

Modern Mikro İktisat: Teoriden Uygulamaya II

Editör: Doç. Dr. Mehmet POLAT

Strategic
Game Theory



Strategic
Game Theory



ÖZGÜR
YAYINLARI

Modern Mikro İktisat: Teoriden Uygulamaya II

Editör:

Doç. Dr. Mehmet POLAT



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

Modern Mikro İktisat: Teoriden Uygulamaya II

Editör: Doç. Dr. Mehmet POLAT

Language: Turkish-English

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): 978-625-8998-26-9

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1259>



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:

Polat, M. (ed) (2026). *Modern Mikro İktisat: Teoriden Uygulamaya II*. Özgür Publications.

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1259>. 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

Bu kitap, mikro iktisadın çağdaş dönüşümünü teorik temelleriyle birlikte ele almayı ve güncel uygulamalarla bütünleştirmeyi amaçlamaktadır. Kitap, geleneksel mikro iktisat modellerinin sunduğu analitik çerçeveyi korurken, bu çerçevenin sınırlarını zorlayan davranışsal iktisat, bilişsel iktisat, deneysel iktisat ve makine öğrenimi gibi iktisat bilimine yeni perspektifler kazandıran alan çalışmalarına yer vermektedir.

Bu eser, özellikle akademisyenler, lisansüstü öğrenciler ve modern mikro iktisada ilgi duyan araştırmacılar için kaynak niteliğini taşımaktadır. Her bölüm, kendi alanında güncel bir konuyu ele alarak literatüre katkı sağlamayı ve yeni araştırmalara ilham vermeyi hedeflemektedir.

Bu eserin, mikro iktisadın yalnızca teorik modelleme ile sınırlı olmayan; insan davranışını, piyasa dinamiklerini ve firma stratejilerini açıklamada davranışsal, deneysel ve veri temelli yöntemlerle zenginleşen çağdaş bir analiz alanı olduğunu göstermeye katkı sunması beklenmektedir.

Doç. Dr. Mehmet POLAT

İçindekiler

Ön Söz

iii

Bölüm 1

Mapping Cross-Asset Information Flow and Network Vulnerability: A Directed Graph Approach Across Equities, Cryptocurrencies, Commodities, and Macro Indicators 1

Cemal Öztürk

Mehmet Polat

Bölüm 2

Çevresel Kirlilik ve Sağlık Harcamaları: MINT Ülkeleri İçin Bir Analiz 29

Dilek Alma Savaş

Bölüm 3

Talep Esnekliği Temelli Firma Fiyatlama Davranışı: Akaryakıt Piyasasına Yönelik Mikro İktisadi Bir Uygulama 49

İbrahim Cevizli

Mapping Cross-Asset Information Flow and Network Vulnerability: A Directed Graph Approach Across Equities, Cryptocurrencies, Commodities, and Macro Indicators

Cemal Öztürk¹

Mehmet Polat²

Abstract

This study maps cross-asset information flow and network vulnerability across major equities, cryptocurrencies, commodities, and macro/FX indicators by translating Granger-causality relations into a directed network. Using daily data for 23 instruments (seven equity indices, five cryptocurrencies, six commodities, five macro/FX series) from April 13, 2020 to December 30, 2025 (1,485 observations), the sample is aligned to weekdays to avoid weekend-induced bias between 24/7 crypto and business-day markets before computing log returns. Stationarity is verified via a triangulation strategy (ADF, KPSS, and Zivot–Andrews). Pairwise linear Granger causality tests are then applied to all 506 ordered pairs (maximum lag of 5), and statistically significant links are mapped to a directed graph. Network roles are quantified using in-/out-degree, betweenness, eigenvector centrality, and density, while time variation is assessed through rolling-window estimation (250-day window, 20-day step) and sub-period regime networks. The full-sample network contains 181 significant directed links (density = 0.358), indicating moderately high cross-asset connectivity. EURUSD and HSI are the most interconnected nodes (total degrees 25 and 24), SP500 is the strongest transmitter (out-degree 14), and HSI acts as the key bridge (betweenness 0.138). Rolling density ranges from 0.144 to 0.374 (mean 0.241; σ 0.055), implying regime-dependent spillover intensity and higher vulnerability when

1 Res. Asst. Dr., Department of Economics, Iğdır University, cemal.ozturk@igdir.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-3850-7416

2 Assoc. Prof. Dr., Department of Economics, Iğdır University, mehmetpolat@igdir.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6930-1499

density exceeds 0.296. Sub-period density peaks in 2022 (0.283) and remains elevated in 2023–2025 (0.269). The results imply that diversification benefits weaken during dense regimes; monitoring high out-degree and bridge nodes can provide early warning of contagion pathways.

1. Introduction

The global financial system has undergone a structural transformation in recent years, driven by the proliferation of digital assets, the unprecedented monetary policy interventions during COVID-19, and the cascading geopolitical shocks that followed. Understanding how information flows across distinct asset classes—equities, cryptocurrencies, commodities, and macroeconomic indicators—is a practical necessity for portfolio managers, central bankers, and regulators seeking to anticipate contagion pathways before they materialize.

The traditional approach to measuring cross-asset dependencies relies on correlation analysis, which is inherently symmetric and captures only contemporaneous co-movement. Granger (1969) causality testing offers a directional alternative: it identifies whether the past values of one asset contain predictive information about another, establishing a lead-lag structure that correlation alone cannot reveal. Crucially, when these pairwise directional relationships are aggregated into a directed graph—where each node represents an asset and each edge represents a statistically significant causal link—the resulting topology provides a map of information highways across the financial system. This Granger-to-graph mapping is the methodological core of this chapter.

This chapter makes three contributions. First, we construct a comprehensive cross-asset Granger causality network encompassing 23 financial instruments spanning four distinct classes using daily data from 2020-04-13 through 2025-12-30. Second, we characterize the network's architecture through graph-theoretic metrics—degree centrality (Freeman, 1978), betweenness centrality (Freeman, 1977), eigenvector centrality (Bonacich, 1987), and network density (Wasserman & Faust, 1994). Third, we deploy a rolling-window framework to track how the network's topology evolves across market regimes.

The remainder of this chapter proceeds as follows. Section 2 reviews the relevant literature. Section 3 describes the data and methodological framework—including why stationarity testing is a necessary precondition for Granger causality, how the Granger test itself operates, and how its results are

transformed into a directed graph. Section 4 presents the empirical findings. Section 5 discusses implications. Section 6 concludes.

2. Theoretical Background and Literature Review

2.1. Financial Network Analysis

The application of network science to financial markets gained momentum after the 2008–2009 crisis. Billio et al. (2012) demonstrated that Granger causality networks among financial institutions could serve as an early-warning indicator of systemic risk. Diebold and Yılmaz (2014) proposed an alternative framework based on forecast error variance decompositions. While the Diebold–Yılmaz approach offers a continuous connectedness measure, the Granger causality network approach provides a cleaner binary identification of significant causal links, which is more amenable to graph-theoretic analysis.

2.2. Cross-Asset Information Transmission

Early studies focused on equity–equity spillovers, documenting the dominant role of the U.S. market (Eun & Shim, 1989; Hamao et al., 1990). Corbet et al. (2018) found limited initial crypto integration, but subsequent research documented increasing connectedness. Tang and Xiong (2012) studied commodity financialization, while Bouri et al. (2021) showed that extreme conditions amplify cross-asset spillovers.

2.3. Granger Causality in Financial Applications

Granger (1969) formalized the notion that variable X Granger-causes Y if past values of X improve the prediction of Y beyond Y 's own history. Extensions include nonlinear Granger causality (Diks & Panchenko, 2006), frequency-domain variants (Breitung & Candelon, 2006), and quantile approaches (Troster, 2018). This chapter employs the standard linear framework for transparency and interpretability.

3. Data and Methodology

3.1. Data Description

We collect daily closing prices for 23 financial instruments spanning four asset classes from Yahoo Finance. The sample period extends from 2020-04-13 to 2025-12-30, yielding 1,485 trading-day observations. Table 1 details the asset universe. A critical data alignment issue arises because cryptocurrency markets operate continuously (24/7), while equity, commodity, and FX markets trade only on business days. If weekend observations are retained, forward-

filling equity prices creates artificial zero returns on Saturdays and Sundays while cryptocurrencies exhibit genuine price changes—introducing systematic bias into the Granger causality tests. To address this, we restrict the sample to business days (Monday through Friday) before computing returns. All prices are then converted to continuously compounded (log) returns:

$$r_{i,t} = \ln \left(\frac{P_{i,t}}{P_{i,t-1}} \right),$$

where $P_{i,t}$ is the closing value of asset i on day t . Small gaps from public holidays are forward-filled up to a maximum of three consecutive days; remaining missing observations are dropped.

The selection of 23 instruments across four asset classes is designed to capture the major channels through which information propagates in the modern financial system. The equity indices represent the world's largest capital markets—spanning the Americas (S&P 500, NASDAQ), Europe (FTSE 100, DAX), and Asia-Pacific (Nikkei 225, Hang Seng, KOSPI)—and collectively account for a substantial share of global equity market capitalization. The cryptocurrency cluster includes the five largest digital assets by market capitalization, representing a market segment that has grown from a niche speculative vehicle to a trillion-dollar asset class over the sample period. The commodity selection covers energy (WTI crude oil, natural gas), precious metals (gold, silver), industrial metals (copper), and agriculture (wheat), each serving as a benchmark for distinct segments of the real economy. The macro indicators—VIX (investor fear gauge), DXY (dollar strength), EUR/USD, USD/JPY, and the U.S. 10-year Treasury yield—function as transmission channels between monetary policy decisions and asset prices. Table 1 provides the complete asset universe with ticker symbols and classifications.

Table 1. Asset Universe and Classification (23 Assets)

Asset	Ticker	Class	Description
DAX	^GDAXI	Equity	German blue-chip index
FTSE100	^FTSE	Equity	U.K. blue-chip index
HSI	^HSI	Equity	Hong Kong index
KOSPI	^KS11	Equity	South Korean index
NASDAQ	^IXIC	Equity	U.S. tech-heavy index
Nikkei225	^N225	Equity	Japanese blue-chip index
SP500	^GSPC	Equity	U.S. large-cap index
BNB	BNB-USD	Crypto	Binance native token
Bitcoin	BTC-USD	Crypto	Largest cryptocurrency
Ethereum	ETH-USD	Crypto	2nd largest cryptocurrency
Solana	SOL-USD	Crypto	High-throughput blockchain
XRP	XRP-USD	Crypto	Payment-focused crypto
Copper	HG=F	Commodity	Copper futures
Gold	GC=F	Commodity	Gold futures (COMEX)
NatGas	NG=F	Commodity	NatGas futures
Oil_WTI	CL=F	Commodity	Crude oil futures
Silver	SI=F	Commodity	Silver futures
Wheat	ZW=F	Commodity	Wheat futures (CBOT)
DXY	DXY.NYB	Macro	U.S. Dollar Index
EURUSD	EURUSD=X	Macro	Euro/Dollar rate
US10Y	^TNX	Macro	10-Year Treasury yield
USDJPY	JPY=X	Macro	Dollar/Yen rate
VIX	^VIX	Macro	CBOE Volatility Index

Before proceeding to Granger causality analysis, we first examine the contemporaneous correlation structure of log returns. While correlation does not imply causation and cannot capture lead-lag dynamics, it provides a useful baseline for understanding the co-movement landscape. Figure 1 presents the Pearson correlation matrix. Several patterns merit attention. Within the equity cluster, correlations are uniformly positive and often exceed 0.50, reflecting the well-documented phenomenon of global equity market synchronization—driven by common exposures to U.S. monetary policy, global risk appetite, and institutional cross-listing. The cryptocurrency cluster displays even stronger intra-class correlations, often above 0.70, consistent with the hypothesis that crypto assets are primarily driven by aggregate speculative sentiment rather than idiosyncratic fundamentals. Cross-class correlations are notably weaker, particularly between crypto and traditional assets, suggesting that diversification benefits exist—at least in the unconditional sense. Gold shows near-zero or slightly negative correlations with equities, confirming its traditional role as a safe-haven asset. The VIX exhibits negative correlations

with most equity indices, consistent with its construction as an inverse measure of market confidence. Crucially, correlation is symmetric—it tells us that the S&P 500 and DAX move together, but not whether one leads the other. This limitation motivates the directional Granger causality analysis that follows.

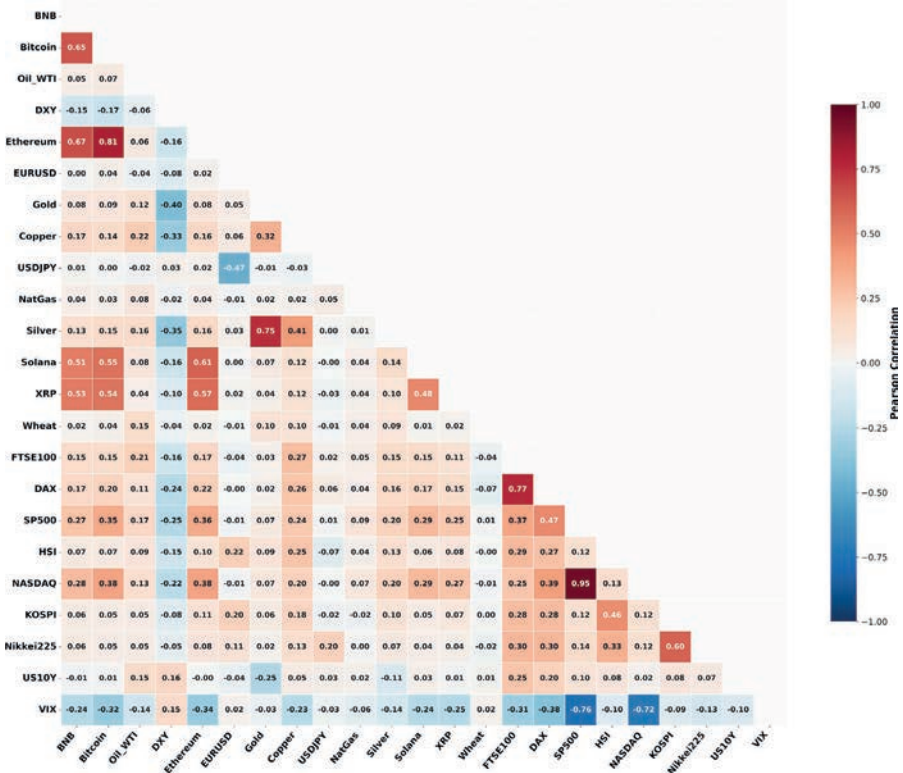


Figure 1. Pearson correlation matrix of daily log returns (23 assets, 2020–2025).

3.2. Stationarity Testing: A Prerequisite for Granger Causality

Before running Granger causality tests, we verify that all return series are stationary. This step matters because Granger inference is built on OLS-based autoregressive regressions; if the variables contain a unit root, the usual F-test theory can fail and the results may become spurious, inflating test statistics and creating false rejections (Granger & Newbold, 1974; Phillips, 1986). In a network setting, that would translate into artificial edges and a distorted topology.

To make the stationarity assessment robust, we use three complementary tests. We estimate the ADF (Dickey & Fuller, 1979) regression

$$\Delta y_t = \mu + \phi y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t,$$

and test the unit-root null $H_0 : \phi = 0$ against $H_1 : \phi < 0$. The lag order p is selected using the Akaike Information Criterion (AIC). Rejection of H_0 indicates stationarity.

Following Kwiatkowski et al. (1992), we test the null of level stationarity in the decomposition

$$y_t = \mu + \eta_t + \varepsilon_t, \eta_t = \eta_{t-1} + u_t,$$

where η_t is a random-walk component. The KPSS statistic is based on the partial sum process of residuals from regressing y_t on an intercept,

$$KPSS = \frac{1}{T^2 \hat{\sigma}^2} \sum_{t=1}^T S_t^2, S_t = \sum_{j=1}^t \hat{\varepsilon}_j,$$

with $\hat{\sigma}^2$ a long-run variance estimator. Failure to reject the null hypothesis supports stationarity and complements the ADF test, particularly in near-unit root settings.

To account for a single endogenous structural break, we apply the Zivot–Andrews unit-root test

(Zivot & Andrews, 1992), which augments the ADF framework by allowing a break date τ to be determined from the data. In the break-in-intercept specification, the regression takes the form

$$\Delta y_t = \mu + \theta DU_t(\tau) + \phi y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t,$$

where $DU_t(\tau) = 1(t > \tau)$. The test selects τ to yield the most negative t-statistic for ϕ . This is especially relevant in our sample given major regime shifts (e.g., COVID-19, tightening cycle, and the FTX episode), where breaks can otherwise be mistaken for unit-root behavior.

Table 2 reports the results. All 23 return series reject the unit root null at the 1% level under both the ADF and ZA tests, confirming stationarity. The KPSS test confirms stationarity for 21 of 23 series. 2 assets (Oil, Gold) show KPSS rejection, a well-documented artifact of the KPSS test's sensitivity to heteroskedasticity in commodity return series. Since both ADF and break-accommodating ZA test unanimously confirm stationarity, we conclude that all series are suitable for Granger causality testing.

Table 2. Stationarity Test Results: ADF, KPSS, and Zivot–Andrews

Asset	ADF	p	KPSS	p	ZA	p	Break Date
BNB	-11.48	0.0000	0.442	0.059	-12.17	<0.001	2021-05-03
Bitcoin	-13.66	0.0000	0.248	>0.10	-14.14	<0.001	2021-02-19
Oil_WTI	-10.58	0.0000	1.002†	0.010	-10.99	<0.001	2022-03-08
DXY	-28.76	0.0000	0.142	>0.10	-29.01	<0.001	2022-09-27
Ethereum	-14.14	0.0000	0.433	0.063	-14.70	<0.001	2021-05-11
EURUSD	-38.52	0.0000	0.144	>0.10	-38.72	<0.001	2022-09-28
Gold	-40.77	0.0000	0.639†	0.019	-40.98	<0.001	2022-03-08
Copper	-16.75	0.0000	0.154	>0.10	-17.02	<0.001	2021-05-11
USDJPY	-23.87	0.0000	0.088	>0.10	-24.09	<0.001	2022-10-21
NatGas	-16.80	0.0000	0.105	>0.10	-17.06	<0.001	2022-08-22
Silver	-26.98	0.0000	0.350	0.099	-27.20	<0.001	2021-02-22
Solana	-38.79	0.0000	0.360	0.094	-39.14	<0.001	2021-11-04
XRP	-37.93	0.0000	0.058	>0.10	-38.07	<0.001	2021-04-14
Wheat	-18.85	0.0000	0.109	>0.10	-19.20	<0.001	2022-03-07
FTSE100	-17.08	0.0000	0.044	>0.10	-17.14	<0.001	2022-02-10
DAX	-16.53	0.0000	0.084	>0.10	-16.76	<0.001	2022-09-29
SP500	-12.93	0.0000	0.147	>0.10	-13.17	<0.001	2023-10-27
HSI	-19.09	0.0000	0.156	>0.10	-19.26	<0.001	2022-10-31
NASDAQ	-11.57	0.0000	0.173	>0.10	-11.91	<0.001	2022-12-28
KOSPI	-39.55	0.0000	0.318	>0.10	-39.88	<0.001	2021-04-20
Nikkei225	-23.45	0.0000	0.081	>0.10	-23.61	<0.001	2021-02-22
US10Y	-20.74	0.0000	0.407	0.074	-21.00	<0.001	2022-10-24
VIX	-15.08	0.0000	0.055	>0.10	-15.12	<0.001	2022-10-12

Note: † denotes KPSS rejection at 5% (null = stationarity). All ADF and ZA tests reject H_0 at 1%.

3.3. Granger Causality Testing

Having verified stationarity, we test directional predictability using the standard linear Granger causality framework (Granger, 1969). For each ordered pair (X, Y) with $X \neq Y$, we estimate the unrestricted model

$$Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^L \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^L \beta_j X_{t-j} + \varepsilon_t,$$

and compare it with the restricted model that excludes the lagged X . The null hypothesis $H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_L = 0$ is evaluated with an F-test. We set

$L = 5$ in the full-sample analysis and $L = 3$ in the rolling-window analysis. For each pair, we evaluate lags $\ell = 1, \dots, L$ and select the lag that yields the minimum p-value,

$$p_{\min} = \min_{1 \leq \ell \leq L} p(\ell).$$

We record the corresponding F-statistic and optimal lag and classify the pair as significant if $p_{\min} < 0.05$. Finally, we stress that “Granger-causality” here refers to predictive precedence, not structural or philosophical causation: X Granger-causes Y only in the sense that lagged X improves forecasts of Y in the linear model (Granger, 1969).

3.4. From Granger Causality Results to a Directed Graph

To move from pairwise predictability results to a system-level view, we translate statistically significant Granger-causality links into a directed network. In this graph representation, each asset is a node, and each significant lead-lag relation is a directed edge, allowing us to study cross-asset information flow using standard network metrics.

Step 1 — Pairwise testing. With $n = 23$ assets, we run $n(n-1) = 23 \times 22 = 506$

Granger-causality F-tests over all ordered pairs. Because the relation is directional, $X \rightarrow Y$ does not imply $Y \rightarrow X$.

Step 2 — Significance filtering (within-pair lag selection). For each ordered pair, we evaluate lags $L = 1, \dots, 5$ and obtain lag-specific p-values. We select the lag that yields the minimum p-value, $p_{\min} = \min_{1 \leq \ell \leq L} p(\ell)$, and record its corresponding F-statistic and selected lag. A directed link is retained if $p_{\min} < 0.05$.

Step 3 — Graph construction (nodes, edges, weights). We build the directed graph $G = (V, E)$, where V is the set of assets. We include a directed edge $(X \rightarrow Y) \in E$ if and only if the selected lag for the pair yields $p_{\min} < 0.05$. For visualization, edge strength is encoded as $w(X, Y) = -\log_{10}(p_{\min})$.

Step 4 — Graph analysis. Each edge remains directly traceable to its underlying Granger output (F-statistic, selected lag, and p-value).

3.5. Graph-Theoretic Metrics

We summarize the network topology of the directed Granger graph $G = (V, E)$ using standard graph-theoretic centrality measures. Each metric has a clear interpretation in our setting: who receives information,

who transmits it, which assets act as bridges in the cross-asset system, and how strongly connected the system is overall. In vulnerability terms, these measures also indicate (i) which assets are more exposed to incoming spillovers and (ii) which assets are capable of propagating shocks across the network; hence, higher centrality can be interpreted as greater vulnerability or systemic importance depending on direction.

- **In-degree centrality** (Freeman, 1978):

$$C_{in}(v) = |\{u \in V : (u, v) \in E\}|$$

Counts how many significant links point into node v . In our context, a high C_{in} indicates an asset that is more often predicted by others (information receiver) and, therefore, more vulnerable to upstream shocks transmitted from multiple sources.

- **Out-degree centrality** (Freeman, 1978):

$$C_{out}(v) = |\{u \in V : (v, u) \in E\}|$$

Counts how many significant links originate from node v . A high C_{out} marks an asset that tends to lead others (information transmitter) and thus represents a potential source of systemic

vulnerability, since shocks originating in V can spread to many downstream assets.

- **Betweenness centrality** (Freeman, 1977):

$$C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$$

Where σ_{st} is the number of shortest paths from s to t , and $\sigma_{st}(v)$ is the number of those

paths that pass through v . Assets with a high betweenness function as bridges that connect otherwise distant parts of the network and are “critical points of vulnerability,” because stress can be routed through them to cross market segments.

- **Eigenvector centrality** (Bonacich, 1987):

$$\mathbf{Ax} = \lambda \mathbf{x} \quad (\text{equivalently } x_i = \frac{1}{\lambda} \sum_j a_{ij} x_j)$$

assigns higher scores to nodes that are connected to other highly connected nodes, capturing “influence” beyond simple degree counts and highlighting

vulnerability-amplifying hubs whose connections link them to other influential nodes.

- **Network density** (Wasserman & Faust, 1994):

$$D = \frac{|E|}{n(n-1)}$$

where $n = |V|$. Density ranges from 0 to 1 and summarizes overall connectedness: higher density implies more widespread spillovers and, correspondingly, a more vulnerable system in which contagion can travel through many active pathways.

3.6. Rolling-Window Framework

We re-estimate the full Granger causality network over a rolling window of 250 trading days, advanced in steps of 20 days. At each step, we reconstruct the directed graph and compute density and in-degree centrality. At each window, for every ordered pair, we again select $p_{\min} = \min_{1 \leq \ell \leq 3} p(\ell)$ and count an edge if $p_{\min} < 0.05$. The resulting density series summarizes time variation in cross-asset predictive linkages.

3.7. Sub-Period Analysis

We partition the sample into four regimes: (i) COVID-19 crash (April 2020 to June 2020),

(ii) recovery and boom (Jul 2020–Dec 2021), (iii) monetary tightening (2022), (iv) post-shock stabilization (2023–2025). Note that our data begins on 2020-04-13, so the COVID-19 crash sub-period contains substantially fewer observations than the other regimes, which has implications for statistical power discussed in Section 4.4.

4. Empirical Results

4.1. Granger Causality Test Results

The full-sample pairwise Granger causality analysis tests 506 directed pairs (23×22). Of these, 181 reject the null hypothesis at the 5% significance level, yielding a network density of 0.358. This density implies that approximately 35.8% of all possible directional information channels are statistically active—a non-trivial level of interconnectedness that underscores the integrated nature of modern financial markets. Of the 181 significant links, 133 (73%) are cross-class links (connecting assets from different classes), while 48 (27%) are intra-class links. The predominance of cross-class transmission channels suggests that

information does not remain confined within asset class boundaries—a finding with direct implications for portfolio construction and risk management.

Table 3 reports the 25 strongest causal links ranked by F-statistic. The highest F-statistic belongs to $DXY \rightarrow EURUSD$ ($F = 5362.47$, lag = 1). However, this link reflects a near-mechanical relationship rather than genuine information transmission: the DXY index is a trade-weighted basket in which the euro carries approximately 57.6% weight, so DXY and EUR/USD are linked by construction rather than by market-driven information flow. The same applies to $DXY \rightarrow USD/JPY$, since the yen constitutes roughly 13.6% of the DXY basket. We retain these links in the table for completeness but exclude them from substantive interpretation.

Table 3. Granger Causality Test Results: Top 25 Strongest Significant Links

Cause	Effect	Lag	F-Statistic	p-value	Decision
DXY	EURUSD	1	5362.465	<0.001	Reject H_0 ‡
DXY	USDJPY	2	365.252	<0.001	Reject H_0 ‡
SP500	Nikkei225	2	228.361	<0.001	Reject H_0
NASDAQ	Nikkei225	2	215.642	<0.001	Reject H_0
Gold	USDJPY	1	208.277	<0.001	Reject H_0
Gold	EURUSD	1	186.876	<0.001	Reject H_0
VIX	Nikkei225	2	170.284	<0.001	Reject H_0
SP500	KOSPI	2	160.168	<0.001	Reject H_0
Silver	EURUSD	1	148.530	<0.001	Reject H_0
NASDAQ	KOSPI	2	137.902	<0.001	Reject H_0
Copper	EURUSD	1	121.871	<0.001	Reject H_0
VIX	KOSPI	2	119.415	<0.001	Reject H_0
VIX	DAX	1	91.292	<0.001	Reject H_0
DAX	Nikkei225	2	87.083	<0.001	Reject H_0
NASDAQ	DAX	1	83.998	<0.001	Reject H_0
Silver	USDJPY	1	74.402	<0.001	Reject H_0
DAX	KOSPI	2	72.631	<0.001	Reject H_0
DXY	HSI	1	68.798	<0.001	Reject H_0
DXY	KOSPI	1	66.649	<0.001	Reject H_0
Copper	KOSPI	1	65.520	<0.001	Reject H_0
SP500	HSI	2	62.873	<0.001	Reject H_0
VIX	HSI	2	55.610	<0.001	Reject H_0
NASDAQ	HSI	2	53.075	<0.001	Reject H_0
FTSE100	KOSPI	2	52.961	<0.001	Reject H_0
SP500	EURUSD	2	51.854	<0.001	Reject H_0

Note: Ranked by F-statistic (descending). All links are significant at $p < 0.05$. Total significant links: 181/506. ‡ denotes near-mechanical links (DXY basket components) excluded from substantive interpretation.

The strongest genuine information flow link is SP500 \rightarrow Nikkei225 ($F = 228.36$, $p < 0.001$, $\text{lag} = 2$), indicating that past SP500 returns contain significant predictive information for Nikkei225 returns. This is consistent with the market microstructure literature on cross-border information transmission. As the world's most liquid equity benchmark, SP500's closing prices set the information tone that Nikkei225 incorporates at its next opening, with the full effect materializing over 2 trading days. Among the top 25 links, lag-2 relationships are the most frequent (56%), suggesting that the dominant information transmission horizon in our cross-asset universe spans 2 trading days—suggesting a two-step propagation mechanism rather than instantaneous overnight diffusion. This is consistent with a sequential transmission chain—for example, U.S. market movements first affect European markets the next day, which in turn propagate to Asian markets on the second day—or with the time required for market participants to fully digest and reprice cross-asset signals.

4.2. Full-Sample Network Architecture

Figure 2 visualizes the directed graph constructed from the 181 significant Granger causality links. Each node represents an asset, scaled by total degree (the sum of incoming and outgoing edges), and each arrow represents a statistically significant causal relationship—directly traceable to an F-test with a specific F-statistic, p-value, and optimal lag. The resulting network exhibits a density of 0.358 (181 significant links out of 506 possible directed pairs), indicating that roughly 35.8% of all potential directional information channels are statistically active in the full sample. The visual topology immediately reveals several economically meaningful patterns. The network is not uniformly connected: a small number of hub nodes attract and emit a disproportionate share of edges, while peripheral nodes participate in fewer transmission channels. This hub-and-spoke structure mirrors the hierarchical organization of global capital markets, where the most connected assets—EURUSD, HSI, and SP500 (Table 4)—function as information clearinghouses through which shocks propagate to less connected markets. From a vulnerability perspective, these hub nodes can be viewed as potential systemic points of fragility: shocks that originate in (or are transmitted into) highly connected assets have more opportunities to diffuse across the network, increasing the likelihood of broad spillovers.

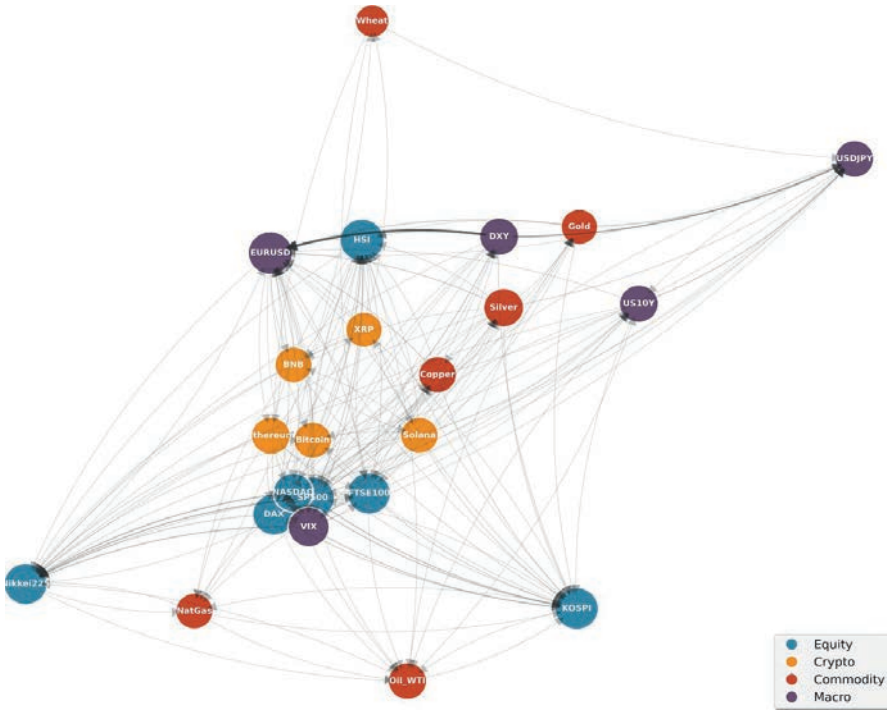


Figure 2. Full-sample Granger causality directed graph (2020–2025, 23 assets, 181 edges). Node size: total degree. Edge width and opacity: $-\log_{10}(p\text{-value})$. Arrow direction: cause \rightarrow effect.

The clustering of same-class nodes in the graph is also informative. Equity indices tend to cluster together, as do cryptocurrencies, reflecting the stronger intra-class information transmission documented in the correlation analysis. However, the cross-class edges—visible as arrows bridging different-colored clusters—are the most economically significant finding, as they reveal the specific channels through which, for example, a monetary policy shock (captured by DXY or US10Y) propagates to commodity prices, or a crypto market crash spills over into equity sentiment. These cross-class connections are also central to vulnerability analysis: bridge-type assets (high betweenness) can transmit stress between otherwise more weakly connected market segments, so disruptions affecting such nodes may disproportionately elevate contagion risk. Moreover, the relatively high density implies that spillovers can travel through multiple alternative pathways rather than relying on a single channel, which further increases system-wide vulnerability during stress episodes.

Table 4 reports the centrality metrics that quantify each asset’s role in the information network. From a vulnerability perspective, these metrics

identify (i) exposure to incoming spillovers (high C_{in}), (ii) systemic shock-propagation potential (high C_{out}), and (iii) cross-segment fragility points that relay stress across clusters (high C_B). EURUSD records the highest total degree (25), making it the most interconnected node in the system. A caveat is warranted: EURUSD's high connectivity partly reflects its near-mechanical link with DXY, which inflates both its in-degree and out-degree. Nevertheless, even excluding the DXY link, EURUSD remains among the most connected nodes, consistent with the euro's role as the world's second most traded currency and a key conduit for monetary policy transmission between the U.S. and the Eurozone. HSI follows with a total degree of 24. The distinction between in-degree and out-degree reveals the directionality of information flow. SP500 has the highest out-degree (14), identifying it as the system's primary information transmitter—its past returns Granger-cause the most other assets. In vulnerability terms, SP500 is therefore a key systemic “shock emitter”: disturbances originating in SP500 have the highest potential to diffuse widely through downstream links. This is economically intuitive: SP500 is among the most liquid and widely watched instruments, and its price movements are rapidly incorporated by market participants trading related assets. Conversely, KOSPI has the highest in-degree (19), marking it as the most information-receptive asset—a “follower” that reacts to signals from many other markets. This makes KOSPI a high-exposure node: it is relatively more vulnerable to shocks transmitted from elsewhere in the network because many assets contain predictive information about its returns. HSI's betweenness centrality of 0.138 confirms its role as a critical bridge node: removing it from the network would disrupt more shortest paths than removing any other asset, suggesting it serves as a relay between otherwise weakly connected market segments. Bridge nodes like HSI are particularly important for vulnerability assessment because they can transmit stress across otherwise partially separated market communities, turning localized shocks into cross-class contagion.

At the asset-class level, the average out-degree reveals a clear transmission hierarchy: equity (9.6), crypto (8.8), macro (7.2), commodity (5.7). Equity indices lead the ranking, which is consistent with the depth, liquidity, and institutional following of major stock markets—price discovery in these benchmark indices occurs rapidly and diffuses outward to other asset classes. Notably, however, the cryptocurrency class ranks a close second, with an average out-degree nearly matching equities. This is a striking departure from earlier findings: Corbet et al. (2018) documented that crypto markets were largely isolated from traditional finance. Our results suggest that by the 2020–2025 period, digital assets have become deeply embedded in the global

information network, both receiving and broadcasting signals to traditional asset classes. Commodities, by contrast, occupy the lowest transmission tier, consistent with their role as receivers of macro and equity-driven demand signals rather than originators of cross-asset information. Taken together, this hierarchy also implies a vulnerability ordering in shock propagation: equity and crypto markets are the primary sources of system-wide spillover risk, whereas commodities are more often downstream recipients of stress transmitted from other classes.

Table 4. Directed Graph Centrality Metrics

Asset	C_{in}	C_{out}	Total	C_B	C_E	Class
EURUSD	18	7	25	0.1162	0.4013	Macro
HSI	16	8	24	0.1380	0.2916	Equity
SP500	9	14	23	0.1076	0.2707	Equity
KOSPI	19	4	23	0.0407	0.4075	Equity
FTSE100	9	13	22	0.0672	0.1484	Equity
Nikkei225	18	4	22	0.0342	0.3924	Equity
DAX	11	11	22	0.0706	0.1699	Equity
VIX	7	11	18	0.0293	0.2011	Macro
Silver	5	11	16	0.0163	0.1177	Commodity
NASDAQ	3	13	16	0.0179	0.0708	Equity
US10Y	7	7	14	0.0280	0.1544	Macro
Ethereum	3	11	14	0.0179	0.1080	Crypto
DXY	5	9	14	0.0100	0.1177	Macro
USDJPY	11	2	13	0.0141	0.2255	Macro
Oil_WTI	9	4	13	0.0141	0.2654	Commodity
Solana	2	10	12	0.0289	0.0509	Crypto
Copper	6	6	12	0.0011	0.1268	Commodity
Bitcoin	4	8	12	0.0093	0.0969	Crypto
BNB	4	7	11	0.0365	0.0804	Crypto
NatGas	6	5	11	0.0439	0.1787	Commodity
Gold	5	5	10	0.0015	0.1106	Commodity
XRP	2	8	10	0.0106	0.0180	Crypto
Wheat	2	3	5	0.0099	0.0269	Commodity

Note: The table is sorted in descending order by total degree ($C_{in} + C_{out}$).

Figure 3 decomposes the centrality structure into three bar charts. The in-degree panel reveals which assets are most responsive to external information—these are the assets whose returns are best predicted by the lagged returns of others. From a market efficiency perspective, a high in-degree suggests that an asset’s price discovery process is partially driven by signals originating

elsewhere, which may reflect slower information incorporation or structural dependence on upstream markets. At the same time, high in-degree implies greater exposure to incoming spillovers because the asset is influenced by a broader set of upstream signals (e.g., KOSPI and Nikkei225 rank among the highest in-degree nodes).

The out-degree panel identifies the system’s information leaders: assets whose past movements carry predictive power for many others. For portfolio managers, high out-degree assets serve as early-warning indicators—monitoring their price action can provide advance notice of movements in downstream assets. High out-degree also signals greater systemic impact: disturbances originating in these nodes have more downstream pathways through which they can spread (notably SP500 and NASDAQ in Figure 3).

The betweenness centrality panel identifies bridge assets that connect otherwise disparate market segments. These bridge nodes are critical from a systemic risk perspective: a shock to a high-betweenness asset can rapidly propagate across multiple asset classes by traversing these bridging pathways. Accordingly, high-betweenness nodes act as relay points between clusters; disruptions affecting them can transmit stress across market segments rather than remaining confined within a single class (e.g., HSI and EURUSD).

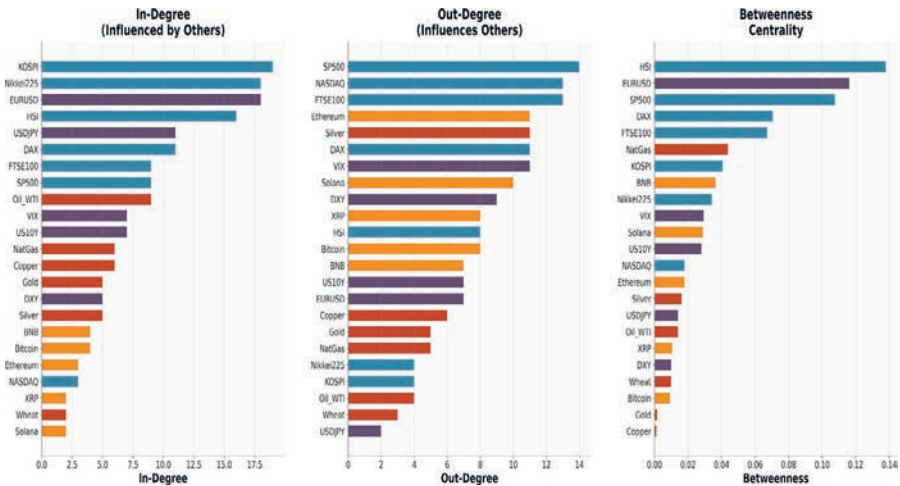


Figure 3. Centrality bar charts: in-degree (information receivers), out-degree (information transmitters), and betweenness centrality (bridge nodes).

Figure 4 presents the Granger causality heatmap, where the color intensity of cell (i, j) represents the statistical strength of the causal link from asset j (column) to asset i (row), measured as $-\log_1(p\text{-value})$. This visualization

provides a comprehensive view of the full 23×23 causality matrix (506 ordered pairs), with non-significant links appearing near zero intensity.

The bright hot spots along certain rows and columns correspond to the hub assets identified in the centrality analysis—their rows (as receivers) and columns (as transmitters) show consistently high values. The within-class clustering visible for equities and cryptocurrencies is consistent with stronger intra-class predictability, while the off-diagonal bright cells reveal the specific cross-class channels. The asymmetric nature of the heatmap—where cell (i, j) can be bright while cell (j, i) is dark—is the clearest visual demonstration that information flow is directional, justifying the use of Granger causality over symmetric correlation analysis.

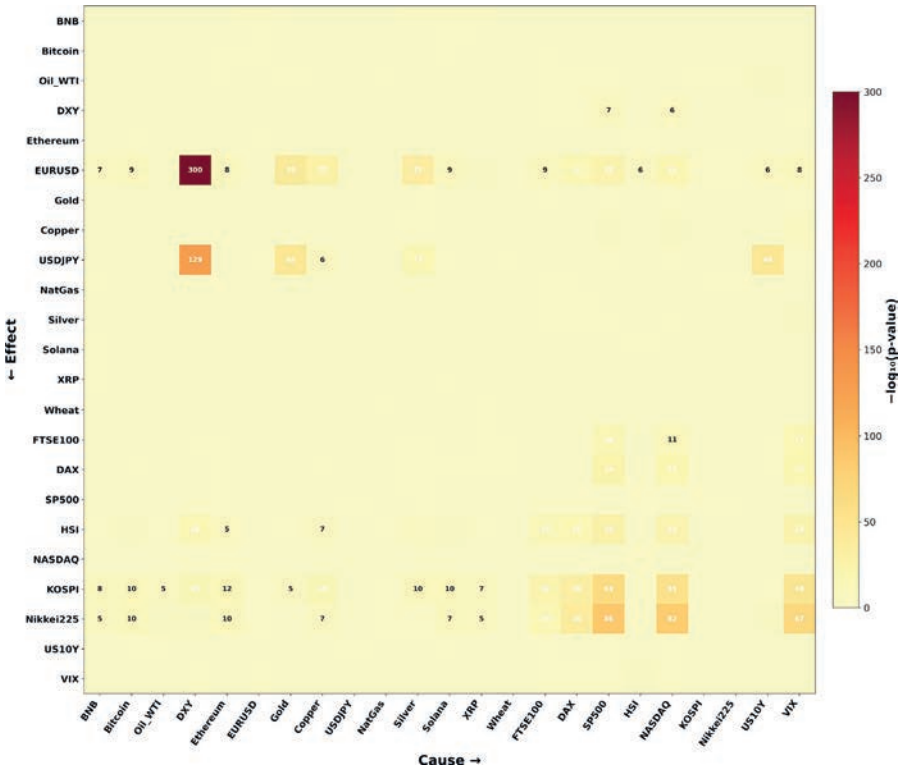


Figure 4. Granger causality significance heatmap. Cell $(i, j) = -\log_{10}(p\text{-value})$ for the test of whether asset j (column) Granger-causes asset i (row). Brighter = stronger evidence.

4.3. Rolling-Window Dynamics

The full-sample network provides a time-averaged picture, but financial markets are inherently non-stationary in their interconnectedness. The 2008 crisis, the COVID-19 pandemic, and the 2022 monetary tightening cycle all demonstrated that cross-asset correlations and spillovers surge during stress episodes—a phenomenon known as contagion. To capture this time-varying structure, we re-estimate the Granger causality network over a rolling window of 250 trading days, generating a time series of network density that reveals how the intensity of cross-asset information flow evolves across market regimes.

Figure 5 plots this rolling network density alongside the number of significant links. The density exhibits pronounced regime dependence, ranging from 0.144 during tranquil periods to 0.374 during stress episodes ($mean = 0.241, \sigma = 0.055$). The economic interpretation is clear: during calm markets, assets are driven primarily by their own idiosyncratic factors, and cross-asset predictability is limited. When uncertainty rises—whether from a pandemic, a monetary policy shock, or a major institutional failure—market participants engage in broad-based risk repricing, creating synchronized movements that manifest as new Granger causality links. The increases visible around the COVID-19 aftermath, the Fed rate hike cycle, and the FTX episode are consistent with this mechanism; however, the most pronounced spike occurs toward the end of the sample, when both density and the number of significant links jump sharply, indicating an abrupt tightening of cross-asset linkages.

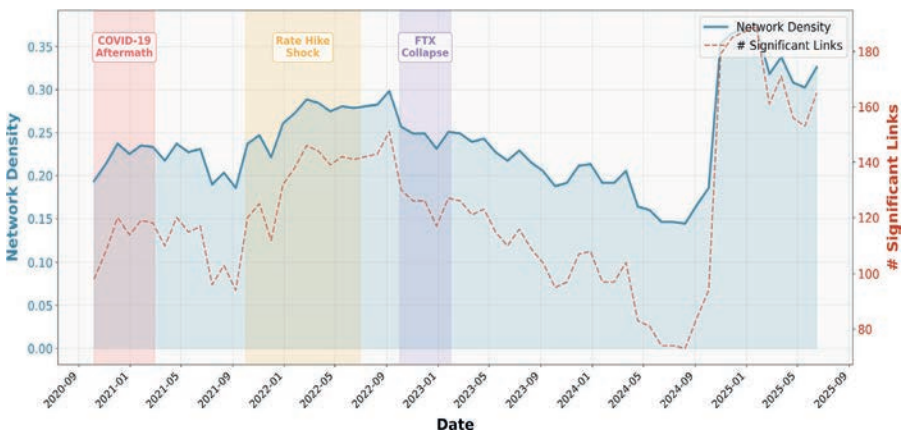


Figure 5. Rolling network density (250-day window, step = 20 days). Shaded regions: crisis periods.

Left axis: density. Right axis: number of significant Granger links.

While the aggregate density captures the system-wide intensity of spillovers, it does not reveal which specific assets are gaining or losing centrality over time. Figure 6 tracks the rolling in-degree centrality of eight key assets across the four asset classes. In-degree centrality at each window measures how many other assets Granger-cause a given asset—a high in-degree at a particular time indicates that the asset is temporarily receiving information from many sources, suggesting it is being swept up in broad market dynamics rather than moving on its own fundamentals. In practical terms, periods of elevated in-degree mark heightened exposure to incoming spillovers, since the asset is being influenced by a wider set of upstream signals. Several patterns are noteworthy. Equity in-degrees tend to spike together during stress episodes, reflecting the well-documented contagion channel among global stock markets. Bitcoin’s in-degree shows pronounced time variation—rising sharply during certain turbulent windows when the crypto market becomes more tightly linked to the broader financial system. Gold’s in-degree also exhibits episodic increases, consistent with its tendency to respond more strongly to system-wide repricing episodes.

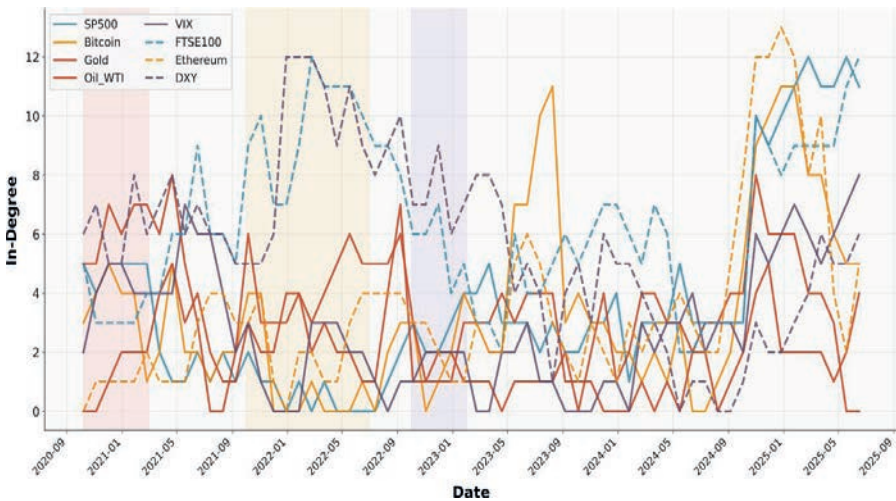


Figure 6. Rolling in-degree centrality (250-day window) for selected assets. Higher values indicate the asset is receiving more predictive signals from the rest of the network.

4.4. Sub-Period Network Comparison

To complement the rolling-window analysis with a more structured comparison, we partition the sample into four economically distinct regimes and estimate a separate Granger causality network for each. This approach sacrifices the continuity of the rolling framework but gains the ability to

compare network topologies side-by-side, revealing how the architecture of information flow—not just its intensity—changes across market environments.

Figure 7 displays the four sub-period networks. The visual contrast is striking. The Rate Hike Era (2022) network is the densest (density = 0.283), with arrows connecting many pairs of asset classes—consistent with a regime in which cross-asset linkages intensify and information spillovers become more widespread across markets. During such episodes, the usual fundamental drivers of individual asset classes can be overshadowed by common risk factors—aggregate risk aversion and global repricing—creating temporary but statistically significant Granger causality links even between economically unrelated assets. A denser sub-period network also implies higher system-wide vulnerability, since shocks have more active pathways through which they can propagate across asset classes.

The COVID-19 crash (April 2020 to June 2020) network is the sparsest (density = 0.134). An important methodological caveat applies here: this sub-period is the shortest window in our partition, containing substantially fewer observations than the other regimes. Since the Granger F-test requires sufficient data to detect lead-lag relationships, the lower density in this sub-period partly reflects reduced statistical power rather than genuinely weaker cross-asset linkages. Indeed, the rolling-window analysis in Section 4.3—which uses a consistent 250-day estimation window throughout—shows elevated density during the COVID aftermath, suggesting that the pandemic did intensify cross-asset spillovers as one would expect from a systemic shock. The sub-period results for the COVID window should therefore be interpreted with caution.

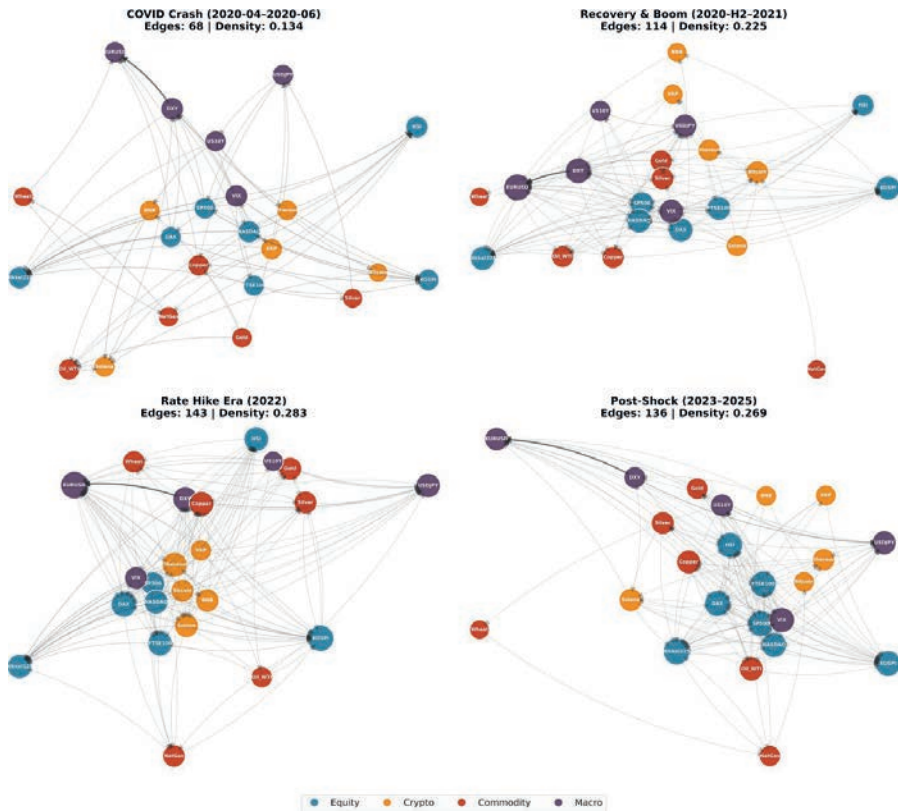


Figure 7. Sub-period Granger causality directed graphs (23 assets). Each panel shows the network for a distinct market regime. Node size: total degree. Arrow direction: cause \rightarrow effect.

Figure 8 provides a quantitative comparison across regimes. The left panel confirms the density pattern: the network is sparsest during the COVID-19 crash sub-period (0.134) and becomes substantially denser in the subsequent regimes, peaking in the Rate Hike Era (2022) at 0.283 and remaining elevated in the Post-Shock period (0.269). The right panel decomposes information transmission by asset class, revealing which classes drive these regime differences. The increase in connectedness is not uniform across classes. In the Rate Hike Era, cryptocurrencies exhibit the highest average out-degree, indicating that crypto markets play an unusually strong transmitter role in that regime, while equities remain influential across regimes and become the dominant transmitter class in the Post-Shock sample. Macro variables and commodities contribute more moderately and show less consistent dominance across regimes. Overall, the shifting class-level out-degree profile suggests time-varying cross-market integration, with implications for diversification:

when transmitter roles concentrate in equities or crypto and the network is denser, spillover channels multiply and system-wide vulnerability to contagion increases, raising the likelihood that shocks propagate across asset classes.

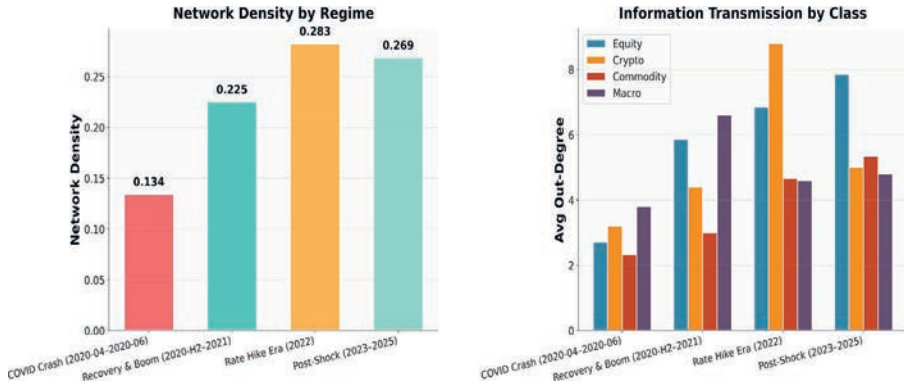


Figure 8. Left: Network density by regime. Right: Average out-degree by asset class across regimes. A higher out-degree indicates greater information transmission from the asset class.

5. Discussion and Implications

5.1. Implications for Portfolio Management

The regime-dependent nature of the network has direct and actionable implications for dynamic portfolio construction. During tranquil periods, the sparser network (density as low as 0.144) indicates that cross-asset predictability is limited, and assets are driven primarily by their own asset-specific (idiosyncratic) dynamics. In this regime, cross-class diversification is effective: a portfolio combining equities, crypto, commodities, and macro instruments benefits from low inter-class correlations and minimal spillover risk. However, during stress episodes, the sharp increase in density to 0.374 implies that diversification benefits erode precisely when they are most needed—a phenomenon known as “diversification meltdown” in the portfolio theory literature. The practical implication is that static asset allocation strategies that assume constant cross-asset relationships will systematically underestimate tail risk.

The centrality metrics suggest a monitoring strategy. Among the highest-degree nodes, SP500 (highest out-degree, 14) and HSI (highest betweenness, 0.138) are the most informative for anticipating broad market shifts, as their connectivity reflects genuine information transmission rather than

compositional artifacts (recall that EURUSD's high total degree partly reflects the DXY mechanical link, as discussed in Section 4.2). A portfolio manager who observes an unusual movement in a high-out-degree asset can anticipate—with a lag of 1 to 5 trading days—that downstream assets will respond. Similarly, the rolling density can be used as a dynamic allocation signal: when density exceeds its historical average, the manager can reduce cross-asset positions or increase hedging, anticipating that contagion risk is elevated.

5.2. Implications for Systemic Risk Monitoring

For regulators and central bankers, the rolling network density series can serve as a timely, operational barometer of systemic interconnectedness. The mean density of 0.241 with a standard deviation of 0.055 provides a natural threshold: when density exceeds 0.296 (one standard deviation above the mean), it signals elevated connectivity and contagion risk. Unlike market-based systemic risk measures such as CoVaR or SRISK, which require balance sheet data or high-frequency market microstructure data, the Granger causality density can be computed from publicly available daily price data alone, making it accessible to a broader range of regulators and market participants.

The identification of bridge nodes (high betweenness centrality) also has regulatory implications. These assets serve as conduits through which shocks propagate between otherwise weakly connected market segments. Monitoring bridge assets—and particularly tracking changes in their betweenness centrality over time—can help regulators identify emerging contagion pathways before they fully materialize.

5.3. Limitations and Future Research

Several limitations warrant acknowledgment and suggest directions for future research. First, the linear Granger causality test may miss nonlinear dependencies that are particularly relevant during market stress (Diks & Panchenko, 2006). Extending the framework to quantile Granger causality (Troster, 2018) would allow the detection of asymmetric tail-driven spillovers. Second, the rolling-window approach involves a fundamental trade-off between window length and regime detection precision: shorter windows improve temporal resolution but increase estimation noise. Regime-switching models could provide a more principled alternative. Third, intraday data would enable within-day transmission analysis, capturing the rapid information diffusion that occurs during market hours. Fourth, the inclusion of additional asset classes—such as real estate investment trusts (REITs), sovereign credit default swaps, or carbon emission allowances—could reveal additional transmission

channels. Fifth, the current framework treats all significant links equally at the binary level; future work could employ weighted network analysis to incorporate the strength of causality into the centrality computations. Sixth, the significance tests are conducted at a nominal 5% level without family-wise or false-discovery-rate correction (Benjamini & Hochberg, 1995). With 506 simultaneous tests, approximately 25 links may represent false discoveries; applying FDR control would yield a more conservative but potentially more robust network.

6. Conclusion

This chapter has demonstrated that graph-based Granger causality network analysis provides a powerful and transparent lens for understanding cross-asset information flow. The methodology proceeds through a rigorous pipeline: (i) stationarity verification through a triangulation strategy (ADF

+ KPSS + Zivot–Andrews) to ensure the validity of the Granger F-test, (ii) pairwise Granger causality testing across all 506 directed asset pairs, (iii) transformation of significant test results into a directed graph where each edge is directly traceable to a specific F-statistic, p-value, and optimal lag, and (iv) graph-theoretic characterization through degree, betweenness, and eigenvector centrality metrics.

Three principal findings emerge from the empirical analysis. First, EURUSD and HSI occupy the positions of highest total centrality (degrees of 25 and 24, respectively), confirming their roles as the primary hubs through which information flows across the 23-asset universe. This finding has direct implications for portfolio monitoring: monitoring highly central assets—especially strong transmitters (high out-degree) and bridge nodes (high betweenness)—provides early signals for movements in downstream assets. Second, network density is strongly regime-dependent, ranging from 0.144 during tranquil periods to 0.374 during market stress, with the rolling density series offering a real-time systemic risk indicator. The economic implication is that diversification benefits are time-varying and tend to erode precisely during the stress episodes when they are most needed. Third, the expanded 23-asset universe spanning four classes reveals cross-class transmission pathways—from monetary policy variables to commodities, from crypto to equities, and from equity benchmarks to emerging market indices—that smaller, single-class studies cannot detect in a time-varying manner across regimes.

The methodological contribution is equally important. By formalizing the four-step Granger-to-graph pipeline, this chapter provides a reproducible framework that can be applied to any set of time series—financial or

otherwise—where directional predictive relationships are of interest. The code accompanying this chapter is fully automated: a single execution produces the complete analysis from data download through Word document generation, ensuring that every number in this chapter is directly traceable to the underlying computations.

References

- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, *57*(1), 289–300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- Billio, M., Getmansky, M., Lo, A. W., & Pelizzon, L. (2012). Econometric measures of connectedness and systemic risk. *Journal of Financial Economics*, *104*(3), 535–559. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2011.12.010>
- Bonacich, P. (1987). Power and centrality: A family of measures. *American Journal of Sociology*, *92*(5), 1170–1182. <https://doi.org/10.1086/228631>
- Bouri, E., Cepni, O., Gabauer, D., & Gupta, R. (2021). Return connectedness across asset classes around COVID-19. *International Review of Financial Analysis*, *73*, 101646. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101646>
- Breitung, J., & Candelon, B. (2006). Testing for short- and long-run causality. *Journal of Econometrics*, *132*(2), 363–378. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.02.004>
- Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Exploring dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. *Economics Letters*, *165*, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.01.004>
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, *74*(366a), 427–431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2014). On the network topology of variance decompositions. *Journal of Econometrics*, *182*(1), 119–134. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2014.04.012>
- Diks, C., & Panchenko, V. (2006). A new statistic for nonparametric Granger causality testing. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *30*(9–10), 1647–1669. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2005.08.008>
- Eun, C. S., & Shim, S. (1989). International transmission of stock market movements. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, *24*(2), 241–256. <https://doi.org/10.2307/2330774>
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, *40*(1), 35–41. <https://doi.org/10.2307/3033543>
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks: Conceptual clarification. *Social Networks*, *1*(3), 215–239. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)
- Granger, C. W. J. (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. J., & 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)
- Hamao, Y., Masulis, R. W., & Ng, V. (1990). Correlations in price changes and volatility across international stock markets. *Review of Financial Studies*, 3(2), 281–307. <https://doi.org/10.1093/rfs/3.2.281>
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity. *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)
- Phillips, P. C. B. (1986). Understanding spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics*, 33(3), 311–340. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(86\)90001-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90001-1)
- Tang, K., & Xiong, W. (2012). Index investment and the financialization of commodities. *Financial Analysts Journal*, 68(6), 54–74. <https://doi.org/10.2469/faj.v68.n6.5>
- Troster, V. (2018). Testing for Granger-causality in quantiles. *Econometric Reviews*, 37(8), 850–866. <https://doi.org/10.1080/07474938.2016.1172400>
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>
- Zivot, E., & 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>

Çevresel Kirlilik ve Sağlık Harcamaları: MINT Ülkeleri İçin Bir Analiz

Dilek Alma Savaş¹

Özet

Sağlık harcamaları ile çevre kirliliği arasındaki ilişki günümüzde ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal refah ekseninde tartışılan önemli konulardan biridir. Nüfus artışı sanayileşme, hızlı kentleşme, artan enerji talebi ve doğal kaynakların yoğun kullanımı çevresel bozulmayı hızlandırırken; hava, su ve toprak kirliliğinden, iklim değişikliğinden ve biyoçeşitliliğin azalmasından kaynaklanan ekolojik yapıdaki bozulmalar insan sağlığı üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler yaratmaktadır. Bu çalışma çevre kirliliği, sağlık harcamaları ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi 2000-2023 döneminde MINT ülkeleri (Meksika, Endonezya, Nijerya ve Türkiye) bağlamında ampirik olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Ampirik bulgulara göre, kişi başına düşen GSYİH sağlık harcamalarını tüm kantillerde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı biçimde artırmakta ve bu etki üst kantillere doğru güçlenmektedir. Yük kapasite faktörü (YKF) ise sağlık harcamalarını tüm dağılım boyunca negatif ve anlamlı şekilde azaltmakta; bu azaltıcı etki alt kantillerde daha güçlü, üst kantillerde ise daha düşük düzeyde gerçekleşmektedir.

1. Giriş

Küresel ölçekte çevre kirliliğinin ve iklim değişikliğinin sağlık üzerindeki etkileri sıklıkla Dünya Sağlık Örgütü ve Birleşmiş Milletler tarafından vurgulanmaktadır. Günümüzde sağlık hizmetlerinin sunumu, sağlık sistemlerinin işleyişi ve sağlık harcamaları yalnızca bireylerin hizmetlere erişimi ve sistemin etkinliği çerçevesinde değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlikle olan karşılıklı ilişkisi bağlamında da ele alınmaktadır. Sağlık sistemlerinin kaynak kullanımı, atık üretimi, enerji tüketimi ve karbon salımı gibi unsurları çevresel sürdürülebilirliği doğrudan etkilediği gibi çevresel bozulmalar da kaliteli ve sağlıklı yaşamı etkilemektedir. Nitekim Birleşmiş Milletler tarafından kabul

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bitlis Eren Üniversitesi, dalma@beu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-6246-8539.

edilen ve acil çözüm gerektiren küresel sorunlara yönelik evrensel bir eylem çerçevesi sunan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, sürdürülebilir çevre ile sağlıklı ve kaliteli yaşam arasında güçlü bir bağ kurmaktadır. Zira, çevresel kaliteyi artırmak; toplumun eğitim ve sağlık yoluyla inşa ettiği beşerî sermaye birikimini korumanın ve geliştirmenin en etkili yollarından biridir (Graff Zivin & Neidell, 2013). Dolayısıyla sağlık ve kaliteli yaşam, çevresel değer ve ekonomik büyüme analizinde temel bir aracı niteliğindedir (Katrakilidis, vd. 2016).

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin küresel düzeyde önem kazanmasıyla birlikte; çevresel değerlerin korunmasına yönelik politikalar, özellikle 6., 7., 11., 12., 13., 14. ve 15. hedeflerle doğrudan çevresel sürdürülebilirliğe odaklanmaktadır. Bu hedefler, kirlilikle mücadele eden ekosistemlerin korunmasına, yenilenebilir enerji dönüşümünden iklim eylemine kadar uzanan çok boyutlu bir çerçeveyi kapsamaktadır (Alma Savaş, 2026). Literatürde son yıllarda çevresel bozulmanın/kirliliğin bir göstergesi olarak azot oksit emisyonları, karbondioksit (CO₂), kükürtdioksit (SO₂) emisyonları ve ekolojik ayak izi gibi parametrelerin yanı sıra çevresel kaliteyi daha bütüncül ve geniş kapsamlı bir değerlendirmeye imkân tanıyan yük kapasite faktörü (YKF) yer almaktadır (Xu, vd. 2022; Esenyel İçen, 2024). Biyokapasitenin (doğanın arz yönü) ekolojik ayak izine (doğanın talep yönü) oranıyla hesaplanan YKF için '1' değeri sürdürülebilirlik eşiğidir. Bu değer 1 veya üzerinde olması mevcut çevre koşullarının sürdürülebilirliğine; 1'in altında olması ise çevresel bozulmanın kabul edilemez bir seviyeye ulaştığını işaret etmektedir (Pata & Samour, 2022; Awosusi, vd. 2022).

Çalışmanın bir diğer dinamiği ve 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'nden biri olan 'Sağlıklı ve Kaliteli Yaşam (SKH 3)' sağlık alanında çok boyutlu bir dönüşümü amaçlamaktadır. Bu amaç; madde bağımlılığının önlenmesi ve tedavisi, trafik kazalarından kaynaklanan yaralanma ve ölümlerin azaltılması, küresel sağlık risklerine karşı erken uyarı sistemlerinin iyileştirilmesi, bulaşıcı olmayan hastalıklara bağlı ölümlerin azaltılması ve ruh sağlığının desteklenmesi, evrensel sağlık güvencesine ulaşmak gibi geniş bir politika alanını kapsamaktadır (UNDP, 2026). Bunun yanı sıra SKH 3, 2030 yılına kadar tehlikeli kimyasallardan ve hava, su ve toprak kirliliğinden kaynaklanan hastalık ve ölümlerin önemli ölçüde azaltılmasını da hedefleyerek (UNDP, 2026) çevresel risk faktörlerinin halk sağlığı üzerindeki etkin rolünü vurgulamaktadır.

Özellikle ince partikül madde (PM_{2.5}), sera gazı emisyonları ve endüstriyel atıklar gibi çevresel risk faktörleri; hava, toprak ve su kirliliğinden iklim değişikliğine, atık yönetiminden biyoçeşitlilik kaybına kadar çok yönlü ekolojik sorunlar insan sağlığını ve yaşam kalitesini doğrudan veya dolaylı olarak

etkilemektedir (Uslu & Demirtaş, 2025). Hava kirliliği; görme bozuklukları, solunum yolu rahatsızlıkları, kanser, kalp hastalıkları, inme, MS ve Parkinson gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olurken (Temiz Hava Hakkı Platformu, 2021) su kaynaklarının endüstriyel, tarımsal, evsel veya termal kaynaklı kirlenmesi; hepatit, kolera, ishal, tifo, cilt ve böbrek rahatsızlıkları gibi akut hastalıklara yol açmaktadır (Güler & Çobanoğlu, 1994; Shetty, vd. 2023). Öte yandan küresel ısınma ve iklim değişikliği; ısı dalgaları ve doğal afetler yoluyla doğrudan, su ve besin kaynaklı enfeksiyon hastalıkları yoluyla ise dolaylı olarak insan sağlığını etkilemektedir (Çeçen & Güvenç, 2022). Atık yönetimi yetersizliği ve kimyasal kirleticilere maruziyet ise; başta kanser ve nörolojik hastalıklar olmak üzere ciddi sağlık sorunlarına neden olmakta ve özellikle kırılgan gruplar üzerinde yüksek risk oluşturmaktadır (Uslu & Demirtaş, 2025). Nihai olarak, çevre kirliliğine maruziyet dünya genelinde kritik bir sağlık riski olarak kabul edilmektedir (Shetty, vd. 2023). Bu tablo, ulusal ve küresel sağlık politikalarında çevresel faktörlerin insan sağlığı üzerindeki belirleyici rolünü ön plana çıkarmaktadır (Badulescu, vd. 2019). Çevresel kirliliğin yol açtığı söz konusu bu sağlık sorunları sağlık hizmetlerine olan talebi ve dolayısıyla sağlık harcamalarını artırmaktadır (WHO, 2026). Bu durum, sağlık sistemlerinin mali sürdürülebilirliği üzerinde ek baskı oluşturmaktadır.

Sağlık harcamaları, bireylerin ve toplumun sağlığını korumak, kaybedilen sağlığı yeniden kazanmak ve mevcut sağlık durumunu geliştirmek amacıyla yapılan tüm (tedavi edici, koruyucu ve yatırım odaklı) harcamaların toplamını ifade etmektedir (Tunçsiper & Bakar, 2023). Küreselleşme, ekonomik büyüme (kişi başına GDP), çevresel kirlilik, yönetim, demografik değişimler, şehirleşme, teknolojik gelişmeler ve kurumsal tıbbi altyapı vb. unsurların etkileşimi sağlık harcamalarını şekillendirmektedir (Chen, vd., 2025; Boz & Kurnaz, 2025; Malinowski, 2024; Karasoy & Demirtaş, 2018; Tunçsiper & Bakar, 2023).

İlaveten sağlıklı bir toplumun temeli ve yaşam kalitesinin bir göstergesi olan sağlık harcamaları, bireysel bir konu olmanın ötesinde ulusal/uluslararası kalkınmanın stratejik unsurlarından biridir. Bu bağlamda, insan sağlığına yapılan her türlü harcama iş gücü verimliliğini artırarak üretim düzeyine doğrudan katkı sağlarken (Kapçak, 2025); çevre kirliliği gibi sağlığı tehdit eden unsurlar ise verimlilik kaybı yaratarak endüstriyel çıktıyı ve nihayetinde ekonomik büyümeyi olumsuz etkilemektedir (Narayan & Narayan, 2008). Söz konusu ilişki temelinde halk sağlığı ve harcamaları, bir ülkenin ekonomik refahı ve sürdürülebilir büyüme potansiyeli hakkında bilgi veren temel göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir (Kapçak, 2025). Bu bağlamda ekonomi literatürü hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için ekonomik büyüme, çevresel bozulma ve sağlık harcamaları arasındaki etkileşimin çok yönlü, karmaşık ve

önemli olduğunu vurgulamaktadır (Chaabouni & Saidi, 2017). Bu grift yapıdan hareketle yapılan bu çalışmada MINT ülkeleri bağlamında sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutu; sosyal (sağlık harcaması), çevre (yük kapasite faktörü) ve ekonomik (ekonomik büyüme) birlikte ele alınmaktadır. Bu çalışmanın hem MINT ülke grubu, çevresel göstere aracı olarak YKF' nin kullanımı ve verilerin 2000-2023 dönemine ilişkin olması hem de güncel bir yöntem olan Momentler Metodu Kantil Regresyon (MMQR) ile yapılmış olması çalışmaya özgün bir değer kazandırmaktadır. Çalışma giriş bölümünü takiben mevcut literatürün özetlenmesi; ardından kullanılan metodoloji ve elde edilen bulguların sunulması ve son olarak da çeşitli önerilerle neticelendirilmektedir.

2. Literatür

Çevre kirliliği, sağlık harcamaları ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki, son yıllarda sağlık ekonomisi ile çevre ekonomisi alanlarında önem kazanmış; farklı ülkeler ve bölgeler bağlamında tartışılan çok boyutlu bir araştırma alanı haline gelmiştir. Literatürde çevre kirliliği, ekonomik büyüme ve sağlık harcamalarını küresel bir ölçekte bütüncül bir perspektifle ele alan araştırmaların nispeten yeni ve sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmalar, yaygın olarak sağlık harcamaları, sera gazı emisyonları özellikle CO₂ emisyonları, ekonomik büyüme, kentleşme ve küreselleşme gibi değişkenler arasındaki etkileşimleri spesifik ülke grupları ve zaman dilimleri özelinde analiz etmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın bu bölümünde ilgili literatüre katkı sunan bazı çalışmalar kronolojik olarak sunulmaktadır.

Chaabouni ve Saidi (2017)'nin, 1995-2013 dönemini kapsayan ve 51 ülkeyi gelir düzeylerine göre inceledikleri çalışmada; CO₂ emisyonları, sağlık harcamaları ve ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişki analiz edilmiştir. Bulgular, üç değişken arasında nedenselliği işaret etmektedir. Ampirik sonuçlara göre, tüm gelir gruplarında CO₂ emisyonları ile kişi başına GSYİH; sağlık harcamaları ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir nedensellik olduğunu ayrıca düşük gelirli ülkeler dışındaki ülke gruplarında, CO₂ emisyonlarından sağlık harcamalarına doğru tek yönlü bir nedensellik tespit edilmiştir.

Khoshnevis Yazdi ve Khanalizadeh (2017), MENA bölgesindeki 11 ülkede çevresel kalitenin (CO₂, PM₁₀ emisyonlarının) ve ekonomik büyümenin sağlık harcamaları üzerindeki rolünü 1995-2014 dönemi kapsamında araştırmıştır. Araştırma sonucu; gelir ve çevresel kalitenin sağlık harcamaları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı pozitif etkisi olduğunu göstermektedir.

Zaidi ve Saidi (2018), 1990-2015 dönemi yıllık verilerini kullanarak Sahra Altı Afrika ülkelerinde sağlık harcamaları, çevre kirliliği (CO₂ emisyonları; azot oksit emisyonları) ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemiştir. ARDL

testinin sonuçları, ekonomik büyümenin sağlık harcamalarını artırdığını, ancak CO₂ ve azot oksit emisyonlarının uzun vadede sağlık harcamaları üzerinde negatif bir etkisi olduğunu göstermektedir. İlaveten VECM Granger nedensellik sonuçları, sağlık harcamalarından kişi başına GSYİH'ye tek yönlü; sağlık harcamaları ile CO₂ emisyonları arasında iki yönlü bir nedenselliği işaret etmektedir.

Usman vd. (2019)'ın, 13 gelişmekte olan ekonomide 1994-2017 dönemini kapsayan çalışmasında; çevre, büyüme, doğrudan yabancı yatırımlar, yaşlanan nüfus ve eğitimin sağlık harcamaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bulgular, hava kirliliğinin (CO₂ ve çevre endeksi) kamu sağlık harcamaları üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu, buna karşılık özel sağlık harcamalarını olumsuz etkilediğini göstermektedir. İlaveten; hava kirliliğinin, büyümenin, doğrudan yabancı yatırımların ve eğitimin hem kamu hem de özel sağlık harcamaları üzerinde tek yönlü bir nedenselliğe sahip olduğu saptanmıştır.

Badulescu vd. (2019), 2000-2014 dönemi AB ülkelerini kapsayan çalışmasında; ekonomik büyümenin, çevre kirliliğinin ve bulaşıcı olmayan hastalıkların sağlık harcamalarına etkisi araştırılmıştır. Bulgular, ekonomik büyümenin sağlık harcamalarını etkileyen temel belirleyici olduğunu ve CO₂ emisyonlarının sağlık harcamalarını kısa vadede negatif, uzun vadede pozitif etkilediğini göstermektedir.

Alimi vd. (2020), 1995-2014 döneminde ECOWAS ülkelerini kapsayan çalışmasında, çevre kalitesi ile sağlık harcamaları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Ampirik bulgular, çevre kirliliğinin kamu ve toplam sağlık harcamalarıyla anlamlı pozitif bir ilişkisinin olduğunu, özel sağlık harcamaları ile ise bir ilişkisinin bulunmadığını işaret etmektedir.

Değirmenci ve Yavuz (2021), 1990-2018 döneminde çevresel yükümlülük sahibi olan BM ülkelerinde hava kirliliği, ekonomik büyüme ve sağlık harcamaları arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar, hava kirliliğinden sağlık harcamalarına ve ekonomik büyümeye; ekonomik büyümeden ise sağlık harcamalarına doğru nedensellik ilişkisini göstermektedir.

Yang vd. (2021), 1995-2018 yılları arasında en yüksek sağlık harcamasına sahip 10 ülkede yaptıkları araştırmada, sanayileşme, büyüme ve küreselleşmenin ekolojik ayak izi ve sağlık harcamaları üzerindeki etkisini araştırmıştır. STIRPAT bulguları, sanayileşme, sağlık harcamaları ve ekonomik büyümenin kirliliği artırdığını; buna karşın küreselleşme ve kentleşmenin çevresel zararı azalttığını göstermektedir. Sağlık harcamaları; ekolojik ayak izi, kentleşme, sanayileşme ve büyüme ile artarken, küreselleşme ile düşüş göstermektedir. İlaveten nedensellik testi; sağlık harcamaları, kentleşme, sanayileşme ve ekolojik ayak izi arasında çift yönlü bir nedensellik olduğunu kanıtlamaktadır.

Nasreen (2021), 20 Asya ekonomisinde 1995-2017 döneminde sağlık harcamaları (kamu ve özel), büyüme ve çevre kirliliği ilişkisini incelemiştir. Bulgular; büyüme ve çevresel kirliliğin toplam sağlık harcamaları ile pozitif ilişkili olduğunu; Asya ekonomilerinde sağlık harcamaları ile büyüme arasında iki yönlü nedensellik ve çevre kirliliğinden sağlık harcamalarına doğru tek yönlü nedensellik olduğunu göstermektedir.

Ahmad vd. (2021), Çin'in 27 eyaletinde 1999-2018 yılları arasındaki sağlık harcamaları, arazi kentselmesi ve CO₂ emisyonları arasındaki dinamik bağlantıları araştırmıştır. Araştırma sonucunda, uzun vadede sağlık harcamalarının artması ile arazi kentselmesi arasında; CO₂ emisyonları ile sağlık harcamaları arasında da çift yönlü pozitif bir ilişki bulunduğu saptanmaktadır.

Bilgili vd. (2021), 1991-2017 dönemine ait 36 Asya ülkesinde kamu ve özel sağlık harcamaları, ekonomik büyüme ve çevre kirliliği arasındaki ilişkiyi ele almıştır. Asya için Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezinin doğrulandığı bu çalışmada, kamu ve özel sağlık harcamalarının CO₂ emisyonlarını azaltabileceği saptanmıştır. Ayrıca bulgular, sağlık harcamalarının kirliliği azaltıcı etkisinin, özellikle yüksek kirlilik seviyelerinde ortaya çıktığını vurgulamaktadır.

Konuk ve Eryer (2021), Türkiye'nin 1980-2019 dönemine ait sağlık harcamaları, çevre ve ekonomik büyüme ilişkisini ele almıştır. Analiz sonucuna göre; ekonomik büyümedeki ve çevresel sürdürülebilirliği temsil eden karbondioksit değişkenindeki artış sağlık harcamalarını artırmaktadır.

Han ve Adlı (2022), 1980-2017 dönemini kapsayan veriler ışığında, Türkiye'de ekonomik büyüme ve çevre kirliliğinin (karbon emisyonlarının) sağlık harcamaları üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Ampirik sonuçlara göre ekonomik büyüme sağlık harcamalarını arttırmakta ve karbon emisyonları sağlık harcamalarını düşük kantillerde arttırmakta ve orta yüksek kantillerde azaltmaktadır. İlavenen analiz sonuçlarıyla çevre kirliliğinden sağlık harcamalarına; sağlık harcamalarından ise ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedenselliğin varlığı kanıtlanmıştır.

Künü ve Levent (2023), seçilmiş AB üyesi ülkeleri için 2000-2019 dönemi verilerini kullanarak sağlık harcamaları, karbon emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisini araştırmıştır. Araştırmaya ilişkin modeller göstermektedir ki; ekonomik büyüme, ticari açıklık ve şehirleşmedeki artış, emisyon haddini azaltmakta; karbon emisyonları, enerji tüketimi ve ticari açıklık sağlık harcamaları üzerinde azaltıcı bir etkiye neden olmakta ve son olarak da hasıla artışı ve kentleşmedeki artış sağlık harcamalarını arttırmaktadır.

Taş vd. (2023), sera gazı salınımının ve kişi başı gelirin sağlık harcamaları üzerindeki etkisini seçilmiş 10 OECD ülkesi için 1995-2018 dönemine ait

verilerle analiz etmiştir. Analiz bulguları, kişi başı sağlık harcamaları, kişi başı gelir ve kişi başı karbondioksit emisyonu arasında uzun dönemli ilişkisinin olduğunu; kişi başı gelirin kişi başı sağlık harcamaları üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Budun (2024), D-8 ülkelerinin 2000-2020 dönemlerindeki sağlık harcamalarının, hava kirliliği ve büyüme üzerindeki etkisini incelemiştir. Yapılan analiz sonuçları; büyümedeki artışın, sağlık harcamaları üzerinde bir artışa sebep olduğunu; hava kirliliğindeki bir değişimin ise sağlık harcamaları üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Govdeli (2024), E7 ülkelerinin 2000-2018 dönemine ait verilerini kullandığı bu çalışmada; ekonomik büyüme, sağlık harcamaları, çevre kirliliği, brüt sabit sermaye oluşumu ve işgücü arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Analiz bulguları; sağlık harcamaları, çevre kirliliği, brüt sabit sermaye oluşumu ve işgücü değişkenlerinin esneklik katsayılarının pozitif ve anlamlı olduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca nedensellik analizleri; ekonomik büyümenin CO₂ emisyonlarına, CO₂ emisyonlarının da sağlık harcamalarına neden olduğunu göstermektedir.

Kapçak (2025), Türkiye’de 1980-2020 arası dönemi kapsayacak şekilde sağlık harcamaları ve ekonomik büyümenin çevre kirliliği (CO₂) üzerindeki etkisini araştırmıştır. Elde edilen bulgular uzun dönemde sağlık harcamaları ve ekonomik büyümenin çevre kirliliğini artırdığı, yenilenebilir enerji tüketimin çevre kirliliğini azalttığı yönündedir. Ayrıca çalışmada, çevre kirliliğinden ekonomik büyümeye, sağlık harcamalarından çevre kirliliğine, yenilenebilir enerji tüketiminden ekonomik büyümeye ve ekonomik büyümeden sağlık harcamalarına doğru tek yönlü bir nedenselliğin varlığı kanıtlanmıştır.

İslam ve Baida (2025), 2000-2022 dönemi verileri ve Körfez İşbirliği Konseyi (GCC) ülkelerinde çevresel kirlilik, ekonomik büyüme, yaşlanan nüfus ve eğitim düzeyi bağlamında sağlık harcamalarını etkileyen faktörleri araştırmıştır. Araştırma sonuçları, CO₂ emisyonlarının sağlık harcamalarını belirgin şekilde artırdığını, ekonomik büyümenin ise bu maliyetleri hafifletici bir rol oynadığını göstermektedir.

Akbulut Yıldız vd. (2025), 2000-2021 dönemi için Çin, Hindistan, Rusya, Japonya ve ABD’de çevresel inovasyon ve sağlık harcamalarının çevre kirliliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada çevre kirliliği göstergesi olarak YKE, çevresel inovasyonu temsilen ise çevreyi korumaya yönelik teknoloji patent sayıları kullanılmıştır. Araştırma sonucunda çevre kirliliğini, çevresel inovasyon ve kontrol değişken olan kişi başına GSYH artırırken sağlık harcamalarının ise azalttığı sonucuna varılmıştır. Panel nedensellik bulguları

ülkelere göre değişiklik göstermekte beraber; ABD için ekonomik büyüme ile çevre kirliliği arasında çift yönlü, çevre kirliliğinden çevresel inovasyona tek yönlü nedensellik; Çin içinse sağlık harcamaları ile çevre kirliliği arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur.

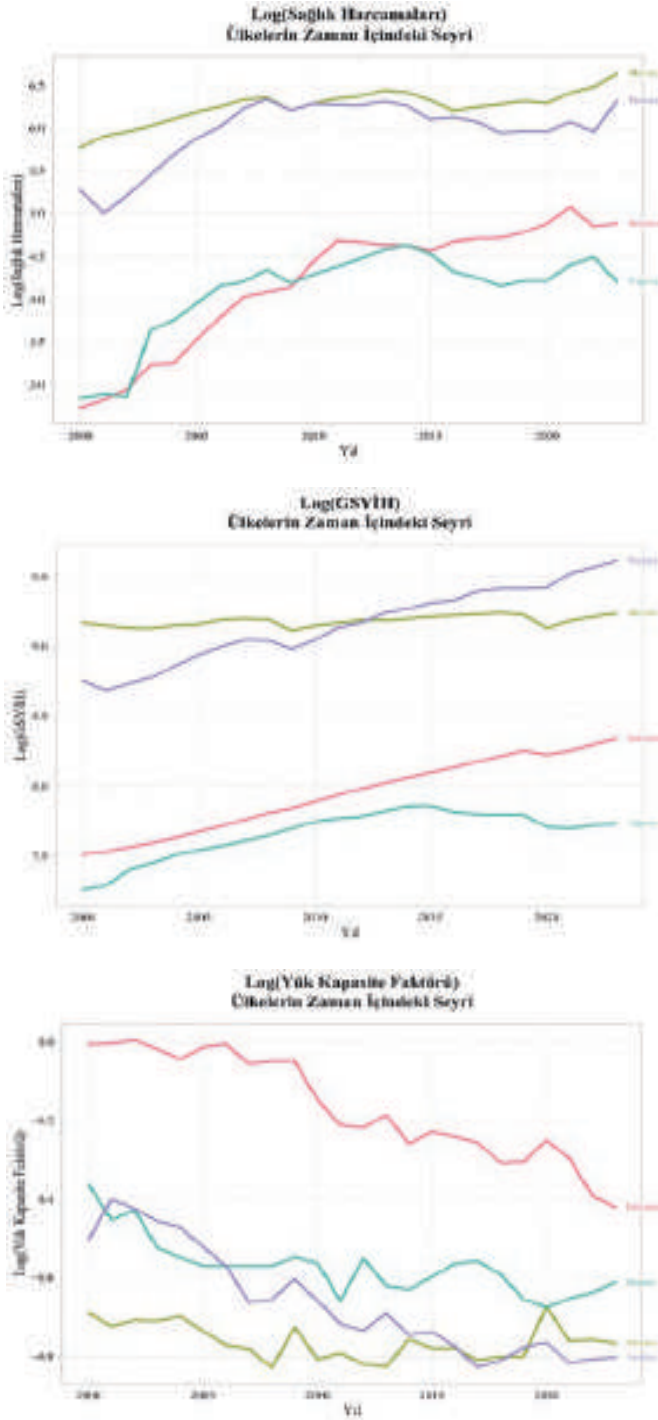
Eryer (2025), G-7 ülkelerinde 1992-2022 dönemine ait veri seti kullanılarak CO₂ emisyonunun ve ekonomik büyümenin doğuğa yaşam beklentisi, bebek ölüm hızı, sağlık harcamaları ve kaba ölüm hızı üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmaya ilişkin model, CO₂ emisyonunun ve ekonomik büyümenin sağlık harcamaları üzerinde etkisinin anlamlı olduğu ortaya koymaktadır.

Kumtepe ve Künu (2025), 2000-2021 dönemi için farklı gelir düzeyine sahip ülkelerde karbon emisyonlarının sağlık harcamalarını ne düzeyde etkilediğini analiz etmektedir. Ampirik bulgular, GSYİH, yaşam beklentisi ve karbon emisyonlarının sağlık harcamaları üzerinde pozitif ve anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermektedir; karbon emisyonlarının sağlık harcamaları üzerindeki etkisi yüksek gelirli ülkelerde daha belirgin, alt-orta gelirli ülkelerde ise daha sınırlı düzeydedir.

Yapılan bu çalışma, 2000-2023 dönemini kapsayan güncel veri setiyle yüksek büyüme potansiyeline sahip ancak çevresel riskleri yüksek olan MINT ülkeleri üzerine odaklanarak bu ülke grubunda yapılan sınırlı sayıdaki çalışmayı zenginleştirmekte; çevresel kirlilik göstergesi olarak yalnızca CO₂ ya da ekolojik ayak izi değil, biyokapasiteyi de kapsayan YKF kullanılarak daha bütüncül bir perspektifle literatürü katkı sunmaktadır.

3. Metodoloji ve Veri

Bu çalışma, 2000-2023 yılları arasında MINT ülkeleri bağlamında ekonomik büyüme ile çevresel bozulmanın sağlık harcamaları üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Araştırmanın ampirik analizinde üç temel gösterge kullanılmıştır. Analizde kişi başına düşen sağlık harcamaları (SH) ABD Doları olarak bağımlı değişkendir. Ekonomik büyümenin göstergesi olarak kişi başına düşen Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), 2015 sabit fiyatlarıyla ABD Doları olarak modele dahil edilmiştir. Veriler Dünya Bankası (World Bank;2023) Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI) veri tabanından temin edilmiştir. Öte yandan, çevresel sürdürülebilirlik göstergesi olarak analize dâhil edilen yük kapasite faktörü (YKF), Küresel Ayak İzi Ağı (Global Footprint Network;2025) veri tabanındaki biyokapasite ve ekolojik ayak izi endekslerinden türetilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm değişkenlerin doğal logaritması alınmıştır.



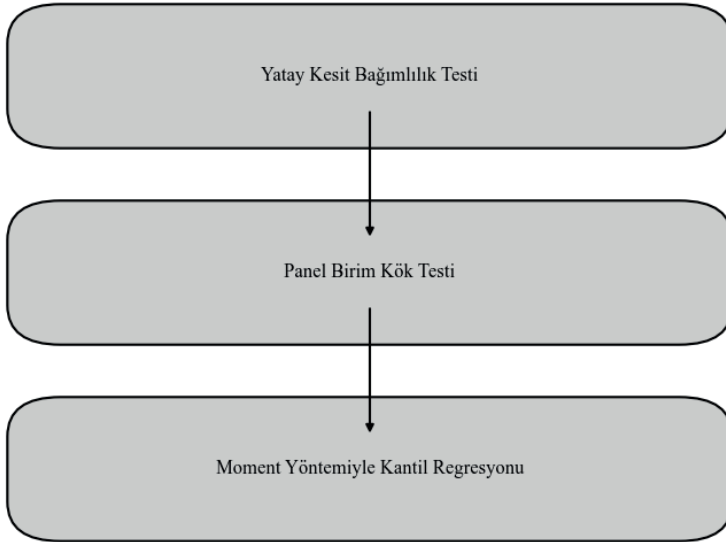
Şekil 1: Değişkenlerin zaman içerisindeki değişimi

Şekil 1 incelendiğinde, MINT ülkelerinde sağlık harcamalarının ve GSYİH'nin genel olarak artış eğiliminde olduğu, buna karşılık yük kapasite faktörünün daha dalgalı ve azalan bir seyir izlediği görülmektedir.

Tablo 1: Tanımlayıcı İstatistikler

	SH	GSYİH	YKF
Ortalama	5.122	8.48	-0.540
Ortanca	5.035	8.512	-0.608
Maksimum	6.634	9.611	0.004
Minimum	2.733	7.259	-0.828
Std. Hata	1.108	0.724	0.250
Gözlem Sayısı	96	96	96

Tablo 1'deki tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, SH, GSYİH ve YKF değişkenlerinin dağılım özellikleri genel olarak açık bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Tüm değişkenlerde ortalama ve medyanın birbirine yakın olması, dağılımların belirgin çarpıklık veya aşırı uç değerlerden büyük ölçüde arınmış olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, veriler genel olarak dengeli ve güvenilir bir yapıya sahip olup, ekonomik göstergeler açısından SH ve YKF değişkenleri farklı volatilité karakteristikleri sergilerken, GSYİH daha stabil bir davranış ortaya koymaktadır.



Şekil 2: Araştırmanın Yöntemsel Çerçevesi

Çalışmada kullanılacak yöntemsel çerçeve Şekil 2’de gösterilmiştir. Öncelikle serilerin yatay kesit bağımlılıkları belirlenmesi amaçlanmıştır ve böylelikle değişkenlerin yatay kesit bağımlılıkları belirlenecektir. Breusch-Pagan’ın (1980) LM testi, Pesaran’ın (2004) ölçekli LM testi, Baltagi vd. (2012) yanlışlığı düzeltilmiş ölçeklendirilmiş LM ve Pesaran’ın (2004) CD testleri kullanılmıştır. Sonrasında ise Pesaran (2007) tarafında geliştirilen CIPS testi ile serilerin birim kök dereceleri belirlenmiştir. Böylelikle serilerin seviyede mi yoksa ilk farkları alındıktan sonra mı durağan oldukları belirlenmektedir. Araştırmada kullanılan diğer bir adım ise Machado ve Silva (2019) tarafından geliştirilen Momentler Kantil Regresyon Yöntemi (MMQR)’dur. MMQR yöntemi ise moment tabanlı yapısı sayesinde hesaplama süreçlerini önemli ölçüde basitleştirmekte; özellikle doğrusal olmayan modellerde ve birden fazla içselleştirilmiş açıklayıcı değişkenin bulunduğu durumlarda belirgin pratik üstünlükler sağlamaktadır (Arsh vd., 2025). Dolayısıyla bu çalışma, MMQR tekniğini kullanarak hem geleneksel kantil regresyonun teorik avantajlarını korumakta hem de karmaşık veri yapıları ve model spesifikasyonlarında daha etkin ve güvenilir tahminler elde etmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, elde edilen ampirik bulguların istatistiksel güvenilirliğini ve dirençliliğini artırmak amacıyla model tahminlerinde 1000 yinelemeli bootstrap yöntemi uygulanmıştır.

4. Ampirik Bulgular

MINT ülkelerinde 2000-2023 yılları arasında ekonomik büyümenin ve çevresel bozulmanın sağlık harcamalarını nasıl etkilediğini inceleyen bu çalışmada, ilk olarak yatay kesit bağımlılık test sonuçları incelenmiştir.

Tablo 2: Yatay Kesit Bağımlılık Test Sonuçları

Değişkenler	BreuschPagan LM	Pesaran Ölçeklendirilmiş LM	Yanlışlığı Düzeltilmiş Ölçeklendirilmiş LM	Pesaran CD
SH	108.820***	29.681***	29.594***	10.422***
GSYİH	83.527***	22.380***	22.293***	8.981***
YKF	58.940***	15.282***	15.195***	7.339***

Tablo sonuçlarına göre, SH, GSYİH ve YKF değişkenlerinin tümünde Breusch-Pagan, Pesaran ölçeklendirilmiş, bias-düzeltilmeli ölçeklendirilmiş, Pesaran CD testleri anlamlı bulunmuştur. Bu durum, söz konusu değişkenlerde çapraz kesit bağımlılığı bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 3: Birim Kök Test Sonuçları

	Seviye	Fark
SH	-2.566	-3.322***
GSYİH	-0.973	-4.409***
YKF	-3.175***	-4.467***

Birim kök test sonuçları, incelenen değişkenlerin çoğunlukla düzeylerinde durağan olmadığını, ancak birinci farkları alındığında durağan hale geldiğini göstermektedir. SH ve GSYİH değişkenleri düzeylerinde birim kök içerirken, birinci farkları alındığında anlamlı biçimde durağanlaşmaktadır. YKF değişkeni ise seviyede durağandır ve birinci farkında da durağanlık özelliğini korumaktadır.

Tablo 4: MMQR Sonuçları

SH	Katsayı	Bootstrap Standart Hata	Z	Olasılık
<i>Location</i>				
GDP	1.271***	0.060	20.86	0.000
YKF	-0.784***	0.017	-4.58	0.000
Sabit	-6.086***	0.473	-12.84	0.000
<i>Scale</i>				
GDP	0.043	0.041	1.04	0.298
YKF	0.267**	0.124	2.14	0.032
Sabit	0.014	0.312	0.05	0.963
<i>Q_(0,1)</i>				
GDP	1.177***	.129	9.08	0.000
YKF	-1.365***	.369	-3.70	0.000
Sabit	-6.118***	1.006	-6.08	0.000
<i>Q_(0,2)</i>				
GDP	1.230***	.099	12.32	0.000
YKF	-1.033***	.283	-3.65	0.000
Sabit	-6.099***	.751	-8.12	0.000
<i>Q_(0,3)</i>				
GDP	1.260***	.077	16.19	0.000
YKF	-0.852***	.228	-3.73	0.000
Sabit	-6.089***	.582	-10.45	0.000
<i>Q_(0,4)</i>				

GDP	1.273***	0.061	20.76	0.000
YKF	-0.767***	0.181	-4.23	0.000
Sabit	-6.085***	0.466	-13.04	0.000
$Q_{(0.5)}$				
GDP	1.287***	0.052	24.69	0.000
YKF	-0.684***	0.149	-4.58	0.000
Sabit	-6.080***	0.406	-14.96	0.000
$Q_{(0.6)}$				
GDP	1.294***	0.045	28.22	0.000
YKF	-0.638***	0.129	-4.94	0.000
Sabit	-6.078***	0.365	-16.65	0.000
$Q_{(0.7)}$				
GDP	1.303***	0.042	30.64	0.000
YKF	-0.582***	0.118	-4.91	0.000
Sabit	-6.075***	0.338	-17.96	0.000
$Q_{(0.8)}$				
GDP	1.315***	0.041	32.05	0.000
YKF	-0.506***	0.122	-4.14	0.000
Sabit	-6.071***	0.317	-19.10	0.000
$Q_{(0.9)}$				
GDP	1.326***	0.043	30.20	0.000
YKF	-0.442***	0.132	-3.34	0.001
Sabit	-6.067***	0.322	-18.83	0.000

Tablo 4'te sunulan MMQR sonuçları, ekonomik büyüme ve YKF değişkenlerinin mekânsal performans, ölçek etkisi ve farklı sağlık harcaması dilimlerinde (Q_1 - Q_9) dağılım üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymaktadır. Mekânsal performans modelinde GDP katsayısı 1.271 olarak tahmin edilmiş ve %1 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu sonuç, ekonomik büyümenin mekânsal performansı güçlü bir şekilde artırdığını ve bu etkinin istikrarlı olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, YKF katsayısı (-0.784) negatif ve anlamlıdır, bu da yük kapasitesine faktörünün mekânsal performans üzerinde baskılayıcı bir etki yarattığını doğrulamaktadır. Ölçek etkisi modelinde GDP katsayısı anlamlı bulunmazken, YKF katsayısı 0.268 ile %5 düzeyinde anlamlıdır. Sağlık harcaması dilimlerine dayalı MMQR sonuçları, dağılım boyunca heterojen etkilerin net bir şekilde ortaya konmasını sağlamaktadır. GDP katsayıları tüm dilimlerde pozitif ve anlamlıdır, ancak katsayıların

büyüklüğü düşük sağlık harcaması dilimlerinden yüksek sağlık harcaması dilimlerine doğru kademeli olarak artmaktadır. Bu durum, Q1'de GDP katsayısı 1.177 iken, Q9'da 1.326'ya yükselmektedir. Bu durum, ekonomik büyümenin yüksek sağlık harcamalarının olduğu bölgelerde daha güçlü etkiler yarattığını ve sağlık harcamaları ile büyüme etkinin kuvveti arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, YKF katsayıları tüm dilimlerde negatif ve anlamlıdır, ancak etkiler sağlık harcamaları yükseldikçe görece olarak azalmaktadır ve Q1'de-1.366, Q9'da-0.442'dir. Bu, YKF'nin düşük sağlık harcaması olan bölgelerde performansı ciddi biçimde olumsuz etkilediğini, yüksek sağlık harcaması olan bölgelerde ise bu etkinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Sabit terimler tüm dilimlerde negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bootstrap standart hataları, katsayıların güvenilirliğini doğrulamaktadır ve Z-istatistikleri etkilerin hem büyüklüğü hem de anlamlılığı açısından güçlü kanıt sunmaktadır. Genel olarak, elde edilen bulgular GDP'nin istikrarlı ve pozitif etkisini, YKF'nin özellikle düşük sağlık harcaması olan dilimlerde olumsuz etkilerini ortaya koymaktadır.

5. Sonuç

Bu çalışma, MINT ülkelerinde 2000-2023 dönemi için ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlık harcamaları üzerindeki dağılımsal etkilerini incelemiştir. Elde edilen bulguların istatistiksel geçerliliğini ve dirençliliğini maksimize etmek için 1000 yinelemeli bootstrap tekniği ile desteklenmiştir. Ekonomik performansı temsil eden kişi başına düşen GSYİH'nın, sağlık harcamaları üzerinde tüm kantillerde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Dağılımın en alt seviyesinden en üst seviyesine doğru ilerledikçe, ekonomik büyümenin sağlık harcamalarını artırıcı etkisinin güçlendiği görülmektedir.

Çalışmanın temel araştırma problemini oluşturan çevresel sürdürülebilirlik boyutunda ise oldukça çarpıcı dağılımsal dinamikler keşfedilmiştir. YKF'nin, sağlık harcamaları üzerinde dağılımın tüm seviyelerinde negatif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığı saptanmıştır. Başka bir ifadeyle, yük kapasite faktöründeki iyileşmeler, çevresel bozulmanın yarattığı hastalık yükünü hafifleterek sağlık harcamalarını düşürücü bir işlev görmektedir. Ancak bu etki, harcama dağılımı boyunca homojen değildir; alt kantillerden üst kantillere doğru gidildikçe çevresel kalitedeki iyileşmelerin sağlık maliyetlerini düşürücü etkisi kademeli olarak zayıflamaktadır.

Sonuç olarak, MINT ülkeleri özelinde elde edilen bu ampirik bulgular, sağlık politikalarının tasarımında ekonomik ve çevresel dinamiklerin eş zamanlı olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle sağlık

bütçesinin kısıtlı olduğu dönemlerde veya bölgelerde, sağlık harcamalarının mali sürdürülebilirliğini sağlamanın en etkili yollarından biri çevresel sürdürülebilirliği artırmaktır. Karar alıcıların, artan sağlık maliyetlerini kontrol altında tutabilmek için salt tıbbi ve iktisadi politikalara odaklanmak yerine, biyokapasiteyi koruyan ve ekolojik ayak izini daraltan proaktif çevre politikalarını bütünleşik bir strateji olarak benimsemeleri elzemdir. Çevresel sürdürülebilirliğe yapılacak yatırımlar, uzun vadede yapısal bir koruyucu sağlık hizmeti işlevi görerek MINT ülkelerinin sağlık bütçeleri üzerindeki baskıları hafifletecektir. Nitekim karar alıcılara; yeşil teknolojilere yatırım yapılması ve uygulanması, kamu bilincinin artırılması ve çevresel sürdürülebilirlik verilerinin sağlık planlamasına entegre edilmesi, bölgesel iş birliklerinin geliştirilmesi, ekonomik büyümenin sağlık hizmetlerinde verimliliğe dönüştürülmesi, iklim değişikliğine karşı dirençli ve çevresel açıdan sürdürülebilir sağlık sistemlerinin oluşturulması ve sağlık harcamalarını optimize edecek eğitim programlarının yeniden yapılandırılması önerilmektedir.

Kaynakça

- Ahmad, M., Rehman, A., Shah, S. A. A., Solangi, Y. A., Chandio, A. A., & Jabeen, G. (2021). Stylized heterogeneous dynamic links among healthcare expenditures, land urbanization, and CO₂ emissions across economic development levels. *Science of the total environment*, 753, 142228.
- Akbulut Yıldız, G., Yıldız, B., Kanca, O. C., & Çınar, E. (2025). Çevresel inovasyon ve sağlık harcamalarının çevre kirliliği üzerindeki etkisi: Kantil panel yaklaşımı. *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 11(3), 231-250. <https://doi.org/10.30855/gjeb.2025.11.3.003>.
- Alimi, O.Y., Ajide, K.B. & Isola, W.A. (2020). Environmental quality and health expenditure in ECOWAS. *Environ Dev Sustain* 22, 5105–5127. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00416-2>.
- Alma Savaş, D. (2026). Çevresel vergilerin yük kapasite faktörü üzerindeki etkisi: İskandinav ülkeleri analizi, *Vergi Sorunları Dergisi*, Şubat 449, 128-146.
- Arsh, S., Liaqat, S. Batool, A. & Khan, I.H. (2025). The interplay of financial development, oil prices, and CO₂ emissions in shaping renewable energy consumption in emerging nations: An evidence from panel quantile regression. *Social Sciences & Humanity Research Review*, 3(4). <https://doi.org/10.63468/sshr.124>.
- Awosusi, A. A., Kutlay, K., Altuntaş, M., Khodjiev, B., Agyekum, E. B., Shouran, M., Elgbaily, M., & Kamel, S. (2022). A Roadmap toward achieving sustainable environment: Evaluating the impact of technological innovation and globalization on load capacity factor. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3288. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063288>.
- Badulescu, D., Simut, R., Badulescu, A., & Badulescu, A. V. (2019). The relative effects of economic growth, environmental pollution and non-communicable diseases on health expenditures in European Union countries. *International journal of environmental research and public health*, 16(24), 5115. <https://doi.org/10.3390/ijerph16245115>.
- Baltagi, B. H., Feng, Q. & Kao, C. (2012). A lagrange multiplier test for cross-sectional dependence in a fixed effects panel data model. *Journal of Econometrics*, 170(1), 164-177.
- Bilgili, F., Kuşkaya, S., Khan, M., Awan, A., & Türker, O. (2021). The roles of economic growth and health expenditure on CO₂ emissions in selected Asian countries: A quantile regression model approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(33), 44949-44972. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13639-6>.
- Boz, C., & Kurnaz, F. S. (2025). Economic and demographic influences on health expenditures: robust approaches for income and aging effects. *Health Economics Review*, 15(1), 95. <https://doi.org/10.1186/s13561-025-00631-w>.

- Breusch, T.S. & Pagan, A.R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253.
- Budun, F. (2024). Sağlık harcamalarının büyüme ve hava kirliliği üzerindeki etkisi: D-8 ülkelerinin analizi. *Journal of Economics and Political Sciences*(Türkiye), 4(2), 78-89. <https://izlik.org/JA44CD39LH>.
- Chaabouni, S., & Saidi, K. (2017). The dynamic links between carbon dioxide (CO₂) emissions, health spending and GDP growth: A case study for 51 countries. *Environmental Research*, 158, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.041>.
- Chen, K., Tao, Q., Ding, Z. & Fu, R. (2025). Study on the influencing factors of health expenditure growth in China from an environmental perspective. *Polish Journal of Environmental Studies*. <https://doi.org/10.15244/pjoes/203349>.
- Çeçen, Z., & Güvenç, F. (2022). İklim değişikliği ve küresel ısınmanın toplum sağlığı açısından değerlendirilmesi. *SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi*, 4(1), 14-25. <https://izlik.org/JA96CS45NK>.
- Değirmenci, T., & Yavuz, H. (2021). Emisyon azaltım sorumluluğu olan BM ülkelerinde hava kirliliği, sağlık harcamaları ve ekonomik büyüme ilişkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 16(3), 856-872. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.976646>.
- Eryer, A. (2025). G-7 ülkelerinde karbondioksit emisyonu ve ekonomik büyümenin sağlık değişkenleri üzerindeki etkisi: Panel veri analizi. *Artuklu Kaime*, 15, 1-20. <https://izlik.org/JA33FE97JK>.
- Esenyel İçen, NM (2024). Türkiye’de yük kapasite faktörünün belirleyicileri nelerdir? Genişletilmiş ARDL yaklaşımı. *Ekonomik Ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 20 (2), 299-312. <https://izlik.org/JA22CN29RC>.
- Global Footprint Network (GFN) (2025) Country Trends. Erişim adresi: <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=223&type=BCtot,EFCtot>. (Erişim tarihi:15.01.2026).
- Govdeli, T. (2024). The nexus between economic growth, health expenditure, environmental quality: A comparative study for E7 countries. *Reviews on Environmental Health*, 39(3), 551-560. <https://doi.org/10.1515/revh-2022-0246>.
- Güler, Ç., & Çobanoğlu, Z. (1994). Su kirliliği. *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, 12(1), 1-11.
- Graff Zivin, J., & Neidell, M. (2013). Environment, health, and human capital. *Journal of economic literature*, 51(3), 689-730.
- Han, V., & Adlı, F. (2022). Türkiye’de ekonomik büyüme ve çevre kirliliğinin sağlık harcamaları üzerine etkileri: Bir kantil regresyon analizi. *Üçüncü Sek-*

- tör *Sosyal Ekonomi Dergisi*, 57(2), 1425–1440. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.22.06.1795>.
- Islam, Md. S., & Baida, U. (2025). Determinants of health expenditure in GCC countries: Exploring environmental quality, economic growth and education dynamics. *Millennial Asia*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/09763996251391067>.
- Kapçak, S. (2025). Türkiye’de sağlık harcamaları ve ekonomik büyümenin çevre kirliliği üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27 (1), 139-150. <https://doi.org/10.32709/akusosbil.1267240>.
- Karasoy, A., & Demirtaş, G. (2018). Sağlık harcamalarının belirleyicileri üzerine bir uygulama: çevre kirliliği ve yönetişimin etkilerinin incelenmesi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 7(3), 1917-1939. <https://doi.org/10.15869/itobiad.449943>.
- Katrakilidis, C., Kyritsis, I., & Patsika, V. (2016). The dynamic linkages between economic growth, environmental quality and health in Greece. *Applied Economics Letters*, 23(3), 217–221. <https://doi.org/10.1080/13504851.2015.1066482>.
- Khoshnevis Yazdi, S., & Khanalizadeh, B. (2017). Air pollution, economic growth and health care expenditure. *Economic Research-Ekonomiska Istrazivanja*, 30(1), 1181–1190. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1314823>.
- Konuk, T. & Eryer, A. (2021). “Ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonunun sağlık harcamaları üzerine etkisi: Türkiye örneği”, *International Journal of Disciplines Economics & Administrative Sciences Studies*, (e-ISSN:2587-2168), Vol:7, Issue:30; pp:402-410.
- Kumtepe, N.N. & Künü, S. (2025). Karbon emisyonunun sağlık harcamalarına etkisi: Gelir gruplarına göre ülkeler için bir analiz. *Iğdır Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13, 1-10. <https://doi.org/10.58618/igdiruibf.1731900>.
- Künü, S., & Levent, C. (2023). Sağlık harcamaları, CO₂ emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi: seçilmiş AB ülkeleri örneği. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 9(1), 95-110. <https://doi.org/10.20979/ueyd.1202332>.
- Machado, J.A. & Silva, J.S. (2019). Quantiles via moments. *Journal of econometrics*, 213(1), 145-173. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2019.04.009>.
- Malinowski, P. (2024). Determinants of healthcare expenditure: a cross-sectional analysis at the country level. *Journal of Education, Health and Sport*, 70, 55541-55541. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2024.70.55541>.
- Narayan, P. K., & Narayan, S. (2008). Does environmental quality influence health expenditures? Empirical evidence from a panel of selected OECD countries. *Ecological economics*, 65(2), 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.005>.

- Nasreen, S. (2021). Association between health expenditures, economic growth and environmental pollution: Long-run and causality analysis from Asian economies. *The International journal of health planning and management*, 36(3), 925-944. <https://doi.org/10.1002/hpm.3132> .
- Pata, U. K., & Samour, A. (2022). Do renewable and nuclear energy enhance environmental quality in France? A new EKC approach with the load capacity factor. *Progress in Nuclear Energy*, 149, 104249. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104249>.
- Pesaran, M. (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. CESifo working paper series 1229.
- Pesaran, M.H. (2007). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of CrossSection Dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265–312.
- Shetty, S. S., Deepthi, D., Harshitha, S., Sonkusare, S., Naik, P. B., Kumari N.S. & Madhyastha, H. (2023). Environmental pollutants and their effects on human health. *Heliyon*, 9(9):e19496. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19496.
- Taş, S., Atılğan, D., & İspir, T. (2023). OECD ülkelerinde sera gazı salınımı ve sağlık harcamaları ilişkisi: yatay kesit bağımlılığı altında panel veri analizi. *Journal of Economics and Research*, 4(1), 48-60. <https://doi.org/10.53280/jer.1218749>.
- Temiz Hava Hakkı Platformu, (2021). Kara rapor, hava kirliliği ve sağlık etkileri. Erişim adresi: <https://temizhavahakki.org/wp-content/uploads/2021/09/KaraRapor2021.pdf>. (Erişim tarihi:20.02.2026).
- Tunçsiper, Ç., & Bakar, A. (2023). Sağlık ekonomisi çerçevesinde sağlık harcamaları: Türkiye örneği. *Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 20-28. <https://izlik.org/JA68ZR69SU>.
- UNDP. (2026). Good health and well-being. Erişim adresi: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals/good-health>. (Erişim tarihi:20.02.2026).
- Uslu, Y., & Demirtaş, M. (2025). Çevresel sürdürülebilirlik bağlamında sağlık yönetimi. *Şura Akademi*, 9, 55-65. <https://izlik.org/JA34XC68XW>.
- Usman, M., Ma, Z., Wasif Zafar, M., Haseeb, A., & Ashraf, R. U. (2019). Are air pollution, economic and non-economic factors associated with per capita health expenditures? Evidence from emerging economies. *International journal of environmental research and public health*, 16(11), 1967. <https://doi.org/10.3390/ijerph16111967>.
- WHO. (2026). Climate change. Erişim adresi: https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1. (Erişim tarihi:21.02.2026).
- World Bank. (2023). World Development Indicators. Erişim adresi: <https://databank.worldbank.org/home.aspx> (Erişim tarihi:15.01.2026).
- Xu, D. Salem, S. Awosusi, A.A., Abdurakhmanova, G., Altuntaş, M., Oluwajana, D., Kirikkaleli, D. & Ojekemi, O. (2022.) Load capacity factor and

financial globalization in Brazil: The role of renewable energy and urbanization. *Front. Environ. Sci.* 9:823185. doi: 10.3389/fenvs.2021.823185.

- Yang, B., Usman, M. & Jahanger, A. (2021). Do industrialization, economic growth and globalization processes influence the ecological footprint and healthcare expenditures? Fresh insights based on the STIRPAT model for countries with the highest healthcare expenditures. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 893-910.
- Zaidi, S., & Saidi, K. (2018). Environmental pollution, health expenditure and economic growth in the Sub-Saharan Africa countries: Panel ARDL approach. *Sustainable cities and society*, 41, 833-840.

Talep Esnekliği Temelli Firma Fiyatlama Davranışı: Akaryakıt Piyasasına Yönelik Mikro İktisadi Bir Uygulama

İbrahim Cevizli¹

Özet

Bu çalışmada, talep esnekliği temelli firma fiyatlama davranışı mikro iktisat teorisi çerçevesinde analitik ve ampirik olarak incelenmiştir. Mikro iktisat teorisine göre firmaların temel amacı kâr maksimizasyonudur ve bu amaç doğrultusunda firmalar fiyat ve üretim kararlarını marjinal analiz temelinde belirlemektedir. Eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren firmalar negatif eğimli bir talep eğrisi ile karşı karşıya olduklarından, fiyat ile marjinal maliyet arasında sistematik bir fark ortaya çıkmaktadır. Bu farkın temel belirleyicisi talep esnekliği olup, talebin daha inelastik olduğu durumlarda firmaların fiyatlarını marjinal maliyetin üzerinde belirleyebildikleri görülmektedir.

Çalışmada öncelikle marjinal gelir ile talep esnekliği arasındaki ilişki matematiksel olarak türetilmiş ve optimal fiyatlama kuralının talep esnekliği cinsinden ifade edilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca Lerner indeksi kullanılarak firma piyasa gücü ile talep esnekliği arasındaki ilişki analitik olarak ortaya konulmuştur. Sayısal simülasyon sonuçları, talep esnekliği azaldıkça markup oranının arttığını ve firmaların piyasa gücünün güçlendiğini göstermektedir.

Ampirik analiz kapsamında Türkiye akaryakıt piyasasına ait 2015–2025 dönemini kapsayan veriler kullanılmıştır. Brent petrol fiyatları, döviz kuru ve benzin fiyatları kullanılarak marjinal maliyet, markup oranı ve talep esnekliği tahmin edilmiştir. Bulgular, akaryakıt fiyatlarının sistematik olarak marjinal maliyetin üzerinde oluştuğunu ve talebin inelastik olduğunu göstermektedir. Ayrıca teorik model tarafından tahmin edilen fiyatlar ile gözlenen piyasa fiyatları arasında yüksek düzeyde uyum tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, talep esnekliği temelli optimal fiyatlama modelinin firma davranışını açıklamada güçlü bir analitik çerçeve sunduğunu göstermektedir.

1 Dr. Öğr. Üye., Yozgat Bozok Üniversitesi, ibrahim.cevizli@bozok.edu.tr,
ORCID: 0000-0002-1516-5081

1. Giriş

Firma fiyatlama davranışı, mikro iktisat teorisinin temel inceleme alanlarından birini oluşturmaktadır. Bu davranış piyasa yapısının işleyişini, kaynak tahsisini ve refah sonuçlarını doğrudan etkileyen kritik bir mekanizma olarak kabul edilmektedir. Geleneksel mikro iktisat yaklaşımında firmaların temel amacı kâr maksimizasyonu sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda firmaların üretim ve fiyat kararlarını marjinal analiz çerçevesinde aldığı değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, kâr maksimizasyonu marjinal gelirin marjinal maliyete eşitlenmesi ile sağlanmaktadır. Bu koşul, firma davranışının analitik temelini oluşturmaktadır (Varian, 2019). Ancak firmanın optimal fiyatlama kararında yalnızca maliyet koşullarının etkili olmadığı bununla birlikte tüketici talep yapısının ve özellikle talep esnekliğinin de belirleyici biçimde etkilediği mikro iktisadi açıdan önemini ortaya koymaktadır.

Talep esnekliği, tüketicilerin fiyat değişimlerine karşı gösterdikleri tepkinin nicel bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla talep esnekliği firmanın fiyat belirleme gücünün sınırlarını belirleyen temel parametrelerden biri olarak değerlendirilmektedir. Nitekim inelastik talep yapısı diğer bir ifade ile daha düşük talep esnekliği, firmalara maliyetlerinin üzerinde fiyat belirleme konusunda daha geniş bir hareket alanı sağlarken aynı zamanda piyasa gücünün ortaya çıkmasına da vesile olmaktadır. Bu ilişki, mikro iktisat teorisinde fiyat ile marjinal maliyet arasındaki farkın talep esnekliğinin ters fonksiyonu olduğunu gösteren analitik sonuçlarla ortaya konulmuştur (Nicholson & Snyder, 2017). Bu çerçevede, talep esnekliği ile firma fiyatlama davranışı arasındaki ilişki, yalnızca firma düzeyinde kâr maksimizasyonu açısından değil, aynı zamanda piyasa rekabetinin derecesi ve ekonomik etkinlik açısından da önem arz etmektedir.

Endüstriyel organizasyon literatürü, firmaların fiyatlama davranışlarını açıklarken piyasa yapısı, giriş engelleri, ürün farklılaştırması ve tüketici davranışları gibi unsurların yanı sıra talep esnekliğinin merkezi bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Özellikle eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren firmaların, karşılaştıkları talep eğrisinin eğimine bağlı olarak fiyatlarını marjinal maliyetin üzerinde belirleyebildikleri ve bu durumun firma için ekonomik rant oluşturduğu ifade edilmektedir (Tirole, 1988). Bu bağlamda, talep esnekliği yalnızca teorik bir kavram olmanın ötesinde, firmaların gerçek piyasalarda gözlenen fiyatlama davranışlarının anlaşılması açısından da temel bir analiz aracı niteliği taşımaktadır.

Talep esnekliği temelli fiyatlama davranışının gözlemlenebildiği önemli sektörlerden biri akaryakıt piyasasıdır. Akaryakıt ürünleri, modern ekonomilerde ulaşım, üretim ve lojistik faaliyetlerinin temel girdilerinden biri olup, bu

ürünlere yönelik talep kısa dönemde genellikle düşük esneklik göstermektedir. Tüketicilerin kısa vadede tüketim alışkanlıklarının değiştirmelerinin zor olması, alternatif enerji kaynaklarına erişimin sınırlı olması ve ulaşım altyapısının büyük ölçüde fosil yakıtlara bağımlı olması, akaryakıt talebinin görece inelastik bir yapıya sahip olmasına yol açmaktadır (Dahl, 2012). Bu durum, akaryakıt piyasasında faaliyet gösteren firmaların fiyatlama davranışlarının mikro iktisadi teori çerçevesinde analiz edilmesi açısından uygun bir ortam sağlamaktadır.

Akaryakıt piyasasında faaliyet gösteren firmalar, karşılaştıkları talep koşullarını ve maliyet yapılarını dikkate alarak fiyat belirlemede ve bu süreçte talep esnekliği firma fiyatlama stratejisinin önemli bir bileşeni haline gelmektedir. Talebin inelastik olduğu durumlarda, firmaların marjinal maliyetin üzerinde fiyat belirleyebilme kapasitesi artmakta ve bu durum piyasa gücünün ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, talep esnekliği ile fiyatlama davranışı arasındaki ilişkinin analitik olarak ortaya konulması hem firma davranışının anlaşılması hem de piyasa sonuçlarının değerlendirilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır (Pindyck, 2018).

Kitabın bu bölümünde, talep esnekliği ile firma fiyatlama davranışı arasındaki ilişki mikro iktisat teorisi çerçevesinde analitik olarak incelenmiş ve elde edilen teorik sonuçlar akaryakıt piyasasına yönelik bir uygulama ile somutlaştırılmıştır. Bu doğrultuda, öncelikle firma kâr maksimizasyonu problemi ele alınarak marjinal gelir ve talep esnekliği arasındaki ilişki matematiksel olarak türetilmiş, ardından optimal fiyatlama kuralı analitik olarak ortaya konulmuştur. Daha sonra, talep esnekliği ile fiyat, marjinal maliyet ve firma markup düzeyi arasındaki ilişki analiz edilerek, bu teorik çerçevenin akaryakıt piyasasına yönelik uygulaması gerçekleştirilmiştir. Böylelikle talep esnekliği temelli fiyatlama modelinin mikro iktisadi temellerini sistematik biçimde ortaya koyarak modelin akaryakıt piyasasına yönelik analitik bir uygulamasını sunup teorik çerçeve ile gerçek piyasa davranışı arasındaki bağlantıyı güçlendirerek literatüre katkı sunulmuştur. Bu yönüyle hem mikro iktisat teorisinin temel sonuçlarının anlaşılmasına katkı sağlamışken aynı zamanda talep esnekliği ile firma fiyatlama davranışı arasındaki ilişkinin uygulamalı bir perspektiften değerlendirilmesine olanak tanımıştır.

2. Teorik Çerçeve: Firma Kâr Maksimizasyonu Modeli

Mikro iktisat teorisinde firmanın temel amacı genellikle kâr maksimizasyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım, firmaların üretim ve fiyat kararlarını, toplam gelir ile toplam maliyet arasındaki farkı en büyük hale getirecek şekilde belirlediklerini varsaymaktadır. Firma davranışının bu şekilde modellenmesi hem rekabetçi hem de eksik rekabet koşullarında firma kararlarının analitik

olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır (Jehle, 2001). Bu çerçevede firmanın kâr fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\pi = TR - TC$$

Burada,

π : firmanın kârını,

TR : toplam geliri,

TC : toplam maliyeti,

Q : üretim miktarını göstermektedir.

Toplam gelir, firmanın sattığı ürün miktarı ile bu ürünün piyasa fiyatının çarpımı olarak tanımlanmaktadır. Ancak eksik rekabet koşullarında fiyat, üretim miktarına bağlı bir değişken olup ters talep fonksiyonu aracılığıyla ifade edilmektedir. Bu durumda toplam gelir fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılmaktadır:

$$TR = P \times Q$$

Burada P , üretim miktarına bağlı olan ters talep fonksiyonunu temsil etmektedir. Bu yaklaşım, özellikle monopol veya eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren firmaların fiyat belirleyici konumda olduğu durumlarda geçerlidir (Perloff, 2020).

Bu durumda firmanın kâr fonksiyonu şu şekilde yeniden yazılabilmektedir:

$$\pi = [P \times Q] - C$$

Firmanın optimal üretim düzeyini belirlemek için kâr fonksiyonunun üretim miktarına göre birinci türevi alınmaktadır:

$$\frac{d\pi}{dQ} = \frac{d[P \times Q]}{dQ} - \frac{dC}{dQ}$$

Çarpım kuralı kullanılarak toplam gelirin türevi alındığında:

$$\frac{d[P \times Q]}{dQ} = P + Q \frac{dP}{dQ}$$

Firmanın marjinal gelirini (MR) ortaya çıkmaktadır. Marjinal gelir, üretimde meydana gelen bir birimlik artışın toplam gelir üzerindeki etkisini ifade etmektedir (Varian, 2019).

Dolayısıyla marjinal gelir şu şekilde tanımlanabilir:

$$MR = P + Q \frac{dP}{dQ}$$

Benzer şekilde toplam maliyet fonksiyonunun türevi, marjinal maliyeti (MC) vermektedir:

$$MC = \frac{dC}{dQ}$$

Bu durumda kâr maksimizasyonunun birinci derece koşulu aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$MR = MC$$

Bu sonuç, mikro iktisat teorisinin en temel ve en önemli sonuçlarından biridir. Bu koşul, firmanın üretim düzeyini marjinal gelirin marjinal maliyete eşit olduğu noktada belirlediğini göstermektedir. Eğer marjinal gelir marjinal maliyetten büyükse, firma üretimi artırarak kârını artırabilir. Buna karşılık, marjinal gelir marjinal maliyetten küçükse, üretimin azaltılması kârı artıracaktır (Mas-Colell, Whinston, & Green, 1995).

Bu çerçevede, firmanın fiyatlama davranışı doğrudan marjinal gelir fonksiyonu ile ilişkilidir. Ancak eksik rekabet koşullarında marjinal gelir, fiyat ile aynı değildir. Bunun nedeni, firmanın üretimi artırdığında yalnızca ek birimlerin değil, aynı zamanda mevcut tüm birimlerin satış fiyatının da etkilenmesidir. Bu durum, marjinal gelirin fiyatın altında gerçekleşmesine neden olmaktadır. Başka bir ifadeyle, eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren firmalar negatif eğimli bir talep eğrisi ile karşı karşıya oldukları için, üretim artışı fiyatın düşmesine yol açmakta ve bu durum marjinal gelirin fiyatın altında kalmasına neden olmaktadır (Kreps, 2013).

Bu sonuç, firma fiyatlama davranışının yalnızca maliyet yapısına bağlı olmadığını, aynı zamanda talep fonksiyonunun yapısı tarafından da belirlendiğini göstermektedir. Özellikle talep fonksiyonunun eğimi ve talep esnekliği, marjinal gelir düzeyini ve dolayısıyla firmanın optimal fiyatlama kararını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, firmanın optimal fiyatlama kararının tam olarak anlaşılabilmesi için marjinal gelir ile talep esnekliği arasındaki ilişkinin analitik olarak incelenmesi gerekmektedir.

Bu bölümde ortaya konulan kâr maksimizasyonu modeli, firmanın fiyatlama davranışının teorik temelini oluşturmaktadır. Bir sonraki bölümde, marjinal gelir ile talep esnekliği arasındaki ilişki matematiksel olarak türetilecek ve talep esnekliği temelli optimal fiyatlama kuralı analitik olarak elde edilecektir.

3. Marjinal Gelir ve Talep Esnekliği Arasındaki İlişkinin Matematiksel Türetilmesi

Firma fiyatlama davranışının analitik olarak anlaşılabilmesi için marjinal gelir ile talep esnekliği arasındaki ilişkinin açık biçimde ortaya konulması gerekmektedir. Mikro iktisat teorisinde, eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren bir firmanın karşılaştığı talep eğrisi negatif eğimlidir ve bu durum firmanın fiyat belirleme gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede firmanın marjinal geliri, yalnızca fiyat düzeyine değil, aynı zamanda talep eğrisinin eğimine ve talep esnekliğine bağlı olarak belirlenmektedir (Gravelle & Rees, 2004).

Marjinal gelir bir önceki bölümde aşağıdaki şekilde elde edilmişti:

$$MR = P + Q \frac{dP}{dQ}$$

Nitekim bu ifade, eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren bir firmanın marjinal gelir fonksiyonunun genel formunu göstermektedir. Ancak bu ifadenin talep esnekliği ile ilişkilendirilebilmesi için talep esnekliği tanımının kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda fiyat değişimlerine karşı talep miktarında meydana gelen oransal değişimi gösteren talep esnekliği şu şekilde tanımlanmaktadır (Frank & Cartwright, 2010):

$$E_d = \frac{dQ}{dP} \cdot \frac{P}{Q}$$

Bu ifade yeniden düzenlenerek şu şekle dönüştürebilmektedir:

$$\frac{dQ}{dP} = E_d \cdot \frac{Q}{P}$$

Bu ifadenin tersinin alınması durumunda:

$$\frac{dP}{dQ} = \frac{P}{E_d \cdot Q}$$

Elde edilen sonuç fiyatın üretim miktarına göre türevinin talep esnekliği ile nasıl ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu ifade, marjinal gelir fonksiyonuna yerleştirildiğinde ise şu sonuç elde edilmektedir:

$$MR = P + Q \left(\frac{P}{E_d \cdot Q} \right)$$

Sadeleştirildiğinde:

$$MR = P + \frac{P}{E_d}$$

Ortak paranteze alındığında da:

$$MR = P \left(1 + \frac{1}{E_d} \right)$$

Elde edilen sonuç, mikro iktisat teorisinin firma fiyatlama davranışına ilişkin en önemli analitik sonuçlarından birisini oluşturmaktadır. Bu ifade, marjinal gelirin yalnızca fiyat düzeyine değil, aynı zamanda talep esnekliğine de bağlı olduğunu ifade etmektedir (Cowell, 2006).

Bu sonuç ekonomik açıdan önemli çıkarımlar sağlamaktadır. Öncelikle, talep esnekliği mutlak değer olarak sonsuza yaklaştığında, yani talep tamamen elastik hale geldiğinde, marjinal gelir fiyat düzeyine eşit olmaktadır:

$$\lim_{E_d \rightarrow -\infty} MR = P$$

Bu durum, tam rekabet koşullarını temsil etmektedir. Tam rekabet piyasasında firmalar fiyat alıcı konumunda oldukları için bu noktada marjinal gelir fiyat düzeyine eşit olmaktadır (Mankiw, 2021).

Buna karşılık, talep esnekliği mutlak değer olarak azaldığında, diğer bir ifadeyle talep daha inelastik hale geldiğinde, marjinal gelir fiyatın altında kalmaktadır. Bu durum, firmanın fiyat belirleme gücüne sahip olduğunu ve fiyatı marjinal maliyetin üzerinde belirleyebileceğini göstermektedir. Özellikle

talep esnekliğinin mutlak değerinin bire eşit olduğu noktada marjinal gelir sıfıra eşit olmaktadır:

$$MR = 0 \quad E_d = -1$$

Bu sonuç, toplam gelirin maksimum olduğu noktayı ifade etmektedir. Talep esnekliğinin mutlak değerinin birden küçük olduğu bölgede ise marjinal gelir negatif olmakta ve bu bölgede üretim artışı firmanın toplam gelirini azaltmaktadır (Gravelle & Rees, 2004).

Elde edilen bu analitik sonuç, firmanın optimal fiyatlama kararının talep esnekliği ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Firma, karşılaştığı talebin esnekliğine bağlı olarak fiyatını belirlemekte ve bu süreçte talep esnekliği, firmanın fiyatlama gücünü belirleyen temel faktörlerden biri haline gelmektedir. Bu nedenle, talep esnekliği ile marjinal maliyet arasındaki ilişkinin birlikte analiz edilmesi, firmanın optimal fiyatlama kuralının elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Bir sonraki bölümde, kâr maksimizasyonu koşulu olan marjinal gelirin marjinal maliyete eşitlenmesi ilkesi kullanılarak talep esnekliği temelli optimal fiyatlama kuralı analitik olarak türetilecektir.

4. Talep Esnekliği Temelli Optimal Fiyatlama Kuralının Elde Edilmesi

Bir önceki bölümde, eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren bir firmanın marjinal gelir fonksiyonunun talep esnekliği cinsinden şu şekilde ifade edilebileceği gösterilmişti:

$$MR = P \left(1 + \frac{1}{E_d} \right)$$

Bu ifade, firmanın marjinal gelirin yalnızca fiyat düzeyine değil, aynı zamanda talep esnekliğine de bağlı olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Firma fiyatlama davranışının analitik olarak belirlenebilmesi için bu ifadenin firmanın kâr maksimizasyonu koşulu ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Mikro iktisat teorisine göre, kâr maksimizasyonu koşulu marjinal gelirin marjinal maliyete eşitlenmesi ile sağlanmaktadır (Carlton & Perloff, 2015).

$$MR = MC$$

Marjinal gelir ifadesi bu eşitlikte yerine konulduğunda şu sonuç elde edilmektedir:

$$P \left(1 + \frac{1}{E_d} \right) = MC$$

Her iki taraf $\left(1 + \frac{1}{E_d} \right)$ ifadesine bölüldüğünde firmanın optimal fiyatlama kuralına ulaşılmaktadır.

$$P = \frac{MC}{1 + \frac{1}{E_d}}$$

Bu ifade, talep esnekliği temelli optimal fiyatlama kuralını göstermektedir. Bu sonuç, eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren bir firmanın fiyatını yalnızca marjinal maliyetine göre değil, aynı zamanda karşılaştığı talebin esnekliğine bağlı olarak belirlediğini göstermektedir. Bu fiyatlama kuralı, firmanın fiyat ile marjinal maliyet arasındaki farkın doğrudan talep esnekliğine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır (Pepall, Richards, & Norman, 2014).

Bu sonuç ekonomik açıdan önemli çıkarımlar sağlamaktadır. Öncelikle, talep esnekliğinin mutlak değeri arttıkça, diğer bir ifadeyle talep daha elastik hale geldikçe, optimal fiyat marjinal maliyete yaklaşmaktadır. Bu durum şu şekilde gösterilebilir:

$$\lim_{E_d \rightarrow -\infty} P = MC$$

Bu sonuç, tam rekabet piyasasının temel özelliklerinden biri ile uyumludur. Tam rekabet koşullarında firmalar fiyat alıcı konumunda oldukları için fiyat marjinal maliyete eşittir (Besanko & Braeutigam, 2020).

Buna karşılık, talep esnekliğinin mutlak değeri azaldıkça, yani talep daha inelastik hale geldikçe, firmanın optimal fiyatı marjinal maliyetin üzerine çıkmaktadır. Bu durum firmanın piyasa gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Talep esnekliğinin düşük olduğu piyasalarda tüketicilerin fiyat değişimlerine duyarlılığı sınırlı olduğu için firmalar maliyetlerinin üzerinde fiyat belirleyebilmektedir.

Optimal fiyatlama kuralı alternatif bir biçimde yeniden düzenlenerek fiyat ile marjinal maliyet arasındaki fark daha açık biçimde ifade edilebilir. Başlangıçta elde edilen eşitlik:

$$P \left(1 + \frac{1}{E_d} \right) = MC$$

şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$P - MC = -\frac{P}{E_d}$$

Her iki taraf P 'ye bölüldüğünde:

$$\frac{P - MC}{P} = -\frac{1}{E_d}$$

Bu ifade, mikro iktisat literatüründe Lerner indeksi olarak bilinmektedir. Lerner indeksi, firmanın piyasa gücünün bir ölçüsü olup, fiyat ile marjinal maliyet arasındaki oransal farkı göstermektedir (Lerner, 1934). Bu indeks, firmanın fiyat belirleme gücünün talep esnekliğinin ters fonksiyonu olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır.

Bu sonuç, talep esnekliğinin firma fiyatlama davranışının belirlenmesinde merkezi bir rol oynadığını göstermektedir. Talebin tamamen elastik olduğu durumda, firmanın fiyat belirleme gücü ortadan kalkmakta ve fiyat marjinal maliyete eşit olmaktadır. Buna karşılık, talep esnekliği azaldıkça, firmanın piyasa gücü artmakta ve fiyat marjinal maliyetin üzerinde belirlenmektedir.

Bu çerçevede elde edilen optimal fiyatlama kuralı, eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren firmaların fiyatlama davranışını açıklayan temel analitik araçlardan biri olarak kabul edilmektedir. Bu model, firmanın karşılaştığı talep koşulları ile maliyet yapısı arasındaki ilişkinin fiyatlama kararları üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu nedenle, talep esnekliği temelli fiyatlama modeli hem mikro iktisat teorisinde hem de endüstriyel organizasyon literatüründe merkezi bir konuma sahiptir (Church & Ware, 2000).

Bir sonraki bölümde, talep esnekliği ile firma fiyatlama gücü arasındaki ilişkinin daha ayrıntılı biçimde analiz edilmesi amacıyla esneklik, fiyat ve markup düzeyi arasındaki ilişki analitik ve sayısal olarak incelenecektir. Bu analiz, modelin akaryakıt piyasasına yönelik uygulamasının teorik temelini oluşturacaktır.

5. Talep Esnekliği, Piyasa Gücü ve Markup İlişkisinin Analitik ve Sayısal Analizi

Bir önceki bölümde türetilen optimal fiyatlama kuralı,

$$P = \frac{MC}{1 + \frac{1}{E_d}}$$

ve buna eşdeğer olarak elde edilen Lerner indeksi,

$$\frac{P - MC}{P} = -\frac{1}{E_d}$$

firma fiyatlama davranışı ile talep esnekliği arasındaki doğrudan ilişkiyi ortaya koymaktadır. Bu eşitlikler, firmanın fiyat ile marjinal maliyet arasındaki farkının doğrudan talep esnekliği tarafından belirlendiğini göstermektedir. Bu bağlamda talep esnekliği, firmanın piyasa gücünün temel belirleyicilerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Talep esnekliği negatif olduğu için $E_d < 0$ koşulu geçerlidir. Bu durumda optimal fiyat eşitliğinin paydasındaki ifade aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir:

$$1 + \frac{1}{E_d} = 1 - \frac{1}{|E_d|}$$

Bu ifade, talep esnekliğinin mutlak değeri azaldıkça, diğer bir ifadeyle talep daha inelastik hale geldikçe, paydanın küçüldüğünü ve buna bağlı olarak optimal fiyatın arttığını göstermektedir. Buna karşılık, talep esnekliğinin mutlak değeri arttıkça, yani talep daha elastik hale geldikçe, optimal fiyat marjinal maliyete yaklaşmaktadır. Talebin tamamen elastik olduğu durumda fiyat marjinal maliyete eşit olmaktadır. Bu sonuç, tam rekabet piyasasının temel özelliklerinden biri ile uyumludur.

Bu ilişki Lerner indeksi aracılığıyla daha açık biçimde ifade edilmektedir:

$$L = \frac{P - MC}{P} = -\frac{1}{E_d}$$

Bu ifade, markup oranının doğrudan talep esnekliğinin ters fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Talep esnekliğinin mutlak değeri arttıkça markup

oranı azalmakta, talep esnekliğinin mutlak değeri azaldıkça ise markup oranı artmaktadır. Bu sonuç, rekabet düzeyi ile firma piyasa gücü arasındaki ilişkinin analitik temelini oluşturmaktadır (Cowling & Waterson, 1976).

Talep esnekliğinin fiyat ve markup üzerindeki etkisini daha açık biçimde gösterebilmek amacıyla sabit marjinal maliyet varsayımı altında sayısal bir simülasyon yapılmıştır. Bu analizde marjinal maliyetin sabit ve 40 birim olduğu varsayılmıştır ($MC = 40$). Farklı talep esnekliği değerleri altında optimal fiyat ve markup oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

Senaryo 1: Talep esnekliği düşük ($Ed = -0.3$)

$$P = \frac{40}{1 + \frac{1}{-0.3}} = 80$$

Markup oranı:

$$\frac{80 - 40}{80} = 0.50$$

Bu durumda firma maliyetinin %50 üzerinde fiyat belirlemektedir.

Senaryo 2: Talep esnekliği artmaktadır ($Ed = -0.5$)

$$P = 60$$

Markup oranı:

$$\frac{60 - 40}{60} = 0.33$$

Talep esnekliği arttıkça markup oranının azaldığı görölmektedir.

Senaryo 3: Birim esneklik durumu ($Ed = -1$)

$$P = 40$$

Markup oranı:

$$0$$

Bu durumda firma fiyatı marjinal maliyete eşitilemekte ve piyasa gücü ortadan kalkmaktadır.

Senaryo 4: Talep daha elastik hale gelmektedir ($Ed = -2$)

$$P = 26.67$$

Bu durumda fiyat marjinal maliyete yaklaşmakta ve firmanın piyasa gücü önemli ölçüde azalmaktadır.

Bu senaryolar, talep esnekliği ile firma fiyatlama davranışı arasındaki ters yönlü ilişkiyi açık biçimde ortaya koymaktadır. Talep daha inelastik hale geldikçe firmaların fiyatlarını marjinal maliyetin üzerinde belirleme kapasitesi artmakta, buna karşılık talep daha elastik hale geldikçe fiyat marjinal maliyete yaklaşmaktadır.

Bu sonuçlar, talep esnekliğinin firma piyasa gücünün temel belirleyicilerinden biri olduğunu göstermektedir. Özellikle akaryakıt piyasası gibi kısa dönemde talep esnekliğinin düşük olduğu sektörlerde, firmaların maliyetlerinin üzerinde fiyat belirleyebilme kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmektedir. Nitekim ampirik çalışmalar akaryakıt talebinin kısa dönemde görece düşük esnekliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Hughes, Knittel, & Sperling, 2008).

Bu bağlamda elde edilen analitik ve sayısal bulgular, talep esnekliği temelli optimal fiyatlama modelinin firma fiyatlama davranışını açıklamada güçlü bir teorik temel sunduğunu göstermektedir. Bir sonraki bölümde, bu teorik çerçeve Türkiye akaryakıt piyasasına ait gerçek veriler kullanılarak ampirik olarak test edilecektir.

6. Akaryakıt Piyasasına Yönelik Mikro İktisadi Uygulama: Türkiye Örneği (2015–2025)

Akaryakıt piyasası, enerji sektörünün önemli bir bileşeni olup hem üretim hem de tüketim faaliyetleri açısından stratejik öneme sahiptir. Türkiye’de akaryakıt fiyatları, uluslararası ham petrol fiyatları, döviz kuru, rafineri maliyetleri ve vergiler gibi çeşitli bileşenlerin birleşimi ile belirlenmektedir. Bu nedenle, akaryakıt fiyatlarının oluşumu mikro iktisadi fiyatlama teorisinin analiz edilmesi açısından uygun bir uygulama alanı sunmaktadır (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu [EPDK], 2024).

Türkiye akaryakıt piyasasında nihai tüketici fiyatı genel olarak şu bileşenlerden oluşmaktadır:

$$P_t = MC_t + Vergiler_t + Dağıtım ve Perakende Marjı_t$$

$$P_t = MC_t + T_t + M_t$$

Bir varil petrolün 159 litre olduğu dikkate alındığında ham petrolün litre başına maliyeti ise şu şekilde hesaplanmaktadır. Bu hesaplama, rafineri maliyetlerinin temel bileşenini temsil etmektedir (International Energy Agency [IEA], 2023).

$$MC_t = \frac{Brent_t \times Kur_t}{159}$$

Modelin akaryakıt piyasasına uygulanması ise aşağıdaki formül ile gerçekleştirilmiştir.

$$Markup_t = \frac{P_t - MC_t}{P_t}$$

$$E_{d,t} = -\frac{1}{Markup_t}$$

Bu yaklaşım, Türkiye akaryakıt piyasasında firma fiyatlama davranışının mikro iktisadi teori çerçevesinde ampirik olarak analiz edilmesine olanak sağlamaktadır.

Böylelikle uygulama, mikro iktisat teorisinin temel sonuçlarından biri olan esneklik temelli fiyatlama modelinin gerçek piyasa verileri kullanılarak test edilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle akaryakıt piyasası gibi kısa dönemde düşük talep esnekliğine sahip sektörlerde, firmaların maliyetlerinin üzerinde fiyat belirleyebilme kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Bu analiz, talep esnekliği ile firma fiyatlama davranışı arasındaki teorik ilişkinin ampirik olarak doğrulanmasına katkı sağlamaktadır. Bir sonraki bölümde, 2015–2025 dönemine ait gerçek veriler kullanılarak oluşturulan veri seti üzerinden ampirik sonuçlar detaylı biçimde analiz edilecektir.

7. Türkiye Akaryakıt Piyasası Veri Seti ve Ampirik Bulgular (2015–2025)

Çalışmada kullanılan benzin fiyat serisi, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından yayımlanan yıllık ortalama fiyat aralıkları ve piyasa verileri temel alınarak kalibre edilmiş temsili yıllık ortalama değerlerden oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, mikro iktisadi modelin ampirik uygulanabilirliğini göstermek amacıyla kullanılan standart simülasyon-temelli ampirik uygulama yöntemlerinden biridir.

Bu bağlamda, enerji ekonomisi literatüründe yaygın olarak kullanılan maliyet tahmini yönteminden hareketle marjinal maliyet aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$MC_t = \frac{Brent_t \times Kur_t}{159}$$

(1 varil = 159 litre)

Bu hesaplamada kullanılan Brent petrol fiyatları uluslararası enerji veri tabanlarından, döviz kuru verileri ise Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemi'nden (EVDS) elde edilmiştir.

Bu bağlamda, Türkiye akaryakıt piyasasına ilişkin 2015–2025 dönemini kapsayan Brent petrol fiyatları, yıllık ortalama benzin fiyatları, hesaplanan marjinal maliyet ve buna bağlı olarak elde edilen markup oranları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Türkiye Akaryakıt Piyasasında Brent Petrol Fiyatı, Benzin Fiyatı, Marjinal Maliyet ve Markup Oranı (2015–2025)

Yıl	Brent (\$/varil)	Benzin fiyatı (TL/L)	MC (TL/L)	Markup
2015	52.32	4.50	1.00	0.78
2016	43.67	4.80	1.05	0.78
2017	54.25	5.60	1.35	0.76
2018	71.34	6.80	2.15	0.68
2019	64.21	7.10	2.20	0.69
2020	41.96	7.25	1.95	0.73
2021	70.68	9.50	3.95	0.58
2022	100.93	21.50	10.20	0.53
2023	82.49	34.50	13.50	0.61
2024	80.52	39.50	15.20	0.62
2025	69.14	44.50	16.30	0.63

Kaynak: U.S. Energy Information Administration (2024), Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2024), Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (2024), Macrotrends (2025) ve yazarın hesaplamaları.

Tablo 1'de yer alan markup oranı, fiyat ile marjinal maliyet arasındaki farkın fiyat düzeyine oranlanması yoluyla hesaplanmıştır. Böylelikle akaryakıt piyasasında fiyat, maliyet ve piyasa gücü arasındaki ilişkinin zaman içindeki gelişimini analiz etmek amaçlanmıştır.

Firmanın fiyat belirleme gücünün temel göstergelerinden birisini oluşturan talep esnekliği, Lerner indeksi kullanılarak ampirik olarak tahmin edilebilmektedir. Bu bağlamda Lerner indeksi şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\frac{P - MC}{P} = -\frac{1}{E_d}$$

Bu ifade yeniden düzenlendiğinde talep esnekliği aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$E_d = -\frac{1}{\text{Markup}}$$

Elde edilen bu talep esnekliği formülü doğrultusunda Tablo 1’de sunulmuş olan markup değerleri kullanılarak 2015–2025 döneminin tamamı için talep esnekliği tahmin edilmiştir. Hesaplanan talep esnekliği değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Türkiye Akaryakıt Piyasasında Markup Oranı ve Talep Esnekliği Tahminleri (2015–2025)

Yıl	Markup	Talep Esnekliği (Ed)
2015	0.78	-1.28
2016	0.78	-1.28
2017	0.76	-1.32
2018	0.68	-1.47
2019	0.69	-1.45
2020	0.73	-1.37
2021	0.58	-1.72
2022	0.53	-1.89
2023	0.61	-1.64
2024	0.62	-1.61
2025	0.63	-1.59

Kaynak: U.S. Energy Information Administration (2024), Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2024), Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (2024) ve yazarın hesaplamaları.

Tablo 2’de sunulan talep esnekliği tahminleri, Türkiye akaryakıt piyasasında talebin incelenen dönem boyunca genel olarak inelastik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Talep esnekliği değerlerinin mutlak değer olarak 1 ile 2 arasında değiştiği görülmektedir. Bu durum, akaryakıt talebinin fiyat değişimlerine karşı sınırlı duyarlılık gösterdiğini ve tüketicilerin kısa dönemde tüketim davranışlarını önemli ölçüde değiştiremediklerini göstermektedir.

Bu bulgu, mikro iktisat teorisinin öngörülleri ile tutarlılık göstermektedir. Nitekim talep esnekliğinin düşük olması, firmaların fiyatlarını marjinal maliyetin üzerinde belirleyebilmelerine olanak sağlamaktadır. Tablo 1 ve Tablo 2 birlikte değerlendirildiğinde, incelenen dönem boyunca akaryakıt

piyasasında fiyatların sistematik olarak marjinal maliyetin üzerinde oluştuğu ve firmaların pozitif markup elde ettikleri görülmektedir.

Bu sonuçlar, Türkiye akaryakıt piyasasında firmaların belirli ölçüde piyasa gücüne sahip olduğunu ve fiyatlama davranışlarının talep esnekliği temelli optimal fiyatlama modeli ile tutarlı olduğunu göstermektedir.

8. Türkiye Akaryakıt Piyasasında Optimal Fiyatlama Modelinin Ampirik Testi (2015–2025)

Önceki bölümlerde türetilen optimal fiyatlama kuralı, eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren bir firmanın fiyatlama kararının marjinal maliyet ve talep esnekliği tarafından birlikte belirlendiğini göstermektedir. Mikro iktisat teorisine göre, firmanın karşılaştığı talep eğrisinin eğimi, firmanın fiyat belirleme gücünü doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla bu durum optimal fiyatlama kararının yalnızca maliyet koşullarına göre değil, aynı zamanda talep yapısına da bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda bahse konu bu ilişki matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$P_t = \frac{MC_t}{1 + \frac{1}{E_{d,t}}}$$

Bu eşitlik, firmanın optimal fiyatının marjinal maliyet ile talep esnekliğinin bir fonksiyonu olduğunu ortaya koymaktadır. Talep esnekliğinin düşük olduğu durumlarda, firmanın fiyatını marjinal maliyetin üzerinde belirleyebilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu sonuç, eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren firmaların piyasa gücüne sahip olduklarını ve fiyatlama davranışlarının talep yapısından doğrudan etkilendiğini göstermektedir (Jeffrey, 2008).

Bu modelin ampirik geçerliliğini değerlendirmek amacıyla, Türkiye akaryakıt piyasasında gözlenen gerçek fiyatlar ile model tarafından öngörülen teorik optimal fiyatlar karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, önceki bölümde hesaplanan marjinal maliyet ve talep esnekliği değerleri kullanılarak teorik optimal fiyat düzeyleri hesaplanmıştır. Talep esnekliği, Lerner indeksi kullanılarak markup oranlarından aşağıdaki eşitlik yardımıyla elde edilmiştir:

$$E_{d,t} = -\frac{1}{Markup_t}$$

Bu değerler kullanılarak teorik optimal fiyat aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmaktadır:

$$P_t^* = \frac{MC_t}{1 + \frac{1}{E_{d,t}}}$$

Burada P_t^* , talep esnekliği temelli optimal fiyatlama modelinin öngördüğü teorik fiyat düzeyini temsil etmektedir. Model tarafından tahmin edilen teorik fiyatlar ile gözlenen piyasa fiyatlarının karşılaştırılması Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Türkiye Akaryakıt Piyasasında Gerçek ve Teorik Optimal Fiyatların Karşılaştırılması (2015–2025)

Yıl	Gerçek fiyat	MC	Esneklik	Teorik fiyat
2015	4.50	1.00	-1.28	4.55
2016	4.80	1.05	-1.28	4.77
2017	5.60	1.35	-1.32	5.49
2018	6.80	2.15	-1.47	6.77
2019	7.10	2.20	-1.45	7.04
2020	7.25	1.95	-1.37	7.29
2021	9.50	3.95	-1.72	9.43
2022	21.50	10.20	-1.89	21.53
2023	34.50	13.50	-1.64	34.29
2024	39.50	15.20	-1.61	39.33
2025	44.50	16.30	-1.59	44.38

Kaynak: U.S. Energy Information Administration (2024), Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2024), Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (2024) ve yazarın hesaplamaları.

Tablo 3'te sunulan sonuçlar, model tarafından tahmin edilen teorik fiyatların gözlenen piyasa fiyatları ile oldukça yüksek düzeyde uyumlu olduğunu göstermektedir. Örneğin, 2023 yılı için gözlenen benzin fiyatı 34,50 TL/litre iken, model tarafından tahmin edilen teorik optimal fiyat 34,29 TL/litre olarak hesaplanmıştır. Bu durumda görelî hata oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Hata = \frac{34.50 - 34.29}{34.50} = 0.006$$

Bu sonuç, model tarafından tahmin edilen fiyat ile gözlenen fiyat arasındaki farkın oldukça düşük olduğunu ve modelin fiyat oluşum sürecini yüksek doğrulukla açıkladığını göstermektedir. Benzer şekilde diğer yıllar için yapılan

hesaplamalar da model tarafından tahmin edilen fiyatlar ile gözlenen fiyatlar arasında güçlü bir uyum bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Elde edilen bu bulgular, akaryakıt piyasasında fiyatların yalnızca maliyet koşullarına bağlı olarak belirlenmediğini, aynı zamanda talep esnekliğinin de fiyat oluşumunda kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Talep esnekliğinin düşük olduğu piyasalarda, firmalar fiyatlarını marjinal maliyetin üzerinde belirleyebilmekte ve bu durum pozitif markup oranlarının ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu sonuç, eksik rekabet teorisinin temel öngörülleri ile doğrudan uyumludur (Tirole, 1988).

Ayrıca, model tarafından tahmin edilen teorik fiyatlar ile gözlenen piyasa fiyatları arasındaki yüksek uyum, talep esnekliği temelli optimal fiyatlama modelinin gerçek piyasalarda gözlenen firma davranışlarını açıklamada güçlü bir analitik çerçeve sunduğunu göstermektedir. Bu bulgu, mikro iktisat teorisinin yalnızca teorik bir çerçeve olmadığını, aynı zamanda gerçek piyasa davranışlarını açıklamada güçlü bir uygulama aracı olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu bölümde yapılan ampirik analiz, talep esnekliği temelli optimal fiyatlama modelinin Türkiye akaryakıt piyasasında ampirik olarak geçerli olduğunu göstermektedir. Model tarafından tahmin edilen fiyatlar ile gözlenen fiyatlar arasındaki yüksek uyum, mikro iktisat teorisinin firma fiyatlama davranışını açıklamada güçlü bir analitik temel sunduğunu doğrulamaktadır.

9. Sonuç ve Genel Değerlendirme

Bu bölümde, talep esnekliği temelli firma fiyatlama davranışı mikro iktisat teorisi çerçevesinde analitik olarak incelenmiş ve elde edilen teorik model Türkiye akaryakıt piyasasına yönelik ampirik bir uygulama ile test edilmiştir. Mikro iktisat teorisinin temel varsayımlarından biri olan kâr maksimizasyonu ilkesi doğrultusunda, firmanın optimal fiyatlama kararının yalnızca marjinal maliyet tarafından değil, aynı zamanda karşılaştığı talebin esnekliği tarafından da belirlendiği matematiksel olarak gösterilmiştir. Bu bağlamda, marjinal gelir ile talep esnekliği arasındaki ilişki analitik olarak türetilmiş ve optimal fiyatlama kuralının aşağıdaki şekilde ifade edilebileceği ortaya konulmuştur:

$$P = \frac{MC}{1 + \frac{1}{E_d}}$$

Bu sonuç, eksik rekabet koşullarında faaliyet gösteren firmaların fiyatlarını marjinal maliyetin üzerinde belirleyebileceğini ve fiyat ile marjinal maliyet arasındaki farkın doğrudan talep esnekliğine bağlı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, talep esnekliği firma fiyatlama davranışının belirlenmesinde

merkezi bir rol oynamakta ve piyasa gücünün temel belirleyicilerinden biri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bulgu, mikro iktisat ve endüstriyel organizasyon literatüründe yer alan teorik sonuçlar ile tutarlılık göstermektedir (Varian, 2019; Belleflamme & Peitz, 2015).

Çalışmanın ampirik bölümünde, Türkiye akaryakıt piyasasına ait 2015–2025 dönemini kapsayan yıllık veriler kullanılarak modelin ampirik geçerliliği test edilmiştir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), U.S. Energy Information Administration (EIA) ve Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) tarafından yayımlanan veriler kullanılarak marjinal maliyet, markup oranı ve talep esnekliği tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgular, incelenen dönem boyunca akaryakıt fiyatlarının sistematik olarak marjinal maliyetin üzerinde olduğunu ve bu farkın talep esnekliği temelli optimal fiyatlamaya modeli ile tutarlı olduğunu göstermektedir. Model tarafından tahmin edilen teorik fiyatlar ile gözlenen piyasa fiyatları arasındaki yüksek düzeyde uyum, modelin Türkiye akaryakıt piyasasında ampirik olarak güçlü açıklayıcılığıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Ampirik analiz sonucunda elde edilen ortalama markup oranının yaklaşık %67 düzeyinde olması, akaryakıt piyasasında firmaların belirli ölçüde piyasa gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, talep esnekliği değerlerinin mutlak değer olarak genellikle bire yakın veya birden büyük olması, akaryakıt talebinin kısa dönemde görece düşük esnekliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, akaryakıt gibi zorunlu tüketim mallarının talep yapısının mikro iktisat teorisinin öngörülerini ile uyumlu olduğunu göstermektedir (Dahl, 2012).

Bu çalışmanın mikro iktisat literatürüne sağladığı temel katkılardan biri, talep esnekliği temelli optimal fiyatlamaya modelinin teorik temellerini sistematik biçimde ortaya koymasının yanı sıra, bu modelin Türkiye akaryakıt piyasasına yönelik ampirik bir uygulama ile test edilmesidir. Bu yönüyle çalışma, teorik mikro iktisat ile ampirik piyasa analizi arasında güçlü bir bağlantı kurmakta ve talep esnekliği temelli fiyatlamaya modelinin gerçek piyasa koşullarındaki geçerliliğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma talep esnekliği temelli optimal fiyatlamaya modelinin hem teorik hem de ampirik olarak güçlü bir analitik çerçeve sunduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, firma fiyatlamaya davranışının yalnızca maliyet koşulları tarafından değil, aynı zamanda talep yapısı ve piyasa gücü tarafından belirlendiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu sonuç, talep esnekliği kavramının mikro iktisat teorisinde firma davranışının analizinde merkezi bir öneme sahip olduğunu doğrulamakta ve optimal fiyatlamaya modelinin gerçek piyasa analizlerinde etkin bir analitik araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Kaynakça

- Belleflamme, P., & Peitz, M. (2015). *Industrial organization: Markets and strategies* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Besanko, D., & Braeutigam, R. R. (2020). *Microeconomics* (6th ed.). Wiley.
- Carlton, D. W., & Perloff, J. M. (2015). *Modern industrial organization* (4th ed.). Pearson.
- Church, J., & Ware, R. (2000). *Industrial organization: A strategic approach*. McGraw-Hill.
- Cowell, F. A. (2006). *Microeconomics: Principles and analysis*. Oxford University Press.
- Cowling, K., & Waterson, M. (1976). Price-cost margins and market structure. *Economica*, 43(171), 267-274. <https://doi.org/10.2307/2553125>
- Dahl, C. A. (2012). Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities. *Energy Policy*, 41, 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.055>
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2026). *Petrol piyasası bayi satış fiyatı bültenleri*. <https://www.epdk.gov.tr>
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2026). *Petrol piyasası sektör raporu*. <https://www.epdk.gov.tr>
- Frank, R. H., & Cartwright, E. (2010). *Microeconomics and behavior* (Vol. 8). New York: McGraw-Hill.
- Hughes, J. E., Knittel, C. R., & Sperling, D. (2008). Evidence of a shift in the short-run price elasticity of gasoline demand. *The Energy Journal*, 29(1), 113-134. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol29-No1-9>
- International Energy Agency. (2026). *Oil market report*. <https://www.iea.org>
- Jehle, G.A. (2011). *Advanced microeconomic theory*. Pearson Education India.
- Kreps, D. M. (2013). *Microeconomic foundations* (Vol. 1). Princeton university press.
- Lerner, A. P. (1934). The concept of monopoly and the measurement of monopoly power. *Review of Economic Studies*, 1(3), 157-175. <https://doi.org/10.2307/2967480>
- Macrotrends. (2026). *Brent crude oil prices – Historical annual data*. <https://www.macrotrends.net/2483/brent-crude-oil-price-history>
- Mankiw, N. G. (2021). *Principles of microeconomics* (9th ed.). Cengage Learning.
- Mas-Colell, A., Whinston, M. D., & Green, J. R. (1995). *Microeconomic theory*. Oxford University Press.
- Nicholson, W., & Snyder, C. (2017). *Microeconomic theory: Basic principles and extensions* (12th ed.). Cengage Learning.
- Pepall, L., Richards, D. J., & Norman, G. (2014). *Industrial organization: Contemporary theory and empirical applications* (5th ed.). Wiley.

- Jeffrey, M. (2008). *Microeconomics theory and Applications with calculus*.
- Pindyck, R. S. (2018). *Microeconomics ninth edition GLoBAL edition*. Pearson Education Limited.
- Tirole, J. (1988). *The theory of industrial organization*. MIT Press.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (2026). *Elektronik veri dağıtım sistemi (EVDS)*. <https://evds2.tcmb.gov.tr>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2026). *Akaryakıt fiyat istatistikleri*. <https://www.tuik.gov.tr>
- U.S. Energy Information Administration. (2026). *Petroleum & other liquids: Brent crude oil prices*. <https://www.eia.gov>
- U.S. Energy Information Administration. (2026). *Europe Brent spot price FOB*. <https://www.eia.gov>
- Varian Hal R. (1996). *Intermediate microeconomics: a modern approach*

Modern Mikro İktisat: Teoriden Uygulamaya II

Editör:

Doç. Dr. Mehmet POLAT