezleri şu şekilde formüle edilmiştir:

H0: Hata terimlerinde heteroskedastisite yoktur ($\sigma_i^2 = \sigma^2$ tüm i için).

H1: Hata terimlerinde heteroskedastisite vardır ($\sigma_i^2 \neq \sigma^2$ tüm i için).

Tablo 6'da sunulan Modified Wald testi sonuçlarına göre, p-değeri %1'in altında olduğundan modelde heteroskedastisite mevcuttur. Sabit etkiler modelindeki hata terimleri arasında otokorelasyonun varlığını incelemek için iki test uygulanmıştır: Baltagi-Wu Locally Best Invariant testi ve Bhargava, Franzini ve Narendranathan tarafından geliştirilen Durbin-Watson testi. Bu testlerden herhangi birinin istatistik değeri 2'den küçükse, bu durum otokorelasyonun varlığı olarak yorumlanmaktadır (Yerdelen Tatoğlu, 2012). Tablo 6'dan görüldüğü üzere, tüm otokorelasyon testi istatistikleri kritik değer olan 2'nin altındadır; bu durum modelde otokorelasyon bulunduğunu göstermektedir.

Table 6. Model Varsayımlarına Yönelik Tanı Testleri

Test	Test Amacı	Test İstatistiği	p-değeri	Karar
Modified Wald Test	Heteroskedastisite	601.73	0.0000***	H0 reddedildi → Heteroskedastisite mevcut
Modified Bhargava et al. Durbin-Watson	Otokorelasyon	0.4475	-	H0 reddedildi → Otokorelasyon mevcut
Baltagi-Wu Test	Otokorelasyon	0.7355	-	H0 reddedildi → Otokorelasyon mevcut
Pesaran's Cross-Sectional Independence Test	Kesitler arası bağımlılık	30.137	0.0000***	H0 reddedildi → Kesitler arası bağımlılık mevcut

***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Çalışma modelinin sabit etkiler çerçevesinde yapılan analizinde, tanı testleri heteroskedastisite, otokorelasyon ve kesitler arası bağımlılık gibi temel ekonometrik sorunların varlığını ortaya koymuştur. Bu sorunlar, standart panel veri tahminleyicilerinin dayandığı klasik varsayımları ihlal etmekte olup, çözülmediğinde parametre tahminlerinin verimsiz, önyargılı veya tutarsız olmasına yol açabilir. Bu problemlerin etkilerini azaltmak için, bu çalışmada Driscoll ve Kraay (1998) sabit etkiler tahminleyicisi kullanılmıştır. Driscoll-Kraay tahminleyicisi, özellikle çok sayıda kesit birimi ve görece kısa zaman boyutuna sahip panel veri analizleri için uygundur; çünkü heteroskedastisiteye, otokorelasyona ve kesitler arası bağımlılığa karşı dayanıklı standart hatalar sağlar.

4.4. Panel regresyon analizi

Panel regresyon analizi, bağımlı değişken olarak Gıda Üretim Endeksi (FPI) ve bağımsız değişkenler olarak nüfus artışının logaritması ($\ln PG$), ergen doğurganlık hızı (AFR) ve toplam doğurganlık hızı (FR) kullanılarak, sabit etkiler modeli çerçevesinde Driscoll–Kraay dayanıklı standart hatalarla gerçekleştirilmiştir. Modelin genel geçerliliği, F-istatistiği sonuçlarıyla doğrulanmış olup ($F(8,5) = 6402.02$, $p = 0.0000$), birim içi varyansın yaklaşık %40,55'inin model tarafından açıklandığı tespit edilmiştir.

Katsayı tahminleri incelendiğinde, $\ln PG$ ve AFR değişkenlerinin FPI üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkilere sahip olduğu görülmektedir. Buna göre $\ln PG$ için katsayı 0,412 ($p = 0,016$), AFR için ise 0,533 ($p = 0,000$) olarak tahmin edilmiştir. Bu bulgular, nüfus artışı ve ergen doğurganlık hızındaki artışların gıda üretim endeksini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık, toplam doğurganlık hızı (FR) değişkeninin FPI üzerindeki etkisi negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş olup, katsayı değeri $-39,935$ ($p = 0,000$) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, FR'deki artışların gıda üretimi üzerinde baskı oluşturduğunu göstermektedir.

Zaman etkileri değerlendirildiğinde, özellikle 2018 ve 2020 yıllarında FPI üzerinde istatistiksel olarak anlamlı düşüşler tespit edilmiştir. Genel olarak, Driscoll–Kraay tahminleyicisinin kullanılması sayesinde model, heteroskedastisite, otokorelasyon ve kesitler arası bağımlılık sorunlarına karşı dayanıklı tahminler sunmakta ve FPI'nin belirleyicilerine ilişkin güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Analiz sonuçları Tablo 7'de sunulmaktadır.

Tablo 7. Driscoll ve Kraay Tahminleyicisi Kullanılarak Sabit Etkiler Modeli Sonuçları

Driscoll ve Kraay dayanaklı standart hatalar Method: Fixed Effects Regression R ² = 0.4055						Number of observations = 102 Number of cross-section = 17 F(8,5) = 6402.02, p = 0.0000
Değişken	Katsayı	Std. Hata	t	p	%95 Güven Aralığı	Yorum
lnPG	0.412	0.115	3.58	0.016	0.116 – 0.707	%1 artış PG'de, FPI yaklaşık 0.41 birim artıyor. Anlamlı
AFR	0.533	0.028	18.86	0.000	0.460 – 0.606	AFR artışı FPI üzerinde pozitif ve güçlü etkili. Çok anlamlı
FR	-39.935	3.844	-10.39	0.000	-49.816 – -30.054	FR artışı FPI'yi düşürüyor. Çok anlamlı.

***, **, and * denote statistical significance at the 1%, 5%, and 10% levels, respectively.

Sabit (cons): 167.957, p = 0.000 → anlamlı

Panel regresyon analizi, Driscoll-Kraay dayanaklı standart hatalar kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, bu sayede heteroskedastisite, otokorelasyon ve kesitler arası bağımlılığa karşı standart hatalar düzeltilmiştir. Analiz sonuçları, lnPG ve AFR değişkenlerinin FPI üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı etkiler sağladığını göstermektedir; bu durum, söz konusu değişkenlerdeki artışların FPI üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, FR değişkeni FPI üzerinde negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olup, FR'deki artışların FPI'yi düşürdüğü gözlemlenmiştir. Zaman değişkenleri incelendiğinde, özellikle 2018 ve 2020 yıllarında FPI üzerinde anlamlı etkiler tespit edilmiştir. Genel olarak, model güçlü ve güvenilir tahminler sunmakta, panel veri yapısındaki temel ilişkileri güvenilir bir şekilde yansıtmaktadır.

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışma, Gıda Üretimi Endeksi (FPI) ile demografik göstergeler arasındaki ilişkiyi panel veri analizi ile inceleyerek, gıda üretiminin yalnızca tarımsal ve ekonomik faktörlerle değil, nüfus dinamikleriyle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Literatür, demografik değişimlerin gıda talebini ve arz yapısını birlikte etkilediğini ve gıda üretiminin demografik dönüşümlerden bağımsız değerlendirilemeyeceğini vurgulamaktadır (Muravyova, 2021; Balkan Ge & Akın, 1995). Muravyova (2021), demografik eğilimlerin yurtiçi gıda üretimi ve ithal ikamesi politikalarında belirleyici olduğunu belirtirken; Balkan Ge ve Akın (1995), nüfus, gıda ve su kaynakları ile işgücü yapısı arasındaki

etkileşimin ekonomik ve sağlıkla ilgili sonuçları şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. FR değişkeninin korelasyon analizinde pozitif, çok değişkenli regresyonda ise negatif katsayıya sahip olması, basit ikili ilişkiler ile kontrol değişkenleri dâhil edildiğinde ortaya çıkan net etkilerin farklılaşabileceğini göstermektedir. Sabit etkiler modeli, ülkelerin gözlemlenemeyen yapısal özelliklerini kontrol ettiğinden, FR'nin gıda üretimi üzerindeki uzun dönemli baskılayıcı etkisini daha net ortaya koymaktadır. Bu durum, literatürde sıkça vurgulanan 'demografik baskı-verimlilik dengesi' yaklaşımıyla uyumludur.

Analiz sonuçlarına göre nüfus artışı (lnPG), FPI üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir. Bu bulgu, artan nüfusun gıda talebini yükselterek tarımsal üretimin genişlemesini teşvik ettiğini göstermektedir. Nüfus dinamikleri ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin zaman ve ülke bazında farklılaştığı literatürde sıklıkla ifade edilmektedir. Tarımsal verimliliğin BRICS-T ülkelerinde büyüme ve kentleşmeyi desteklediği (Aydın vd., 2024); Türkiye'de nüfus artışının kişi başına geliri uzun dönemde, yaklaşık 19–20 yıllık gecikmeyle pozitif etkilediği belirlenmiştir (Mert & Balcı, 2022). OECD ülkeleri için yapılan çalışmalar, çalışma çağındaki nüfus, yaşlı nüfus oranı, yaşam beklentisi ve nüfus artışının ekonomik büyümeyi desteklediğini göstermektedir (Yaman, 2025). Bununla birlikte Türkiye verileri, nüfus artışının kısa dönemde büyümeyi baskıladığını, uzun dönemde ise desteklediğini; yaşam beklentisi ve sermaye birikiminin her iki dönemde de büyüme üzerinde olumlu etkiler yarattığını ortaya koymaktadır (Tiryaki & Ekinci, 2023).

Ergen doğurganlık hızı (AFR), FPI üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahiptir. Türkiye'de doğurganlık oranları ile ekonomik faktörler arasındaki ilişki literatürde kapsamlı biçimde incelenmiştir. Ekonomik belirsizliğin doğurganlık oranlarını olumsuz etkilediği, belirsizlik göstergesi olarak GARCH modellerinden elde edilen koşullu varyans ile işsizlik oranlarının kullanıldığı ARDL analizi aracılığıyla ortaya konulmuştur (Arif İğdeli, 2019). Ekonomik büyümenin doğurganlık oranlarını olumlu yönde etkilediği, artan refah düzeyinin bireylerin çocuk sahibi olma kararlarını desteklediği; buna karşılık kadınların eğitim düzeyinin, çocuk sahibi olma kararlarının ertelenmesine bağlı olarak doğurganlık oranlarını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir (Gülferah Ertürkmen, 2025). Doğum oranlarındaki düşüşe çözüm bulmak amacıyla birçok gelişmiş ülke aileleri hedefleyen mali teşvik politikaları uygulamakta olup, Avustralya, Japonya, Danimarka, Fransa, Kanada ve Rusya gibi ülkeler, yaşlanan nüfus sorunu ile karşı karşıya kalan gelişmekte olan ülkeler için politika örnekleri sunmaktadır (Deniz Alçın Şahintürk & A. Çelebi, 2021). Bu bulgular, ekonomik koşullar, demografik dönüşümler ve doğurganlık kararları arasındaki karmaşık etkileşimi ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, ergen doğurganlığının eğitim

sürekliğiği, sosyal destek mekanizmaları ve ergen ruh sağlığı yükü ile yakından ilişkili olduğu dikkate alındığında, AFR ile ilişkili politika araçlarının yalnızca demografik ve ekonomik çıktılar üzerinden değil, aynı zamanda psikososyal boyutlar gözeticilerle çok sektörlü biçimde tasarlanması önem taşımaktadır. Bu noktada, AFR'nin FPI üzerindeki pozitif katsayısı ergen gebeliğin arzu edilen veya koruyucu bir durum olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır; bulgu, üretim/işgücü ve demografik yapı dinamikleri bağlamında değerlendirilmelidir. AFR'nin pozitif katsayısı, ergen doğurganlığının refah/sağlık açısından olumlu olduğu anlamına gelmez; tersine literatürde ergen gebelik, anne-bebek sağlığı riskleriyle birlikte eğitimden kopuş, damgalanma ve depresyon/psikolojik sıkıntı olasılığında artış gibi sonuçlarıyla önemli bir halk sağlığı ve ruh sağlığı riski olarak ele alınmaktadır (WHO, 2014; Hodgkinson et al., 2014; Mollborn & Morningstar, 2009). Nitekim ergen gebeliğin anne-bebek sağlığı riskleri, eğitimden kopuş, damgalanma ve depresyon/psikolojik sıkıntı olasılığında artış gibi olumsuz sonuçları güçlü biçimde raporlanmaktadır (WHO, 2014; Hodgkinson et al., 2014; Mollborn & Morningstar, 2009). Türkiye'de doğurganlık ile ekonomik sonuçlar arasındaki ilişki karmaşık olup, doğurganlığın özellikle tarım sektörü üzerinden işgücü kapasitesini artırarak büyümeyi destekleyebildiği belirtilmektedir (Toker & şahin, 2024). Her ne kadar doğurganlığın kadınların işgücüne katılımını azaltması beklenirken, Türkiye'de "toplumsal tepki hipotezi" kapsamında doğurganlığın kadın istihdamını pozitif etkilediği bulgulanmıştır (Konat & Koncak, 2022). Buna karşın yüksek enflasyon, artan yaşam maliyetleri ve ekonomik belirsizlikler doğurganlık kararlarını olumsuz etkileyerek doğum oranlarında düşüşe yol açmaktadır (Bakkal, 2025). Toplam doğurganlık hızı (FR) ise FPI üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermektedir. Bu bulgu, yüksek doğurganlığın uzun vadede hanehalkı kaynakları, tasarruf ve yatırım kapasitesi ile tarımsal verimlilik üzerinde baskı yaratarak gıda üretimini sınırlayabildiğine işaret etmektedir. Türkiye'de ekonomik belirsizlik ve işsizliğin doğurganlık oranlarını düşürdüğu (Arif İğdeli, 2019); toplam doğurganlık hızının 1,48'e gerilediği ve mekânsal farklılıklar sergilediği tespit edilmiştir (Kılıç & Köse, 2025). Avrasya ülkelerinde ise doğurganlığın kişi başına GSYH'yi pozitif, toplam nüfusun ise negatif etkilediği belirlenmiştir (Erdik & Temurlenk, 2024). Bu sonuçlar, demografik geçiş sürecinin üretim ve büyüme üzerindeki etkilerinin doğrusal olmadığını göstermektedir.

Zaman etkileri, özellikle 2018 ve 2020 yıllarında gıda üretiminin küresel ekonomik dalgalanmalar, iklim koşulları ve COVID-19 pandemisi gibi dışsal şoklara karşı yüksek duyarlılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Driscoll–Kraay dayanıklı standart hatalar kullanılarak elde edilen bulgular, heteroskedastisite,

otokorelasyon ve kesitler arası bağımlılık gibi panel veri sorunlarına rağmen sonuçların istatistiksel olarak güvenilir olduğunu göstermektedir.

Genel olarak çalışma, demografik göstergelerin gıda üretimi üzerinde hem destekleyici hem de sınırlayıcı etkiler yaratabildiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, tarım ve gıda güvenliği politikalarının nüfus artışı ve doğurganlık dinamiklerini dikkate alan uzun vadeli ve bütüncül bir çerçevede tasarlanması gerektiğini göstermektedir. Bu bütüncül çerçeve, özellikle ergen gebeliği azaltmaya ve ergenlerin eğitimde kalmasını desteklemeye yönelik müdahaleleri (üreme sağlığı hizmetleri + okul temelli izleme + psikososyal destek) içerecek şekilde tasarlandığında, hem demografik risklerin hem de ruh sağlığı yükünün azaltılmasına katkı sağlayabilir (WHO, 2014; Hodgkinson et al., 2014). Genç nüfusun tarımsal üretime katılımını teşvik eden politikalar, tarımsal teknolojilerin yaygınlaştırılması ve kaynak kullanım etkinliğinin artırılması, demografik baskıların olumsuz etkilerini dengeleyebilecek temel araçlar olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, gıda güvencesizliğinin stres, depresyon ve psikolojik sıkıntılarla ilişkili olduğuna dair güçlü ampirik bulgular dikkate alındığında, tarım ve nüfus politikalarının sosyal destek ve ruh sağlığı bileşenleriyle birlikte ele alınması, gıda üretimi ve gıda güvenliğine yönelik politika çerçevelerinin etkililiğini artıracak tamamlayıcı bir yaklaşım sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda ülke ve bölge temelli ayrıştırılmış analizler ile iklim değişkenleri, tarımsal teknoloji ve kamu desteklerinin modele dâhil edilmesi, demografik dinamikler ile gıda üretimi arasındaki karmaşık ilişkilerin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Demografik göstergelerin gıda üretimi üzerindeki etkileri dikkate alındığında, tarım politikalarının nüfus ve ruh sağlığı politikalarıyla eşgüdüm içinde tasarlanması önem taşımaktadır.

Kaynakça

- Akca, T. D., & Akdoğan, M. Ş. (2023). Gıda işletmelerinin yeşil lojistik uygulamaları ve lojistik performanslarının demografik faktörlere göre incelenmesi. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 8(21), 491-512.
- Aydın, F. F., Eştürk, Ö., & Levent, C. (2024). Tarımsal verimliliğin ekonomik büyüme ve kentleşme üzerindeki etkisi: BRICS-T ülkeleri örneği. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.61513/tead.1373430>
- Aydınbaş, G. (2024). Tarımsal verimlilik ile ilişkili faktörlerin tespiti: BRICS-T ülkeleri örneği. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 11(2), 524-535. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1401633>
- Aykaç, G. (2018). Engel yasaı'nın Türkiye sınaması ve gıda talebinin gelir esnekliği: gıda harcamalarının bütçe payının hane profili ve toplam harcama ile ilişkisi (2003-2013). *Sosyoekonomi*, 26(38), 105-133. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2018.04.07>
- Bakkal, S. (2025). Türkiye'de Yüksek Enflasyon Nedeniyle Doğum Oranlarının Azalması Ve Sonuçları. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 23(56), 814-840. <https://doi.org/10.35408/comuybd.1559881>
- Bozkurt, H., & Mutlu Çamoğlu, S. (2025). Türkiye'de gıda enflasyonu sorunsalı: fourier bootstrap ARDL. *Fiscaeconomia*, 9(1), 372-390. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1519572>
- Chung, H.-K., Kim, O. Y., Kwak, S. Y., Cho, Y., Lee, K. W., & Shin, M.-J. (2016). Household food insecurity is associated with adverse mental health indicators and lower quality of life among Koreans: Results from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2012–2013. *Nutrients*, 8(12), 819. <https://doi.org/10.3390/nu8120819>
- Çetin, S. A., & Şahin, B. (2017). Gıda güvenliğinde risk faktörleri ve hijyenin önemi. *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, 5(Special Issue 2), 310-321.
- Dağdur, E., & Olhan, E. (2015). Küresel gıda güvencesi endeksi kapsamında Türkiye'nin değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 21(1 ve 2), 49-61.
- Demir, D. (2025). Gelir eşitsizliği, serbest ticaret ve gıda güvencesi arasında nasıl bir ilişki var? orta ve düşük gelirli ülkeler için bir panel nedensellik analizi. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*. <https://doi.org/10.30784/epfad.1535893>
- Demirağ, İ., & Sağır, M. (2024). Gıda fiyatları neden yükseliyor? türkiye'de üretici ve döviz kuru etkisinin ARDL ile incelemesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 42(1), 33-46. <https://doi.org/10.17065/huniibf.1288378>

- Demiralp, A., & Belliler, İ. S. (2023). G-20 ülkeleri arasında işsizlik yakınsamasının Fourier panel birim kok testi ile incelenmesi. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 14(2), 576-590. <https://doi.org/10.54688/ayd.1333742>
- Doğan, Ö. S. (2019). Socio-cultural causes and consequences of total fertility rate changes in Turkey from 2000 to present. *Social Sciences*, 14(5), 2449-2462.
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of economics and statistics*, 80(4), 549-560.
- Emir, S., & Özay, M. A. (2023). İşgücü Yapısının finansal gelişim üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi: G7 ülkeleri ve Türkiye üzerine bir araştırma. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(2), 387-402. <https://doi.org/10.53443/adoluibfd.1137393>
- Erdik, S. Ş., & Temurlenk, M. (2024). Demografik Geçiş ve Demografik Bölünmenin Kalkınma Üzerine Etkisi: Avrasya Ülkeleri Üzerine Bir Panel Veri Analizi. *Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi* (16), 442-460. <https://doi.org/10.47994/usbad.1548573>
- Erdinç, Z., & Aydınbaş, G. (2021). Tarımsal katma değer belirleyicilerinin panel veri analizi. *Anadolu University Journal of Social Sciences*, 21, 213-232. <https://doi.org/10.18037/ausbd.902602>
- Ersezer, Ö., & Ülgen, G. (2024). G20 ülkelerinde sağlık harcamalarının sağlık çıktıları üzerindeki etkisi. *Dicle Akademi Dergisi*, 4(2), 251-267. <https://dergipark.org.tr/en/pub/dade/article/1443203>
- Ertürkmen, G. (2025). Ekonomik Büyüme, Kadınların Eğitimi Ve İstihdamı Arasındaki İlişkinin Fertiliteye Yansıması. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (Aile Yılı Özel Sayısı), 456-480. <https://doi.org/10.14520/adyusbd.1741236>
- FAO (2025). *Food production index (2014–2016 = 100)*. FAO electronic files and web site, Food and Agriculture Organization of the United Nations (Published via World Bank DataBank). databank.worldbank.org
- FAO. (2023). *EAOSTAT – Food and Agriculture Data*. <http://www.fao.org/faostat>
- Firmansyah, M.F., Pusparini, D., Vivero, A.A., & Lababit, N.G. (2021). Impact of agriculture factor and non-agriculture factor to value of food production: cast study of Vietnam, Thailand, Indonesia and Philippines period 2010-2019. *International Journal of Agricultural Social Economics and Rural Development (Ijaserd)*. <http://dx.doi.org/10.37149/ijaserd.v1i2.20861>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Bank. (2022). *Food production index (2014–2016 = 100)*. World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *EAOSTAT food and agriculture data: Methodology*. FAO. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>

- Fróna, D., Szenderák, J., & Harangi-Rákos, M. (2019). The challenge of feeding the world. *Sustainability*, 11(20), 5816. <https://doi.org/10.3390/su11205816>
- Ge, B., & Akin, A. (1995). Population issues in the world and in Turkey. Health development and environmental perspectives.
- Gezici, M., Ünay, E., Üstün, K., & Coşkun, M. İ. (2023). Hayvancılık işletmelerinde teknoloji kullanımı ve ekonomik verimlilik, *Ziraat Mühendisliği* (377), 26-32. <https://doi.org/10.33724/zm.1281613>
- Godfray, H. C. J., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Nisbett, N., Pretty, J., Robinson, S., Toulmin, C., & Whiteley, R. (2010). *The future of the global food system*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365(1554), 2769–2777. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0180>
- Gökırmaklı, Ç., & Bayram, M. (2018). Gıda için gelecek öngörülerini: yıl 2050. *Akademik Gıda*. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.475396>
- Güçlü, S. (2021). Yörük kışlağından kırsala, kırsaldan kentsel: Döşemealtı'nda sosyal değişim ve kırsal soylulaştırma. *Sosyolojik Bağlam Dergisi*, 2(2), 75-93. <https://Doi.Org/10.52108/2757-5942.2.2.5>
- Güleç, M. A. (2022). Türkiye kentsel dönüşüm projelerinde finansal kaynak modelleri ve Ankara örneği. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 17(1), 33-41. <https://doi.org/10.54860/beyder.1130309>
- Güran, H. Ş. (2024). İklim değişikliği ve gıda güvencesi. *Bölgesel Kalkınma Dergisi*, 2(02), 205-212. <https://doi.org/10.61138/bolgeselkalkinmadergisi.1503941>
- Hiemenz, U. (2012). *The politics of the fight against food price volatility: Where do we stand and where are we heading?* ZEF Working Paper Series No. 92. Center for Development Research (ZEF), University of Bonn. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2237971>
- Hodgkinson, S., Beers, L., Southammakosane, C., & Lewin, A. (2014). Addressing the mental health needs of pregnant and parenting adolescents. *Pediatrics*, 133(1), 114–122. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-0927>
- İğdeli, A. (2019). Ekonomik Belirsizlik ve Doğurganlık Hızı Arasındaki İlişki: Türkiye için ARDL Analizi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*.
- International Monetary Fund. (2024). *G20 report on strong, sustainable, balanced and inclusive growth*. IMF
- Jandaghian-Bidgoli, M., Kazemian, E., Shaterian, N., & Abdi, F. (2024). Focusing attention on the important association between food insecurity and psychological distress: A systematic review and meta-analysis. *BMC Nutrition*, 10, 118. <https://doi.org/10.1186/s40795-024-00922-1>

- Jongwanich, J., & Magtibay-Ramos, N. (2009). Determinants of structural change in food exports from developing countries. *Asian-Pacific Economic Literature*, 23(2), 94-115.
- Kılıç, R.N., & Köse, M. (2025). Türkiye’de Doğurganlığın Toplam Doğurganlık Hızına Göre Mekânsal Analizi (2014-2024). *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*.
- Koca, D. (2022). 2000-2020 yılları arasında G7 ülkeleri ve Türkiye’nin işgücü piyasası yapısının ve aktif işgücü piyasası politikalarının karşılaştırmalı analizi. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*, (83), 101-140. <https://doi.org/10.26650/jspc.2022.83.1008072>
- Konat, G., & Koncak, A. (2022). Kadın girişimciliğinin işgücüne katılımında doğurganlık ve ekonomik büyüme kapsamında incelenmesi: Fourier testlerinden kanıtlar. *KADEM Kadın Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 231-255. <https://doi.org/10.21798/kadem.2022.117>
- Lobell, D. B., & Gourdjji, S. M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology*, 160(4), 1686-1697. <https://doi.org/10.1104/pp.112.208298>
- Maraşlı, H., Akça, C., & Kama, A. (2016). Yalın düşünce ve değer akış haritalamasının dondurma üretim işletmesinde uygulanması. *International Journal of Academic Value Studies (JAVStudies)*, 2(4), 106-120.
- Mert, M., & Balcı, Ö. (2021). The relationship between rate of growth of population and per capita GDP in Turkey: 1924-2018. *Eurasian Econometrics, Statistics and Empirical Economics Journal*, 18(18), 78-99. <https://doi.org/10.17740/eas.stat.2021-v18-06>
- Mollborn, S., & Morningstar, E. (2009). Investigating the relationship between teenage childbearing and psychological distress using longitudinal evidence. *Journal of Health and Social Behavior*, 50(3), 310-326. <https://doi.org/10.1177/002214650905000304>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A. & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Mundia, C. W., Secchi, S., Akamani, K., & Wang, G. (2019). A regional comparison of factors affecting global Sorghum production: the case of North America, Asia and Africa’s Sahel. *Sustainability*, 11(7), 2135. <https://doi.org/10.3390/su11072135>
- Muravyova, M. V. (2021, July). *Influence of demography issues on economic policy of import food substitution*. In Conference on Land Economy and Rural Studies Essentials. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.07.55>
- Myers, C. A. (2020). Food insecurity and psychological distress: A review of the recent literature. *Current Nutrition Reports*, 9(2), 107-118. <https://doi.org/10.1007/s13668-020-00309-1>

- Nijkamp, P., & Vindigni, G. (2000). Food security and agricultural sustainability: a comparative multi-country assessment of critical success factors. (TI Discussion Paper; No. 2000-070/3). Tinbergen Institute.
- Noori, Z. S., & Al Hiyali, A. D. K. (2025). An econometric analysis of the factors affecting the food production index in Iraq during the period 1993-2022. *Journal of Al-Muthanna for Agricultural Sciences*, 12(1), 1-25. <https://doi.org/10.52113/mjas04/12.1/6>
- Ocak, S., & Önder, H. (2014). Süt ürünlerinde tüketici tercihini etkileyen faktörler ve gıda güvenliği bilinci. *Journal of Animal Production*, 55(2), 9-15.
- OECD. (2024). *Economic outlook: Global growth to remain resilient in 2025 and 2026 despite significant risks*. OECD Publishing.
- OECD. (2025a). *Global economic outlook uncertain as growth slows, inflationary pressures persist and trade policies cloud outlook*. OECD.
- OECD. (2025b). *OECD Economic Outlook, Interim Report March 2025*. OECD Publishing.
- Onurlubaş, E., & Çakırlar, H. (2016). Tüketicilerin süt ve süt ürünleri tüketimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 217-242.
- Özari, Çiğdem. (2025). G-20 ülkelerinin sosyo-ekonomik performanslarının critic-aras yöntemi ile değerlendirilmesi. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 60(2), 1293-1310. <https://doi.org/10.63556/tisej.2025.1440>
- Özçelik, Ö., & Uslu, N. (2024). Gıda enflasyonunun belirleyicileri üzerine bir analiz: Türkiye örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (79), 289-309. <https://doi.org/10.51290/dpusbe.1391994>
- Özdemir, N. A. (2024). G-20 ülkelerinde CO2 emisyonu, ekonomik büyüme, kentleşme ve yenilenebilir enerji tüketimi ilişkisi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormanlık Dergisi*, 20(1), 276-287. <https://doi.org/10.58816/duzceod.1447805>
- Özgür, E. M. (2004). Türkiye’de toplam doğurganlık hızının mekansal dağılışı. *Coğrafî Bilimler Dergisi*, 2(2), 1-12. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000047
- Sayar, N. (2022). *Küresel ekonomi ve G20 ülkelerinin rolü*. Akademik Yayınlar.
- Sayar, N. (2022). SAI20 oluşumu ve ilk zirvesi. *Sayıştay Dergisi*, 33(126), 517-524. <https://doi.org/10.52836/sayistay.1207018>
- Selim, S., Purtaş, Y., & Uysal, D. (2014). G-20 ülkelerinde eğitim harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 1(2). <https://doi.org/10.17541/oeybd.19159>
- Soyyigit, S., Topuz, H., & Özekicioğlu, H. (2019). Ekonomik kompleksite, ihracat ve sabit sermaye yatırımlarının kişi başına düşen gelir üzerindeki

- etkisi: G-20 ülkeleri örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.518334>
- Sönmez, K., & Ellialtıoğlu, Ş.Ş. (2014). Domates, karotenoidler ve bunları etkileyen faktörler üzerine bir inceleme. *Derim*, 31, 107-130. <https://doi.org/10.16882/derim.2014.32662>
- Şahintürk, D. A., & Çelebi, A. K. (2021). Doğurganlık hızını arttırmaya yönelik kamu mali teşvikleri: Avustralya, Japonya, Danimarka, Fransa, Kanada ve Rusya analizi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (49), 69-87. <https://doi.org/10.30794/pausbed.870493>
- Şengül, S. ve Köprücü, Y. (2025). Gıda güvenliğinin ekonomik ve çevresel belirleyicileri: BRICS-T ülkeleri için bir analiz. *İzmir İktisat Dergisi*. 40(3). 858-874. <https://doi.org/10.24988/ije.1596121>
- Şimşek, E. (2020). An analytical evaluation of factors that determine the red meat production in Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26, 282-292. https://journal.agrojournal.org/page/en/details.php?article_id=2798
- Tiryaki, H. N., & Ekinci, A. (2023). Nüfus, yaşam beklentisi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ARDL yöntemi ile analizi: Türkiye örneği. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(2), 481-500. <https://doi.org/10.18037/ausbd.1163964>
- Toker, B., & Şahin, H. (2023). Kadın işgücüne katılım oranı ile doğurganlık hızındaki değişimin sosyal güvenlik sistemine etkisi: projeksiyon analizi. *Sosyal Güvençe*, (24), 1104-1130. <https://doi.org/10.21441/sosyalgüvence.1473426>
- Toker, B., & Şahin, H. (2024). Kadın İşgücüne Katılım Oranı İle Doğurganlık Hızındaki Değişimin Sosyal Güvenlik Sistemine Etkisi: Projeksiyon Analizi. *Sosyal Güvençe*, (24), 1104-1130. <https://doi.org/10.21441/sosyalgüvence.1473426>
- Tor, S. S., & Esengün, K. (2011). Örgütlerde iş tatminini etkileyen demografik faktörler ve verimlilik: Karaman gıda sektöründe bir uygulama. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2011(1), 53-63.
- Wolfson, J. A., Garcia, T., & Leung, C. W. (2021). Food insecurity is associated with depression, anxiety, and stress: Evidence from the early days of the COVID-19 pandemic in the United States. *Health Equity*, 5(1), 64-71. <https://doi.org/10.1089/heq.2020.0059>
- World Bank (2025). *Food production index (AG.PRD.FOOD.XD)*. World Development Indicators, World Bank DataBank.
- World Bank. (2022). *World development indicators*. World Bank. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- World Bank. (2023). *Food production index (2014–2016 = 100)*. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.PRD.FOOD.XD>

- World Health Organization. (2014). Adolescent pregnancy: Adolescence is a time of opportunity during which a range of actions can be taken to set the stage for healthy adulthood (Factsheet WHO/RHR/14.08). World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/112320>
- Yaman, H. (2025). Nüfus dinamiklerinin ekonomik büyümeye etkisi: OECD ülkelerinden kanıtlar ve Türkiye için çıkarımlar. *Uluslararası Ekonomi İşletme ve Politika Dergisi*, 9(1), 144–159. <https://doi.org/10.29216/ueip.1568632>
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2012), Panel veri ekonometrisi: stata uygulamalı, İstanbul: Beta Yayınları.
- Yumuşak, A. G. S. (2008). İşgören verimliliğini etkileyen faktörlerin incelenmesine yönelik bir alan araştırması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(3), 241-251. <https://izlik.org/JA77UW44XA>
- Yüceşahin, M. M. (2016). Afrika: demografik yapı, mekân, sorunlar ve gelecek? *Nüfusbilim Dergisi*, 35(1), 31-61.

Türkiye Ham Çelik İstihsalinde Karbon Yoğunluğunun Seyri: Oksijenli ve Elektrikli Prosesler Bağlamında Zaman Serileri Analizi ve NARDL Yaklaşımı

Ümit Remzi Ergün¹

Özet

Bu bölümün amacı Türkiye’de 1978-2024 döneminde ham çelik üretiminde karbon emisyonlarının uzun dönemli seyrini oksijenli ve elektrikli proses ayrımı temelinde incelemek ve üretim kompozisyonundaki değişimlerin karbon yoğunluğu üzerindeki etkilerini doğrusal olmayan dinamikler çerçevesinde ampirik olarak ortaya koymaktır. Bu kapsamda karbon emisyonları ile üretim bileşenleri arasındaki ilişkiler eşbütünleşme ve asimetric nedensellik yaklaşımları kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada serilerin durağanlık özellikleri ADF, KPSS, ZA ve KSS birim kök testleri ile sınanmıştır. Doğrusal olmayan yapı BDS testi ile değerlendirilmiştir. Uzun dönem ilişkiler ise NARDL modeli aracılığıyla tahmin edilmiş ve nedensellik ilişkileri Hatemi J asimetric nedensellik testi yardımıyla analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular Türkiye’de ham çelik üretim kompozisyonu ile karbon emisyonları arasında uzun dönemli ve doğrusal olmayan bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Oksijenli ve elektrikli üretim artışlarının karbon emisyonlarını artırdığı tespit edilmekle birlikte bu etkinin şiddetinin şokların yönüne göre farklılaştığı belirlenmiştir. Asimetric nedensellik sonuçları karbon dinamikleri üzerinde oksijenli proseslerin daha belirleyici bir rol oynadığını, elektrikli üretimin etkisinin ise büyük ölçüde enerji bileşiminin karbon yoğunluğuna bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak Türkiye’de çelik sektörüne ilişkin karbon azaltım politikalarının üretim hacminden ziyade üretim türü ve proses farklılıklarını dikkate alan bir çerçevede tasarlanması gerektiği değerlendirilmektedir.

¹ MSc., Bağımsız Araştırmacı, umit.r.ergun@gmail.com, ORCID ID:0000-0002-8967-1892

1. Giriş

*The ancients used to like to sing about natural beauty:
Snow and flowers, moon and wind, mists, mountains and rivers.
Today we should make poems including iron and steel,
And the poet also should know to lead an attack²*

Ho Chi Minh'e³ ait bu şiirde de görüldüğü üzere modern çağda estetik tahayyül dahi doğadan sanayiye yönelmiştir. Demir ve çelik üretim ile birlikte çağın ruhunun da simgesi hâline gelmiştir. Şiirin özellikle son kıtasında demir ve çeliğin çağın mücadele sahasını, dönüşüm zorunluluğunu ve kolektif iradeyi temsil ettiğini değerlendirmek mümkündür. Mısradaki öncülük vurgusu sanayi dönüşümünün edilgen bir uyum süreci olmaktan ziyade veri esaslı ve tahlilî bir yaklaşım dâhilinde müteharrik bir yeniden yapılanma ihtiyacına delâlet etmektedir. Sanayi toplumunun inşasında merkezi bir rol üstlenen demir çelik sanayi ekonomik büyüme, altyapı yatırımları ve teknolojik ilerleme ile doğrudan irtibatlı bir yapıya sahiptir. Bununla birlikte mezkûr üretim süreci yüksek enerji talebi ve karbon salımı nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik tartışmalarının da odağında yer almaktadır. Küresel ölçekte iklim değişikliği ile mücadele çerçevesinde ağır sanayi sektörleri bilhassa mercek altına alınırken demir çelik üretiminde karbon yoğunluğunun seyri hem iktisadî hem de çevresel politikalar bakımından belirleyici bir gösterge olarak temayüz etmektedir.

Sanayi devrimi kronolojik olarak üç ana evrede cereyan etmiştir. İlk safhada Batı'da başlamış ve o coğrafya ile mahdut kalmıştır. İkinci safhada olgunlaşarak Batı hudutlarını aşmış, üçüncü safhada ise bilfiil küresel bir hüviyet kazanmıştır (Stearns, 2021). Bu tarihî seyir üretim tarzındaki tahavvülün sadece teknik bir değişimden ibaret olmadığını enerji kaynaklarıyla kurulan münasebeti de kökten surette dönüştürdüğünü göstermektedir. Sanayi çağının başlangıcının en bariz alameti toprağın kömür istihsalı maksadıyla kazılmaya başlanmasıdır (Freyer, 2018). Enerji teminindeki bu esaslı kırılma ağır sanayinin ve bilhassa demir çelik imalatının yükselişine zemin teşkil etmiştir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra dünya ekonomisinde demir ve çelik ekseninde yeni bir sanayi hamlesi vuku bulmuştur. On dokuzuncu yüzyılın ortalarından itibaren demir ve çeliğe yönelik artan talep ekipman kalitesini, verimliliği, bakım süreçlerini ve proses kabiliyetini doğrudan etkilemiştir (Mahanta ve ark., 2023). Sanayinin bu tayin edici yapısı kalkınma tecrübelerinde de açıkça

2 Yazar çevirisi: Eskiler doğanın güzelliklerini anlatmayı severdi / Kar ve çiçekleri, ayı ve rüzgârı, sisleri, dağları ve nehirleri / Bugün şiirlerimize demir çeliği de katmalıyız / Ve şair gerektiğinde bir saldırıya öncülük etmeyi de bilmelidir.

3 Ho Amca olarak da bilinen Kuzey Vietnam Eski Cumhurbaşkanı (1890-1969).

müşahade olunmaktadır. Kalkınma mucizesi sergileyen ülkelerin başarısındaki temel hakikat üretim araçları sanayi yahut ağır makine sanayi olarak anılan ve dışa bağımlılığı azaltmada hareket noktası teşkil eden yatırım malı ve makine sektörlerini şuurulu biçimde tesis etmiş olmalarıdır (Erdoğan, 1976). Bu itibarla sanayileşme sermaye birikiminden ibaret değildir. Sanayileşme iktisadî istiklâlin tahkimi manasına da gelmektedir. Sanayileşme, sanayiciyi zorunlu olarak imtiyazlı bir zümre hâline getirmek de değildir. Bilakis millî gelirin artması, istihdam imkânlarının genişlemesi, ödemeler dengesinin iyileşmesi ve dışa bağımlılığın asgarî seviyeye indirilmesi bakımından bir zarurettir (Zeytinoglu, 1981). Bu noktada devletin iktisadî sahadaki sevk ve idare kudreti ayrıca ehemmiyet kesbetmektedir. Weiss ve Hobson (1999) güçlü bir devletin göstergesini piyasayı yönlendirme ve idare etme kapasitesinde görmektedir. Piyasa nizamının sıhhati ise rekabet esasına dayalı bir yapıyı zaruri kılmaktadır. Rekabet, serbest piyasa ekonomisinin asli şartıdır. Rekabete dayalı bir sistem kaynakların etkin kullanımını temin ettiği gibi fiyatların gerilemesine, kalite artışına ve yeni teknolojilerin üretime intibakına da imkân sağlamaktadır (Sabır, 2002). Sanayinin bu dinamik mahiyeti zamanla küresel bir veche kazanmıştır. Yalova ve Sarısu (2014) endüstriyel küreselleşmenin başlıca vasıflarını şu şekilde saymaktadırlar:

1. Ticarî sınırların ortadan kalkması,
2. Arz ve talep şoklarının süratle diğer pazarlara sirayet etmesi,
3. Dünya çelik ihracat pazarındaki aktör sayısının artması,
4. Sektörde uluslararası yatırımların çoğalması,
5. Arz talep dengelerindeki köklü değişimler,
6. Teknoloji transferinin hızlanması,
7. Özelleştirmeler neticesinde çok uluslu şirket yapılarının ortaya çıkması,
8. İnşaat sektörünün küresel ölçekte senkronize olması,

Bu küresel istihale Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin iktisadî seyrini de doğrudan etkilemiştir. Yeldan (2016), Türkiye'yi siyasal dengeleri hassas, Doğu ile Batı arasında konumlanan sosyal ve kültürel değerleri haiz ve ekonomisi inişli çıkışlı bir seyir izleyen bir ülke olarak değerlendirmektedir. Bu tarihî ve iktisadî zemin üzerinde çelik sektörü hususî bir mevki işgal etmektedir. Çeliğin yaygın kullanımının temelinde mukavemet, dayanıklılık, işlenebilirlik ve maliyet avantajının müstesna terkibi bulunmaktadır. Ne var ki dünyanın en büyük sanayilerinden biri olmasına rağmen çelik üretiminin çevre üzerinde kayda değer menfi tesirleri olduğu bilinmektedir (Teo ve ark., 2020). Bu hâl üretim hacmi ile çevresel maliyet arasındaki gerilimi daha

görünür kılmaktadır. Ulusal ekonominin mühim dayanaklarından biri olan çelik üretimi yüksek üretim hacmine ciddi miktarda enerji, su tüketimi ve karbon salımı refakatinde ulaşmaktadır. Küresel sanayileşmenin hızlanması çevresel meseleleri derinleştirmiş ve kaynak tüketimini artırmıştır. Bu sebeple sürdürülebilir kalkınma yaklaşımının geliştirilmesi ve tatbiki büyük önem arz etmektedir (Cui ve ark., 2026).

Sanayileşmenin çevresel neticeleri küresel ölçekte daha bariz bir surette tezahür etmiştir. Sanayileşmenin ilerlemesiyle birlikte bilhassa karbondioksit olmak üzere sera gazı emisyonları artış göstermiştir. Küresel ısınma bütün ülkeler için kaygı verici bir mesele hâline gelmiş, enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı kritik bir zaruret olarak belirmiştir (Zhang ve ark., 2021). Bu vaziyet doğal kaynakların muhafazası meselesini daha da mühim kılmaktadır. Dünyanın yaşamı sürdürme kapasitesinin zayıflaması, atıkların azaltılmasını ve yenilenemeyen kaynakların korunmasını acil bir ihtiyaç hâline getirmiştir (Teo ve ark., 2020). Mamafih çevresel sorunlar teknik bir mesele olmanın ötesinde siyasî ve iktisadî bir mahiyet arz etmektedir. Günümüz çevre problemleri giderek küresel bir hüviyet kazanmaktadır. Devletler arasındaki çıkar çatışmaları iklimle mücadeleyi müşkül hâle getirmektedir. Ülkeler bir yandan büyüme gayretini sürdürürken diğer yandan gelecek nesillere tahrip edilmiş bir çevre bırakmama çabası içindedirler (Balaam ve Dillman, 2021). Bu ikili baskı uluslararası düzeyde daha sıkı tedbirlerin alınmasını beraberinde getirmektedir. Uluslararası toplulukların iklim değişikliğinin ciddiyetini daha açık biçimde kabul etmesiyle birlikte karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik baskı artmaktadır (Xu ve ark., 2016).

Yukarıda açıklanan umumî çerçeve içinde sanayi sektörünün payı ayrıca dikkat çekmektedir. Tüm sanayi kollarından kaynaklanan karbon emisyonları küresel toplamın yaklaşık %24'ünü teşkil etmektedir. Demir ve çelik ise sanayi emisyonlarının yaklaşık %20'sini oluşturarak çimento üretiminden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Chen ve ark., 2022). Bu tablo üretim teknolojilerinin mahiyetinin tetkikini zaruri kılmaktadır. Dünya çelik üretiminde iki ana teknoloji temayüz etmektedir. Bunlar yüksek fırın ve bazik oksijen fırını (BF, BOF) ve elektrik ark fırını (EAF) olarak anılmaktadır. BF - BOF prosesi yüksek miktarda doğal kaynak ve fosil yakıt kullanmaktadır. Bu sebeple çevresel tesiri ağır olmaktadır. EAF ise doğrudan düşük fakat elektrik üretimine bağlı olarak yüksek dolaylı emisyon vasfı göstermektedir (Gajdzik ve ark., 2021). Bu itibarla gerçek emisyon seviyesinin enerji arzının niteliğiyle yakından alakalı olduğunu ifade etmek mümkündür. EAF yöntemiyle bir ton çelik üretiminde ortaya çıkan karbondioksit miktarı esasen elektrik şebekesinin emisyon yoğunluğu ve proseslerin enerji verimliliği tarafından tayin edilmektedir (Dock ve Kienberger, 2022). Ayrıca enerji girdisinin çeşitliliği hesaplamaları daha da

müşkül kılmaktadır. Elektrik ark ocağına giren toplam enerjinin tam olarak belirlenmesi enerjinin birden fazla kaynaktan temin edilmesi sebebiyle karmaşık bir süreç olarak yorumlanmaktadır (Kirschen ve ark., 2009).

Gelişmekte olan ülkelerde bu mesele farklı bir veche arz etmektedir. Zhu ve arkadaşları (2017), enerji yoğun sektörlerin kapasite yapısı ile mühim bir tasarruf potansiyelini birlikte barındırdığını belirtmektedir. Buna rağmen teknolojik terakki kesintisiz biçimde devam etmektedir. Son yıllarda demir metalürjisine dair teorik çalışmaların genişleme gösterdiği bilinmektedir. Bu konuda yeni yöntem ve teknolojiler geliştirildiği de görülmektedir. Bununla birlikte karbonun verimli kullanımına dayalı optimizasyon teknikleri azaltım sınırına yaklaşmakta sıfır yahut düşük karbonlu atılım teknolojileri henüz başlangıç safhasında bulunmaktadır (Sun ve ark., 2024). Bu teknik hudutlar üretim sürecindeki hassas parametrelerin ehemmiyetini artırmaktadır. Sıvı çeliğin sıcaklığı ile karbon muhtevasının doğru tahmini üretim sürecinde mühim bir rol icra etmektedir (Liu ve ark., 2022). Bunun yanı sıra üretim hacmi sınırlamaları ve geri dönüşüm politikaları da emisyon idaresinde belirleyici olmaktadır. Çelik sanayinde üretimin kısıtlanması buna bağlı enerji tüketimi ve kirletici emisyon miktarını doğrudan etkilemektedir. Geri dönüşüm ve yeniden kullanım uygulamaları ise kirlilik ve emisyon yönetiminde vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Bu sahadaki pek çok çalışma stok miktarı, talep projeksiyonu ve hurda geri dönüşümünün tahmini üzerinde yoğunlaşmaktadır (Xin ve ark., 2023).

Bu çalışma, 1978-2024 döneminde Türkiye ham çelik istihsalinde karbon emisyonlarının seyrini üretim proseslerinin terkiibi çerçevesinde zaman serisi yaklaşımıyla tahlil etmeyi amaçlamaktadır. Bağımlı değişken olarak karbon emisyonları esas alınırken bağımsız değişkenler oksijenli ve elektrikli çelik üretim miktarlarıdır. Analitik çerçevede serilerin durağanlık ve yapısal kırılma özellikleri ADE, KPSS, Zivot-Andrews ve KSS birim kök testleriyle incelenmekte ve doğrusal olmayan dinamiklerin varlığı BDS testiyle sınanmaktadır. Çalışmada uzun ve kısa dönem ilişkiler NARDL modeliyle tahmin edilmekte ve asimetric nedensellik bağları ise Hatemi-J testi aracılığıyla araştırılmaktadır. Bu suretle üretim kompozisyonu ile karbon emisyonları arasındaki münasebet doğrusal olmayan boyutlarıyla ele alınmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın amaçları şu şekilde ifade edilmektedir:

1. Türkiye’de ham çelik üretiminde karbon emisyonlarının uzun dönemli seyrini oksijenli ve elektrikli proses ayrımı temelinde eşbütünleşme ve asimetric dinamikler çerçevesinde ampirik olarak ortaya koymak.
2. Üretim kompozisyonunda meydana gelen pozitif ve negatif şokların karbon emisyonları üzerindeki farklılaşan etkilerini NARDL ve Hatemi-J

yöntemleri aracılığıyla analiz ederek karbon yoğunluğu ve üretim terkihi ilişkisini nedensellik boyutuyla değerlendirmek.

Alanyazında Türkiye’de ham çelik üretiminde karbon yoğunluğunu 1978-2024 dönemi için proses ayrımı temelinde zaman serisi yaklaşımıyla inceleyen çalışmaların sınırlı sayıda oldukları görülmektedir. Mevcut araştırmaların ekseriyeti teknik ve politika düzleminde temerküz etmiş, asimetrik dinamikler ile doğrusal olmayan yöntemler ise büyük ölçüde ihmal olunmuştur. Bu çalışma karbon emisyonları ile oksijenli ve elektrikli üretim arasındaki münasebeti NARDL ve Hatemi J çerçevesinde tahlil ederek söz konusu boşluğu doldurmayı ve alanyazına yönetsel bakımdan özgün bir katkı sunmayı hedeflemektedir. Çalışma şu suretle tertip edilmiştir; ilk bölümde karbon emisyonları ile çelik sektörü arasındaki münasebeti ele alan uluslararası çalışmalar incelenecek akabinde ulusal yazında çelik sektörü ve üretimine dair araştırmalar tetkik edilecektir. Müteakiben benimsenen yöneme mümasil metodolojik çerçeveye sahip ampirik çalışmalar değerlendirilerek alanyazındaki temayüller ve boşluklar ortaya konulacaktır. İzleyen bölümde veri setinin yapısı, değişkenlerin tanımları ve kullanılan ekonometrik yöntemler tafsilatlı biçimde takdim edilecektir. Devamında ampirik bulgular arz edilecek, uzun dönem katsayı tahminleri ile asimetrik nedensellik neticeleri sistematik surette değerlendirilecektir. Nihayet son bölümde elde edilen bulgular alanyazın ve politika çerçevesinde mütalaa edilecek, çalışmanın sınırlılıkları belirtilerek ileride yapılabilecek araştırmalara dair tekliflerde bulunulacaktır.

2. Alanyazın Değerlendirmesi

Bu bölümde evvela karbon ile çelik arasındaki münasebeti konu edinen çalışmalar ele alınacak ve akabinde ulusal yazında çelik sektörüne ve çelik üretimine dair araştırmalar tetkik edilecektir. Müteakiben bu çalışmada benimsenen yöneme benzer metodolojik çerçeveyi ihtiva eden araştırmalar değerlendirilerek mevcut alanyazın içerisindeki eğilimler ve boşluklar ortaya konulacaktır. Böylelikle konuya dair sosyo-teknik birikim sistematik bir tasnif dâhilinde mütalaa edilecek ve çalışmanın alanyazın içindeki konumu tayin edilmeye çalışılacaktır.

Lin ve Wang (2015), Çin demir çelik sanayinde toplam faktör karbon emisyon performansını ve emisyon azaltım potansiyelini tahmin etmeyi hedeflemişlerdir. Yazarlar, çelik sanayinin kayda değer bir azaltım potansiyeline sahip olduğunu ve bölgesel farklılıkların belirleyici mahiyet arz ettiği sonucuna ulaşmışlar ve teknik yenilik ile düşük karbon yatırımlarının ehemmiyetini vurgulamışlardır. Doğrudan inşaat sektörünü ele alan çalışmalarında Su ve Zhang (2016), çelik konstrüksiyon konut yapılarında enerji ve karbon emisyonlarını hibrit bir model

vasıtasıyla incelemişlerdir. Neticede çelik elemanların toplam enerji tüketiminde mühim bir paya sahip olduğu ve bina yüksekliğinin karbon yoğunluğu üzerinde hacimden daha belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Zhu ve arkadaşları (2017), Çin çelik sektöründe emisyon ticaret sisteminin muhtemel tesirlerini kısmi denge modeli ile simüle etmişlerdir. Çalışma serbest uygulamalarının rekabet bozucu neticeler doğurabileceğini ortaya koymuş ve çıktı temelli tahsis yaklaşımını daha muvafık bir politika aracı olarak önermiştir. Chen ve arkadaşları (2018), madde akış analizi ile enerji ve iktisadî değerlendirmeyi mezcederek farklı üretim senaryolarında karbon kullanımını tetkik etmişlerdir. Bulgular hidrojenasyon temelli senaryonun hem emisyon hem de maliyet bakımından rekabetçi olduğunu göstermiştir. Griffin ve Hammond (2019), Birleşik Krallık çelik sanayinde enerji talebi ve emisyon azaltım imkânlarını değerlendirmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında 2050 hedefleri için yakıt dönüşümü ve elektrik arzının karbonsuzlaştırılması gibi köklü tedbirlerin zarurî olduğu ifade etmişlerdir. Holappa (2020) küresel çelik sektörünün 2050 iklim hedefleri bağlamındaki görünümünü ele almıştır. Emisyonların düşürülmesi için enerji verimliliği ve hidrojen metalurjisi teknolojilerinin hayati rol oynayacağını belirtilmiştir. Çalışma modernizasyon ve yenilikçi teknolojiler sayesinde emisyonların üçte iki oranında azaltılabileceğini ileri sürmüştür. Zhang ve arkadaşları (2021), muhtelif ülkelerde tatbik olunan karbon azaltım teknolojilerini mukayeseli surette gözden geçirmişlerdir. Çalışmada hidrojen metalurjisi ve yüksek fırın dışı proseslerin istikbal için mühim bir inkişaf sahası teşkil ettiği sonucuna varılmıştır. Chen ve arkadaşları (2022), Su ve Zhang (2016) gibi yapısal ve inşaa konularına odaklanarak çelik yapı ürünlerinde karbon azaltım stratejilerini sistematik alanyazın taramasıyla tasnif etmişlerdir. Çalışma politika araçlarının ve çoklu stratejilerin müşterek tesirlerinin nicel olarak yeterince incelenmediğini ortaya koymuştur. Zhang ve arkadaşları (2023), Çin çelik sanayinin karbon nötrlüğe intikal yol haritasını tahlil etmişlerdir. Çalışmada karbon muhasebe standartlarının yeknesaklaştırılması ihtiyacına dikkat çekilmiştir. Durga ve arkadaşları (2024), ABD çelik sektörünün karbonsuzlaşma senaryolarını analiz etmişlerdir. Bulgular bu konuda alternatif olarak hidrojen bazlı üretimin ve hurda kullanımının belirleyici olacağını ortaya koymuştur. Guo ve arkadaşları (2024), çelik ve kimyasal üretim modelinin sera gazı azaltımı ve maliyet etkilerini optimizasyon çerçevesinde incelemişlerdir. Karbon fiyatlandırmasının mevcut olduğu senaryolarda hem emisyon hem de maliyet tasarrufunun mühim ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Sun ve arkadaşları (2024), karbon, elektrik ve hidrojen üçlü münasebeti bağlamında yeni bir gelişim yolu önermişlerdir. Çalışmada önerilen yöntemin klasik yöntemlere nazaran daha yüksek verim ve düşük emisyon potansiyeli taşıdığı belirtilmiştir. Song ve arkadaşları (2025), Çin çelik sanayinde yaşam döngüsü temelli bir karbon emisyon modeli tesis

etmişler ve bu model üzerinde duyarlılık analizi icra etmişlerdir. Çalışmada emisyon yoğunluğunun en kritik azaltım unsurunun fosil yakıt tüketimi olduğu ortaya konulmuştur. Wu ve arkadaşları (2026), demir çelik sanayinde karbon ayak izi hesaplama usullerini sistematik surette derlemişlerdir. Çalışmada elektrikli ark ocaklarının elektrik yoğunluğuna bağımlı emisyon yapısı ile yüksek fırın proseslerinin baskın payı açıkça gösterilmiştir. Konuya daha sosyal bir açıdan yaklaşan Parthasarathy ve arkadaşları (2026), belirsizlik altında karar destek amacıyla hibrit çok kriterli karar verme modeli ile konuyu incelemişlerdir. Yazarlar hukukî çerçeve ve karbon kullanım gelirlerinin karbon yakalama yatırımlarında en mühim belirleyiciler olduğu sonucuna ulaşılmışlardır. Cui ve arkadaşları (2026), çelik sektöründe su, enerji ve karbon bağıını tahlil eden bir çerçeve geliştirmişlerdir. Demir yapımı ve çelik üretimi safhalarında düşük sinerji ve yüksek tasarruf potansiyeli bulunduğu tespit edilerek sürdürülebilirlik politikalarına zemin hazırlanmıştır. Bu alanyazın yekûnu çelik sanayinde karbon yoğunluğunun teknik, iktisadî ve politik vechelerini müştereken ele almaktadır. Bu çalışmalara ek olarak bilhassa proses farklılıklarının emisyon yapısı üzerindeki tesirini inceleyen çalışmaların da değerlendirmeye alınması elzem olarak görülmektedir.

Mandova ve arkadaşları (2018), BF-BOF hattında karbon yoğunluğunun azaltılması amacıyla biyokütle ikamesinin potansiyelini optimizasyon modeliyle incelemişlerdir. Sonuçlar karbon fiyatının belirli bir eşik değerin üzerine çıkmadığı takdirde anlamlı bir ikame gerçekleşmeyeceğini göstermiş ve dolayısıyla BOF tabanlı üretimde karbon azaltımının iktisadî teşvik mekanizmalarına sıkı surette bağlı olduğu ifade edilmiştir. Han ve arkadaşları (2019) oksijen konvertörü çelik üretim sürecinde karbondioksit enjeksiyonunun teknik ve çevresel tesirlerini tetkik etmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmada mevcut karbon yakalama teknolojileriyle bütünlük bir döngüsel karbondioksit kullanım modeli teklif edilmiştir. Wang ve arkadaşları (2020) ise BOF çelik üretiminde nihai karbon içeriğinin hassas tahmini üzerine geliştirilen modelleri sistematik surette gözden geçirmişlerdir. Yazarlar statik, dinamik ve akıllı tahmin safhalarını tasnif etmişler ve bilhassa yapay zekâ temelli yaklaşımların karbon kontrolünde yüksek kalite ve istikrar temin etme potansiyeline sahip olduğu vurgulamışlardır. Mahanta ve arkadaşları (2023), BOF prosesinde karbon, fosfor ve sıcaklık değişkenlerini eşanlı olarak modellemek maksadıyla evrimsel veri temelli algoritmalar kullanmışlardır. Wang ve arkadaşları (2025) ise BOF üretim verilerindeki dinamik değişimleri nazar-ı itibara alarak karbon ve sıcaklık tahmini için bir regresyon stratejisi geliştirmişlerdir. Gerçek saha verileri üzerinde yapılan simülasyonlarda karbon tahmininde %83'ü aşan doğruluk elde edilmiş ve böylelikle karbon içeriğinin anlık kontrolünde veri güdümlü yöntemlerin ehemmiyeti teyit edilmiştir. Bu çalışmalar yekûnen

değerlendirildiğinde BOF prosesinde karbonun hem proses parametresi hem de emisyon belirleyicisi olarak merkezî bir konuma sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bir kısım araştırmalar karbonun anlık tahmini ve kontrolüne odaklanırken diğerleri karbonun proses içi geri kazanımı yahut ikame imkânlarını ele almaktadır. Böylelikle BOF ve karbon münasebeti teknik, çevresel ve iktisadî vecheleriyle çok katmanlı bir mahiyet arz etmektedir.

Alanyazın incelemesinde EAF prosesi de kapsama alınmıştır. Kirschen ve arkadaşları (2009), modern EAF tesislerinde enerji bilançosunun bütüncül surette tespit edilmesini hedeflemişler ve enerji verimliliği ile karbon emisyonları arasındaki münasebeti incelemişlerdir. Bianco ve arkadaşları (2013), EAF prosesinde fosil kömür ve doğal gaz yerine alternatif materyallerin kullanım imkânını araştırmışlardır. Laboratuvar ve endüstriyel denemeler neticesinde teknik uygulanabilirlik teyit edilmiş ve çalışmada karbon emisyonlarının azaltılması bakımından biyokütle ikamesinin çevresel fayda sağladığı ve ayrıca iktisadî sürdürülebilirlik potansiyeli taşıdığı ifade edilmiştir. Teo ve arkadaşları (2020), EAF cürufunun geri dönüşüm alternatiflerini karbon ve çevresel etkiler bağlamında gözden geçirmişlerdir. Çalışmada cürufun kimyevî bileşimindeki değişkenliğin yüksek katma değerli geri kazanım uygulamalarını tahdit ettiği ve buna mukabil ayrıştırma tekniklerinin geliştirilmesiyle EAF kaynaklı karbon etkisinin dolaylı surette azaltılabileceği belirtilmiştir. Gajdzik ve arkadaşları (2021), Polonya'da EAF ile çelik üretiminin enerji yoğunluğunu yatırımlar çerçevesinde ekonometrik modellerle analiz etmişlerdir. Bulgular teknolojik yatırımlar arttıkça EAF prosesinde birim enerji tüketiminin azaldığını ve dolayısıyla dolaylı karbon yoğunluğunun gerilediğini göstermiştir. Ecterhof (2021), EAF prosesinde çeliğin karbürizasyonu ve köpük cüruf oluşumu için zaruri olan karbon girdisinin fosil kaynaklar yerine alternatif biyokütle veya geri dönüştürülmüş karbon kaynaklarıyla ikamesini ele almıştır. Çalışma karbon nötr yahut döngüsel karbon kaynaklarının EAF'de emisyon azaltımı bakımından stratejik bir rol üstlenebileceğini vurgulamıştır. Yang ve arkadaşları (2022), EAF'de çok aşamalı oksijen enjeksiyonunun nihai karbon tahminine tesirini yapay sinir ağları modeli ile incelemişlerdir. Dock ve Kienberger (2022) ise EAF tesislerinde enerji verimliliğini artırarak karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik proses tasarımlarını enerji sistemi modeli vasıtasıyla değerlendirmişlerdir. Zhang ve arkadaşları (2024), EAF çelik cürufunun karbonatlaştırılması suretiyle karbondioksit tutulmasını artırmayı hedeflemişlerdir. Bu çalışmalar değerlendirildiğinde EAF prosesinde karbon münasebetinin üç ana ekseninde tezahür ettiği görülmektedir:

1. Enerji girdisi ve elektrik yoğunluğu üzerinden dolaylı karbon emisyonları,
2. Proses içi karbon girdisinin (fosil yahut alternatif) ikamesi,

3. Yan ürünlerin karbon yakalama ve depolama potansiyeli.

Dolayısıyla alanyazın incelemesinde EAF ve karbon ilişkisinin doğrudan emisyonlarla sınırlı olmadığı enerji kompozisyonu, hammadde yapısı ve geri kazanım teknolojileriyle müterafik çok katmanlı bir yapı arz ettiği değerlendirilmektedir.

Türkiye ham çelik istihsalinde karbon yoğunluğunun seyri bilhassa oksijenli ve elektrikli proseslerin terkihi çerçevesinde son yıllarda hem iktisadî hem de çevresel vecheleriyle mühim bir tetkik sahası hâline geldiği görülmektedir. Bıyık ve Özkale (2017), Türkiye demir çelik sanayinde üretim yöntemlerinin dağılımını, hammadde bağımlılığı ve dış ticaret performansı bağlamında tahlil etmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmada yüksek fırın oranındaki artışın ihracat ve endüstriyel kârlılık bakımından müspet bir itici güç teşkil ettiği buna mukabil karbon fiyatlama politikalarının belirli bir eşik değere kadar sektör hedeflerinde esaslı bir sapma yaratmayabileceği ifade edilmiştir. Bu yönüyle çalışma oksijenli proseslerin ekonomik getirisi ile karbon politikaları arasındaki dengeyi Türkiye özelinde tartışmaya açmaktadır. Demircioğlu ve Ever (2020), demir çelik sanayinde faaliyet gösteren bir işletme nezdinde karbon maliyetinin muhasebeleştirilmesini incelemişler ve karbon muhasebesi kavramını sektör pratiğiyle irtibatlandırmışlardır. Vaka analizi yöntemi kullanılarak çalışmada 2016-2017 yıllarına ait emisyon miktarları, karbon ayak izi ve toplam üretim maliyeti içerisindeki karbon payı hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular karbonun doğrudan maliyet yapısını etkileyen iktisadî bir değişken olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Uçak ve Villi (2021), Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde Türkiye'nin çelik ihracatını ve karbon temelli dönüşüm zarureti ele almışlardır. Çalışmada AB'ye yönelik ihracatın yüksek payı dikkate alınarak Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (SKDM) Türkiye çelik sektörü üzerinde ilave maliyet baskısı doğuracağı ve gerekli emisyon azaltım tedbirleri alınmadığı takdirde %8-19 aralığında ek vergi yüküyle karşılaşılacağı belirtilmiştir. Bu değerlendirme karbon yoğun üretim yapısının dış ticaret rekabeti bakımından stratejik bir risk teşkil ettiğini göstermektedir. Yılmaz ve Yılmaz (2025), ağır sanayide bilhassa çelik sektöründe karbonsuzlaştırma sürecinin iktisadî ve teknolojik boyutlarını tartışmayı amaçlamışlardır. Çalışmada sürdürülebilir enerji kaynakları ile dekarbonizasyonun yeni bir sanayi paradigması oluşturabileceği ve çelik üretiminde mevcut teknolojik altyapının dönüşümünde mühim güçlükler bulunduğu ifade edilmiştir. Bu çerçevede Türkiye çelik sanayinin küresel karbonsuzlaşma dalgası karşısında stratejik bir yeniden yapılanmaya muhtaç olduğu vurgulanmaktadır. Eryüzü ve Boran (2026), Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın Türkiye çelik sektörü üzerindeki muhtemel tesirlerini ele alarak karbon bazlı dönüşümün kaçınılmazlığını ortaya koymuşlardır. Avrupa Birliği pazarına erişimin sürdürülebilirliği için

üretim süreçlerinde emisyon azaltımının zarurî olduğu aksi takdirde sınırdaki karbon düzenlemeleri sebebiyle rekabet gücünün zayıflayacağı ifade edilmiştir. Böylelikle çalışma karbon yoğunluğunun dış ticaret ve sanayi politikası ile doğrudan irtibatını teyit etmektedir. Duran (2026) ise SKDM'nin demir çelik sanayi bakımından doğuracağı sonuçları ve muhtemel uyum stratejilerini değerlendirmiştir. Enerji ve malzeme verimliliği, doğrudan indirgenmiş demir kullanımı, elektrifikasyon, yenilenebilir enerji yatırımları ile karbon yakalama ve depolama gibi emisyon azaltım yöntemleri tafsilatlı surette çalışmada ele alınmıştır. Ayrıca yazar Türkiye'de kurulması planlanan Emisyon Ticaret Sistemi'nin Avrupa Birliği ile uyumlu tesis edilmesinin ilave karbon maliyetlerini bertaraf etmede mühim rol oynayacağı ifade etmiştir. Hülâsa alanyazındaki çalışmalar Türkiye demir çelik sanayinde karbon meselesini üretim yöntemi tercihi, maliyet muhasebesi, dış ticaret rekabeti ve uluslararası iklim rejimleri bağlamında mütalaa etmektedir. Aşağıda mezkûr alanyazın sistematik bir tasnif dâhilinde iki ana sütun altında derlenmiştir. Sol sütunda uluslararası alanyazında temayüz eden dinamikler sağ sütunda ise Türkiye merkezli ulusal alanyazında öne çıkan vecheler üçer madde hâlinde arz olunmuştur.

Tablo 1. Uluslararası ve Ulusal Alanyazının Mukayeseli Çerçevesi

Uluslararası Alanyazın Dinamikleri	Ulusal Alanyazın Dinamikleri
Proses Temelli Emisyon Analizi ve Teknolojik Dönüşüm	Üretim Yöntemi Tercihi ve Rekabet İlişkisi
Karbon Fiyatlandırması ve Politika Simülasyonları	Karbon Maliyeti ve Muhasebe Yaklaşımı
Veri Tabanlı Modelleme ve Yaşam Döngüsü Analizi	Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı ve SKDM Odaklı Dönüşüm Tartışmaları

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Bu mukayeseli tasnif göstermektedir ki uluslararası alanyazın daha ziyade teknik modelleme, senaryo analizi ve proses inovasyonları üzerinde teksif olurken ulusal alanyazın Türkiye demir çelik sanayinin üretim kompozisyonu, dış ticaret bağımlılığı ve Avrupa Birliği iklim politikaları karşısındaki kırılganlığına odaklanmaktadır. Müteakiben bu çalışmada benimsenen yöntem benzer metodolojik çerçeveyi ihtiva eden araştırmalar değerlendirilerek mevcut alanyazın içerisindeki eğilimler ve boşluklar ortaya konulacaktır.

NARDL yaklaşımını kullanan çalışmalar ekseriyetle makroekonomik büyüme, mali sürdürülebilirlik, enerji fiyatları ve reel sektör dinamikleri bağlamında asimetrik eşbütünleşme münasebetlerini araştırmışlardır. Finansal piyasalar ve belirsizlik etkileri (Camgöz, 2022), kamu maliyesi ve sürdürülebilirlik (Karaş, 2024), tüketici ve sektörel güven endeksleri (Tutumlu

ve Güler, 2025), enflasyon ve doğrudan yabancı yatırımlar ilişkisi (Doğan ve Çakmaköğlü, 2025), büyüme ve beşerî sermaye etkileşimi (Çelik ve Altıntaş, 2025), enerji fiyatları ve sektörel hasıla (Akşehirli, 2024), sanayi üretimi ve kapasite kullanımı (Demir ve Özcan, 2023), elektrik tüketimi ve büyüme (Bulut ve ark., 2022) gibi muhtelif sahalarda pozitif ve negatif şokların uzun ve kısa devrede farklı vecheler arz ettiği tespit edilmiştir. Bu yekûn, NARDL'in bilhassa uzun dönem asimetrik eşbütünleşme ilişkilerini tayin hususunda tercih edildiğini göstermektedir. Hatemi-J asimetrik yöntemini kullanan çalışmalar ise daha ziyade nedensellik istikametini şok bileşenleri üzerinden tahlil etmiştir. Döviz kuru ve fiyat geçişkenliği (Yetim ve Yamak, 2019), Covid-19 şokları ve sektör endeksleri (Özdemir, 2020), savunma harcamaları ve işsizlik (Duran, 2023), AR-GE, ihracat ve büyüme ilişkileri (Sungur ve ark., 2016), altın, petrol ve hisse senedi etkileşimi (Kaya, 2021), sağlık ve kalkınma münasebeti (Arslan ve ark., 2016), ihracat ve istihdam bağı (Gerçekler, 2021), dış ticaret ve makro değişkenler (Uslu, 2023), reel kur ve sektörel ihracat (Çelik, 2023) ile küresel ticaret göstergeleri (Eryüzlü, 2019) gibi sahalarda pozitif ve negatif bileşenler arasındaki nedensellik farklılıklarını ortaya koymuştur. Bu çerçevede Hatemi J testi simetrik yaklaşımların ihmal ettiği saklı ilişkileri izhar eden bir vasıta olarak temayüz etmektedir. Hülâsa yönetsel alanyazın NARDL'in asimetrik eşbütünleşme ve uzun dönem katsayı ayrıştırmasında, Hatemi J yaklaşımının ise şok bileşenleri arasındaki nedensellik istikametini tayinde mütemayız bir mevkie sahip olduğunu göstermektedir. Bu birikim zaman serilerinde doğrusal varsayımların kifayetsiz kaldığı hâllerde asimetrik modellemenin zaruretini teyit eder mahiyettedir. Mevcut alanyazın tetkik edildiğinde üç mühim boşluk temayüz etmektedir:

1. Türkiye ham çelik istihsalinde karbon yoğunluğunun uzun dönemli (1978-2024) seyrini proses ayrımı temelinde zaman serisi yaklaşımıyla inceleyen müstakil bir çalışma bulunmamaktadır.
2. Karbon yoğunluğu ile üretim kompozisyonu arasındaki münasebet çoğunlukla teknik ve politika düzleminde ele alınmış olup asimetrik dinamikler ve şok ayrıştırması ihmal edilmiştir.
3. Çelik sanayine ilişkin ampirik araştırmalarda NARDL ve Hatemi J gibi doğrusal olmayan yöntemlerin birlikte ve sanayi özelinde karbon göstergeleri üzerinde tatbikine rastlanmamaktadır.

Bu çalışma, 1978-2024 dönemini kapsayan uzun erimli veri setiyle Türkiye'de ham çelik üretiminde karbon yoğunluğunun oksijenli ve elektrikli prosesler bağlamındaki asimetrik dinamiklerini NARDL ve Hatemi-J çerçevesinde müştereken analiz ederek alanyazındaki söz konusu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Böylelikle karbon yoğunluğu üretim terkihi ilişkisini hem

eşbütünleşme hem de nedensellik boyutunda bütüncül surette ortaya koyarak alanyazına özgün ve yöntemsel bir katkı sunmaktadır.

3. Türkiye Çelik Sanayinin Yapısal Mahiyeti ve İstihsal Kompozisyonu

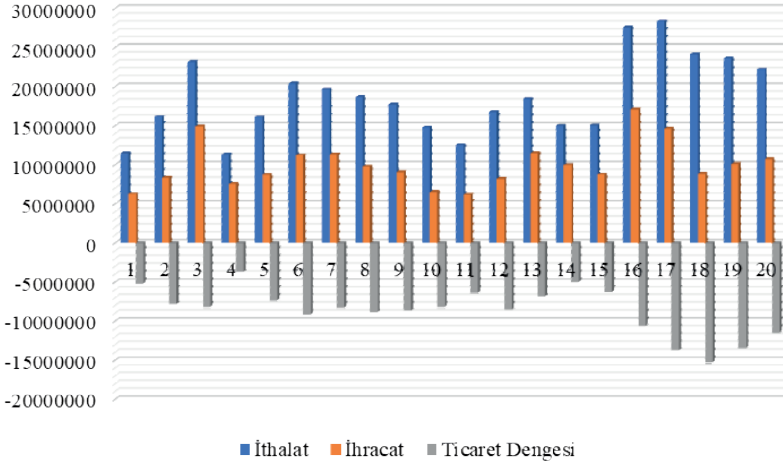
Sanayileşme sadece üretim ve iktisadî sahada müşahede olunan bir büyüme ve inkişaftan ibaret olmayıp aynı zamanda içtimaî ve kültürel bir tahavvül sürecini de ihtiva etmektedir (Tezeren ve ark., 1981). Sanayileşmenin ölçüsü bazı kaynaklarda demir çelik sanayinin inkişaf seviyesi yahut demir çelik istihsal ve istihlâk miktarları ile tarif olunmaktadır. Bu sanayi kolunu sair bütün sanayi şubelerinin girdisi olarak telâkki etmek ona dair tayin olunan hedef ve gayelerin bir memleketin umumî sanayileşme seyri üzerinde müessir olduğu kanaatini kuvvetlendirmektedir (Yıldırım, 1983). Bu itibarla demir çelik, sanayi nizamının temel direklerinden biri olarak addedilmektedir. Nitekim sanayileşme hamlelerinin mahiyeti ve istikameti çoğu kez bu sektörün kudret ve kapasitesiyle yakından alâkalı görünmektedir. Demir çelik sanayinin kapsamı demir cevherinin artırılmasından başlayarak demir ve çeliğin muhtelif usullerle istihsalini, bunların sıcak ve soğuk şekillendirme suretiyle çeşitli mamul ve yarı mamul parçalar hâline getirilmesini, keza ısıl muamelelerden geçirilmesini ve muhtelif maddelerle kaplanması safhalarını ihtiva etmektedir (Tezeren ve ark., 1981). Bu geniş faaliyet alanı çelik sanayinin mamul mal zincirinin bütün halkalarına temas ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla çelik modern iktisadî yapının hem başlangıç hem de tamamlayıcı unsurlarından biri olarak değerlendirilebilmektedir. Çelik bugün dünya ekonomisinde en çok geri dönüştürülen, fizikî ve kimyevî özellikleri itibarıyla pek çok sahada istifadeye elverişli bulunan mühim bir endüstriyel malzeme olarak kabul edilmektedir. Çelik sanayi çevreye asgarî zarar prensibini gözeterek hem gelişmiş hem de gelişmekte olan memleketlerde hayat standartlarının yükseltilmesine katkı sunmuştur. Ayrıca bu sanayi sürdürülebilir kalkınma sürecinde kayda değer bir rol de icra etmektedir (Barut ve ark., 2020). Tezeren ve arkadaşları (1981) demir çelik endüstrisinin dünya ekonomisindeki konumunu şu şekilde ifade etmektedirler:

1. Modern ekonominin icap ettirdiği temel malların nispeten düşük maliyetle istihsalı,
2. Çelik üretim değerinin gayrisafi millî hasıla içindeki nispetinin büyüklüğü,
3. Büyük miktarlarda hammadde ve mamul nakliyatını gerektirmesi,
4. Sermaye yoğun bir teknolojiye dayanması,
5. Know-how ve ileri teknolojiye yüksek derecede bağımlı bulunması,

6. Dünya ticaretinin mühim bir kısmının demir çelik sanayi ile doğrudan irtibatlı olması,
7. Büyük bir enerji tüketicisi olması,
8. Üst ve alt sanayi kollarının tesisine zemin hazırlaması yahut mevcut kolları harekete geçirmesi.

Bu hususlar birlikte değerlendirildiğinde demir çelik sanayinin iktisadî büyüklüğünün itibarına ek olarak diğer sektörlerle kurduğu kuvvetli irtibatlar bakımından da stratejik bir mahiyet arz ettiği değerlendirilmektedir. Demir çelik sanayi, yapısı itibarıyla memleket kalkınmasında itici bir vazife gören temel sektörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bilhassa inşaat ve yatırım malları sahalarının esas girdilerini temin eden bu sanayi kolu gerek hammadde masrafları gerekse nihai mamulleri itibarıyla sektörler arasında geniş ölçekli bir mal transferine ve önemli bir ticaret hacmine vesile olmaktadır (Tezeren ve ark., 1981). Bu cihetle demir çelik sanayi iktisadî yapının bütününde tesir icra eden bir merkezî mevkie sahip görünmektedir. Sektörler arası münasebetlerin kuvveti arttıkça bu sanayinin tesir sahasının da genişlediği müşahade edilmektedir. Demir çelik sanayinin ekonomiyi etkileme potansiyeli ileri ve geri bağlantı katsayılarının büyüklüğüne ve üretim hacmine bağlı bulunduğundan bu sahada kaydedilecek bir gelişmenin iktisadın diğer kolları üzerinde de yüksek nispette akisler doğurabileceği değerlendirilmektedir. Diğer sektörlerle olan bağımlılığı sebebiyle çelik sanayi ekonomik kalkınma ve dışa açılma süreçlerinde itici ve sürükleyici tesirler gösterebilmekte ve bu yönüyle memleket ekonomileri için önem arz etmektedir (Tezeren, 1990). Bu karşılıklı tesir ve irtibat ağı demir çelik sanayini makro iktisadî dengeler üzerindeki yansımaları itibarıyla da ayrıcalıklı kılmaktadır. Nitekim dış ticaret kalemleri içerisinde bu sanayinin yeri ayrı bir dikkatle ele alınmaktadır. Demir çelik sanayinin mamul ve hammaddelerinin ithal ve ihraç durumları gelişmiş memleketler için mühim bir gelir kaynağı teşkil edebildiği gibi gelişmekte olan memleketlerin ödemeler dengelerinde kayda değer bir gider unsuru olarak da tezahür edebilmektedir (Tezeren ve ark., 1981). Bu itibarla sektörün dış ticaret yapısı ülkelerin iktisadî istikrarı bakımından ayrıca mütalaa edilmeye değer görünmektedir.

Şekil 1. Türkiye Çelik Sanayi Dış Ticaret Göstergeleri 2006-2025 (bin ABD Dolar)



Kaynak: ITC Trade Map (2026) üzerinden derlenen verilerle yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 1’de yer alan Harmonize Sistem 72 (H.S. 72) kapsamındaki veriler Türkiye’nin demir çelik ticaretinde uzun devreli ve mahiyeti itibarıyla yapısal bir dış ticaret açığı verdiğini göstermektedir.⁴ 2006-2025 dönemi bir bütün olarak dikkate alındığında aşağıdaki temayüller öne çıkmaktadır:

- *2006-2008 Süratli Artış ve Kriz Öncesi Zirve:* 2008 yılına kadar hem ithalat hem de ihracatta kuvvetli bir artış müşahade edilmektedir. Küresel talebin genişlemesi ve yurt içi inşaat ile altyapı yatırımlarındaki canlanma bu yükselişi desteklemiş görünmektedir. Bununla beraber, ticaret açığının da aynı istikamette genişlemesi dikkat çekici bir mahiyet arz etmektedir.
- *2009 Küresel Finans Krizinin Tesiri:* 2009 yılında kaydedilen keskin daralmanın küresel kriz kaynaklı talep ve fiyat düşüşleriyle izah edilmesi mümkündür. Açığın azalması ise yapısal bir tahkimden ziyade ticaret hacmindeki küçülmenin bir neticesi olarak değerlendirilmektedir.
- *2010-2014 Toparlanma ve Süreklilik Arz Eden Açık:* Bu devrede ithalatın yeniden 20 milyar dolar bandına yaklaştığı görülmektedir. İhracat artış kaydetmekle beraber açığı telafi edecek seviyeye ulaşamadığı grafiksel seyirde mündemiçtir. Bu keyfiyet sektörün hammaddeye olan bağımlılığı ile irtibatlı bir görünüm arz etmektedir.

4 Harmonize (Armonize) Sistem: Dünya Gümrük Örgütü tarafından geliştirilen nomanklatür olan bu sistem eşyalar için ekonomik bir dil ve kod oluşturarak uluslararası ticarete kullanılan bir sınıflandırma sistemi olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz ve ark., 2017).

- *2015-2019 Görece Dengelenme Safhası:* Anılan dönemde dış ticaret açığı 5-8 aralığında dalgalanmıştır. 2019 yılında açığın gerilemesi nispi bir iyileşmeye işaret etmektedir. Bu durum döviz kuru hareketleri ve ihracat pazarlarının çeşitlendirilmesi gibi amillerle bağlantılı olarak mütalaa edilmektedir.
- *2021-2023 Olağanüstü Artış ve Açık:* Bu devrede bilhassa 2022-2023 yıllarında fiyat tesirinin miktar tesirine galebe çaldığı bir görünüm hâkimdir. Küresel emtia fiyatlarındaki artışın, enerji maliyetlerindeki sıçramanın, iç talep şartlarının ve yeniden yapılanma süreçlerinin söz konusu genişlemede müessir olduğu değerlendirilmektedir. Nitekim ticaret açığının tarihî zirvelere ulaşması bu dönemin ayırt edici vasfı olarak temayüz etmektedir.
- *2024-2025 Kısmi Düzelmeye:* 2025 yılında gözlenen gerilemenin ithalat hacmindeki nispi azalış ve ihracattaki toparlanma ile irtibatlandırılması mümkündür. Bununla birlikte açığın tamamen ortadan kalkmadığı ve yapısal mahiyetini muhafaza ettiği de anlaşılmaktadır.

Netice itibarıyla Türkiye H.S. 72 kapsamında mütemadiyen net ithalatçı bir konum sergilemektedir. Dış ticaret açığı konjonktürel dalgalanmalara rağmen yapısal bir karakter göstermektedir. İhracat hacmi kayda değer olmakla birlikte ithalata olan bağımlılık dış ticaret dengesini menfi istikamette etkilemektedir. Bilhassa 2021 sonrası dönem fiyat şoklarının ticaret dengesi üzerindeki tesirini bariz surette ortaya koymaktadır. Bu manzara Türkiye çelik sanayinin üretim kapasitesi itibarıyla güçlü olmasına rağmen girdi bağımlılığı sebebiyle dış ticaret dengesi bakımından kırılğan bir yapı arz ettiğini düşündürmektedir.

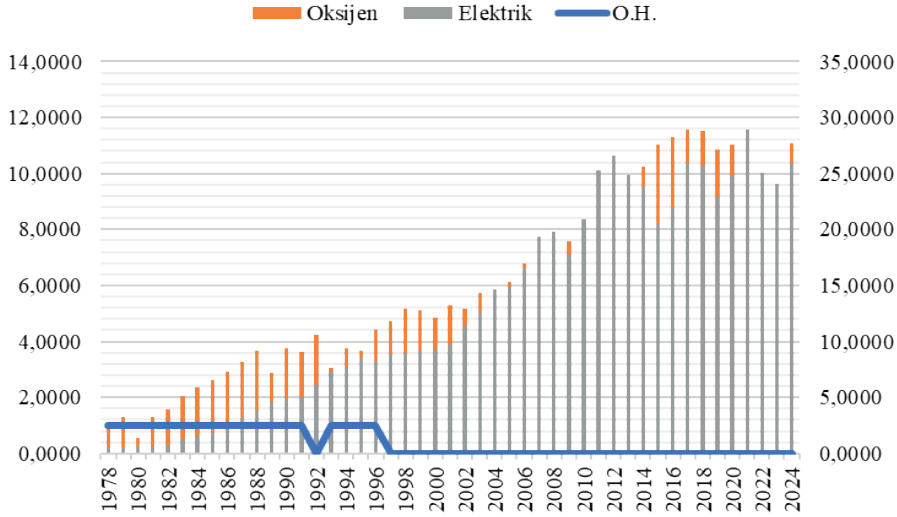
Kalkınma ve sosyal refah yarışında bulunan dünya memleketlerinin bu müsabakaya hakkıyla iştirak etmedikleri takdirde geri kalmışlığın iktisadî ve psikolojik müşküllerini yaşamaya devam edecekleri aşikârdır. Bu sebeple kalkınma ve refah yarışına gelişmiş memleketlerden dahi daha süratli bir surette iştirak ederek hiç olmazsa aradaki mesafeyi kısmen daraltmaya gayret edilmesi icap etmektedir (Oral, 1970). Bu çerçevede kalkınma hamlesi içerisinde demir çelik sanayinin müstesna bir mevkie sahip bulunduğu izahattan varestedir. Bu itibarla gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan memleketler sanayilerinin temel dayanağını teşkil eden çelik sanayini maliyet şartları ne olursa olsun tesis etmek ve inkişaf ettirmek mecburiyetinde kalmaktadırlar. İktisadî kalkınma hedefini sanayileşme stratejisi üzerine bina eden ve dinamik bir yapı arz eden Türkiye bakımından da çelik sanayinin taşıdığı ehemmiyet açıktır. Bununla beraber söz konusu sanayinin Türkiye'nin kalkınma hedefleriyle mütenasip bir biçimde işletilmesi ve yönlendirilmesi de zarurî bir keyfiyet olarak değerlendirilmektedir (Tezeren ve ark., 1981). Herhangi bir sektör bir

ülke ekonomisini doğrudan, dolaylı ve uyarılmış olmak üzere üç veche ile tesir altında bırakmaktadır. İlgili sektörün gayri safi yurt içi hasılaya sağladığı katkı ve temin ettiği istihdam imkânları gibi neticeler üretim faaliyetinden neşet eden doğrudan iktisadî tesirler olarak kabul edilmektedir. Buna mukabil sektörün mal ve hizmet üretimi esnasında kendisine girdi temin eden diğer sektörlerin üretimini harekete geçirmesiyle ortaya çıkan tesirler dolaylı etkiler şeklinde tezahür etmektedir. Uyarlanmış etkiler ise doğrudan ve dolaylı istihdamdan kaynaklanan gelirlerden mal ve hizmet harcamalarıyla ortaya çıkan katma değer olarak ifade edilmektedir (Başkol ve Bektaş, 2021). Bu suretle bir sektörün iktisadî yapı içindeki konumu diğer sektörlerle kurduğu münasebet ağı ve hâsıl ettiği çarpan tesirleriyle birlikte mütalaa edilmelidir. Bu durum çelik sanayinde daha bariz ve etkin biçimde karşılık bulmaktadır. Bu çerçevede içerisinde demir çelik istihsal sürecinin teknik mahiyetine kısaca temas etmek yerinde olacaktır. Çelik, ham demir bünyesinde yüksek nispette bulunan karbon, silisyum, fosfor ve kükürt gibi unsurların arıtılması ve lüzumu kadar alaşım elementlerinin ilâvesi suretiyle elde edilmektedir. Bu usul çerçevesinde çeliğin istihsalinde muhtelif metotlar tatbik olunmaktadır. Tercih edilen yöntem ise hammadde vasfı maliyet şartları ve teknik imkânlarla göre değişiklik gösterebilmektedir (Tezeren ve ark., 1981). Bu yöntemler;

1. Bessemer,
2. Thomas,
3. Siemens Martin,
4. Oksijen Konventörü,
5. Elektrikle Çelik Üretim Metotları,

olarak sayılmaktadır. Dünya Çelik Birliği (World Steel Association [WSA]) verilerine göre Türkiye çelik istihsalinin üretim yöntemlerine göre dağılımı Şekil 2'de yer almaktadır.

Şekil 2. Yöntemlere Göre Türkiye’de Ham Çelik İstihsalı 1978-2024 (Mmt)



Kaynak: WSA (t.y.) üzerinden derlenen verilerle yazar tarafından oluşturulmuştur.

Türkiye’de çelik üretiminin yöntemler itibarıyla seyri (1978-2024) sanayinin zaman içerisinde mühim bir yapısal tahavvül geçirdiğini göstermektedir. 1970’lerin sonlarında üretimin açık ocak (O.H.), oksijenli proses ve elektrikli proses arasında nispeten dengeli bir dağılım arz etmekte olduğu görülmektedir. Bu devrede oksijenli proses bir miktar önde görünmekle birlikte açık ocak üretimi de hâlen kayda değer bir seviyede bulunmaktadır. Ancak 1980’li yıllarla birlikte üretim kompozisyonunda belirgin bir değişim temayülü müşahade edilmektedir. Şekil 2’de oksijenli üretiminin istikrarlı biçimde arttığı, elektrik ark fırını üretiminin daha süratli bir yükseliş kaydettiği ve açık ocak yönteminin ise giderek ehemmiyetini kaybettiği görülmektedir. 1990’lı yılların başına gelindiğinde açık ocak usulünün fiilen terk edildiği ve üretim yapısının iki ana yöntemle yani oksijen ile elektrikle dayandığı anlaşılmaktadır. Bilhassa 1990’ların ortalarından itibaren elektrik ark fırını üretiminin oksijen yöntemini geride bıraktığı görülmektedir. Bu keyfiyet Türkiye çelik sanayinin hurda bazlı ve daha esnek bir üretim modeline yöneldiğini düşündürmektedir. Bu bağlamda elektrik yönteminin toplam üretim içindeki payının giderek arttığı ve 2000’li yıllarla birlikte sektörün ana karakterini tayin eder hâle geldiği ifade edilmektedir. 2000 sonrası dönemde her iki yöntemde de kapasite artışları gözlenmekle beraber artışın ağırlıklı olarak elektrik ark fırınlarında yoğunlaştığı görülmektedir. 2010’lu yıllarda elektrik yöntemi üretimi 20 milyon tonun üzerine çıkmış ve toplam üretimin ekseriyetini teşkil etmiştir. 2021 yılında

ulaşılan yüksek seviyeler sektörün küresel piyasalara entegrasyonunun ve iç talep dinamiklerinin bir tezahürü olarak değerlendirilmektedir. 2022 ve 2023 yıllarında her iki yöntemde de görece bir gerileme görülmüş ve 2024 itibarıyla ise kısmi bir toparlanma işaretleri ortaya çıkmıştır. Genel bir değerlendirme yapıldığında Türkiye çelik sektörünün üretim yapısının zamanla klasik ve entegre karakterden uzaklaşarak elektrik ark fırını merkezli bir hüviyete büründüğü anlaşılmaktadır. Bu yapı bir taraftan esneklik ve hızlı kapasite ayarlaması imkânı sağlamakta diğer taraftan hurda girdisine olan bağımlılık sebebiyle dış ticaret ve maliyet yapısı üzerinde belirleyici tesirler icra etmektedir. Bu itibarla üretim yöntemlerindeki dönüşüm çelik sanayinin iktisadî ve stratejik konumunu şekillendiren bir unsur olarak mütalaa edilmektedir.

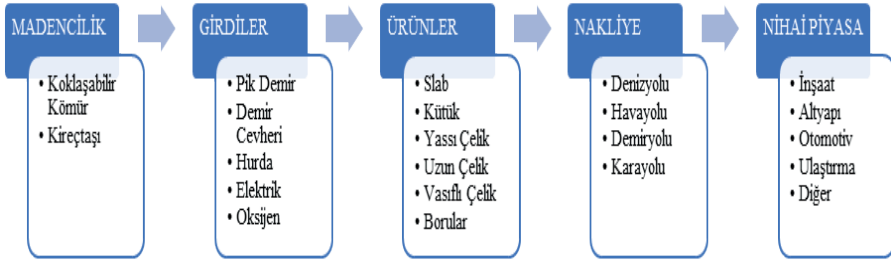
Günümüzde çelik istihsalı esas itibarıyla iki ana üretim modeline dayanmaktadır. Bunlardan ilki ana girdi olarak demir cevheri kullanan ve yüksek fırın (YF) ile bazık oksijen fırınına (BOF) müstenit entegre tesislerdir. Diğeri ise ana girdi olarak hurda metali esas alan elektrik ark ocaklı (EAF/EAO) yahut indüksiyon ocaklı (IF) tesislerdir. Avrupa Birliği memleketlerinde üretimin ekseriyetle BOF ve EAF yöntemleriyle icra edildiği ifade edilmektedir (Avinall ve ark., 2019). Bu suretle küresel çelik üretim yapısının cevher bazlı entegre model ile hurda bazlı elektrikli model arasında şekillendiği anlaşılmaktadır. Çelik istihsalı demir cevheri ve metalürjik kömür başta olmak üzere muhtelif hammaddelere istinat etmektedir. Bu girdilerin fiyatlarında vuku bulan dalgalanmalar çelik sanayinin maliyet yapısı ve kârlılığı üzerinde doğrudan tesir icra etmektedir. Nitekim küresel emtia piyasalarındaki oynaklıklar ve arz talep dengelerindeki değişimler bilhassa 2022 yılında Türkiye’de çelik sanayinin maliyet kompozisyonunu mühim ölçüde etkilemiştir. Bununla beraber sektörün performansı dışsal fiyat hareketleri ile birlikte inşaat faaliyetleri, altyapı yatırımları ve tüketici harcamaları gibi iç talep unsurlarına da sıkı surette bağlıdır. Makine, otomotiv, elektronik, kimya, savunma, havacılık, madencilik ve ulaştırma gibi birçok imalat kolunun talep seyri çelik istihsalinin hacim ve bileşimini tayin eden başlıca amiller arasında yer almaktadır (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023). Türkiye’de sanayinin üretim yapısı büyük ölçüde hurda bazlı EAF teknolojisine dayalıdır. Bu keyfiyet bir taraftan üretimde esneklik sağlamakta diğer taraftan hammadde temininde dışa bağımlılığı arttırmaktadır. Bununla birlikte tesislerin limanlara yakın bölgelerde kümelenmiş olması lojistik bakımdan mühim bir avantaj temin etmektedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2024). Dünya genelinde en yaygın yöntem olan BOF teknolojisi Türkiye’de üç entegre tesiste tatbik edilmekte ve buna mukabil elektrik ark ocaklı tesislerde sıvı çelik üretimi hurda kullanımı suretiyle gerçekleştirilmektedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023). Demir cevheri temini bakımından Türkiye hem yerli yatlardan

istifade etmekte hem de ithalat yoluna müracaat etmektedir. Ancak yerli cevherin miktar ve kalite bakımından arzu edilen seviyede olmaması ve ithal cevher fiyatlarında görülen artışlar çelik sanayinin hurda demire yönelimini kuvvetlendirmektedir (Yaşar, 2009). Bu durum üretim kompozisyonunun hurda lehine şekillenmesinde müessir olmuştur. 2024 yılı verileri demir çelik sanayinin Türkiye ekonomisindeki stratejik konumunu ortaya koymaktadır. Çelik ihracatı 10,2 milyar dolar seviyesinde gerçekleşmiş ve Türkiye dünya ihracatından yaklaşık %2,3 pay almıştır. Ülke sathında 3.500'ün üzerinde teşebbüsün faaliyette bulunduğu demir çelik sanayinde istihdam 93 bin kişiyi aşmış ve toplam üretim değeri 1,5 trilyon TL seviyesine ulaşmıştır. Aynı dönemde Ar-Ge harcamalarının 2,2 milyar TL'ye yükselmesi üretim süreçlerinin modernizasyonuna, dijital tatbikatların yaygınlaşmasına ve enerji verimliliği odaklı teknolojilere yönelimin artmasına katkı sağlamıştır (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2025).

Küresel ölçekte üretilen çeliğin takriben %70'i entegre tesislerde %30'u ise hurda bazlı elektrik ark ocaklarında istihsal edilmektedir. Türkiye'de ise bu nispet tersine dönmüştür (Serin ve Fidan, 2019). İlk yatırım maliyetlerinin nispeten düşük oluşu ve işletme prosesinin daha sade bir yapı arz etmesi sebebiyle EAF teknolojisi ile üretim Türkiye'de %75'in üzerine çıkmıştır (Tamsöz ve Elmas, 2021). Türkiye'nin 2024 yılı itibarıyla da üretim yapısının büyük ölçüde EAF'ye dayalı karakterini muhafaza ettiği ve ülkede hurda bazlı üretimin sektörün belirleyici vasfı olmaya devam ettiği görülmektedir. EAF teknolojisinin yaygın kullanımı enerji yönetimi ve emisyon azaltımı bakımından dönüşüm kapasitesini artıran bir unsur olarak temayüz etmektedir. Proses kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ve verimlilik artırıcı uygulamalar tesislerin modernizasyon eğilimini kuvvetlendirmiştir. Üretim kompozisyonunda inşaat demiri gibi geleneksel mamullerin yanı sıra sıcak ve soğuk haddelenmiş yassı ürünler, galvanizli ve kaplamalı saclar ile yüksek mukavemetli çeliklerin payı korunmuştur. Bu çeşitlilik hem iç pazar talebinin karşılanmasına hem de otomotiv ve makine imalatı gibi sektörler için üretim kabiliyetinin artmasına katkı sağlamıştır. Enerji verimliliği, dijital izleme sistemleri ve proses optimizasyonuna yönelik yatırımlar ise sektörün düşük karbonlu üretim hedefleriyle uyum sürecini tahkim etmiştir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2025). Türkiye küresel çelik endüstrisinde mühim bir konuma sahip olup Avrupa'nın önde gelen üreticileri arasında yer almaktadır. Bu sanayi istihdam, ihracat ve sanayi büyümesi bakımından millî ekonomi için hayati bir rol icra etmektedir. Son yıllarda rekabet gücünü tahkim etmek maksadıyla üretim kapasitesinin artırılması ve tesislerin modernizasyonuna yönelik yatırımlar devam etmiştir. Nitekim 2022 yılında ham çelik üretim tesisi sayısı 40'tan 41'e yükselmiştir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023).

Jeoekonomik bir nazarla bakıldığında demir çelik sanayinin ülkeler nezdinde üç farklı yaklaşımın tesiri altında şekillendiği değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki belirli bir coğrafi sahadaki doğal kaynakların kullanımı ve denetimine dayanan politik yaklaşımdır (O'Hara ve Heffernan, 2006). İkincisi küresel ekonominin bağlı olduğu yaşamsal ekonomik söylem çerçevesinde geliştirilen perspektiftir (Smith, 2002). Üçüncüsü ise uluslararası düzlemde sermaye ve finans hareketlerinin siyasi saiklerine odaklanan yaklaşımdır (Mercielle, 2008). Her üç çerçeve bakımından da demir çelik sanayinin ülkelerin sanayileşme stratejileri ve uluslararasılaşma süreçleri açısından ehemmiyet arz ettiği ifade edilmektedir.

Şekil 3. Demir Çelik Sanayi Değer Zinciri



Kaynak: Avinal ve arkadaşları (2019).

Şekil 3'te demir çelik sanayine ait değer zinciri madencilik safhasından nihai piyasa aşamasına kadar uzanan bütüncül bir silsile hâlinde tasvir olunmaktadır. Buna göre süreç kömür, koklaşabilir kömür ve kireçtaşı gibi doğal kaynakların temin edildiği madencilik merhalesi ile başlamakta müteakiben pik demir, demir cevheri, hurda, elektrik ve oksijen gibi girdilerin üretim sürecine dâhil edilmesiyle devam etmektedir. İstihsal safhasında slab, kütük, yassı ve uzun mamuller ile vasıflı çelik ve boru gibi muhtelif ürünler elde edilmektedir. Akabinde bu mamuller denizyolu, havayolu, demiryolu ve karayolu vasıtasıyla sevk ve nakledilmektedir. Nihayetinde söz konusu ürünler inşaat, altyapı, otomotiv, ulaştırma ve sair sanayi kollarında istifadeye sunulmaktadır. Bu itibarla şekil demir çelik sanayinin hammadde temininden lojistiğe ve nihai tüketim alanlarına kadar uzanan geniş ve çok katmanlı bir iktisadi değer zinciri teşkil ettiğini göstermektedir.

Bu çalışmada Türkiye çelik sanayinin güncel meseleleri de mevzubahis edilmiştir. Bu minvalde son beş yıla ait aktüel yazından edilen veriler sektörün çeşitli zorluklarla karşı karşıya bulunduğunu göstermektedir. Bilhassa Rusya-Ukrayna harbinin tesiriyle demir çelik sanayinde ciddi sıkıntılar baş göstermiş olup fiyatlardaki artışların konut, makine, otomotiv ve beyaz eşya gibi sektörlerle

de intikal edeceği uzmanlar tarafından ifade edilmektedir (Eser, 2022). Türkiye çelik sanayinin son yıllardaki seyri genel ekonomik büyüme trendinden farklı bir mahiyet arz etmektedir. Ulusal ekonomi 2022 ve 2023 senelerinde müspet büyüme kaydederken demir çelik sanayi aynı dönemlerde küçülme göstermiştir. Bununla beraber küresel kapasite kullanım oranlarına nispetle Türkiye çelik müstahsillerinin kapasite kullanımını düşük seviyelerde seyretmiştir (SteelOrbis, 2022). Bunlara ilâveten Rusya menşeli kütük ithalatındaki artış demir çelik sanayine menfi yönde tesir etmiş (Yayan, 2021), Avrupa'daki liderlik mevki kaybedilmiş ve Rusya, Çin ve Hindistan gibi ülkelerin iç piyasada ağırlık kazanmaya başladığı müşahede edilmiştir (Duran, 2023). Nihayet enerji ve hammadde maliyetlerindeki artışlar, korumacı tedbirler ve döviz kurlarındaki istikrarsızlık neticesinde sektörün ihracat gelirleri kayda değer ölçüde azalmıştır (Ertan, 2024). Derlenen aktüel haberlerin ve haberlerde yer verilen görüşlerin Türkiye demir çelik sanayinin yapısal mahiyeti ve istihsal kompozisyonu ile uyumlu oldukları görülmektedir.

Tan (1983) demir çelik sanayini en çok mesele ile karşılaşan sanayi kolu olarak ifade etmektedir. Bu minvalde bilhassa güncel müzakerelerde çevresel sorunların ehemmiyeti giderek artmaktadır. Mevcut ticaret anlaşmalarında çevresel meseleler henüz yüzeysel kalmakta olup zengin memleketler çevre kanunlarının gevşek veya mevcut olmadığı fakir ülkelerdeki düşük maliyetli üretime nispetle dezavantajlı duruma düşmekten şikâyet ederken az gelişmiş memleketler ise çevresel düzenlemeleri kendi iktisadi inkişafı için tehdit olarak görmektedirler (Kotler ve ark., 2000). Bu ikilem çelik sanayinde hem ekonomik rekabet gücünü muhafaza etmek hem de çevresel sürdürülebilirliği temin etmek gibi müzmin bir meseleyi ortaya koymaktadır. Öte yandan nadir toprak elementleri ve çeşitli metal yatırımları ülkemizin dış ticaret açığını kapatma potansiyeli taşımakla beraber demir çelik ürün gamında daha nitelikli ve katma değeri yüksek mahsullere teveccüh gösterilmesi elzemdir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022). Bu bağlamda sürdürülebilirlik ve çevre düzenlemelerine artan vurgu uluslararası çelik sanayini daha temiz ve enerji verimli usuller benimsemeye sevk etmektedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2023). Nitekim iklim tebeddülü ve çevresel bozulma Avrupa ve dünya için hayati bir tehlike teşkil etmekte olup Avrupa Birliği başta Çin olmak üzere birçok memleketin geniş teşvik tatbikatlarını ve çevreye hassas olmayan istihallerini tenkit etmektedir. Bu çerçevede sektörün dönüşüm vizyonu Türkiye'de Türkiye Çelik Sektörü Düşük Karbonlu Yol Haritası ile müesseseleşmiş ve EAF'lerde verimlilik artışı, hidrojen istimali hazırlıkları ve döngüsel ekonomi tatbikatlarını ihtiva eden stratejik hedefler tayin edilmiştir. Bu süreç Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı arasında Şubat 2024 tarihinde akdedilen mutabakat zaptı ile başlatılan Çelik

Sektöründe Sera Gazı Azaltımının Teşvik Edilmesi Projesi ve Türkiye Endüstriyel Karbonsuzlaştırma Yatırım Platformu vasıtasıyla desteklenmektedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2025). Bu nedenlerden hareketle çalışmanın istihsal usullerine göre çelik endüstrisi ve karbon münasebetini ele almakta olduğu ifade edilmektedir. Bu ele alış biçimine ilişkin veri kümesi yapısı ve metotlar takip eden bölümde sunulmaktadır.

4. Veri Kümesinin Yapısı ve Metot

Bu bölümde ilk olarak çalışmada kullanılan veri kümesinin yapısı, kapsamı ve temel özellikleri açıklanmaktadır. Ardından araştırmada başvurulan metot tanıtılmaktadır. Öncelikle veri kümesinin zaman aralığı, değişkenleri ve kaynakları ortaya konularak analizin tasarlandığı deneysel dayanak netleştirilmektedir. Devamında verilerin hangi usul ve esaslar doğrultusunda işlendiği ve hangi yöntemlerle analiz edildiği ele alınmaktadır. Böylelikle elde edilen bulguların hem istatistikî hem de iktisadî açıdan sağlıklı biçimde değerlendirilmesine zemin hazırlanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmanın veri kümesi oluşturulurken çelik sanayine dair verilerin seçiminde Türkiye’de demir çelik sanayinin üretim terkihi dikkate alınmıştır. Türkiye’de çelik üretiminin ekseriyetle elektrikli ve oksijenli üretim proseslerine dayanması diğer usullerin ise açıklanan istatistikler muvacehesinde 1990’lı yıllardan itibaren terk edilmiş bulunması sebebiyle analiz elektrikli ve oksijenli üretim değerleri üzerinden kurgulanmıştır. Veriler her bir kaynaktan yazar tarafından münferiden derlenerek bir araya getirilmiştir. Bu itibarla çalışmanın kapsadığı dönem bakımından erişilebilen en geniş zaman aralığı 1978-2024 olup veri kümesi bu çerçevede hazırlanmıştır. Serilerin hazırlanmasında 2002 sonrası için World Steel Association [WSA] (t.y.) tarafından yayımlanan World Steel in Figures, 2002 öncesi için ise Steel Statistical Yearbook raporları esas alınmıştır. Anılan seriler çalışmanın bağımsız değişkenleri olarak belirlenmiştir. Araştırmanın Türkiye’de ham çelik üretiminde karbon yoğunluğunun tarihsel seyrini tetkik etmeyi hedeflemesi hasebiyle karbon emisyonları değişkeni bağımlı değişken olarak uygulamaya alınmıştır. Bu değişkene ait veriler Global Carbon Budget (2025) kaynağından temin edilmiştir. Böylelikle veri kümesinin yapısı alanyazındaki boşluklar da göz önünde bulundurularak tesis edilmiş ve söz konusu yapıya dair bilgiler aşağıdaki tabloda arz edilmiştir.

Tablo 2. Serilerin Tanıtımı

Serinin Adı	Kısaltması	Birimi	Veri Kaynağı
Elektrikli üretim prosesi üretim miktarı	<i>ELC</i>	Mmt	WSA
Oksijenli üretim prosesi üretim miktarı	<i>OXG</i>	Mmt	WSA
Yıllık CO ₂ emisyonları	<i>CRB</i>	Mt	Global Carbon Budget

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 2’de yer alan *Mmt* kısaltması milyon metrik ton birimine tekabül etmektedir. WSA’nın 2000 yılına kadar verileri bin metrik ton, 2000 yılından sonra ise milyon metrik ton cinsinden açıklamış olması hasebiyle 2000 yılı öncesine ait veriler yazar tarafından milyon metrik tona tahvil edilmiştir. Benzer surette *CRB* serisine ilişkin verilerde de ondalıklı dönüşüm işlemi tatbik edilerek standart bir yapı temin edilmiştir. Bu itibarla çalışmada kullanılan zaman serisi analizleri uygulama türünden bağımsız olarak Eşitlik 1’de takdim edilen model üzerine kurgulanmıştır.

$$CRB_t = \beta_0 + \beta_1 ELC_t + \beta_2 OXG_t + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

Ekonometrik denklemler modeller değişkenler arasındaki neden sonuç ilişkisine dayalı olarak iktisadî teoriye muvafık biçimde belirli bir teorik varsayımı esas alan geleneksel modeller olarak telakki edilmektedir. Bununla birlikte özellikle son yıllarda teorik bir zemine dayanma zorunluluğu bulunmayan zaman serisi modellemelerinde kayda değer gelişmeler yaşandığı görülmektedir. Kurulan bir regresyon modelinde değişkenler arasındaki ilişkilerin geçmiş dönemlerde belirleyici olan unsurlar tarafından şekillendiği ve benzer etkilerin gelecekte de sürebileceği hususu dikkate alınarak yapılan tahmin uygulamaları önem kazanmıştır (Dikmen, 2018). Zaman serileri T örneklem büyüklüğünü göstermek üzere Z_t , $t = 1, 2, 3, \dots, T$ biçiminde ifade edilmektedir (Kıran, 2016). Zamana bağlı olarak tanımlanan değişkenlere ait gözlem değerlerinin kronolojik sırayla düzenlenmesiyle elde edilen seriler zaman serileri olarak adlandırılmaktadır (Dikmen, 2018). Bu çerçevede zaman serisi analizinde serilerin geçmiş değerlerinden hareketle belirli ölçüde öngörülebilir bulunmak mümkündür. Ancak gelecekte gerçekleşecek değerlerin de bir olasılık dağılımına tâbi olduğu göz ardı edilmemelidir. Bu sebeple zaman serisi analizlerinde tahminler çoğunlukla belirli bir güven bandı dâhilinde sunulmaktadır (Akgül, 1994). Zaman serileriyle yapılan çözümlemelerde verilerin deterministik ve rassal hususiyetlerinin birlikte dikkate alınması önem

arz etmektedir. Deterministik unsurlar arasında sabit, trend ve mevsimsellik bileşenleri sayılmaktadır. Rassal özellikler ise serilerin durağanlık yapısıyla ilişkilendirilmektedir (Dikmen, 2018). Bir zaman serisine ait veriler olayın mahiyetine göre iktisadî, sosyal ve benzeri pek çok faktörün tesiri altındadır. Bu faktörlerin zaman içerisinde farklı yön ve şiddette tezahür eden etkileri serilerde muhtelif dalgalanmalara yol açmaktadır. Nitekim zaman serileri analizlerinin temel gayelerinden biri de bu unsurları ayırtırmak suretiyle serinin gerçek yapısını ortaya koymak ve ileriki dönemlere ilişkin muhtemel gelişmeler hakkında tahminde bulunmaktır (Özoğuz, 1986). Eşitlik 4.1'de yer alan β_0 ve β_1 gibi parametreler kitle regresyon katsayıları olarak anılmaktadır. β_0 parametresi aynı zamanda sabit terim olarak ifade edilmekte ve doğrunun Y eksenini kestiği noktayı göstermektedir (Dikmen, 2018). Bu bağlamda sabit terimin bağımlı değişken için bir temel seviye teşkil ettiği ve diğer değişkenlerin etkileri değerlendirilmeden önce başlangıç noktasını tayin ettiği ifade edilmektedir. Özoğuz (1986) ise zaman serisi olgusunun belirli bir dönem içerisindeki yapısal eğilimini özetleyen trend bileşeninin tespit edilmesini diğer unsurların hesaplanmasına imkân tanınması bakımından en mühim unsur olarak değerlendirmektedir. Bu mülâhazalardan hareketle çalışmada öncelikle serilerin sabitli ve trendli yapıları ortaya konulmakta akabinde ise diğer bileşenler bu temel üzerinden incelenmektedir.

Zaman serisi verilerine dayalı ekonometrik tahlillerde karşılaşılan mühim meselelerden biri ele alınan serilerin durağan olmamasıdır. Değişkenler arasında iktisadî bakımdan anlamlı ve sahih ilişkiler tesis edilebilmesi için analiz edilen serilerin kuvvetli bir trend ihtiva etmemesi icap etmektedir. Şayet zaman serilerinde belirgin bir eğilim mevcut ise elde edilen ilişki gerçek olmaktan ziyade sahte regresyon mahiyetinde tezahür edebilmektedir. Nitekim birçok uygulamada her iki serinin de güçlü bir trend taşıması sebebiyle aralarında gerçek bir bağ bulunmasa dahi yüksek bir R^2 değeri elde edilebilmektedir. Bu durumda gözlenen yüksek açıklama gücü değişkenler arasındaki gerçek ilişkiden ziyade müşterek eğilimden kaynaklanmaktadır. Ekonometrik çalışmalarda kurulan regresyonun gerçek bir ilişkiyi mi yoksa yanıltıcı bir ilişkiyi mi ifade ettiği ilgili zaman serisinin durağanlık vasfına bağlı olarak değişmektedir. Değişkenler arası ilişkilerin istatistiksel bakımdan anlamlı addedilebilmesi için serilerin durağan özellik göstermesi gerekmektedir. Durağan olmayan serilerin mevcudiyeti pek çok standart hipotez testini geçersiz kılabilmektedir (Dikmen, 2018; Granger ve Newbold, 1974; Gujarati, 2006; Tarı, 1999; Uzgören ve Uzgören, 2005). Dikmen (2018) durağanlık kavramını zaman serisi verilerinin sabit bir ortalama etrafında dalgalanması ve bu dalgalanmanın varyansının zaman boyunca değişmemesi hâli olarak tarif etmektedir. Bir serinin uzun dönemdeki vasfı, değişkenin evvelki dönemde aldığı değer

cari dönemi ne suretle etkilediğinin tespitiyle anlaşılabilir. Bu sebeple serinin nasıl bir süreçten geldiğini kavrayabilmek için her dönemdeki değerinin önceki dönem değerleriyle regresyon ilişkisinin kurulması icap etmektedir (Uzgören ve Uzgören, 2005). Bu çerçevede herhangi bir serinin durağan olup olmadığının tayininde korelogram incelemeleri yahut birim kök testlerinden istifade edilmektedir. Korelogram testleri araştırmacının tercihine daha açık bir mahiyet arz ettiğinden belirli ölçüde takdir unsuru içermektedir. Buna mukabil Y_t ile Y_{t-1} arasındaki ilişkinin sınanması hususu alanyazında yaygın kabul gören birim kök testleri vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir (Dikmen, 2018). Bu itibarla çalışmada Augmented Dickey-Fuller (ADF), Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), Zivot-Andrews (ZA) ve Kapetanios-Shin-Snell (KSS) birim kök testleri tatbik edilmiştir. KSS testinin doğrusal olmayan yapısı mucibince söz konusu test uygulanmadan evvel seriler Brock-Dechert-Scheinkman (BDS) testi ile de ayrıca tetkik edilmiştir (Brock ve ark., 1996; Dickey ve Fuller, 1981; Kapetanios ve ark., 2003; Kwiatkowski ve ark., 1992; Zivot ve Andrews, 1992).

Geleneksel birim kök testleri arasında yer alan Dickey-Fuller (DF) testi serideki hata terimlerinin otokorelasyon ihtiva etmesi hâlinde tatbik edilememektedir. Bu gibi durumlarda zaman serisi analizlerinde gecikmeli ifadelerden istifade edilmek suretiyle hata terimlerinde zuhur eden otokorelasyon hâli bertaraf edilebilmektedir. Bu sebeple Dickey ve Fuller (1981) bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin bağımsız değişken olarak modele dâhil edilmesi suretiyle ADF olarak bilinen ve DF testi ile mukayesede aynı kritik değerleri kullanan birim kök testini geliştirmişlerdir (Atasert, 2022; Tarı, 2010). ADF birim kök testine ilişkin notasyon gösterimleri sabitli, trendli ve son olarak olarak sabitli ve trendli olmak üzere Eşitlik 4.2, Eşitlik 4.3 ve Eşitlik 4.4'te sunulmaktadır.

$$\Delta y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.2)$$

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.3)$$

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 Trend + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.4)$$

Serilerin durağan olarak kabul edilmesi α_1 katsayısının negatif ve istatistiksel bakımdan anlamlı bulunup bulunmamasıyla irtibatlıdır (Koç, 2023). Bu testte farklı anlamlılık düzeylerine ait kabul ve ret sınırlarının tayininde Monte Carlo simülasyonuna göre hesaplanan MacKinnon kritik değerlerinden istifade

edilmektedir. Bu çerçevede hesaplanan test istatistiğinin mutlak değeri itibarıyla MacKinnon kritik değerlerinden küçük olması serinin durağan olmadığına delalet etmektedir.⁵ ADF birim kök testine ilişkin hipotezlerin notasyon gösterimleri ise Eşitlik 4.5 ve Eşitlik 4.6'da yer almaktadır.

$$H_0 : \alpha_1 = 0 \quad (4.5)$$

$$H_1 : \alpha_1 < 0 \quad (4.6)$$

Bu çalışmada birim kök testlerine geçilmeden evvel model seçim kriterlerine ilişkin regresyon denklemleri çözümlenmiştir. Bu suretle uygulamaya esas alınan modelin Eşitlik 4.4'te yer alan model olduğu tespit edilmiştir. ADF birim kök testinde sıfır hipotezi serinin birim kök ihtiva ettiği şeklindedir. Bu çerçevede çalışmada yalnızca ADF testi ile iktifa edilmemiştir. Sıfır hipotezi seri durağandır biçiminde kurulan ve alanyazına Kwiatkowski ve arkadaşları (1992) tarafından kazandırılan KPSS birim kök testi de tatbik edilmiştir. KPSS testi birim kök testleri ile durağanlık testlerinin birbirini tamamlayıcı mahiyette ele alınması bakımından temayüz etmektedir (Yavuz, 2004). KPSS testinde serinin durağan olmadığı alternatif hipotezine mukabil serinin durağan olduğunu savunan temel hipotez Lagrange Multiplier (LM) istatistiği vasıtasıyla sınanmaktadır. Çağlayan ve Saçaklı (2006) KPSS test istatistiğine ilişkin notasyon adımlarını aşağıdaki şekilde sıralamaktadırlar:

$$y_t = x_t' \delta + u_t \quad (4.7)$$

$$LM = T^{-2} \sum_{t=1}^T S_t^2 / f_0 \quad (4.8)$$

$$S(t) = \sum_{r=1}^t \hat{u}_r \quad (4.9)$$

$$\hat{f}_0 = \hat{\gamma}_0 + 2 \sum_{j=1}^{T-1} K \left(\frac{q}{j} \right) \hat{\gamma}_j \quad (4.10)$$

5 DF testlerinde geleneksel yöntemlerle hesaplanan $\hat{\tau}$ istatistiği yerine τ testinin sıfır etrafında dağılmıyor olması nedeniyle τ (tau) istatistiği kullanılmaktadır bir başka ifadeyle DF testinde hesaplanan $\hat{\tau}$ istatistikleri bu teste ait hipotezlerin sınanmasında τ (tau) istatistiği olarak ifade edilmektedir. Alanyazında τ (tau) istatistiği DF test istatistiği olarak da anılmaktadır (Dikmen, 2018).

$$\gamma_j = T^{-1} \sum_{t=j+1}^T e_t e_{t-j} \quad (4.11)$$

Artıkların uzun dönem varyansının nonparametrik tahmincisine dayanan KPSS testi denklemi Eşitlik 4.7'de takdim edilmektedir. Eşitlikte yer alan x_t sabit veya sabit ve trendi ifade eden deterministik bileşene tekabül etmektedir. KPSS testinde test istatistiği, Eşitlik 4.8'in tatbiki neticesinde elde edilmektedir. Bu notasyonda T gözlem sayısını, S_t birikimli artık fonksiyonu göstermektedir. Mezkûr fonksiyon Eşitlik 4.9'da sunulan model ile hesaplanmaktadır. Sıfır frekansta artık spektrumun tahmincisi olan f_0 Eşitlik 4.10 aracılığıyla elde edilmekte ve Eşitlik 4.11 ile ifade edilmektedir. Eşitlik 4.10 notasyonunda yer alan K Kernel fonksiyonuna ve q ise bant genişliğine karşılık gelmektedir. KPSS testinde trendden arındırılan seride birim kökün bulunmaması serinin trend durağanlığını göstermektedir. KPSS testinin en mühim hususiyetlerinden biri de bir veya daha büyük bir hareketli ortalama süreci yapıya ihtiva eden serilerde ADF testinin aksine gücünün zayıflamamasıdır (Schwert, 1989; Torun, 2015). KPSS testinde LM test istatistikleri kritik değerlerle mukayese edilerek yorumlanmakta ve bu çerçevede sınaması yapılan hipotezler Eşitlik 4.12 ve 4.13'te yer almaktadır (Çağlayan ve Saçaklı, 2006).

$$H_0 : p < 1 \quad (4.12)$$

$$H_1 : p = 1 \quad (4.13)$$

Perron (1989) geleneksel birim kök testlerinden istifade ederek gerçekleştirdiği çalışmalarda tüm serilerin birim köklü bir yapı arz etmediği neticesine ulaşmıştır. Serilerin birim köklü olarak telakki edilmesinin başlıca sebepleri arasında makroekonomik değişkenlere ait zaman serilerinde zuhur eden fiyat şokları, iktisadî buhranlar yahut politika değişiklikleri gösterilmektedir. Son dönemde yapılan araştırmalarda ise yapısal kırılmaların mevcudiyetini ve konumunu tespit etmeye matuf çalışmalara daha fazla ağırlık verildiği müşahade edilmektedir (Allaro ve ark., 2011). Ekonometrik bir tahlilde yapısal kırılmaların nazar-ı dikkate alınmaması mühim istatistikî meselelere ve sistematik surette sapmalı neticelere sebebiyet verebilmektedir. Bu çerçevede alanyazında muhtelif yapısal kırılmalı birim kök testleri teklif edilmiştir. Bu çalışmada ise yapısal kırılmalı birim kök testleri arasında yer alan ZA birim kök testi uygulamaya alınmıştır.

ZA birim kök testi, Perron (1989)'un dışsal kırılma noktası varsayımına yöneltlen bir tenkit mahiyetinde alternatif hipotez altında trend fonksiyonunda tahmini bir kırılmaya müsaade eden bir prosedür olarak geliştirilmiştir

(Tıraşoğlu Yıldırım, 2014). ZA birim kök testi, yapısal değişikliklerin vuku bulduğu dönemlere ilişkin önceden herhangi bir bilgiye sahip olunmadığı hâllerde başvurulan yöntemler arasında zikredilmektedir. Bu testin iki mühim açıklaması şu şekilde ifade edilmektedir (Yurdakul, 2000): (1) Kırılma noktası içsel olarak tahmin edilmektedir. (2) Dışsal ve önceden belirlenmiş sabit bir zaman kırılma kukla değişkeni bulunmamaktadır.⁶ ZA yapısal kırılmalı birim kök testine ilişkin notasyon gösterimlerini aşağıda yer almaktadır (Çemrek ve Şeker, 2020):

$$y_t = \hat{\mu}^A + \hat{\alpha}^A y_{t-1} + \hat{\beta}^A t + \hat{\theta}^A DU_t(\hat{\lambda}) + \sum_{j=1}^k \hat{c}_j^A \Delta y_{t-j} + \hat{e}_t \quad (4.14)$$

$$y_t = \hat{\mu}^B + \hat{\alpha}^B y_{t-1} + \hat{\beta}^B t + \hat{\gamma}^B DT_t^*(\hat{\lambda}) + \sum_{j=1}^k \hat{c}_j^B \Delta y_{t-j} + \hat{e}_t \quad (4.15)$$

$$y_t = \hat{\mu}^C + \hat{\alpha}^C y_{t-1} + \hat{\beta}^C t + \hat{\theta}^C DU_t(\hat{\lambda}) + \hat{\gamma}^C DT_t^*(\hat{\lambda}) + \sum_{j=1}^k \hat{c}_j^C \Delta y_{t-j} + \hat{e}_t \quad (4.16)$$

Yukarıdaki eşitliklerde yalnızca sabitte kırılmaya izin veren model Eşitlik 4.14, yalnızca trendde kırılmaya izin veren model Eşitlik 4.15 ve hem sabitte hem de trendde kırılmaya izin veren model ise Eşitlik 4.16 olarak gösterilmektedir. Kukla değişkenlere ilişkin notasyonlar aşağıda yer almaktadır (Çemrek ve Şeker, 2020):

$$DU_t(\lambda) = \begin{cases} 1 & t > T\lambda \\ 0 & d.d. \end{cases} \quad (4.17)$$

$$DT_t^*(\lambda) = \begin{cases} t - TB & t > T\lambda \\ 0 & d.d. \end{cases} \quad (4.18)$$

Notasyonlarda $t = 1, 2, \dots, T$ zamanı, TB kırılma tarihini, λ kırılma noktasını DU_t sabitte kırılmayı ve DT_t^* eğimde kırılmayı göstermektedir. ZA birim kök testine göre birim kökün mevcudiyeti y_{t-1} 'in katsayısının istatistiksel açıdan anlamlılığı ile test edilmektedir. katsayısının istatistiksel bakımdan anlamlılığı ile sınıanmaktadır. Şayet t-istatistiği ZA kritik değerlerinden mutlak değer itibarıyla daha büyük ise ilgili değişkenin durağan olmadığı temel hipotezi reddedilmektedir (Yavuz, 2006; Yılancı, 2009).

Serilerin durağanlık özellikleri doğrusal birim kök testleri vasıtasıyla incelenmiş olmakla birlikte zaman serilerinin her hâlükârda doğrusal bir yapı arz ettiği varsayımı mutlak surette kabul edilememektedir. Zira iktisadî ve

6 Bu ifade orijinal çalışmada “bir zaman kukla değişkeni yoktur” şeklinde yer almaktadır. Bu çalışmaya uygulanması sırasında bu ifade metin içerisinde yer verildiği şekliyle genişletilmiştir.

finansal serilerde rejim değişimleri, ani şoklar yahut asimetrik tepkiler gibi unsurlar doğrusal olmayan dinamiklerin mevcudiyetine işaret edebilmektedir. Bu itibarla serilerde doğrusal olmayan bir yapının bulunup bulunmadığının ayrıca tahkik edilmesi icap etmektedir. Bu maksatla çalışmada doğrusal olmayan bağımlılık yapısının sınanmasına imkân veren BDS testine de yer verilmektedir. BDS testi doğrusal bağımlılık, doğrusal olmayan bağımlılık ve kaos da dahil olmak üzere bağımsızlıklardan olası sapmaları sınamak için tercih edilmektedir. BDS testi olarak aşağıda gösterilen notasyonlar aracılığıyla uygulanmaktadır (Sülkü ve Ülkmez, 2018).

$$C_{m,n}(\varepsilon) = \frac{1}{\binom{n}{2}} \sum_{1 \leq s < t} \sum_{s < t \leq n} I_n \left(\|x_s^m - x_t^m\| \right) \quad (4.19)$$

$$I_\varepsilon = \begin{cases} 1, & |x_s - x_t| < \varepsilon \\ 0, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.20)$$

Yukarıda gösterilen notasyonlarda m yerleştirme boyutu, n gözlem sayısı, ε gözlem çiftleri arasındaki fark, x filtrelenmiş modelin artıklarını yahut veri serisini ifade etmektedir. I_ε fonksiyonu ise gösterge fonksiyonu olarak tarif olunmaktadır. BDS testinde seçilen ε değeri gösterge fonksiyonundan daha küçük ise bir değerini sair hallerde ise sıfır değerini alacak surette tanımlanmaktadır (Sülkü ve Ülkmez, 2018).

Bu çalışmanın metot safhalarına doğrusal olmayan birim kök testleri arasında zikredilen KSS testi ile devam edilmektedir. KSS testinde bir zaman serisinin birim kök süreci izlemesine karşılık doğrusal olmayan durağan üssel yumuşak geçişli otoregresif süreç izlediği varsayılmaktadır. Testin uygulama adımlarının notasyon gösterimleri aşağıda sıralanmaktadır (Hepsağ ve Akçalı, 2015).

$$y_t = \beta y_{t-1} + \gamma y_{t-1} \left[1 - \exp(-\theta y_{t-1}^2) \right] + \varepsilon_t \quad (4.21)$$

$$\Delta y_t = \phi y_{t-1} + \gamma y_{t-1} \left[1 - \exp(-\theta y_{t-1}^2) \right] + \varepsilon_t \quad (4.22)$$

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} \left[1 - \exp(-\theta y_{t-1}^2) \right] + \varepsilon_t \quad (4.23)$$

$$\Delta y_t = \delta y_{t-1}^3 + \varepsilon_t \quad (4.24)$$

$$t_{NL} = \frac{\hat{\delta}}{s_{\hat{\delta}}} \quad (4.25)$$

Eşitlik 4.21'de y_{t-1}^2 geçiş değişkenine θ ise geçiş parametresine karşılık gelmektedir. Bu notasyonda $\phi = \beta - 1$ uygulaması yapıldığında Eşitlik 4.22'de gösterilen model elde edilmektedir. Bu modele $\phi = 0$ kısıtının getirilmesiyle elde edilen Eşitlik 4.23'teki modelde $\theta = 0$ hipotezini tanımlayabilecek kabiliyette γ bulunmadığından Kapetanios ve ark. (2003) Taylor açılımını kullanan Eşitlik 4.24'te sunulan yardımcı regresyon modelinden istifade etmişlerdir. Bu modelin test istatistiği ise 4.25'te sunulan notasyon vasıtasıyla elde edilmektedir. Eşitlik 4.24'te yer alan kübik değişken ESTAR doğrusal olmama durumuna tekabül etmektedir (Hepsağ ve Akçalı, 2015). Bu bağlamda mezkûr birim kök testinde $\theta = 0$ hipotezi alternatif hipotez olan $\delta < 0$ hipotezine karşı sınanmakta ve test istatistiğinin Kapetanios ve ark. (2003) tarafından elde edilen kritik değerlerden küçük olması durumunda birim kökün varlığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilememektedir. t_{NL} test istatistiğinin daha büyük hesaplanması durumunda seri özelinde ESTAR durağanlık hipotezi geçerli olmaktadır (Hepsağ ve Akçalı, 2015).

Bu noktaya kadar aktarılan bilgilerde çalışmada kullanılan birim kök testleri ve diğer destekleyici ön testler tanıtılmıştır. Aşağıda çalışma bakımından ADF, KPSS, ZA, BDS ve KSS testlerinin neden mühim addedildiği maddeler hâlinde izah olunmaktadır:

1. *ADF Birim Kök Testi*: Serilerin birim kök ihtiva edip etmediğinin tespiti suretiyle durağanlık derecelerinin belirlenmesini temin etmektedir. Karbon yoğunluğu, üretim miktarı ve proses türlerini kapsayan değişkenlerin seviyede mi yoksa farkta mı durağan olduklarının ortaya konulmasına hizmet etmektedir.
2. *KPSS Durağanlık Testi*: ADF testini tamamlayıcı mahiyette olup sıfır hipotezini seri durağandır şeklinde tesis etmesi itibarıyla mukayeseli bir değerlendirme imkânı sunmaktadır. Özellikle yapısal dönüşümlerin yaşandığı sektörlerde yanlış birim kök kararlarının önüne geçilmesine katkı sağlamaktadır. Elde edilen durağanlık bulgularının sağlamlasının yapılmasına vesile olmaktadır.
3. *Zivot Andrews Yapısal Kırılmalı Birim Kök Testi*: Çelik sektöründe teknoloji değişimi, çevresel dönüşümler ve küresel krizler gibi yapısal kırılmaların vuku bulmuş olması ihtimalini nazar-ı dikkate almaktadır. Kırılma noktasını içsel olarak tahmin etmek suretiyle karbon yoğunluğu serisindeki muhtemel rejim değişimlerini tespit etmeye

imkân vermektedir. Yapısal kırılmaların ihmal edilmesi hâlinde ortaya çıkabilecek sapmalı sonuçların önüne geçmektedir.

4. *BDS Testi*: Serilerde doğrusal olmayan bağımlılık yapısının bulunup bulunmadığını sınıamaktadır. Oksijenli ve elektrikli proseslerin karbon yoğunluğu üzerindeki etkilerinin doğrusal bir yapı arz edip etmediğinin tahkikine imkân vermektedir. Doğrusal olmayan birim kök testlerine geçiş için metodolojik bir dayanak teşkil etmektedir.
5. *KSS Doğrusal Olmayan Birim Kök Testi*: Serilerde doğrusal olmayan uyum mekanizmalarının varlığı ihtimalini dikkate almaktadır. Karbon yoğunluğunun çevresel baskılar yahut maliyet unsurlarına asimetric tepkiler verebilmesi ihtimalini sınıamaktadır. Doğrusal testlerin yetersiz kalabileceği hâllerde daha isabetli durağanlık sonuçları elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu suretle söz konusu testler birlikte ele alındığında karbon yoğunluğunun zaman içerisindeki seyrinin hem doğrusal hem de doğrusal olmayan dinamikler çerçevesinde ve ayrıca yapısal kırılmalar dikkate alınarak tahlil edilmesine imkân vermektedir. Zaman serisi analizlerinde hangi yöntem, hesaplama ve testlerin tercih edileceğinin tayini muhtelif tespit usulleri vasıtasıyla gerçekleştirilebilmekte olup ekseriyetle verilerin durağan olup olmama hâline göre belirlenmektedir. Eşbütünleşme yaklaşımı ise zaman serilerinin durağan olmaması durumunda fark alma işlemi ile durağanlaştırılan serilerin değişkenleri etkileyen dışsal şoklara rağmen aralarında uzun dönemli bir denge ilişkisinin mevcut olabileceğini ifade etmektedir (Dikmen, 2018).

Alanyazında yaygın surette yer bulan eşbütünleşme testlerinin, hata terimine dayalı iki aşamalı Engle ve Granger (1987) yöntemi ile sistem yaklaşımına dayalı Johansen (1988) ve Johansen ve Juselius (1990) yöntemleri olduğu görülmektedir (Alaskar and AlAli, 2024; Alsabhan and Alabdulrazag, 2024; Tang and Wang, 2025). Bu yöntemlerin tatbik edilebilmesi için modeldeki değişkenlerin düzeyde durağan olmaması ve birinci farkları alındığında durağan hâle gelmesi icap etmektedir (Pesaran et al., 2001). Eşbütünleşme dereceleri farklı serilere ilişkin ortaya çıkan müşkülleri Pesaran and Shin (1999) ile Pesaran et al. (2001) tarafından alanyazına teklif edilen Gecikmesi Dağıtılmış Otogresif Sınır Testi (Autoregressive Distributed Lag Bound Test [ARDL]) yaklaşımı gidermektedir. Mezkûr yaklaşım değişkenlerin bütünleşme derecelerine bakılmaksızın eşbütünleşme ilişkisinin araştırılmasına imkân tanımaktadır. ARDL modeli serilerin $I(2)$ olmaması şartıyla $I(0)$ ve $I(1)$ düzeyinde bulunabilmesine cevaz vermektedir (Abbas et al., 2024; Shahbaz et al., 2023; Qu et al., 2024). Bilâhare Shin et al. (2014) tarafından bu model asimetric ilişkileri de ihtiva edecek surette geliştirilmiş ve Doğrusal Olmayan

Gecikmesi Dağıtılmış Otoresresif Sınır Testi (Nonlinear Autoregressive Distributed Lag [NARDL]) modeli alanyazına kazandırılmıştır (Ahmed et al., 2023; Quan et al., 2024). NARDL yöntemine ilişkin notasyon gösterimleri aşağıda sıralanmaktadır (Göksu ve Balkı, 2023).

$$Y = f(X_{1t} + \varepsilon_t) \tag{4.26}$$

$$Y = f(X_{1t}^+, X_{1t}^-) \tag{4.27}$$

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t}^+ + \beta_2 X_{1t}^- + \mu_t \tag{4.28}$$

$$X_{1t}^+ = \sum_{i=1}^t \Delta X_{1i}^+ = \sum_{i=1}^t \max(\Delta X_{1i}, 0) \tag{4.29}$$

$$X_{1t}^- = \sum_{i=1}^t \Delta X_{1i}^- = \sum_{i=1}^t \min(\Delta X_{1i}, 0) \tag{4.30}$$

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=0}^l \beta_{2i} \Delta X_{1t-i}^+ + \sum_{i=0}^m \beta_{3i} \Delta X_{1t-i}^- + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 X_{1t-1}^+ + \alpha_3 X_{1t-1}^- + \mu_t \tag{4.31}$$

NARDL yönteminin tatbikine bağımsız değişkenlerin (+) ve (−) formda iki ayrı değişken hâline ayrıştırılması suretiyle başlanmaktadır. Eşitlik 4.26’da modelin simetrik form yapısı gösterilmektedir. Bunu müteakiben Eşitlik 4.27 ve Eşitlik 4.28’de modelin asimetrik yapıları yer almaktadır. Bu çerçevede Eşitlik 4.29 ve 4.30 ise modeldeki verilerin ayrışma sürecine işaret etmektedir. Mezkûr eşitliklerden hareketle Eşitlik 4.31’de Shin ve arkadaşlarının (2014) geliştirmiş oldukları spesifikasyona dayalı olarak tahmin edilecek doğrusal olmayan model ortaya konulmaktadır. Yukarıdaki notasyonlarda Δ simgesi fark operatörünü, μ_t simgesi hata terimlerini, β_0 sabit terimi, β_1 , β_2 ve β_3 kısa dönem katsayılarını, α_1 , α_2 ve α_3 uzun dönem katsayılarını k , l ve m ise gecikme uzunluklarını ifade etmektedir (Göksu ve Balkı, 2023). Belirtmek gerekir ki NARDL yaklaşımı, asimetrik eşbütünleşmeyi modellemek suretiyle uzun ve kısa vadede asimetrik etkilerin incelenmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca doğrusal olmama ile durağan olmama hâlinin müşterek analizi sınırsız bir hata düzeltme modeli aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir (Karaçayır ve Bezgin, 2021). NARDL yönteminde eşbütünleşmenin sınanmasında *F – Bounds* ve *t – Bounds* sınır testlerinden istifade edilmektedir. İlâveten, uzun ve kısa dönem asimetrik ilişkilerin mevcudiyetinin tespitinde Wald testi kullanılmaktadır. Bu çalışmada uzun dönem ilişkiler sınanıldığından Wald testine

ilişkin uzun dönem sıfır ve alternatif hipotezler aşağıda takdim edilmektedir (Göksu ve Balkı, 2023).

$$H_0 = \frac{\alpha_2}{-\alpha_1} = \frac{\alpha_3}{-\alpha_1} \quad (4.32)$$

$$H_A = \frac{\alpha_2}{-\alpha_1} \neq \frac{\alpha_3}{-\alpha_1} \quad (4.33)$$

Bu çalışmada NARDL yaklaşımının seçilmesinde belirlenen amaçlar aşağıda numaralandırılarak gösterilmektedir.

1. Yöntemin elektrikli üretim ile oksijenli üretimde meydana gelen artış ve azalışların karbon emisyonu üzerindeki uzun dönem etkilerini ayrı ayrı tahmin etmeye imkân vermesi,
2. Üretim kompozisyonundaki değişimlerin karbon emisyonu üzerinde simetrik mi yoksa asimetrik mi tesir icra ettiği tespit edilebilmesi,
3. Üretim süreçlerindeki yapısal dönüşümün karbon emisyonu üzerindeki kalıcı tesirleri iktisadî bakımdan daha sağlıklı şekilde değerlendirilebilmesidir.

İktisatta ve ekonometride nedensellik değişkenler arasındaki ilişkinin bir değişkendeki değişimin diğerini hangi istikamette ve ne ölçüde etkilediğini ortaya koymak bakımından mühim addedilmektedir. Bu ayrım politika önerilerinin isabetli surette tesis edilmesi ve hatalı çıkarımlardan içtinap edilmesi açısından belirleyici bir mahiyet arz etmektedir. Zira korelasyonun mevcudiyeti tek başına iktisadî bir müdahaleyi meşru kılmamaktadır. Esas olan sebep sonuç bağının teknik surette teyit edilmesidir. Granger (1969) nedensellik testlerine ilişkin ilk sistematik analizler arasında yer almaktadır. Diğer yöntemlerde olduğu üzere nedensellik testleri de zaman içerisinde muhtelif alternatiflerle gelişim göstermiştir. Toda-Yamamoto (1995) ve sair nedensellik testlerinde pozitif değişmelerin nedensellik etkileri negatif değişmeler ile aynı kabul edilerek analizler icra edilmektedir. Ne var ki günümüz şartlarında karar vericilerin değişkenlerdeki pozitif ve negatif şoklara verdikleri tepkilerin yeknesak olmadığı izahıtan varestedir. Hatemi J (2012) çalışmasında değişkenlerdeki pozitif ve negatif şokları birbirinden tefrik ederek bu şokların muhtemel etkilerini ayrı ayrı nazar-ı dikkate alan bir nedensellik testi geliştirmiştir (Emeç ve Yarbaşı, 2018). Pozitif ve negatif şoklar arasındaki ilişkinin değişkenlerin genel ilişkilerinden farklı olabileceğini ileri süren Granger ve Yoon (2002) ise veriyi birikimli pozitif ve negatif değişmelere ayırarak söz konusu bileşenler arasındaki uzun

dönemli ilişkiyi sınımlamışlardır. Hatemi J (2012), Granger ve Yoon'un (2002) yaklaşımını nedensellik ilişkisi çerçevesinde geliştirerek asimetrik nedensellik testini alanyazına kazandırmıştır. Hatemi J (2012) asimetrik nedensellik testinde pozitif ve negatif şokların kümülatif toplamları aracılığıyla asimetriye izin verilmektedir (Dineri ve Işık, 2021; Hatemi J, 2012). Testin notasyon gösterimleri Şak (2021) çalışması esas alınarak aşağıda sıralanmaktadır.

$$X_{1t} = X_{1t-1} + e_{1t} = X_{10} + \sum_{i=1}^t e_{1i} \quad (4.34)$$

$$X_{2t} = X_{2t-1} + e_{2t} = X_{20} + \sum_{i=1}^t e_{2i} \quad (4.35)$$

$$e_{1i} = e_{1i}^+ + e_{1i}^- \quad (4.36)$$

$$e_{2i} = e_{2i}^+ + e_{2i}^- \quad (4.37)$$

$$X_{1t} = X_{1t-1} + e_{1t} = X_{10} + \sum_{i=1}^t e_{1i}^+ + \sum_{i=1}^t e_{1i}^- \quad (4.38)$$

$$X_{2t} = X_{2t-1} + e_{2t} = X_{20} + \sum_{i=1}^t e_{2i}^+ + \sum_{i=1}^t e_{2i}^- \quad (4.39)$$

$$X_{1t}^+ = \sum_{i=1}^t e_{1i}^+ \quad (4.40)$$

$$X_{1t}^- = \sum_{i=1}^t e_{1i}^- \quad (4.41)$$

$$X_{2t}^+ = \sum_{i=1}^t e_{2i}^+ \quad (4.42)$$

$$X_{2t}^- = \sum_{i=1}^t e_{2i}^- \quad (4.43)$$

$$X_t^+ = X_{1t}^+, X_{2t}^+ \quad (4.44)$$

$$X_t^- = X_{1t}^-, X_{2t}^- \quad (4.45)$$

$$X_t^+ = \mu + A_1 X_{t-1}^+ + \dots + A_p X_{t-p}^+ + w_t^+ \quad (4.46)$$

$$X_t^- = \mu + A_1 X_{t-1}^- + \dots + A_p X_{t-p}^- + w_t^- \quad (4.47)$$

Eşitlik 4.34 ve Eşitlik 4.35'te yer alan X_{10} ve X_{20} ifadeleri değişkenlerin başlangıç değerlerini göstermektedir. Hatemi J (2012) tarafından şok olarak tanımlanan hata terimleri ise pozitif ve negatif bileşenlerine ayrıştırılmakta ve bu ayrım Eşitlik 4.36 ve Eşitlik 4.37'de pozitif ve negatif şoklar şeklinde ifade edilmektedir. Söz konusu ayrıştırılmış hata terimleri Eşitlik 4.34 ve Eşitlik 4.35'te ilgili yerlere ikame edildiğinde, Eşitlik 4.38 ve Eşitlik 4.39'da yer alan yeni notasyonlara ulaşılmaktadır. Eşitlik 4.40-4.43'te ise pozitif ve negatif hata terimlerinin kümülatif toplamları esas alınarak tanımlanan değişkenler gösterilmektedir. Bu kümülatif bileşenler arasındaki nedensellik ilişkisi VAR yapısı çerçevesinde kurulan denklemler aracılığıyla incelenmektedir. Bu bağlamda Eşitlik 4.46 ve Eşitlik 4.47'de yer alan modeller pozitif ve negatif kümülatif şoklar arasındaki nedensellik ilişkilerini temsil etmektedir. Söz konusu modellerde A katsayılar matrisini, w_t ise hata terimleri vektörünü ifade etmektedir. Nedenselliğin bulunmadığını ileri süren sıfır hipotezini sınamak amacıyla serbestlik derecesi kısıt sayısına (p) ve χ_p^2 dağılımına sahip Wald test istatistiği hesaplanmaktadır. Elde edilen test istatistiği bootstrap simülasyonu yoluyla belirlenen kritik değerlerle karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Böylece değişkenler arasında asimetric nedensellik ilişkisinin var olup olmadığı tespit edilmektedir (Hatemi J, 2012; Şak, 2021). Bu çalışmada Hatemi J asimetric nedensellik testinin kullanılmasının amaçları şu şekilde özetlenmektedir:

1. Elektrikli üretimde üretilen çelik ile oksijenli üretimde üretilen çelikte meydana gelen artış ve azalışların karbon yoğunluğu üzerindeki nedensel etkilerini pozitif ve negatif şoklar itibarıyla ayrı ayrı tespit etmek ve böylelikle üretim kompozisyonundaki değişimlerin karbon yoğunluğunu simetric mi yoksa asimetric mi etkilediğini ortaya koymak,
2. Üretim türleri ile karbon yoğunluğu arasındaki nedensel ilişkinin yönünü şok ayrıştırması çerçevesinde belirleyerek özellikle düşük karbonlu üretim stratejilerinin uzun vadeli çevresel etkilerine dair daha isabetli politika çıkarımlarında bulunmak.

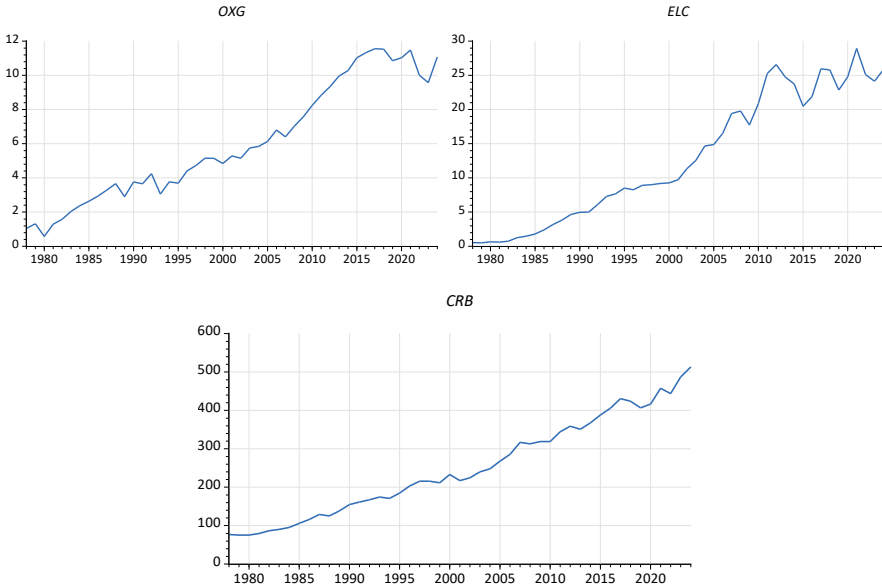
Bu çalışmada veri setinin düzenlenmesinde ve birim dönüştürme işlemlerinde Microsoft Excel 16.0 (Microsoft, 2016), Birim kök testleri ve NARDL uygulamasında Eviews ve NonStat (Eviews, 2022; NonStat, t.y.) ve Hatemi J nedensellik testlerinde ise Gauss 14.0 (Aptech, t.y.) paket programları ve yazılımlarından istifade edilmiştir. Yukarıda tafsil edilen yöntem

ve testler çerçevesinde gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen bulgular, müteakip bölümde ayrıntılı olarak takdim edilmekte ve iktisadî bakımdan yorumlanmaktadır.

5. Bulgular

Bu başlık altında veri seti ve yöntem bölümünde ayrıntılarıyla izah edilen ekonometrik analiz süreçlerinin tatbiki neticesinde elde edilen bulgular ilgili alanyazından gelen dayanaklarla birlikte mukayeseli bir biçimde ortaya konulmaktadır. Bu bağlamda ilk olarak serilerin zaman yolu grafikleri Şekil 4'te sunulmaktadır.

Şekil 4. Serilerin Zaman Yolu Grafikleri



Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 4'te yer alan *ELC* serisi incelendiğinde 1980'li yılların ilk dönemlerinden itibaren serinin genel olarak yukarı yönlü bir seyir izlediği görülmektedir. Bu seyrin muntazam ve doğrusal olmaması dikkat çekmektedir. Bilhassa 2000'li yılların orta döneminden itibaren yükseliş ivmesinin arttığı dönemsel iniş çıkışlara rağmen serinin uzun vadeli eğiliminin müspet kaldığı anlaşılmaktadır. Bu durum elektrikli üretim prosesinin zaman içerisinde önem kazandığına işaret etmektedir. *OXG* serisi ise benzer şekilde artış yönlü bir seyir takip etmekle birlikte seride 2000'li yılların ortalarına kadar ılımlı bir yükseliş söz konusu iken müteakip dönemlerde seviyelerin yüksek kalmasına rağmen dönemsel gerilemeler barındırdığı görülmektedir. Bu vaziyet görece daha az

ivmeli de olsa oksijenli proses üretiminin genel büyüme trendini muhafaza ettiği ancak kısa vadede oynak bir yapı sergilediği şeklinde yorumlanmaktadır. *CRB* serisi dikkate alındığında serinin daha düzenli ve istikrarlı bir artış patikası arz ettiği görülmektedir. 1980'lerden 2000'lere kadar kademeli bir yükseliş gösteren *CRB* serisinin 2005 sonrası dönemde yapısal bir genişleme yaşadığını ifade etmek mümkündür.

1980'li yılların ikinci yarısında başlangıçta yalnızca haddehane olarak faaliyet gösteren tesislerin müteakiben EAF dönüşümlerini ikmal ederek üretime başlamaları *ELC* serisindeki artışla izah edilmektedir. Keza Türkiye'nin üretim yapısının büyük ölçüde EAF'li tesislere müstenit olması keyfiyetinin de söz konusu serinin zaman yolu grafiğine açıkça aksettği değerlendirilmektedir (Bıyık ve Özkale, 2017; Yaşar, 2009). *OXG* serisinde müşahede edilen dönemsel gerilemelerin ise esasen birkaç yapısal ve konjonktürel saikle irtibatlandırılması mümkündür. Bunlar 2008 küresel finans krizi kaynaklı talep şokları, enerji maliyetlerindeki artış ve Türkiye çelik sanayinin zaman içerisindeki elektrikli prosese doğru tedricî bir temayüle sahip olması olarak sayılmaktadır (Tamsöz ve Elmas, 2021; Taşdelen ve Çetiner, 2022; The Carbon Compass, t.y.). *CRB* serisinin zaman yolu grafiği tahmin edildiği üzere nüfus ve üretim dinamikleriyle mütenasip biçimde bir artış sergilemektedir. Serilerin özet istatistiklerine ilişkin değerler Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Özet İstatistikler

İstatistik	<i>CRB</i>	<i>ELC</i>	<i>OXG</i>
Ortalama	251,5553	12,9878	6,0431
Ortanca	224,3198	9,7200	5,1520
En yüksek değer	513,0346	28,9264	11,5500
En düşük değer	75,1393	0,5040	0,5720
Standart sapma	128,0624	9,3845	3,4300
Çarpıklık	0,3019	0,1705	0,2745
Basıklık	1,9087	1,5411	1,7728
Jarque-Bera	3,0463	4,3956	3,5393
Olasılık değeri	0,2180	0,1110	0,1704
Gözlem sayısı		47	

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 3 incelendiğinde *CRB* serisinin ortalamasının *ELC* ve *OXG* serilerine kıyasla belirgin biçimde daha yüksek olduğu görülmektedir. Her üç seride de medyan değerlerinin ortalamasının altında kalması dağılımın sağa

doğru hafifçe çarpık olduğuna işaret etmektedir. Keza alanyazında çarpıklık katsayısının -1 ile +1 arasında vâki olması durumunda basıklık katsayısının da -2 ile +2 sınırları içinde kalmasının lüzumu ifade olunmaktadır (Uysal ve Kılıç, 2021). Bu ifadeye uygun biçimde çarpıklık ve basıklık katsayıları ise her üç serinin de aşırı sapma göstermediğine delalet etmektedir. Standart sapma değerleri özellikle *CRB* serisinde değişkenliğin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum *CRB* serisindeki dalgalanmaların görece daha fazla olduğunu düşündürmektedir. Normal dağılım kaideleri mucibince Jarque-Bera değerinin beşten küçük ve olasılık değerinin ise 0,05'ten yüksek olması beklenmektedir. Olasılık değerinin 0,05'ten yüksek olması durumu hataların normal dağıldığı şeklinde yorumlanmaktadır (Dereli, 2014; Teyyare, 2018) Jarque-Bera testinin olasılık değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde olması serilerin normal dağılım varsayımını reddetmeyi gerektirecek bir kanıt sunmamaktadır. Bu itibarla verilerin genel yapısının istikrarlı ve analize elverişli olduğu değerlendirilmektedir. Birim kök testlerinin tatbikinden evvel serilerin model seçim esaslarının belirlenmesi amacıyla uygulanan regresyon sonuçları aşağıda yer almaktadır.

Tablo 4. Birim Kök Testi Model Seçim Sonuçları

Model	<i>CRB</i>	<i>ELC</i>	<i>OXG</i>
Sabitli	7,3843 [0,0000]	-3,7628 [0,0000]	1,9169 [0,0616]
Trendli	46,8582 [0,0000]	28,3435 [0,0000]	27,2732 [0,0000]

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4'te yer alan değerlerde parantez içlerindeki sayılar olasılık değerlerini ifade etmektedir. Diğer nicel bulgular ise serilerde uygulanan regresyonun t-istatistik değerlerine karşılık gelmektedir. Bu bilgilerden hareketle *CRB* ve *ELC* serilerinde sabitli ve trendli modeller için test istatistiklerinin anlamlı oldukları görülmektedir ($p < 0,05$). *OXG* serisinde ise sabitli modelin olasılık değeri 0,0616 olarak elde edilmiş olmasına rağmen olasılık değerine yakınlığı nedeniyle de bu seri için sabitli ve trendli model kullanımı tercih edilmektedir. Bu bağlamda serilerin birim kök testlerinde hem sabitli hem de trendli modellerin tatbik olunabileceği anlaşılmaktadır. Serilere uygulanan geleneksel birim kök testi sonuçları aşağıda yer almaktadır. Öncelikle uygulanan ADF birim kök testine ilişkin bulgular Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5. ADF Birim Kök Testi Sonuçları

Seriler	t-istatistiği	Kritik Değerler			Olasılık
		%1	%5	%10	
<i>CRB</i>	-2,2955	-4,1705	-3,5107	-3,1855	0,4278
<i>ELC</i>	-2,8773	-4,1705	-3,5107	-3,1855	0,1790
<i>OXG</i>	-2,3513	-4,1705	-3,5107	-3,1855	0,3991
ΔCRB	-4,8583	-2,6173	-1,9483	-1,6122	0,0000
ΔELC	-5,6668	-2,6173	-1,9483	-1,6122	0,0000
ΔOXG	-6,6631	-2,6173	-1,9483	-1,6122	0,0000

Δ simgesi serilerin birinci farkına karşılık gelmektedir.

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

ADF birim kök testinin Dickey-Fuller tabanlı olması ve Dickey-Fuller birim kök testinin ise otokorelasyonsuzluk varsayımı sebebiyle Eviews programında gecikme uzunluğu ayarları “*user specified*” sekmesine “0” olarak girilmiştir (Dikmen, 2018). *CRB*, *ELC*, *OXG*’ye mahsus t-istatistik değerlerinin sırasıyla 2,2955, 2,8773, 2,3513 oldukları ve bunların tümünün tüm kritik değerlerden mutlak değerce küçük oldukları nazara alındığında serilerin düzey değerlerinde birim kök içerdikleri sonucuna ulaşılmaktadır. Serilerin birinci farkları alındığında ise tüm t-istatistik değerlerinin mutlak değerce tüm kritik değerlerden büyük oldukları görülmektedir. Bu durumda ise H_0 hipotezi reddedilerek serilerin birim köke sahip olmadıkları ve tüm anlamlılık düzeylerinde $I(1)$ oldukları ifade edilmektedir. ADF birim kök testinin sınaması olarak da ifade edilen KPSS durağanlık testi sonuçlarına Tablo 6’da yer verilmiştir.

Tablo 6. KPSS Durağanlık Testi Sonuçları

Seriler	LM	Asm. Kritik Değerler		
		%1	%5	%10
<i>CRB</i>	0,1716	0,2160	0,1460	0,1190
<i>ELC</i>	0,0920	0,2160	0,1460	0,1190
<i>OXG</i>	0,0977	0,2160	0,1460	0,1190
ΔCRB	0,3312	0,7390	0,4630	0,3470
ΔELC	0,0561	0,7390	0,4630	0,3470
ΔOXG	0,0781	0,7390	0,4630	0,3470

Δ simgesi serilerin birinci farkına karşılık gelmektedir. Bant genişliği olarak Andrews kullanılmıştır.

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 6'ya göre serilerin düzey değerleri itibarıyla *ELC* ve *OXG* serilerine ait LM istatistiklerinin %5 anlamlılık seviyesi için kritik değerden küçük oldukları görülmektedir. Bu durumda bu seriler özelinde H_0 hipotezinin kabul edilerek serilerin durağan olduğunu ifade etmek mümkündür. *CRB* serisinin ise %5 anlamlılık seviyesi için durağan olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Fark serileri incelendiğinde ($\Delta CRB = 0,3312$, $\Delta ELC = 0,0561$ ve $\Delta OXG = 0,0781$) değerlerinin tüm anlamlılık seviyelerinde kritik değerlerin altında kaldıkları ve bu durumda serilerin durağan oldukları bulgusuna ulaşılmaktadır. ADF birim kök testine ilişkin sonuçlar *CRB*, *ELC* ve *OXG* serilerinin önceki dönemlerde ortaya çıkan şokların etkisi altında kaldıklarını göstermektedir. KPSS durağanlık testi sonuçlarına göre ise *CRB* serisi hariç olmak üzere *ELC* ve *OXG* serilerinin önceki dönem şokları etkisinde kaldıklarını ifade etmek mümkündür. ADF birim kök ve KPSS durağanlık testlerinin muhtelif neticeler vermesi sebebiyle yapısal kırılmaları dikkate alan birim kök sınamaları ile analizlere devam edilmektedir.

Tablo 7. ZA Sonuçları

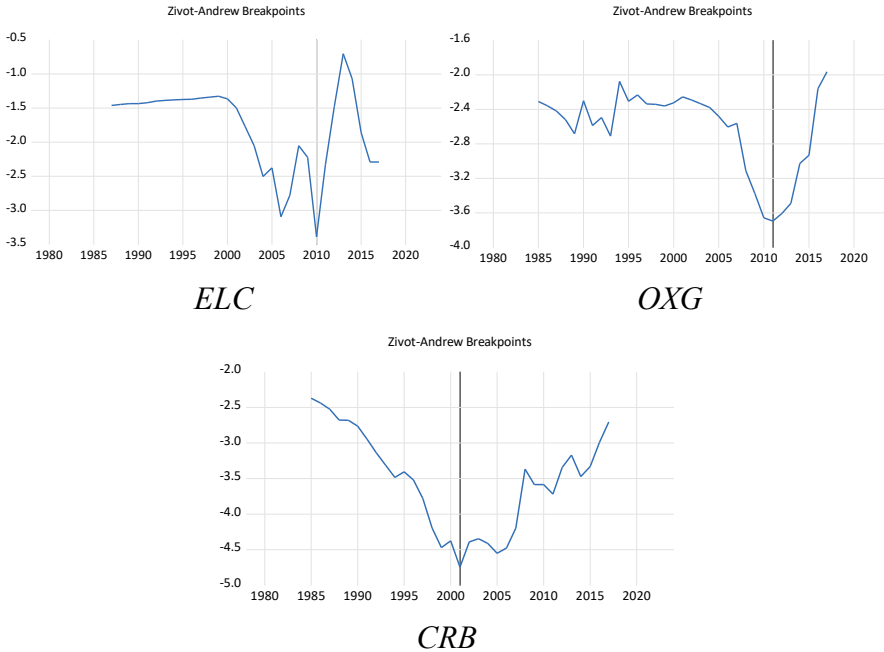
Seriler	t-istatistiği	Kritik Değerler			Olasılık
		%1	%5	%10	
CRB	-4,7443	-5,57	-5,08	-4,82	0,0531
ELC	-3,3862	-5,57	-5,08	-4,82	0,0089
OXG	-3,6949	-5,57	-5,08	-4,82	0,0096
Δ CRB	-5,8075	-5,34	-4,93	-4,58	0,2654
Δ ELC	-10,0881	-5,34	-4,93	-4,58	0,0025
Δ OXG	-8,4847	-5,34	-4,93	-4,58	0,0211

Δ simgesi serilerin birinci farkına karşılık gelmektedir. Tüm düzeylerde gecikme uzunluğu 2 olarak belirlenmiş ve farkı alınmış serilerde trendli yaklaşım benimsenmemiştir.

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

ZA yapısal kırılmalı birim kök testi sonuçlarının düzey değerlerinden elde edilen yapısal kırılma tarihleri Şekil 5'te yer almaktadır.

Şekil 5. ZA Yapısal Kırılma Dönemleri



Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 7 incelendiğinde *ELC* ve *OXG* serilerinin t-istatistik değerlerinin kritik değerlerden mutlak değerce küçük oldukları görüldüğünden bu serilerin yapısal kırılmalarla birlikte birim köke sahip oldukları ifade edilmektedir. *CRB* serisinde istatistik değerleri diğer değerlere göre daha sınırdan da olsa benzer bir durum gözlemlenmektedir. Serilerin birinci farkları alındığında elde edilen t-istatistiği değerlerinin kritik değer mertebelerinin üzerinde kaldıkları görülmektedir. Şekil 5'e göre yapısal kırılmalar *ELC* serisi için 2010, *OXG* serisi için 2011 ve *CRB* serisi için 2001 senelerinde vuku bulmaktadır.

2010 dönemi 2008 krizinin son etkilerinin görüldüğü bir döneme karşılık gelmektedir. Bu bağlamda işletmelerin özellikle 2005-2007 döneminde genel olarak kâr, ciro, üretim ve iç satış gibi oranlarını arttırdığı bilinmekte ve krizle birlikte de bu oranların sert düşüşler kaydettiği ifade edilmektedir (Çetin ve ark. 2011). 2011 yılında ise yassı ürün ithalatında büyük ölçüde devlet sübvansiyonlarıyla üretim yapan ülkelerden 6,4 milyon tonluk yassı ürün alımının gerçekleşmesi sektör açısından olumsuz bir gelişme olarak telakki edilmektedir. Bu durum aynı zamanda yassı ürünlerdeki kapasitenin sadece %30'unun kullanılmasıyla yani tam olarak kullanılamamasıyla ilişkilendirilmektedir (Arolat, 2011). Hülâsa *ELC* ve *OXG* serilerinde tespit edilen yapısal kırılma dönemlerinde Türkiye'de elektrikli üretim proseslerinde gözlenen kapasite artışlarının, 2008 küresel finans krizini müteakip hız kazanan toparlanma çabalarının, küresel çelik fiyatlarındaki yükselişin, dünya genelindeki çelik arz fazlalığının ve haksız rekabet uygulamalarının müşterek etkisiyle şekillendiği değerlendirilmektedir. Bununla beraber söz konusu dönemlerde Türkiye çelik sanayinin ham çelik üretiminin 2010 yılında 29,14 milyon ton seviyesinde iken 2011 yılında yüzde 17'lik bir artış göstererek 34,1 milyon tona baliğ olduğu müşahade edilmektedir. Aynı vakitte hurda cephesinde yurt içinden temin edilen hurdanın toplam tüketim içerisindeki payının yüzde 24'ten yüzde 30'a yükseldiği bildirilmektedir. 2010 yılında elektrik ark ocaklarında gerçekleştirilen ham çelik üretimi yüzde 17,8 nispetinde artarak 17,74 milyon tondan 20,9 milyon tona çıkmıştır. Buna mukabil entegre tesislerdeki üretim artışı yüzde 8,9 ile sınırlı kalmış ve üretim 7,56 milyon tondan 8,24 milyon tona ulaşmıştır (Demir Çelik Store, 2012). Mezkûr kırılma dönemlerinin hem yükselişleri hem de düşüşleri ihtiva etmesi hasebiyle bu çalışmanın yazarı doğrusal olmayan testlerden de istifade etmeyi zarurî görmektedir. Bu uygulama öncesinde serilere uygulanan BDS testi sonuçları Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8. BDS Testi Sonuçları

Boyut (m)	BDS	St. Hata	z-istatistiği	Olasılık
2	0,0825	0,0192	4,2756	0,0000
3	0,0897	0,0313	2,8636	0,0042
4	0,0626	0,0381	1,6389	0,1012
5	0,0841	0,0407	2,0645	0,0390
6	0,0960	0,0402	2,3860	0,0170

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

BDS testi sonuçları *Resid01* artıklarının bağımsız ve özdeş dağılımlı olmadığına delalet etmektedir. Bu durum söz konusu serilerde doğrusal olmayan dinamiklerin mevcudiyetini aşikâr kılmaktadır. Bu hâl yalnızca doğrusal modeller vasıtasıyla yapılan analizlerin kifayetsiz kalabileceğini göstermekte ve doğrusal olmayan yöntemlerin de uygulamaya alınması gerektiğini düşündürmektedir. Bu bağlamda KSS testinden elde edilen bulgular Tablo 9'da sunulmaktadır.

Tablo 9. KSS Testi Sonuçları

Seriler	t-istatistik	Olasılık	Kritik Değerler		
			%1	%5	%10
<i>CRB</i>	-1,715	0,094	-3,48	-2,93	-2,66
<i>ELC</i>	-3,762	0,001	-3,48	-2,93	-2,66
<i>OXG</i>	-2,447	0,019	-3,48	-2,93	-2,66

Kaynak: NonStat programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 9'da yer alan KSS 2003 doğrusal olmayan birim kök testi sonuçları değerlendirildiğinde *CRB*, *ELC* ve *OXG* serilerine ilişkin t-istatistiklerinin KSS kritik değerleriyle mukayesesi suretiyle durağanlık sınaması gerçekleştirilmiştir. Buna göre *CRB* serisinin t-istatistiği mutlak değer itibarıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerine tekabül eden kritik değerlerin üzerinde kalmadığından doğrusal olmayan birim kök hipotezi reddedilememiştir. Bu hâl *CRB* serisinin KSS çerçevesinde doğrusal olmayan durağanlık göstermediğine işaret etmektedir. Buna mukabil *ELC* serisine ait t-istatistiği %1 anlamlılık düzeyindeki kritik değerın ötesine geçmekte olup sıfır hipotezinin kuvvetle reddini gerektirmektedir. Dolayısıyla *ELC* serisinin doğrusal olmayan birim kökten arı olduğu ve KSS anlamında durağan bir yapı arz ettiği sonucuna varılmaktadır. *OXG* serisi bakımından ise

t-istatistiği %5 kritik değerinin mutlak değerini aşmamakla birlikte %10 kritik değerine yakın bir mertebede bulunmaktadır. Bu itibarla birim kök hipotezi yalnızca daha esnek anlamlılık düzeylerinde reddedilebilmektedir. Bu durum *OXG* serisinin kısmi ve zayıf bir doğrusal olmayan durağanlık sergilediğini göstermektedir. Hülasa, KSS testi bulguları *ELC* serisinin belirgin biçimde durağan, *CRB* serisinin durağan olmayan, *OXG* serisinin ise sınırda bir durağanlık niteliği taşıdığını ortaya koymaktadır. Bu farklılık ilgili değişkenlerin dinamik yapılarının birbirinden ayrıştığını ve sonraki aşamada asimetrik ya da değişimli modellerin tercih edilmesinin yerinde olacağını göstermektedir. Bu çerçevede geleneksel birim kök sınamalarından elde edilen neticelerin ihtilafli mahiyet arz etmesi ve farklı seviyelerde durağanlık bulguları ihtiva etmesi, keza yapısal kırılmalı birim kök testlerinin de söz konusu kırılmaların tesirini zımnen kabul etmesi hasebiyle öncelikle ARDL yönteminin kullanılmasının münasip olacağı mütalaa edilmektedir. Ne var ki durağan olmayan birim kök testlerinden elde edilen bulgular da dikkate alındığında çalışmanın devamında asimetrik yapıyı gözeten NARDL yönteminin tatbik edilmesinin daha isabetli olacağı öngörülmektedir.

Tablo 10. NARDL Eşbütünleşme Testi Sonuçları

$$f(CRB | ELC^+, ELC^-, OXG^+, OXG^-)$$

<i>NARDL</i> (1,0,1,0,0)				n=1000		n=45		t-Bounds	
k	Gecikme	F-ist.		<i>I</i> (0)	<i>I</i> (1)	<i>I</i> (0)	<i>I</i> (1)	<i>I</i> (0)	<i>I</i> (1)
4	2	7,3506	%10	2,45	3,52	2,638	3,772	-2,57	-3,66
		t-ist.	%5	2,86	4,01	3,178	4,450	-2,86	-3,99
		-4,6497	%2,5	3,25	4,49			-3,13	-4,26
			%1	3,74	5,06	4,394	5,914	-3,43	-4,6

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 10 incelendiğinde F_{PSS} ve t_{BDM} sınır test sonuçlarına göre oluşturulan modelde %1 anlamlılık seviyesinde asimetrik ya da doğrusal olmayan eşbütünleşme ilişkisi olduğu görülmektedir. Test istatistik değerlerinin *I*(1) için hesaplanan üst sınır değerinden mutlak değer olarak büyük olması dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla değişkenlerin doğrusal olmayan biçimlerinin denge noktasına yakınsadığı ve uzun dönemde asimetrik olarak hareket ettiği değerlendirilmektedir. Tablo 11’de NARDL uzun dönem katsayı sonuçları yer almaktadır.

Tablo 11. NARDL Uzun Dönem Tahmin Sonuçları

Değişkenler	Katsayılar	t-istatistik	Olasılık
$LELC^+$	4,1019	3,1780	0,0030
$LELC^-$	-0,4696	-0,3685	0,7146
$LOXG^+$	13,0625	4,0368	0,0003
$LOXG^-$	-9,7507	-2,5026	0,0169

$$EC = CRB - (4,1019 * ELC_{POS} - 0,4696 * ELC_{NEG} + 13,0626 * OXG_{POS} - 9,7507 * OXG_{NEG})$$

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 11’de yer alan ifadelerde değişkenlerin önünde bulunan “L” simgesi uzun döneme (long-run) karşılık gelmektedir. Uzun dönem katsayı sonuçlarına göre $LELC^+$ değişkeninin uzun dönem katsayısının pozitif ve katsayı değerinin 4,1019 olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu sonuca göre ELC değişkeninde meydana gelecek bir birimlik artışın CRB değişkenini 4,1 birim arttıracığı ifade edilmektedir. Bu sonucun da %5 önem seviyesi özelinde anlamlı olduğu görülmektedir. $LOXG^+$ değişkeni incelendiğinde de uzun dönem katsayısının 13,0625 olduğu ve %5 önem seviyesine göre bu sonucun anlamlı bulunduğu görülmektedir. Bu bağlamda OXG değişkeninde meydana gelen 1 birimlik artışın CRB değişkenini yaklaşık 13 birim arttıracığı değerlendirilmektedir. Yine anlamlı sonuçlar üzerinden $LOXG^-$ değişkeninin uzun dönem katsayısının negatif olduğu ve katsayı değeri -9,7507 olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu sonuca göre OXG değişkeninin bir birimlik azalması karşısında CRB değişkenin yaklaşık 9,75 oranında artacağı yorumu yapılmaktadır. Bu değişkenin de olasılık değerinin %5 önem seviyesi özelinde anlamlı olduğu görülmektedir.

Elde edilen bulguların alanyazındaki karşılıkları tetkik edildiğinde oksijenli üretim prosesinin elektrikli üretim prosesine nazaran daha yoğun bir karbon sürecine sahip olduğu ifade edilmektedir. Nitekim bu çalışmada ulaşılan katsayılar da söz konusu tespiti teyit eder mahiyettedir (Cavaliere, 2019; Jiang ve ark., 2026; Yang ve ark., 2023). Bununla birlikte BF-BOF ve EAF süreçlerinin haiz oldukları farklı teknolojik yapılar ile enerji tüketim profilleri birbirinden farklı karbon azaltım stratejilerinin dikkate alınmasını zaruri kılmaktadır (Zang ve ark., 2023). Oksijenli üretim proseslerinde meydana gelen bir birimlik azalmanın karbon emisyonlarını artıracığı yönündeki bulgu ise ilk nazarda beklentinin hilafına bir netice olarak değerlendirilebilir. Ancak

bu durumun Türkiye'nin özgün üretim yapısına mahsus faktörler çerçevesinde izah edilmesinin hem anlatıma hem de bulguların teyidine açıklık kazandıracığı düşünülmektedir. Bilhassa 2010 sonrası dönemde Türkiye'de oksijenli üretimin daralmasına mukabil hurdaya dayalı elektrik ark ocaklarında kapasite ve üretim artışlarının vuku bulduğu görülmektedir. Dikkatle bu tesislerin mühim bir kısmında enerji girdisinin büyük ölçüde fosil yakıtlara dayanması ve elektrik üretim karmasının hâlen yüksek oranda kömür ihtiva etmesi elektrikli üretimdeki genişlemenin toplam karbon emisyonlarını azaltmak yerine artırma ihtimalini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda Hu ve arkadaşları (2025) EAF süreçlerinde malzeme, enerji, tüketim ve dönüşüm ilişkilerinin henüz tam manasıyla vuzuha kavuşmadığını vurgulamaktadır. Çalışmada uzun dönem asimetrik ilişkilerin test edilmesi amacıyla uygulana Wald Testi bulguları aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 12. Uzun Dönem Wald Testi Sonuçları

Test İst.	Değer	df	Olasılık
t-istatistik	4,1373	38	0,0002
F-istatistik	17,11671	(1, 38)	0,0002
Ki-kare	17,11671	1	0,0000

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

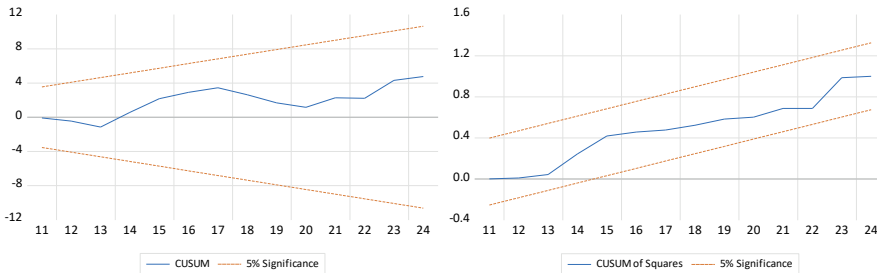
Tablo 12'ye göre Wald testi uzun dönemde H_0 hipotezi %1 anlamlılık seviyesinde reddedilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Zira elde edilen olasılık değeri 0,01'den küçük bulunmaktadır. Bu bulgu bağımsız değişkende meydana gelen artışlar ile azalışlar arasında uzun dönemde asimetrik bir ilişkinin mevcudiyetine delalet etmektedir. Dolayısıyla söz konusu sonuç bağımsız değişkendeki artışların bağımlı değişken üzerindeki tesiri ile bağımsız değişkendeki azalışların bağımlı değişken üzerindeki tesirinin uzun dönemde birbirine müsavi olmadığı savını teyit etmektedir. Tahmin edilen model sonucunda bulguların sağlamlığının kontrolü tanısal testler aracılığıyla sağlanmaktadır.

Tablo 13. Tanısal Testlere Dair Sonuçlar

Tanısal Testler	Test Değeri	Olasılık
$\chi^2 NORM$	0,1629	0,9217
LM test $\chi^2 SC$	3,6138	0,1642
$\chi^2 HET (BPG)$	6,6976	0,4610
$\chi^2 HET (ARCH)$	0,8090	0,3684
$\chi^2 FF$	0,0521	0,9587

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Normallik sınaması neticelerine göre Jarque-Bera test istatistiğinin 0,1629 olduğu görülmektedir. Buna mukabil olasılık değeri 0,9217 olarak hesaplanmıştır. Bu durum 0,05 eşik değeri esas alındığında kurulan model artıklarının normal dağılıma uygunluk arz ettiğini göstermektedir. Keza Breusch Godfrey otokorelasyon sınaması neticeleri 3,6138 ve 0,1642 olarak elde edilmiş olup modelde herhangi bir otokorelasyon sorununun bulunmadığına işaret etmektedir. Uygulamada farklı yayılımın mevcudiyetini sınamak maksadıyla Breusch Pagan Godfrey ile ARCH testleri tatbik edilmiş ve söz konusu testlere ilişkin istatistik ve olasılık değerleri sırasıyla 6,6976 - 0,4610 ile 0,8090 - 0,3684 olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular modelde farklı yayılım probleminin bulunmadığını göstermektedir. Modelin fonksiyonel biçiminin doğruluğunu sınamak üzere Ramsey RESET testi dikkate alınmış ve test katsayısı 0,0521 ve olasılık değeri 0,9587 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar model kurma hatasının mevcut olmadığına delalet etmektedir.

Şekil 6. CUSUM ve CUSUM² Grafikleri

Kaynak: Eviews programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 6'da yer alan grafikler tetkik edildiğinde CUSUM testinin hata terimlerinin %95 güven aralığı dâhilinde arzu edilen sınırlar içerisinde seyrettiğini göstermektedir. Keza kümülatif hata terimlerinin kareleri için aynı sınamayı icra eden CUSUM² grafiğinin de %95 güven aralığı içerisinde kaldığı görülmekte olup bu durum kurulan modelin istikrarlı olduğu kanaatini mümkün kalmaktadır. Bununla birlikte modele yapısal kırılma yılları esas alınarak dâhil edilen kukla değişkenlerin katsayılarının negatif bulunması başlangıçtaki beklentilerle uyum arz etmekle beraber söz konusu katsayıların istatistiksel bakımdan anlamsız olması sebebiyle bu etkinin güvenilir addedilemeyeceği değerlendirilmektedir. Diğer bir ifadeyle ilgili dönemde karbon emisyonlarında görece bir düşüşe işaret edebilecek bir yönelimin varlığı ihtimal dâhilinde olmakla birlikte bu etkinin ampirik açıdan sağlam bir dayanak teşkil etmediği anlaşılmaktadır. Hatemi J asimetrik nedensellik testlerinin uygulanmasından elde edilen bulgular Tablo 14'te sunulmaktadır.

Tablo 14. Hatemi J Asimetrik Nedensellik Testi Sonuçları

Nedensellik	Test İstatistiği	Kritik Değerler		
		%1	%5	%10
$ELC^+ \rightarrow CRB^+$	0,155	9,223	4,551	3,079
$ELC^+ \rightarrow CRB^-$	0,755	8,480	4,382	3,292
$ELC^- \rightarrow CRB^-$	0,107	10,395	5,120	3,085
$ELC^- \rightarrow CRB^+$	0,059	8,602	4,706	3,433
$OXG^+ \rightarrow CRB^+$	0,708	11,318	5,390	3,434
$OXG^+ \rightarrow CRB^-$	0,954	8,575	4,930	3,273
$OXG^- \rightarrow CRB^-$	3,226	14,321	6,076	3,048
$OXG^- \rightarrow CRB^+$	0,062	7,898	4,437	3,353
$CRB^+ \rightarrow ELC^+$	0,157	10,269	5,088	3,420
$CRB^+ \rightarrow ELC^-$	0,013	9,130	4,811	3,124
$CRB^- \rightarrow ELC^-$	0,155	19,641	6,251	3,426
$CRB^- \rightarrow ELC^+$	0,678	9,233	4,718	3,073
$CRB^+ \rightarrow OXG^+$	20,601	8,290	4,681	3,020

$CRB^+ \rightarrow OXG^-$	0,009	9,863	5,334	3,508
$CRB^- \rightarrow OXG^-$	3,259	10,989	5,057	3,192
$CRB^- \rightarrow OXG^+$	5,506	7,606	4,067	2,766

Kaynak: Gauss programı aracılığıyla yazar tarafından oluşturulmuştur

Hatemi J asimetrik nedensellik testlerinde gecikme uzunlukları VAR modeli çerçevesinde AIC ölçütü gözetilerek tayin edilmiş ve bu değerler bir olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular elektrikli çelik üretim süreçlerindeki artış ve eksilişlerin karbon emisyonlarının müspet ve menfi bileşenlerini nedensellik bağı içerisinde izah etme kudretinin sınırlı kalabileceğini göstermektedir. Bu durum EAF rotasının çevresel tesirinin üretim hacminden ziyade istimal olunan elektrik kaynağının karbon yoğunluğuna bağlı olabilmesiyle ilişkilendirilmektedir. Oksijenli üretim prosesine ilişkin nedensellik ilişkileri incelendiğinde ise bulgular oksijenli çelik üretimindeki daralmaların karbon emisyonlarını azaltma yönünde sınırlı ve zayıf bir nedensel etkisi olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte karbon emisyonlarındaki müspet şokların oksijenli çelik üretimindeki genişlemeyle birlikte seyredabiliyor olması yüksek karbon yoğunluklu BOF teknolojisinin üretim dinamikleriyle yakın bir münasebet içerisinde değerlendirilebileceğini göstermektedir. Keza emisyonların azaldığı dönemlerde dahi oksijenli çelik üretiminde artışların müşahade edilebilmesi sektörde teknolojik iyileşme yahut süreç optimizasyonu ihtimalini akla getirmektedir. Umumî surette karbon emisyonlarındaki tahavvüllerin elektrikli çelik üretimini doğrudan tayin eden asli bir unsur olmaktan ziyade üretim şartlarına tâbi ikincil bir değişken hüviyeti taşıdığı ve buna mukabil oksijenli çelik üretiminin karbon dinamiklerine daha hassas bir yapı gösterdiği mütalaa olunmaktadır.

Hatemi J nedensellik testlerinden elde edilen bulguların Hu ve arkadaşlarının (2025) çalışmasıyla genel itibarıyla uyum arz ettiği ifade edilmektedir. Yazarlar elektrikli çelik üretim prosesinde malzeme ve enerji tüketimi ile karbon emisyonlarının metal yük yapısına bağlı olarak kayda değer ölçüde değişkenlik gösterdiğini ve bu durumun ise karbon muhasebesini güçleştirerek düşük karbonlu teknolojilerin etkililiğini zayıflattığını ileri sürmektedirler. Alanyazında demir cevheri temelli çelik üretim süreci ile mukayese edildiğinde hurda bazlı çelik üretim sürecinin daha yüksek enerji tasarrufu ve emisyon azaltım kabiliyetine sahip olduğu vurgulanmaktadır (Wang ve ark., 2013; Xuan ve Yue, 2017; An ve ark., 2018; Tian ve ark., 2022). Bu noktada yalnızca çelik üretiminin süreç kaynaklı emisyonlarını dikkate almanın kâfi olmadığı hammadde ve enerji üretiminden doğan dolaylı çevresel etkilerin

de değerlendirmeye dâhil edilmesi gerektiği belirtilmektedir (Yang ve ark., 2023). Bu minvalde mevcut çalışmanın bulguları karbon emisyonlarındaki dalgalanmaların elektrikli çelik üretimi üzerinde doğrudan tayin edici bir rol üstlenmediğini bilakis üretim koşullarına tâbi ikincil bir değişken mahiyetinde olduğunu göstermektedir. Netice itibarıyla ampirik bulgular yüksek karbon yoğunluklu BOF rotasının emisyon dinamiklerine daha hassas olduğu ve buna mukabil EAF rotasının görece daha müstakil bir seyir izlediği sonucunu ortaya koymaktadır. Bu durum karbon azaltım politikalarının bilhassa oksijenli çelik teknolojilerini hedef alması gerektiğine işaret etmektedir.

6. Sonuç

Bu çalışmada Türkiye’de 1978-2024 döneminde ham çelik üretiminin karbon emisyonları üzerindeki etkisi üretim kompozisyonu ve doğrusal olmayan dinamikler çerçevesinde incelenmiştir. Oksijenli ve elektrikli proseslerin emisyonlar üzerindeki tesiri uzun dönemli eşbütünleşme ve asimetrik nedensellik analizleri vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Böylelikle üretim terkihi ile karbon yoğunluğu arasındaki münasebet ele alınmıştır. Bu bölümde elde edilen ampirik bulgular ana hatlarıyla mütalaa edilmekte ve çalışmanın temel çıkarımları ortaya konulmaktadır.

Türkiye’de ham çelik istihsalinin kompozisyonu ile karbon emisyonları arasında uzun dönemli ve doğrusal olmayan bir münasebetin mevcut olduğu anlaşılmaktadır. Serilerin yapısal kırılmalar ve doğrusal olmayan dinamikler ihtiva ettiği tespit edilmiş ve bu keyfiyet doğrusal modellerle yetinilmesinin kifayetsiz kalacağını göstermiştir. Uzun dönem tahmin neticeleri gerek oksijenli gerekse elektrikli üretim artışlarının karbon emisyonları üzerinde artırıcı tesire sahip olduğunu göstermektedir. Bu tesirin şiddeti ve yönünün pozitif ve negatif şoklara göre farklılaştığı da ortaya konulmaktadır. Wald sınaması üretim artış ve azalışlarının karbon emisyonları üzerindeki etkilerinin simetrik olmadığını teyit etmektedir. Nedensellik bulguları ise elektrikli üretimin karbon dinamikleri üzerindeki tesirinin sınırlı kaldığını buna mukabil oksijenli üretimin emisyonlarla daha kuvvetli ve hassas bir ilişki sergilediğini göstermektedir. Hülasa Türkiye’de karbon emisyonlarının seyri çelik sanayinin üretim hacminden ziyade üretim terkihi ve özellikle oksijenli proseslerin dinamikleriyle daha yakından irtibatlı görünmekte ve elektrikli üretimin çevresel tesiri ise büyük ölçüde enerji bileşiminin karbon yoğunluğuna bağlı bir mahiyet arz etmektedir.

Bu çalışmanın uluslararası alanyazındaki teknik ve çevresel değerlendirmelerle mütenasip bir görünüm arz ettiği değerlendirilmektedir. Nitekim Li ve arkadaşları (2018), çelik üretiminde en yaygın iki yöntem olan BF-BOF ve

EAF proseslerini mukayese etmişlerdir. Yazarlar BF-BOF yönteminin hem enerji hem de emisyon yoğunluğu bakımından EAF'a nazaran yüksek değerlere sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu bulgu çalışmada oksijenli üretim artışlarının karbon göstergeleri üzerinde daha kuvvetli ve asimetrik etkiler doğurduğuna dair neticelerle örtüşmektedir. Benzer biçimde hurda temelli üretimin çevresel avantajlarına işaret eden çalışmalar da üretim terkinin önemini vurgulamaktadır. Avinal ve Ergenekon (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışma elektrik ark ve indüksiyon fırını teknolojilerini karşılaştırmakta ve özellikle elektrik arzının karbon yoğunluğunun nihai emisyon performansı üzerinde tayin edici olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede bu çalışmada elektrikli üretimin karbon üzerindeki tesirinin sınırlı ve şartlı bir mahiyet arz etmesi enerji bileşiminin belirleyici rolüne işaret eden söz konusu değerlendirmelerle paralellik arz etmektedir. Bununla birlikte enerji verimliliği ve üretim yönetimi boyutu da alanyazında mühim bir yer tutmaktadır. Gajdzik ve arkadaşları (2021), enerji verimliliğinin münferit tedbirler yerine üretim süreçlerinin bütünü ve tedarik zincirini ihtiva eden sistematik stratejilerle iyileştirilebileceğini belirtmektedirler. Bu çalışmada tespit edilen asimetrik dinamikler de üretim artış ve azalışlarının karbon üzerindeki etkilerinin farklılaştığını göstermektedir. Bu durum enerji ve üretim politikalarının yeknesaklık yerine süreç temelli ve kompozisyon hassasiyetine sahip biçimde tasarlanması gerektiğini düşündürmektedir. Türkiye bağlamında ise sanayiye dair yapısal kısıtlar da alanyazında vurgulanmaktadır. Özdamar ve arkadaşları (2026), Türkiye çelik sanayinin hurda temelli ve ihracata müteveccih yapısının Avrupa Birliği'nin karbon düzenlemeleri çerçevesinde ilave baskılar doğurduğunu ve sektörün Paris Anlaşması ve "fit for 55" hedefleriyle uyumlu olarak 2030'a kadar kayda değer emisyon azaltımı taahhüdü altında bulunduğunu ifade etmektedirler. Bununla birlikte sektörün yüksek emisyon yoğunluğu ve fosil yakıtı bilhassa kömüre bağımlılığı dönüşüm sürecini müşkül kılmaktadır. Bu çalışmada da oksijenli proseslerin karbon dinamikleri üzerindeki daha belirgin etkisi bu yapısal bağımlılıkların ampirik düzlemdeki tezahürü olarak değerlendirilmektedir.

Alanyazında rekabetçilik ile karbon yoğunluğu arasındaki irtibatın iktisadî ve jeopolitik bir çerçevede ele alınmakta olduğu da görülmektedir. Tekin-Koru ve Dinçer (2025), küresel ticaret düzeninde karbon şartlılığının ve çevresel dışsallıkların rekabet avantajının aslı unsurlarından biri hâline geldiğini ileri sürmektedirler. Bu yaklaşım bu çalışmanın bulgularını daha geniş bir bağlama yerleştirmektedir. Üretim kompozisyonunun dış ticaret ve piyasa erişimi bakımından da stratejik bir değişken olduğu düşünülmektedir. Modern çelik üretiminde maliyet etkinliği hedefinin merkezi konumuna dikkat çeken Kubat ve arkadaşları (2004), daha düşük maliyetle daha yüksek çıktı sağlama amacını

vurgulamaktadır. Bu çalışmanın yazarı ise bu konuda günümüz koşullarında bu hedefin karbon yoğunluğunun azaltılmasıyla birlikte düşünülmesinin mühim olduğunu değerlendirmektedir. Bu itibarla çalışma üretim hacmi ile birlikte üretim terkininin ve şoklara verilen asimetrik tepkilerin dikkate alınmasının hem çevresel sürdürülebilirlik hem de uzun dönemli rekabet gücü bakımından elzem olduğunu göstermektedir.

Netice itibarıyla bu çalışmadan elde edilen bulgular Türkiye’de ham çelik üretiminde karbon emisyonlarının üretim hacminden ziyade üretim kompozisyonu ve bilhassa oksijenli proseslerin dinamikleriyle daha yakından irtibatlı olduğunu göstermektedir. Bu cihetle çelik sanayine ait karbon azaltım politikalarının yeknesak üretim kısıtları yerine proses temelli ve farklılaştırılmış araçlarla tasarlanması icap etmektedir. Oksijenli tesislerde karbon fiyatlandırmasının güçlendirilmesi, karbon yakalama teknolojilerine yönelik teşviklerin artırılması ve hurda temelli üretimin yaygınlaştırılması bu çerçevede öncelikli alanlar olarak öne çıkmaktadır. Elektrikli üretimde ise karbon performansının büyük ölçüde enerji bileşimine bağlı olması sebebiyle yenilenebilir enerji kullanımının teşviki ve şebeke karbon yoğunluğunun azaltılması belirleyici mahiyet arz etmektedir. Bu noktada bu çalışmanın yazarı entegre tesislerden feragat eden bir yaklaşımdan katî suretle uzaktır. Elde edilen bulgular oksijenli proseslerin karbon yoğunluğu bakımından daha problemlili bir görünüm arz ettiğini ortaya koymakla birlikte sektörün yapısal ihtiyaçları göz ardı edilerek entegre tesislerin bütünüyle tali konuma itilmesi de isabetli bir yaklaşım olmayacaktır. Zira Türkiye’de özellikle otomotiv, beyaz eşya, savunma ve makine imalatı gibi katma değeri yüksek sektörlerin talep ettiği yassı ürün arzı büyük ölçüde entegre tesisler tarafından karşılanmaktadır. Hurda temelli elektrikli üretim uzun mamul tarafında güçlü bir rekabet üstünlüğü sağlamakla birlikte yüksek kalite özellikli yapı gerektiren yassı çelik üretiminde entegre tesislerin teknolojik ve metalurjik kabiliyetleri stratejik bir mahiyet arz etmektedir. Bu bağlamda Türkiye özelinde karbon azaltım politikalarının üretim kompozisyonunu dönüştürmeye matuf olması kadar yurt içi sanayinin ara malı ihtiyacını ve arz güvenliğini de dikkate alan dengeli bir çerçeveye oturtulması elzemdir. Dolayısıyla yazar Türkiye’nin yassı ürün ihtiyacı ve stratejik sanayi politikası hedefleri nazar-ı dikkate alındığında entegre tesislerin ihmal edilmemesi bilakis karbon yoğunluklarını azaltacak teknolojik modernizasyon programlarıyla desteklenmesinin gerektiğini savunmaktadır. Bu yaklaşım hem emisyon azaltım hedefleriyle uyumlu bir dönüşümü mümkün kılacak hem de dışa bağımlılığı artırmadan sanayi değer zincirinin bütünlüğünü muhafaza edecektir.

Gelecek çalışmalara ilişkin olarak her şeyden evvel 1980-1990 döneminde Millî Prodüktivite Merkezi tarafından demir çelik sanayine dair yürütülen

araştırmaların güncellenmiş ve günümüz veri altyapısıyla zenginleştirilmiş yeni versiyonlarına ihtiyaç bulunduğu kanaati hâsıl olmaktadır. Söz konusu çalışmaların yeniden ele alınması karbon yoğunluğu, üretim yapısı ve dış ticaret performansı arasındaki müşterek münasebetin daha sağlıklı biçimde tahliline de imkân verecektir. Zira verimlilik mefhumu üretim verimliliği, karbon verimliliği, kaynak tahsisi etkinliği ve ticari rekabet gücü ile birlikte mütalaa edilmelidir. Bu çerçevede verimlilik eksenli bir yaklaşımın karbon azaltım hedefleri ile üretim kapasitesi ve dış ticaret gereklilikleri arasında denge kurabilecek bir üçlü yapı tesis edebileceği düşünülmektedir. Böyle bir perspektifin sosyo-teknik, eko-politik ve politik-ekoloji arasında daha mütecanis bir denge kurulmasına zemin hazırlayabilme potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmektedir. Bununla birlikte demir çelik sanayinin ileri ve geri bağlantı katsayılarının karbon emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi de gelecek araştırmalar için mühim bir ufuk sunmaktadır. Bu doğrultuda yapılacak çalışmalar sektörel karbon politikalarının bütüncül ve sistem temelli biçimde tasarlanmasına katkı sağlayacaktır.

Teşekkür, Beyan ve Diğer Açıklamalar

Bu çalışmada uygulanan yöntemlerin analiz sonuçlarının elde edilmesi sürecinde ihtiyaç duyulan teknik hususlarda yönlendirici açıklamaları ve literatüre kazandırdığı çalışmalarıyla araştırmacılar üzerinde ilham uyandırdığına inandığım ve ayrıca NonStat arayüzünün kullanılmasına müsaade eden Prof. Dr. Tolga Omay'a teşekkür ederim. Kaleme aldıkları eserlerinde ARDL ve NARDL yöntemlerini okuyucu dostu bir yaklaşımla ve adım adım açıklamış olmalarının yanı sıra yöneltilen sorulara gecikmeksizin ve akademik nezaket çerçevesinde yanıt vermesi nedeniyle Doç. Dr. Serkan Göksu'ya şükranlarımı sunarım. Çalışmanın ilk gönderim sürecinde sergilediği yapıcı ve yol gösterici tavrı ile sonraki çalışmalar için teşvik edici yaklaşımı dolayısıyla Doç. Dr. Fatih Çemrek'e de teşekkürlerimi iletirim.

Bu çalışma kapsamında insan katılımcı veya deneysel uygulama yer almamaktadır. Çalışmada kullanılan veriler kamuya açık kaynaklardan temin edilmiş olup ilgili veri tabanları ve istatistik programları doğrultusunda analiz edilmiştir. Yararlanılan tüm veri setleri, yazılımlar ve akademik kaynaklar kaynakça bölümünde usulüne uygun biçimde atıf gösterilerek belirtilmiştir. Yazarın herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Bu çalışmada klasik anlatım üslubu bilinçli ve kasten tercih edilmiştir. Metin içerisinde kullanılan kavram ve ifadeler Türk Dil Kurumu Sözlüğü ile Türk Dil Kurumu Bilim ve Sanat Terimleri Sözlüğü esas alınarak ve mevcut akademik yayınlarla karşılaştırılarak titizlikle seçilmiştir.

Bu üslup tercihi yazarın özellikle 1980-1990 döneminde Millî Prodüktivite Merkezi tarafından yayımlanan çalışmalar ile Bilimsel Madencilik Dergisi'nin erken dönem sayılarında yer alan metinlerin içerik derinliğine, kavramsal berraklığına ve ifade disiplinine duyduğu takdir ve özlemle ilişkilidir. Anılan dönem yayınlarında gözlemlenen metodolojik ciddiyet ve terminolojik özen bu eserde benimsenen dil ve ifade yapısının da ilham kaynağını teşkil etmiştir. Bu çalışmanın yazarı sadece kelimeleri klasik bir üslupla kullanmakla ve biçimsel bir yaklaşım benimsemekle söz konusu düzeyin ve ilham kaynağının tesis edilemeyeceğinin elbette farkındadır. Nitekim ilgili dönemin çalışmalarında görülen metodolojik titizlik ve kavram kullanımındaki hassasiyet hem saha deneyimini hem de güçlü bir kuramsal ve yazınsal birikimi gerektirmektedir. Yazar açısından bu tercih nostaljik bir yönelimden ziyade düşünsel disiplin, kavramsal netlik ve metinsel tutarlılığı güçlendirme ve içsel motivasyonu artırma amacı taşımaktadır. Bu doğrultuda tercih edilen anlatım biçiminin yazarın akademik motivasyonunu olumlu yönde etkilediği ifade edilmektedir. Bu vesileyle Veli Aytakin, Ömer H. Barutoğlu, M. Hayri Erten, Atilla Tezeren ve Serdar Tan başta olmak üzere ilgili dönemde emek vermiş araştırmacıların çalışmalarına duyulan saygı ifade edilmektedir. Söz konusu eserleri tekrar tekrar okumanın ve incelemenin sağladığı entelektüel tatminin ötesinde günümüz literatürünün de nicel derinlik ve söylem disiplini bakımından bu çalışmaların konuya yaklaşım biçiminden istifade edebileceği kanaati taşınmaktadır.

Bu değerlendirmeler bütünüyle yazara ait şahsi görüş mahiyetindedir.

Kaynakça

- Abbas, Q., Hongxing, Y., Shahbaz, M., Ramzan, M. ve Fatima, S. (2024). Metallic minerals production and environmental sustainability in China: Insights using ARDL bounds testing and wavelet coherence approaches. *Resources Policy*, 92, 105037. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105037>
- Ahmed, M., Huan, W., Ali, N., Shafi, A., Ehsan, M., Abdelrahman, K., Khan, A. A., Abbasi, S. S. ve Fnais, M. S. (2023). The effect of energy consumption, income, and population growth on CO2 emissions: evidence from NARDL and machine learning models. *Sustainability*, 15(15), 11956. <https://doi.org/10.3390/su151511956>
- Akgül, I. (1994). Zaman serisi analizi ve öngörü modelleri. *Öneri Dergisi*, 1(1), 52-69. <https://doi.org/10.14783/maruoneri.698511>
- Akşehirli, N. (2024). Enerji ithalatçısı bir ülke için enerji fiyatlarının toplam ve sektörel büyümeye asimetric etkileri: Türkiye örneği. *Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(Özel Sayı), 13-30. <https://doi.org/10.52122/nisantasisbd.1448152>
- Alaskar, I. ve AlAli, M. S. (2024). Macroeconomic forces shaping Kuwait's stock market: A time series analysis of an oil-dependent economy. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 22, 9145-9156. <https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.2.00692>
- 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. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.016>
- Alsabhan, T. H. ve Alabdulrazag, B. (2025). How does energy consumption effect economic growth in Saudi Arabia? A cointegration approach. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(1), 309-316. <https://doi.org/10.32479/ijecp.17969>
- An R., Yu, B., Li, R. ve Wei, Y-M. (2018). Potential of energy savings and CO2 emission reduction in China's iron and steel industry. *Applied Energy*, 226, 862-880. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.044>
- Aptech (t.y.). *GAUSS (Sürüm 14.0)* [Bilgisayar Yazılımı]. Aptech Systems Inc.
- Arolat, O. (2011). *Demir çelik sektörünün 2011 resmi*. Şu adresten erişildi: <https://www.dunya.com/kose-yazisi/demir-celik-sektorunun-2011-resmi/12686> (Erişim Tarihi: 11.02.2026).
- Arslan, İ., Eren, M. V. ve Kaynak, S. (2016). Sağlık ile kalkınma arasındaki ilişkinin asimetric nedensellik analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(2), 287-310. <https://doi.org/10.24988/deuifb.2016312535>
- Atasert, G. (2022). Türkiye'de dış borç ve ekonomik büyüme bağlantısı: Bir zaman serisi analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İzmir.

- Avinal, A. ve Ergenekon, P. (2022). Life cycle impacts of induction furnace technology for crude steel production: case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(4), 9974-9987. <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2143946>
- Avinal, A., Tosun, C., Dağlı, S., Budak Duhbacı, T. ve Şık, E. (2019). *Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı kaynak verimliliği rehberi*. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayınları.
- Balaam, D. N. ve Dillman, B. (2021). *Uluslararası ekonomi politişe giriş* (Çev. N. Uslu). Ankara: Adres Yayınları.
- Barut, A., Görgün, M. R. ve Erdoğan, A. (2020). Baltık Kuru Yük Endeksi ve Dow Jones Demir Çelik endeksi arasındaki ilişki. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9(3), 3019-3033. <https://doi.org/10.15869/itobiad.700223>
- Başkol, M. O. ve Bektaş, S. (2021). Türkiye demir çelik sektörünün ürün haritalaması: Widodo yöntemiyle bir analiz. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 19(Özel Sayı), 57-87. <https://doi.org/10.35408/comuybd.973529>
- Bıyık, Y. ve Özkale, L. (2017). Demir çelik endüstrisi üretim yöntemleri ile ihracat, katma değer ve karbon emisyonu azaltma politikaları arasındaki ilişki. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(13), 718-735. <https://izlik.org/JA92WA32SB>
- Bianco, L., Baracchini, G., Cirilli, F., Di Sante, L., Moriconi, A., Moriconi, E., Agorio, M. M., Pfeifer, H., Ecterhof, T., Demus, T., Jung, H. P., Beiler, C. ve Krassnig, H. J. (2013). Sustainable Electric Arc Furnace Steel Production: GREENEAF. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 158, 17-23. <https://doi.org/10.1007/s00501-012-0101-0>
- Broock, W. A., Scheinkman, J. A., Dechert, W. D. ve LeBaron, B. (1996). A test for independence based on the correlation dimension. *Econometric Reviews*, 15(3), 197-235. <https://doi.org/10.1080/07474939608800353>
- Bulut, Ö. U., Aykırı, M. ve Balcı, Ö. (2022). Elektrik tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki asimetrik etkisi: NARDL ve Toda-Yamamoto yöntemlerinden kanıtlar. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 8(2), 99-119. <https://doi.org/10.20979/ueyd.1060167>
- Camgöz, M. (2022). Global belirsizlik faktörlerinin BIST hisse senedi fiyatlarına asimetrik etkilerinin NARDL modeliyle analizi. *Maliye ve Finans Yazıları*, 118, 71-100. <https://doi.org/10.33203/mfy.1103403>
- Cavaliere, P. (2019). Electric arc furnace: Most efficient technologies for greenhouse emissions abatement. İç. P. Cavaliere (Ed.), *Clean iron-making and steelmaking processes*, Springer, ss. 303-375. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21209-4_6
- Chen, Q., Gu, Y., Tang, Z. Wei, W. ve Sun, Y. (2018). Assessment of low-carbon iron and steel production with CO2 recycling and utilization techno-

- logies: A case study in China. *Applied Energy*, 220, 192-207. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.043>
- Chen, Y., Fang, Y., Feng, W., Zhang, Y. ve Zhao, G. X. (2022). How to minimise the carbon emission of steel building products from a cradle-to-site perspective: A systematic review of recent global research. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133156. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133156>
- Cui, J., Tong, Y., Ma, W., Zhang, J. ve Zhou, B. (2026). Research on water-energy-carbon consumption and emission situation and nexus in iron and steel industry. *Journal of Cleaner Production*, 538, 147241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.147241>
- Çağlayan, E. ve Saçaklı, İ. (2006). Satın alma gücü paritesinin geçerliliğinin sıfır frekansta spektrum tahmincisine dayanan birim kök testleri ile incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(1), 121-137. <https://izlik.org/JA56XD35KF>
- Çelik, A. (2023). Döviz kurundaki değişimlerin Türkiye'nin sektörel ve faktör donatımı temelindeki ihracatına etkileri: Yeni dış ticaret politikasının değerlendirilmesi. *Öneri Dergisi*, 18(59), 40-67. <https://doi.org/10.14783/maruoneri.1166424>
- Çelik, M. ve Altıntaş, H. (2025). Ekonomik büyüme ve beşeri sermaye ilişkisi: ARDL, NARDL ve nedensellik analizi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 47(3), 348-374. <https://doi.org/10.14780/muiibd.1685421>
- Çemrek, F. ve Şeker, T. (2020). Türkiye'de kadın işsizlik oranlarının yapısal kırılmalı birim kök testleri ile incelenmesi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Özel Sayı(2020)*, 117-132. <https://izlik.org/JA68KK89EY>
- Çetin, A. C., Akyüz, Y. ve Genç, E. (2011). Küresel kriz sürecinde imalat sanayi işletmelerinin finansal sorunlarının değerlendirilmesi (Uşak ili örneği). *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13, 101-118. <https://izlik.org/JA79KW56YP>
- Demir, C. ve Özcan, S. E. (2023). Türkiye'de sanayi üretimi, kapasite kullanım oranı ve üretici fiyatları arasındaki asimetric ilişki doğrusal olmayan ARDL modeli yaklaşımı. *İktisat Politikası Araştırmaları Dergisi*, 10(2), 525-543. <https://doi.org/10.26650/JEPR1247326>
- Demir Çelik Store (2012). 2010 yılında Türkiye 29,1 milyon ton ham çelik üretti. Şu adresten erişildi: <https://demircelikstore.com/haber/2010-yilinda-turkiye-29-1-milyon-ton-ham-celik-uretti-3367> (Erişim Tarihi: 11.02.2026).
- Demircioğlu, E. ve Ever, D. (2021). Karbon maliyetlerinin belirlenmesine ilişkin demir çelik işletmesinde uygulama. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(1), 649-662. <https://doi.org/10.20491/isarder.2020.868>

- Dereli, D. D. (2014). E-Gümrük uygulamasının Türkiye ile Avrupa Birliği arasındaki ticarete etkisi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(24), 250-261. <https://doi.org/10.11611/JMER475>
- Dickey, D. A. ve Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 49(4), 1057-1072. <https://doi.org/10.2307/1912517>
- Dikmen, N. (2018). *Ekonometriye giriş temel kavramlar ve uygulamalar*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Dineri, E. ve Işık, N. (2021). İthalat bağımlılığı ve Türkiye ekonomisinde imalat sanayi: Hatemi-J asimetrik nedensellik testi. *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 7(1), 68-82. <https://doi.org/10.30855/gjeb.2021.7.1.005>
- Dock, J. ve Kienberger, T. (2022). echno-economic case study on Oxyfuel technology implementation in EAF steel mills - Concepts for waste heat recovery and carbon dioxide utilization. *Cleaner Engineering and Technology*, 9, 100525. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100525>
- Doğan, O. ve Çakmakoglu, A. (2025). Enflasyonun doğrudan yabancı yatırımlar üzerindeki asimetrik etkisi: Türkiye ekonomisi için bir Nardl analizi. *JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy*, 10(1), 64-79. <https://izlik.org/JA93LY38CP>
- Duran, A. E. (2023). *Çelik üreticilerini ithalat korkusu sardı*. Şu adresten erişildi: <https://www.dw.com/tr/%C3%A7elik-%C3%BCreticilerini-ithalat-korkusu-sard%C4%B1/a-64541435> (Erişim tarihi: 16.02.2026).
- Duran, M. S. (2023). Savunma harcaması, işsizlik ve ekonomik büyüme ilişkisinin hatemi-J asimetrik panel nedensellik testi ile incelenmesi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 60(663), 79-104.
- Duran, Ö. (2026). Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) kapsamında demir çelik sektöründe sürdürülebilirlik stratejileri ve emisyon azaltım yöntemlerinin değerlendirilmesi. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 2026, 1-9. <https://izlik.org/JA28DH78TY>
- Durga, S., Speizer, S. ve Edmonds, J. (2024). The role of the iron and steel sector in achieving net zero U.S. CO2 emissions by 2050. *Energy and Climate Change*, 5, 100152. <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2024.100152>
- Echterhof, T. (2021). Review on the use of alternative carbon sources in EAF steelmaking. *Metals*, 11(2), 222. <https://doi.org/10.3390/met11020222>
- Emeç, A. S. ve Yarbaşı, İ. Y. (2018). Ticari dışa açıklık ile enerji tüketimi arasındaki simetrik ve asimetrik nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *Erzurum Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(6), 193-206. <https://izlik.org/JA57WP87ZF>
- Engle, R. F. ve Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>

- Erdoğan, A. (1976). *Türkiye'nin hızlı kalkınması*. Ankara: ÜMİD-BİR Ülkücü Maliyeciler ve İktisatçılar Derneği Yayınları.
- Ertan, Y. (2024). *Ege çelik sektöründen çağrı: Rekabetin önündeki etkenler kaldırılmalı*. Şu adresten erişildi: <https://www.egedesonsoz.com/ege-celik-sektorunden-cagri-rekabetin-onundeki-etkenler-kaldirilsin> (Erişim Tarihi: 16.02.2026).
- Eryüzü, H. (2019). Dünya deniz ticareti ve Türkiye dış ticareti ilişkileri: Ekonometrik bir analiz. *The Journal of Social Science*, 3(5), 152-162. <https://doi.org/10.30520/tjsosci.524826>
- Eryüzü, H. ve Boran, C. (2026). Türkiye'de hurda çelik geri dönüşümü ve çevresel etkileri. *UFÜ Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 2(3), 103-125. <https://doi.org/10.29329/ufusobed.2026.1410.4>
- Eser, E. (2022). *Demir çelik fiyatları tüm sektörleri zorluyor*. Şu adresten erişildi: <https://www.dw.com/tr/demir-%C3%A7elik-fiyatlar%C4%B1-r%C3%BCm-sekt%C3%B6rleri-zorluyor/a-61264422> (Erişim Tarihi: 16.02.2026).
- Eviews (2022). *Eviews (Sürüm 12.0)* [Bilgisayar Yazılımı]. Eviews Corp. & IHS.
- Freyer, H. (2018). *Sanayi çağı* (Çev. B. Akarsu ve H. Batuhan). Ankara: Doğu Batı Yayınları.
- Gerçeker, M. (2021). Sanayi sektöründe ihracatın istihdama etkisi: Türkiye için asimetrik nedensellik testi. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(3), 127-136. <https://doi.org/10.52791/aksarayiibd.941020>
- Gajdzik, B., Sroka, W. ve Vveinhardt, J. (2021). Energy intensity of steel manufactured utilising EAF technology as a function of investments made: The case of the steel industry in Poland. *Energies*, 14(16), 5152. <https://doi.org/10.3390/en14165152>
- Global Carbon Budget (2025). *The latest GCB data*. Şu adresten erişildi: <https://globalcarbonbudget.org/datahub/the-latest-gcb-data-2025/> (Erişim Tarihi: 10.06.2026).
- Göksu, S. ve Balkı, A. (2023). *ARDL ve NARDL eşbütünleşme analizleri: Adım adım Eviews uygulaması*. Ankara: Serüven Yayınları.
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods. *Econometrica*, 37(3), 424-438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Granger, C. W. ve Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics*, 2(2), 111-120. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(74\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0304-4076(74)90034-7)
- Granger, C. W. ve Yoon, G. (2002). *Hidden cointegration department of economics working paper*. University of California, No:2002-02.

- Griffin, P. W. ve Hammond, G. P. (2019). Industrial energy use and carbon emissions reduction in the iron and steel sector: A UK perspective. *Applied Energy*, 249, 109-125. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.148>
- Gujarati, D. N. (2006). *Temel ekonometri* (Çev. Ü. Şenesen ve G. G. Şenesen). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Guo, Y., Lu, J., Zhang, Q., Cao, Y., Chen, L. ve Mauzerall, D. L. (2024). Co-production of steel and chemicals to mitigate hard-to-abate carbon emissions. *Nature Chemical Engineering*, 1, 365-375. <https://doi.org/10.1038/s44286-024-00061-1>
- Han, B., Wei, G., Zhu, R., Wu, W., Jiang, J. J. Feng, C., Dong, J. F., Hu, S. Y. ve Liu, R. Z. (2019). Utilization of carbon dioxide injection in BOF-RH steelmaking process. *Journal of CO2 Utilization*, 34, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2019.05.038>
- Hatemi, J. A. (2012). Asymmetric causality tests with an application. *Empirical Economics*, 43, 447-456. <https://doi.org/10.1007/s00181-011-0484-x>
- Hepsağ, A. ve Yaşar Akçalı, B. (2015). Zayıf formda piyasa etkinliğinin asimetric doğrusal olmayan birim kök testi ile analizi: G-7 ve E-7 ülkeleri örneği. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar Dergisi*, 9(2), 73-90. <https://izlik.org/JA23MS77EJ>
- Holappa, L. (2020). A general vision for reduction of energy consumption and CO2 emissions from the steel industry. *Metals*, 10(9), 1117. <https://doi.org/10.3390/met10091117>
- Hu, H., Yang, L., Wei, G., Xue, B., Yang, S., Zou, Y., Wang, S., Chen, F., Guo, Y. ve Jiang, T. (2025). Carbon-material-energy flows nexus analysis of electric arc furnace steelmaking processes in China. *Journal of Cleaner Production*, 486, 144377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144377>
- ITC Trade Map (2026). *Yearly time series*. Şu adresten erişildi: https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx (Erişim Tarihi: 15.02.2026).
- Jiang, F., Liu, X., Huang, Y., Liu, Y. ve Zhu, T. (2026). A life-cycle view of carbon emissions in mixed-feedstock electric arc furnace steelmaking. *Fuel*, 408, 137690. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2025.137690>
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 231-254. [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3)
- Johansen, S. ve Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration-with appucations to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169-210. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1990.mp52002003.x>

- Kapetanios, G., Shin, Y. ve Snell, A. (2003). Testing for a unit root in the nonlinear STAR framework. *Journal of Econometrics*, 112(2), 359-379. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(02\)00202-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(02)00202-6)
- Karaçayır, E. ve Bezgin, M. S. (2021). Döviz kuru ve makroekonomik değişkenler arasındaki ilişkinin NARDL model yaklaşımıyla incelenmesi. *Ufuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(19), 107-123. <https://izlik.org/JA74JT72CP>
- Karaş, E. (2024). Türkiye’de mali sürdürülebilirliğin analizi: NARDL yöntemi. *Maliye Çalışmaları Dergisi*, 72, 64-78. <https://doi.org/10.26650/mcd2024-1559287>
- Kaya, E. (2021). Seçilmiş makroekonomik değişkenler ile havayolu hisse senetleri arasındaki ilişki: Hatemi-J asimetrik nedensellik testi. *Malatya Turgut Özal Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 2(1), 61-78. <https://izlik.org/JA75BR54JA>
- Kıran, B. (2016). *Zaman serileri analizi ders notları*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi Yayınları.
- Kirschen, M., Risonarta, V. ve Pfeifer, H. (2009). Energy efficiency and the influence of gas burners to the energy related carbon dioxide emissions of electric arc furnaces in steel industry. *Energy*, 34(9), 1065-1072. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.015>
- Koç, Ö. (2023). Türkiye’nin yüksek teknoloji ürün ihracatının doğrusal ve doğrusal olmayan zaman serileri yöntemleriyle karşılaştırmalı analizi. *Doktora Tezi*. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Kotler, P., Jatusripitak, S. ve Maesincee, S. (2000). *Ulusların pazarlanması* (Çev. A. Buğdaycı). İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Kubat, C., Taşkin, H., Artır, R. ve Yılmaz, A. (2004). Bofy-fuzzy logic control for the basic oxygen furnace (BOF). *Robotics and Autonomous Systems*, 49(3-4), 193-205. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2004.09.007>
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P. ve Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that 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)
- Li, X., Sun, W., Zhao, L. ve Cai, J. (2018). Material metabolism and environmental emissions of BF-BOF and EAF steel production routes. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 39(1), 50-58. <https://doi.org/10.1080/08827508.2017.1324440>
- Lin, B. ve Wang, X. (2015). Carbon emissions from energy intensive industry in China: Evidence from the iron & steel industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 746-754. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.056>

- Liu, M., Ma, G., Zhang, X. ve Zheng, D. (2022). Numerical simulation on the melting kinetics of steel scrap in iron-carbon bath. *Case Studies in Thermal Engineering*, 34, 101995. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101995>
- Mahanta, B. K., Gupta, P., Mohanty, I., Roy, T. K. ve Chakraborti, N. (2023). Evolutionary data driven modeling and tri-objective optimization for noisy BOF steel making data. *Digital Chemical Engineering*, 7, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.dche.2023.100094>
- Mandova, H., Leduc, S., Wang, C., Wetterlund, E., Patrizio, P., Gale, W. ve Kraxner, F. (2018). Possibilities for CO2 emission reduction using biomass in European integrated steel plants. *Biomass and Bioenergy*, 115, 231-243. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.04.021>
- Mercielle, J. (2008). The radical geopolitics of US foreign policy: Geopolitical and geoeconomics logics of power. *Political Geography*, 27(5), 570-586. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2008.06.002>
- Microsoft (2016). *Excel (Sürüm 16.0)* [Bilgisayar Yazılımı]. Microsoft Corp.
- NonStat (t.y.). *NonStat*. Şu adresten erişildi: <http://easyfinancetechnology.com> (Erişim Tarihi: 12.02.2026).
- O'Hara, S. ve Heffernan, M. (2006). From geo-strategy to geo-economics: The Heartland and British imperialism before and after MacKinder. *Geopolitics*, 11(1), 54-73. <https://doi.org/10.1080/14650040500524079>
- Oral, K. (1970). Türkiye demir-çelik sanayii ve sorunları. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 9(5), 70-85. <https://izlik.org/JA92HH87GS>
- Özdamar, A. B., Kaya, M., Bektaş, A., Bhattacharyya, S., Şahindoğan, M., Birat, J.-P. ve Dutta, A. (2026). A study of the environmental challenges en marche towards net-zero: Case study of Turkish steel industry. *Processes*, 14(1), 178. <https://doi.org/10.3390/pr14010178>.
- Özdemir, L. (2020). Covid-19 pandemisinin BİST sektör endeksleri üzerine asimetric etkisi. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(3), 546-556. <https://doi.org/10.29106/fesa.797658>
- Özoğuz, K. (1986). Zaman serilerinde trend fonksiyon tipinin belirlenmesi ve yorumu. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası*, 42(1-4), 73-91. <https://izlik.org/JA99BT88EN>
- Parthasarathy, T. N., Nagarajan, D. ve Pamucar, D. (2026). An advanced fuzzy based multi-layered decision-making system for sustainable carbon emission reduction strategy selection in steel industry. *Journal of Cleaner Production*, 539, 147458. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.147458>
- Perron, P. (1989). The great crash the oil price shock and the unit root hypothesis. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 57(6), 1361-1401. <https://doi.org/10.2307/1913712>
- Pesaran, M. H. ve Shin, Y. (1999). An autoregressive distributed lag modelling approach to cointegration analysis. İç. S. Strom (ed.), *Paper presented at*

econometrics and economics theory in the 20th century: The ragnar frisch centennial symposium. Cambridge University Press, Cambridge.

- Pesaran, M. H., Shin, Y. ve Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Qu, B., Huang, Y., She, J., Liao, P. ve Lai, X. (2024). Forecasting and early warning of bridge monitoring information based on a multivariate time series ARDL model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 133, 103533. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103533>
- Quan, Z., Xu, X., Wang, W., Jiang, J. ve Gao, S. (2024). Do industrial solid waste recycling and technological innovation promote low-carbon development in China? New insights from NARDL approach. *Science of The Total Environment*, 916, 170446. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170446>
- Sabır, H. (2002). *Dünya siyasetinde küresel rekabet sistemi ve politikaları*. İstanbul: Derin Yayınları.
- Schwert, G. W. (2002). Tests for unit roots: A Monte Carlo investigation. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(1), 5-17. <https://doi.org/10.1198/073500102753410354>
- Serin, Z. V. ve Fidan, O. (2020). Turkey iron and steel industry competitiveness and industry 4.0. *Journal of Transportation and Logistics*, 4(2), 91-106. <https://doi.org/10.26650/JTL.2019.04.02.04>
- Shahbaz, M. ve Mubarak, M. S. (2023). Rolling-window bounds testing approach to analyze the relationship between oil prices and metal prices. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 87, 388-395. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2022.01.015>
- Shin, Y., Yu, B. ve Greenwood-Nimmo, M. (2014). Modelling asymmetric cointegration and dynamic multipliers in a nonlinear ARDL framework. İç. R. C. Sickles ve W. C. Horrace (ed.), *Festschrift in honor of Peter Schmidt: Econometric methods and applications*, pp. 281-314. Springer New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8008-3>
- Smith, A. (2002). Imagining geographies of the new Europe: Geo-economic power and the new European architecture of integration. *Political Geography*, 21(5), 647-670. [https://doi.org/10.1016/S0962-6298\(02\)00011](https://doi.org/10.1016/S0962-6298(02)00011)
- Song, X., Du, S., Deng, C., Shen, P., Xie, M., Zhao, C., Chen, C. ve Liu, X. (2025). Carbon emissions in China's steel industry from a life cycle perspective: Carbon footprint insights. *Journal of Environmental Sciences*, 148, 650-664. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.04.027>
- Stearns, P. N. (2021). *Dünya tarihinde sanayi devrimi* (Çev. N. Soysal). Ankara: Say Yayınları.
- SteelOrbis (2022). *Türkiye çelik sektörü 2024 yılında toparlanma gösteriyor*. Şu adresten erişildi: <https://tr.steelorbis.com/celik-haberleri/guncel-haberler/>

- türkiye-çelik-sektörü-yeni-kosullara-kismen-uyum-sağladı-beklentiler-belirsiz-1340808.htm (Erişim Tarihi: 15.02.2026).
- Su, X. ve Zhang, X. (2016). A detailed analysis of the embodied energy and carbon emissions of steel-construction residential buildings in China. *Energy and Buildings*, 119, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.070>
- Sun, C., Wang, J., Zhou, M., Hong, L., Ai, L. ve Wen, L. (2024). Process path for reducing carbon emissions from steel industry-combined electrification and hydrogen reduction. *Processes*, 12(1), 108. <https://doi.org/10.3390/pr12010108>
- Sungur, O., Aydın, H. ve Eren, M. (2016). Türkiye’de Ar-Ge, inovasyon, ihracat ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: Asimetrik nedensellik analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 173-192. <https://izlik.org/JA33YR52CX>
- Sülkü, S. N. ve Ülkmez, E. (2018). Hisse senedi getirilerinde doğrusal olmayan dinamikler: Türkiye’den kanıtlar. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 2018(18. EYI Özel Sayısı), 473-484. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.349846>
- Şak, N. (2021). Kripto paralar arasındaki ilişkinin incelenmesi: Hatemi-J asimetrik nedensellik analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 12(29), 149-175. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.753201>
- T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2022). *Demir çelik sektör raporu 2021*. Ankara: Sanayi Genel Müdürlüğü Yayını.
- T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2023). *Demir çelik sektör raporu 2022*. Ankara: Sanayi Genel Müdürlüğü Yayını.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2024). *Demir çelik sektör raporu 2023*. Ankara: Sanayi Genel Müdürlüğü Yayını.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2025). *Demir çelik sektör raporu 2024*. Ankara: Sanayi Genel Müdürlüğü Yayını.
- 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. <https://izlik.org/JA77BS57CW>
- Tan, S. (1983). *Demir çelik sanayiinde verimlilik - 1982*. Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları.
- Tang, C. F. ve Wang, J. (2025). Bridging growth and investment: The interaction of FDI, institutions and financial development in China. *Global Business Review*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/09721509241295836>
- Tarı, R. (1999). *Ekonometri*. İstanbul: Alfa Yayınları.
- Tarı, R. (2010). *Ekonometri*. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Yayınları.

- Taşdelen, S. ve Çetiner, E. M. (2022). 2008 küresel finansal krizinin Türkiye, Japonya ve Çin’de demir çelik sektörüne etkileri üzerine ekonometrik bir uygulama. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 59(659), 39-70.
- Tekin-Koru, A. ve Dinçer, N. N. (2025). Küresel şoklar, yeşil politika ve Türkiye çelik ticaretinin refah mantığı. *ODTÜ Gelişme Dergisi*, 52(2), 339-373. <https://doi.org/10.60165/metusd.v52i2.4>
- Teo, P. T., Zakaria, S. K., Salleh, S. Z., Taib, M. A. A., Mohd Sharif, N., Abu Seman, A., Mohamed, J. J., Yusoff, M., Yusoff, A. H., Mohamad, M., Masri, M. N. ve Mamat, S. (2020). Assessment of electric arc furnace (EAF) steel slag waste’s recycling options into value added green products: A review. *Metals*, 10(10), 1347. <https://doi.org/10.3390/met10101347>
- Teyyare, E. (2018). Tasarruf - yatırım - kurumsal kalite ilişkisine yönelik bir analiz: Türkiye örneği. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 119-139. <https://doi.org/10.11616/asbed.v18i38800.459486>
- Tezeren, A. (1990). *Demir çelik sanayiinde verimlilik rapor sistemi*. Ankara: Millî Prodüktivite Merkezi Yayınları.
- Tezeren, A., Tan, S., Özdeş, N., Yücel, E. ve Aykın, N. (1983). *Özel sektör demir çelik tesislerinde envanter ve kapasite çalışmaları entegre tesislerde verimlilik ölçümleri*. Ankara: Millî Prodüktivite Merkezi Yayınları.
- The Carbon Compass (t.y.). *Steel’s global decarbonization drive: Pathways, ambitions and realities*. Şu adresten erişildi <https://the-carbon-compass.com/steels-global-decarbonization-drive-pathways-ambitions-and-realities/> (Erişim Tarihi: 11.02.2026).
- Tıraşoğlu Yıldırım, B. (2014). Yapısal kırılmalı birim kök testleri ile OECD ülkelerinde satın alma gücü paritesi geçerliliğinin testi. *Istanbul University Econometrics and Statistics E-Journal*, 20, 68-87. <https://izlik.org/JA23YR72MS>,
- Tian, B., Wei, G., Li, X., Zhu, R., Bai, H., Tian, W. ve Dong, K. (2022). Effect of hot metal charging on economic and environmental indices of electric arc furnace steelmaking in China. *Journal of Cleaner Production*, 379(1), 134597. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134597>
- Toda, H. Y. ve Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*. 66(1-2), 225-250. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)
- Torun, N. (2015). Birim kök testlerinin performanslarının karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Tutumlu, Ö. ve Güler, N. (2025). Tüketici Güven Endeksi ile Sektörel Güven Endeksleri arasındaki ilişkinin doğrusal ve doğrusal olmayan zaman serisi analizi. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 10(1), 155-180. <https://izlik.org/JA23NW42XG>

- Uçak, S. ve Villi, B. (2021). Avrupa Yeşil Mutabakatının çelik sektörüne olası etkileri. *Uygulamalı Ekonomi ve Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(2), 94-113. <https://doi.org/10.46959/jecss.987971>
- Uslu, H. (2023). Türkiye’de reel döviz kuru, enflasyon ve faiz oranlarının dış ticaret üzerindeki etkisi: Simetrik ve asimetrik yöntemlerle analiz. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12(2), 524-556. <https://doi.org/10.33206/mjss.1186057>
- Uysal, İ. ve Kılıç, A. F. (2021). Normal dağılım ikilemi. *Anadolu Journal of Educational Sciences International*, 12(1), 220-248. <https://doi.org/10.18039/ajesi.962653>
- Uzgören, N. ve Uzgören, E. (2005). Zaman serilerinde sahte regresyon sorunu ve reel kamu harcamalarına yönelik bir ekonometrik model uygulaması. *Akademik Bakış Dergisi*, 5, 1-14.
- Wang, H., Liu, H., Chen, F. G., Li, H. ve Xue, X. J. (2025). Endpoint carbon content and temperature prediction model in BOF steel-making based on dynamic feature partitioning - weighted ensemble learning. *Metallurgical Research & Technology*, 122(3), 312. <https://doi.org/10.1051/metal/2025026>
- Wang, P., Jiang, Z., Geng, X., Hao, S. ve Zhang, X. (2013). Quantification of Chinese steel cycle flow: Historical status and future options. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.04.003>
- Wang, Z., Liu, Q., Liu, H. & Wei, S. (2020). A review of end-point carbon prediction for BOF steelmaking process. *High Temperature Materials and Processes*, 39(1), 653-662. <https://doi.org/10.1515/htmp-2020-0098>
- Weiss, L. ve Hobson, J. M. (1999). *Devletler ve ekonomik kalkınma karşılaştırmalı tarihsel bir analiz* (Çev. K. DüNDAR). Ankara: Dost Yayınları.
- World Steel Association [WSA] (t.y.). *Data*. Şu adresten erişildi: <https://worldsteel.org/data/> (Erişim Tarihi: 10.02.2026).
- Wu, F., Gao, J., Tong, Y., Fang, H., Li, G. ve Yuo, T. (2026). Carbon footprint characteristics and reduction strategies of the iron and steel industry: an LCA-based study of source, process, end-use and cleaner production applications. *Environmental Research*, 239, 123769. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2026.123769>
- Xin, H., Wang, S., Chun, T., Xue, X., Long, W., Xue, R. ve Zhang, R. (2023). Effective pathways for energy conservation and emission reduction in iron and steel industry towards peaking carbon emissions in China: Case study of Henan. *Journal of Cleaner Production*, 399, 136637. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136637>

- Xu, W., Wan, B., Zhu, T. ve Shao, M. (2016). CO2 emissions from China's iron and steel industry. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1504-1511. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.107>
- Xuan, Y. ve Yue, Q. (2017). Scenario analysis on resource and environmental benefits of imported steel scrap for China's steel industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 186-198. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.011>
- Yalova, Y. ve Sarısu, A. (2014). *Türkiye örneğinde demir çelik sektöründe dönüşüm ve İSDEMİR uygulaması*. İstanbul: YeniYüzyıl Yayınları.
- Yang, L., Hu, H., Yang, S., Wang, S., Chen, F. ve Gou, Y. (2023). Life cycle carbon footprint of electric arc furnace steelmaking processes under different smelting modes in China. *Sustainable Materials and Technologies*, 35, e00564. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2022.e00564>
- Yang, L., Li, B., Guo, Y., Wang, S., Xue, B. ve Hu, S. (2022). Influence factor analysis and prediction model of end-point carbon content based on artificial neural network in electric arc furnace steelmaking process. *Coatings*, 12(10), 1508. <https://doi.org/10.3390/coatings12101508>
- Yaşar, O. (2009). Türk imalat sanayinde lokomotif bir sektör: Demir çelik sanayi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 20, 42-78. <https://izlik.org/JA62ML24KM>
- Yavuz, N. Ç. (2004). Duraganlığın belirlenmesinde KPSS ve ADF testleri: İMKB Ulusal-100 Endeksi ile bir uygulama. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası*, 54(1), 239-247. <https://izlik.org/JA57PA35JW>
- Yavuz, N. Ç. (2006). Türkiye'de turizm gelirlerinin ekonomik büyümeye etkisinin testi: Yapısal kırılma ve nedensellik analizi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 7(2), 162-171. <https://izlik.org/JA36CM72AT>
- Yayan, V. (2021). *Türkiye'nin ham çelik üretimi yılın ilk yarısında yüzde 4,6 azaldı*. Şu adresten erişildi: <https://www.memurlar.net/haber/1036739/turkiye-nin-ham-celik-uretimi-yilin-ilk-yarisinda-yuzde-4-6-azaldi.html> (Erişim Tarihi: 16.02.2026).
- Yeldan, E. (2016). *Küreselleşme sürecinde Türkiye ekonomisi*. İstanbul: İletişim Yayınları.
- Yetim, M. ve Yamak, R. (2019). Türkiye'de döviz kurundan fiyatlara geçişkenlik etkisi: Hatemi-J asimetrik nedensellik testi. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(1), 203-221. <https://doi.org/10.26468/trakyasobed.466936>
- Yılcı, V. (2009). Yapısal kırılmalar altında Türkiye için işsizlik histerisinin sınanması. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 10(2), 234-335. <https://izlik.org/JA94DJ68MB>
- Yıldırım, E. O. (1983). Cumhuriyetten günümüze demir çelik sanayii. İç. *Demir çelik semineri*, ss. 37-50, Ankara: Millî Prodüktivite Merkezi Yayınları.
- Yılmaz, M., Kırbıyık, M. ve Çiftçi, Y. (2017). Armonize Sistem neden, nasıl ve ne zaman güncellenir? Durum çalışması: Biyodizel ve gümrük laboratu-

- varlarında yapılan analizler. *Gümrük ve Ticaret Dergisi*, 10, 99-105. <https://izlik.org/JA98ZL37BD>
- Yılmaz, M. S. ve Yılmaz, F. (2025). Ağır sanayii karbonsuzlaştırma ve yeşil çelikler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 30(1), 293-304. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1524063>
- Yurdakul, F. (2000). Yapısal kırılmaların varlığı durumunda geliştirilen birim kök testleri. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 21-34. <https://izlik.org/JA57CG48ST>
- Zang, G., Sun, P., Elgowainy, A., Bobba, P., McMillan, C., Ma, O., Podkaminer, K., Rustagi, N., Melaina, M. ve Koleva, M. (2023). Cost and life cycle analysis for deep CO2 emissions reduction of steelmaking: Blast furnace-basic oxygen furnace and electric arc furnace technologies. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 128, 103958. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2023.103958>
- Zeytinoglu, M. (1981). *Ulusal sanayi*. İstanbul: Çağdaş Yayınları.
- Zhang, J., Shen, J. Xu, L. ve Zhang, Q. (2023). The CO2 emission reduction path towards carbon neutrality in the Chinese steel industry: A review. *Environmental Impact Assessment Review*, 99, 107017. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.107017>
- Zhang, T., Wang, L., Zhu, W., Guo, Y., Chen, Z. Li, J., Wei, J. ve Yu, Q. (2024). Preparation of high strength carbon negative building material by CO2 curing biochar- EAF steel slag compacts. *Construction and Building Materials*, 441, 137456. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137456>
- Zhang, X., Jiao, K., Zhang, J. ve Guo, Z. (2021). A review on low carbon emissions projects of steel industry in the World. *Journal of Cleaner Production*, 306, 127259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127259>
- Zhu, L., Zhang, X-B., Li, Y., Wang, X. ve Guo, J. (2017). Can an emission trading scheme promote the withdrawal of outdated capacity in energy-intensive sectors? A case study on China's iron and steel industry. *Energy Economics*, 63, 332-347. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.02.004>
- 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/10.1080/07350015.1992.10509904>

Temporal Fusion Transformer (TFT) Kullanılarak İnşaat Maliyet Endeksi Öngörüsü

Özer Özaydın¹

İrem Varürer²

Özet

Bu çalışmada, derin öğrenme modellerinden biri olan Temporal Fusion Transformer (TFT) mimarisi kullanılarak Türkiye'ye ait aylık İnşaat Maliyet Endeksi (İME) öngörüsü gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Burada, günümüzde öngörüde kullanılan derin öğrenme modellerinden biri olan TFT modelini tanıtmak ve inşaat maliyet endeksi öngörüsünde kullanarak performansını görmek amaçlanmıştır. İME öngörüsü için, Ocak 2015-Eylül 2025 zaman aralığında aylık veriler kullanılmıştır. Ayrıca, maliyet dinamiklerini etkileyebileceği değerlendirilen üç bağımsız değişken (inşaat yapı sayısı (m^2)), sanayi üretim endeksi, konut satış endeksi) seçilerek modele dâhil edilmiştir. Öngörüde TFT modeli kullanılırken, model performansı Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) metriği ile değerlendirilmiştir. TFT modelinin RMSE değeri 36,01 olarak bulunmuştur. Elde edilen bulgular, TFT modelinin hem kısa vadeli öngörülerde hem de tüm dönem performansında yüksek doğruluk sağladığını ve trend ile volatilité dinamiklerini başarılı biçimde yakaladığını göstermektedir. Ayrıca değişken önem analizi sayesinde, inşaat maliyetlerini etkileyen temel göstergelerin görece katkıları nicel olarak ortaya konulmuştur.

1. Giriş

Türkiye ekonomisinin yapısal dinamikleri incelendiğinde, inşaat sektörünün yalnızca bir üretim alanı değil, aynı zamanda büyümenin temel taşıyıcısı ve istihdamın ana kaynağı olduğu görülmektedir. Ancak sektörün bu rolü, makroekonomik dalgalanmalara karşı aşırı hassasiyet göstermesiyle doğrudan ilişkilidir. Özellikle son yıllarda küresel ve yerel düzlemde yaşanan

1 Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, oozaydin@ogu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-6657-1162

2 Uzman İstatistikçi, irem.1997.rvr@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9788-1729

maliyet artışları, İnşaat Maliyet Endeksi'nin (İME) takibini ve geleceğe yönelik projeksiyonlarını stratejik bir zorunluluk haline getirmiştir. Malzeme fiyatlarındaki volatilité ve işçilik giderlerindeki yukarı yönlü ivme, proje bütçelerinin yönetimini güçleştirirken, sektör paydaşlarını daha sofistike ve güvenilir öngörü metodolojileri aramaya sevk etmektedir.

Geleneksel ekonometrik modeller, maliyet değişimlerini çoğunlukla geçmiş verilere dayalı doğrusal bir düzlemde analiz etme eğilimindedir. Oysa inşaat maliyetleri; sanayi üretiminden konut talebine, ruhsatlandırılan yapı stokundan döviz bazlı girdi maliyetlerine kadar çok katmanlı ve doğrusal olmayan bir değişkenler kümesi tarafından manipüle edilmektedir. Bu noktada yapay zeka disiplini, karmaşık veri yığınları arasındaki kaotik ilişkileri çözme yeteneğiyle öne çıkmaktadır.

Günümüzde yapay zeka, teknolojik bir inovasyon olmanın ötesine geçerek, operasyonel verimliliği ve stratejik karar alma süreçlerini optimize eden bütüncül bir paradigma haline gelmiştir. Bu dönüşümün odağında yer alan makine öğrenmesi ve derin öğrenme disiplinleri, veriden anlamlı örüntüler çıkarma yetenekleri sayesinde her geçen gün daha geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Yapay zeka teknolojilerinin toplumsal ve etik yansımaları üzerine yürütülen “fayda-zarar” eksenindeki tartışmalar devam etse de, bu sistemlerin modern yaşantının her katmanına entegre olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bireylerin gündelik tercihlerinden karmaşık endüstriyel süreçlere kadar uzanan bu dijital yenilik, yapay zekayı ve derin öğrenme modellerini bir çok alan için inkâr edilemez bir kolaylaştırıcı unsur olarak konumlandırmıştır.

Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, verinin içerisindeki gürültüyü (noise) filtreleyerek, geleneksel yöntemlerin ıskaladığı gizli korelasyonları açığa çıkarma potansiyeline sahiptir. Özellikle zaman serisi analizlerinde de çokça yapılan maliyet öngörü süreçlerinde gösterdiği kararlı ve istikrarlı yaklaşımları ile güvenilir bir karar destek sistemine dönüşmesini sağlamıştır.

Bu çalışma, Türkiye'deki İME'nin seyrini, derin öğrenme literatürünün en güncel ve güçlü mimarilerinden biri olan Temporal Fusion Transformer (TFT) modeli ile analiz etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, çok değişkenli bu veri seti TFT modelinin “dikkat mekanizması” (attention mechanism) ile işlenerek şeffaf bir şekilde hangi makroekonomik parametrenin maliyetler üzerinde ne zaman ve ne ölçüde etkili olduğunu da göstermek amaçlanmıştır. Özellikle karmaşık çok değişkenli zaman serisi veri setlerinde çok iyi sonuçlar verdiği bilinen TFT modelinin güçlü ve istikrarlı yapısı bu çalışmada gösterilmeye çalışılmış olup, daha yeni bir model olması sebebi ile üzerine yapılan çalışma sayısının azlığından dolayı literatüre katkısı olacağı düşünülerek bu çalışma için özellikle seçilmiştir.

2. Literatür Taraması

Aydınlı (2022), tarafından gerçekleştirilen çalışma, Türkiye’de inşaat maliyet endeksinin öngörü performansını irdelemek amacıyla 2015–2022 arasındaki İME verilerini kullanarak zaman serisi modellerinin etkinliğini değerlendirmiştir. Araştırmada Holt-Winters Üstel Düzeltme ve ARIMA gibi klasik zaman serisi yöntemleri ile inşaat maliyet endeksinin ileriye dönük öngörüsü yapılmış; sonuçlar, yüksek enflasyon ortamında bu modellerin performansının sınırlı olduğunu göstermiştir. Ancak özellikle üçlü üstel düzeltme (Holt-Winters) modelinin görece olarak daha iyi öngörüler verdiği bulunmuştur. Yazar, bu bağlamda daha ileri makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı modellerin entegrasyonunun maliyet öngörü performansını artırabileceğini vurgulamıştır.

Aslam ve ark. (2023), tarafından yürütülen çalışma gelişmekte olan ülkelerde bina malzemeleri İME’ sinin öngörüsü üzerine odaklanmıştır. Çalışmada Pakistan için geçmiş 2000–2020 dönemine ait İME verileri kullanılmış, bu veriler çimento, çelik, tuğla, kum ve çakıl gibi malzemelerin fiyat endekslerini içermiştir. Yapay Sinir Ağları (ANN), regresyon ve klasik zaman serisi modelleri karşılaştırılmış ve swish aktivasyon fonksiyonu ile geliştirilmiş ANN modeli, diğer iki yaklaşıma göre daha düşük hata oranları (ME, MAE ve Theil’s U) ile daha güvenilir İME öngörülerini sağlamıştır. Yazarlar, tekrarlayan sinir ağlarının (ör. LSTM) bu doğruluğu daha da artırabileceğini belirtmişlerdir.

Tüz ve Ebese (2023), çalışması Türkiye’de İnşaat Maliyet Endeksi’nin (İME) öngörüsü üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmada 2005–2019 dönemine ait İME zaman serisi verileri kullanılmış, en yüksek öngörü doğruluğuna ulaşmak için klasik zaman serisi modellerinden Holt-Winters üstel düzeltme modeli, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile optimize edilmiş ve Walk-Forward Cross-Validation (WFCV) ile parametre ayarları iyileştirilmiştir. Modelin optimizasyonu sonucunda eğitim verilerinde düşük hata ve İME öngörüsünde güçlü performans elde edilmiş; mevsimsellik etkisinin ihmal edilebileceği ve optimize edilmiş Holt-Winters modelinin inşaat maliyet öngörüsünde etkin bir şekilde kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu çalışma, Türkiye özelinde İME öngörüsü için optimize edilmiş klasik modellerin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Bui ve Ngo (2024) çalışması, inşaat maliyet endekslerinin (Construction Cost Index, CCI) öngörüsü için derin öğrenme yaklaşımlarını incelemiştir. Bu çalışmanın amacı, özellikle yüksek enflasyon ortamında inşaat sektöründeki paydaşlar için güvenilir bir maliyet öngörü aracı sunmaktır. Çalışmada geçmiş İME değerleri üzerinde uzun-kısa süreli bellek (LSTM) ağı kullanılarak model eğitilmiş ve bu derin öğrenme modelinin İME öngörüsünde etkili bir yöntem olduğu vurgulanmıştır; modelin özellikle kısa vadeli öngörülerde geleneksel

yöntemlere göre daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Bu araştırma, İME öngörüsü bağlamında derin öğrenme uygulamalarına yönelik önemli bir giriş niteliği taşımaktadır.

Wang ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışma, özellikle Highway Construction Cost Index (HCCI) gibi dalgalı maliyet serilerinin öngörülmesinde hibrit bir çerçeve önermektedir. Araştırmada Texas HCCI zaman serisi verisi kullanılmış ve bu veri VMD (Variational Mode Decomposition) ile bileşenlere ayrıldıktan sonra LSTM daha düzgün bileşenleri, GRU (Gated Recurrent Unit) ise daha değişken bileşenleri öngörmek üzere eğitilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu VMD–LSTM–GRU hibrit modelinin yalnızca klasik zaman serisi modellerine değil, ayrıca tek başına derin öğrenme modellerine kıyasla da daha yüksek öngörü doğruluğu sunduğunu göstermiştir ve bu performans artışı, bütçe planlaması ve finansal karar destek sistemleri için önemli bir gelişme olarak yorumlanmıştır.

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Türkiye’de inşaat sektörünün maliyet dinamiklerini ileriye dönük olarak öngörebilmek amacıyla İnşaat Maliyet Endeksi (İME) esas alınmıştır. İnşaat sektörü; istihdam, ekonomik büyüme, konut piyasası ve kamu yatırımları üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri nedeniyle makroekonomik yapı içerisinde stratejik bir konuma sahiptir. Özellikle son yıllarda küresel emtia fiyatlarındaki artışlar, döviz kuru dalgalanmaları ve enflasyonist baskılar, inşaat maliyetlerinde belirgin oynaklıklara yol açmıştır. Bu durum, maliyet öngörülerinin hem politika yapıcılar hem de yatırımcılar açısından kritik önem taşımaya neden olmaktadır. Dolayısıyla İME’nin doğru ve güvenilir biçimde öngörülmesi, sektörel risk yönetimi ve stratejik planlama süreçlerine önemli katkı sağlayacaktır.

Çalışmada bağımlı değişken olarak Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan aylık İnşaat Maliyet Endeksi kullanılmıştır. Veri seti aylık verilerden oluşup, Ocak 2015- Eylül 2025 dönemini kapsamakta olup toplam 130 gözlemden oluşmaktadır. Modelin açıklayıcı gücünü artırmak amacıyla yalnızca geçmiş endeks değerleri değil, aynı zamanda inşaat maliyetlerini etkileyebileceği düşünülen çeşitli makroekonomik ve finansal göstergeler bağımsız değişken olarak modele dahil edilmiştir. Bu kapsamda inşaat yapı sayısı (m^2), sanayi üretim endeksi, konut satış endeksi kullanılmıştır. Böylece modelin, maliyet dinamiklerini tek değişkenli bir yapıdan ziyade çok değişkenli bir çerçevede öğrenmesi amaçlanmıştır.

Öngörü için klasik istatistiksel teknikler yerine yapay zeka araçları içerisinde derin öğrenme modellerinden TFT kullanılmıştır. Çalışma Python programlama dilinde gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde yapay zeka, yalnızca teknik bir disiplin olmanın ötesine geçerek, sosyo-teknik sistemlerin merkezinde yer alan ve insan bilişini simüle eden bir paradigma haline gelmiştir. İnsanın deneyim odaklı karar verme mekanizması—örneğin dış dünyadan gelen verileri (hava durumu, bulut yoğunluğu vb.) işleyerek stratejik bir eylem (şemsiye alma) geliştirmesi—aslında karmaşık bir veri işleme ve örüntü tanıma sürecidir. Yapay zeka çalışmalarının temelinde de bu bilişsel sürecin bilgisayar ortamında temsil edilebilmesi yer almaktadır. Başka bir ifadeyle amaç, insanın karar verme biçimini taklit eden sistemler geliştirmektir.



Şekil 1. Yapay zeka ve bağlantılı kavramlar

Literatürde yapay zeka; bilgisayarların veya bilgisayar destekli sistemlerin, öğrenme, akıl yürütme ve problem çözme gibi insana özgü süreçleri gerçekleştirebilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Öztürk ve Şahin, 2018). Kavramın resmi olarak 1955 yılında Dartmouth College'daki bir çalışmada dile getirildiği bilinmektedir. Bununla birlikte, kuramsal arka planının daha erken dönemlere uzandığını söylemek mümkündür. Özellikle 1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından geliştirilen matematiksel nöron modeli, insan beyninin işleyişini soyut bir düzlemde temsil etmeye yönelik ilk sistematik adımlardan biri olmuştur (Güney, 2022).

Yapay zekanın gelişim süreci kesintisiz bir ilerleme şeklinde gerçekleşmemiştir. Özellikle erken dönemlerde donanım kapasitesinin sınırlı olması ve veri eksikliği

önemli engeller oluşturmuştur. Ancak zamanla işlem gücünün artması ve büyük veri kaynaklarının erişilebilir hale gelmesi, alanın yeniden ivme kazanmasına katkı sağlamıştır.

Günümüzde karmaşık yapay zeka modellerinin temelini daha önce de belirtildiği gibi, 1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından geliştirilen matematiksel nöron modeli oluşturmaktadır. Söz konusu modeller temelde Yapay Sinir Ağları (YSA) olarak isimlendirilmektedir.

3.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynindeki nöral bağlantı yapısından esinlenerek oluşturulan matematiksel modellerdir. Bu modellerin temel amacı, verideki örüntüleri keşfetmek ve bu örüntüler üzerinden genelleme yapabilmektir. Günümüzde görüntü tanıma, ses işleme, sınıflandırma ve zaman serisi öngörüsü gibi birçok farklı problem türünde kullanılmaktadır.

Basit bir sinir ağı yapısında, giriş verileri belirli ağırlık katsayılarıyla çarpılarak doğrusal bir birleşim elde edilir. Bu birleşime yanlılık terimi eklenir ve sonuç bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıktı üretilir. Modelin ürettiği çıktı ile gerçek değer arasındaki fark, hata fonksiyonu aracılığıyla hesaplanır ve ağ parametreleri bu hatayı azaltacak biçimde güncellenir. Öğrenme süreci genellikle yinelemeli bir optimizasyon mekanizmasına dayanır ve model performansı belirli bir denge noktasına ulaştığında süreç sonlandırılır (McCulloch ve Pitts, 1943).

YSA'lar farklı ölçütlere göre sınıflandırılabilir. Bağlantı yönüne göre ileri beslemeli ve geri beslemeli yapılar; katman sayısına göre ise tek katmanlı ve çok katmanlı ağlar ayırt edilmektedir. Özellikle çok katmanlı ağların geliştirilmesi, daha karmaşık ilişkilerin modellenmesini mümkün kılmış ve derin öğrenme yaklaşımının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Üntez, 2022).

3.2. Derin Öğrenme

Derin öğrenme, çok katmanlı sinir ağlarına dayanan ve veriden temsilleri aşamalı olarak öğrenebilen bir makine öğrenmesi yaklaşımıdır. Bu yöntemde model, ham veriden başlayarak daha soyut özellikleri katmanlar aracılığıyla kademeli biçimde çıkarmaktadır. Dolayısıyla öznitelik çıkarımı sürecinin önemli bir kısmı doğrudan model tarafından gerçekleştirilmektedir (Güney, 2022).

Makine öğrenmesi ile derin öğrenme arasındaki temel farklardan biri burada ortaya çıkmaktadır. Geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerinde verinin modele uygun biçimde dönüştürülmesi ve özniteliklerin belirlenmesi çoğunlukla araştırmacının sorumluluğundadır. Buna karşılık derin öğrenme

modelleri, yeterli veri ve hesaplama gücü sağlandığında, bu süreci büyük ölçüde otomatikleştirebilmektedir. Bununla birlikte, yüksek performans genellikle büyük veri kümeleri ve güçlü donanım altyapısı gerektirmektedir. Özellikle GPU destekli sistemler, çok sayıda matris işlemi içeren bu modeller için önemli bir avantaj sağlamaktadır (Gayhardt ve diğerleri, 2024).

Derin öğrenmenin tarihsel gelişimi incelendiğinde, erken dönem sinir ağı çalışmalarının teorik temel oluşturduğu; ancak asıl sıçramanın 2000'li yılların sonrasında gerçekleştiği görülmektedir. Bu dönemde hem veri hacminin artması hem de paralel hesaplama olanaklarının yaygınlaşması, daha derin ve karmaşık ağ yapılarını uygulanabilir hale getirmiştir.

3.2.1. Derin Öğrenme Modelleri

Derin öğrenme ekosistemi, verinin doğasına ve hedeflenen çıktıya göre özelleşmiş çeşitli mimarilere evrilmiştir:

- **Evrışimli Sinir Ağları (CNN):** Özellikle görsel verilerin işlenmesinde, mekansal hiyerarşiyi (kenar, köşe, doku tespiti) koruyarak üstün başarı sağlar.
- **Yinelemeli Sinir Ağları (RNN) ve LSTM/GRU:** Metin veya zaman serisi gibi ardışık verilerde, geçmiş bilgiyi hafızada tutarak zamansal bağımlılıkları modeller.
- **Transformatörler (Transformers):** Günümüzde özellikle doğal dil işleme (NLP) alanında devrim yaratan, dikkat (attention) mekanizmasına dayalı mimarilerdir.
- **Üretken Çekişmeli Ağlar (GAN):** İki ağın (üretici ve ayırt edici) birbiriyle rekabeti üzerinden sentetik ve gerçekçi veri üretimi sağlar.

Son dönemde literatürde, bu mimarilerin hibrit kullanımı (örneğin görüntü açıklaması üretmek için CNN-RNN birleşimi) ve dikkat mekanizmalarının entegrasyonu popülerlik kazanmıştır. Bu hibrit yapılar, finansal piyasaların analizi, biyomedikal görüntüleme ve çok modlu (multimodal) yapay zeka sistemlerinin geliştirilmesinde kritik rol oynamaktadır (Varürer ve Özyayın, 2024).

Bu çalışmada derin öğrenmenin nispeten yeni modellerinden TFT modeli kullanılmış olup bir sonraki bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

3.2.2. Temporal Fusion Transformer(TFT)

Temporal Fusion Transformer (TFT), çok değişkenli zaman serilerinin öngörüsünde yönelik geliştirilmiş hem esnek hem de yorumlanabilir bir derin

öğrenme mimarisidir. Lim ve arkadaşları (2021) tarafından önerilen bu yapı, klasik zaman serisi yöntemlerinin sınırlı kaldığı durumlarda daha kapsamlı bir modelleme imkânı sunmaktadır. Özellikle kısa ve uzun dönemli bağımlılıkların aynı çerçevede ele alınabilmesi ve giriş değişkenlerinin etkisinin analiz edilebilmesi, modeli öne çıkaran özellikler arasındadır. Finansal öngörü, enerji talep projeksiyonları ve sağlık verilerinin analizi gibi karmaşık uygulamalarda yüksek doğruluk sağlaması bu yapının yaygınlaşmasına katkı sağlamıştır (Lim vd., 2021).

TFT mimarisi, LSTM tabanlı dizisel öğrenme yaklaşımını dikkat (attention) mekanizmaları ile bütünleştirir. Bu bütünleşik yapı sayesinde model, yalnızca zamansal ilişkileri değil, değişkenler arası etkileşimleri de öğrenebilmektedir. Mimari genel olarak üç temel bileşenden oluşmaktadır: değişken seçim katmanları, zaman serisi kodlayıcı yapısı ve çok başlıklı dikkat mekanizması.

3.2.2.1. Değişken Seçim Mekanizması

Modelin ayırt edici yönlerinden biri, her zaman adımı için giriş değişkenlerini ayrı ayrı değerlendirebilmesidir. Bu amaçla kullanılan değişken seçim ağı, öngörü üzerinde daha belirleyici olan değişkenleri ön plana çıkarırken daha az etkili olanların ağırlığını azaltmaktadır. Değişken önem düzeyleri softmax normalizasyonu aracılığıyla hesaplanmaktadır:

$$a_i^t = \frac{\exp(e_i^t)}{\sum_j \exp(e_j^t)}$$

Burada a_i^t , t anındaki i'inci değişkenin görece önem skorunu; e_i^t ise ilgili değişkenin model içindeki aktivasyon değerini ifade etmektedir. Bu yapı sayesinde model, hangi girdilerin öngörü sürecine daha fazla katkı sağladığını açık biçimde ortaya koyabilmektedir.

3.2.2.2. Zaman Serisi Kodlayıcı Yapısı

TFT'de geçmiş gözlemleri temsil etmek amacıyla LSTM tabanlı bir kodlayıcı, gelecek öngörülerini üretmek için ise yine LSTM temelli bir çözücü (decoder) kullanılmaktadır. LSTM hücreleri; unutma kapısı (f_t), giriş kapısı (i_t), aday hücre durumu (\tilde{C}_t), hücre durumu (C_t) ve çıktı kapısı (O_t) bileşenlerinden oluşur. Bu yapı aşağıdaki standart denklemlerle ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned} f_t &= \sigma(W_f \cdot |h_{t-1}, x_t| + b_f) \\ i_t &= \sigma(W_i \cdot |h_{t-1}, x_t| + b_i) \\ \tilde{C}_t &= \tanh(W_c \cdot |h_{t-1}, x_t| + b_c) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_t &= f_t \times C_{t-1} + i_t \times \tilde{C}_t \\
O_t &= \sigma(W_o \cdot |h_{t-1}, x_t| + b_o) \\
h_t &= O_t \times \tanh(C_t)
\end{aligned}$$

Bu mekanizma sayesinde hem geçmiş bilgi korunmakta hem de yeni gelen veri kontrollü biçimde modele dâhil edilmektedir. Sonuç olarak, zaman boyutundaki kısa ve uzun vadeli ilişkiler aynı çatı altında temsil edilebilmektedir.

3.2.2.3. Dikkat (Attention) Mekanizması

Modelin üçüncü bileşeni, Transformer mimarisinden uyarlanan çok başlıklı dikkat yapısıdır. Bu mekanizma, zaman serisi içerisindeki hangi zaman noktalarının öngörü açısından daha kritik olduğunu belirleyebilmek için kullanılmaktadır. Tek başlıklı dikkat hesaplaması şu şekilde ifade edilir:

$$Attention(Q, K, V) = softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V$$

Burada Q sorgu (query), K anahtar (key), V değer (value) vektörlerini; d_k ise anahtar vektörünün boyutunu temsil etmektedir.

Çok başlıklı yapı ise aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$MultiHead(Q, K, V) = Concat(head_1, \dots, head_h)W^O$$

Her bir başlık:

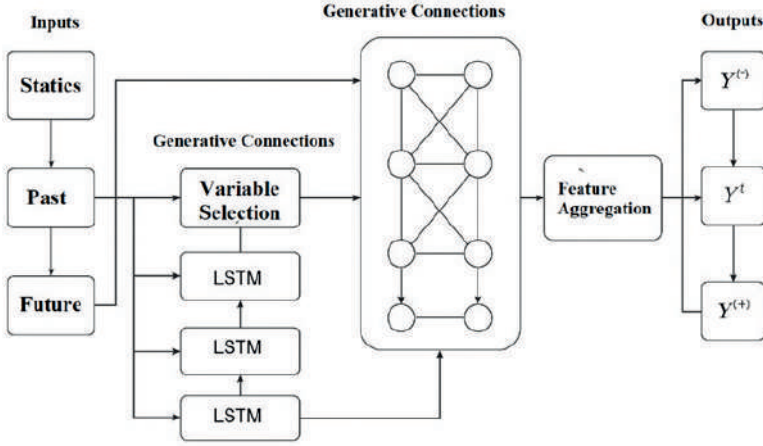
$$head_i = Attention(QW_i^Q, KW_i^K, VW_i^V)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Dikkat çıktısı, artık bağlantılar (residual connections) ve katman normalizasyonu ile birlikte işlenir:

$$Output = LayerNorm(x + AttentionOutput)$$

Bu bütünleşik yapı, derin ağlarda gradyan akışını düzenleyerek öğrenme sürecinin daha kararlı ilerlemesini sağlamaktadır.



Şekil 2. TFT çalışma mekanizması (Varivier vd., 2025)

TFT'nin önemli avantajlarından biri, yalnızca öngörü üretmekle kalmayıp hangi değişkenlerin ve hangi zaman aralıklarının daha etkili olduğunu da gösterebilmesidir. Model tarafından üretilen değişken seçim skorları ve dikkat ağırlıkları, öngörü sürecinin şeffaflığını artırmakta ve karar destek sistemleri açısından anlamlı çıktılar sunmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde TFT, çok değişkenli zaman serilerinde kısa ve uzun dönemli ilişkileri eş zamanlı biçimde ele alabilen, değişken etkilerini analiz edebilen ve yorumlanabilir sonuçlar üretebilen gelişmiş bir derin öğrenme mimarisidir. Özellikle karmaşık veri yapılarında hem performans hem de açıklanabilirlik açısından güçlü bir alternatif sunmaktadır (Lim vd., 2021).

Tüm yapay zeka modellerinde model oluşturulup uygulandıktan sonra, modelin başarısını gösteren çeşitli istatistiksel ölçütler kullanılmaktadır.

3.3. Başarı ölçüm metrikleri

Zaman serisi öngörü modellerinin performansını değerlendirmek hem modelin genelleme yeteneğini hem de öngörü doğruluğunu nicel olarak ortaya koymak açısından önemlidir. Bu değerlendirme için kullanılan metrikler, model çıktıları ile gerçek gözlemler arasındaki farkların çeşitli biçimlerde ölçülmesinden oluşur. Bu çalışmada temel performans ölçütü olarak Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Squared Error, RMSE) kullanılmıştır. RMSE, her bir öngörünün gerçek değerle arasındaki farkın karelerinin ortalamasının karekökü olarak tanımlanır ve öngörü hatalarının ortalama büyüklüğünü ifade eder. Matematiksel olarak, n gözlem için RMSE,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - \widehat{Y}_i)^2}$$

şeklinde hesaplanır; burada Y_i gerçek değeri, \widehat{Y}_i ise model tarafından öngörülen değeri göstermektedir. RMSE, hataların kareleri üzerinden hesaplandığı için büyük hatalara daha yüksek ceza verir ve bu nedenle özellikle büyük sapmaların kritik olduğu uygulamalarda tercih edilir. Ayrıca bu metrik, öngörü hatalarının orijinal veri birimi ile ortaya konulmasına olanak tanır, bu da yorumlanabilirliği artırır.

Alternatif metrikler arasında Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, MAE) ve Ortalama Mutlak Yüzdesele Hata (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) gibi ölçütler de sıklıkla kullanılmaktadır. MAE, öngörülen ve gerçek değerler arasındaki mutlak farkların ortalamasını alarak hata büyüklüğünü doğrudan ifade ederken, MAPE hatayı yüzde olarak ifade ederek farklı ölçeklerdeki serilerin karşılaştırılmasına olanak sağlar. Ancak MAPE gibi yüzdesel metriklerin, gerçek değerlerin sıfıra yakın olduğu durumlarda büyük veya tanımsız sonuçlar üretebildiği belirtilmiştir (Hyndman ve Koehler, 2006).

Bu çalışmada RMSE'nin tercih edilmesinin temel nedeni, modelin öngörü hatalarının büyüklüğünü tutarlı bir şekilde değerlendirmesi ve özellikle yüksek değerli ekonomik göstergeler söz konusu olduğunda ölçekte doğrudan interpretasyon sağlamasıdır. Ayrıca RMSE'nin yaygın kullanımı, diğer zaman serisi çalışmalarındaki performans karşılaştırmalarına olanak tanıyarak modeller arası objektif değerlendirme yapılmasına yardımcı olur.

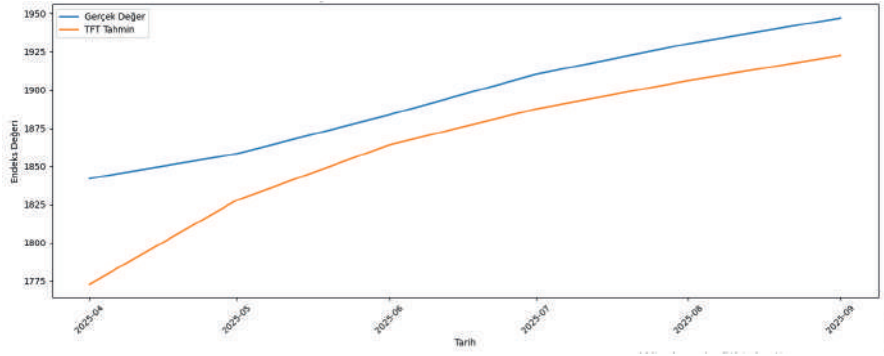
4. Bulgular

Veri ön işleme aşamasında zaman serilerinin varyansını stabilize etmek ve aşırı uç değerlerin etkisini azaltmak amacıyla logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Ayrıca eksik gözlemler kontrol edilmiş ve model eğitiminde kullanılmadan önce veri seti kronolojik sıraya uygun biçimde eğitim ve doğrulama alt kümelerine ayrılmıştır. Zaman serisi yapısının korunması amacıyla rastgele karıştırma (randomization) yapılmamıştır.

Öngörü sürecinde, çok değişkenli zaman serisi problemleri için geliştirilen Temporal Fusion Transformer (TFT) mimarisi kullanılmıştır. TFT modeli; LSTM tabanlı encoder-decoder yapısını, dikkat (attention) mekanizması ve değişken seçim katmanları ile birleştirerek hem kısa vadeli hem de uzun vadeli bağımlılıkları eş zamanlı olarak modelleyebilmektedir. Model yapısında geçmiş gözlemleri temsil eden encoder bölümü ile geleceğe yönelik öngörü ufkunu temsil eden decoder bölümü birlikte çalışmaktadır. Maksimum geçmiş uzunluğu

(encoder length) ve öngörü ufku (prediction length) hiperparametreleri belirlenerek model optimize edilmiştir.

Model eğitimi sırasında erken durdurma (early stopping) mekanizması kullanılarak aşırı öğrenme (overfitting) riski azaltılmıştır. Hiperparametre optimizasyonu sonucunda en uygun öğrenme oranı ve ağ mimarisi belirlenmiştir. Model performansının değerlendirilmesinde Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) temel hata metriği olarak kullanılmıştır. Ayrıca modelin algoritması için Phyton programının Keras kütüphanesinden yararlanılmıştır.

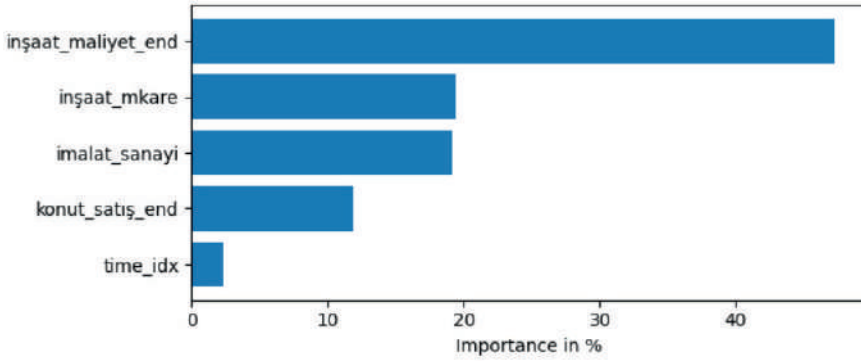


Şekil 3. TFT model sonuçları

Yukarıdaki şekil 3'te TFT modelinin sonuçlarının son 6 verideki kısmı çizgilerin yakınlığının daha iyi görülebilmesi için kesilip alınarak gösterilmiştir. Çok değişkenli zaman serisi yapısına uygun olarak kurgulanan model, geçmiş gözlemler ile eş zamanlı ekonomik göstergeleri birlikte değerlendirerek ileriye dönük öngörü üretmiştir. Model performansı, logaritmik dönüşüm uygulanmış veri üzerinden eğitildikten sonra gerçek ölçeğe geri dönüştürülerek hesaplanan RMSE değeri ile ölçülmüştür. Bu kurulan TFT modeli için elde edilen RMSE değeri 36,01 olarak bulunmuştur. Elde edilen 36,01 düzeyindeki RMSE, endeksin binler seviyesine ulaştığı göz önüne alındığında oldukça düşük bir öngörü hatasına işaret etmektedir. Bu durum, modelin hem trend bileşenini hem de değişkenler arası doğrusal olmayan ilişkileri başarılı biçimde yakalayabildiğini göstermektedir.

Temporal Fusion Transformer (TFT) modelinin en önemli avantajlarından biri, yüksek öngörü performansının yanı sıra yorumlanabilirlik sağlamasıdır. Geleneksel derin öğrenme modelleri genellikle "kara kutu" (black-box) yapılar olarak değerlendirilirken, TFT mimarisi değişken seçim katmanları (variable selection networks) ve dikkat (attention) mekanizması sayesinde hangi

değişkenlerin öngörü sürecine ne ölçüde katkı sağladığını analiz etmeye imkân tanımaktadır. Aşağıdaki şekilde değişken önem analizinin sonuçları verilmiştir.



Şekil 4. TFT modeli değişken önem analizi

Modelin sunduğu değişken önem analizine göre, inşaat maliyet endeksinin öngörüsünde en yüksek katkıyı %20 oranı ile inşaat m^2 ve imalat sanayi yani sanayi üretim endeksi değişkeni sağlamıştır. Bu bulgu, sektördeki fiziksel üretim ve metrekare bazlı maliyet hareketlerinin doğrudan maliyet endeksi üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, inşaat sektörünün girdi yapısının sanayi üretimi ile güçlü bir bağlantı içinde olduğunu ve maliyet dinamiklerinin reel üretim koşullarından önemli ölçüde etkilendiğini düşündürmektedir.

Buna karşılık, konut satış endeksi değişkeninin katkısı %12 düzeyinde kalmıştır. Bu durum, talep yönlü göstergelerin maliyet oluşumuna dolaylı etki ettiğini, ancak maliyet dinamiklerinin daha çok arz ve üretim temelli faktörlerle şekillendiğini göstermektedir.

Model içinde gecikmeli inşaat maliyet endeksi değişkeninin katkısının %45 seviyelerinde olması ise, endeksin büyük ölçüde mevcut makroekonomik koşullar ve sektörel göstergeler tarafından açıklandığını fakat aynı zamanda geçmiş değerlerin tek başına güçlü bir açıklayıcı olduğunu da ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Temporal Fusion Transformer modeli hem düşük öngörü hatası hem de değişken bazlı açıklanabilirlik sağlaması açısından güçlü bir performans sergilemiştir. Attention mekanizması sayesinde model, farklı zaman dilimlerinde hangi değişkenlerin daha belirleyici olduğunu dinamik biçimde ağırlıklandırabilmiştir. Bu özellik, özellikle makroekonomik ve sektörel zaman serilerinde yapısal değişimlerin bulunduğu dönemlerde önemli bir avantaj sunmaktadır.

Sonuç olarak, elde edilen bulgular inşaat maliyet endeksinin öngörüsünde üretim ve arz yönlü göstergelerin baskın rol oynadığını göstermekte; Transformer tabanlı derin öğrenme yaklaşımlarının, geleneksel tekrarlayan ağ mimarilerine kıyasla daha esnek ve açıklanabilir bir yapı sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, politika yapıcılar ve sektör analistleri açısından TFT modeli, maliyet baskılarının erken tespiti ve ileriye dönük projeksiyonların oluşturulması için etkili bir araç niteliği taşımaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

İnşaat sektörü, ekonomik büyüme, istihdam, altyapı yatırımları ve konut piyasası üzerindeki doğrudan etkileri nedeniyle makroekonomik yapı içerisinde stratejik bir konuma sahiptir. Özellikle son yıllarda küresel tedarik zinciri sorunları, emtia fiyatlarındaki artış, enerji maliyetlerindeki dalgalanmalar ve döviz kuru oynaklığı, inşaat maliyetlerinde belirgin artışlara ve volatiliteye yol açmıştır. Bu durum, İnşaat Maliyet Endeksi'nin (İME) doğru ve güvenilir biçimde öngörülmesini hem kamu otoriteleri hem de özel sektör yatırımcıları açısından kritik hale getirmiştir.

Geleneksel zaman serisi modelleri, doğrusal varsayımlara dayalı yapıları nedeniyle karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri yeterince modelleyememektedir. Buna karşılık, yapay zekâ ve derin öğrenme tabanlı yöntemler, çok değişkenli ve yüksek boyutlu veri yapıları içerisinde yer alan karmaşık örüntüleri öğrenme kapasitesine sahiptir. Bu bağlamda çalışmada, çok değişkenli zaman serisi öngörüsü için geliştirilen Temporal Fusion Transformer (TFT) mimarisi kullanılmıştır.

Modelleme sürecinde yalnızca geçmiş İME değerleri değil, aynı zamanda maliyet dinamiklerini etkileyebileceği düşünülen makroekonomik göstergeler de bağımsız değişken olarak dahil edilmiştir. Veri ön işleme aşamasında logaritmik dönüşüm uygulanarak varyans stabilizasyonu sağlanmış, model eğitimi sırasında erken durdurma mekanizması ile aşırı öğrenme riski azaltılmıştır. Performans değerlendirmesinde temel hata metriği olarak Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) kullanılmıştır. TFT modeli için RMSE değeri 36.01 olarak bulunmuştur.

Elde edilen bulgular, TFT modelinin hem kısa vadeli öngörülerde hem de tüm dönem boyunca gerçekleştirilen bir-adım-ileri öngörülerde güçlü bir performans sergilediğini göstermektedir. Model, genel trendi başarılı biçimde yakalamış ve yüksek oynaklık dönemlerinde dahi makul sapmalarla öngörü üretmiştir. RMSE değerlerinin düşük seviyede gerçekleşmesi, modelin genelleme kapasitesinin yüksek olduğunu ve aşırı öğrenme problemi göstermediğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın önemli katkılarından biri de değişken önem analizidir. TFT modelinin sunduğu değişken seçim mekanizması sayesinde, inşaat maliyetlerini etkileyen göstergelerin görelı katkıları nicel olarak analiz edilmiştir. Bu analiz, modelin yalnızca istatistiksel doğruluğunu değil, aynı zamanda ekonomik anlamlılığını da değerlendirmeye imkân tanımaktadır. Elde edilen önem skorları, maliyet dinamiklerinde belirli makroekonomik değişkenlerin daha baskın rol oynadığını ortaya koymuş ve sektörel politika tasarımlarına ışık tutabilecek bulgular sunmuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, derin öğrenme tabanlı modellerin inşaat maliyet öngörüsünde geleneksel yöntemlere kıyasla daha esnek ve yüksek performanslı sonuçlar ürettiği görülmektedir. Özellikle çok değişkenli yapıların ve doğrusal olmayan ilişkilerin yoğun olduğu ekonomik serilerde, Transformer tabanlı mimariler güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Bu bulgular doğrultusunda, inşaat maliyetlerinin izlenmesi ve geleceğe yönelik projeksiyonların oluşturulmasında yapay zekâ tabanlı öngörü modellerinin aktif olarak kullanılması göz önünde bulundurulmalıdır. Akademik açıdan bakıldığında, gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı derin öğrenme mimarilerinin karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilebilir ve modele küresel emtia fiyatları, faiz oranları veya jeopolitik risk göstergeleri gibi ek değişkenler dahil edilerek öngörü doğruluğu daha da artırılabilir. Ayrıca uzun vadeli çok adımlı öngörü performansının farklı kayıp fonksiyonları ile test edilmesi, modelin ileri dönem öngörü kapasitesine ilişkin daha kapsamlı sonuçlar sağlayacaktır.

6. Kaynakça

- Aslam, B., Maqsoom, A., Inam, H., Basharat, M. u., & Ullah, F. (2023). Forecasting Construction Cost Index through Artificial Intelligence. *Societies*, 13(10), 219. <https://doi.org/10.3390/soc13100219>
- Aydınlı, S. (2022). Time series analysis of building construction cost index in Türkiye. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation (Online)*, 5(4), 218 - 227. doi.org/10.31462/jcemi.2022.04218227
- Bui Anh Tu, Ngo Tri Thu. "Predicting Construction Price Index Using Deep Learning Method" *International Research Journal of Economics and Management Studies*, Vol. 3, No. 4, pp. 117-124, 2024.
- Gayhardt, L., Garimella, A., Salgado, S., Gilley, S., Franks, L., Brizi, M., . . . Lu, P. (2024, 01 19). Deep learning vs. machine learning in Azure Machine Learning. Microsoft Learn: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/concept-deep-learning-vs-machine-learning?view=azureml-api-2> adresinden alındı.
- Güney, E. N. (2022, Mart). Derin öğrenmede istatistiksel yöntemlerle hisse senedi fiyatı öngörüsü. Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Lim, B., Arik, S. Ö., Loe, N., & Pfister, T. (2021). Temporal fusion transformers for interpretable multi-horizon time series forecasting. *International Journal of Forecasting*, 37(4), 1748–1764.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 115-133
- Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zekâ'ya Genel Bir Bakış. *Takvim-i Vekayi*, 25-36
- Tüz, Ö. & Ebeseke, Ş. (2023). Optimizing Holt-Winters Exponential Smoothing Parameters for Construction Cost Index Forecasting with PSO and Walk-Forward Cross-Validation, *Kent Akademisi Dergisi*, 16(4):2422-2439. <https://doi.org/10.35674/kent.1352488>
- Üntez, A. (2022, Ocak). Gümüş/ons paritesi üzerine derin öğrenme ile finansal tahmin modellemesi geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Varürer, İ., & Özaydın, Ö. (2024). Silver price prediction with BiLSTM deep learning model. In Ö. Alpu (Ed.), *Current topics in statistics* (pp. 123–145). Eğitim Publishing House.
- Varürer, İ., Özaydın, Ö., & Çemrek, F. (2025). Bitcoin price prediction with ARIMAX and deep learning models. *EstuScience - Se*, 26(4), 426–444. <https://doi.org/10.18038/estubtda.1736511>
- Wang, J., Qu, Z., Lee, C. Y., & Skitmore, M. (2025). Highway construction cost index forecasting: a hybrid VMD–LSTM–GRU method. *Construction Management and Economics*, 43(10), 849–863. <https://doi.org/10.1080/01446193.2025.2525871>

Türkiye’de Vergi Gelirleri ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Zaman Serileri Analizi ile İncelenmesi

Aytaç Pekmezci¹

Özet

Bir devletin elde ettiği vergi gelirleri en önemli kamu finans araçlarından biridir. Bu sayede elde edilen vergi gelirleri, devletin varlığını sürdürebilmesi için gerekli olan mali kaynağın temininde en stratejik müdahale araçlarından biridir. Ancak vergi gelirlerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini ele alan literatürdeki uygulamalı çalışmalar incelendiğinde tam bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bu çalışmaların çoğunda vergi gelirlerinin ekonomik büyümeyi olumlu etkilediği, kalan kısmında ise olumsuz etkilediği veya birbirlerini etkilemedikleri söylenmektedir. Mevcut teorik yaklaşımlarda vergi gelirlerine ait politikaların uzun dönemde ekonomik büyüme üzerinde çok boyutlu ve derin etkiler bıraktığını belirtilmektedir. Bu ifadeler doğrultusunda bu çalışmada Türkiye için 1972-2024 dönemi verileri kullanılarak Ekonomik Büyüme bağımlı değişkeni ve Vergi Gelirleri bağımsız değişkeni arasındaki ilişki %5 anlamlılık düzeyinde zaman serileri ile analiz edilmiştir. Model belirlendikten sonra analizin ilk olarak değişkenlerin durağanlık düzeylerini belirlemek için literatürde yaygın kullanılan birim kök testleri (ADF ile PP) kullanılmış ve değişkenlerin aynı düzeyde durağan olduğu belirlenmiştir. Değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin varlığını sınavan Johansen eşbütünleşme testi ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye rastlanılmamıştır. Son aşamada değişkenler arasındaki kısa dönemli ilişkinin varlığını sınavan UVAR Granger nedensellik testi ile ekonomik büyümeden vergi gelirlerine doğru kısa dönemli bir ilişki bulunmuştur. Bu sonuç ekonomik büyümenin vergi gelirleri üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu kanıtlamaktadır. Ancak Vergi Gelirlerinden Ekonomik Büyüme doğru herhangi bir kısa dönemli ilişki bulunmamış ve Vergi Gelirlerinin Ekonomik Büyümeyi üzerinde belirleyici bir etkisi olmadığını kanıtlamaktadır.

1 Doç. Dr., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü MUĞLA, aytac0803@mu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4020-0069

1. Giriş

Devletler sosyal refahın korunması, güvenliğin tesisi ve altyapı yatırımlarının devamlılığını sağlamak amacıyla gelirlere ihtiyaç duymaktadır. Vergiler, devletlerin bu faaliyetlerini gerçekleştirmesi için kullandığı hem en yüksek paya sahip gelir kaynağıdır hem de alınan mali politikaların belirlenmesinde önemli bir rolü vardır. Vergi devletin veya yetkili kamu kurumlarının yasalardaki kurallara göre karşılık beklemeden aldıkları ekonomik değerlerdir. İç tasarrufları arttırarak yapılacak yatırımlara kaynak oluşturan vergi, devletlerin ekonomik olarak büyümesini hızlandırır, ekonomik belirsizliği minimuma indirir, arz ile talep dengesini korur ve gelir dağılımını iyileştirir.

Kamu finansmanının temelini oluşturan vergi gelirleri, devletin egemenlik hakkı çerçevesinde toplumsal ihtiyaçlar ve yatırımlar için kullandığı en önemli araçtır. Bu vergi gelirleri yalnızca kamu giderlerini karşılamakla kalmaz aynı zamanda ekonomiye müdahale etme ve dengeleri koruma görevini de üstlenir. Bu yüzden makroekonomik sistemde hem etkileyen hem de etkilenen konumda olan vergi gelirleri başta ekonomik büyüme, tüketim, üretim ve istihdam gibi değişkenler ile olumlu veya olumsuz yönde ilişkilidir. Devletler hedefledikleri ekonomik büyümeye ulaştığı takdirde bu değişkenlerin çoğu bundan olumlu yönde etkilenir. Yaşanan bu olumlu gelişmeler ekonomik faaliyetlerin ve vergi gelirlerinin artmasına sebep olur.

Devletlerin maliye politikalarının ekonomik büyüme amacına ulaşması çok önemlidir. Bu amaca ulaşmak için yatırımı arttıracak teşvik edici politikalar uygulanarak ekonomik büyümenin pozitif yönde artmasının sağlanmalıdır. Vergi gelirleri aracılığıyla ekonomik büyüme ile kalkınmanın hızlandırılması, istikrarın korunması ve gelir dağılımındaki dengesizliklerin giderilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla ekonomik büyümenin amaçladığı hedefe ulaşması amacıyla hem kamu harcamaları hem de kamu gelirleri politikaları etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Vergi gelirleri, kamu gelirlerinin içerisinde en önemli gelir kaynağıdır ve günümüz dünyasında maliye politikası amaçlarına ulaşmak için kullanılan en önemli araçtır. Vergi gelirleri, ekonomik büyümeyi destekleyen ve kamu finansmanını sağlayan temel bir mekanizma olarak görülse de literatürde bu değişkenler arasındaki ilişki hakkında henüz bir fikir birliğine varılamamıştır.

Literatürde bu ilişkiyi inceleyen çalışmalar; ülke gruplarına ve ilgili döneme göre farklılık göstermekte, pozitif, negatif veya ilişki çıkmayan sonuçlar mevcuttur. Genel eğilim; büyümeyi dolaylı vergilerin pozitif, dolaysız vergilerin ise negatif etkilediği yönündedir. Ayrıca ülkelerin gelişmişlik düzeyleri de elde edilen sonuçlar üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu bilgiler ışığında çalışmanın temel amacı vergi gelirlerinin ekonomik büyüme üzerindeki

etkisini analiz etmektedir. Bu kapsamda Türkiye'nin 1972-2024 dönemi verileri kullanılarak; bağımlı değişken ekonomik büyüme ile bağımsız değişken vergi gelirleri arasındaki uzun ve kısa dönemli ilişkiler, zaman serisi analizi yöntemiyle literatürde en çok tercih edilen %5 anlamlılık düzeyinde test edilmiştir.

1.1. Literatür Taraması

Günümüz dünyasında literatürde vergi gelirleri ile ekonomik büyüme arasındaki uzun ve kısa dönemli ilişkiyi araştıran çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu konuda Türkiye için incelenen değişkenlere ait yapılmış bazı çalışmalar Tablo 1'de özetlenmektedir.

Tablo 1. Türkiye için İncelenen Değişkenlerle İlgili Yapılan Akademik Çalışmalar

Yazarlar	Dönem	Yöntem	Sonuç
Durkaya ve Ceylan (2006)	1980 - 2004	Engle-Granger Eşbütünleşme	Değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettikleri saptanmıştır.
Mucuk ve Alptekin (2008)	1975 - 2006	Johansen Eşbütünleşme, Granger Nedensellik	Vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru uzun ve kısa dönemli bir ilişki saptanmıştır.
Katircioğlu (2010)	1960 - 2006	ARDL ve Johansen Eşbütünleşme	Değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket etmedikleri saptanmıştır
Göçer vd. (2010)	1924 - 2009	ARDL Eşbütünleşme, Granger Nedensellik	Vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru hem uzun hem de kısa dönemli bir ilişki saptanmıştır.
Arısoy ve Ünlükaplan (2010)	1975 - 2006	Regresyon Analizi	Ekonomik büyümenin dolaylı vergi gelirlerinden pozitif yönde etkilendiği ancak dolaysız vergi gelirlerinden etkilenmediği saptanmıştır.
Umutlu vd. (2011)	1990 - 2009	Johansen Eşbütünleşme, EKK Yöntemi	Değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket etmedikleri saptanmıştır
Ünlükaplan ve Arısoy (2011)	1968 - 2006	Johansen Eşbütünleşme, Granger Nedensellik	Ekonomik büyümenin dolaylı vergi gelirlerinden pozitif yönde etkilendiği ancak dolaysız vergi gelirlerinden etkilenmediği saptanmıştır.
Mangır ve Ertuğrul (2012)	1968 - 2006	ARDL Eşbütünleşme	Vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru hem negatif yönde uzun hem de kısa dönemli bir ilişki saptanmıştır.
Erdoğan vd. (2013)	1998:Q1 - 2011:Q4	Johansen Eşbütünleşme, Granger Nedensellik	Ekonomik büyüme ile dolaylı vergi gelirlerinin uzun dönemde birlikte hareket ettikleri ancak dolaysız vergi gelirlerinin uzun dönemde birlikte hareket etmedikleri saptanmıştır.

Saraç (2015)	1969 - 2013	Johansen Eşbütünlüşme, Granger Nedensellik	Ekonomik büyümenin dolaylı vergi gelirlerinden pozitif ve dolaysız vergi gelirlerinden negatif yönde etkilendiği saptanmıştır.
Terzi ve Yurtkuran (2016)	1980 - 2013	VAR Analizi, Granger Nedensellik	Dolaysız vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru negatif, ekonomik büyümeden vergi gelirlerine doğru pozitif olmak üzere çift yönlü kısa dönemli ilişki saptanmış, dolaylı vergi gelirleri ile ekonomik büyüme arasında herhangi bir ilişki saptanmamıştır.
İdiküt Özpençe (2017)	1980 - 2015	Granger Nedensellik	Ekonomik büyümenin vergi gelirlerinden negatif ve kamu harcamalarından pozitif yönde etkilendiği saptanmıştır.
Kolçak ve Arpa (2017)	1975 - 2016	ARDL Eşbütünlüşme	Ekonomik büyümenin dolaylı vergi gelirlerinden pozitif ve dolaysız vergi gelirlerinden negatif yönde etkilendiği saptanmıştır.
Eren vd. (2018)	1975 - 2013	Hacker ve Hatemi Nedensellik	Vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü kısa dönemli bir ilişki saptanmıştır.
Dam ve Ertekin (2018)	2005:Q1 - 2016:Q2	ARDL Eşbütünlüşme	Değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettikleri saptanmıştır
Akıncı (2019)	2006:Q1 - 2018:Q3	Maki Eşbütünlüşme	Değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettikleri saptanmıştır
Polat (2019)	1960 - 2018	Johansen Eşbütünlüşme, Granger Nedensellik	Vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru hem uzun hem de kısa dönemli bir ilişki saptanmıştır.
Boğa (2020)	1965 - 2018	NARDL Eşbütünlüşme	Değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettikleri saptanmıştır
Ülkü ve Açıkgöz (2020)	1980 - 2017	ARDL Eşbütünlüşme	Değişkenler arasında herhangi bir kısa dönemli ilişki saptanmamıştır.
Özen vd. (2022)	2006:Q1 - 2020:Q1	Johansen Eşbütünlüşme, Granger Nedensellik	Dolaylı ve dolaysız vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru pozitif yönde bir ilişki saptanmıştır.
Korkmaz ve Korkmaz (2023)	2006:Q1 - 2022:Q4	ARDL Eşbütünlüşme	Ekonomik büyümenin dolaylı vergi gelirlerinden pozitif ve dolaysız vergi gelirlerinden negatif yönde etkilendiği saptanmıştır.
Güdelci vd. (2025)	1990 - 2022	Maki Eşbütünlüşme	Vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru pozitif yönde uzun dönemli bir ilişki saptanmıştır.

Bozkurt ve Pekmezci (2025)	1990 - 2023	Johansen Eşbütünleşme, Granger Nedensellik	Değişkenler arasında hem pozitif yönde uzun dönemli hem de çift yönlü kısa dönemli bir ilişki saptanmıştır.
----------------------------	-------------	--	---

2. Veri Seti ve Yöntem

Analiz kapsamındaki değişkenler arasında uzun ve kısa dönemli ilişkileri incelemek amacıyla yapılan analiz sürecinde serilerin karakteristik özelliklerini daha iyi gözlemlemek ve uç değerlerin tahmin sonuçları üzerindeki olası sapmalarını minimize etmek için en uygun modelin **Logaritmik-Logaritmik** olmasına karar verilmiştir. Bu amaçla analizde kullanılacak tüm verilerin logaritmik dönüşümleri kullanılmıştır.

Model belirlendikten sonra değişkenlerin durağanlık düzeylerinin tespiti için ADF ve PP birim kök testlerine başvurulmuştur. Seriler arasında uzun dönemli ilişkiyi incelemek için Johansen Eşbütünleşme testi (λ_{\max} ile λ_{trace}) ve kısa dönemli ilişkiyi incelemek için UVAR Granger Nedensellik testi kullanılmıştır. Çalışmadaki veriler dünya bankası veri tabanından (www.worldbank.org) temin edilmiştir.

2.1. Uzun Dönemli İlişki

Birim kök testleri ile modeldeki değişkenlerin durağanlık düzeylerinin belirlenmesinden sonra uzun dönemli ilişkiyi incelemek için eşbütünleşme analizi uygulanmaktadır. Bu analiz düzeyde durağan olmayan serilerin birlikte hareket edip etmediğini test etmektedir. Bu şekilde farkında durağan serilerin doğrusal kombinasyonundan elde edilen hata terimi eğer düzeyde durağan çıkıyorsa değişkenlerin uzun dönemde beraber hareket ettiğini göstermektedir. Bu tür incelenen seriler eşbütünleşik olarak tanımlanır (Enders, 1995; Tari, 2010).

İstatistiksel açıdan bu sürecin temel amacı, tahminlerin etkin ve tutarlı olmasını sağlamaktır. Bu bağlamda, hata teriminin ortalama ve varyansının zaman içinde sabit kalması, değişkenler arasında gerçek bir eşbütünleşme ilişkisinin kanıtıdır. Bu yöntemle kurulan modellerin sahte regresyondan arındığını ve değişkenler arasındaki trendden bağımsız, gerçek ilişkiyi ortaya koyduğunu belirtmektedir (Harris, 1995; Akkuş ve Günay, 2016).

Eşbütünleşme analizi, birim kök içeren birden fazla değişken arasındaki ilişkiyi inceler. Eğer analiz tek bir denklem üzerinden yürütülüyorsa eşbütünleşme ilişkisi En Küçük Kareler yöntemiyle tahmin edilir. Birden fazla eşbütünleşme vektörü varsa çok değişkenli yöntemlere başvurulur.

Bu kapsamda, eşbütünleşme vektörlerinin belirlenmesi amacıyla En Çok Olabilirlik tabanlı Johansen eşbütünleşme testi kullanılmaktadır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

2.1.1. Johansen Eşbütünleşme Testi

Johansen (1988) eşbütünleşme testi, birden fazla eşbütünleşme vektörünün varlığını En Çok Olabilirlik tahmin yöntemiyle inceleyen çok değişkenli bir yaklaşımdır. Bu yöntemin temelini oluşturan Vektör Otoregresif (VAR) model yapısında, modeldeki tüm değişkenlerin optimal kadar gecikmeli değerleri yer almaktadır. Bu testin en önemli avantajı tüm değişkenlerin bağımlı kabul edilmesi ve normalleştirme işlemi için önceden belirli bir bağımlı değişken seçimine ihtiyaç duyulmamasıdır (Gujarati, 2005).

Testin temel amacı, analiz kapsamındaki seriler arasındaki maksimum eşbütünleşme vektör sayısını tespit etmektir. Uygulama aşamasında hata terimlerinin normal dağıldığı varsayımına dayanan En Çok Olabilirlik yöntemi kullanılır. Modelin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için Akaike (AIC) veya Schwarz (SIC) bilgi kriterleri ile optimal gecikme uzunluğunun belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkinin tespiti için Trace ve Max test istatistikleri kullanılmaktadır. Eğer λ_{\max} ve λ_{trace} hesaplanan test istatistik olasılık değerleri 0,05 değerinden küçükse veya test istatistik değeri mutlak değerce tablo değerinden büyükse “uzun dönemli ilişki yoktur” şeklinde kurulan sıfır hipotez reddedilir. Literatürde λ_{\max} testi daha kesin ve tutarlı sonuçlar verdiği için λ_{trace} testine göre daha üstün olduğu varsayılır (Göktaş vd., 2018; Johansen, 1988).

2.2. Kısa Dönemli İlişki

Analizde kullanılacak değişkenler arasında uzun dönemli ilişki incelendikten sonra kısa dönemli ilişki olup olmadığı aynı zamanda değişkenlerin nedensellik ilişkisinin sonucuna göre bağımlı bağımsız değişken ayrımının yapılmasını sağlamaktadır. Kısa dönemli ilişkinin yönüne göre analize başlamadan önce literatürde kabul edilen bağımlı değişkenin incelen zaman aralığında ve incelenen değişkenlere göre doğru olup olmadığı kontrol edilmektedir.

İncelenen değişkenler arasında kısa dönemli ilişkinin test edilmesinde literatürde en çok tercih edilen yöntem Granger (1969) tarafından geliştirilen nedensellik testidir. Bu test sayesinde incelenen değişkenlerden hangisinin diğerinin Granger sebebi olup olmadığı incelenmektedir. Modeldeki değişkenlerin bağımlı değişkene göre aynı veya farklı düzeyde durağan olup olmamasına, aynı düzeyde durağansa uzun dönemli ilişki çıkıp çıkmamasına göre yöntemlerin uygulama durumları birbirinden farklıdır. Eğer değişkenler

aynı düzeyde durağansa aralarında uzun dönemli ilişki çıkarsa Hata Düzeltme Modeli (VECM) ama aralarında uzun dönemli ilişki çıkmazsa Kısıtlanmamış Vektör Otoregresif Modeli (UVAR), değişkenler farklı düzeyde durağan uzun dönemli ilişki çıkıp çıkmamasına bağlı kalmaksızın Toda-Yamamoto Nedensellik testi tercih edilmektedir (Göktaş vd. 2019).

2.2.1. UVAR Granger Nedensellik Testi

Değişkenler hem aynı düzeyde durağan hem de aralarında uzun dönemli ilişki yoksa eşanlı denklem sistemine benzeyen UVAR Granger nedensellik testi kullanılmaktadır. Modeldeki her bir değişken bağımlı değişken olarak sol tarafa, tüm değişkenlerin optimal gecikme uzunluğuna kadar gecikmeleri sağ tarafa yerleştirilerek farklı modeller kurulmaktadır. Eğer modeldeki bağımsız değişken katsayısı t testi ile istatistiksel olarak anlamlı çıkarsa bağımsız değişkenin bağımlı değişkenin Granger nedeni olduğu ifade edilmektedir. Eğer test istatistik olasılık değeri 0,05 değerinden küçükse veya test istatistik değeri mutlak değerce tablo değerinden büyükse “kısa dönemli ilişki yoktur” şeklinde kurulan sıfır hipotez reddedilir. Birden fazla bağımsız değişken olduğu takdirde katsayılar F testi ile topluca istatistiksel olarak anlamlı çıkarsa bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin Granger nedeni olduğu ifade edilmektedir. Eğer test istatistik olasılık değeri 0,05 değerinden küçükse veya test istatistik değeri tablo değerinden büyükse aynı sıfır hipotez reddedilir. Her iki durumda da bağımlı değişkenin geleceğe yönelik öngörülerde kullanılabileceği belirtilmektedir (Göktaş vd., 2018).

Bu testin uygulanması kolay olmasına rağmen değişkenlerin gecikmelerine duyarlı olduğundan bir takım sıkıntılı yanları da vardır. Ayrıca veri tabanlarından elde edilen zaman serileri genellikle durağan olmadığından sahte regresyon problemi görülebilmekte ve standart bir dağılıma sahip olmayan F testinin sonuçları geçersiz olabilmektedir. Aynı zamanda modeldeki değişkenlerin farklarıyla kurulduğundan uzun dönem bilgi kaybı oluşabilmektedir.

3. Uygulama Sonuçları

İlgili zaman aralığına göre elimizdeki Ekonomik Büyüme (EB) ile Vergi Gelirleri (VG) değişkenleri arasında model kurulumundaki varsayımlar kontrol edilerek en uygun modelin Logaritmik-Logaritmik olduğu görülmüştür. Buna göre kurulan model Eşitlik 1'deki gibidir.

$$LEB = 4,381 + 1,303LVG + u_t \quad (r = 0.947, R^2 = 0,897) \quad (1)$$

Eşitlik 1 incelendiğinde vergi gelirlerindeki 1 birimlik artış veya azalışın ekonomik büyüme üzerinde 1,303 birimlik artış veya azalışa sebep olacağı anlaşılmaktadır. Korelasyon katsayısına (r) göre değişkenler arası ilişkinin

yönünün pozitif, şiddetinin ise çok kuvvetli düzeyde olduğu, Belirlilik katsayısına (R^2) göre ekonomik büyümedeki herhangi bir değişimin %89,7’si vergi gelirlerinden %10,3’ü ise beklenmeyen sebeplerden (hata) kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Buradan logaritması alınmış değişkenlere ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistik Değerleri

Değişkenler	Ortalama	Normallik (p)	Çarpıklık	Basıklık
LEB	4,061	0,148	0,379	1,924
LVG	9,086	0,093	-0,302	1,661

Tablo 2 incelendiğinde analiz kapsamındaki değişkenlerin sıfır ortalama etrafında yayılım göstermediği ancak normal dağıldığı, çarpıklık katsayılarına bakıldığında LEB’nin pozitif olmasından dolayı sağa çarpık LVG’nin negatif olmasında dolayı sola çarpık, basıklık katsayı değerleri 3’den küçük olduğundan normal dağılıma göre daha basık uçlu ve daha yaygın kuyruklu olduğu anlaşılmaktadır. Analizin devamında, değişkenlerin hangi seviyede durağan olduğunu saptamak için ADF ve PP birim kök testlerinden yararlanılmıştır. İncelediğimiz zaman aralığına göre değişkenlerin süreci grafiksel incelendiğinde süreçte sabit terim ve trendin olduğu görülmüştür. Bu yüzden değişkenlere ait birim kök test istatistik sonuçları Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 3. Değişkenlere ait ADF ve PP Birim Kök Test İstatistik Değerleri

Değişkenler	ADF		PP		Durağanlık Derecesi
	Düzyey	1. Fark	Düzyey	1. Fark	
LEB	-1,715	-6,974*	-1,785	-7,232*	I(1)
LVG	-2,728	-6,217*	-1,448	-6,458*	I(1)
Tablo Değeri	-3,499	-3,501	-3,499	-3,501	

*: İlgili serilerin hangi seviyede durağan olduğunu göstermektedir.

ADF ve PP birim kök test istatistik değerlerine göre “değişken durağan değildir” şeklindeki H_0 hipotezi kontrol edilir. Eğer seri düzeyde durağan değilse farkı alınarak durağan olup olmadığı incelenerek değişkenlerin durağanlık dereceleri belirlenmiştir (Akkuş ve Günay, 2016). Buna göre Tablo 3 incelendiğinde değişkenlerin düzey hallerinde test istatistik değerleri mutlak değerce tablo değerinden küçük ancak birinci farkında mutlak değerce tablo değerinden büyük olduğundan durağanlık derecelerinin aynı düzeyde durağan ve I(1) olduğu görülmüştür.

Değişkenlerin durağanlık düzeyleri aynı çıktığından aralarında uzun dönemli ilişkiyi incelemek için Johansen eşbütünleşme testi kullanılmıştır. Bu test için belirlenmesi gereken en önemli konu olan çeşitli bilgi kriterlerine göre optimal gecikme uzunluk sonuçları Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 4. Optimal Gecikme Uzunluğu Değerleri

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-44,86102	NA	0,023213	1,912695	1,989912	1,941991
1	162,7475	389,7955	5,71E-06	-6,397856	-6,166205	-6,309968
2	182,2567	35,03697*	3,04e-06*	-7,030886*	-6,644800*	-6,884405*
3	184,8934	4,520114	3,22E-06	-6,975242	-6,434722	-6,770169
4	187,9679	5,019595	3,36E-06	-6,937467	-6,242512	-6,673802

*: Kurulan VAR modele göre optimal gecikme uzunluğunu göstermektedir.

Tablo 4 incelendiğinde maksimum gecikme uzunluğu 4 girildiğinde optimal gecikme uzunluğu 2 belirlenmiş ve otokorelasyon probleminin de olmadığı görülmüştür. Buradan yola çıkarak AIC kriterine göre en uygun Johansen model tipi seçilmiş ve değişkenler arasında eşbütünleşme test istatistik sonuçları Tablo 5’de verilmektedir.

Tablo 5. Johansen Eşbütünleşme Test İstatistik Değerleri

Model Tipi	λ_{trace}	Tablo Değeri	λ_{max}	Tablo Değeri
Linear (Intercept + Trend)	21,191	25,872	12,549	19,387

Johansen eşbütünleşme test istatistik değerlerine göre “uzun dönemli ilişki yoktur” şeklinde kurulan H_0 hipotezi kontrol edilir. Tablo 5 incelendiğinde test istatistik değerleri tablo değerlerinden küçük olduğundan hem λ_{trace} hem de λ_{max} testine göre H_0 hipotezi kabul edilir ve değişkenler arasında herhangi bir uzun dönemli ilişki saptanmamıştır.

Durağanlık düzeyleri aynı ve aralarında uzun dönemli ilişki yoksa değişkenler arasında kısa dönemli ilişkiyi incelemek için Kısıtlanmamış Vektör Otoresif (UVAR) modeli kullanılmıştır. Bunun için incelenen değişkenlerin durağanlık derecesi kadar farklı alınmış ve elde edilen yeni serilere göre optimal gecikme uzunluğu yeniden hesaplanarak VAR model kurulmuştur. Değişkenler arasında UVAR Granger nedensellik test istatistik olasılık sonuçları Tablo 6’da verilmektedir.

Tablo 6. UVAR Granger Nedensellik Test İstatistik Olasılık Değerleri

Maksimum Gecikme Uzunluğu	Optimal Gecikme Uzunluğu	LEB → LVG	LVG → LEB
2	1	0,039*	0,152

*: Değişkenler arasında kısa dönem ilişki olduğunu göstermektedir.

UVAR Granger Nedensellik test istatistik olasılık değerlerine göre “kısa dönemli ilişki yoktur” şeklindeki H_0 hipotezi kontrol edilir. Buna göre maksimum gecikme uzunluğu 2 girildiğinde optimal gecikme uzunluğu 1 olarak belirlenmiştir. Tablo 6’daki olasılık değerlerine göre ekonomik büyümeden vergi gelirlerine doğru 0,05’den küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir ancak vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru 0,05’den büyük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. Yapılan bu incelemeler neticesinde, ekonomik büyümenin vergi gelirlerini kısa dönemde etkilediği sonucuna varılmış ve aralarında kısa dönemli bir ilişki saptanmıştır.

Kısa dönemli ilişkisi saptanan değişkenlerin hata terimi varyansındaki değişimin yüzde kaçının kendi içsel şoklarından yüzde kaçının ise diğer değişkenlerden kaynaklandığını ayırtmak amacıyla uygulanan Varyans Ayırıştırma Analiz sonuçları Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7. Değişkenlere ait Varyans Ayırıştırması Analizi

Variance Decomposition of LEB:				Variance Decomposition of LVG:			
Period	S.E.	LEB	LVG	Period	S.E.	LEB	LVG
1	0.018067	100.0000	0.000000	1	0.085403	0.984985	99.01501
2	0.025454	99.99790	0.002103	2	0.189808	2.339123	97.66088
3	0.030906	99.99856	0.001438	3	0.314195	3.896196	96.10380
4	0.035359	99.99093	0.009072	4	0.453055	5.695632	94.30437
5	0.039193	99.94601	0.053991	5	0.601859	7.743799	92.25620
6	0.042626	99.82042	0.179584	6	0.756708	10.03788	89.96212
7	0.045804	99.56261	0.437393	7	0.914202	12.57058	87.42942
8	0.048840	99.12145	0.878552	8	1.071403	15.33075	84.66925
9	0.051825	98.45590	1.544099	9	1.225822	18.30282	81.69718
10	0.054833	97.54395	2.456054	10	1.375436	21.46580	78.53420

(a)

(b)

Tablo 7’nin a sütunu incelendiğinde birinci dönemde EB üzerindeki toplam değişimin tamamı kendisi tarafından açıklanmakta iken dönemler ilerlediğinde EB değişkeninin kendini açıklama yüzdesi çok az da olsa azalırken VG değişkeninin EB değişkenindeki toplam değişimi açıklama yüzdesi çok az da olsa artmıştır. Buradan vergi gelirlerinden ekonomik büyümeye doğru herhangi bir kısa dönemli ilişki saptanmamıştır. Tablonun b sütunu incelendiğinde ise birinci dönemde VG üzerindeki toplam değişimin nerdeyse tamamı kendisi

tarafından açıklanmakta iken dönemler ilerlediğinde VG değişkeninin kendini açıklama yüzdesi azalırken EB değişkeninin VG değişkenindeki toplam değişimi açıklama yüzdesi artmıştır. Buradan yola çıkarak ekonomik büyümenin vergi gelirlerini kısa dönemde etkilediği görülmüş ve aralarında kısa dönemli bir ilişki saptanmıştır.

4. Sonuç

Türkiye için 1972-2024 yılları arasında Ekonomik Büyüme ile Vergi Gelirleri değişkenleri arasındaki uzun dönemli ilişki için Johansen eşbütünleşme ve kısa dönemli ilişki için UVAR Granger nedensellik testi uygulanmıştır. Tespit edilen analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Analizin ilk aşamasında anlamlı bir Logaritmik-Logaritmik model kurulmuş ve bunun için analizin tamamında değişkenlerin logaritması alınmıştır. Bu esnada modeldeki katsayı incelendiğinde değişkenlerin birbirlerini aynı yönde etkilediği, korelasyon katsayısı incelendiğinde aralarında pozitif yönlü çok kuvvetli istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu ve belirlilik katsayısı ise incelendiğinde bağımlı değişkendeki değişimin yaklaşık %90'ının vergi gelirlerinden kaynaklandığı saptanmıştır.

- Model kurulduktan sonra analizin ikinci aşamasında ADF ve PP birim kök testleri ile değişkenlerin düzeyde durağan çıkmadığı ancak birim kök (I(1)) durağan olduğu saptanmıştır.

- Değişkenler aynı düzeyde durağan çıktığından analizin üçüncü aşamasında uzun dönemli ilişkiyi incelemek için Johansen eşbütünleşme testi uygulanmıştır. Buradan değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket etmedikleri saptanmıştır.

- Değişkenlerin hem aynı düzeyde durağan olması hem de aralarında uzun dönemli ilişki saptanmaması nedeniyle analizin dördüncü aşamasında kısa dönemli ilişki olup olmadığını anlamak için UVAR Granger nedensellik analizi uygulanmıştır. Buradan sadece ekonomik büyümeden vergi gelirlerine doğru kısa dönemli bir ilişki ve ekonomik büyümenin vergi gelirlerini incelenen zaman aralığında etkilediği saptanmıştır. Ayrıca varyans ayrıştırması analizi uygulanarak kısa dönemli ilişkiden elde edilen sonuçlar kontrol edilmiş ve değişkenler arasında aynı sonuçlar saptanmıştır.

- İncelenen değişkenler arasında tespit edilen kısa dönemli ilişkinin yönüne bağlı olarak ekonomik büyüme arttığında artan gelire bağlı olarak vergi tahsilatının da artması beklenmektedir. Ayrıca devletlerin ekonomik özgürlüklerin artması sonucu piyasalar daha özgür ve güven ile hareket edecektir. Bu durum yabancı yatırımcıların devletlere kaynak getirmesine sebep olacak ve ekonomik faaliyetler, yatırımlar, üretimler artacaktır. Bunun sonucu ekonomik özgürlüğün sebep olduğu vergi gelirleri de artacaktır (Karadağ, 2024; Karabıyık vd., 2020).

Kaynaklar

- Akıncı, A. (2019), Vergi Gelirlerinin ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi, *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(1): 100-106.
- Akkuş, Ö. ve Günay, S. (2016), İstatistiksel Tahmin Teorisi, Gazi Kitabevi, Ankara, 338s.
- Akkuş, Ö. ve Günay, S. (2016), İstatistiksel Hipotez Testleri, Gazi Kitabevi, Ankara, 283s.
- Arısoy, İ. ve Ünlükaplan, İ. (2010), Tax Composition and Growth in Turkey: An Empirical Analysis, *International Research Journal of Finance and Economics*, 59: 50-61.
- Boğa, S. (2020), Türkiye’de vergi gelirleri ve ekonomik büyüme arasındaki asimetrik ilişki: NARDL eşbütünleşme yaklaşımı, *Third Sector Social Economic Review*, 55(1): 487-507.
- Bozkurt K. ve Pekmezci A. (2025), Vergi Gelirleri Ekonomik Büyüme Performansını Arttırır mı? Türkiye için Ekonometrik Bir Cevap Arayışı, *Sosyal, İnsan ve İdari Bilimlerde Yeni Kavramlar ve İleri Çalışmalar*, All Science Academy, 371-384.
- Dam, M. ve Ertekin, Ş. (2018), Türkiye’de Vergi Gelirlerinin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisinin Analizi, *Vergi Raporu Dergisi*, 228: 19-32
- Durkaya, M. ve Ceylan, S. (2006), Vergi Gelirleri ve Ekonomik Büyüme, *Maliye Dergisi*, 150: 79-89.
- Enders, W. (1995), *Applied Econometric Time Series*, John Wiley and Sons. Inc., New York, 433p.
- Erdoğan, E., Topçu, M. ve Bahar, O. (2013), Vergi Gelirleri ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Ekonomisi Üzerine Eşbütünleşme ve Nedensellik Analizi, *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 50(576): 99-109.
- Eren, M. V., Ergin Ünal, A. ve Aydın, H. İ. (2018), Türkiye’de Vergi Gelirleri ile Ekonomik Kalkınma Arasındaki İlişki: Frekans Alanı Nedensellik Analizi, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 19(1): 1-18.
- Göçer, İ., Mercan, M., Şahin, B. ve Dal, M.M. (2010), Ekonomik Büyüme ile Vergi Gelirleri Arasındaki İlişki: Sınır Testi Yaklaşımı, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 28: 97-110.
- Göktaş, P.; Pekmezci, A. ve Bozkurt, K. (2018), *Ekonometrik Serilerde Eşbütünleşme ve Nedensellik: Eviews ve Stata Uygulamaları*” Gazi Kitabevi, Ankara, 199s.
- Göktaş, P.; Pekmezci, A. ve Bozkurt, K. (2019), *Ekonometrik Serilerde Uzun Dönem Eşbütünleşme ve Kısa Dönem Nedensellik*, Gazi Kitabevi, 211s.
- Gujarati, D. N. (2005), *Temel Ekonometri (Çeviri: Ümit Şenesen ve Gülay Günlük Şenesen)*, Literatür Yayıncılık, 849s.

- Güdelci, E. N., Karhan, G. ve Şimşek, H. (2025), Vergi Gelirleri ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği. *Yönetim ve Ekonomi*, 32(2): 225-246.
- Harris, R.I.D. (1995), *Using Cointegration Analysis in Econometric Modelling*, Prentice Hall/ Harvester Wheatsheaf, England, 176p.
- İdikut Özpençe, A. (2017), Türkiye’de 1980 Sonrası Kamu Harcamaları, Vergi Gelirleri ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Analizi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 28: 31-41.
- Johansen, S. (1988), Statistical Analysis of Cointegration Vectors. *Journal of Economic Dynamic and Control*, 12: 231-254.
- Karabıyık, İ., Bozkurt, K. ve Yanardağ, M. Ö. (2020), Vergiler ve Ekonomik Büyüme: OECD Ülkeleri için Bir Analiz, *Güncel İktisat Çalışmaları II*, Akademisyen Kitabevi, 93-103.
- Karadağ, A. (2024), Ekonomik Özgürlüklerin Vergi Gelirlerine Etkisi: Türkiye ve Avrupa Birliği Ülkeleri Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Katırcıoğlu, S. T., (2010), Is There a Long-Run Relationship Between Taxation and Growth: The Case of Turkey, *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 13(1): 99-106.
- Kolçak, M. ve Arpa, T. (2017), Vergi gelirleri ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye örneği (1976-2016), *TURAN Stratejik Araştırmalar Merkezi*, 9(33):279-289.
- Korkmaz, S., ve Korkmaz, Ö. (2023), Türkiye’de Uygulanan Vergi Türlerinin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı, *Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 6(2): 32-47.
- Mangır, F. ve Ertuğrul, H.M. (2012), Vergi Yüğü ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: 1988-2011 Türkiye Örneği, *Maliye Dergisi*, 256-265.
- Mucuk, M. ve Alptekin, V. (2008), Türkiye’de Vergi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: VAR Analizi (1975-2006), *Maliye Dergisi*, 155:159-174.
- Özen, A., Kıdemli, M. ve Ülger, M. (2022), Vergilemenin ekonomik büyümeye etkisi üzerine ampirik bir analiz: Türkiye Örneği, *Ahi Evran Ün. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(3): 959-974.
- Polat, M. A., (2019), Ekonomik Büyüme ile Vergi Gelirleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: Türkiye Örneği, *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 8(3): 1991-2009.
- Saraç, T. B. (2015), Vergi Yüğü ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği, *Maliye Dergisi*, 21-35.
- Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M. (2010), *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi: Eviews Uygulamalı, Nobel Yayın Dağıtım Geliştirilmiş 3. Baskı*, Ankara, 591s.

- Tarı, R., (2010), Ekonometri, Umuttepe Yayınları Genişletilmiş 6.Baskı, Kocaeli, 518s.
- Terzi, H. ve Yurtkuran, S. (2016), Türkiye’de Dolaylı/Dolaysız Vergi Gelirleri ve GSYH İlişkisi, Maliye Dergisi, 171: 19-33.
- Umutlu, G., Neda, A. ve Erkılıç, A. Y. (2011), Maliye Politikası Araçlarından Borçlanma ve Vergilerin Ekonomik Büyümeye Etkileri, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 30(1): 75-93.
- Ülkü, Y. E. ve Açıkgöz, Ş. (2020), Türkiye’de vergi yapısı ve ekonomik büyüme ilişkisi için üretim fonksiyonu çerçevesinde bir inceleme, Ekonomik Yaklaşım, 31(116): 251-299.
- Ünlükaplan, İ. ve Arısoy, İ. (2011), Vergi Yükü ve Yapısı ile İktisadi Büyüme Arasındaki Dinamik Etkileşimler Üzerine Uygulamalı Bir Analiz, ODTÜ Gelişme Dergisi, Nisan, 38: 71-100.

Sağlık Sayım Zaman Serilerinde Poisson Otoregresif Model için Hareketli Blok Bootstrap ile Belirsizlik Tahmini

Hayriye Esra Akyüz¹

Özet

Bu çalışmada, sağlık alanında sayıma dayalı olarak elde edilen anne ölüm sayıları, zaman serisi yöntemleri ile modellenerek bu model üzerinde Klasik Bootstrap ve Hareketli Blok Bootstrap yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma zaman bağımlılığı içeren sağlık verilerinde bootstrap yöntemlerinin performans karşılaştırmasına yönelik metodolojik bir yaklaşıma dayalı olduğu için analizler tek bir sağlık göstergesi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; Hareketli Blok Bootstrap yönteminin sağlık zaman serisinde bağımlılık yapısını daha iyi koruduğu, bu sayede daha gerçekçi standart hatalar ve güven aralıkları ürettiği ve buna bağlı olarak Poisson Otoregresif modeli ve Klasik Bootstrap yöntemine kıyasla daha gerçekçi belirsizlik tahminleri sunduğu elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, zaman bağımlılığı içeren sağlık verilerinin analizinde kullanılan istatistiksel yöntemin seçiminin, elde edilen çıkarımların doğruluğu ve güvenilirliği açısından kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

1. Giriş

Veri, muhakeme, tartışma veya hesaplama için temel teşkil eden olgusal bilgiler olarak bilinir (Ranganathan ve Gogtay, 2019). Sadece bilgisayar tarafından işlenen bir girdi olmayıp arkasında insan emeği, disiplin kültürü ve bağlamın korunduğu bir rehber olan veri kavramı disiplinden disipline değişmektedir (Carlson ve Anderson, 2007). Verilerin daha kolay dijitalleştiği ve standartlaştığı alanlar olduğu gibi, verinin genellikle kişisel gözlemlere, mülakatlara veya fiziksel nesnelere dayandığı, bu nedenle dijitalleşme bağlamından koparılarak yeniden kullanılmasının zor olduğu alanlar da mevcuttur (Carlson ve Anderson,

1 Doç. Dr., Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, heakyuz@beu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1784-5910

2007). Veriler, kantitatif (nicel) ve kalitatif (nitel) olarak ikiye ayrılmakta ve daha detaylı olarak sürekli ve kategorik olarak sınıflandırılmaktadır. İstatistik veri toplama ile başlar. Uygulanacak istatistiksel testlerin seçimi doğrudan veri tipine ve verinin dağılımına bağlı olduğundan tüm araştırmaların bilimsel geçerliliği için veri sınıflandırılmasının doğru yapılması oldukça kritiktir (Sheats ve Pankratz, 2002; Marshall ve Jonker, 2010). Veriler toplanmaya başlanmadan önce istatistiksel analiz planının yapılması gerekmektedir. Bu plan, toplanan bilgilerin özetlenmesinden hipotezlerin test edilmesine kadar olan tüm sürece rehberlik etmektedir (Simpson, 2015).

Kesit veri, bireyler, hanehalkları, firmalar veya ülkeler gibi farklı birimlere ait gözlemlerin belirli bir zaman noktasında toplanmasıyla oluşan veri yapısıdır (Wooldridge, 2020). Zaman serisi, bir değişkene ait gözlemlerin zaman sırasına göre ardışık olarak kaydedilmesiyle oluşan veri yapısıdır (Box et al., 2015). Panel veri ise, aynı kesit birimlerinin birden fazla zaman döneminde gözlemlenmesiyle oluşur; böylece hem zaman hem de birimler arası değişimi eş zamanlı olarak analiz etmeye imkân tanır (Baltagi, 2021).

Sağlıkta zaman serisi verisi, bir sağlık göstergesine (örneğin hastalık insidansı, mortalite oranı veya hasta başvuruları) ait gözlemlerin belirli zaman aralıklarında ardışık olarak kaydedilmesiyle oluşan veri yapısını ifade eder (Diggle, 1990). Zaman serisi yönteminin temel amacı, bir değişkenin geçmiş davranışlarını analiz ederek gelecekteki değerlerini tahmin etmektir. Gözlemlerin geçmiş değerleri incelenir ve bu yapılar üzerinden geleceğe yönelik öngörüler yapılır (Yıldırım vd., 2012). Sağlık kurumları, gelecekte ortaya çıkabilecek durumlara yönelik planlama yapabilmek amacıyla kamu ve özel kesimde farklı ölçeklerde zaman serisi temelli talep öngörü yöntemlerini kullanmaktadır (Hanke ve Wichern, 2005). Sağlık yöneticileri ise toplumun sağlık düzeyini koruma ve geliştirme hedefleri doğrultusunda, geçmiş dönem verilerinin zamansal yapısını dikkate alan öngörü teknikleri aracılığıyla geleceğe ilişkin belirsizlikleri azaltmayı amaçlamaktadır (Özer ve Erkilet, 2012).

Zaman serisi yönteminin temel varsayımı, bir serinin gelecekteki değerlerinin geçmiş değerleri kullanılarak öngörülebilesidir. Zaman serileri; trend, mevsimsel, döngüsel ve rasgele değişimler olmak üzere dört ana bileşenle açıklanır (Box vd., 2015). Belirtilen bileşenler analiz ve tahminlerde önemli rol oynamaktadır. Trend ve mevsimsel değişim, gelecekteki verilerin tahmininde kullanılan modellerin belirlenmesine yardımcı olur (Topuz ve Arslan, 2025) ve ayrıca kısa/uzun dönemde artış, azalış veya tekrar eden değişimleri ifade eder (Yıldırım vd., 2012). Döngüsel ve rasgele değişim, zaman serisi verilerinin belirsizliği ve tahmin edilebilirliği hakkında daha fazla bilgi sağlar (Topuz ve Arslan, 2025). Zaman serileri analizleri bir çok alanda sıklıkla kullanılmaktadır.

Nasıl ki ekonomi alanında geleceğe yönelik tahminler önemli ise, sağlıkta planlama ve karar alma süreçlerinde de bu tahminler oldukça önem arzeder. Bu sebeple sağlık alanında da doğru ve güvenilir tahminlerin elde edilebilmesi için veri türünün doğru belirlenmesi gerekir. Bu alanda özellikle günlük, haftalık, aylık periyotta veriler kullanılmaktadır. Öte yandan, sağlık sistemi ve epidemiyoloji çoğu alanda olayların sayısına (hasta sayısı, vaka sayısı, hastane başvuru sayısı gibi odaklanmaktadır. Bu tür veriler istatistikte sayım verileri olarak karşımıza çıkar. Sayım verisi, bir olayın meydana gelme sayısını gösteren negatif olmayan tam sayı değerlerinden oluşan veri türüdür (Cameron ve Trivedi, 2013). Sayım verisinin doğru modellenmesi, sağlıkta kaynak planlaması, talep öngörüsü ve politika geliştirme süreçlerinde kritik rol oynar (Hilbe, 2011).

Zaman serilerinde, değişkenler arası ortak dinamiklerin ve eşbütünleşme gibi uzun dönem ilişkilerin analiz edildiği durumlar olduğu gibi, tek bir seriye ait gözlemlerin dinamik veya zamana bağlı yapısının incelendiği durumlar da sözkonusu olabilir (Hamilton, 1994). Literatür incelendiğinde, anne ölümleri konusunda çeşitli istatistiksel yöntemlerin uygulandığı çalışmaların bulunduğu (Biliker, 2003; Betrán vd., 2005; Bozkurt vd., 2006; Karabulut vd., 2010; Üstün vd., 2012; Sajedinejad vd., 2015; Gülümser vd., 2019; Şenol vd., 2019; Sezer vd., 2022), ayrıca anne ölüm sayıları ve bu ölümlerin belirleyicilerine ilişkin nitel araştırmaların da gerçekleştirildiği görülmektedir (Ergöçmen ve Yüksel, 2006; Kaptanoğlu vd., 2024). Bununla birlikte, zaman serisi yöntemleri kapsamında yeniden örnekleme yaklaşımlarına (bootstrap, jackknife vb.) dayalı analizlerin kullanıldığı çalışmaların oldukça sınırlı olduğu gözlenmiştir.

Bootstrap yöntemleri yeniden örnekleme dayalı yöntemler olup, orijinal verilerin örnekleme dağılımını değiştirmeden örnek sayısını artırmak için atılan adımların bir özeti olarak tanımlanabilir. Bu yöntem, bağımsız değişkenlerin enterpolasyonu ve verilerdeki eksik gözlemlerin değiştirilmesi için esnek bir yöntemdir (Efron ve Tibshirani, 1993). Parametrik varsayımlara dayanmaksızın istatistiksel çıkarımlar elde edebilmek amacıyla yeniden örnekleme yöntemleri, mevcut örnek verilerin tekrar kullanılması ya da veri kümesinden alt örnekler türetilmesi yoluyla uygulanmaktadır. Parametrik varsayımların pratikte doğrulanması çoğu zaman mümkün olmamakta; büyük örneklemler dışında bu varsayımlara uyumun yeterince güçlü olmadığı ve birçok uygulamada geçerliliğini yitirdiği bilinmektedir. Bu bağlamda yeniden örnekleme yöntemleri, bir tahmincinin varyans ve yanlılığının tahmin edilmesi, güven ya da tahmin aralıklarının oluşturulması ve tahmin edilen parametreye ilişkin istatistiksel hipotezlerin test edilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Chernick, 2012a,b). Bu yöntemler, özellikle örnekleme büyüklüğünün sınırlı

olduğu ya da verilerin olasılık dağılımı hakkında kesin bilgilerin bulunmadığı durumlarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, zaman bağımlılığı gösteren anne ölüm sayıları, zaman serisi analiz yöntemleri kullanılarak modellenmiş; elde edilen bulgular, bağımlı veri yapısını dikkate almayan Klasik Bootstrap yaklaşımı ile zaman bağımlılığını koruyan Hareketli Blok Bootstrap yöntemine dayalı sonuçlarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. Veri Seti ve Ekonometrik Yöntemler

Bu çalışmada kullanılan veriler Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri (World Development Indicators–WDI) veri tabanından elde edilmiştir. Çalışmada yıllık frekansta Türkiye’de 1985-2024 dönemlerine ait anne ölüm sayılarını gösteren zaman serisi verileri kullanılmıştır. Çalışmada anne ölüm sayılarının modellenmesinde Python 3.12.3 yazılımında “pandas”, “numpy”, “scipy”, “statsmodels” ve matplotlib kütüphanelerinden faydalanılmıştır. Bootstrap yöntemlerine dayalı sonuçlar ise manuel kodlanarak elde edilmiştir. Çalışmada ilk olarak anne ölüm sayılarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler detaylı olarak incelenmiştir. Zaman yolu grafikleri incelenerek ardından aykırı gözlemler ve olası yapısal kırılmalar incelenmiştir. Serinin durağanlığı ve trend içerip içermediği belirlenmiştir. Zaman bağımlılığını test etmek için ACF ve PACF fonksiyonları değerlendirilerek lag-1 ve lag-2 otokorelasyon katsayıları raporlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, anne ölüm sayısı Poisson otoregresif model (AR(1)) ile modellenmiştir. Daha sonra bu model üzerinde Klasik Bootstrap ve Hareketli Blok Bootstrap yöntemleri kullanılarak aralık tahminleri karşılaştırılmıştır. Hangi yöntemin zaman bağımlılığını daha iyi koruduğu belirlenerek, 2025-2030 yılları arasındaki anne ölüm sayılarının tahmini değerleri hem orijinal model hem de bootstrap yöntemlerine dayalı olarak elde edilmiştir.

2.1. Poisson Otoregresif Model

Klasik ARMA modelleri bazı model varsayımlarının sağlanması koşulu ile kullanılabilir. Ancak sayım verileri normal dağılımdan ziyade Poisson dağılım davranışı sergilemektedir. Bu durum, bu verilerin modellenmesinde daha özel zaman serisi modellerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. İlk olarak 1711’de Abraham de Moivre tarafından “De Mensura Sortis” adlı çalışmada ve Nelder ve Wedderburn (1972) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, Genelleştirilmiş Lineer Model teorisini incelediği ve poisson dağılımına ilişkin örnekler ile birlikte poisson regresyonunun temellerinin de atıldığı bilinmektedir. Poisson otoregresif modeller arasında en yaygın kullanımı olan model McKenzie (1985) ve Al-Osh ve Alzaid (1987) tarafından geliştirilen

Integer-Valued AR (INAR) yaklaşımına dayalı modeldir. Buna karşılık gözleme (Observation-Driven Model) ve parametreye (Parameter-Driven Model) dayalı alternatif formülasyonların geliştirildiği de bilinmektedir (Cox, 1981). Gözleme dayalı zaman serisi modelleri, ekonomik ve finansal zaman serilerindeki zaman değişimini tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modeller, zaman serisinin geçmiş gözlenen değerleri tarafından yönlendirilen zamana göre değişen parametreler içerir. Bu, parametreye dayalı modellerin aksine, zamana göre değişen parametrelerin kendi hata kaynağına sahip stokastik süreçler tarafından yönlendirildiği durumdur (Cox, 1981).

Gözleme dayalı model, koşullu yoğunluk fonksiyonu $Y_t / F_{t-1} \sim Poisson(\lambda_t)$ olmak üzere model Eşitlik (1)'deki gibi verilir (Davis vd., 2003):

$$\log(\lambda_t) = \omega + \varphi \log(Y_{t-1} + 1) + \beta' Z_t \quad (1)$$

Bu modelde Y_t , t zamanda bağımlı değişkenin gözlenen değeri, ω sabit terim, φ otoregresif katsayı, $\log(Y_{t-1} + 1)$ gecikmeli değişkenin logaritmik dönüşümü ve Z_t dışsal açıklayıcı değişkendir. $Y_t / \lambda_t \sim Poisson(\lambda_t)$ ve $\log(\lambda_t) = \mu_t$ olmak üzere parametreye dayalı poisson modeli Eşitlik (2)'de yer almaktadır.

$$\mu_t = \varphi \mu_{t-1} + \eta_t \quad (2)$$

Bu modelde φ otoregresif katsayı ve η_t ise modelin hata kaynağıdır. μ_t gözlemlenemeyen çevresel faktörler gibi gizli durum değişkenidir.

2.2. Klasik Bootstrap Yöntemi

Bootstrap metodu ilk olarak Efron(1979) tarafından parametrik olmayan bir yaklaşım olarak tanıtılmıştır. Genellikle parametre tahminlerinde örnekleme dağılımlarının kullanılmasına dayanan bootstrap yönteminde ilgilenilen yığından çok sayıda tekrarlanan örneğin çekilebileceği varsayılmaktadır. Bootstrap yöntemi, bir yığından çok sayıda tekrar örnek çekmenin maliyetli veya pratik olmadığı durumlarda, mevcut örnek verileri kullanarak istatistiğin örnekleme dağılımını tahmin etmeyi amaçlar. Mevcut veri üzerinde tekrar örnekleme yapılarak (bootstrap örnekleri), her örnekten istatistik hesaplanır ve bu değerlerin dağılımı istatistiğin bootstrap dağılımı olarak adlandırılır (Efron & Tibshirani, 1993). Verilerin dağılımı hakkında bilgi sahibi olunmadığında bile güvenilir sonuçlar veren (Hsueh & Wang, 2021) bootstrap yöntemi, varyans tahminleri yapmak ve güven aralıkları oluşturmak için etkili bir araçtır. Bu yöntem, özellikle model doğruluğunu artırmak ve tahminlerin belirsizliğini sistematik bir şekilde değerlendirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Gilleland, 2020).

Zaman serileri analizlerinde yeniden örnekleme yöntemleri, bağımsız gözlemler için oluşturulan yeniden örnekleme yöntemlerinin genişletilmiş hali olduğu bilinmektedir. Verinin bağımsız ve özdeş dağılımlı olmaması durumunda, veri uygun bir model ile tahmin edilir ve elde edilen kalıntılar yeniden örneklenebilir (Beşer, 2006). Böyle bir uygulama yapılmasının sebebi modelin uyumunun iyi olması durumunda kalıntı temelli bootstrap metodlarının gerek örnek ortalaması gerekse daha karmaşık istatistikler için iyi bir şekilde çalışabileceği (Beşer, 2006), bunun yanı sıra Efron (1979)'un Klasik Bootstrap yöntemine yakın bir performans sergileyeceği belirtilmektedir (Politis, 2003).

İlgilenilen gözlemlerde bağımlılık yapısının sözkonusu olması durumunda, yeniden örneklenmiş verideki orijinal verinin bağımlılık yapısının giderebilmesi için bağımsız ve özdeş dağılımlı veri için yeniden örnekleme algoritmaları uygun bir biçimde değiştirilmelidir (Singh, 1981). Bunun için bir ayarlama sabiti gerekmektedir (Young, 1994).

2.3. Hareketli Blok Bootstrap Yöntemi

Parametrik olmayan bir yöntem olan Hareketli Blok Bootstrap yöntemi, “çakışan bloklar”, “overlapping blocks” veya “moving blocks bootstrap” olarak da bilinir. İlk olarak Carlstein (1986) tarafından çakışmayan bloklar mantığı ile geliştirilmiştir (Young, 1994) ve Künsch (1989) tarafından zaman serisi verileri için parametrik olmayan bir yöntem olarak genelleştirilmiştir. Carlstein (1986)'nın çakışmayan blok yönteminde blok uzunluğu değiştikçe tutarsız sonuçlar elde edilmekte ve buna karşılık Hareketli Blok Bootstrap yöntemi daha başarılı sonuçlar vermektedir (Li ve Maddala, 1997).

Bu yöntemde, n adet gözlem l genişliğindeki bloklara ayrılmakta ve tüm olası bloklar içinde yeniden örnekleme yöntemi ile iadeli olarak bu bloklardan b tanesi seçilmektedir. $n = b \times l$ olduğunda; Carlstein (1986)'nın çakışmayan bloklar algoritmasına göre sadece b adet blok bulunmasına karşın Künsch (1989) algoritmasında $n - l + 1$ adet blok bulunacaktır. L_k , k . Blok elemanlarını göstermek üzere, bloklar $L_k = \{X_k, X_{k+1}, \dots, X_{k+l-1}\}$, $k=1, 2, \dots, (n-l+1)$ olacaktır. Buna bağlı olarak çakışmayan blok yönteminde tüm blokların kaçırılma olasılığı daha yüksek olduğundan çakışan yani Hareketli Blok Bootstrap yöntemi daha yaygın kullanılmaktadır (Beşer, 2006).

n , örnek hacmi; b , blok uzunluğu ve B , bootstrap tekrar sayısı olmak üzere Hareketli Blok Bootstrap algoritmasına ilişkin adımlar aşağıdaki gibidir (Künsch, 1989):

1. İlk olarak orijinal zaman serisi b uzunluğunda çakışan bloklara ayrılır ve $(n-b+1)$ adet blok elde edilir.

2. Optimal blok sayısı belirlenir.
3. $(n-b+1)$ bloktan k adet blok rastgele seçilerek bootstrap örnekler oluşturulur.
4. Adım (3) B kez tekrarlanarak B adet bootstrap örnek oluşturulur.
5. Her bir bootstrap örneği için ilgilenilen istatistik hesaplanır.
6. Bootstrap dağılımından güven aralıkları, standart hatalar elde edilir.

Algoritma adımlarının gerçekleştirilmesi ile Hareketli Blok Bootstrap yöntemi serideki bağımlılığı koruyarak ardışık gözlemleri bloklar halinde örneklemiş olacaktır.

3. Ampirik Bulgular

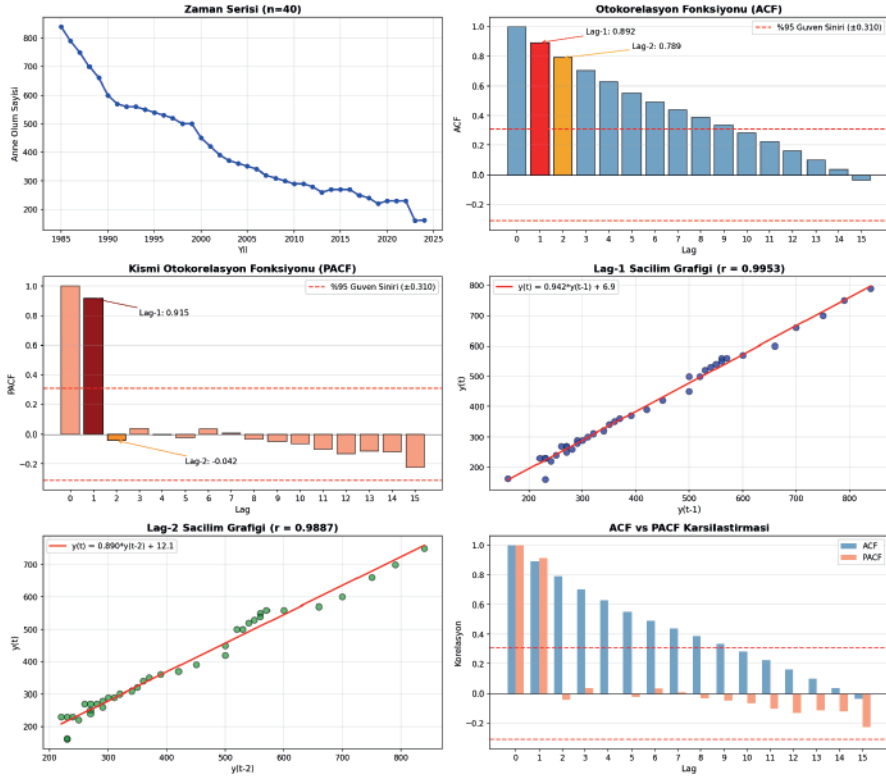
Bu bölümde, Türkiye’de 1985-2024 yılları arasındaki anne ölümlerine ilişkin zaman serisi verileri kullanılarak elde edilen Klasik Bootstrap ve Hareketli Blok Bootstrap tahminleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bootstrap uygulamalarına geçilmeden önce, zaman serisinin yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla ön analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda serinin durağanlık durumu, olası trend ve zamansal bağımlılık yapısı değerlendirilmiş; elde edilen bulgular doğrultusunda uygun bootstrap yaklaşımının seçilmesine yönelik metodolojik gerekçeler ortaya konmuştur. Bootstrap yöntemlerde $B=1000$ tekrar gerçekleştirilmiştir. Hareketli Blok Bootstrap yönteminde optimal blok uzunluğu, her bir blok uzunluğuna ilişkin standart hata değerleri de gözönünde bulundurularak $4(n^{1/3})$ olarak belirlenmiştir (Künsch, 1989). Anne ölümlerine ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler Tablo 1’deki gibidir.

Tablo 1. Türkiye’de Anne Ölümlerine İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

İstatistik	Değer
Ortalama	410.8
Standart sapma	417.18
Minumum	160
Maksimum	840
Çarpıklık	0.71
Basıklık	-0.40
Değişim katsayısı	% 43.77

Tablo 1’de anne ölümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde; Türkiye’de 1985-2024 yılları arasındaki anne ölümleri ortalama 411’dir. Standart sapmanın ortalamadan büyük olması dikkat çeken bir bulgudur.

Minimum ve maksimum değerler arasındaki farkın büyük olması ve değişim katsayısının yaklaşık %44 olarak seyretmesi bu bulguyu destekler niteliktedir. Anne ölümleri incelenen dönemde oldukça fazla farklılık göstermiştir (Tablo 1).



Şekil 1. Anne Ölüm Sayılarının Otokorelasyon Yapısı ve Zaman Bağımlılığı Analizi

Şekil 1’de Türkiye’de 1985-2024 yılları arasında anne ölümlerinin seyri, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları, bir dönem (lag-1) ve iki dönem (lag-2) öncesine ilişkin saçılım grafikleri verilmiştir. Tüm grafikler birarada değerlendirildiğinde; anne ölümlerinin durağan olmadığı, güçlü trend içerdiği ve belirgin biçimde AR(1) yapısına uygunluk gösterdiği söylenebilir.

Tablo 2. ACF ve PACF Değerleri

Gecikme	ACF	PACF	Anlamlılık
0	1.000	1.000	-
1	0.8922	0.9151	ACF, PACF
2	0.7891	-0.0415	ACF
3	0.7022	0.0344	ACF
4	0.6248	-0.0013	ACF
5	0.5522	-0.0216	ACF
6	0.4918	0.0328	ACF
7	0.4393	0.0073	ACF
8	0.3876	-0.0321	ACF
9	0.3352	-0.0477	ACF
10	0.2816	-0.0643	-
11	0.2235	-0.1019	-
12	0.1599	-0.1307	-
13	0.0963	-0.1131	-
14	0.0348	-0.1187	-
15	-0.0333	-0.2248	-

Tablo 2’de ACF ve PACF değerleri incelendiğinde; $ACF(1)=0.8922$ ve $PACF(1)=0.9151$ istatistiksel olarak anlamlı olup bu değerler ardışık yıllar arasında % 89 korelasyon olduğunu ve bir yılın anne ölüm sayısı yüksekse, sonraki yıl da yüksek olma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu durum, serinin güçlü kalıcılık özelliği gösterdiğini ve AR(1) modelinin geçerliliğini kanıtlar niteliktedir. Öte yandan Lag-2 otokorelasyon değerleri incelendiğinde ACF(2) değeri hala çok yüksek ve anlamlı iken PACF(2) düşük ve istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu durum, $y_{(t-2)}$ ’nin $y_{(t)}$ üzerindeki görünür etkisinin aslında $y_{(t-1)}$ üzerinden aktarıldığını göstermektedir. Yani 2 yıl önceki değer, bugünkü değeri doğrudan değil, geçen yıl üzerinden dolaylı olarak etkilemektedir (Tablo 2).

Tablo 3. Yapısal Kırılma Analizi

Kırılma yılı	n_1	n_2	F-istatistiği	p-değeri
1990	5	35	38.90	0.000
1995	10	30	31.89	0.000
2000	15	25	35.54	0.000
2005	20	20	42.53	0.000
2010	25	15	35.00	0.000
2015	30	10	19.43	0.000
2020	35	5	5.83	0.006

Tablo 3'de Chow testi sonuçları, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 yıllarında istatistiksel olarak anlamlı kırılmalar olduğunu göstermektedir ($p < 0.01$). Bu sonuç, anne ölüm sayılarındaki düşüş hızının zaman içinde sabit olmadığını göstermektedir (Tablo 3).

Tablo 4. Dönemsel Trend Analizi Sonuçları

Dönem	Gözlem	Ortalama	Eğim	R ²
1985-1989	5	748	-45.0	0.999
1990-1999	10	543	-10.2	0.961
2000-2009	10	361	-15.6	0.958
2010-2019	10	264	-6.7	0.826
2020-2024	5	202	-20.6	0.743

Tablo 4'de yer alan bulgular dönem bazında incelendiğinde; ilk dönemde yılda ortalama 45 anne ölümünün azaldığı ve en yüksek dönem ortalamasının yine bu dönem için gerçekleştiği elde edilmiştir. Devamındaki dönemde düşüş hızının yavaşladığı fakat sonrasında 2000-2009 döneminde tekrar yükselişe geçtiği görülmüştür. Düşüş hızının en düşük seviyede olduğu dönem 2010-2019 dönemidir ve diğer dönemlere göre daha zayıf doğrusal ilişki mevcuttur (0.826). En zayıf doğrusal ilişki ise 2020-2024 dönemine aittir. Yılda ortalama 20 anne ölümünün azaldığı tespit edilmiştir. Tablo 4 genel olarak değerlendirildiğinde farklı dönemlerde farklı dinamiklerin olduğu açıktır (Tablo 4).

Tablo 5. ADF Birim kök testi sonuçları

Model	İstatistik	<i>p</i> -değeri
Sabit	-1.631	0.4672
Sabit&trend	-3.396	0.0519
Yok	-2.068	0.0370

Tablo 5’de birim kök testleri, sabit, sabit ve trend içeren ile sabit ve trend içermeyen modeller altında gerçekleştirilmiştir. ADF testi sonuçlarına göre; anne ölüm sayısının durağan olmadığı belirlenmiştir. Seri trend içermekte ve trend çıkarıldığında durağanlaşma eğilimi göstermektedir. %5 anlamlılık seviyesinde sabit&trend modelde ADF test istatistiği 0.05’e çok yakın olup 0.10 anlamlılık seviyesinde durağan kabul edilebilir. Bu belirsizlik, serinin “trend-durağan” olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 6. Zivot-Andrews Birim kök testi

Model	İstatistik	<i>p</i> -değeri	Kırılma Yılı
Sabit	-4.838	0.0470	1999
Trend	-3.386	0.4185	2004
Sabit&trend	-3.586	0.7673	2000

Zivot-Andrews testi sonuçlarına göre ise; 2000 yılı kırılma noktası olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, Chow testi sonuçlarıyla tutarlılık göstermektedir (Tablo 6).

Tablo 7. Zaman bağımlılığının değerlendirilmesi

Test	Sonuç	Yorum
Ljung-Box (lag-1)	<i>p</i> -değeri=0.000	Otokorelasyon var
Ljung-Box (lag-10)	<i>p</i> -değeri=0.000	Uzun dönem bağımlılık var
Durbin Watson	0.157	Güçlü pozitif otokorelasyon (2’den çok uzak)
Runs testi	<i>p</i> -değeri=0.000	Seri rastgele değil

Tablo 7’de Ljung-Box (lag-1) testi sonuçlarına göre; “ H_0 : lag-1’e kadar otokorelasyon yoktur” hipotezi reddedilmiştir ($p < 0.05$). Ardaşık yıllar arasında çok güçlü bağımlılık olduğu ve bir yılın anne ölüm sayısının, bir sonraki yılı doğrudan etkilediği elde edilmiştir. Ljung-Box Testi (lag-10) testine göre ise; sadece kısa dönemde değil, 10 yıl öncesine kadar bağımlılığın mevcut

olduğu belirlenmiştir. Durbin Watson test istatistiği değeri artıklar arasında çok güçlü pozitif otokorelasyon olduğunu göstermektedir. Runs testine göre ise; “ H_0 : Gözlemler rastgele sıralanmıştır” hipotezi 0.95 güven düzeyinde reddedilmiştir. Bu sonuç, anne ölüm sayısı serisinin rastgele değil, sistematik yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 7).

Bu durumda anne ölüm sayısı için gözlemlerin bağımsız olduğunu varsayan modellerin kullanılması doğru olmayacaktır. Böyle durumlarda standart hatalar, güven aralıkları ve p -değerleri güvenilir olmayacaktır. Bu çalışmada, sayım ve zaman serisini birleştiren, zaman bağımlılığını dikkate alan ve otokorelasyonu yakalayabilen Poisson Otoregresif Model kullanılmış ve sonuçlar Tablo 8’de verilmiştir. Poisson otoregresif model aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Brandt ve Williams, 2001):

$$\log_t = \alpha + \beta \log(Y_{t-1} + 1) + \gamma_t$$

Bu modelde t zaman indeksi olup; α sabit terim, β otoregresif katsayı, γ trend katsayısı ve Y_{t-1} bir önceki dönem anne ölüm sayısıdır.

Tablo 8. Poisson otoregresif model katsayıları

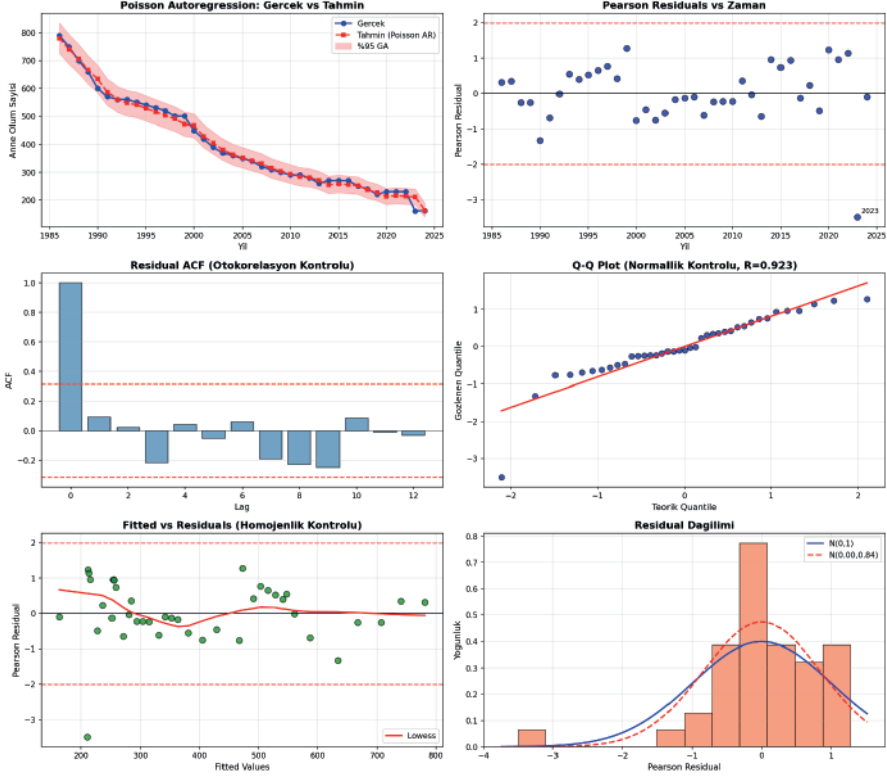
Değişken	Katsayı	Std.hata	z-değeri	p-değeri
Sabit	2.1258	0.9053	2.35	0.0189
$\log(Y_{t-1})$	0.6752	0.1353	4.99	0.0000
Trend	-0.0118	0.0051	-2.34	0.0195

AIC=336.70, Pearson χ^2 / sd=0.77,
 Artıkların ortalaması= -0.0002,
 Ljung-Box (Lag-1) p -değeri=0.52,
 Ljung-Box (Lag-5) p -değeri=0.76

Tablo 8’de poisson otoregresif model parametre tahminleri incelendiğinde; önceki yılın anne ölüm sayısı %1 arttığında bu yıl beklenen sayı yaklaşık olarak % 0.68 artacaktır. Trend etkisi incelendiğinde her yıl beklenen anne ölüm sayısının yaklaşık % 1.2 azaldığı belirlenmiştir. Ljung-Box testine ilişkin 1 ve 5 gecikmeli p -değerlerine göre ise bu modelde artıklarda otokorelasyon probleminin kalmadığı görülmüştür.

Dispersiyon, sayım verisinde varyansın ortalamaya göre davranışını ifade eder. Poisson otoregresif modellerde dispersiyon, koşullu varyansın koşullu ortalamaya eşit olduğu varsayımının veri tarafından ne ölçüde sağlandığını ifade etmekte olup, bu varsayımın ihlali aşırı veya eksik dispersiyon olarak ortaya

çıkmaktadır. Çalışmada, dispersiyon parametresi, Pearson ki-kare istatistiğinin serbestlik derecesine oranı kullanılarak tahmin edilmiştir ve bu değer 0.77 olarak elde edilmiştir (Tablo 8).



Şekil 2. Poisson Otoresif Model için Tanı Grafikleri

Şekil 2'de elde edilen grafikler Poisson otoresif modelin anne ölümlerini modellemede ne kadar başarılı olduğunu göstermektedir. İlk grafikte anne ölümlerinin gerçek değerleri ile Poisson otoresif modeline dayalı tahmini değerleri arasındaki uyum net bir şekilde görülebilmektedir ve %95 güven aralığı alt ve üst sınır aralığındadır. Küçük sapmalar ile birlikte model oldukça uygun görünmektedir. Artıklara ilişkin grafikte 2023 yılına ilişkin değer dikkat çekmektedir. Artıkların otokorelasyon grafiğinde neredeyse tüm gecikmelerin güven aralığı bandında yer aldığı, otokorelasyon ve değişen varyans problemlerinin mevcut olmadığı ve Normallik incelemesi için elde edilen Q-Q plot grafiğinde kuyruklarda hafif sapmalar olmakla birlikte artıkların dağılımında da sağ kuyrukta daha fazla gözlemin toplandığı belirlenmiştir (Şekil 2).

Tablo 9. Klasik Bootstrap ve Hareketli Blok Bootstrap ($l=4$) karşılaştırması ($B=1000$)

Değişken	Standart hata			Yanlılık		% 95 güven aralıkları		
	Poisson AR(1)	Klasik Bootstrap	Blok Bootstrap	Klasik Bootstrap	Blok Bootstrap	Poisson AR(1)	Klasik Bootstrap	Blok Bootstrap
Sabit	0.9053	0.7558	0.7376					
$\log(Y_{t-1})$	0.1353	0.1129	0.1101	0.0020	0.0108	[0.4100, 0.9403]	[0.4404, 0.8974]	[0.4825, 0.9048]
Trend	0.0051	0.0042	0.0041	0.0001	0.0004	[-0.0217, -0.0019]	[-0.0205, -0.0034]	[-0.0192, -0.0033]

Hareketli Blok Bootstrap yöntemine dayalı standart hatalar daha düşük elde edilmiştir. bir dönem gecikmeli anne ölümlerinin ve trende ilişkin yanlılık değerleri oldukça küçük olmasına karşın Hareketli Blok Bootstrap yöntemine ilişkin yanlılık, Klasik Bootstrap yanlılık değerinden önemsiz derecede daha büyüktür. Modellere ilişkin güven aralıkları incelendiğinde ise; en dar güven aralıklarının Hareketli Blok Bootstrap yöntemi için elde edildiği belirlenmiştir (Tablo 9).

Tablo 10. 2025-2030 yılları anne ölüm sayıları için poisson AR(1) modeli ve bootstrap tahmin karşılaştırmaları ($B=1000$)

Yıl	Poisson AR(1)	Klasik Bootstrap	Klasik % 95 güven aralığı	Klasik Genişlik	Blok Bootstrap	Blok % 95 güven aralığı	Blok Genişlik
2025	162.7	162.8	[155.9, 169.4]	13.5	162.9	[156.5, 169.7]	13.2
2026	161.3	161.2	[150.2, 170.6]	20.4	161.5	[151.0, 171.8]	20.8
2027	158.4	158.2	[144.4, 169.3]	24.9	158.7	[145.6, 171.0]	25.4
2028	154.7	154.4	[138.7, 166.6]	27.9	155.0	[140.1, 168.9]	28.8
2029	150.5	150.1	[133.3, 163.3]	30.0	150.8	[135.0, 165.3]	30.3
2030	145.9	145.7	[128.2, 159.8]	31.6	146.5	[130.0, 162.0]	32.0

Tablo 10'da elde edilen sonuçlara göre; Klasik Bootstrap ve Hareketli Blok Bootstrap aralık tahminlerinin her ikisi de benzer sonuçlar vermektedir. Bu durum, çalışmada anne sayılarını poisson otoregresif model kullanılarak modellenmesinden kaynaklıdır. Zaman serisi yapısına uygun ve otokorelasyon varlığında daha güvenilir sonuçlar veren Hareketli Blok Bootstrap yöntemi daha sağlamdır. Çünkü Klasik Bootstrap yönteminde, her bir bootstrap tekrarında

artıklar bağımsız olarak örneklenir ve zaman bağımlılığı korunmamaktadır. Buna karşılık, Hareketli Blok Bootstrap yönteminde ise ardışık bloklar korunarak örnekleme yapılır. Güven aralıkları genişlikleri incelendiğinde; Hareketli Blok Bootstrap yönteminin zaman bağımlılığını da dikkate aldığı için belirsizliği daha iyi yakaladığı ve yansıttığı söylenir (Tablo 10).

4. Sonuç

Araştırmalarda kullanılacak istatistiksel yöntemlerin doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için verinin yapısına bağlı olarak belirli varsayımların sağlanması gerekmektedir. Bu varsayımların sağlanması, parametrik ve parametrik olmayan yöntemler arasında uygun seçim yapabilmek için araştırmacıları yönlendirmiş olacaktır. Sayım verileri, doğası gereği negatif olmayan tam sayılardan oluştuğu ve çoğu zaman sağa çarpık bir dağılıma sahip olduğu için sürekli veri varsayımına dayalı istatistiksel yöntemler ile birlikte kullanılabilmesi mümkün olmamaktadır. Sağlık alanında anne ölüm sayıları sayım verisi kapsamında olup zaman boyutuna sahiptir. Bu sebeple hem dağılım hem de zamana bağımlılık detaylı bir şekilde değerlendirilmelidir.

Zaman serisi bağlamında sayım verilerinin analizi, ardışık gözlemler arasındaki bağımlılık yapısının modellenmesini gerektirir. Bu amaçla Poisson Ototegresif Modeller sıklıkla kullanılmaktadır. Bu modeller, sayım verilerinin dağılım özelliklerini ve zamana bağlı korelasyonlarını açıklamada oldukça güvenilirdir. Örnek hacminin küçük olduğu durumlarda bootstrap yöntemler kullanılarak parametre tahminlerini elde etmek daha doğru ve güvenilir bir yaklaşım olacaktır. Klasik Bootstrap yöntemi, gözlemlerin bağımsız ve özdeş dağılımlı olduğu varsayımına dayandığından, zaman serisi yapısına sahip sayım verilerinde bağımlılık yapısını yeterince koruyamamaktadır. Bu problemin çözümü için Hareketli Blok Bootstrap yöntemi kullanılmaktadır.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre; zaman bağımlılığı içeren anne ölümü verilerinde Klasik Bootstrap doğru modelin seçiminden kaynaklı (Poisson AR(1)) otokorelasyonu yok saymamakla birlikte, hareketli blok bootstrap hem bağımlılık yapısını korumakta hem de daha gerçekçi standart hata ve güven aralıkları üretmektedir.

Sonuç olarak, zaman bağımlılığı içeren sayım verilerinin analizinde, yalnızca uygun zaman serisi modelinin seçilmesinin yeterli olmadığı aynı zamanda belirsizlik tahmininde kullanılan yöntemlerin de veri yapısına uygun olması gerektiği belirlenmiştir. Buna bağlı olarak; sayım verilerinin kullanıldığı çalışmalarda, zaman serisi modelleri ve bootstrap yöntemlerinin birlikte ele alınması, özellikle sağlık istatistiklerinde elde edilen sonuçların doğruluğunu ve bilimsel geçerliliğini artıran önemli bir metodolojik yaklaşım sunacaktır.

Kaynaklar

- Al-Osh, M. A., & Alzaid, A. A. (1987). First-order integer-valued autoregressive (INAR (1)) process. *Journal of Time Series Analysis*, 8 (3), 261-275. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.1987.tb00438.x>
- Baltagi, B. H. (2021). *Econometric analysis of panel data*, (6th ed.). Springer.
- Beşer, M. K. (2006). *Zaman serilerinde bootstrap çözümlenmeleri ve Türkiye’de tanzime etkisine uygulaması*, [Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi].
- Betrán, A. P., Wojdyla, D., Posner, S. F., & Gülmezoglu, A. M. (2005). National estimates for maternal mortality: an analysis based on the WHO systematic review of maternal mortality and morbidity. *BMC Public Health*, 5 (1), 131. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-5-131>
- Biliker, M. A. (2003). Maternal mortality in Turkey. *Journal of Perinatal Medicine*, 31(5), 380-385.
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: Forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Bozkurt, T., Özyüncü, Ö., & Ayhan, A. (2006). Maternal mortality rates at Hacettepe University Hospital/Turkey. *Journal of the Turkish-German Gynecological Association*, 7 (3), 206-209.
- Brandt, P. T., & Williams, J. T. (2001). A linear Poisson autoregressive model: The Poisson AR (p) model. *Political Analysis*, 9 (2), 164-184. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pan.a004869>
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2013). *Regression analysis of count data* (No. 53). Cambridge university press.
- Carlson, S., & Anderson, B. (2007). What are data? The many kinds of data and their implications for data re-use. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 12 (2), 635-651. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.2007.00342.x>
- Carlstein, E. (1986). The use of subseries values for estimating the variance of a general statistic from a stationary sequence. *The Annals of Statistics*, 14 (3), 1171-1179.
- Chernick, M. R. (2012a). *Bootstrap methods: A guide for practitioners and researchers* (2nd ed.). Wiley.
- Chernick, M. R. (2012b). Resampling methods. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 2 (3), 255-262.
- Cox, D. R. (1981). Statistical Analysis of Time Series: Some Recent Developments. *Scandinavian Journal of Statistics*, 8 (2), 93-115.
- Davis, R. A., Dunsmuir, W. T., & Streett, S. B. (2003). Observation-driven models for Poisson counts. *Biometrika*, 90 (4), 777-790. <https://doi.org/10.1093/biomet/90.4.777>
- Diggle, P. J. (1990). *Time series: A biostatistical introduction*. Oxford University Press.

- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1993). *An introduction to the bootstrap*. Chapman & Hall/CRC.
- Efron, B., (1979). Bootstrap methods: Another look at the jackknife, *The Annals of Statistics*, 7(1), 1-26
- Ergöçmen, B. A., & Yüksel, İ. (2006). Türkiye’de ölüm kayıtlarına ilişkin sorunlar: Anne ölümleri özelinde niteliksel bir çalışma. *Nüfusbilim Dergisi*, 28 (1), 29-46.
- Gilleland, E. (2020). Bootstrap methods for statistical inference. Part I: Comparative forecast verification for continuous variables. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 37 (11), 2117-2134. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-20-0069.1>
- Gülümser, C., Engin-Ustun, Y., Keskin, L., Celen, S., Sanisoglu, S., Karahmetoglu, S., ... & Sencan, I. (2019). Maternal mortality due to hemorrhage: population-based study in Turkey. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 32 (23), 3998-4004. <https://doi.org/10.1080/14767058.2018.1481029>
- Hamilton, J. D. (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press.
- Hanke, J. E., & Wichern, D. W. (2005). *Business forecasting* (8th ed.). Pearson/Prentice Hall.
- Hilbe, J. M. (2011). *Modeling count data*. In *International encyclopedia of statistical science*, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hsueh, M.H., & Wang, Y.H. (2021). The selection of strategic alliance in IC packaging and testing industry with DEA resampling comparative evaluation. *Applied Sciences*, 11 (1), 204.
- Kaptanoğlu, İ.Y., Keskin, F., Yayla, Z., Koyuncu, Y., Barkçin, E. M., Güneş, K., & Koç, İ. (2024). Examining expert views on maternal mortality in Turkey: A qualitative study. *Public Health Nursing*, 41 (5), 1089-1097. <https://doi.org/10.1111/phn.13336>
- Karabulut, A., Çalışkan, A., Özcan, N., Sönmez, S., İstanbullu, B., Işık Balcı, Y., Karahan, T., & Kayan, S. (2010). Maternal Mortality in Denizli Region: Three Years Evaluation. *Journal of Clinical Obstetrics & Gynecology*, 20 (1), 29-34.
- Künsch, H. R. (1989). The jackknife and the bootstrap for general stationary observations. *The Annals of Statistics*, 17 (3), 1217-1241.
- Li, H., & Maddala, G. S. (1997). Bootstrapping cointegrating regressions. *Journal of Econometrics*, 80 (2), 297-318. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(97\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(97)00043-2)
- Marshall, G., & Jonker, L. (2010). An introduction to descriptive statistics: A review and practical guide. *Radiography*, 16 (4), e1-c7. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2010.01.001>

- McKenzie, E. (1985). Some simple models for discrete variate time series I. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 21 (4), 645-650. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1985.tb05379.x>
- Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 135 (3), 370-384. <https://doi.org/10.2307/2344614>
- Özer, Ö., & Erkilet, M. (2012). Talep analizi ve talep öngörüsü: Bir özel hastanede. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14 (3), 127-142.
- Politis, D.N., (2003). The impact of bootstrap methods on time series analysis, *Statistical Science*, 18 (2), 219-230.
- Ranganathan, P., & Gogtay, N.J. (2019). An introduction to statistics – data types, distributions and summarizing data. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, 23, 169–170. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23198>
- Sajedinejad, S., Majdzadeh, R., Vedadhir, A. et al. (2015). Maternal mortality: A cross-sectional study in global health. *Global Health*, 11 (4), . <https://doi.org/10.1186/s12992-015-0087-y>
- Sezer, Y., Üzüin, İ., Melez, İ. E., Ustun, Y., & Sanisoglu, S. (2022). Evaluation of demographic, clinical and autopsy data of autopsied maternal deaths in Turkey. *Journal of Contemporary Medicine*, 12 (5), 636-639. <https://doi.org/10.16899/jcm.1060754>
- Sheats, R. D., & Pankratz, V. S. (2002, June). *Understanding distributions and data types*. In *Seminars in Orthodontics* (Vol. 8, No. 2, pp. 62-66). WB Saunders.
- Simpson, S. H. (2015). Creating a data analysis plan: What to consider when choosing statistics for a study. *The Canadian Journal of Hospital Pharmacy*, 68 (4), 311. <https://doi.org/311-317>. 10.4212/cjhp.v68i4.1471
- Singh, K., (1981). On the asymptotic accuracy of Efron's bootstrap, *The Annals of Statistics*, 9(6), 1187-1195
- Şenol, O., Metin, A., & Korucu, K. S. (2019). Ülkelerin ölüm göstergeleriyle karşılaştırılması: Veri zarflama analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 33, 82-103.
- Topuz, S., & Arslan, H.M. (2025). Zaman serisi modelleri ile trafik kazası sayılarının tahmin edilmesi. *Sosyal Bilimlerde Nicel Araştırmalar Dergisi*, 5 (1), 14-30.
- Üstün, Y.E., Çelen, Ş., Özcan, A., Sanisoglu, S., Karaahmetoğlu, S., Gül, R., ... & Köse, M. R. (2012). Maternal mortality from cardiac disease in Turkey: A population-based study. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 25 (11), 2451-2453. <https://doi.org/10.3109/14767058.2012.703719>
- Wooldridge, J. M. (2020). *Introductory econometrics: A modern approach*, (7th ed.). Cengage Learning.

- Yıldırım, C., Yıldırım, S., & Arı, H. O. (2014). Sağlık kurumlarında talep öngörü yöntemleri. *Sağlık Performans ve Kalite Dergisi*, 8 (2), 77-92.
- Young, G.A., (1994). Bootstrap: More than a stab in the dark, *Statistical Science*, 9 (3), 382-395

Finansal Zaman Serisi Tahmininde LSTM ve TCN Modellerinin Karşılaştırılması: BIST 100 Endeksi Üzerine Bir Uygulama

Mehmet Sandal¹

Özet

Hisse senedi piyasaları, doğrusal olmayan ve karmaşık yapısı nedeniyle yatırımcılar için tahmin edilmesi güç bir alan olmayı sürdürmektedir. Finansal zaman serilerinin ani fiyat hareketlerine açık olması ve karmaşık örüntülere sahip olması, istatistiksel yöntemlerin tahmin performanslarını da etkilemektedir. Bu nedenle finansal riskleri minimize ederek yatırım getirilerini artırmak ve tutarlı tahminlerde bulunmak için gelişmiş modellerin kullanılması oldukça önemli hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, doğrusal olmayan ve uzun dönemli bağımlılıklar içeren sıralı verilerin analizinde derin öğrenme yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmaktır. Bu amaçla 2015-2025 yılları arasındaki BIST 100 endeksinin günlük kapanış fiyatları için Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM) ve Zamansal Evrişimli Ağ (TCN) mimarileri tasarlanmıştır. Çalışmada Hyperband algoritması ile hiperparametre optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve modellerin tahmin performansları RMSE, MAE ve MAPE hata ölçütleri üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, her iki modelin de BIST 100 endeksinin uzun vadeli bağımlılıklarını başarılı biçimde yakalayabildiğini göstermektedir. Ancak hata metrikleri incelendiğinde TCN mimarisine göre elde edilen sonuçların LSTM'ye göre daha düşük hata değerleri ürettiği belirlenmiştir. Özellikle ani piyasa değişimlerine ve trend dönüşlerine TCN mimarisinin daha iyi uyum sağladığı ve daha isabetli şekilde tahmin ettiği saptanmıştır. Bu bulgular, TCN mimarisinin finansal zaman serisi tahmininde doğrusal olmayan dinamikleri modellemede güçlü ve yenilikçi bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, mehmet.sandal@cbu.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-7396-0801>

1. Giriş

Finans piyasaları, çağdaş ekonomilerin en önemli bileşenlerinden biri olup küresel ekonomik düzenin işleyişinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Ancak bu piyasalar, makroekonomik olaylara ve doğrusal olmayan ilişkilere bağlı oldukları için oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, likidite problemleri, ani fiyat dalgalanmaları veya piyasa çöküşleri gibi durumlarda sermayenin doğru yönlendirilmesi veya portföy yönetiminin doğru uygulanması için finansal riskleri tahmin etmek son derece önemli hale gelmektedir (Fan, Liang, & Hu, 2025).

Ekonomi ve finans alanları başta olmak üzere piyasaların genel eğiliminin belirlenmesinde ve tahmin edilmesinde zaman serisi modellerinden yararlanılmaktadır. Geçmiş dönemlere ait veriler dikkate alınarak gelecekteki piyasa hareketliliği ve ekonomik göstergelere ilişkin örüntüler, zaman serisi analizleri ile ortaya çıkarılabilmektedir (Yi, 2024). Bu nedenle finansal piyasalarda etkin modelleme yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması önemli bir rol oynamaktadır (Fan, Liang, & Hu, 2025).

Finansal verilerin analizinde sıklıkla ARIMA ve GARCH gibi zaman serisi modellerinden yararlanır. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde Şangay Bileşik Endeksi (Haijian ve Qianqian, 2017; Zhang, 2023), Borsa İstanbul fiyat endeksi (Mashadihasanlı, 2022), NASDAQ 100 endeksi (Yi, 2024) gibi farklı borsa endeks verilerinin tahmin edilmesinde ARIMA modeli sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca Almasarweh ve Wadi (2018), Alhawtmeh (2022), Rawlin ve Pakalapati (2022), Sudipa vd. (2023), Zíková ve Veselá (2023), Yeung (2024) ise yaptıkları çalışmalarda, farklı borsalarda işlem gören çeşitli hisse senedi fiyatlarını tahmin etmek için ARIMA ve GARCH modellerinden yararlanmışlardır. Finansal verileri modellemek ve analiz etmek için kullanılan ARIMA ve GARCH gibi istatistiksel yöntemler, durağanlık ve doğrusallık gibi varsayımlara dayanmaktadır. Ancak piyasalardaki makroekonomik faktörlere bağlı olarak yaşanan dalgalanmalar, veri miktarının oldukça yüksek olması ve piyasaların doğrusal olmayan yapısı nedeniyle genellikle bu yöntemlerin etkinliğini azaltmaktadır (Zhang, Sjarif & Ibrahim, 2024; Fan, Liang, & Hu, 2025).

Son yıllarda yapay zekâ alanındaki ilerlemeler ve yüksek boyutlu veri yapılarının yaygınlaşması, finansal zaman serisi tahmininde derin öğrenme yöntemlerinin giderek yaygınlaşmasına yol açmıştır (Zhang, Zhang & Hu, 2025). Derin öğrenme yöntemleri, öğrenme süreçleri ve modelleme yetenekleri sayesinde finansal verilerin modellenmesinde ve gizli yapıları öğrenmede klasik yöntemlere göre avantajlı konumda yer almaktadır (Selvin vd., 2017).

Bu modellerde, sinir ağlarının insan beyninin örnek alınan öğrenme modeli yapısı kullanılarak girdiler belirli ağırlıklara göre katmanlarda işlenerek veri setine ilişkin en iyi tahmin sonucunun elde edilmesi amaçlanmaktadır. Burada sinir ağının kendi kendine öğrenme mekanizması sayesinde ağırlıklar ayarlanarak en iyi tahmine ulaşabilmek için uygun kalıplar belirlenmeye çalışılmaktadır (Ingle & Deshmukh, 2021).

Bu alanda yapılan çalışmalardan bazıları ise Yang, Gong ve Yang (2017) tarafından Şanghay bileşik endeksi, Eapen, Bein ve Verma (2019) tarafından S&P 500 endeksi, Nikou, Mansourfar ve Bagherzadeh (2019) çalışmalarında iShares MSCI Birleşik Krallık borsa yatırım fonu, Rezaei, Faaljou ve Mansourfar (2021) çalışmalarında S&P500, Dow Jones, DAX ve Nikkei225 endeks değerlerini, Mukherjee vd. (2023) çalışmasında Hindistan Borsası NSE Nifty endeksini Al-Khasawneh vd. (2025) ise Pakistan Menkul Kıymetler Borsası endeks değerini tahmin etmek için derin öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. Akbulut ve Adem (2023), Çelik (2024), Varürer, Özaydın ve Çemrek (2025) çalışmalarında BIST 100 endeksini tahmin etmek için derin öğrenme yöntemlerinden yararlanmışlardır.

Bu çalışmada, BIST 100 endeks değerindeki uzun dönemli bağımlılıklar dikkate alınarak iki farklı derin öğrenme mimarisinin tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde derin öğrenme modelleri açıklanmış, üçüncü bölümde veri setine ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde bulgular aktarılmış ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. Derin Öğrenme Yöntemleri

Derin öğrenme, insan beyninin öğrenme biçimini çok katmanlı yapay sinir ağları aracılığıyla taklit eden bir makine öğrenmesi yaklaşımıdır (Şişmanoğlu vd., 2020; Akbulut & Adem, 2023; Demirci & Karaatlı, 2023). Bir veya daha fazla girdiye sahip, verileri işlemek için çok sayıda gizli katman kullanan ve sonuçta bir veya daha fazla çıktı üreten gelişmiş bir bilgisayar tekniğidir (Arslankaya & Toprak, 2021; Çoban & Hayat, 2023). Bu yapıda, birbirine bağlı nöronlar aracılığıyla verilerden örüntüler öğrenilmekte ve katmanlararası ağırlıkların optimizasyonu sağlanarak aktivasyon fonksiyonları aracılığıyla karmaşık karar süreçleri modellenmektedir (Odabaşı & Toklu, 2023).

Geleneksel makine öğrenmesi algoritmalarının aksine derin öğrenme, büyük boyutlardaki verileri manuel bir özellik çıkarımına ihtiyaç duymadan doğrudan işleyebilmekte ve kendi kendine özellik temsillerini öğrenebilmektedir (Şişmanoğlu vd., 2020). İçerisindeki gizli katmanlar sayesinde karmaşık ve doğrusal olmayan verilerdeki ilişkileri yakalayabilme kabiliyeti nedeniyle zaman

serisi analizleri, regresyon ve sınıflandırma problemleri, dil ve görüntü işleme araştırmaları, enerji ve çevre konuları başta olmak üzere pek çok alanda derin öğrenme algoritmalarından sıklıkla yararlanılmaktadır (Kara, 2019; Arslankaya ve Toprak, 2021).

Derin öğrenme alanında, farklı problem türlerine ve veri yapılarının özelliklerine göre tasarlanmış çeşitli mimariler geliştirilmiştir. Bu mimarilerin başında Evrişimli Sinir Ağları (CNN), Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN), Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM), Kapılı Tekrarlayan Birim (GRU), Üretken Çekişmeli Ağlar (GAN) ve Derin İnanç Ağları (DBN) gelmektedir. Görüntü verilerinde sıklıkla Evrişimli Sinir Ağları (CNN) kullanılırken zaman bağımlı verilerde ise Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN) ile Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM) ve Geçitli Tekrarlayan Ünite (GRU) yapıları öne çıkmaktadır. Sentetik veri üretiminde Üretken Çekişmeli Ağlar (GAN) ve olasılıksal modellemelerde ise DBN mimarileri tercih edilmektedir.

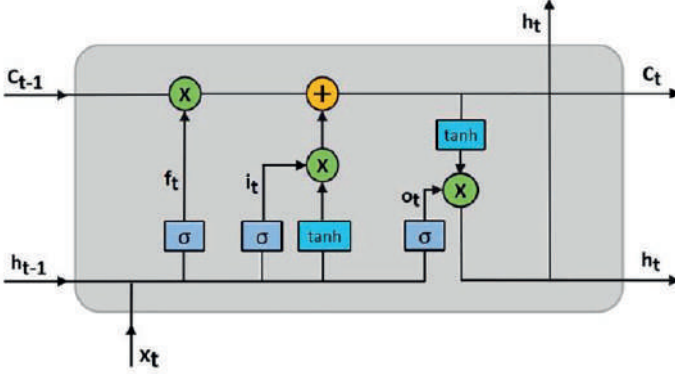
Sıralı verilerin modellenmesinde genellikle RNN algoritmaları kullanılmaktadır. Ancak burada girdi katmanında yer alan her bir veri, bir önceki çıktının değerine göre yinelenmeli olarak sürdürülmektedir. Dolayısıyla RNN mimarisinde zaman adımları arttıkça uzun veri dizilerinin öğrenme aşamasında önemli bilgilerin unutulması (gradyan kaybolması) problemi ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle gerekli olan bilgilere önem veren modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada da sıralı verilerin modellenmesinde gradyan kaybolması problemini çözmek için Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM) ve Zamansal Evrişimli Ağ (Temporal Convolutional Network (TCN)) mimarileri ele alınmıştır.

2.1. Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM)

Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN) algoritmasının gelişmiş bir modeli Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM) yapısıdır (Sonkavde vd., 2023). LSTM, sıralı verilerin uzun dönemli bağımlılıklarını modellemek ve RNN mimarisindeki öğrenme sürecinin gradyan kaybolması problemini çözmek için Hochreiter ve Schmidhuber (1997) tarafından önerilen bir öğrenme modelidir (Zeroual vd., 2020; Sonkavde vd., 2023).

LSTM mimarisinde, bilgi akışını kontrol eden kapı mekanizmaları aracılığıyla öğrenilen bilgilerden saklanması gereken veya ihtiyaç duyulmayan bilgilerin hangileri olduğuna karar verilebilmektedir. Böylece gradyan problemi ortadan kaldırılarak önemli bilgiler uzun süre saklanabilmektedir. Bu nedenle LSTM mimarisi ile bilgilerin uzun dönemler boyunca öğrenilebilmesi ve önemli bilgilerin hafızada tutulması sağlanmaktadır (Sonkavde vd., 2023; Li, 2024).

Bir LSTM mimarisinde bilgi akışını kontrol eden “bellek hücresi” ve bilgi akışını düzenlemek için unutmaya, giriş ve çıkış olmak üzere üç temel kapı mekanizması yer almaktadır. Bu yapı için bellek hücresi ve kapı mekanizmaları Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1: LSTM yapısı (Kaynak: Rezaei, Faaljou ve Mansourfar (2021))

Unutma Kapısı: Bu kapıda, hangi bilgilerin silineceğine ve hangi bilgilerin saklanacağına karar verilmektedir. Bir sonraki katmana aktarılacak bilgilerin hangileri olduğu bu adımda belirlenmektedir. Burada Eşitlik 1’de verilen f_t fonksiyonu kullanılır:

$$f_t = \sigma(W_f \times [h_{t-1}, X_t] + b_f) \quad (1)$$

Bu fonksiyon ile giriş değeri X_t ve önceki gizil durum h_{t-1} olmak üzere bu değerler giriş bilgileri olarak alınarak ağırlık parametreleri, eğim parametreleri ve sigmoid fonksiyonu kullanılarak 0 ve 1’lerden oluşan bir vektör elde edilir. Böylece hücre değerleri 0’a yaklaştıkça unutulması ve 1’e yaklaştıkça saklanması gerektiğine karar verilir (Ghosh vd., 2019; Zeroual vd., 2020; Dehghani vd., 2023).

Ø Giriş Kapısı: Bu kapıda, hücreye hangi yeni bilgilerin ekleneceğine ve hangi değerlerin güncelleneceğine karar verilmektedir. Bu amaçla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3’te verilen fonksiyonlardan yararlanılmaktadır:

$$i_t = \sigma(W_i \times [h_{t-1}, X_t] + b_i) \quad (2)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \times [h_{t-1}, X_t] + b_c) \quad (3)$$

$$C_t = (C_{t-1} * f_t + i_t * \tilde{C}_t) \quad (4)$$

İlk olarak i_t fonksiyonu ile bilgiler güncellenmektedir. Ardından \tanh aktivasyon fonksiyonu kullanılarak Eşitlik 4'te verilen aday değerler elde edilmektedir. Bu bilgiler birleştirilerek hücreye aktarılacak yeni bilgilere karar verilmektedir (Ghosh vd., 2019; Zeroual vd., 2020; Rezaei, Faaljou ve Mansourfar, 2021; Dehghani vd., 2023).

Çıkış Kapısı: Bu kapıda ise bir sonraki gizil durumun ne olacağına karar verilmektedir. Bir sigmoid fonksiyonu ile hücre durumu \tanh fonksiyonundan geçirilip çıktı değerleriyle çarpılarak yalnızca karar verilen değerlerin hücre çıktısı olarak üretilmesi sağlanır. Bu aşamadaki işlemler için Eşitlik 5'te verilen fonksiyon kullanılmaktadır:

$$o_t = \sigma(W_o \times [h_{t-1}, X_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

Bu eşitlikler ile bir sonraki zaman hücresinin gizil değeri elde edilmektedir. Böylece eğitim değerleri ile LSTM ağından elde edilen değerler arasındaki fark en aza indirgenene kadar bu adımlar tekrarlanmaktadır (Ghosh vd., 2019; Zeroual vd., 2020; Dehghani vd., 2023; Varürer, Özaydın ve Çemrek, 2025).

2.2. Zamansal Evrişimli Ağ (Temporal Convolutional Network (TCN))

Zamansal Evrişimli Ağ (TCN), zaman serisi ve sıralı verileri işlemek için Bai vd. (2018) tarafından tasarlanmış bir evrişimli ağ yapısıdır. Sıralı dizi tahmini için önerilen bu mimaride, her katmanda aynı filtre kullanılarak evrişimler paralel olarak yürütülebilmektedir. Böylece RNN'lerden farklı olarak sonraki zaman adımlarının tahmini için önceki aşamaların tamamlanması beklenmeden paralel bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum, eğitim ve tahmin aşamalarındaki hesaplama sürelerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

TCN mimarisi; çekirdek boyutu (kernel size), alıcı alan (receptive field) yapısı, genişletme oranı (dilation rate) ve ağ derinliği gibi parametreler aracılığıyla esnek biçimde ayarlanabilmektedir. Bu esneklik, RNN tabanlı modellere kıyasla daha avantajlı bir konum sağlamaktadır. Eğitim sürecinde gradyan akışı daha kararlı olduğu için gradyan kaybolması veya gradyan patlaması problemlerine daha az maruz kalmaktadır (Wang vd., 2019).

TCN mimarisini diğer sinir ağı yapılarından ayıran ve zaman serisi verilerinde etkili olmasını sağlayan çeşitli temel bileşenler mevcuttur. TCN mimarisinin temel bileşenlerinden biri olan nedensel evrişim (causal convolution) yapısı, evrişim işlemini yalnızca geçmiş zaman adımlarını kapsayacak şekilde sınırlandırmaktadır. Bu yapı sayesinde tahmin yalnızca geçmiş gözlemlere dayandırılmakta ve geleceğe ait bilginin modele sızması engellenmektedir. Böylece zaman serisi analizinde kritik öneme sahip olan bilgi sızıntısı problemi ortadan kaldırılmaktadır. Bu yaklaşım, çalışma prensibi bakımından zaman gecikmeli sinir ağlarına benzerlik göstermektedir (Wang vd., 2019; Shi, Ibrahim & Hashim, 2025). Nedensel evrişim katmanlarının sayısının artırılması, modelin alıcı alanını genişleterek uzun dönemli bağımlılıkları kapsama kapasitesini yükseltmektedir. Ancak katman sayısındaki bu artış, model karmaşıklığını yükselterek hesaplama yükünün önemli ölçüde artmasına neden olabilmektedir. Bu sorunu gidermek amacıyla TCN mimarisine genişletilmiş evrişim (dilated convolution) yapısı entegre edilmektedir (Li vd., 2024).

Genişletilmiş evrişim yapısı ise nedensel evrişimin sınırlı alıcı alan problemini aşmak amacıyla geliştirilmiştir (Wang vd., 2019). Genişletilmiş evrişim, çekirdek yapısı içerisinde belirli aralıklar bırakılarak uygulanan bir evrişim türüdür. Bu yapıda, genişletme oranı olarak adlandırılan bir hiperparametre aracılığıyla çekirdek elemanları arasına belirli boşluklar yerleştirilmektedir. Katman sayısı arttıkça bu aralıklar üstel biçimde genişlemekte, buna karşın çekirdek boyutu sabit kalmaktadır. Böylece alıcı alan önemli ölçüde artırılmakta ve modelin daha uzun dönemli bağımlılıkları daha az katman kullanarak öğrenebilmesi mümkün hale gelmektedir (Wang vd., 2019; Shi, Ibrahim & Hashim, 2025).

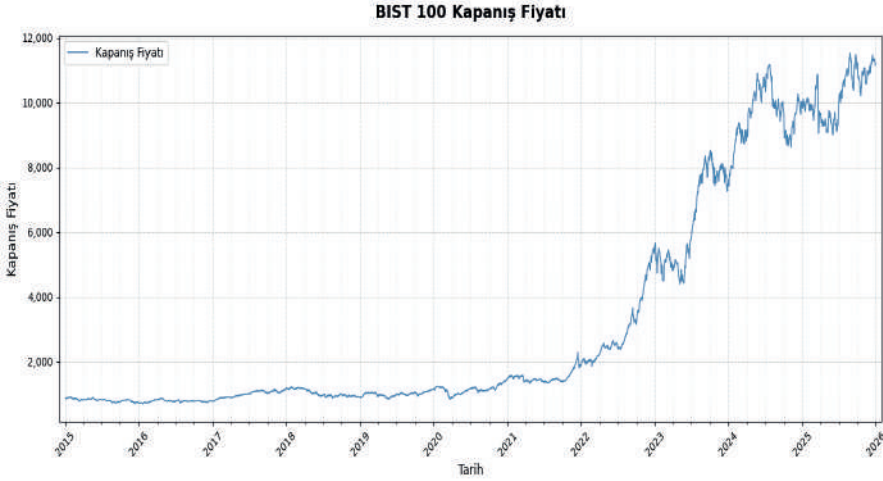
Diğer mimarilerden farklı olarak TCN mimarisinin evrişimli yapısı, daha geniş etkili alana erişim ve daha hızlı eğitim avantajı sağlamaktadır (He & Zhao, 2019; Li vd., 2024). Ayrıca TCN mimarisi, derin artık bloklar (rezidüel bloklar) ile genişletilmiş evrişim katmanlarını kullanarak geçmiş dönem bilgilerini esnek ve etkin bir şekilde elde edebilmektedir (Wang vd., 2019).

3. Veri Seti ve Yöntem

Bu çalışmada farklı derin öğrenme mimarilerinin finansal zaman serileri üzerindeki tahmin gücünün karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, BIST 100 endeksinin günlük kapanış fiyatları TCN ve LSTM mimarileri ile modellenerek tahmin performansları değerlendirilmiştir. Çalışmada Yahoo Finance veri tabanı aracılığıyla elde edilen BIST 100 endeksine ait 01.01.2015 - 31.12.2025 tarihleri arasındaki günlük veriler kullanılmıştır. Veri seti; “Tarih”, “Açılış Fiyatı”, “En Yüksek Fiyat”, “En Düşük Fiyat”, “Kapanış

Fiyatı”, “Düzeltilmiş Kapanış Fiyatı” ve “Hacim” olmak üzere 7 değişkenden oluşmakta olup, hedef değişken olarak “Kapanış Fiyatı (Close)” seçilmiştir.

Endeks verilerinin elde edilmesi ve analizlerin gerçekleştirilmesi için Python programlama dili ve Google Colab geliştirme ortamı kullanılmıştır. BIST 100 endeksine ait günlük kapanış fiyatının 01.01.2015 - 31.12.2025 dönemi için fiyat hareketleri Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2: BIST 100 endeks değerinin günlük kapanış fiyatı

Yahoo Finance üzerinden alınan veri setinin ağ modellerine uygun hale getirilmesi ve farklı ölçeklerdeki verilerin eğitim sürecini olumsuz etkilemesinin (gradyan kaybolması vb.) önüne geçilmesi amacıyla veri ön işleme adımı gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada normalizasyon (ölçeklendirme) işlemi uygulanarak dağılım yapısı farklı olan verilerin belirli bir aralıkta kalması amaçlanmıştır. Bu amaçla LSTM modellerinde verimli bir yakınsama sağlamak için “sklearn” kütüphanesi kullanılarak Min-Max normalizasyonu uygulanmış ve tüm değerler [0-1] aralığına ölçeklendirilmiştir. TCN ve LSTM modellerinin eğitimi ve test aşaması için veri seti, zaman serisinin sıralı yapısı korunarak %80 eğitim verisi ve %20 test verisi olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır. Ayrıca eğitim esnasında model doğrulama işlemi için eğitim kümesinin %10’u doğrulama kümesi olacak şekilde ayrılmıştır.

4. Bulgular

BIST 100 endeksi kapanış fiyatının tahmin edilmesinde, modellerin veri setindeki karmaşık ve uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilmesi için LSTM ve TCN mimarileri tasarlanmıştır. Bu aşamada katman sayısı, nöron sayısı, çekirdek

boyutu, genişletme oranı vb. gibi ağ yapılarına ait bileşenler için Hyperband algoritması kullanılarak hiperparametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Her iki model için ayrı ayrı gerçekleştirilen hiperparametre optimizasyonu sonucunda en düşük hata değerini veren parametre kombinasyonu seçilmiştir. Hiperparametre optimizasyonu sonrasında TCN ve LSTM yapıları için en uygun girdi parametreleri Tablo 1'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 1: LSTM ve TCN Modelleri için Optimum Hiperparametreler

Parametre	LSTM	TCN
<i>Katman / Blok Sayısı</i>	1 katman	1 blok
<i>Nöron / Filtre Sayısı</i>	128 nöron	128 filtre
<i>Çekirdek Boyutu</i>	–	3
<i>Genişletme Oranları</i>	–	[1, 2, 4, 8]
<i>Alıcı Alan</i>	–	61 gün
<i>Dropout Oranı</i>	0.2	0.2
<i>Batch Boyutu</i>	64	32
<i>Pencere Boyutu</i>	60 gün	60 gün
<i>Optimizasyon Algoritması</i>	Adam	Adam
<i>Kayıp Fonksiyonu</i>	MSE	MSE

Tablo 1'e göre LSTM mimarisinde tek giriş katmanı, 128 nörondan oluşan 1 gizli katman ve 1 yoğun (Dense) çıkış katmanı tasarlanmıştır. TCN mimarisinde ise filtre sayısı 128 olarak belirlenirken çekirdek boyutu 3 olarak tasarlanmıştır. Genişletme oranı ise [1, 2, 4, 8] olarak uygulanmıştır. Her iki modelde de aşırı öğrenme problemini önlemek için Dropout oranı 0,2 olarak belirlenmiştir. Modellerde optimizasyon algoritması olarak "Adam" ve kayıp fonksiyonu olarak ise "Ortalama Kare Hata (MSE)" kullanılmıştır. Bu parametrelerle LSTM modeli 64 batch ve TCN modeli 32 batch büyüklüğünde 100 epoch boyunca eğitilmiştir. Her iki ağ yapısı için belirlenen parametrelere göre modeller eğitilip test verilerine göre tahmin edilmiştir ve tahmin değerleri için ters dönüşüm (transform) işlemi uygulanarak gerçek değerlere dönüştürülmüştür.

Zaman serisi tahmin modelinin performansını ölçmek amacıyla hata değerlendirme ölçütlerinin karşılaştırılması kritik bir rol oynamaktadır. Hesaplanan hata değeri arttıkça, model gerçek değerlerden uzaklaşmakta ve tahmin doğruluğu azalmaktadır. Bu durum, modelin daha düşük bir performans sergilediğini göstermektedir (Yu vd., 2025). Böylece tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki fark dikkate alınarak en başarılı sonucu ortaya koyan model belirlenebilmektedir. Çalışmada her bir model için tahmin

edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkı esas alan Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçütlere ait denklemler Eşitlik 7, Eşitlik 8 ve Eşitlik 9'da yer almaktadır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(y_i - \hat{y}_i \right)^2} \quad (7)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| y_i - \hat{y}_i \right| \quad (8)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\left| y_i - \hat{y}_i \right|}{y_i} * 100 \quad (9)$$

Burada n ; örneklem sayısını, y_i ve \hat{y}_i değerleri sırasıyla t anındaki gerçek endeks değeri ve tahmini endeks değerini göstermektedir. RMSE ve MAE ölçütleri $[0, +\infty]$ aralığında değerler almaktadır. Bu hata metriklerinin değerleri 0'a yaklaştıkça tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkın azaldığı ve modelin başarısının arttığı söylenebilir. Bu fark 0'dan uzaklaştıkça tahmin sonuçlarının daha başarısız olduğu ifade edilebilir (Shi, Ibrahim & Hashim, 2025; Yu vd., 2025). LSTM ve TCN modellerine göre BIST 100 endeks değerine ilişkin hata ölçütlerine ait değerler Tablo 2'de yer almaktadır.

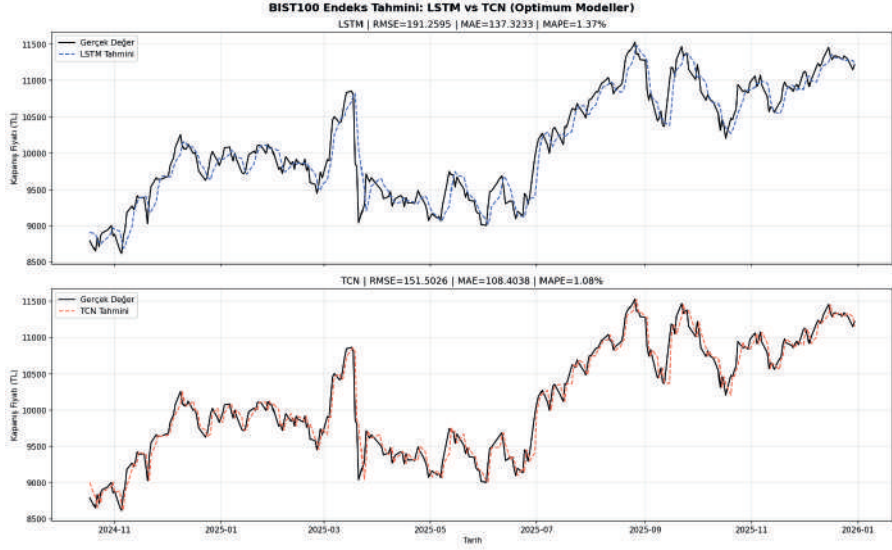
Tablo 2: LSTM ve TCN Modellerinin BIST 100 Tahmin Performansları Karşılaştırması

<i>Model</i>	<i>Hata Ölçütleri</i>		
	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>	<i>MAPE (%)</i>
<i>TCN</i>	151,5026	108,4038	1,08
<i>LSTM</i>	191,2595	137,3233	1,37

Tablo 2 incelendiğinde her iki derin öğrenme modelinin de BIST 100 endeksi gibi yüksek volatiliteye sahip finansal bir zaman serisinde oldukça düşük hata payları ile yüksek bir tahmin doğruluğuna ulaştığı görülmektedir. Ancak her üç hata metriği bakımından TCN modelinin LSTM modeline belirgin bir üstünlüğü olduğu görülmektedir. RMSE değeri bakımından TCN modeli (151,5026) LSTM modeline (191,2595) göre daha düşük hata üretmiştir. Benzer şekilde TCN'nin MAE değeri (108,4038), LSTM'ye (137,3233) göre %21,1 oranında daha düşük olarak belirlenmiştir. MAPE

değerlerine göre de LSTM ortalama %1,37 hata üretirken TCN ise ortalama %1,08 hata üretmektedir. Bu durum LSTM yapısına kıyasla TCN ağ yapısının BIST 100 endeksindeki ani değişimlere ve trend değişimlerine daha iyi uyum sağladığını göstermektedir.

LSTM ve TCN ağ yapılarına göre elde edilen tahmin değerleri ile gerçek değerlerin test dönemi boyunca karşılaştırmalı sonuçları ise Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3: BIST 100 Endeks Tahmini: LSTM ve TCN Modellerinin Karşılaştırmalı Sonuçları

Şekil 3 incelendiğinde tahmin sonuçlarının test verilerine oldukça yakın olduğu ve her iki modelin endeks değerini gerçek değerlere yakın bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir. Ancak LSTM modelinin tahmin çizgisi (mavi kesikli çizgi) takip edildiğinde trendi yakalamakta başarılı olmasına rağmen endeksin dip veya zirve noktalarındaki dönüşlerde gecikmeler yaşadığı görülmektedir. TCN modelinin tahmin çizgisi (turuncu kesikli çizgi) ise gerçek değerlere oldukça yakın hareket ederek ani hareketleri ve dönüm noktalarını başarılı bir biçimde izlemektedir. Bu durum, LSTM modeline kıyasla TCN'nin BIST 100 endeksi değerindeki kısa vadeli değişimleri tahmin etmekte daha güçlü olduğunu göstermektedir.

5. Sonuç ve Tartışma

Zaman serisi verilerinin analizinde ve sıralı bilgilerin işlenmesinde RNN modeli, geçmiş dönemden öğrendiği bilgileri hafızasında tutarak ardışık bağımlılıkları yakalayabilme yeteneği ile öne çıkmaktadır (Alp, 2025). Ancak RNN ağında zaman adımları arttıkça, her adımda bilgi kaybı problemi ile karşılaşmaktadır. Bu durum, ağın başlangıcındaki önemli bilgilerin unutulmasına ve uzun vadeli bağımlılıkların öğrenilememesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada, BIST 100 endeks değerinin uzun dönemli bağımlılık yapısı ve doğrusal olmayan yapısı dikkate alınarak iki farklı derin öğrenme yöntemine göre endeks değerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, 2015-2025 yılları arasındaki BIST 100 endeks kapanış fiyatları için LSTM ve TCN yapılarına göre tahminler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgulara göre her iki modelin de BIST 100 endeksinin genel yükseliş ve düşüş trendlerini başarıyla yakaladığı görülmektedir. LSTM'ye kıyasla TCN'nin elde edilen tahmin değerlerinin gerçek değerlere daha yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Hata metrikleri karşılaştırıldığında da LSTM'nin TCN'ye göre tahmin değerlerinde daha az başarılı olduğu saptanmıştır. Özellikle piyasanın yüksek değişkenlik gösterdiği dönemlerde TCN modelinin hata payının daha düşük olduğu görülmektedir. LSTM modeli ise ani piyasa değişimlerinde hafif gecikmeli reaksiyon göstermektedir. Bu durumda, TCN'nin BIST 100 endeksinin doğrusal olmayan fiyat dinamiklerini yakalamada LSTM'ye kıyasla daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu söylenebilir. Ayrıca aynı anda işlem yapma yeteneği sayesinde TCN mimarisinin, finansal tahmin süreçlerinde LSTM modeline kıyasla daha güçlü ve yenilikçi bir alternatif olduğu vurgulanabilir.

TCN modelinin evrişimli ağ yapısı, geniş bir geçmiş dönem veri aralığını aynı anda analiz ederek ani kırılmalara karşı daha isabetli sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca artık bağlantılar sayesinde ağ derinliği artmasına rağmen gradyan kaybolması problemlerini önleyerek daha tutarlı tahminler ortaya koymaktadır. Bu nedenle TCN mimarisi, uzun dönemli verilerin yer aldığı zaman serilerinde güçlü bir yaklaşım olarak düşünülebilir. Bundan sonraki çalışmalarda farklı hibrit modellerin finansal piyasalardaki rolü ve tahmin başarısı karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

Kaynakça

- Akbulut, S., & Adem, K. (2023). Derin öğrenme ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak gelişmekte olan ülkelerin finansal enstrümanlarının etkileşimi ile Bist 100 tahmini. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 52-63.
- Al-Khasawneh, M. A., Raza, A., Khan, S. U. R., & Khan, Z. (2025). Stock market trend prediction using deep learning approach. *Computational Economics*, 66(1), 453-484.
- Almasarweh, M., & Wadi, S. A. (2018). ARIMA model in predicting banking stock market data. *Modern Applied Science*, 12(11).
- Alp, E. C. Yinelemeli Sinir Ağları (RNN) Uzerine Kavramsal Bir Inceleme.
- Alhawatmeh, O. (2022). Share price forecast: using ARIMA model special study on Amman Stock Exchange (ASE). *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 47, 173-181.
- Arslankaya, S., & Toprak, Ş. (2021). Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarını kullanarak hisse senedi fiyat tahmini. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(1), 178-192.
- Bai, S., Kolter, J. Z., & Koltun, V. (2018). An empirical evaluation of generic convolutional and recurrent networks for sequence modeling. *arXiv preprint arXiv:1803.01271*.
- Çelik, Y. (2024). Bellek tabanlı LSTM ve GRU makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak BIST100 endeks tahmini. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 36(2), 553-561.
- Çoban, Ç., & Hayat, E. (2023). Hisse Senedi piyasası analizinde farklı derin sinir ağı modellerinin karşılaştırılması. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 120-139.
- Demirci, E., & Karaatlı, M. (2023). Kripto para fiyatlarının lstm ve gru modelleri ile tahmini. *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 10(1), 134-157.
- Dehghani, A., Moazam, H. M. Z. H., Mortazavizadeh, F., Ranjbar, V., Mirzaei, M., Mortezaei, S., ... & Dehghani, A. (2023). Comparative evaluation of LSTM, CNN, and ConvLSTM for hourly short-term streamflow forecasting using deep learning approaches. *Ecological Informatics*, 75, 102119.
- Eapen, J., Bein, D., & Verma, A. (2019, January). Novel deep learning model with CNN and bi-directional LSTM for improved stock market index prediction. In *2019 IEEE 9th annual computing and communication workshop and conference (CCWC)* (pp. 0264-0270). IEEE.
- Fan, Z., Liang, R., & Hu, Y. (2025). A FEDformer-Based Hybrid Framework for Anomaly Detection and Risk Forecasting in Financial Time Series. *arXiv preprint arXiv:2511.12951*.

- Ghosh, A., Bose, S., Maji, G., Debnath, N., & Sen, S. (2019, September). Stock price prediction using LSTM on Indian share market. In *Proceedings of 32nd international conference on* (Vol. 63, pp. 101-110).
- Haijian, W., & Qianqian, L. (2017). Empirical study on Shanghai composite index forecast based on ARIMA model. *Journal of World Economic Research*, 6(6), 71-74.
- He, Y., & Zhao, J. (2019, June). Temporal convolutional networks for anomaly detection in time series. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1213, No. 4, p. 042050). IOP Publishing.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.
- Ingle, V., & Deshmukh, S. (2021). Ensemble deep learning framework for stock market data prediction (EDLF-DP). *Global transitions proceedings*, 2(1), 47-66.
- Kara, A. (2019). Global solar irradiance time series prediction using long short-term memory network. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 4(7), 882-892.
- Li, J. (2024). Short-Term Urban Rail Passenger Flow Prediction using TCN-LSTM Model. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 118, 25-33. <https://doi.org/10.54097/p83p5860>
- Li, L., Liu, Z., Fang, X., & Qi, W. (2024). Multi-step real-time prediction of hard-rock TBM penetration rate combining temporal convolutional network and squeeze-and-excitation block. *Scientific Reports*, 14(1), 14326.
- Li, M., Yang, K., Lin, W., Wei, Y., & Wang, S. (2024). An interval constraint-based trading strategy with social sentiment for the stock market. *Financial Innovation*, 10(1), 56.
- Mashadihasanli, T. (2022). Stock market price forecasting using the ARIMA model: an application to Istanbul, Türkiye. *İktisat Politikası Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 439-454.
- Mukherjee, S., Sadhukhan, B., Sarkar, N., Roy, D., & De, S. (2023). Stock market prediction using deep learning algorithms. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 8(1), 82-94.
- Nikou, M., Mansourfar, G., & Bagherzadeh, J. (2019). Stock price prediction using DEEP learning algorithm and its comparison with machine learning algorithms. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 26(4), 164-174.
- Odabaşı, M. B., & Toklu, M. C. (2023). Yapay sinir ağları ve derin öğrenme algoritmalarının kripto para fiyat tahmininde karşılaştırmalı analizi. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 6(2), 96-107.

- Rawlin, R. S., & Pakalapati, S. S. N. R. (2022). Forecasting stock prices of select Indian private sector banks—a time series approach. *Sdmimd Journal of Management*, 13(1), 35.
- Rezaei, H., Faaljou, H., & Mansourfar, G. (2021). Stock price prediction using deep learning and frequency decomposition. *Expert Systems with Applications*, 169, 114332.
- Selvin, S., Vinayakumar, R., Gopalakrishnan, E. A., Menon, V. K., & Soman, K. P. (2017, September). Stock price prediction using LSTM, RNN and CNN-sliding window model. In *2017 international conference on advances in computing, communications and informatics (icacci)* (pp. 1643-1647). IEEE.
- Shi, Z., Ibrahim, O., & Hashim, H. I. C. (2025). Stock Index Prediction Using Temporal Convolutional Network and Long Short-Term Memory Network Optimized by Genetic Algorithm. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 16(1), 508-527.
- Sonkavde, G., Dharrao, D. S., Bongale, A. M., Deokate, S. T., Doreswamy, D., & Bhat, S. K. (2023). Forecasting stock market prices using machine learning and deep learning models: A systematic review, performance analysis and discussion of implications. *International Journal of Financial Studies*, 11(3), 94.
- Sudipa, I. G. I., Riana, R., Putra, I. N. T. A., Yanti, C. P., & Aristana, M. D. W. (2023). Trend Forecasting of the Top 3 Indonesian Bank Stocks Using the ARIMA Method. *Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika*, 7(3), 1883-1893.
- Şişmanoğlu, G., Koçer, F., Önde, M. A., & Sahingoz, O. K. (2020). Derin öğrenme yöntemleri ile borsada fiyat tahmini. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 434-445.
- Wang, Y., Liu, Z., Hu, D., & Zhang, M. (2019, October). Multivariate time series prediction based on optimized temporal convolutional networks with stacked auto-encoders. In *Asian Conference on Machine Learning* (pp. 157-172). PMLR.
- Variürer, İ., Özeydin, Ö., & Çemrek, F. (2025). BIST100 Endeksi Fiyatının LSTM, CNN-LSTM ve BILSTM Modelleri ile Tahmin Edilmesi. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 14(2), 1-24.
- Yang, B., Gong, Z. J., & Yang, W. (2017, July). Stock market index prediction using deep neural network ensemble. In *2017 36th chinese control conference (ccc)* (pp. 3882-3887). IEEE.
- Yeung, K. (2024). ARIMA Model Application in Predicting NVIDIA's Stock Price. *Advances in Economics Management and Political Sciences*, 128(1):220-230.
- Yi, Z. (2024). Analysis of Stock Market Prices Based on ARIMA Model: Evidence from NASDAQ 100 Index. *Advances in Economics Management and Political Sciences*, 88(1):89-98.

- Yu, Q., Yang, G., Wang, X., Shi, Y., Feng, Y., & Liu, A. (2025). A review of time series forecasting and spatio-temporal series forecasting in deep learning: Q. Yu et al. *The Journal of Supercomputing*, 81(10), 1160.
- Zeroual, A., Harrou, F., Dairi, A., & Sun, Y. (2020). Deep learning methods for forecasting COVID-19 time-Series data: A Comparative study. *Chaos, solitons & fractals*, 140, 110121.
- Zhang, Z. (2023). An Empirical Study of Shanghai Composite Index Forecasts and Trend Trading Strategies Based on ARIMA Model. *Advances in Economics Management and Political Sciences*, 65(1):302-308.
- Zhang, C., Sjarif, N. N. A., & Ibrahim, R. (2024). Deep learning models for price forecasting of financial time series: A review of recent advancements: 2020–2022. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 14(1), e1519.
- Zhang, Y., Zhang, T., & Hu, J. (2025). Forecasting stock market volatility using CNN-BiLSTM-Attention model with mixed-frequency data. *Mathematics*, 13(11), 1889.
- Zíková, A., & Veselá, J. (2023). Forecasting Analysis of Stock Prices on European Markets Using the ARIMA-GARCH Model. *Statistika: Statistics & Economy Journal*, 103(3).

Zamanla Değişen Granger Nedensellik Testleri: Yinelemeli Gelişen Pencere (REW) Yaklaşımı

Ayşe İşi¹

Özet

Bu çalışma, zaman serisi değişkenleri arasındaki dinamik ilişkilerin belirlenmesinde kullanılan Zamanla Değişen Granger Nedensellik Testlerini ve özellikle bu alanda yaygın olarak kullanılan, en güncel yaklaşımlardan biri olan Shi, Phillips ve Hurn (2018, 2020) tarafından geliştirilen Yinelemeli Gelişen Pencere (REW) yaklaşımını ele almaktadır. Geleneksel nedensellik testleri, ilişkilerin tüm dönem boyunca sabit olduğunu varsaydığından, küresel krizler, politika değişiklikleri ve yapısal kırılmaların yaşandığı süreçlerde yanıltıcı nedensellik sonuçları verebilmektedir. Bu kısıtlamayı aşmak için önerilen REW algoritması, esnek pencere yapısı sayesinde nedensellik ilişkisinin tam olarak hangi tarihlerde başlayıp bittiğini yüksek bir hassasiyetle saptayabilmektedir. Metodolojik çerçevede FEW, ROW ve REW algoritmaları karşılaştırılmış ve algoritmanın teorik alt yapısı sunulmuştur. Çalışmanın uygulama kısmında, 2005-2025 dönemini kapsayan haftalık verilerle VIX (Korku Endeksi) ve BİST100 arasındaki ilişki incelenmiştir. Analiz sonucunda, VIX'in BİST100 getirileri üzerinde durağan olmayan, zamanla evrilen bir öngörü gücüne sahip olduğu saptanmıştır. Özellikle 2008 Küresel Krizi, 2013 Fed Taper Tantrum süreci ve 2020 COVID-19 pandemisi gibi dışsal şok dönemlerinde nedensellik ilişkisinin anlamlı şekilde güçlendiği kanıtlanmıştır. Sonuç olarak bu metodoloji, statik modellerin gözden kaçırdığı geçici nedensellik dönemlerini ortaya koyarak politika yapıcılar ve yatırımcılar için önemli bir karar verme mekanizması sunmaktadır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Polatlı Sosyal Bilimler MYO, ayse.isi@hbv.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9944-1038>

1. Giriş

İktisadi ve finansal zaman serileri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde nedensellik kavramı, ekonometrik zaman serileri analizlerinin merkezinde yer almaktadır. Granger (1969) tarafından literatüre “predictive causality” ifadesiyle kazandırılan geleneksel nedensellik kavramının felsefi ve bilimsel kökleri, Norbert Wiener’in 1956’daki çalışmalarına kadar uzanmaktadır. Bu nedenle literatürde sıklıkla “Wiener-Granger Nedenselliği” olarak da anılır (Luo vd., 2013; Çekiş vd., 2018). Klasik testin özü, felsefi anlamda gerçek bir neden-sonuç ilişkisinden ziyade, bir değişkenin diğerinin gelecekteki değerlerini tahmin etmede sunduğu bilgi artışına odaklanmakta (Mariusz, 2015) ve temel olarak bir değişkenin geçmiş değerlerinin bir diğer değişkenin öngörü performansını iyileştirip iyileştirmediği ilkesine dayanmaktadır (Kang vd., 2019; Akyıldırım vd., 2022). Bu yaklaşım, yapısal bir modelden ziyade değişkenlerin stokastik doğasına dayandığı için geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Hoang vd., 2020; Padhan vd., 2024). Başlangıçta standart Vektör Otoregresif (VAR) modeller çerçevesinde uygulanan bu testler, zaman içerisinde metodolojik olarak önemli aşamalardan geçmiştir (Hoang vd., 2020; Kang vd., 2019; Amaddeo vd., 2025).

Klasik Granger nedensellik testlerinin en önemli kısıtlamalarından biri, değişkenlerin durağan olması gerekliliğidir. Bu sorunu aşmak amacıyla Toda ve Yamamoto (1995), değişkenlerin durağanlık derecelerinden bağımsız olarak uygulanabilen ve Gecikmesi Artırılmış VAR (LA-VAR) modeline dayanan bir yaklaşım önermiştir. Literatürdeki bir diğer gelişme ise asimetri ve doğrusal olmama üzerine kurulmuştur. Hatemi-J (2012), pozitif ve negatif şokların farklı nedensel etkilere sebep olabileceğini savunan asimetric nedensellik testini geliştirirken; Baek ve Brock (1992), Hiemstra ve Jones (1994) ve son olarak Diks ve Panchenko (2006) gibi araştırmacılar, finansal serilerdeki doğrusal olmayan yapıları yakalamaya yönelik parametrik olmayan teknikler sunmuşlardır (Çepni vd., 2020; Ge vd., 2025).

Ancak, tüm bu yöntemlerin ortak zayıf noktası, nedensellik ilişkisinin tüm örneklem dönemi boyunca sabit kaldığını varsayan statik doğalarıdır. Küresel krizler, politik rejim değişiklikleri veya teknolojik ilerlemeler gibi faktörler, ekonomik değişkenler arasındaki ilişkilerin zaman içinde değişmesine ve yapısal kırılmaların yaşanmasına neden olabilmektedir. Bu durum, tüm örneklem dönemi üzerinden elde edilen sonuçların istikrarsız ve yanıltıcı olmasına yol açabilir (Ren vd., (2024). Bu eksikliği gidermek adına, başlangıçta hareketli pencerele” (rolling Windows-ROW) yaklaşımı kullanılmışsa da bu yöntemin sonuçlarının seçilen pencere boyutuna diğer bir ifadeyle alt örneklemelerin büyüklüğüne aşırı duyarlı olması önemli bir dezavantaj olarak

değerlendirilmiştir (Wang vd., 2024). Daha sonra Lu vd. (2014) tarafından önerilen DCC-MGARCH Hong testleri, dinamik koşullu korelasyonları kullanarak nedenselliği her bir zaman noktasında incelemeye olanak tanımıştır. Ayrıca, Rossi ve Wang (2019) tarafından geliştirilen ve istikrarsızlıklara karşı dirençli olan robust nedensellik testleri, farklı Wald istatistikleri (MeanW, ExpW, SupLR) aracılığıyla zamanla değişen ilişkileri tespit etmede kullanılmıştır (Farrel & O'Conner, 2025; Çepni vd., 2021).

Zamanla değişen nedensellik literatüründeki en güncel ve güçlü yaklaşımlardan biri ise Shi, Phillips ve Hurn (2018, 2020) tarafından geliştirilen Yinelemeli Gelişen Pencere (Recursive Evolving Window - REW) algoritmasıdır. Bu yöntem hem durağan hem de durağan olmayan sistemlerde çalışabilmekte ve nedensellik ilişkisinin başladığı ve sona erdiği tarihleri kesin olarak belirleyebilmektedir. REW yaklaşımı, esnek pencere yapısı sayesinde geleneksel hareketli pencere ve ileriye doğru genişleyen pencere yöntemlerine göre sonlu örneklerde daha üstün bir performans sergilemektedir (Hoang vd., 2020; Chiang & Chen, 2022).

Sonuç olarak, zamanla değişen Granger nedensellik testleri, zaman serileri analizinde kritik öneme sahip analizlerin başında gelmektedir. Bu testler, ampirik sonuçların incelemeye alınan zaman boyunca heterojen olmasına izin vererek, durağan veya statik modellerin gözden kaçırıldığı geçici nedensellik dönemlerini yakalamaktadır (Hong vd., 2024). Değişkenler arasındaki ilişkilerin yönünün ve gücünün analiz dönemi boyunca nasıl ve ne zaman değiştiğini, hangi alt dönemlerde ortaya çıkıp hangi alt dönemlerde kaybolduğunu ortaya koyan bu dinamik analiz yöntemi, politika yapıcıların, karar vericilerin ve yatırımcıların gerçek zamanlı değişimlere dayalı daha isabetli ve zamanında kararlar almasına imkan tanımaktadır. Bu bölümde, diğer zamanla değişen Granger nedensellik testlerinden yukarıda bahsedilen olumlu özellikleri ve literatürdeki yaygın kullanımı nedeniyle Shi, Phillips ve Hurn (2018, 2020) tarafından geliştirilen metodoloji üzerinde durulacaktır. Bir sonraki bölümde zamanla değişen nedensellik testlerinin literatürdeki kullanım alanları verilmektedir. Daha sonra REW algoritmasının metodolojisi ve teorik çerçevesi sunularak son bölümde analizin veri seti üzerinde uygulaması gösterilmiştir.

2. Literatür Taraması: Zamanla Değişen Nedensellik Testlerinin Uygulama Alanları

Zaman serileri literatüründe, değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin tüm örneklem dönemi boyunca sabit kaldığını varsayan statik testlerin (Granger, 1969; Toda ve Yamamoto, 1995) yapısal kırılmalar ve politika değişiklikleri karşısında yetersiz kalması, zamanla değişen (time-varying)

nedensellik yaklaşımlarının gelişimini hızlandırmıştır. Özellikle 2000'li yılların başından itibaren zaman serileri analizi literatüründe önemli bir gelişim alanı olmuştur. Bu yöntem, son yıllarda disiplinlerarası bir popülerite kazanarak karmaşık sistemlerin analizinde standart bir araç haline gelmiştir.

Literatürde zamanla değişen Granger nedensellik testlerinin uygulama alanları oldukça geniştir. Yoğunlukla makroekonomi, finans piyasaları, enerji ve çevre ekonomisi alanlarında uygulanmakla birlikte davranışsal finans alanından nörobilim alanına kadar çok geniş bir yelpazede her alanın kendine özgü dinamik problemlerini çözmek için kullanılmaktadır.

Makroekonomik değişkenlerin istikrarsız doğası, zamanla değişen nedensellik modellerini politika analizleri için vazgeçilmez kılmaktadır. Çepni vd. (2020, 2021), Rossi ve Wang (2019) yöntemini kullanarak küresel belirsizliklerin BRICS ülkelerine ve Türkiye'ye yönelik portföy akımları üzerindeki etkisini incelemiş; standart testlerin aksine zamanla değişen testlerin kriz dönemlerinde ve Trump yönetimi gibi kritik siyasi değişim süreçlerinde belirgin nedensellik bölümleri yakaladığını göstermiştir. Baum vd. (2025), ABD ekonomisinde para arzı ve endüstriyel üretim arasındaki klasik ilişkiyi yeniden değerlendirmiş; 2015 sonrası dönemde para arzı ile reel çıktı arasında, Volcker dönemindekine benzer şekilde güçlü bir nedensellik bağının yeniden ortaya çıktığını REW ve ROW testleriyle kanıtlamıştır. Atasever ve Süslü (2025) ise Türkiye'de enflasyon beklentileri ile mal/hizmet fiyatları arasındaki etkileşimi zamanla değişen LA-VAR yöntemiyle ele alarak, hizmet sektörü fiyat şoklarının beklentiler üzerinde kalıcı ve baskın bir nedensel etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Zamanla değişen nedensellik testleri, finansal piyasaların oynak yapısını ve güvenli liman ilişkilerini yakalamada da sıklıkla kullanılmaktadır. Akyıldırım vd. (2022), Rossi ve Wang (2019) tarafından önerilen robust zamanla değişen nedensellik testini kullanarak bulaşıcı hastalıklarla ilgili piyasa oynaklığının tarımsal vadeli işlem getirileri üzerindeki etkisini araştırmış; COVID-19 pandemisi sırasında piyasa duyarlılığının getiriler üzerinde güçlü bir nedensel etki yarattığını tespit etmiştir. Hu vd. (2020), Shi vd. (2018) yöntemini kullanarak Bitcoin spot ve vadeli işlem piyasaları arasındaki fiyat keşfi sürecini analiz etmiş ve vadeli işlem fiyatlarının spot fiyatlar üzerinde baskın bir nedensellik etkisine sahip olduğunu, bu etkinin işlem hacimlerinin arttığı dönemlerde güçlendiğini saptamıştır. Wang vd. (2024) ise Çin piyasalarında iklim risklerinin varlık getirilerinin yüksek momentleri (volatilité, çarpıklık, basıklık) üzerindeki etkisini REW ve ROW yöntemleriyle inceleyerek, iklim risklerinin piyasa uç değerlerini tahmin etmede kritik bir rol oynadığını göstermiştir. Dogan vd. (2022), Bitcoin fiyat ve hacim hareketlerinin karbon emisyon izinleri ve temiz enerji piyasaları üzerindeki etkisini REW algoritmasıyla analiz ederek,

kripto para piyasasının çevre piyasaları üzerinde dönemsel ancak güçlü bir nedensellik yarattığı bulgusuna ulaşmıştır.

Literatürde geniş yer bulan başka bir çalışma alanı da emtia fiyatlarındaki dalgalanmaların jeopolitik şoklarla ilişkisidir. Mishra vd. (2022), Shi vd. (2018) yaklaşımını kullanarak ham petrol ve altın fiyatları arasındaki dinamik nedenselliği incelemiş ve REW algoritmasının basit hareketli pencerelere göre nedensellik dönemlerini daha sık ve uzun süreli olarak tespit edebildiğini göstermiştir. Çelik vd. (2026) tarafından yapılan çalışmada ise jeopolitik risklerin (GPR) ve küresel ekonomik belirsizliğin (GEPÜ) gıda ve enerji fiyatları üzerindeki etkisi REW ile sınanmıştır. Çalışma, GPR'ın emtia fiyatları için her zaman bir öncü gösterge olmadığını, ancak GEPÜ'nün belirli kriz dönemlerinde fiyatlar üzerinde kısa süreli nedensellik etkileri yarattığını saptamıştır.

Enerji ve Çevre Ekonomisi alanındaki çalışmalar, iklim politikalarının ve çevresel belirsizliklerin enerji piyasaları üzerindeki dinamik etkilerine odaklanmaktadır. Xi vd. (2023), İleriye Doğru Genişleyen pencere (FEW), Hareketli Pencere (ROW) ve REW algoritmalarını kullanarak İklim Politikası Belirsizliği'nin (CPU) yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, CPU'nun güneş ve rüzgar enerjisi tüketimini kesintili olarak etkilediğini ancak jeotermal enerji üzerinde bir etkisinin olmadığını saptamıştır. Amaddeo vd. (2025), REW yaklaşımını kullanarak Avrupa Birliği Emisyon Tahsisat (EUA) fiyatları ile İtalya'daki enerji fiyatları arasındaki ilişkiyi araştırmış ve karbon fiyatlarının enerji maliyetleri üzerinde zamanla değişen pozitif bir etkisi olduğunu kanıtlamıştır. Uğurlu-Yıldırım ve Dinç-Cavlak (2024), benzer bir metodoloji ile iklim değişikliğine yönelik medya ilgisinin ve CPU'nun temiz enerji endeksleri üzerindeki etkisini test etmiş; CPU'nun temiz enerji getirileri üzerinde özellikle Trump dönemindeki politika değişiklikleriyle uyumlu olarak anlamlı nedensellik dönemleri yarattığını ortaya koymuştur. Emirmahmutoglu vd. (2021), ABD enerji sektöründe yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi ile reel çıktı arasındaki ilişkiyi inceleyerek, nedensellik bağlarının sektörel düzeyde zaman içinde önemli ölçüde farklılaştığını ve statik modellerin bu geçici ilişkileri yakalamada yetersiz kaldığını kanıtlamıştır. Chang vd. (2023) ise REW algoritmasını 1870-2020 dönemini kapsayan çok uzun bir zaman serisine uygulayarak ABD'de AR-GE yoğunluğu ile CO2 emisyonları arasındaki tarihsel bağı incelemiş, teknolojik inovasyonun çevresel etkilerinin zaman içinde nasıl evrildiğini belirlemiştir.

Davranışsal Finans ve Yatırımcı Psikolojisi perspektifindeki uygulamalar incelendiğinde ise literatürde şu çalışmalara rastlanmıştır: Farrell ve O'Connor (2025), Shi vd. (2020) yaklaşımını kullanarak CNN'in Korku ve Açgözlülük

endeksinin ABD hisse senedi endeks getirilerini tahmin etme gücünü araştırmıştır. Analiz sonuçları, bu psikolojik temelli endeksin 2020 yılına kadar getiriler üzerinde anlamlı bir nedensel güce sahip olduğunu, ancak pandemi sonrası dönemde bu ilişkinin zayıfladığını veya koptuğunu saptamıştır. Balçılar vd. (2024), hareketli pencere VAR modelini kullanarak Türkiye'deki konut fiyatları ile tüketici duyarlılığı arasındaki etkileşimi analiz etmiştir. Çalışma sonucunda, konut fiyatları ile tüketici psikolojisi arasında kriz sonrası dönemde güçlenen, dinamik bir nedensellik bağı olduğu saptanmıştır.

Son olarak Nörobilim alanında ise zamanla değişen nedensellik testleri, beyin bölgeleri arasındaki etkin bağlantısallığı ölçmek amacıyla kullanılmıştır Sysoeva vd. (2019), epileptik nöbetler sırasında hipokampus, talamus, orta beyin ve frontal korteks arasındaki bağlantılardaki değişiklikleri (artış ve azalma) ortaya koymuşlardır. Bressler ve Seth (2011), beyindeki elektriksel sinyallerin (EEG/fMRI) sabit olmadığını, bilişsel görevler sırasında bölgeler arası bilgi akışının milisaniyeler içinde değiştiğini belirtmişlerdir. Luo ve diğerleri (2013) ise, Parkinson gibi nörolojik hastalıklarda beyin ağlarındaki nedensellik bağlarının zamanla nasıl koptuğunu veya yön değiştirdiğini bu dinamik testlerle ortaya koymuşlardır.

Zamanla değişen Granger nedensellik testlerine ilişkin literatür incelendiğinde özellikle Rossi ve Wang (2019) tarafından önerilen robust nedensellik testleri ve Shi vd. (2018, 2020) tarafından geliştirilen Yinelemeli Gelişen Pencere (REW) algoritmasının ampirik çalışmaların odağını oluşturduğu görülmektedir.

3. Metodoloji

Zamanla değişen Granger nedensellik analizlerinde en sık kullanılan yaklaşımlar, pencere algoritmalarıdır. Burada özellikle Shi vd. (2018,2020) metodolojisi kullanılacağından üç farklı pencere algoritmasından bahsedilebilir: İleri doğru genişleyen pencere (Forward extension window-FEW), Hareketli pencere (Rolling window-ROW) ve Yinelemeli gelişen pencere (recursive evolving window – REW).

FEW ve ROW algoritmaları yeni yaklaşımlar olmayıp zaman serileri literatüründe yaygın olarak kullanılan standart alt örneklem tahmin yöntemleridir. Ancak REW algoritması sistematik olarak ilk kez Shi vd. (2018) tarafından önerilmiştir. Daha sonra Shi vd. (2020), çalışmalarında LA-VAR modeli ile bu üç pencere algoritmasını birlikte kullanarak karşılaştırmışlar ve REW yaklaşımının diğerlerine göre daha üstün olduğunu ortaya koymuşlardır.

Zamanla değişen nedensellik yaklaşımlarında kullanılan pencere algoritmaları, ele alınan zaman serisinin alt örneklere ayrılarak her bir alt örneklem için nedensellik analizi yapılmasına olanak tanımaktadır. Burada

her bir alt örneklemin oluşturulması, minimum pencere genişliğinin (f_0) belirlenmesiyle başlar. f_1 , başlangıç noktası, f_2 bitiş noktası ve f_w pencere boyutu olmak üzere algoritmalara göre pencerelerin belirlenme işlemi aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo.1. FEW, ROW ve REW Algoritmalarına Göre Pencere Belirleme Süreci

Algoritma	Başlangıç Noktası (f_1)	Bitiş Noktası (f_2)	Pencere Boyutu (f_w)
FEW (İleri Doğru Genişleyen Pencere)	Örneklemin ilk gözleminde ($f_1 = 0$) sabittir.	f_0 'dan başlayarak örneklemin sonuna (T) kadar her adımda bir gözlem eklenerek ilerler.	Sürekli genişleyen bir yapıdadır.
ROW (Hareketli Pencere)	Her adımda bir gözlem ileriye kaydırılır.	Başlangıç noktasıyla eş zamanlı olarak her adımda bir gözlem ileriye hareket eder.	Tüm analiz boyunca sabittir.
REW (Yinelemeli Gelişen Pencere)	Değişken/esnek; ilk gözlem olabileceği gibi son gözlemin f_0 eksikliğine kadar herhangi bir gözlem de olabilir.	İlgili gözlem anı üzerinde sabitlenir, geçmiş dönük olarak tüm olası başlangıç noktaları tek tek değerlendirilir. Süreç tüm örneklem boyunca tekrarlanır.	f_0 'a eşit veya ondan büyük tüm olası alt örneklemi kapsayacak şekilde değişkendir.

Bu algoritmalar arasında FEW algoritması, başlangıç noktasını sabit tuttuğu için özellikle örneklemin sonuna doğru meydana gelen değişimleri saptamada duyarsız kalabilmektedir (Baum vd., 2022). ROW algoritması, sonuçların seçilen sabit pencere boyutuna aşırı duyarlı olması nedeniyle sınırlı bir perspektif sunabilmektedir (Chiang & Chen, 2022). REW algoritması ise hem başlangıç hem de bitiş noktalarının değişmesine izin veren esnek yapısı sayesinde, nedensellik ilişkisindeki yapısal kırılmaları ve geçici bağlantıları yakalamada en yüksek test gücüne ve güvenilirliğe sahip yöntem olarak kabul edilmektedir. Ayrıca REW algoritması her bir veri noktasını incelerken, o noktada biten ve kurala uygun büyüklükteki bütün geçmiş başlangıç kombinasyonlarını tarayarak nedensellik ilişkisinin tam olarak hangi tarihte başladığını ve bittiğini geleneksel yöntemlere göre çok daha yüksek bir hassasiyetle tespit edebilmektedir.

Zamanla değişen nedensellik analizlerinde minimum pencere genişliği (f_0), analizin hassasiyeti ile istatistiksel gücü arasındaki dengeyi belirleyen kritik

bir parametredir. Minimum pencere boyutunun belirlenmesinde evrensel kabul görmüş bir kural olmamakla birlikte literatürde şu kriterler göz önünde bulundurulur: (i) Yaygın bir uygulama olarak toplam örneklemin %20'si başlangıç noktası olarak kabul edilir, (ii) özellikle aylık verilerde 36 (3 yıl), 60 (5 yıl) veya 72 (6 yıl) gibi değerler alt sınır olarak sıklıkla tercih edilir, (iii) tahmin edilen VAR modelindeki toplam parametre sayısının 5 katı civarında bir boyut belirlenir (Hu vd., 2020; Hurn vd., 2022; Chiang & Chen, 2022).

Minimum pencere boyutu çok küçük seçilirse yetersiz gözlem sayısı nedeniyle testin gücü zayıflar ve parametre tahminleri istikrarsız hale gelir (Mishra vd., 2019). Model, verideki gürültüye (noise) aşırı duyarlı hale gelerek yanıltıcı nedensellik sinyalleri verebilir (Jiang vd., 2025). Çok büyük seçilirse nedensellik ilişkisindeki geçici ilişkileri ve kısa süreli yapısal kırılmaları yumuşatarak (smoothing) tespit edilmesini engelleyebilir (Baum vd., 2022). Özetle, uygun pencere boyutu tahmin edilen VAR modelindeki katsayıları güvenilir şekilde hesaplayabilecek kadar büyük, ancak ekonomik şokların ve yapısal değişimlerin etkisini yakalayacak kadar küçük tutulmalıdır.

Pencere algoritmaları ile yapılan Granger nedensellik testleri, LA-VAR modeline dayanmaktadır. Model, Toda ve Yamamoto (1995) tarafından literatüre kazandırılmış ve değişkenlerin durağanlık derecelerinden veya seriler arasında bir eşbütünlüşme ilişkisi olup olmamasından bağımsız olarak, doğrudan seviye verileriyle Granger nedensellik testlerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Teknik olarak bu yöntem, bilgi kriterlerine (AIC, BIC gibi) göre belirlenen optimal gecikme uzunluğuna (p), sistemdeki değişkenlerin sahip olabileceği maksimum bütünlüşme derecesi (d) kadar ilave gecikme eklenerek bir VAR(p+d) modelinin tahmin edilmesine dayanır. Nedensellik analizinde en kritik nokta, "Nedensellik yoktur" biçiminde kurulan yokluk hipotezinin test edilmesi sırasında kısıtlamaların yalnızca ilk p gecikme katsayısı üzerine kurulmasıdır. İlave edilen d adet gecikme katsayısı test kısıtlamalarına dahil edilmez; bu katsayılar sadece modelin asimptotik özelliklerini düzeltmek için kullanılır (Chiang & Chen, 2022; Baum vd., 2022, 2025). Modelin temel avantajı, birim kök testlerinin düşük gücünden kaynaklanabilecek hatalı fark alma işlemlerini (over-detrending) ve buna bağlı bilgi kaybını önlemesidir. Bu yapı, standart Wald istatistiğinin asimptotik olarak ki-kare (χ^2) dağılımına uymasını garanti ederek testin geçerliliğini sağlar (Chen & Chiang, 2022; Emirmahmutoglu vd., 2021).

3.1. Teorik Çerçeve: REW Algoritması

Zamanla değişen Granger nedensellik analizinde Shi vd. (2018) tarafından önerilen REW yaklaşımının teorik altyapısı ve uygulama esasları, Shi vd. (2020) çalışmasında kapsamlı bir biçimde sistematize edilerek literatüre sunulmuştur.

Zamanla değişen Granger nedensellik testi gerçekleştirmek amacıyla, Toda ve Yamamoto (1995) tarafından önerilen n-boyutlu bir y_t vektörü için LA-VAR modeli aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$y_t = \gamma_0 + \gamma_1 t \sum_{i=1}^p A_i y_{t-i} + \sum_{j=p+1}^{p+d} A_j y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (1)$$

(1) Burada $A_{p+1} = \dots = A_{p+d} = 0$ ve ε_t hata terimidir. p optimal gecikme uzunluğu, d maksimum bütünleşme derecesi ve p+d toplam gecikme sayısıdır.

Regresyon denklemi aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$y_t = \Gamma \tau_t + \Phi x_t + \psi z_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Burada, $\Gamma = (\gamma_0, \gamma_1)_{n \times (q+1)}$, $\tau_t = (1, t)'_{2 \times 1}$, $x_t = (y'_{t-1}, \dots, y'_{t-p})'_{np \times 1}$, $z_t = (y'_{t-p-1}, \dots, y'_{t-p-d})'_{nd \times p}$ $\Phi = (A_1, \dots, A_p)_{n \times np}$ ve $\psi = (A_{p+1}, \dots, A_{p+d})_{n \times nd}$ 'dir.

Test edilen hipotez yalnızca ilk p katsayıya ilişkin olmak üzere,

$$H_0 : R\phi = 0 \quad (3)$$

biçiminde ifade edilir. Burada R, m adet kısıta sahip $m \times n^2 \cdot p$ boyutlu matris ve $\phi = \text{vec}(\Phi)$ satır vektörüdür.

Denklem (1)'deki ifade, daha kompakt bir formda şöyle yazılabilir:

$$Y = \tau \Gamma' + X \Phi' + Z \psi + \varepsilon \quad (4)$$

Burada $Y = (y_1, \dots, y_T)'_{T \times n}$, $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_T)'_{T \times 2}$, $X = (x_1, \dots, x_T)'_{T \times np}$, $Z = (z_1, \dots, z_T)'_{T \times nd}$ ve $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_T)'_{T \times n}$ olarak tanımlanmaktadır.

Belirli bir pencere aralığı için katsayıların En Küçük Kareler (EKK) tahmincisi aşağıdaki denklemle tanımlanır.

$$\hat{\Phi} = Y' Q X (X' Q X)^{-1} \quad (5)$$

Burada $Q_T = I_T - \tau(\tau'\tau)^{-1}\tau'$ ve $Q = Q_T - Q_T Z(Z'Q_T Z)^{-1}Z'Q_T$ 'dir.

Alt örneklem aralığı $[f_1, f_2]$ için tahmin edilen LA-VAR tabanlı Wald istatistiği,

$$W_{f_1, f_2} = \left(R\hat{\phi}_{f_1, f_2} \right)' \left[R \left(\hat{\Sigma}_\varepsilon \otimes (X'QX)^{-1} \right) R' \right]^{-1} \left(R\hat{\phi}_{f_1, f_2} \right) \sim \chi_p^2 \quad (6)$$

Burada $\hat{\phi} = \text{vec}(\Phi)$ $\hat{\Sigma}_\varepsilon = \frac{1}{T} \cdot \hat{\varepsilon}' \hat{\varepsilon}$ ve \otimes kronecker çarpımını ifade eder.

Toplam örneklem büyüklüğü T ve alt örneklemelerin (kesirli) başlangıç ve bitiş noktaları f_1 ve f_2 olmak üzere pencere genişliği, $f_w = f_2 - f_1$ 'dir. $\tau_0 = [f_0 T]$ VAR sistemini tahmin etmek için gerekli minimum gözlem sayısı olmak üzere; $\tau_1 = [f_1 T]$, $\tau_2 = [f_2 T]$ ve $\tau_w = [f_w T]$ 'dir. REW algoritmasında regresyonun bitiş noktası $\tau_2 = \{\tau_0, \dots, T\}$ şeklindedir. Ancak başlangıç noktası τ_1 , bitiş noktası ile sabit bir mesafeyi korumak yerine 1'den $\tau_2 - \tau_0 + 1$ 'e kadar değişir. İlgilenilen her f gözlemi için bir Wald istatistikleri dizisi hesaplanır ve test istatistiği bu istatistik dizisinin supremumu olmak üzere Sup-Wald istatistiği aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$SW_f(f_0) = \sup_{f_1 \in [0, f_2 - f_0]} W_{f_1, f_2} \quad (7)$$

Buraya kadar verilen algorithmadaki en büyük handikap her farklı alt örneklem için hesaplanan test istatistiklerinin Tip I hata olasılığını arttırmasıdır. Bu sorunu gidermek için Shi vd. (2018), bootstrap süreciyle üretilen kritik değerlerin kullanılmasını önermişlerdir.

Kritik değer c_α , Bootstrap dağılımının $(1 - \alpha)$ yüzdelik değeri olmak üzere, her f için hesaplanan sup-Wald istatistiği kritik değerle karşılaştırılır.

$$SW_f(f_0) > c_\alpha$$

ise yokluk hipotezi reddedilir.

Burada kritik değerın ilk aşıldığı tarih nedenselliğin başlangıcı, kritik değerın altına düştüğü tarih ise nedenselliğin sona erdiği tarih olarak belirlenir.

4. Uygulama

Bu bölümde Shi vd (2018,2020) tarafından geliştirilen REW algoritmasının bir veri seti üzerinde uygulaması yapılacaktır. Bu amaçla, VIX endeksi ile BİST100 endeksi arasındaki zamanla değişen nedensellik ilişkisi incelenecektir.

Litartürde sıklıkla “korku endeksi” olarak adlandırılan VIX endeksi küresel piyasaların risk iştahının ve belirsizliğin ölçülmesinde birincil araç olarak kullanılmaktadır. VIX endeksi, Türkiye gibi dışsal şoklara hassas gelişmekte olan piyasalar üzerinde önemli bir yönlendirici etkiye sahiptir (Karaçayır,2025). Bu doğrultuda REW algoritması, küresel risk iştahındaki değişimleri yansıtan VIX endeksi ile Borsa İstanbul’un temel göstergesi olan BİST 100 endeksi arasındaki nedensellik ilişkisini ampirik olarak ortaya koymak amacıyla kullanılacaktır.

2005-2025 dönemini kapsayan haftalık endeks kapanış değerleri veri setini oluşturmaktadır. Veriler investing.com web sitesinden alınmıştır. VIX ve BİST100 endekslerinde tatil günleri nedeniyle ortak olmayan veriler gözlem dışı bırakılarak toplam 1095 gözlemlerle çalışılmıştır. Analizler STATA.17 yazılımı kullanılarak logaritmik dönüşüm yapılmış veriler üzerinde adım adım anlatılarak uygulanmış ve sonuçlar küresel olaylar çerçevesinde yorumlanmıştır. Verilere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. LVIX ve LBIST Değişkenlerine İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
lbist	1.095	6,938	1,013	5,39	9,35
lvix	1.095	2,869	0,366	2,21	4,37

BİST100 değerleri 5,39 ile 9,35 arasında, VIX değerleri ise 2,21 ile 4,37 arasında değişmektedir.

REW algoritması LA-VAR modeline dayandığı için öncelikle değişkenlere ilişkin en yüksek bütünleşme derecesinin (d_{max}) ve optimum gecikme sayısının (p) belirlenmesi gerekmektedir. d_{max} ’ın belirlenmesi için Tablo 2’de verilen ADF birim kök testi sonuçları dikkate alınmaktadır.

Tablo2. ADF Birim Kök Testi İstatistikleri

Değişken	Düzyey (Level)	p-değeri	1. Fark	p-değeri	Karar
lbist	-0,986	0,946	-18,696**	< 0,001	I(1)
lvix	-5,485	< 0,001**		< 0,001	I(0)

ADF testi ile lvix değişkeninin düzeyde durağan $I(0)$, lbist değişkeninin ise 1.dereceden durağan $I(1)$ olduğu belirlenmiştir. Bu durumda en yüksek bütünleşme derecesi $d_{max} = 1$ olmaktadır.

Optimum gecikme sayısı AIC, HQIC, SBIC gibi bilgi kriterlerine göre belirlenmektedir. Tablo 3'te gecikme sayılarına göre kriterler verilmiştir.

Tablo 3. Optimum Gecikme Sayısının Belirlenmesine Yönelik Kriterler

Gecikme (Lag)	FPE	AIC	HQIC	SBIC
0	0,136	3,683	3,686	3,692
1	0,000	-4,844	-4,833	-4,816
2	0,000	-4,869	-4,852*	-4,823*
3	0,000	-4,875	-4,85	-4,811
4	0,000	-4,873	-4,842	-4,79
5	0,000*	-4,878*	-4,84	-4,777
6	0,000	-4,874	-4,829	-4,755
7	0,000	-4,873	-4,821	-4,735
8	0,000	-4,867	-4,808	-4,711

Not: FPE: Final prediction error; AIC: Akaike information criterion; HQIC: Hannan-Quinn information criterion; SBIC: Schwarz's Bayesian information criterion. () optimal gecikme uzunluğunu göstermektedir.*

Optimum gecikme sayısı için HQIC ve SBIC kriterleri 2 gecikmeye, FPE ve AIC kriterleri ise 5 gecikmeye işaret etmektedir. Gecikme sayısının fazla olması, tahmin edilen parametre sayısını arttıracığından pencere algoritmalarıyla yapılacak yinelemeli analizlerde her bir pencere içindeki hesaplamaları zorlaştırabilir ve sonuçların çok fazla dalgalanmasına neden olabilir. Bu nedenle daha az parametre ile daha fazla açıklama yapmayı hedefleyen SBIC (Schwarz-Bayesian) kriteri dikkate alınarak optimum gecikme uzunluğu $p=2$ olarak belirlenmiştir.

LA-VAR yaklaşımında tahmin edilen model $VAR(p + d_{max})$ 'dir. Bu durumda $VAR(3)$ modeli dikkate alınır. Böylece Toda-Yamamoto (1995) yaklaşımı takip edilerek gecikme sayısı artırılmış ve asimptotik bozulmaların önüne geçilmiş olunur.

Shi vd. tarafından önerilen REW algoritmasının çalıştırılabilmesi için pencere genişliğinin (f_w) ve kontrol pencere genişliğinin (size control) belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmada haftalık verilerde sıkça tercih edilen 52 haftalık pencere genişliği tercih edilmiştir.

Kontrol pencere genişliği veya size control parametresi, bootstrap yöntemiyle elde edilen kritik değerlerin ampirik büyüklüğünü belirli bir zaman dilimi üzerinden kontrol etmek için kullanılır ve nedensellik testinin reddetme olasılığının (tip I hata) analiz dönemi boyunca stabil kalmasını sağlar (Baum vd., 2022). Verinin periyodik özelliklerini yansıtması açısından haftalık verinin frekansına en uygun kontrol pencere genişliği genellikle 52 olarak tercih edilmektedir.

Bu parametreler belirlendikten sonra REW algoritması çalıştırılmış ve Bootstrap kritik değerleri 1000 iterasyonla elde edilmiştir. SATATA yazılımında zamanla değişen nedensellik analizi Shi vd.(2018, 2020)'nin prosedürünü takip ettiğinden tüm pencere algoritmalarının sonuçlarını birlikte vermekte, böylece pencere yaklaşımlarının da karşılaştırılmasına olanak sağlanmaktadır. Analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Pencere algoritmalarına göre supW test ve Bootstrap kritik değer istatistikleri

Algoritma	Wald Test İstatistiği	%90 Kritik Değer	%95 Kritik Değer	%99 Kritik Değer
FEW	11.476***	5.678	7.333	10.959
ROW	14.457***	7.088	8.706	12.597
REW	19.758***	7.338	9.074	13.015

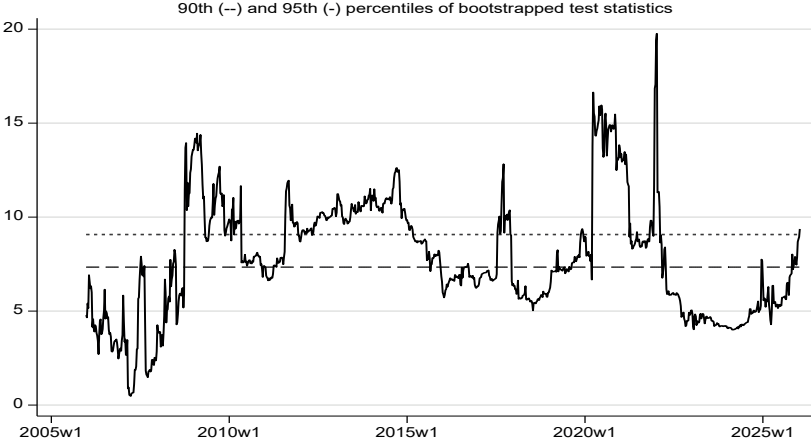
*Not. *** $p < .01$. Test istatistikleri, $p=2$ ve $d=1$ gecikme uzunlukları kullanılarak 1000 bootstrap iterasyonu ile hesaplanmıştır.*

Test İstatistiği > Kritik Değer ise, $H_0 : R\phi = 0$ yokluk hipotezi reddedilerek "VIX, BIST100'ün Granger nedenidir" denir. Tablo 4'teki değerler incelendiğinde her üç algoritma için hesaplanan istatistiklere göre VIX ile BIST100 arasında zamana bağlı çok güçlü bir nedensellik ilişkisi olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar, VIX ve BIST100 arasındaki ilişkinin durağan bir yapıdan ziyade dinamik ve evrilen bir süreç olduğunu kanıtlamaktadır. Özellikle REW algoritması ile hesaplanan Wald test istatistiği değerinin diğerlerinden (FEW ve ROW) daha yüksek çıkması, bu iki değişken arasındaki nedenselliğin zamanın belirli noktalarında aşırı güçlendiğini ve bu gücün tüm veri seti boyunca taranarak en yüksek seviyede tespit edildiğini göstermektedir.

REW algoritmasının diğer algoritmalarından en önemli farkı, değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini tarihsel olarak açıklamasıdır. Bunun için Grafik 2'de verilen Wald istatistiklerinin zamana bağlı grafiği incelenmektedir.

Grafik 2. VIX'in BİST100 üzerindeki Nedensellik Etkisinin Zamana Göre Değişimi



Wald istatistiği grafiği, VIX'ten BİST100'e doğru olan nedensellik gücünü temsil etmektedir. Bu grafiğin düz çizgilerle gösterilen kritik eşikleri (özellikle %95'lik bootstrap kritik değeri) yukarı yönlü kestiği dönemler, VIX endeksinin BİST100 endeksini öngörmede istatistiksel olarak anlamlı hale geldiği zaman dilimlerini ifade eder.

Grafik 2 incelendiğinde ilk büyük kırılmanın 2008 Ekim dönemine denk geldiği görülmektedir. Bu noktada grafiğin %95 eşliğini aşarak ilk kez anlamlı hale gelmesi, küresel korkunun Türkiye piyasalarını doğrudan etkilemeye başladığı milat olarak kabul edilebilir.

Grafikte 2012'nin başından 2014'ün sonuna kadar devam eden uzun ve istikrarlı dönem kesintisiz bir nedensellik ilişkisini göstermektedir. Bu dönemde Euro Bölgesi Borç Krizi ve ardından gelen belirsizlikler, Fed'in tahvil alımlarını azaltacağı (Taper Tantrum) sinyalleri, VIX'in BİST üzerindeki etkisini sürekli hale getirmiştir.

Mart 2020 ile başlayan dönem, COVID-19 pandemisinin küresel piyasaları vurduğu döneme işaret etmektedir. Bu dönemde VIX endeksi hafta içi gördüğü 85,47'lik gün içi rekoruna kıyasla daha düşük görünse de haftayı 66 seviyesinin üzerinde bitirmesi ve sonraki haftayı da 65 seviyelerinde kapatması piyasadaki korkunun sadece anlık bir şok olmadığını, tüm haftaya yayılan ve sonraki hafta da devam eden sistematik bir risk algısı olduğunu göstermektedir. Bu süreç ile birlikte BİST100 üzerindeki nedensellik ilişkisi tekrar çok güçlü bir şekilde kendini göstermiştir.

Görüldüğü üzere VIX ile BIST100 arasındaki ilişki her zaman aynı şiddette değildir. Ancak küresel risklerin arttığı (2008, 2013, 2020) dönemlerde, VIX'in BIST100'ü öngörme gücünün diğer bir ifade ile nedensellik gücünün tavan yaptığı görülmektedir. Bu durum, REW algoritması ile hesaplanan Wald istatistiğinin neden diğerlerine göre daha yüksek çıktığını da açıklamaktadır: REW algoritması, zaman boyunca tüm olası alt örneklemeleri taradığı için bu şiddetli alt dönemleri tespit ederek genel test istatistiğini yukarı çekmiştir.

Bulgular Türkiye hisse senedi piyasasının küresel risk iştahındaki değişimlere karşı sistematik bir hassasiyet taşıdığını ve VIX endeksinin kriz dönemlerinde BIST100 için öncü bir gösterge işlevi gördüğünü ortaya koymaktadır.

5. Sonuç

Bu çalışma, zaman serisi değişkenleri arasındaki ilişkilerin dinamik doğasını yakalamada başarılı bir performans sergileyen Zamanla Değişen Granger Nedensellik Testlerini, özellikle de Yinelemeli Gelişen Pencere (REW) yaklaşımının hem teorik çerçevesini hem de araştırmalarda nasıl kullanılacağına odaklanmaktadır. Metodoloji, Granger nedensellik analizini statik bir test olmaktan çıkararak dinamik bir süreç olarak ele almaktadır. Alt örneklem Wald istatistiklerinin supremum fonksiyonları üzerinden değerlendirilmesi, nedenselliğin hem varlığını hem de zamanlamasını eşzamanlı olarak test etmeye imkân tanımaktadır. Bu yönüyle yaklaşım, zamana bağlı nedensellik literatüründe yapısal kırılmalara duyarlı ve yüksek güçlü bir test alternatifi sunmaktadır. Bu yöntemle ortaya konan zamanla değişen nedensellik kanıtları, politika yapımcıların ve yatırımcıların yapısal değişimlerin zamanlamasına dair kritik ve isabetli stratejik kararlar almasına zemin hazırlamaktadır.

Kaynakça

- Akyıldırım, E., Cepni, O., Pham, L., & Uddin, G. S. (2022). Infectious disease market volatility, investor sentiment, and agricultural futures returns. *Energy Economics*, 113, 106174.
- Amadeo, E., Bergantino, A. S., & Magazzino, C. (2025). Who pays for the EU Emission Trading System? The risk of shifting tax burden from firm to final consumer. *Energy Economics*, 143, 108240.
- Atasever, G., & Süslü, B. (2025). A sectoral approach to inflation expectations in the Turkish economy: The vector error correction model (VECM) and time-varying LA-VAR Granger causality analysis. *Journal of Research in Economics, Politics & Finance*, 10(4), 1419–1445.
- Balcılar, M., Usman, O., Yülek, M., Agan, B., & Erdal, B. (2024). House price connectedness and consumer sentiment in an era of destabilizing macroeconomic conditions: Empirical evidence from Türkiye. *Borsa İstanbul Review*, 24(1), 14–34.
- Baum, C. F., Hurn, S., & Otero, J. (2022). Testing for time-varying Granger causality. *The Stata Journal*, 22(2), 355–378.
- Baum, C. F., Hurn, S., & Otero, J. (2025). The dynamics of U.S. industrial production: A time-varying Granger causality perspective. *Econometrics and Statistics*, 33, 13–22.
- Bressler, S. L., & Seth, A. K. (2011). Wiener–Granger causality: A brain data analysis strategy. *NeuroImage*, 58(2), 323–329.
- Chang, H. W., Chang, T., Xiang, F., Mikhaylov, A., & Grigorescu, A. (2023). Revisiting R&D intensity and CO2 emissions link in the USA using time varying granger causality test: 1870~2020. *Heliyon*, 9, e20319.
- Chen, C. F., & Chiang, S. H. (2022). Portfolio diversification possibilities between the stock and housing markets in G7 countries: Evidence from the time-varying Granger causality. *Finance Research Letters*, 49, 103124.
- Chiang, S. H., & Chen, C. F. (2022). From systematic to systemic risk among G7 members: Do the stock or real estate markets matter? *Journal of International Financial Markets, Institutions & Money*, 79, 101594.
- Çekiç Sezen, Grandjean, D. M., & Renaud, O. (2018). Time, frequency, and time-varying Granger-causality measures in neuroscience. *Statistics in Medicine*, 37(11), 1910–1931.
- Çelik, A. K., Kutlu, M., et al. (2026). Do geopolitical risk and economic policy uncertainties affect food and energy commodity prices? *SAGE Open*.
- Çepni, O., Çolak, M. S., Hacıhasanoğlu, Y. S., & Yılmaz, M. H. (2021). Capital flows under global uncertainties: Evidence from Turkey. *Borsa İstanbul Review*, 21(2), 175–185.

- Çepni, O., Gül, S., Hacıhasanoğlu, Y. S., & Yılmaz, M. H. (2020). Global uncertainties and portfolio flow dynamics of the BRICS countries. *Research in International Business and Finance*, 54, 101277.
- Dogan, E., Majeed, M. T., & Luni, T. (2022). Are clean energy and carbon emission allowances caused by bitcoin? A novel time-varying method. *Journal of Cleaner Production*, 347, 131089.
- Emirmahmutoglu, F., Denaux, Z., & Topcu, M. (2021). Time-varying causality between renewable and non-renewable energy consumption and real output: Sectoral evidence from the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111326.
- Farrell, H., & O'Connor, F. (2025). Fear and greed in financial markets. *Finance Research Letters*, 72, 106492.
- Ge, J., Lin, B., & Du, A. M. (2025). Exchange rate exposure and external uncertainties. *Research in International Business and Finance*, 73, 102634.
- Hatemi-j, A. (2012). Asymmetric causality tests with an application. *Empirical economics*, 43(1), 447-456.
- Hoang, T. H. V., Shahzad, S. J. H., & Czudaj, R. L. (2020). Renewable energy consumption and industrial production: A disaggregated time-frequency analysis for the U.S. *Energy Economics*, 85, 104433.
- Hong, Y., Zhang, R., & Zhang, F. (2024). Time-varying causality impact of economic policy uncertainty on stock market returns: Global evidence from developed and emerging countries. *International Review of Financial Analysis*, 91, 102991.
- Hu, Y., Hou, Y. G., & Oxley, L. (2020). What role do futures markets play in Bitcoin pricing? Causality, cointegration and price discovery from a time-varying perspective? *International Review of Financial Analysis*, 72, 101569.
- Hurn, S., Shi, S., & Wang, B. (2022). Housing networks and driving forces. *Journal of Banking & Finance*, 134, 106318.
- Jiang, Y., et al. (2025). Sovereign risk dynamics and global uncertainties. *International Review of Financial Analysis*, 103, 104190.
- Kang, S. H., Tiwari, A. K., Albulescu, C. T., & Yoon, S.-M. (2019). Exploring the time-frequency connectedness and network among crude oil and agriculture commodities V1. *Energy Economics*, 84, 104543.
- Karaçayır, E. (2025). Analysis of the relationship between credit default swaps (cds), the fear index (vix), and bist 100 using the wavelet coherence model. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(2), 547-568.
- Luo, Q., Lu, W., Cheng, W., Valdes-Sosa, P. A., Wen, X., Ding, M., & Feng, J. (2013). Spatio-temporal Granger causality: A new framework. *NeuroImage*, 79, 241-263.

- Maziarz, M. (2015). A review of the Granger-causality fallacy. *Journal of Philosophical Economics*, 8(2), 86-105.
- Mishra, A. K., Ghate, K., Renganathan, J., Kennet, J. J., & Rajderkar, N. P. (2022). Rolling, recursive evolving and asymmetric causality between crude oil and gold prices: Evidence from an emerging market. *Resources Policy*, 75, 102474.
- Padhan, H., Kocoglu, M., Tiwari, A. K., & Haouas, I. (2024). Economic drivers and oil prices dynamics: New insights. *Energy Economics*, 138, 107845.
- Ren, X., Fu, C., Jin, C., & Li, Y. (2024). Dynamic causality between global supply chain pressures and China's resource industries: A time-varying Granger analysis. *International Review of Financial Analysis*, 95, 103377.
- Rossi, B., & Wang, Y. (2019). Vector autoregressive-based granger causality test in the presence of instabilities. *The Stata Journal*, 19(4), 883–899.
- Shi, S., Phillips, P., & Hurn, S. (2018). Change Detection and the Causal Impact of the Yield Curve. *Journal of Time Series Analysis*, 39(6), 966-987.
- Shi, S., Hurn, S., & Phillips, P. (2020). Causal Change Detection in Possibly Integrated Systems: Revisiting the Money–Income Relationship. *Journal of Financial Econometrics*, 18(1), 158-180.
- Sysoeva, M. V., Vinogradova, L. V., Perescis, M. F. J., Van Rijn, C. M., & Sysoev, I. V. (2019). Revealing changes in directed interstructural couplings at limbic seizures, induced by injection of CB1 receptor antagonist using nonlinear Granger causality method.
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225-250.
- Uğurlu-Yıldırım, E., & Dinç-Cavlak, Ö. (2024). Climate policy uncertainty, media coverage of climate change, and energy markets: New evidence from time-varying causality analysis. *Energy and Climate Change*, 5, 100134.
- Wang, Y., Goutte, S., Bouri, E., & Sokhanvar, A. (2024). Climate risks and the realized higher-order moments of financial markets: Evidence from China. *International Review of Economics and Finance*, 93, 1064–1087.
- Xi, Y., Huynh, A. N. Q., Jiang, Y., & Hong, Y. (2023). Energy transition concern: Time-varying effect of climate policy uncertainty on renewables consumption. *Technological Forecasting and Social Change*, 192, 122551.

Zaman Serileri Analizi: Güncel Yöntemler ve Uygulamalar I

Editör:

Doç. Dr. Fatih Çemrek