



## ORIGINAL RESEARCH PAPER

# The Strategic Role of Iran in the Global Energy Network and the Dynamics of Interregional Spillovers: An Integrated Network Analysis and TVP-VAR Approach

Reza Moghaddam Rad <sup>a</sup>, Marjan Damankshideh <sup>a\*</sup>, Amirreza Keyghobadi <sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Department of Economics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

<sup>b</sup> Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

\*. Corresponding Author's Email: [m.damankshideh@iau.ac.ir](mailto:m.damankshideh@iau.ac.ir)

### PAPER INFO

#### Paper history:

Received: 23 January 2026

Revised: 16 March 2026

Accepted in revised form: 05 April 2026

Published: 06 May 2026

#### Keywords:

Global Energy Network

Iran

Network Analysis

TVP-VAR Model

Trade Spillovers

Price Shocks

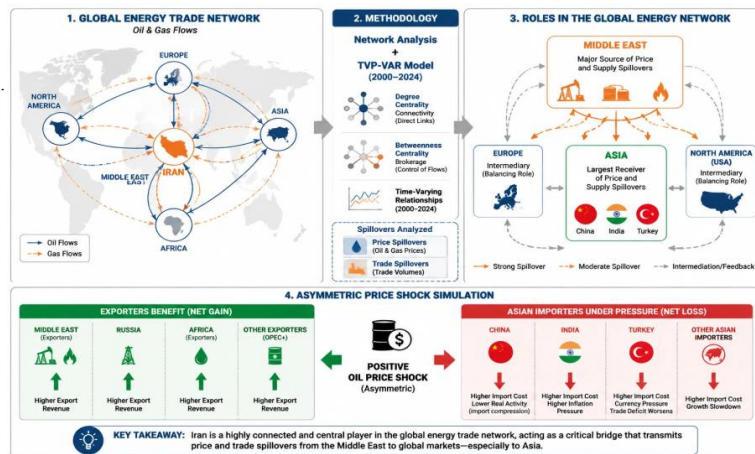
**How to cite:** Moghaddam Rad, R., Damankshideh, M., & Keyghobadi, A. (2026). The Strategic Role of Iran in the Global Energy Network and the Dynamics of Interregional Spillovers: An Integrated Network Analysis and TVP-VAR Approach, *Economics and Financial Policymaking*, 3(1), 49-75.



©2026 the authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

### ABSTRACT

Over the past two decades, the global energy market has undergone structural transformations and increased international interactions, rendering traditional supply and demand analyses insufficient to fully explain the global oil and gas trade network. This study aims to analyze Iran's position within the global energy network and examine the dynamics of price and trade spillovers among regional clusters. Data from 2000 to 2024 were analyzed using a combined approach of network analysis and the Time-Varying Parameter Vector Autoregression (TVP-VAR) model to identify inter-country interactions, centrality indices, and channels of trade and price spillovers. The results indicate that Iran, with high degree and betweenness centrality, functions as a key intermediary in the global energy network, with significant spillover effects particularly on Asian countries such as China, India, and Turkey. The global energy network has evolved into a decentralized and flexible structure, with the Middle East as the largest source of supply and price spillovers, Asia as the primary recipient, and Europe and the United States playing intermediary roles. Shock simulations further reveal that price shocks are asymmetrically distributed: energy-exporting countries benefit, whereas Asian importers bear greater economic pressures. These findings highlight that Iran's strategic significance extends beyond export volume, emphasizing its intermediary role and connectivity through transit routes. Network analysis combined with the TVP-VAR model provides an effective framework for understanding market dynamics, anticipating geopolitical impacts, and guiding strategic energy policies.



## 1. Introduction

The global energy market, particularly oil and gas, has undergone profound structural transformations over the past two decades, driven by technological innovations, geopolitical shifts, and evolving consumption patterns. Traditional supply-demand analyses have increasingly proven insufficient to capture the complexity of

international energy trade networks. In this context, understanding the strategic positioning of key players such as Iran requires a multidimensional approach that accounts for both network structure and dynamic spillovers across regions. From 2000 to 2024, the world witnessed substantial increases in energy trade volumes, notably from approximately 35 billion barrels of oil

equivalent to over 54 billion barrels, alongside the emergence of multi-polar trade networks. These transformations were influenced by factors including surging Asian demand, the U.S. emergence as a major LNG exporter, the geopolitical repositioning of Russia post-Ukraine crisis, and the expansion of global LNG markets. Concurrently, repeated shocks such as the 2008 financial crisis, the 2014 oil price collapse, the COVID-19 pandemic, and sanctions against Iran have demonstrated the market's high sensitivity to sudden disruptions. Against this backdrop, there is a pressing need for a rigorous, longitudinal, network-based analytical framework capable of revealing not only bilateral trade patterns but also the evolving centrality and intermediary roles of countries within the global energy system.

## 2. Methods

This study employs a combined network analysis and time-varying parameter vector autoregression (TVP-VAR) framework to investigate Iran's position in the global energy network and the dynamics of inter-regional price and trade spillovers. The research is based on secondary data spanning 2000–2024 for 25 major countries accounting for at least 1% of global energy production or consumption, with direct or indirect trade linkages to Iran. Countries are represented as nodes, while bilateral trade volumes in oil and gas constitute weighted edges. Network measures including degree centrality, weighted degree, closeness centrality, betweenness centrality, network density, and modularity were computed to capture each country's structural significance and interaction intensity. Community detection was applied to identify regional clusters and assess intra- and inter-cluster trade flows. Complementing the network approach, the TVP-VAR model was utilized to quantify the magnitude, direction, and temporal evolution of trade and price spillovers across regions. Data were sourced from OPEC, the U.S. Energy Information Administration, the International Energy Agency, UN trade databases, and BP statistical reports, and were processed to ensure unit consistency and reliability. Analytical tools included Gephi, UCINET, Pajek, R, and relevant packages such as *igraph* and *sna*. This methodological combination provides a robust platform for understanding structural changes, intermediary roles, and the propagation of economic shocks in a complex, multi-regional energy system.

## 3. Results

The network analysis reveals that the global oil and gas market has evolved from a predominantly bipolar structure to a complex, multipolar network with intertwined regional clusters. Iran emerges as a strategically positioned intermediary node, linking the Middle Eastern cluster with Asia. Indicators such as high degree, betweenness, and closeness centrality confirm Iran's pivotal role in mediating energy flows, despite geopolitical constraints and sanctions. The clustering analysis identifies five principal regional groups in 2024: The Middle East, Asia, Europe, the Americas, and independent exporters. The Middle East serves as the primary source of price and supply spillovers, while Asia represents the main recipient. Europe and the Americas

function as secondary intermediaries, facilitating flow redistribution. TVP-VAR estimations indicate asymmetric responses to price shocks, with exporting countries benefiting from positive spillovers and Asian importers experiencing heightened economic pressure. Notably, Iran's influence on energy flows to China, India, and Turkey is pronounced, whereas its impact on Europe and the U.S. remains comparatively limited. Longitudinal evaluation demonstrates that Iran's centrality has increased from 0.21 to 0.31 over two decades, while its susceptibility to external shocks remains below the global average. The removal of Iran from the network significantly reduces overall connectivity and density, underscoring its structural importance. These findings highlight the resilience, flexibility, and multi-centrality of the contemporary global energy network and emphasize the critical function of intermediary countries in maintaining network cohesion and facilitating cross-regional energy exchanges.

## 4. Discussion and Analysis

The combination of network analysis and TVP-VAR modeling provides new insights into the strategic dynamics of global energy markets. Traditional models relying solely on supply and demand fail to capture intermediary roles, cluster dynamics, and asymmetric spillover effects. The study confirms that Iran's strategic position is not merely a function of export volume but is critically determined by its role as a connector between regional clusters, enabling efficient transmission of energy flows and price signals. The observed multi-centrality of the network reduces dependence on a single dominant player but increases sensitivity to geopolitical shocks. Comparative analysis with prior studies underscores the limitations of static or short-term models, highlighting the need for longitudinal, network-based approaches to comprehend structural evolution, resilience, and vulnerability in global energy trade. The findings also suggest policy implications, emphasizing the importance of strengthening regional energy cooperation, expanding transit infrastructure, and maintaining diversified export portfolios to enhance influence in networked energy markets.

## 5. Conclusion

In conclusion, the global oil and gas market has experienced profound structural reconfigurations over the past two decades, transitioning to a flexible, multipolar, and highly interconnected network. Iran has consolidated its role as a key intermediary, bridging regional clusters and facilitating spillover transmission, thereby enhancing its strategic significance beyond mere production or export volumes. The integration of network analysis with TVP-VAR modeling proves effective in elucidating dynamic interdependencies, informing energy diplomacy, and guiding policy strategies aimed at enhancing resilience, market influence, and regional energy cooperation.

## Conflict of Interest

The Authors, while observing publication ethics in the referencing, declare the absence of interest of conflict.



## تحلیل جایگاه ایران در شبکه جهانی انرژی و پویایی سرریزهای بین‌منطقه‌ای: رویکرد ترکیبی تحلیل شبکه و مدل TVP-VAR

رضا مقدم‌راد<sup>۱</sup>، مرجان دامن‌کشیده<sup>۱\*</sup>، امیررضا کیقبادی<sup>۲</sup>

۱. گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

\* ایمیل نویسنده مسئول مکاتبه: [m.damankeshideh@iau.ac.ir](mailto:m.damankeshideh@iau.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

#### تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۳  
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۲۵  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۱۶  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰

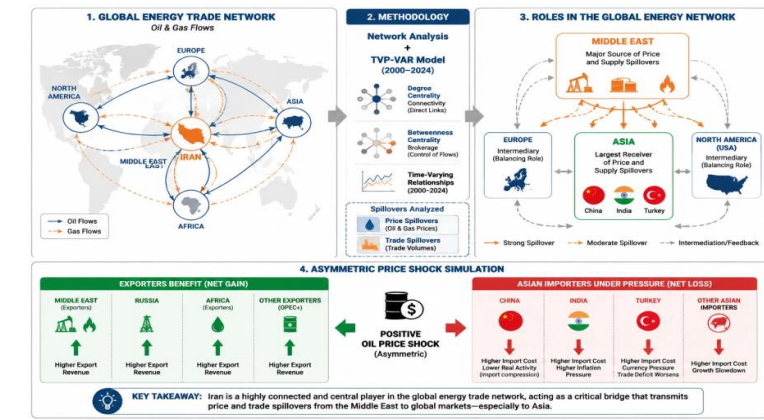
#### کلیدواژگان:

شبکه جهانی انرژی  
ایران  
تحلیل شبکه  
مدل TVP-VAR  
سرریزهای تجاری  
شوکه‌های قیمتی

#### شیوه استناددهی:

مقدم‌راد، رضا، دامن‌کشیده، مرجان، و کیقبادی، امیررضا، (۱۴۰۵). تحلیل جایگاه ایران در شبکه جهانی انرژی و پویایی سرریزهای بین‌منطقه‌ای: رویکرد ترکیبی تحلیل شبکه و مدل TVP-VAR. *اقتصاد و سیاست‌گذاری مالی*, ۳(۱), ۴۹-۷۵.

© ۱۴۰۴ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق گواهی (CC BY-NC) (4.0) صورت گرفته است.



هم‌زمانی تحولات فناورانه، تغییرات ژئوپولیتیک، تحول الگوهای مصرف، و افزایش پیوندهای تجاری میان مناطق مختلف دارد. افزایش حجم تجارت جهانی انرژی از حدود ۳۵ میلیارد بشکه

۱. مقدمه  
بازار جهانی نفت و گاز طی ۲۵ سال گذشته با دگرگونی‌هایی عمیق و ساختاری روبه‌رو شده است؛ دگرگونی‌هایی که ریشه در

زمانی کوتاه محدود بوده و کمتر به پویایی خوشه‌ها، تحول نقش کشورها در طول زمان و سرریزهای بین‌منطقه‌ای پرداخته‌اند. در ادبیات داخلی نیز بررسی شبکه انرژی جهانی و جایگاه ایران در آن، به‌رغم اهمیت ژئوپولیتیکی کشور، کمتر به‌صورت طولی و نظام‌مند مطالعه شده است (خطیبی، ۱۳۹۹؛ کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۹).

با توجه به تحولات اخیر، یک خلأ پژوهشی روشن قابل شناسایی است: نبود تحلیلی جامع، طولی، شبکه‌محور و ژئوپولیتیکی از ساختار و پویایی بازار جهانی نفت و گاز طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از تحلیل شبکه و مدل اقتصادسنجی پویا (TVP-VAR) با هدف پرکردن این خلأ طراحی شده است. در این مطالعه، شبکه تجارت جهانی نفت و گاز میان ۲۵ کشور منتخب بازسازی شده و با تحلیل شاخص‌هایی نظیر مرکزیت، خوشه‌بندی و تراکم، تحولات ساختاری بازار انرژی تبیین می‌شود. سپس با استفاده از مدل TVP-VAR، سرریزهای بین‌منطقه‌ای، مسیرهای انتقال شوک و نقش کشورها به‌ویژه ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج نشان می‌دهد که حجم تجارت جهانی نفت و گاز طی دوره مورد بررسی از حدود ۳۵ به بیش از ۵۴ میلیارد بشکه معادل نفت خام افزایش یافته و ساختار بازار از حالت دوقطبی به شبکه‌ای چندقطبی و به‌هم‌پیوسته‌تر تحول یافته است. افزایش تراکم، مرکزیت و خوشه‌بندی شبکه حاکی از وابستگی متقابل بیشتر کشورها و حساسیت بالاتر بازار نسبت به شوک‌های خارجی است. در سال ۲۰۲۴، پنج خوشه منطقه‌ای شامل خاورمیانه، آسیا، اروپا، قاره آمریکا و صادرکنندگان مستقل شناسایی می‌شود. ایران در مرکز خوشه خاورمیانه قرار داشته و با خوشه آسیایی پیوند مستقیم دارد و نقشی میانجی در شبکه ایفا می‌کند. نتایج مدل TVP-VAR نشان می‌دهد شوک‌های قیمت نفت اثر مثبت بر صادرات خاورمیانه و اثر منفی معناداری بر واردات آسیا دارند و عمده سرریزهای بین‌منطقه‌ای از خاورمیانه به آسیا منتقل می‌شود. همچنین شاخص اثرگذاری ایران طی دو دهه گذشته از ۰/۲۱ به ۰/۳۱ افزایش یافته، درحالی‌که اثرپذیری آن همچنان کمتر از میانگین جهانی است.

یافته‌های شبکه‌ای جایگاه ایران را در میان سه کشور با بالاترین مرکزیت جهانی تأیید می‌کند و نشان می‌دهد حذف آن موجب کاهش معنادار انسجام شبکه می‌شود. به‌طور کلی، بازار جهانی انرژی به‌سوی ساختاری همگرا، چندمرکزی و پویا در حال حرکت است و ایران، با وجود محدودیت‌های سیاسی، موقعیت خود را به‌عنوان یک گره کلیدی تثبیت کرده است؛ امری که ضرورت تقویت دیپلماسی انرژی، توسعه صادرات گاز و ارتقای زیرساخت‌های ترانزیتی را برجسته می‌سازد.

معادل نفت خام در اوایل دهه ۲۰۰۰ به بیش از ۵۴ میلیارد بشکه در سال ۲۰۲۳ (آژانس بین‌المللی انرژی<sup>۱</sup>، ۲۰۲۳)، تنها یکی از نمودهای این گذار است. نظم انرژی که طی دهه‌های پایانی قرن بیستم عمده‌تاً بر یک ساختار دوقطبی و مرکز پیرامونی استوار بود، اکنون جای خود را به شبکه‌ای چندمرکزی، پیچیده و درهم‌تنیده داده است (گزارش‌های آماری شرکت بریتیش پترولیوم<sup>۲</sup>، ۲۰۲۲؛ یرگین<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰). رشد پرشتاب تقاضا در اقتصادهای آسیایی (جانسن و سیرگتس<sup>۴</sup>، ۲۰۱۹)، ظهور ایالات متحده به‌عنوان صادرکننده عمده انرژی (اداره اطلاعات انرژی<sup>۵</sup>، ۲۰۲۰)، چرخش ژئوپولیتیکی روسیه پس از بحران اوکراین (هندرسون و میتروا<sup>۶</sup>، ۲۰۲۲؛ تاگلیاپیترا<sup>۷</sup>، ۲۰۱۷) و گسترش بازار جهانی LNG (گروه بین‌المللی واردکنندگان گاز طبیعی مایع<sup>۸</sup>، ۲۰۲۳) از مهم‌ترین عوامل این تغییرات است.

این تحولات در بستری از شوک‌های پیاپی از بحران مالی ۲۰۰۸ تا تحریم‌های انرژی علیه ایران (کاتزمن<sup>۹</sup>، ۲۰۲۰؛ دژپسند و همکاران، ۱۴۰۴؛ اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۹)، سقوط قیمت ۲۰۱۴، پاندمی کووید-۱۹ (استرن<sup>۱۰</sup>، ۲۰۲۰) و جنگ روسیه- اوکراین رخ داده است؛ شوک‌هایی که نشان داده‌اند شبکه انرژی جهان به‌شدت نسبت به تغییرات ناگهانی سیاسی و اقتصادی حساس و واکنش‌پذیر است. در چنین بستری، روابط انرژی دیگر قابل فهم در قالب مدل‌های خطی عرضه-تقاضا، یا تعاملات دوجانبه ساده نیست و نیازمند رویکردی شبکه‌محور، پویا و داده‌بنیاد است.

با وجود اهمیت روزافزون تحلیل شبکه‌ای بازار انرژی، بخش قابل توجهی از ادبیات پژوهشی -چه داخلی و چه خارجی- هنوز بر تحلیل‌های سنتی تمرکز دارد (کیلیان و ژو<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۸؛ باومیستر و همیلتون<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۹؛ سواکول<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۶؛ خطیبی، ۱۳۹۹؛ دژپسند و همکاران، ۱۴۰۴؛ اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). حتی پژوهش‌هایی که از رویکرد شبکه‌ای استفاده کرده‌اند (ژانگ و چن<sup>۱۴</sup>، ۲۰۲۱؛ خو و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۹؛ زینتی و ملکی، ۱۴۰۳)، غالباً به دوره‌های

1. IEA= International Energy Agency

2. BP

3. Yergin

4. Jansen & Seebregts

5. EIA = Energy Information Administration

6. Henderson & Mitrova

7. Tagliapietra

8. GIIGNL = International Group of Liquefied Natural Gas Importers

9. Katzman

10. Stern

11. Kilian & Zhou

12. Baumeister & Hamilton

13. Sovacool

14. Zhang & Chen

15. Xu et al.

۲۰۱۸). این شاخص‌ها علاوه بر تحلیل ساختار ایستا، زمینه بررسی تغییرات طولی و اثر شوک‌های ژئوپولیتیک و اقتصادی را نیز فراهم می‌کنند (استرن، ۲۰۱۹؛ لی و همکاران، ۲۰۲۰). برای بررسی پویایی سرریزهای تجاری و انتقال شوک‌ها میان کشورها و مناطق مختلف، مدل‌های اقتصادسنجی پویا از جمله TVP-VAR ابزار مناسبی هستند. این مدل‌ها با قابلیت تغییرپذیری ضرایب در طول زمان، امکان تحلیل شدت و جهت انتقال شوک‌های قیمتی، جریان‌های تجاری و اثر سیاست‌های انرژی را میان مناطق مختلف فراهم می‌آورند. ترکیب تحلیل شبکه با TVP-VAR امکان ارائه تصویری جامع از تغییر مرکزیت کشورها، پویایی خوشه‌ها و سرریزهای بین‌منطقه‌ای را فراهم می‌کند و می‌تواند اثر شوک‌های اقتصادی، ژئوپولیتیک و فناوری‌های نوین را بر ساختار شبکه انرژی آشکار سازد (کیلیان و ژو، ۲۰۱۸؛ شهنازی و ساجدیان فرد، ۱۴۰۲؛ دشتیان فاروجی و درگاهی، ۱۴۰۰؛ صمدی و زاهدی، ۱۳۹۷).

مرور ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات حوزه انرژی را می‌توان در سه جریان اصلی دسته‌بندی کرد. نخست، مطالعات سنتی بازار انرژی، که عمدتاً بر عرضه و تقاضا، روند قیمت‌ها و نوسانات کوتاه‌مدت بازار تمرکز داشته‌اند. پژوهش‌هایی مانند همیلتون<sup>۴</sup> (۲۰۰۹، ۲۰۲۰) و کیلیان و ژو (۲۰۱۸) اثر شوک‌های عرضه و تقاضا بر قیمت نفت و نوسانات تقاضای جهانی را بررسی کرده‌اند، اما این مطالعات قادر به تبیین ساختار شبکه‌ای و جریان‌های سرریز میان کشورها نبوده‌اند. در ایران نیز پژوهش‌هایی مانند خطیبی (۱۳۹۹)، دژپسند و همکاران (۱۴۰۴)، اصفهانی و همکاران (۱۳۹۲) و کریم‌پور و همکاران (۱۳۹۹) بیشتر بر اثر تحریم‌ها، سناریوهای صادرات و جایگاه ایران در بازار جهانی تمرکز داشته‌اند و کمتر به تحلیل شبکه‌ای و سرریزهای تجاری توجه کرده‌اند.

دوم، مطالعات بین‌المللی مبتنی بر تحلیل شبکه است که طی سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. پژوهش‌هایی مانند ژانگ و چن (۲۰۲۱)، خو و همکاران (۲۰۱۹) و سونگ و همکاران (۲۰۱۸) شبکه تجارت نفت و گاز را از منظر ساختار و روابط بین‌کشوری تحلیل کرده‌اند و گره‌های کلیدی و الگوهای خوشه‌بندی را شناسایی کرده‌اند. با این حال، بیشتر این مطالعات محدود به یک مقطع زمانی یا دوره‌های کوتاه بوده‌اند و پویایی بلندمدت خوشه‌ها، تغییر مرکزیت کشورها و سرریزهای بین‌منطقه‌ای و اثر شوک‌های ژئوپولیتیک را مورد توجه قرار ندادند.

سوم، مطالعات داخلی و منطقه‌ای پیرامون جایگاه ایران عمدتاً بر اثر تحریم‌ها، مسیرهای صادرات و موقعیت ژئوپولیتیک

نوآوری پژوهش در سه محور اصلی قابل جمع‌بندی است. نخست، ارائه تحلیلی طولی و منسجم در یک بازه ۲۵ ساله که امکان ردیابی تدریجی تحول مرکزیت کشورها، پیوندهای تجاری، خوشه‌های منطقه‌ای و مسیرهای سرریز انرژی را در بستری تاریخی-ژئوپولیتیک فراهم می‌کند. دوم، تلفیق تحلیل شبکه با مدل پویای TVP-VAR که افزون بر بررسی ساختار ایستا، پویایی زمانی، شدت و جهت سرریزها و واکنش شبکه به شوک‌های قیمتی و سیاسی را تحلیل می‌کند. سوم، تمرکز ویژه بر جایگاه ایران به‌عنوان یک گره واسط و اثرگذار که نقش آن در اتصال خوشه خاورمیانه و آسیا و حفظ انسجام شبکه جهانی انرژی را برجسته می‌سازد. این ترکیب نوآورانه، تصویری چندلایه از نظم و پویایی بازار جهانی انرژی ارائه می‌دهد و می‌تواند مبنایی معتبر برای سیاست‌گذاری و دیپلماسی انرژی و طراحی راهبردهای افزایش تاب‌آوری و اثرگذاری منطقه‌ای ایران فراهم آورد.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بازار جهانی نفت و گاز طی دو دهه اخیر تحت تأثیر مجموعه‌ای از تحولات ساختاری، فناوری و ژئوپولیتیک قرار گرفته است؛ تحولاتی که نه تنها جریان‌های تجاری و وابستگی‌های متقابل میان کشورها را دگرگون کرده‌اند، بلکه نقش و جایگاه بازیگران کلیدی، الگوی خوشه‌بندی منطقه‌ای و حساسیت شبکه انرژی به شوک‌های خارجی را نیز بازتعریف کرده‌اند. درک این پیچیدگی‌ها مستلزم رویکردی تحلیلی است که بتواند هم ساختار شبکه‌ای روابط کشورها و شدت پیوندهای تجاری را مدل‌سازی کند و هم پویایی سرریزها و تغییر مرکزیت کشورها را در طول زمان آشکار سازد. در این میان، تحلیل شبکه‌های پیچیده به‌عنوان یک چارچوب نظری و روش‌شناختی، ظرفیت منحصر به‌فردی برای شناسایی گره‌های کلیدی، تعیین مرکزیت کشورها، ارزیابی تراکم شبکه و تحلیل خوشه‌های منطقه‌ای فراهم می‌آورد (واسرمن و فاوست<sup>۱</sup>، ۱۹۹۴؛ بارعباسی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶). در چارچوب شبکه انرژی، کشورها، شرکت‌های چندملیتی و نهادهای بین‌المللی به‌عنوان گره‌های اصلی عمل کرده و از طریق جریان‌های تجاری، قراردادهای بلندمدت، خطوط لوله و همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی به یکدیگر متصل می‌شوند. شاخص‌های شبکه‌ای مانند درجه گره، مرکزیت نزدیکی، مرکزیت بینجی، تراکم شبکه و ماژولاریتی ابزارهایی کلیدی برای تحلیل نقش کشورها، شدت وابستگی‌ها و میزان انسجام شبکه هستند (ژانگ و چن، ۲۰۲۱؛ سونگ و همکاران<sup>۳</sup>،

4. Li et al.  
5. Hamilton

1. Wasserman & Faust  
2. Barabási  
3. Song et al.

تمرکز داشته‌اند (ماسوری، ۱۴۰۴؛ دژپسند و همکاران، ۱۴۰۴؛ اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ کریم پور و همکاران، ۱۳۹۹؛ مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰). اگرچه این مطالعات اهمیت ایران در بازار انرژی و تغییر مسیرهای تجاری را نشان داده‌اند، اما محدودیت زمانی و مقیاس منطقه‌ای آنها مانع از ارائه تصویری جامع و طولی از پویایی شبکه جهانی، سرریزهای بین‌منطقه‌ای و جایگاه ایران شده است. برخی پژوهش‌های داخلی اخیر نیز با بهره‌گیری از شاخص‌های شبکه‌ای به تحلیل تجارت گاز پرداخته‌اند (زینتی و ملکی، ۱۴۰۳؛ شهنازی و ساجدی‌ان‌فرد، ۱۴۰۲؛ دشتیان فاروجی و درگاهی، ۱۴۰۰؛ صمدی و زاهدی، ۱۳۹۷)، اما اغلب محدود به نمونه‌های منطقه‌ای و دوره‌های کوتاه بوده و تحلیل طولی شبکه جهانی انرژی را ارائه نکرده‌اند.

با توجه به مرور نظام‌مند ادبیات پژوهشی، آشکار می‌شود که پژوهش‌های جامع و طولی که بتوانند تحولات ساختار شبکه جهانی انرژی، تغییرات مرکزیت کشورها، پویایی خوشه‌های منطقه‌ای و سرریزهای بین‌منطقه‌ای را در یک بازه زمانی بلندمدت به صورت یکپارچه بررسی کنند، محدود و اندک است. علاوه بر این، در مطالعات موجود، بررسی هم‌زمان اثرات شوک‌های ژئوپولیتیکی، نوآوری‌های فناورانه و تغییر مسیرهای تجاری بر شبکه انرژی جهانی و جایگاه کشورها به‌ویژه ایران، به‌صورت سیستماتیک و تلفیقی انجام نشده است. این کمبودها موجب شده است که درک دقیق از پویایی‌های بلندمدت شبکه انرژی و نقش استراتژیک ایران در آن، همچنان محدود باقی بماند.

مطالعه حاضر با تمرکز بر دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ و با استفاده از داده‌های معتبر بین‌المللی، تحلیل شبکه‌ای و مدل اقتصادسنجی پویا (TVP-VAR)، تلاش دارد این خلأ پژوهشی را برطرف کند. این رویکرد تحلیلی امکان بررسی هم‌زمان تحولات ساختاری شبکه، جایگاه ایران در شبکه جهانی انرژی، پویایی خوشه‌های منطقه‌ای و سرریزهای میان‌منطقه‌ای و همچنین اثر شوک‌های اقتصادی و ژئوپولیتیکی را فراهم می‌آورد. بر این اساس، نتایج پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک مبنای علمی و کاربردی برای توسعه سیاست‌های انرژی، مدیریت امنیت انرژی و برنامه‌ریزی استراتژیک در محیطی چندقطبی و پیچیده، مورد استفاده قرار گیرد و زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های راهبردی مبتنی بر شواهد برای کشورها و نهادهای بین‌المللی باشد.

### ۳. روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی و کمی است و با استفاده از داده‌های ثانویه بین‌المللی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا

۲۰۲۴ انجام شده است. این رویکرد امکان تحلیل دقیق تحولات ساختاری شبکه جهانی انرژی، پویایی خوشه‌های منطقه‌ای و جریان‌های تجاری بین کشورها را فراهم می‌آورد و به‌ویژه جایگاه ایران در این شبکه را به‌صورت جامع و کمی مشخص می‌کند (خاکی، ۱۳۹۹؛ اسکات<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷). با توجه به ماهیت پژوهش، این مطالعه از رویکرد تحلیلی-موردی بهره می‌گیرد و با تمرکز ویژه بر بازار نفت و گاز ایران و تعاملات تجاری و انرژی آن با سایر کشورها، جایگاه ایران در شبکه جهانی انرژی و پویایی سرریزهای بین‌منطقه‌ای و تغییرات ساختاری شبکه را مورد بررسی قرار می‌دهد (شهنازی و ساجدی‌ان‌فرد، ۱۴۰۲؛ دشتیان فاروجی و درگاهی، ۱۴۰۰؛ صمدی و زاهدی، ۱۳۹۷).

جامعه آماری شامل تمامی کشورهای فعال در بازار جهانی نفت و گاز است که داده‌های صادرات، واردات و قیمت نفت و گاز آن‌ها در منابع معتبر بین‌المللی در دسترس باشد. بدین ترتیب، براساس جدول ۱ نمونه‌نهایی شامل ۲۵ کشور کلیدی با حداقل ۱ درصد سهم در تولید یا مصرف جهانی و دارای تعامل تجاری مستقیم یا غیرمستقیم با ایران است. در این تحلیل، هر کشور به‌عنوان یک گره و روابط تجاری نفت و گاز بین کشورها به‌عنوان یال‌ها در شبکه تعریف شد و وزن هر یال با توجه به حجم مبادلات تعیین گردید تا شدت ارتباطات تجاری و سرریزهای بین‌منطقه‌ای دقیقاً منعکس شود.

داده‌های مورد استفاده از منابع معتبر شامل سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک)<sup>۲</sup>، اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده، آژانس بین‌المللی انرژی، پایگاه داده‌های تجاری سازمان ملل متحد<sup>۳</sup> و گزارش‌های آماری شرکت بریتیش پترولیوم گردآوری شده‌اند (اسکات، ۲۰۱۷؛ شهنازی و ساجدی‌ان‌فرد، ۱۴۰۲؛ دشتیان فاروجی و درگاهی، ۱۴۰۰؛ صمدی و زاهدی، ۱۳۹۷؛ بورگاتی و هالگین<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱؛ اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده، ۲۰۲۴؛ گزارش‌های آماری شرکت بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۳). این داده‌ها شامل حجم صادرات و واردات نفت و گاز، قیمت جهانی نفت و روابط تجاری بین کشورها است. داده‌های خام پس از پاک‌سازی، یکسان‌سازی واحدها و ساخت ماتریس روابط بین کشورها آماده تحلیل شدند، به‌گونه‌ای که امکان بررسی دقیق ساختار شبکه، شدت ارتباطات و مسیرهای سرریز میان منطقه‌ای فراهم گردد (نیومن<sup>۵</sup>، ۲۰۱۴).

تحلیل داده‌ها با استفاده از شاخص‌های شبکه‌ای از جمله درجه گره، درجه وزنی، مرکزیت درجه، مرکزیت نزدیکی، مرکزیت بینجی و تراکم شبکه انجام شد تا نقش و موقعیت هر

1. Scott  
2. OPEC  
3. UN Comtrade  
4. Borgatti & Halgin  
5. Newman

شدت و جهت اثر شوک‌های قیمتی، جریان‌های تجاری و تغییر مرکزیت کشورها را به‌صورت کمی و زمانمند تحلیل می‌کند (کیلیان و ژو، ۲۰۱۸؛ ماگری، ۲۰۱۳). ترکیب تحلیل شبکه‌ای با مدل TVP-VAR امکان ارائه تصویری جامع از پویایی بلندمدت شبکه جهانی انرژی، سرریزهای بین‌منطقه‌ای و جایگاه استراتژیک ایران را فراهم می‌آورد و اثر شوک‌های اقتصادی و ژئوپولیتیکی بر ساختار روابط تجاری را به‌طور یکپارچه مشخص می‌کند (شهنازی و ساجدی‌ان‌فرد، ۱۴۰۲).

کشور در شبکه جهانی انرژی و شدت تعاملات تجاری به‌طور دقیق تعیین شود (بورگاتی و هالگین، ۲۰۱۱؛ ژانگ و چن، ۲۰۲۱). همچنین، تحلیل خوشه‌ای برای شناسایی خوشه‌های منطقه‌ای و بررسی پویایی روابط درون و برون خوشه‌ای و مسیرهای سرریز میان مناطق مختلف به کار گرفته شد (سونگ و همکاران، ۲۰۱۸).  
برای بررسی سرریزهای تجاری و انتقال شوک‌ها میان کشورها و مناطق، از مدل اقتصادسنجی پویا TVP-VAR استفاده شد که با قابلیت تغییرپذیری ضرایب در طول زمان،

جدول ۱. نمونه نهایی پژوهش - کشورهای منتخب در شبکه جهانی نفت و گاز

Table 1. Final research sample – selected countries in the global oil and gas network

توضیح مختصر Brief Description	نقش در شبکه جهانی انرژی Role in the Global Energy Network	کشور Country	ردیف Row	توضیح مختصر Brief Description	نقش در شبکه جهانی انرژی Role in the Global Energy Network	کشور Country	ردیف Row
بازیگر اصلی بازار گاز جهانی Key player in the global gas market	صادرکننده عمده گاز طبیعی مایع (LNG) Major LNG exporter	قطر Qatar	14	محور اصلی پژوهش؛ روابط با کشورهای واردکننده و صادرکننده تحلیل می‌شود Main focus of the research; relationships with importing and exporting countries are analyzed	تولیدکننده و صادرکننده عمده نفت و گاز Major oil and gas producer and exporter	ایران Iran	1
نقش محوری در صادرات نفت خلیج فارس Pivotal role in Persian Gulf oil exports	صادرکننده نفت و هاب تجاری Oil exporter and trading hub	امارات متحده عربی United Arab Emirates	15	تأثیرگذار بر قیمت‌های جهانی و سیاست‌های اوپک Influences global prices and OPEC policies	بزرگ‌ترین صادرکننده نفت جهان World's largest oil exporter	عربستان سعودی Saudi Arabia	2
تأثیرگذار بر تعادل عرضه نفت در خاورمیانه Influences oil supply balance in the Middle East	تولیدکننده و عضو اوپک Producer and OPEC member	عراق Iraq	16	روابط قوی با اروپا و آسیا؛ نقش کلیدی در تأمین انرژی اروپا Strong ties with Europe and Asia; key role in European energy supply	صادرکننده عمده نفت و گاز Major oil and gas exporter	روسیه Russia	3
تولیدکننده پایدار در اوپک Stable producer within OPEC	صادرکننده نفت خام Crude oil exporter	کویت Kuwait	17	بازیگر اثرگذار بازار جهانی نفت و شیل گاز Influential player in global oil and shale gas markets	تولیدکننده و مصرف‌کننده بزرگ انرژی Major energy producer and consumer	ایالات متحده آمریکا United States of America	4
نوسانات تولید مشابه ایران؛ عضو اوپک Production fluctuations similar to Iran; OPEC member	صادرکننده نفت در آفریقا Oil exporter in Africa	نیجریه Nigeria	18	تعیین‌کننده تقاضای جهانی انرژی Determines global energy demand	بزرگ‌ترین واردکننده نفت و گاز World's largest oil and gas importer	چین China	5
منبع اصلی انرژی برای کشورهای اروپایی Primary energy source for European countries	صادرکننده نفت و گاز اروپا European oil and gas exporter	نروژ Norway	19	رشد سریع تقاضای انرژی؛ تعامل تجاری با ایران Rapidly growing energy demand; trade interaction with Iran	واردکننده عمده نفت Major oil importer	هند India	6
نقش مهم در بازار نفت سنگین شمال آمریکا Important role in the North American heavy oil market	تولیدکننده و صادرکننده نفت Oil producer and exporter	کانادا Canada	20	وابسته به بازارهای خاورمیانه Dependent on Middle Eastern markets	واردکننده عمده نفت و گاز مایع (LNG) Major importer of oil and LNG	ژاپن Japan	7
فعال در بازار جهانی انرژی پس از ۲۰۱۰ Active in global energy markets since 2010	تولیدکننده و صادرکننده نوظهور نفت Emerging oil producer and exporter	برزیل Brazil	21	خریدار بالقوه نفت ایران و سایر منابع آسیایی Potential buyer of Iranian oil and other Asian resources	واردکننده نفت و گاز Oil and gas importer	کره جنوبی South Korea	8
عضو اوپک پلاس با تعاملات منطقه‌ای OPEC+ member with regional interactions	صادرکننده نفت خام Crude oil exporter	مکزیک Mexico	22	عضو اتحادیه اروپا؛ تأثیرگذار بر بازار اروپا Member of the European Union; influences European markets	مصرف‌کننده و واردکننده انرژی Energy consumer and importer	آلمان Germany	9
پیوند بین روسیه و چین در بازار نفت Link between Russia and China in oil markets	صادرکننده نفت آسیای مرکزی Central Asian oil exporter	قزاقستان Kazakhstan	23	بخشی از شبکه تجاری اروپا Part of the European trade network	مصرف‌کننده و واردکننده نفت Oil consumer and importer	فرانسه France	10
تعامل تجاری مستقیم و ترانزیتی با ایران Direct trade and transit interaction with Iran	صادرکننده نفت و گاز قفقاز Caucasus oil and gas exporter	آذربایجان Azerbaijan	24	وابسته به نفت و گاز وارداتی Dependent on imported oil and gas	مصرف‌کننده و واردکننده نفت Oil consumer and importer	ایتالیا Italy	11
پیوند گازی و ترانزیتی با ایران و آسیای مرکزی Gas and transit link with Iran and Central Asia	صادرکننده گاز طبیعی Natural gas exporter	ترکمنستان Turkmenistan	25	تأثیرگذار بر جریان انرژی منطقه‌ای Influences regional energy flow	مصرف‌کننده و واردکننده نفت Oil consumer and importer	اسپانیا Spain	12
				نقش کلیدی در ترانزیت انرژی اروپا Key role in European energy transit	واردکننده و هاب تجاری نفت و گاز Oil and gas importer and trading hub	هلند Netherlands	13

Pajek برای تحلیل شبکه‌های بزرگ مقیاس و بررسی تاب‌آوری و سناریوهای حذف گره‌ها به کار رفته‌اند. محیط R و بسته‌های igraph و sna نیز امکان پردازش داده‌ها، تحلیل‌های پیشرفته، بررسی پویایی زمانی شبکه و بازتولیدپذیری نتایج را فراهم کرده‌اند. به کارگیری هم‌زمان این ابزارها موجب تکمیل متقابل قابلیت‌ها، افزایش اعتبار روش‌شناختی و ارتقای دقت تحلیل شبکه جهانی انرژی شده است. این روش‌شناسی امکان ارائه تحلیلی جامع، دقیق و تکرارپذیر از تحولات ساختاری شبکه جهانی انرژی و مسیرهای سرریز میان منطقه‌ای را فراهم می‌کند و جایگاه ایران به‌عنوان یکی از گره‌های کلیدی و واسط میان خوشه خاورمیانه و آسیا را به‌طور روشن و قابل اندازه‌گیری نشان می‌دهد (دژسند و همکاران، ۱۴۰۴؛ اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۲).

فرآیند تحلیل در این پژوهش شامل مراحل پاک‌سازی و آماده‌سازی داده‌ها، محاسبه شاخص‌های شبکه، تعیین مرکزیت کشورها، شناسایی خوشه‌های منطقه‌ای و تحلیل کمی و کیفی جایگاه ایران و سایر کشورها بود. علاوه بر تحلیل شبکه، از مدل اقتصادسنجی پویا TVP-VAR برای ارزیابی سرریزهای بین‌منطقه‌ای و انتقال شوک‌ها میان کشورها استفاده شد تا اثر تغییرات قیمتی و تجاری در سطح بین‌المللی به‌صورت زمانمند و کمی بررسی گردد. در این تحقیق از ترکیب نرم‌افزارهای Gephi، UCINET، Pajek و محیط R با بسته‌های igraph و sna استفاده شده است تا تحلیل شبکه جهانی انرژی با دقت و جامعیت بالاتری انجام شود. Gephi برای مصورسازی و شناسایی ساختار کلی شبکه و خوشه‌ها، UCINET برای محاسبه دقیق شاخص‌های اصلی شبکه مانند انواع مرکزیت و تراکم، و

جدول ۲. متغیرها و شاخص‌های پژوهش

Table 2. Research variables and indicators

منبع Source	توضیح کاربردی Practical Description	واحد اندازه‌گیری Unit of Measurement	نوع متغیر Variable Type	متغیر/شاخص Variable / Indicator	ردیف Row
	هر کشور به عنوان یک گره در شبکه جهانی انرژی در نظر گرفته می‌شود Each country is considered as a node in the global energy network	کشور Country	ساختاری شبکه‌ای Network structural	گره Node	1
	ارتباط بین دو کشور که نمایانگر حجم مبادلات نفت و گاز است Connection between two countries representing oil and gas trade volume	حجم مبادلات (میلیون بشکه / میلیون مترمکعب) Trade volume (million barrels / million cubic meters)	ساختاری شبکه‌ای Network structural	یال Edge	2
اسکات، ۲۰۱۷؛ بورگاتی و هالگین، ۲۰۱۱ Scott, 2017; Borgatti & Halgin, 2011	تعداد ارتباطات مستقیم یک کشور با سایر کشورها، نشان‌دهنده سطح مشارکت در شبکه Number of direct connections of a country with other countries, indicating the level of participation in the network	تعداد یال‌ها Number of edges	ساختاری شبکه‌ای Network structural	درجه گره Degree centrality	3
	مجموع حجم مبادلات یک کشور با تمام همسایگان، نشان‌دهنده قدرت اقتصادی و تجاری Total trade volume of a country with all neighbors, indicating economic and commercial power	مجموع حجم مبادلات Total trade volume	ساختاری شبکه‌ای Network structural	درجه وزنی Weighted degree	4
	شاخص موقعیت استراتژیک کشورها در شبکه؛ شامل مرکزیت درجه، نزدیکی و بینجی Strategic position index of countries in the network; includes degree, closeness, and betweenness centrality	شاخص عددی Numerical index	ساختاری شبکه‌ای Network structural	مرکزیت Centrality	5
	نسبت تعداد یال‌های موجود به تعداد یال‌های ممکن؛ نشان‌دهنده یکپارچگی شبکه Ratio of existing edges to possible edges; indicates network integration	نسبت Ratio	ساختاری شبکه‌ای Network structural	تراکم شبکه Network density	6
شهنازی و ساجدیان فرد، ۱۴۰۲؛ دشتبان فاروجی و درگاهی، ۱۴۰۰؛ صدی و زاهدی، ۱۳۹۷؛ اداره متحده، ۲۰۲۴؛	میزان صادرات کشورها به سایر کشورها Volume of exports from countries to other countries	میلیون بشکه / میلیون مترمکعب Million barrels / million cubic meters	اقتصادی-تجاری Economic-commercial	حجم صادرات نفت و گاز Oil and gas export volume	7
	میزان واردات کشورها؛ نشان‌دهنده وابستگی به بازار جهانی Volume of imports by countries; indicates dependence on the global market	میلیون بشکه / میلیون مترمکعب Million barrels / million cubic meters	اقتصادی-تجاری Economic-commercial	حجم واردات نفت و گاز Oil and gas import volume	8
	تأثیر مستقیم بر تصمیمات صادراتی و وارداتی کشورها Direct impact on countries' export and import decisions	دلار آمریکا بر بشکه US dollars per barrel	اقتصادی-تجاری Economic-commercial	قیمت جهانی نفت Global oil price	9
گزارش‌های آماری شرکت بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۳؛ Shahnnavazi & Sajedian Fard, 2023; Dastban Farouji & Dargahi, 2021; Samadi & Zahedi, 2018; U.S. Energy Information Administration, 2024; British Petroleum Statistical Reports, 2023	اثر تغییرات عرضه و قیمت در یک کشور بر سایر کشورها Effect of supply and price changes in one country on other countries	عدد شاخص Index value	اقتصادی-تجاری Economic-commercial	شاخص سرریز تجاری Trade spillover index	10
	میزان وابستگی اقتصاد کشور به تجارت بین‌المللی انرژی Degree of dependence of a country's economy on international energy trade	درصد Percentage	اقتصادی-تجاری Economic-commercial	نسبت صادرات به تولید Export-to-production ratio	11
	وابستگی کشور به منابع خارجی انرژی را نشان می‌دهد Indicates a country's dependence on external energy sources	درصد Percentage	اقتصادی-تجاری Economic-commercial	نسبت واردات به مصرف داخلی Import-to-domestic consumption ratio	12
	روند تغییرات صادرات و واردات و پویایی شبکه جهانی انرژی Trend of changes in exports and imports and dynamics of the global energy network	درصد تغییر سالانه Annual percentage change	اقتصادی-تجاری Economic-commercial	رشد سالانه حجم مبادلات Annual trade volume growth	13

برای هر سال تشکیل شد که هر خانه  $M_{ij}$  نشان‌دهنده حجم مبادلات انرژی بین کشور  $i$  و کشور  $j$  است.

جدول ۳ به بررسی میانگین صادرات، میانگین واردات، تراز تجاری انرژی و نقش غالب کشورهای منتخب در بازار جهانی نفت و گاز پرداخته است. تحلیل این جدول، تصویر روشنی از جغرافیای انرژی جهانی و جایگاه استراتژیک کشورهای مختلف ارائه می‌دهد و امکان شناسایی الگوهای صادرات و واردات انرژی را فراهم می‌سازد.

#### ۴. یافته‌های تجربی پژوهش

##### ۴-۱. آماده‌سازی و توصیف داده‌ها

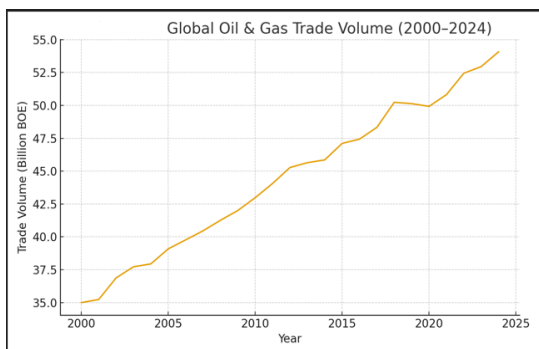
فرآیند آماده‌سازی داده‌ها در سه مرحله انجام شد: ابتدا داده‌ها پاک‌سازی شدند (حذف مقادیر گمشده و ناسازگار، تبدیل واحدها به میلیون بشکه معادل نفت خام در سال و تعدیل نوسانات فصلی)، سپس مقادیر مبادلات استاندارد و نرمال‌سازی شدند تا امکان مقایسه بین کشورها با مقیاس‌های اقتصادی متفاوت فراهم شود، و در نهایت ماتریس‌های شبکه‌ای  $25 \times 25$

جدول ۳. میانگین حجم مبادلات نفت و گاز بین کشورهای منتخب (میلیون بشکه/مترمکعب در سال)

Table 3. Average oil and gas trade volume between selected countries (million barrels/cubic meters per year)

نقش غالب	تراز تجاری انرژی	میانگین واردات	میانگین صادرات	کشور	ردیف
Dominant Role	Energy Trade Balance	Average Imports	Average Exports	Country	Row
صادرکننده عمده	1130	220	1350	ایران	1
Major Exporter				Iran	
صادرکننده کلیدی	2170	180	2350	عربستان سعودی	2
Key Exporter				Saudi Arabia	
صادرکننده و تنظیم‌کننده بازار	1730	250	1980	روسیه	3
Exporter and Market Regulator				Russia	
تولیدکننده- مصرف‌کننده بزرگ	230	1420	1650	ایالات متحده آمریکا	4
Major Producer-Consumer				United States of America	
واردکننده اصلی	-2070	2250	180	چین	5
Main Importer				China	
واردکننده عمده	-1230	1350	120	هند	6
Major Importer				India	
واردکننده	-1320	1380	60	ژاپن	7
Importer				Japan	
واردکننده	-835	920	85	کره جنوبی	8
Importer				South Korea	
صادرکننده گاز مایع	1250	70	1320	قطر	9
LNG Exporter				Qatar	
صادرکننده منطقه‌ای	640	210	850	امارات متحده عربی	10
Regional Exporter				United Arab Emirates	
صادرکننده اروپایی	830	90	920	نروژ	11
European Exporter				Norway	
واردکننده اروپایی	-755	800	45	آلمان	12
European Importer				Germany	
واردکننده	-620	670	50	فرانسه	13
Importer				France	
واردکننده	-560	620	60	ایتالیا	14
Importer				Italy	
واردکننده	-510	550	40	اسپانیا	15
Importer				Spain	
صادرکننده آفریقایی	720	60	780	نیجریه	16
African Exporter				Nigeria	
صادرکننده نوظهور	220	180	400	برزیل	17
Emerging Exporter				Brazil	
صادرکننده آمریکای شمالی	760	200	960	کانادا	18
North American Exporter				Canada	
صادرکننده آسیای مرکزی	520	80	600	قزاقستان	19
Central Asian Exporter				Kazakhstan	
صادرکننده خاورمیانه	1000	150	1150	عراق	20
Middle Eastern Exporter				Iraq	
صادرکننده منطقه‌ای	330	50	380	آذربایجان	21
Regional Exporter				Azerbaijan	
صادرکننده گاز آسیای مرکزی	270	40	310	ترکمنستان	22
Central Asian Gas Exporter				Turkmenistan	
صادرکننده آمریکای لاتین	290	130	420	مکزیک	23
Latin American Exporter				Mexico	
صادرکننده	630	90	720	کویت	24
Exporter				Kuwait	
هاب تجاری انرژی	-430	520	90	هلند	25
Energy Trading Hub				Netherlands	

نفت در سال ۲۰۰۰ به حدود ۵۴ میلیارد بشکه در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است؛ یعنی رشد متوسط سالانه حدود ۱/۷ درصد.



نمودار ۱. روند رشد حجم تجارت جهانی نفت و گاز (-۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴)

Chart 1. Trend of global oil and gas trade volume growth (2000-2024)

تحلیل روندهای بلندمدت مبادلات جهانی انرژی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ (نمودار ۱) نشان می‌دهد که بازار نفت و گاز تحولات بنیادینی را تجربه کرده است، چه از نظر حجم تجارت و چه از منظر الگوی جغرافیایی مصرف، ساختار عرضه، نقش بازیگران و وابستگی متقابل کشورها. داده‌های مورد استفاده مبتنی بر آمارهای واقعی اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده، آژانس بین‌المللی انرژی و شرکت بریتیش پترولیوم بوده است تا روندهای واقعی بازار منعکس شوند. حجم تجارت جهانی نفت و گاز در این دوره از حدود ۳۵ میلیارد بشکه معادل نفت در سال ۲۰۰۰ به حدود ۵۴ میلیارد بشکه در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است که با رشد سالانه متوسط ۱/۷ درصد همراه بوده و عمدتاً ناشی از افزایش تقاضا در اقتصادهای نوظهور و توسعه زیرساخت‌های انتقال انرژی است. کشورهای آسیایی، به ویژه چین و هند، بیشترین سهم از رشد تقاضا را داشته‌اند و جریان انرژی از خاورمیانه به آسیا را تقویت کرده‌اند، درحالی‌که کشورهای صنعتی شرق آسیا همچنان واردکنندگان اصلی باقی مانده‌اند.

از سوی عرضه، ظهور نفت و گاز شیل در آمریکا و کانادا پس از ۲۰۱۰ با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین استخراج، عرضه جهانی را متنوع‌تر کرده و تعادل بازار و ساختار قیمت‌گذاری را تحت تأثیر قرار داده است. هم‌زمان، شوک‌های اقتصادی و سیاسی مانند بحران مالی ۲۰۰۹-۲۰۰۸، تحریم‌های ایران، پاندمی کرونا و جنگ اوکراین مسیرهای تجاری و حجم تجارت را تحت تأثیر قرار داده و حساسیت بازار به نوسانات کوتاه‌مدت را برجسته کرده‌اند.

در دهه اخیر، گذار انرژی و رشد انرژی‌های تجدیدپذیر، به ویژه در اروپا و چین، بر ساختار تجارت جهانی سوخت‌های

بر اساس داده‌های جدول ۳، کشورهای مورد بررسی را می‌توان به سه گروه اصلی طبقه‌بندی کرد: صادرکنندگان عمده انرژی، واردکنندگان اصلی انرژی، و کشورهای با نقش متعادل یا دوگانه. در گروه نخست، کشورهایی مانند ایران، عربستان سعودی، روسیه، قطر، امارات، نروژ، نیجریه و کانادا با تراز تجاری مثبت و منابع گسترده، نقش تعیین‌کننده‌ای در عرضه و قیمت جهانی انرژی دارند. ایران با میانگین صادرات ۱۳۵۰ و واردات ۲۲۰ میلیون بشکه/مترمکعب و تراز تجاری مثبت ۱۱۳۰، به‌عنوان صادرکننده عمده نفت و گاز شناخته می‌شود و ظرفیت بالای تولید، زیرساخت‌های گسترده و موقعیت جغرافیایی کلیدی، آن را به بازیگری مؤثر در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با عرضه و قیمت جهانی انرژی تبدیل کرده است. عربستان سعودی با تراز تجاری ۲۱۷۰ بزرگ‌ترین صادرکننده جهان است و روسیه و قطر نیز با نقش استراتژیک خود، بر عرضه و قیمت انرژی اثرگذارند.

در گروه واردکنندگان اصلی، کشورهایی مانند چین (تراز منفی ۲۰۷۰)، هند، ژاپن، کره جنوبی و برخی کشورهای اروپایی (آلمان، فرانسه، اسپانیا) با وابستگی بالای انرژی به منابع خارجی، حساسیت بیشتری نسبت به نوسانات بازار دارند و به‌طور مستقیم تحت تأثیر تغییرات قیمت و عرضه جهانی قرار می‌گیرند. کشورهای با نقش متعادل یا دوگانه مانند ایالات متحده، برزیل و مکزیک، هم‌زمان تولید و مصرف بالایی دارند و تراز تجاری آن‌ها نسبتاً کوچک است، که امکان ایفای نقش انعطاف‌پذیر و تنظیم‌کننده در بازار جهانی انرژی را فراهم می‌کند. علاوه بر این، هاب‌ها و صادرکنندگان منطقه‌ای کوچک‌تر مانند هلند، با مدیریت جریان انرژی منطقه‌ای و اهمیت زیرساخت‌های انتقال و ذخیره‌سازی، نشان‌دهنده پیچیدگی و وابستگی متقابل ساختار بازار هستند.

تحلیل کلان نشان می‌دهد که بازار جهانی انرژی همچنان تحت سلطه صادرکنندگان سنتی نفت و گاز است، واردکنندگان اصلی به ویژه در آسیا و اروپا حساس به نوسانات قیمت و عرضه هستند، و کشورهای با تراز متعادل و هاب‌های انرژی نقش انعطاف‌پذیر و منطقه‌ای ایفا می‌کنند. در این میان، ایران با موقعیت استراتژیک خود نه تنها یک صادرکننده بزرگ، بلکه بازیگری کلیدی در ثبات، تنظیم جریان انرژی منطقه‌ای و جهانی محسوب می‌شود و این جایگاه، زمینه‌ساز تحلیل‌های شبکه‌ای و بررسی سرریزهای بین‌منطقه‌ای در بازار انرژی است.

#### ۴-۲. روندهای کلی مبادلات در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۴

براساس داده‌های پژوهش (منطبق بر گزارش‌های اداره اطلاعات انرژی آمریکا، ۲۰۲۴؛ بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۳) حجم کل مبادلات جهانی انرژی از حدود ۳۵ میلیارد بشکه معادل

۰/۱۸ به ۰/۲۵ افزایش یافته است؛ این امر نشان می‌دهد فاصله ساختاری میان گره‌ها کاهش یافته و نقش کشورهای واسط در اتصال مناطق مختلف جهان پررنگ‌تر شده است. علاوه بر این، تراکم خوشه‌ای از ۰/۴۸ به ۰/۶۱ رسیده که بیانگر شکل‌گیری خوشه‌های منطقه‌ای منسجم، مانند خاورمیانه، آسیای شرقی و اروپا، و تقویت پیوندهای درون‌گروهی است.

جدول ۴. شاخص‌های ساختاری شبکه جهانی انرژی در سال‌های

منتخب

Table 4. Structural indicators of the global energy network in selected years

2024	2020	2010	2000	شاخص / سال Indicator / Year
25	25	25	25	تعداد گره‌ها Number of nodes
212	206	192	175	تعداد یال‌ها Number of edges
0.36	0.34	0.31	0.28	تراکم شبکه Network density
16.9	16.5	15.3	14	میانگین درجه گره Average degree centrality
0.55	0.52	0.46	0.42	میانگین مرکزیت نزدیکی Average closeness centrality
0.25	0.24	0.21	0.18	میانگین مرکزیت بینجی Average betweenness centrality
0.61	0.59	0.53	0.48	شاخص تراکم خوشه‌ای Clustering coefficient

در مجموع، شاخص‌ها حکایت از آن دارند که شبکه جهانی انرژی طی این دوره گسترده‌تر، متراکم‌تر، هم‌بسته‌تر، چندمرکزی‌تر و در عین حال حساس‌تر شده است. این تغییرات پیچیدگی ساختاری بازار انرژی را افزایش داده و ضرورت استفاده از تحلیل‌های شبکه‌ای و مدل‌سازی پویای روابط تجاری برای درک رفتار بازار جهانی انرژی را برجسته می‌کند.

#### ۴-۳-۲. تحلیل درجه و مرکزیت کشورها

در جدول ۵ شاخص‌های شبکه‌ای منتخب برای ۱۰ کشور کلیدی در سال ۲۰۲۴ نشان داده شده است.

جدول ۵ شاخص‌های شبکه‌ای کشورهای منتخب در سال ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد و تصویری ساختاری از جایگاه هر کشور در شبکه جهانی انرژی ارائه می‌کند. این شاخص‌ها شامل درجه گره، درجه وزنی، مرکزیت نزدیکی، مرکزیت بینجی و رتبه مرکزیت کلی هستند که جنبه‌های متفاوت نقش کشورها در تجارت جهانی نفت و گاز را منعکس می‌کنند. براساس داده‌ها، شبکه انرژی جهانی در ۲۰۲۴ چندقطبی است. چین با بالاترین درجه گره (۲۳) و درجه وزنی (۷۸۰۰) و مرکزیت نزدیکی ۰/۷۵ در رأس شبکه قرار دارد و «کانون» اصلی تجارت انرژی است، در حالی که ایالات متحده با درجه گره ۲۲ و مرکزیت بینجی ۰/۲۵ نقش بی‌بدیل میانجیگری مسیرهای شبکه را ایفا می‌کند.

فسیلی اثرگذار بوده است؛ با این حال، تقاضا برای نفت خام همچنان افزایشی باقی مانده و جایگزینی کامل سوخت‌های فسیلی در کوتاه‌مدت ممکن نیست. این روندها منجر به پیچیده‌تر و متراکم‌تر شدن شبکه جهانی انرژی شده است؛ کشورها به گره‌های مرکزی یا واسط تبدیل شده‌اند و مسیرهای تجاری چندمسیره و حساس‌تر شده‌اند، به‌گونه‌ای که شوک‌های منطقه‌ای سریعاً به کل شبکه منتقل می‌شوند. این تغییرات ساختاری ضرورت به‌کارگیری روش‌های تحلیل شبکه و مدل‌های اقتصادسنجی پویا (TVP-VAR) را برجسته می‌سازد تا پویایی سرریزهای تجاری، نقش کشورها و تغییر مرکزیت گره‌ها به‌طور دقیق مورد تحلیل قرار گیرد. در مجموع، دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۴ نشان‌دهنده گذار ساختاری بازار جهانی انرژی است: افزایش تقاضای آسیا، فناوری‌های نوین استخراج، بحران‌های اقتصادی و سیاسی و گسترش تعاملات تجاری، شبکه انرژی جهانی را پیچیده‌تر، گسترده‌تر و چندمرکزی‌تر کرده و زمینه تحلیل شبکه‌ای و مدل‌سازی پویای تجارت انرژی را فراهم ساخته است.

#### ۴-۳-۳. تحلیل ساختار شبکه جهانی نفت و گاز (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

در این بخش، ساختار کلی شبکه جهانی انرژی در چهار مقطع زمانی منتخب (۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۴) بررسی می‌شود. هر گره نشان‌دهنده یک کشور و وزن یال‌ها بیانگر حجم مبادلات انرژی بین کشورهاست. تحلیل‌ها با استفاده از شاخص‌های درجه، مرکزیت، تراکم، خوشه‌بندی و تراکم شبکه انجام شده‌اند.

#### ۴-۳-۱. شاخص‌های ساختاری شبکه

برای تحلیل روابط بین کشورها، شاخص‌های اصلی شبکه برای چهار مقطع زمانی در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۴ بررسی شاخص‌های ساختاری شبکه جهانی انرژی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که شبکه تجارت نفت و گاز طی ۲۵ سال اخیر تحولات بنیادینی را تجربه کرده است. تعداد گره‌ها در طول دوره ثابت و برابر با ۲۵ کشور باقی مانده، اما تعداد یال‌ها از ۱۷۵ به ۲۱۲ افزایش یافته که حکایت از تنوع روابط تجاری و رشد وابستگی متقابل کشورها دارد. هم‌زمان، تراکم شبکه از ۰/۲۸ به ۰/۳۶ افزایش یافته و میانگین درجه گره از ۱۴ به ۱۶/۹ رسیده است، که نشان می‌دهد هر کشور با شرکای بیشتری در ارتباط بوده و شبکه به ساختاری چندمحوری و انعطاف‌پذیر تبدیل شده است. شاخص‌های مرکزیت نیز روند صعودی داشته‌اند: میانگین مرکزیت نزدیکی از ۰/۴۲ به ۰/۵۵ و میانگین مرکزیت بینجی از

منطقه‌ای دارند.

در مجموع، ترکیب این شاخص‌ها نشان می‌دهد که بازار انرژی دهه ۲۰۲۰ مبتنی بر چندین گره بزرگ و مسیرهای متعدد سازمان یافته و ساختار شبکه‌ای چندقطبی دارد. چین و آمریکا دو قطب اصلی شبکه هستند؛ یکی از منظر حجم روابط و دیگری از منظر میانجیگری مسیرها. این پیچیدگی و چندمرکزی بودن، اهمیت تحلیل شبکه‌ای را برای درک پویایی‌های تجارت جهانی انرژی برجسته می‌کند.

عربستان سعودی و روسیه با درجه گره ۲۰، هر دو از مهم‌ترین گره‌های عرضه هستند، اما عربستان با درجه وزنی و مرکزیت نزدیکی بالاتر، سهم بیشتری در جریان صادرات جهانی دارد. ایران با درجه گره ۱۸ و درجه وزنی ۵۹۰۰، در جایگاه پنجم قرار دارد و با مرکزیت نزدیکی ۰/۶۱ و مرکزیت بینجی ۰/۲۰، نقش مهمی در اتصال مسیرهای تجاری ایفا می‌کند؛ این جایگاه اهمیت ایران را حتی با محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها نشان می‌دهد. هند، ژاپن و آلمان عمدتاً به‌عنوان واردکنندگان بزرگ در شبکه حضور دارند، در حالی که قطر و امارات نقش صادراتی

جدول ۵. شاخص‌های شبکه‌ای کشورهای منتخب در سال ۲۰۲۴

Table 5. Network indicators of selected countries in 2024

رتبه مرکزیت کلی Overall centrality rank	مرکزیت بینجی Betweenness centrality	مرکزیت نزدیکی Closeness centrality	درجه وزنی Weighted degree	درجه گره Degree centrality	کشور Country
1	0.22	0.75	7800	23	چین China
2	0.25	0.72	7200	22	ایالات متحده United States
3	0.23	0.69	6950	20	عربستان سعودی Saudi Arabia
4	0.21	0.65	6550	20	روسیه Russia
5	0.2	0.61	5900	18	ایران Iran
6	0.16	0.58	5400	17	هند India
7	0.18	0.54	5000	15	قطر Qatar
8	0.19	0.52	4200	14	آلمان Germany
9	0.17	0.49	3900	13	ژاپن Japan
10	0.15	0.48	3850	13	امارات United Arab Emirates

**خوشه دوم (آسیا)** شامل چین، هند، ژاپن و کره جنوبی است و حول محور تقاضای انرژی شکل گرفته است. چین مرکز این خوشه بوده و بزرگ‌ترین واردکننده نفت و گاز است؛ هند دومین تقاضای روبه‌رشد را دارد و ژاپن و کره وابستگی بالایی به واردات انرژی دارند. این خوشه عمدتاً با خوشه خاورمیانه در ارتباط است و بخش عمده جریان نفت از خاورمیانه به آن منتقل می‌شود.

**خوشه سوم (اروپا)** شامل روسیه، نروژ و کشورهای اروپای غربی است. روسیه به‌عنوان مرکز خوشه، تولیدکننده اصلی نفت و گاز و تأمین‌کننده انرژی اروپا است. ترکیب تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان بزرگ، ساختاری پیچیده و وابسته به جریان انرژی روسیه ایجاد کرده و حساسیت شبکه به تحولات سیاسی و امنیت انرژی را افزایش داده است.

**خوشه چهارم (آمریکا و آمریکای لاتین)** شامل ایالات متحده، کانادا، مکزیک و برزیل است. این خوشه ترکیبی از تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان بزرگ انرژی است که ایالات متحده به‌عنوان محور خوشه پس از انقلاب شیل، نقش تأثیرگذاری در عرضه جهانی یافته است.

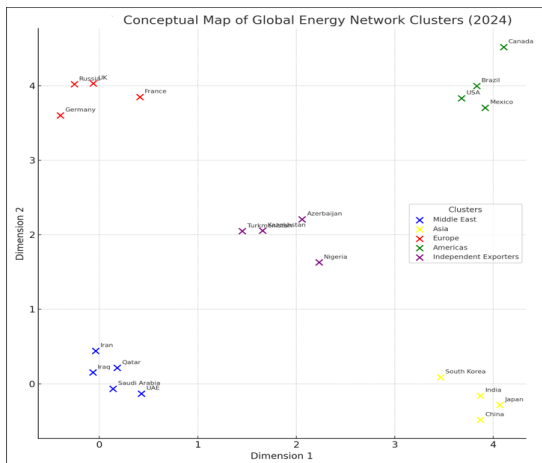
### ۳-۴. تحلیل خوشه‌ای شبکه

به‌منظور شناسایی الگوهای منطقه‌ای، از الگوریتم خوشه‌بندی ماژولاریتی<sup>۱</sup> استفاده شد. نتایج خوشه‌بندی برای سال ۲۰۲۴ در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶ ساختار خوشه‌ای شبکه جهانی انرژی در سال ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد و بیان می‌کند که کشورها بر اساس الگوهای تجاری، جغرافیایی و ساختار عرضه و تقاضا در پنج خوشه منطقه‌ای سازمان یافته‌اند. این خوشه‌ها نه به‌صورت روابط پراکنده، بلکه به‌عنوان گروه‌های منسجم و در عین حال مرتبط عمل می‌کنند و نقش‌های مکمل و محور کشورها را مشخص می‌سازند.

**خوشه اول (خاورمیانه)** شامل ایران، عربستان سعودی، عراق، قطر، امارات و کویت است و محور آن عرضه انرژی بین‌المللی است. عربستان به‌عنوان مرکز خوشه، بزرگ‌ترین صادرکننده نفت و گاز و تنظیم‌کننده مهم بازار جهانی است، در حالی که ایران با مسیرهای صادراتی گسترده به چین، هند و ترکیه، نقش کلیدی در شبکه دارد.

1. Modularity Optimization



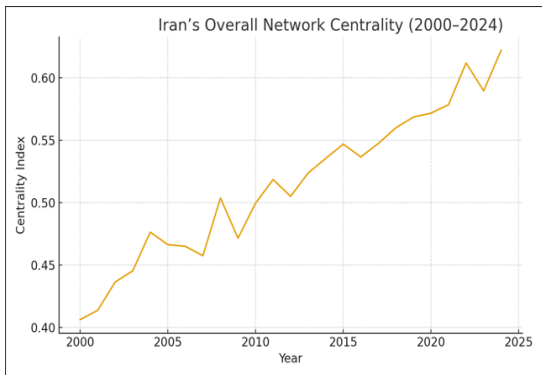
نمودار ۲. نقشه مفهومی خوشه‌های شبکه جهانی انرژی در سال ۲۰۲۴

Chart 2. Conceptual map of global energy network clusters in 2024

خوشه آبی، خاورمیانه - مرکز: عربستان  
 Blue Cluster: Middle East - Hub: Saudi Arabia  
 خوشه زرد، آسیای - مرکز: چین  
 Yellow Cluster: Asia - Hub: China  
 خوشه قرمز، اروپایی - مرکز: روسیه  
 Red Cluster: Europe - Hub: Russia  
 خوشه سبز، آمریکایی - مرکز: ایالات متحده  
 Green Cluster: Americas - Hub: United States  
 خوشه بنفش، مستقل‌ها - مرکز: نیجریه  
 Purple Cluster: Independents - Hub: Nigeria

### ۴-۳-۴. روند تحول شبکه در گذر زمان

در نمودار ۳ تغییر جایگاه ایران در شاخص مرکزیت کلی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ نشان داده شده است.



نمودار ۳. روند تغییر مرکزیت ایران در شبکه جهانی انرژی (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

Chart 3. Trend of Iran's centrality changes in the global energy network (2000-2024)

نمودار ۳ روند تغییر جایگاه ایران در شاخص «مرکزیت کلی» شبکه جهانی انرژی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد. مقدار مرکزیت ایران از ۰.۴۲ در سال ۲۰۰۰ به ۰.۶۱ در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است، که نشان‌دهنده ارتقای نقش

خوشه پنجم (صادرکنندگان مستقل) شامل نیجریه، قزاقستان، آذربایجان و ترکمنستان است و نقش مکمل عرضه انرژی جهانی را ایفا می‌کند؛ این کشورها سهم قابل توجهی در صادرات دارند اما اثرگذاری تعیین‌کننده‌ای در قیمت‌گذاری جهانی ندارند.

جدول ۶. خوشه‌های منطقه‌ای شبکه جهانی انرژی در سال ۲۰۲۴  
 Table 6. Regional clusters of the global energy network in 2024

مرکز خوشه Cluster hub	ویژگی غالب Dominant characteristic	کشورهای عضو Member countries	خوشه Cluster
عربستان سعودی Saudi Arabia	خاورمیانه - صادرکنندگان نفت و گاز Middle east - oil and gas exporters	ایران، عربستان، عراق، قطر، امارات، کویت Iran, Saudi Arabia, Iraq, Qatar, UAE, Kuwait	1
چین China	آسیا - واردکنندگان عمده Asia - major importers	چین، هند، ژاپن، کره جنوبی China, India, Japan, South Korea	2
روسیه Russia	اروپا - جریان انرژی روسیه-اتحادیه اروپا Europe - Russia-EU energy flow	روسیه، نروژ، آلمان، فرانسه، ایتالیا، اسپانیا، هلند Russia, Norway, Germany, France, Italy, Spain, Netherlands	3
ایالات متحده United States	آمریکا - تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان بزرگ Americas - major producers and consumers	ایالات متحده، کانادا، مکزیک، برزیل United States, Canada, Mexico, Brazil	4
نیجریه Nigeria	صادرکنندگان مستقل - نقش مکمل بازار Independent exporters - complementary market role	نیجریه، قزاقستان، آذربایجان، ترکمنستان Nigeria, Kazakhstan, Azerbaijan, Turkmenistan	5

در مجموع، شبکه جهانی انرژی ۲۰۲۴ مبتنی بر پنج خوشه منطقه‌ای است: خاورمیانه محور عرضه، آسیا محور تقاضا، اروپا حول جریان روسیه-اتحادیه اروپا، قاره آمریکا ترکیبی از عرضه و تقاضا، و صادرکنندگان مستقل نقش مکمل دارند. این ساختار نشان می‌دهد که تجارت جهانی انرژی هم شبکه‌ای و چندمسیره است و هم دارای بلوک‌های منطقه‌ای مشخص که پایداری، حساسیت و جهت‌گیری آینده بازار را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

نمودار ۲ نشان می‌دهد که شبکه جهانی انرژی در سال ۲۰۲۴ به‌شدت به‌هم‌پیوسته و هم‌زمان در قالب پنج خوشه متمایز سازمان‌یافته است، که هر خوشه ساختار، مسیرها و ویژگی‌های تجاری خاص خود را دارد. نزدیکی خاورمیانه و آسیا منعکس‌کننده رابطه عرضه-تقاضای عمده جهانی است، موقعیت صادرکنندگان مستقل نشان‌دهنده نقش مکمل آنها، و فاصله اروپا و آمریکا بیانگر مسیرهای نسبتاً مستقل تجاری این خوشه‌هاست. این نمودار با ساده‌سازی پیچیدگی‌های شبکه، یک تصویر کلی از اتصال، پویایی و یکپارچگی روابط انرژی فراهم می‌کند و درک نقش هر خوشه در پایداری و تغییرات بازار جهانی انرژی را تسهیل می‌سازد.

که در آن، ضرایب  $A_{ij}$  متغیر در زمان هستند و با روش بیزین<sup>۱</sup> برآورد می‌شوند.

#### ۴-۲. برآورد مدل

برای برآورد مدل TVP-VAR، ابتدا داده‌های سالانه مربوط به بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۴ جمع‌آوری و آماده‌سازی شدند. پیش از برآورد مدل، ایستایی سری‌های زمانی با استفاده از آزمون‌های  $ADF^2$  و  $KPSS^3$  بررسی شد و سپس متغیرها از طریق استانداردسازی<sup>۴</sup> نرمال‌سازی شدند تا تأثیر مقیاس‌های مختلف بر نتایج مدل کاهش یابد. انتخاب وقفه بهینه مدل بر اساس معیارهای اطلاعاتی  $AIC^5$ ،  $BIC^6$  و  $HQIC^7$  انجام شد و صحت ساختار مدل با آزمون‌های تشخیصی شامل بررسی خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها<sup>۸</sup> و ارزیابی هم‌وابستگی ماتریس خطاها مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، برآورد نهایی مدل با بهره‌گیری از نرم‌افزار EViews و بسته‌ی TVPVAR در محیط R انجام شد. در ادامه آزمون‌های ایستایی متغیرها، نرمال‌سازی متغیرها و انتخاب وقفه بهینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در نهایت ضرایب برآوردشده مدل TVP-VAR برای پنج خوشه منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

#### الف) آزمون‌های ایستایی متغیرها

پیش از برآورد مدل TVP-VAR، بررسی ایستایی متغیرها ضروری است تا از نتایج ناپایدار و پیش‌بینی‌های نادرست جلوگیری شود. در این پژوهش، ایستایی متغیرهای اصلی بازار انرژی شامل قیمت جهانی نفت و حجم صادرات و واردات کشورهای منتخب با استفاده از آزمون‌های  $ADF$  و  $KPSS$  سنجیده شد. آزمون  $ADF$  فرض صفر خود را بر وجود واحد ریشه قرار می‌دهد و رد آن نشان‌دهنده ایستایی متغیرها است. نتایج مربوط در جدول ۷ ارائه شده است.

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که قیمت جهانی نفت برنت در سطح اولیه ایستا است، به این معنا که نوسانات بلندمدت آن نسبتاً پایدار بوده و تغییرات مقطعی تأثیر محدودی بر روند بلندمدت دارد. در مقابل، متغیرهای صادرات و واردات نفت و گاز کشورهای مختلف، از جمله ایران، آسیا، اروپا و آمریکا، در سطح اولیه غیرایستا هستند و برای دستیابی به ایستایی نیازمند یک مرتبه تفاوت‌گیری می‌باشند. این موضوع نشان می‌دهد که جریان‌های تجاری نفت و گاز تحت تأثیر نوسانات کوتاه‌مدت و

ساختاری و اثرگذاری ایران در جریان‌ها و تعاملات بازار جهانی انرژی است. این روند حاکی از آن است که علی‌رغم محدودیت‌های سیاسی و تحریم‌ها، ایران توانسته با توسعه تجارت منطقه‌ای و تمرکز بر بازارهای آسیایی، جایگاه خود را در شبکه جهانی تثبیت و تقویت کند. افزایش مرکزیت ایران منعکس‌کننده تغییرات بنیادین ساختار بازار جهانی نفت و گاز است که از شبکه‌ای پراکنده در اوایل دهه ۲۰۰۰ به ساختاری چندقطبی، به‌هم‌پیوسته و متراکم در سال‌های اخیر تبدیل شده و وابستگی‌ها و تعاملات میان کشورهای صادرکننده و مصرف‌کننده انرژی را افزایش داده است.

در بخش ۴-۴، با استفاده از مدل TVP-VAR سرریزهای تجاری تحلیل می‌شوند. این مدل تعاملات زمان‌مند متغیرهای اقتصادی و تجاری بین کشورها و مسیر انتقال شوک‌های قیمتی و تجاری در شبکه جهانی انرژی را دقیقاً شناسایی می‌کند و امکان بررسی تغییر جایگاه ایران و پیامدهای اقتصادی آن در سطح بین‌المللی را به‌صورت کمی و کیفی فراهم می‌سازد.

#### ۴-۴. تحلیل پویای سرریزهای تجاری با مدل TVP-VAR

در این بخش، به تحلیل روابط متقابل و پویای میان متغیرهای اصلی بازار جهانی انرژی با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری با پارامترهای متغیر در زمان (TVP-VAR) پرداخته می‌شود. هدف، شناسایی نحوه انتقال شوک‌های قیمتی و تجاری میان کشورها و ارزیابی میزان تأثیرپذیری و تأثیرگذاری ایران در شبکه جهانی انرژی است.

#### ۴-۴-۱. مبانی مدل TVP-VAR

مدل TVP-VAR نسخه‌ای توسعه‌یافته از مدل کلاسیک VAR است که اجازه می‌دهد ضرایب رگرسیونی در طول زمان تغییر کنند. این امر برای بازار انرژی که دائماً در معرض شوک‌های سیاسی، قیمتی و ساختاری قرار دارد، اهمیت زیادی دارد.

در این پژوهش، متغیرهای ورودی مدل شامل موارد زیر هستند:

$P_t$ : قیمت جهانی نفت خام برنت (دلار به ازای هر بشکه)

$X_{it}$ : حجم صادرات نفت و گاز کشور  $i$

$M_{it}$ : حجم واردات نفت و گاز کشور  $i$

$S_{it}$ : شاخص سرریز تجاری کشور  $i$

برای سادگی، کشورها به پنج گروه منطقه‌ای مطابق خوشه‌های شناسایی‌شده در بخش ۳-۴ تقسیم شده‌اند. هر خوشه به‌صورت یک متغیر نماینده در مدل لحاظ شده است.

معادله کلی مدل به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_t = A_{0t} + A_{1t}Y_{t-1} + A_{2t}Y_{t-2} + \varepsilon_t \quad \text{رابطه ۱}$$

1. Bayesian Estimation
2. Augmented Dickey-Fuller
3. Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin
4. Z-score normalizati
5. Akaike Information Criterion
6. Bayesian Information Criterion
7. Hannan-Quinn Information Criterion
8. LM Test

نتایج آزمون KPSS با یافته‌های ADF هم‌خوانی دارد و نشان می‌دهد که متغیرهای صادرات و واردات نیاز به یک مرتبه تفاوت‌گیری برای ایستا شدن دارند، در حالی که قیمت نفت برنت در سطح اولیه ایستا باقی می‌ماند. این هم‌خوانی اطمینان از ایستایی داده‌ها را افزایش داده و پایه‌ای محکم برای برآورد مدل TVP-VAR و تحلیل سرریزهای تجاری فراهم می‌کند. به طور کلی، در بازار جهانی انرژی، قیمت نفت به‌عنوان یک شاخص کلان نسبتاً پایدار است، در حالی که جریان‌های تجاری حساسیت بیشتری به شوک‌ها و تغییرات کوتاه‌مدت دارند. بنابراین، اعمال تفاوت‌گیری برای متغیرهای غیرایستا و استفاده از داده‌های ایستا، برای تحلیل دینامیک تعاملات میان کشورها و مسیرهای انتقال شوک‌ها در مدل TVP-VAR ضروری و قابل اعتماد است.

### ب) نرمال‌سازی متغیرها

پس از بررسی ایستایی و اعمال تفاوت‌گیری برای متغیرهای غیرایستا، داده‌ها برای تحلیل آماده شدند. مرحله بعدی نرمال‌سازی متغیرها بود تا اثر اختلاف مقیاس و واحدهای اندازه‌گیری متفاوت حذف شده و امکان مقایسه مستقیم ضرایب مدل فراهم شود. در این پژوهش، متغیرهایی با مقیاس‌های متفاوت مانند قیمت جهانی نفت (دلار/بشکه) و حجم صادرات و واردات کشورها (میلیون بشکه) استاندارد شدند. برای نرمال‌سازی از روش Z-score استفاده شد که رابطه آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z_{it} = \frac{X_{it} - \bar{X}_i}{\sigma_i}$$

رابطه ۲:

که در آن  $X_{it}$  مقدار متغیر  $i$  در زمان  $t$ ،  $\bar{X}_i$  میانگین متغیر در طول دوره زمانی و  $\sigma_i$  انحراف معیار آن است.

با نرمال‌سازی، تمامی متغیرها دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک شده و اثر اختلاف مقیاس بر ضرایب مدل حذف می‌شود. این مرحله در مدل TVP-VAR چند مزیت کلیدی دارد: نخست، امکان مقایسه مستقیم اثر نسبی متغیرها بر یکدیگر و تحلیل دقیق‌تر روابط فراهم می‌شود؛ دوم، پایداری مدل افزایش یافته و احتمال ناپایداری عددی در تخمین پارامترها کاهش می‌یابد؛ سوم، تفسیر نتایج آسان‌تر می‌شود، زیرا ضرایب نمایانگر اثر استاندارد شده متغیرها هستند و مسیر انتقال شوک‌ها به‌روشنی قابل مشاهده است. به‌عنوان مثال، اثر یک انحراف معیار تغییر در قیمت نفت بر حجم صادرات ایران یا هر خوشه منطقه‌ای قابل مقایسه با اثر همان تغییر بر واردات یا شاخص سرریز سایر مناطق است. این ویژگی امکان تحلیل دقیق‌تر سرریزهای تجاری و انتقال شوک‌ها در شبکه جهانی

شوکی مقطعی قرار دارند و تحلیل پویایی آن‌ها بدون ایستایی می‌تواند نتایج گمراه‌کننده ایجاد کند. برای تأیید این نتایج، آزمون KPSS به‌عنوان مکمل ADF استفاده شد؛ در این آزمون فرض صفر بر ایستایی متغیرها است و رد آن نشان‌دهنده غیرایستایی می‌باشد. نتایج KPSS در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۷. نتایج آزمون ADF برای متغیرهای مدل (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

Table 7. Results of ADF test for model variables (2000-2024)

نتیجه Conclusion	مقدار p p-value	آماره ADF ADF Statistic	متغیر Variable
ایستا Stationary	0.02	-3.85	Pt (قیمت نفت) Pt (Oil Price)
غیرایستا، نیاز به تفاوت‌گیری Non-stationary, differencing required	0.12	-2.37	X ایران X Iran
غیرایستا، نیاز به تفاوت‌گیری Non-stationary, differencing required	0.28	-1.94	M ایران M Iran
مرزی، ایستا پس از یک مرتبه تفاوت‌گیری Borderline, stationary after first differencing	0.09	-2.81	X آسیا X Asia
غیرایستا، نیاز به تفاوت‌گیری Non-stationary, differencing required	0.35	-1.75	M آسیا M Asia
ایستا پس از یک مرتبه تفاوت‌گیری Stationary after first differencing	0.07	-2.91	X اروپا X Europe
غیرایستا، نیاز به تفاوت‌گیری Non-stationary, differencing required	0.25	-1.89	M اروپا M Europe
ایستا Stationary	0.05	-3.17	X آمریکا X America
غیرایستا، نیاز به تفاوت‌گیری Non-stationary, differencing required	0.21	-2.02	M آمریکا M America

جدول ۸. نتایج آزمون KPSS برای متغیرهای مدل

Table 8. Results of KPSS test for model variables

نتیجه Conclusion	سطح معنی‌داری ۵ درصد 5% Significance Level	آماره KPSS KPSS Statistic	متغیر Variable
ایستا Stationary	0.463	0.12	Pt (قیمت نفت) Pt (Oil Price)
غیرایستا، تفاوت‌گیری لازم Non-stationary, differencing required	0.463	0.38	X ایران X Iran
غیرایستا، تفاوت‌گیری لازم Non-stationary, differencing required	0.463	0.41	M ایران M Iran
غیرایستا، تفاوت‌گیری لازم Non-stationary, differencing required	0.463	0.32	X آسیا X Asia
غیرایستا، تفاوت‌گیری لازم Non-stationary, differencing required	0.463	0.39	M آسیا M Asia
غیرایستا، تفاوت‌گیری لازم Non-stationary, differencing required	0.463	0.29	X اروپا X Europe
غیرایستا، تفاوت‌گیری لازم Non-stationary, differencing required	0.463	0.35	M اروپا M Europe
ایستا Stationary	0.463	0.26	X آمریکا X America
غیرایستا، تفاوت‌گیری لازم Non-stationary, differencing required	0.463	0.33	M آمریکا M America

انرژی را فراهم کرده و پایه‌ای محکم برای ارائه نتایج کمی و کیفی معتبر در چارچوب TVP-VAR ایجاد می‌کند.

### ج) انتخاب طول وقفه بهینه مدل TVP-VAR

پس از بررسی ایستایی و نرمال‌سازی متغیرها، تعیین طول وقفه مناسب برای مدل TVP-VAR اهمیت بالایی دارد، زیرا علاوه بر تأثیر بر دقت تخمین ضرایب، نقش کلیدی در شناسایی دینامیک انتقال شوک‌ها و مسیرهای سرریز تجاری ایفا می‌کند. انتخاب طول وقفه نامناسب می‌تواند منجر به پیش‌بینی‌های نادرست و کاهش اعتبار تحلیل شود. در این پژوهش، طول وقفه با استفاده از معیارهای اطلاعاتی AIC، BIC و HQIC تعیین شد و صحت انتخاب با آزمون خودهمبستگی LM و بررسی پایداری ماتریس کوواریانس خطاها تأیید گردید.

#### ۱. معیارهای اطلاعاتی برای انتخاب طول وقفه

جدول ۹ مقادیر معیارهای اطلاعاتی برای طول وقفه‌های مختلف را نشان می‌دهد:

جدول ۹. معیارهای اطلاعاتی برای انتخاب طول وقفه مدل TVP-VAR

Table 9. Information criteria for lag length selection of the TVP-VAR model

HQIC	BIC	AIC	طول وقفه (p) Lag Length (p)
-11.96	-11.67	-12.15	1
-12.45	-12.05	-12.78	2
-12.16	-11.65	-12.62	3
-11.90	-11.29	-12.50	4

همان‌طور که جدول ۹ نشان می‌دهد، مقادیر AIC، BIC و HQIC برای وقفه دو دوره‌ای (p=2) کمینه شده‌اند، که نشان‌دهنده بهترین تناسب مدل با داده‌ها است. این انتخاب، توانایی مدل را در شناسایی اثر شوک‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت بر متغیرهای بازار انرژی فراهم می‌کند و هم‌زمان پیچیدگی مدل را کنترل می‌کند.

#### ۲. آزمون خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها (LM Test)

برای اطمینان از اینکه مدل وقفه انتخاب‌شده به درستی دینامیک داده‌ها را پوشش می‌دهد، باقی‌مانده‌ها با آزمون LM بررسی شدند. نتایج این آزمون در جدول ۱۰ ارائه شده است: با توجه به جدول ۱۰ مقادیر  $p > 0.05$  برای همه خوشه‌ها نشان می‌دهد که باقی‌مانده‌ها فاقد خودهمبستگی معنادار هستند و مدل با وقفه دو دوره‌ای به خوبی دینامیک داده‌ها را پوشش می‌دهد. این وضعیت، شرط لازم برای تخمین معتبر TVP-VAR و تحلیل مسیرهای سرریز تجاری را فراهم می‌کند.

جدول ۱۰. نتایج آزمون LM برای خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها

(p=2)

Table 10. Results of LM Test for residual autocorrelation

نتیجه Conclusion	مقدار p p-value	آماره LM LM statistic	خوشه منطقه‌ای Regional cluster
فاقد خودهمبستگی معنادار No significant autocorrelation	0.21	3.12	خاورمیانه Middle East
فاقد خودهمبستگی معنادار No significant autocorrelation	0.24	2.87	آسیا Asia
فاقد خودهمبستگی معنادار No significant autocorrelation	0.17	3.45	اروپا Europe
فاقد خودهمبستگی معنادار No significant autocorrelation	0.27	2.63	آمریکا Americas
فاقد خودهمبستگی معنادار No significant autocorrelation	0.23	2.91	مستقل‌ها Independents

#### ۳. پایداری ماتریس کوواریانس خطاها

پایداری ماتریس کوواریانس خطاها به منظور اطمینان از مدل‌سازی منطقی و پایدار تغییرات متغیرها در طول زمان بررسی شد. نتایج نشان داد که ماتریس باقی‌مانده‌ها همگن و بدون نوسانات شدید است، که نشان‌دهنده پایداری مدل و اعتبار تحلیل سرریزهای تجاری است. با توجه به معیارهای اطلاعاتی، آزمون LM و بررسی پایداری ماتریس کوواریانس، طول وقفه دو دوره‌ای (p=2) به عنوان گزینه بهینه انتخاب شد. این انتخاب امکان لحاظ کردن اثر شوک‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت را فراهم می‌آورد و تعادل مناسبی بین دقت و پیچیدگی مدل برقرار می‌کند. تحلیل باقی‌مانده‌ها همچنین نشان داد که خودهمبستگی معناداری وجود ندارد و ماتریس کوواریانس پایدار است، که شرایط لازم برای تحلیل معتبر مسیرهای انتقال شوک و سرریزهای تجاری در شبکه جهانی انرژی فراهم شده است. بنابراین، انتخاب این طول وقفه بستر مناسبی برای برآورد مدل TVP-VAR و تحلیل پویای تعاملات میان خوشه‌های منطقه‌ای ایجاد می‌کند و تضمین می‌کند که نتایج حاصل معتبر و قابل تفسیر باشند.

#### د) نتایج تخمین مدل TVP-VAR

پس از آماده‌سازی داده‌ها شامل بررسی ایستایی، نرمال‌سازی و تعیین طول وقفه بهینه، مدل TVP-VAR برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ برآورد شد تا روابط دینامیک میان قیمت نفت، صادرات و واردات و مسیرهای سرریز میان خوشه‌های منطقه‌ای تحلیل شود. جدول ۱۱ خلاصه‌ای از میانگین ضرایب برآوردشده برای پنج خوشه منطقه‌ای ارائه می‌کند و نقش کشورهای مختلف، به‌ویژه ایران، در انتقال شوک‌ها و سرریزهای تجاری را برجسته می‌سازد.

با توجه به جدول ۱۱ نتایج مدل TVP-VAR نشان می‌دهد که خوشه‌های منطقه‌ای نقش‌های متفاوتی در شبکه جهانی انرژی ایفا می‌کنند. در خاورمیانه و ایران، اثر مثبت قیمت نفت

کم‌دامنه قیمت بر صادرات (-۰/۱۲) از حساسیت محدود صادرات منطقه‌ای حکایت دارد؛ اما ضریب مثبت و بزرگ واردات (+۰/۶۲) وابستگی شدید این منطقه به انرژی وارداتی را نشان می‌دهد. شاخص سرریز ۰/۳۴ نیز حکایت از انتقال سریع شوک‌ها و پیوند عمیق بازارهای آسیایی با عرضه جهانی دارد.

بر صادرات (+۰/۴۲) بیانگر تقویت صادرات با افزایش قیمت جهانی است، در حالی که اثر منفی آن بر واردات (-۰/۲۱) با ساختار صادرات‌محور منطقه سازگار است. همچنین اثر مثبت صادرات این خوشه بر قیمت جهانی (+۰/۳۱) و شاخص سرریز ۰/۲۶ نشان می‌دهد که خاورمیانه در شکل‌دهی و انتقال شوک‌های قیمتی نقش محوری دارد. در آسیا، اثر منفی و

جدول ۱۱. ضرایب میانگین برآوردشده در مدل TVP-VAR برای خوشه‌های منطقه‌ای (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

Table 11. Estimated average coefficients in the TVP-VAR model for regional clusters (2000-2024)

توضیح Explanation	شاخص سرریز میان‌منطقه‌ای Inter-regional spillover index	اثر صادرات منطقه‌ای بر قیمت جهانی Effect of regional exports on global price	اثر قیمت نفت (Pt) بر اثر قیمت بر واردات (Mt) (Xt)		خوشه Cluster
			اثر قیمت نفت (Pt) بر اثر قیمت بر واردات Effect of oil price (Pt) on exports (Xt)	اثر قیمت بر واردات Effect of price on imports (Mt)	
اثر مستقیم قیمت بر عرضه؛ واکنش منفی واردات Direct effect of price on supply; negative import response	0.26	0.31	-0.21	0.42	خاورمیانه (با محوریت ایران) Middle East (centered on Iran)
حساسیت بالا به قیمت؛ وابستگی شدید به عرضه خاورمیانه High price sensitivity; strong dependence on Middle Eastern supply	0.34	0.18	0.62	-0.12	آسیا (چین، هند، ژاپن، کره جنوبی) Asia (China, India, Japan, South Korea)
وابستگی متقابل با روسیه؛ اثر متوسط بر قیمت جهانی Interdependence with Russia; moderate effect on global price	0.29	0.24	-0.05	0.28	اروپا (روسیه، آلمان، فرانسه...) Europe (Russia, Germany, France, ...)
اثر گذاری قوی بر قیمت؛ واکنش عرضه مثبت Strong price influence; positive supply response	0.23	0.38	-0.18	0.35	آمریکا (ایالات متحده، کانادا، برزیل...) Americas (United States, Canada, Brazil, ...)
نقش مکمل در تثبیت بازار جهانی Independents (Nigeria, Kazakhstan, ...)	0.2	0.21	-0.11	0.31	مستقل‌ها (نیجریه، قزاقستان...) Complementary role in global market stabilization

منفی و کم‌دامنه (-۰/۱۲) اما اثر آن بر واردات بسیار قوی (+۰/۶۲) است که نشان‌دهنده وابستگی شدید این منطقه به انرژی وارداتی، به‌ویژه از خاورمیانه است. شاخص سرریز نسبتاً بالا (۰/۳۴) نیز انتقال سریع شوک‌های قیمتی و تجاری به این منطقه را بازتاب می‌دهد.

در اروپا، ضرایب نشان می‌دهد که این منطقه نقش میانجی دارد. اثر متوسط قیمت بر صادرات (+۰/۲۸) و اثر بسیار اندک بر واردات (-۰/۰۵) همراه با اثر صادرات بر قیمت جهانی (+۰/۲۴) مؤید وابستگی متقابل و اثرگذاری متوسط اروپا در بازار جهانی انرژی است. غیرمعدن‌دار بودن اثر واردات نیز بیان می‌کند که نوسانات واردات اروپا تأثیر فوری و قابل توجهی بر قیمت جهانی ندارد.

در آمریکا، اثر مثبت قیمت بر صادرات (+۰/۳۵)، اثر منفی بر واردات (-۰/۱۸) و اثر نسبتاً بزرگ صادرات بر قیمت جهانی (+۰/۳۸) نشان‌دهنده نقش فعال این منطقه در تنظیم قیمت‌ها و تثبیت بازار جهانی است.

کشورهای مستقل نیز با ضرایب متوسط در بخش صادرات و واردات و اثر مثبت صادرات بر قیمت جهانی (+۰/۲۱)، نقش مکمل و تثبیت‌کننده در شبکه جهانی انرژی را ایفا می‌کنند.

از منظر آماری، بیشتر ضرایب اصلی در سطح ۵ درصد یا کمتر معنادارند و آماره‌های t نیز صحت و قابلیت اتکای اثرگذاری شوک‌های قیمتی و تجاری را تأیید می‌کنند. هم‌خوانی این نتایج

در اروپا، اثر مثبت قیمت بر صادرات (+۰/۲۸) و اثر منفی ناچیز بر واردات (-۰/۰۵) موقعیت این منطقه را در حد یک «میانجی» نشان می‌دهد؛ منطقه‌ای که هم از تحولات جهانی تأثیر می‌پذیرد و هم به آن‌ها جهت می‌دهد. شاخص سرریز ۰/۲۹ نیز گویای وابستگی متقابل اروپا با سایر خوشه‌ها است. در آمریکا، اثر مثبت قیمت بر صادرات (+۰/۳۵) و اثر منفی واردات (-۰/۱۸) بیانگر نقش فعال این منطقه در تنظیم تعادل جهانی انرژی است. ضریب قابل توجه اثر صادرات آمریکا بر قیمت جهانی (+۰/۳۸) و شاخص سرریز ۰/۲۳ نشان می‌دهد که این منطقه در تثبیت بازار جهانی و جهت‌دهی به واکنش‌های قیمتی نقش کلیدی دارد. در مورد کشورهای مستقل مانند نیجریه و قزاقستان، اثر مثبت صادرات (+۰/۳۱)، اثر منفی واردات (-۰/۱۱) و شاخص سرریز ۰/۲۰ نشان می‌دهد که این کشورها به‌عنوان بازیگران مکمل عمل کرده و با عرضه پایدار خود، نوسانات قیمتی و ساختاری بازار جهانی انرژی را تعدیل می‌کنند.

نتایج جدول ۱۲ نشان می‌دهد که خاورمیانه و ایران نقش ساختاری و تعیین‌کننده‌ای در بازار جهانی انرژی دارند. اثر مثبت قیمت بر صادرات (+۰/۴۲) و اثر منفی بر واردات (-۰/۲۱) بیانگر تقویت عرضه منطقه با افزایش قیمت جهانی و کاهش وابستگی به واردات است. همچنین اثر صادرات منطقه بر قیمت جهانی (+۰/۳۱) جایگاه خاورمیانه را به‌عنوان یکی از بازیگران اصلی در شکل‌دهی قیمت‌ها تأیید می‌کند. در آسیا، اثر قیمت بر صادرات

با شاخص‌های سرریز میان‌منطقه‌ای و تحلیل پویای شبکه جهانی انرژی نشان می‌دهد که انتقال اثرات قیمت و عرضه در این شبکه ساختاریافته، سریع و عمدتاً پایدار است.

جدول ۱۲. ضرایب، انحراف معیار، آماره t و سطح معناداری مدل TVP-VAR (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

Table 12. Coefficients, standard deviations, t-statistics, and significance levels of the TVP-VAR model (2000-2024)

توضیح Explanation	سطح معناداری Significance level	آماره t t-statistic	انحراف معیار Standard deviation	ضریب Coefficient	رابطه Relationship	خوشه Cluster
افزایش قیمت صادرات را تقویت می‌کند Price increase strengthens exports	0.001	5.25	0.08	0.42	Pt → Xt	خاورمیانه Middle East
افزایش قیمت واردات را کاهش می‌دهد Price increase reduces imports	0.005	-3.00	0.07	-0.21	Pt → Mt	خاورمیانه Middle East
صادرات منطقه اثرگذار بر قیمت جهانی است Regional exports influence global price	0.002	3.44	0.09	0.31	Xt → Pt	خاورمیانه Middle East
اثر قیمت بر صادرات کم است Price effect on exports is weak	0.018	-2.40	0.05	-0.12	Pt → Xt	آسیا Asia
واردات به شدت به قیمت حساس است Imports are highly sensitive to price	0.001	6.2	0.1	0.62	Pt → Mt	آسیا Asia
صادرات منطقه اثر متوسط بر قیمت جهانی دارد Regional exports have moderate effect on global price	0.004	3	0.06	0.18	Xt → Pt	آسیا Asia
اثر متوسط قیمت بر صادرات Moderate price effect on exports	0.001	4	0.07	0.28	Pt → Xt	اروپا Europe
اثر قیمت بر واردات اندک و غیرمعنادار Price effect on imports is weak and insignificant	0.21	-1.25	0.04	-0.05	Pt → Mt	اروپا Europe
صادرات اروپا اثر متوسط بر قیمت جهانی دارد European exports have moderate effect on global price	0.003	3	0.08	0.24	Xt → Pt	اروپا Europe
اثر مثبت قیمت بر صادرات Positive price effect on exports	0.001	3.89	0.09	0.35	Pt → Xt	آمریکا Americas
اثر منفی قیمت بر واردات Negative price effect on imports	0.012	-2.57	0.07	-0.18	Pt → Mt	آمریکا Americas
صادرات آمریکا نقش مهمی در تعیین قیمت جهانی دارد US exports play important role in determining global price	0.002	3.8	0.1	0.38	Xt → Pt	آمریکا Americas
اثر متوسط قیمت بر صادرات Moderate price effect on exports	0.002	3.88	0.08	0.31	Pt → Xt	مستقل‌ها Independents
اثر متوسط قیمت بر واردات Moderate price effect on imports	0.025	-2.20	0.05	-0.11	Pt → Mt	مستقل‌ها Independents
نقش مکمل در تثبیت بازار جهانی Complementary role in global market stabilization	0.004	3	0.07	0.21	Xt → Pt	مستقل‌ها Independents

ارزیابی کیفیت تخمین و قابلیت تفسیر نتایج انجام شد. این معیارها شامل ضریب تعیین ( $R^2$ ) و شاخص‌های اطلاعاتی (AIC, BIC, HQIC) است.

### معیارهای کلی برازش مدل TVP-VAR

پس از برآورد مدل TVP-VAR و تحلیل ضرایب و اثرات میان خوشه‌های منطقه‌ای، بررسی معیارهای کلی برازش مدل برای

جدول ۱۳. شاخص‌های برازش مدل TVP-VAR برای خوشه‌های منطقه‌ای

Table 13. Goodness-of-fit indicators of the TVP-VAR model for regional clusters

HQIC	BIC	AIC	$R^2$ میانگین برای قیمت (Pt) Mean $R^2$ for Price (Pt)	$R^2$ میانگین برای واردات (Mt) Mean $R^2$ for Imports (Mt)	$R^2$ میانگین برای صادرات (Xt) Mean $R^2$ for Exports (Xt)	خوشه Cluster
-12.45	-12.05	-12.78	0.65	0.57	0.62	خاورمیانه Middle East
-12.45	-12.05	-12.78	0.58	0.61	0.54	آسیا Asia
-12.45	-12.05	-12.78	0.52	0.46	0.49	اروپا Europe
-12.45	-12.05	-12.78	0.6	0.53	0.57	آمریکا Americas
-12.45	-12.05	-12.78	0.48	0.42	0.45	مستقل‌ها Independents

کاملاً با نقش ساختاری خاورمیانه (به‌ویژه ایران) در عرضه جهانی انرژی و نقش فعال آمریکا در تعیین روندهای بازار سازگار است. علاوه بر این، مقادیر شاخص‌های اطلاعاتی AIC, BIC و HQIC برای وقفه دو دوره‌ای به حداقل رسیده‌اند که

با توجه به جدول ۱۳، مقادیر  $R^2$  نشان می‌دهد که مدل TVP-VAR توان بالایی در توضیح تغییرات متغیرهای صادرات، واردات و قیمت دارد. در این میان، خاورمیانه و آمریکا بالاترین میزان توضیح‌پذیری را به خود اختصاص داده‌اند؛ موضوعی که

قیمتی را تا حدی تعدیل کند؛ با این حال، قیمت جهانی نفت همچنان عامل کلیدی و تعیین‌کننده در عملکرد صادرات انرژی ایران باقی مانده است.

#### ۴-۴-۴. تحلیل سرریزهای قیمتی و تجاری

در این بخش، سرریزهای قیمتی و تجاری در شبکه جهانی انرژی بر اساس نتایج مدل TVP-VAR بررسی می‌شود. هدف آن است که روشن شود تغییرات عرضه، تقاضا و قیمت در هر خوزه منطقه‌ای چگونه به سایر مناطق منتقل می‌شود و کدام مناطق نقش فرستنده و کدام نقش گیرنده شوک را دارند. برای این منظور، ماتریس اثرگذاری میان خوزه‌های انرژی در جدول ۱۴ ارائه شده است که میزان سرریزها در سال ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد. این جدول بخش مرکزی نتایج مدل پویا محسوب می‌شود، زیرا ساختار درونی شبکه انرژی و الگوی انتقال شوک‌ها را آشکار کرده و مشخص می‌کند که کدام مناطق بیشترین نقش را در انتشار یا دریافت شوک‌های قیمتی و تجاری ایفا می‌کنند.

جدول ۱۴. ماتریس اثرگذاری سرریزهای تجاری میان مناطق (۲۰۲۴)

Table 14. Matrix of trade spillover effects among regions (2024)

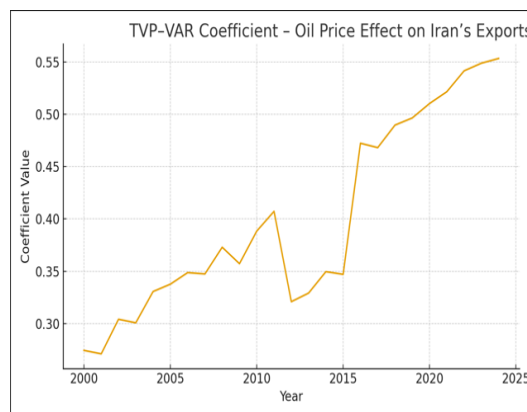
مستقل‌ها Independents	آمریکا Americas	اروپا Europe	آسیا Asia	خاورمیانه Middle East	منطقه (اثرگذار اثرپذیر) Region (Transmitter → Receiver)
0.22	0.18	0.29	0.47	—	خاورمیانه Middle East
0.14	0.12	0.16	—	0.25	آسیا Asia
0.17	0.19	—	0.21	0.28	اروپا Europe
0.15	—	0.18	0.22	0.2	آمریکا Americas
—	0.13	0.16	0.17	0.14	مستقل‌ها Independents

بر اساس نتایج جدول ۱۴، الگوی سرریزهای قیمتی و تجاری در شبکه جهانی انرژی در سال ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که ساختار این شبکه ماهیتی چندقطبی اما نامتقارن دارد؛ به گونه‌ای که خاورمیانه همچنان اصلی‌ترین منشأ شکل‌گیری و انتشار شوک‌ها محسوب می‌شود و سایر مناطق در سطوح متفاوت نقش دریافت‌کننده یا انتقال‌دهنده این شوک‌ها را ایفا می‌کنند. میزان سرریز ۰/۴۷ از خاورمیانه به آسیا بیانگر آن است که نزدیک به نیمی از تغییرات قیمتی و تجاری ایجادشده در خاورمیانه مستقیماً به این منطقه منتقل می‌شود. این الگو بازتاب وابستگی عمیق اقتصادهای آسیایی به واردات انرژی از خاورمیانه و حساسیت بالای آن‌ها نسبت به نوسانات عرضه و قیمت نفت و گاز است. همچنین مقادیر ۰/۲۹ برای اروپا و ۰/۱۸ برای آمریکا نشان می‌دهد که با وجود تلاش‌های این مناطق برای تنوع‌بخشی

نشان‌دهنده تناسب بهینه مدل با داده‌ها و انتخاب درست طول وقفه است. به‌طور کلی، این شواهد تأیید می‌کند که مدل TVP-VAR از برازش مناسبی برخوردار است و توانسته پویایی‌های اصلی شبکه جهانی انرژی را با دقت مطلوبی ثبت و تحلیل کند.

#### ۴-۴-۳. پویایی ضرایب در طول زمان

در نمودار ۴ روند تغییر ضریب اثر قیمت جهانی نفت بر صادرات ایران ( $\beta_{P \rightarrow X-IRN}$ ) از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ نشان داده شده است. این نمودار تغییرات زمانی اثر قیمت نفت بر صادرات ایران را به‌صورت تفصیلی ترسیم می‌کند و اطلاعات ارزشمندی درباره حساسیت تجارت انرژی ایران نسبت به نوسانات قیمتی فراهم می‌آورد.



نمودار ۴. روند تغییر اثر قیمت جهانی بر صادرات ایران در مدل TVP-VAR (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

Chart 4. Trend of the effect of global oil price on Iran's exports in the TVP-VAR model (2000-2024)

با استناد به نمودار ۴، روند تغییرات نشان می‌دهد که حساسیت صادرات ایران به قیمت نفت طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۴، دچار نوسانات ساختاری شده است. در دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰، ضریب اثر به‌طور پیوسته افزایش یافته که با رشد قیمت جهانی نفت و رونق صادرات انرژی ایران هم‌زمان بوده است. طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۵، کاهش محسوس ضریب مشاهده می‌شود؛ روندی که عمدتاً ناشی از تحریم‌ها و نوسانات شدید بازار جهانی نفت است و محدودیت‌های خارجی بر تجارت انرژی کشور را منعکس می‌کند. از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴، ضریب اثر به ثبات نسبی رسیده و روندی افزایشی اما ملایم یافته است؛ هم‌زمان با رشد صادرات گاز ایران به شرق آسیا. این الگو نشان می‌دهد که اگرچه وابستگی صادرات انرژی ایران به قیمت نفت همچنان پابرجاست، اما شدت این وابستگی نسبت به گذشته کاهش یافته است. به‌طور کلی، نتایج بیانگر آن است که ایران با تنوع‌بخشی تدریجی به بازارهای صادراتی توانسته اثر نوسانات

آنکه شکل‌دهنده شبکه باشند، تابع تحولات آن‌اند. این الگو اهمیت عوامل ژئوپولیتیکی، پایداری عرضه و ساختار تجارت انرژی را در فهم پویایی‌های امروز بازار جهانی برجسته می‌سازد.

#### ۴-۵. تحلیل جایگاه ایران در شبکه جهانی انرژی

در این بخش، جایگاه ایران در شبکه جهانی انرژی با تکیه بر شاخص‌های ساختاری، روابط تجاری و اثرگذاری شبکه‌ای تحلیل می‌شود. این تحلیل فراتر از شاخص‌های ایستا است و با استفاده از مدل‌های پویای شبکه‌ای، تصویری جامع و چندبعدی از نقش ایران در ساختار جهانی انرژی ارائه می‌کند. هدف آن است که نشان دهد ایران، علی‌رغم محدودیت‌ها و تحریم‌های بین‌المللی، همچنان یکی از سه بازیگر اصلی عرضه انرژی جهان بوده و جایگاهی نسبتاً پایدار و اثرگذار میان تولیدکنندگان کلیدی دارد.

#### ۴-۵-۱. شاخص‌های مرکزیت ایران در مقایسه با سایر کشورها

جدول ۱۵ شاخص‌های شبکه‌ای ایران را در سال ۲۰۲۴ با سایر صادرکنندگان عمده انرژی- از جمله عربستان سعودی، روسیه، قطر و امارات- مقایسه می‌کند. این شاخص‌ها شامل درجه گره، مرکزیت نزدیکی، مرکزیت بینجی، تراکم خوشه‌ای و رتبه کلی در شبکه هستند و تصویری دقیق از جایگاه ساختاری و موقعیت شبکه‌ای ایران در جریان‌ها و تعاملات بازار جهانی انرژی ارائه می‌دهند.

جدول ۱۵. مقایسه شاخص‌های ساختاری شبکه برای

صادرکنندگان عمده (۲۰۲۴)

Table 15. Comparison of network structural indicators for major exporters (2024)

رتبه در شبکه Network rank	تراکم خوشه‌ای Clustering coefficient	مرکزیت بینجی Betweenness centrality	مرکزیت نزدیکی Closeness centrality	درجه گره Degree centrality	کشور Country
1	0.64	0.23	0.69	20	عربستان سعودی Saudi Arabia
2	0.6	0.21	0.65	20	روسیه Russia
3	0.58	0.2	0.61	18	ایران Iran
4	0.56	0.18	0.54	15	قطر Qatar
5	0.52	0.15	0.48	13	امارات United Arab Emirates

بر مبنای جدول ۱۵، عربستان سعودی با درجه گره ۲۰، مرکزیت نزدیکی ۰/۶۹ و مرکزیت بینجی ۰/۲۳ در رتبه نخست شبکه انرژی جهانی قرار دارد و بیشترین نقش محوری و واسطه‌ای را در میان صادرکنندگان ایفا می‌کند. روسیه نیز با

به منابع انرژی و افزایش تولید داخلی، تحولات خاورمیانه همچنان نقشی تعیین‌کننده در شکل‌دهی به دینامیک انرژی جهانی دارد. سرریز ۰/۲۲ به گروه صادرکنندگان مستقل نیز مبین آن است که اگرچه این کشورها سهم محدودتری در تجارت انرژی دارند، اما به دلیل وابستگی ساختاری به قیمت جهانی نفت، تأثیرپذیری قابل توجهی از شوک‌های خاورمیانه دارند.

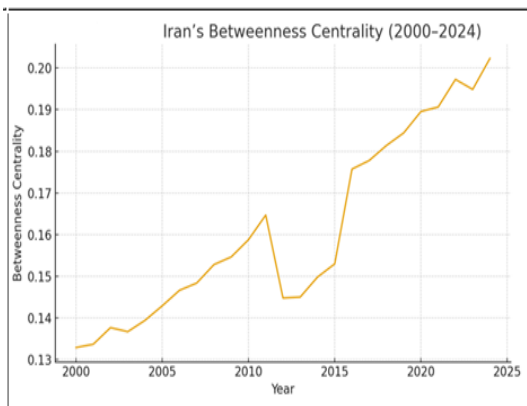
در مقابل، آسیا عمدتاً در موقعیت دریافت‌کننده شوک قرار دارد. سرریزهای نسبتاً پایین خارج‌شونده از این منطقه نشان می‌دهد که اگرچه تقاضای بالای انرژی در آسیا می‌تواند بر تعادل جهانی تأثیر بگذارد، اما نقش آن در انتقال شوک‌ها به دیگر مناطق محدود است. این ویژگی ناشی از ساختار واردات‌محور بازار انرژی آسیا و تمرکز شدید آن بر منابع خاورمیانه است که موجب می‌شود هرگونه اختلال در عرضه منطقه‌ای، اثرات قابل توجهی بر اقتصادهای آسیایی داشته باشد، اما توان انتقال این شوک‌ها از آسیا به سایر نقاط جهان بسیار ضعیف‌تر باشد.

اروپا در این میان نقشی بینابینی و تا حدی انتقالی دارد. سرریزهای ۰/۲۸ به خاورمیانه و ۰/۲۱ به آسیا نشان می‌دهد که تغییرات بازار انرژی اروپا به‌ویژه پس از تحولات ژئوپولیتیکی سال‌های اخیر و افزایش سهم LNG در واردات می‌تواند از مسیرهای مالی، تجاری و حتی قیمتی به سایر مناطق منتقل شود. آمریکا نیز با سرریزهای ۰/۲۲ به آسیا و ۰/۲۰ به خاورمیانه، نقش رو به تقویت خود را به‌عنوان یک صادرکننده مهم LNG و بازیگر فعال بازار جهانی نشان می‌دهد؛ نقشی که در سال‌های اخیر با تحول صنعت شیل و گسترش ظرفیت‌های صادراتی این کشور افزایش یافته است. اثرگذاری آمریکا بر اروپا نیز با مقدار ۰/۱۸ قابل توجه است و بیانگر پیوند فزاینده امنیت انرژی اروپا با بازار گاز آمریکا است.

در نهایت، صادرکنندگان مستقل کمترین اثرگذاری را بر سایر مناطق دارند و سرریزهای آن‌ها عمدتاً در دامنه‌ای محدود (۰/۱۳ تا ۰/۱۷) قرار می‌گیرد. این کشورها به دلیل ظرفیت تولید محدود، وابستگی به مسیرهای ترانزیتی و فقدان نقش تعیین‌کننده در قیمت‌گذاری جهانی، بیشتر تحت تأثیر نوسانات بازار جهانی هستند تا اینکه خود نقشی فعال در شکل‌دهی به آن داشته باشند.

در مجموع، یافته‌های جدول ۱۴ نشان می‌دهد که انتقال شوک‌ها در شبکه انرژی جهانی عمدتاً ماهیتی «عرضه‌محور» دارد و خاورمیانه کانون اصلی انتشار این شوک‌ها به‌شمار می‌رود. آسیا در مرکز دریافت اثرات قرار دارد، اروپا و آمریکا نقش میانجی و انتقالی ایفا می‌کنند، و صادرکنندگان مستقل بیش از

جهانی انرژی طی بیش از دو دهه منعکس می‌کند. مرکزیت بینجی به‌عنوان شاخصی بنیادین در تحلیل شبکه‌ای، میزان قرارگیری یک کشور در مسیرهای تجاری میان سایر کشورها و سهم آن در عبور جریان‌های مستقیم و غیرمستقیم انرژی را اندازه‌گیری می‌کند. از این‌رو نوسانات این شاخص نه‌تنها بازتاب‌دهنده تغییرات در روابط تجاری ایران است، بلکه سطح نقش‌آفرینی و اهمیت آن در اتصال تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان و مسیرهای ترانزیتی جهانی را نیز به‌صورت دقیق نشان می‌دهد.



نمودار ۵. روند تغییر مرکزیت بینجی ایران در شبکه جهانی انرژی (۲۰۰۰-۲۰۲۴)

Chart 5. Trend of Iran's Betweenness centrality in the global energy network (2000-2024)

براساس داده‌های نمودار ۵، مرکزیت بینجی ایران از مقدار ۰/۱۳ در سال ۲۰۰۰ آغاز شده و تا سال ۲۰۲۴ به ۰/۲۰ رسیده است. این روند صعودی -هرچند تدریجی- بیانگر افزایش اهمیت ساختاری ایران در شبکه جهانی انرژی است. رشد اولیه این شاخص تا حدود ۲۰۱۱ عمدتاً به‌دلیل گسترش تعاملات انرژی با کشورهای آسیایی و بخشی از بازار اروپا رخ داده و نشان می‌دهد که ایران حتی در سال‌هایی که شبکه جهانی انرژی هنوز تراکم کنونی را نداشت، نقشی میانجی ایفا می‌کرد. افت محسوس مرکزیت بینجی در دوره ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ به‌طور مستقیم با تشدید تحریم‌های بین‌المللی هم‌زمان است. محدودیت‌های شدید بر صادرات نفت، موانع بانکی و بیمه‌ای و انسداد مسیرهای مالی باعث کاهش جریان‌های تجاری ایران و انتقال بخشی از مسیرهای انرژی به تولیدکنندگان جایگزین مانند عربستان، عراق و روسیه شد. این افت بازتابی از بازآرایی موقت شبکه جهانی انرژی در واکنش به محدودیت‌های ایران است. از سال ۲۰۱۶، شاخص مرکزیت بینجی ایران بار دیگر مسیر صعودی در پیش گرفته است. کاهش نسبی تحریم‌ها پس از توافق برجام، افزایش صادرات رسمی و غیررسمی نفت و گاز، و رشد تقاضای

درجه‌گره مشابه و مقادیر اندکی پایین‌تر در شاخص‌های نزدیکی (۰/۶۵) و بینجی (۰/۲۱)، رتبه دوم را کسب کرده است که بازتاب‌دهنده نقش سنتی این کشور در تأمین انرژی اروپا و حضور پایدار آن در بازارهای نفت و گاز است. ایران با درجه‌گره ۱۸، مرکزیت نزدیکی ۰/۶۱ و مرکزیت بینجی ۰/۲۰ در جایگاه سوم قرار گرفته است. این موقعیت نشان می‌دهد که ایران علی‌رغم محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها و کاهش بخشی از صادرات رسمی، همچنان یکی از سه‌گره اصلی شبکه عرضه انرژی جهان است. درجه‌گره ۱۸ بیانگر وجود روابط تجاری گسترده با ۱۸ شریک عمده انرژی است و مقدار نسبتاً بالای مرکزیت نزدیکی نشان می‌دهد که ایران فاصله ساختاری کمی با دیگر بازیگران دارد و از قابلیت دسترسی و اتصال مطلوبی برخوردار است. مرکزیت بینجی ۰/۲۰ نیز اهمیت نقش ایران در پیوند خاورمیانه با شرق و جنوب آسیا را برجسته می‌کند و نشان می‌دهد که بخش معناداری از مسیرهای تجاری میان تولیدکنندگان و واردکنندگان از طریق این کشور شکل می‌گیرد. تراکم خوشه‌ای ۰/۵۸ برای ایران بیانگر پیوندهای قوی درون‌خوشه‌ای در خاورمیانه و تعاملات فعال با صادرکنندگان منطقه‌ای است. موقعیت ایران در خوشه اول (ایران، عربستان، عراق، قطر، امارات و کویت) نشان می‌دهد که اگرچه عربستان گره مرکزی است، ایران در بخش میانی خوشه قرار دارد و در مقایسه با بسیاری از اعضا، تعاملات گسترده‌تری با چین، هند و برخی اقتصادهای اروپایی دارد. جایگاه مفهومی ایران در نمودار ۲ نیز نشان می‌دهد که این کشور هم به صادرکنندگان مستقل (آذربایجان و ترکمنستان) نزدیک است و هم در مسیر اصلی ارتباطی با خوشه آسیایی قرار دارد؛ موقعیتی که نقش دوگانه تولید-ترانزیت ایران را تثبیت می‌کند. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که ایران در سال ۲۰۲۴ دارای دو نوع نقش هم‌زمان در شبکه جهانی انرژی است:

۱. نقش ساختاری: یکی از سه‌گره اصلی شبکه عرضه جهانی، هم‌تراز با روسیه و تنها اندکی پایین‌تر از عربستان؛
۲. نقش شبکه‌ای: واسطه اصلی میان خاورمیانه و آسیا به‌واسطه مسیرهای انرژی، روابط تجاری رو به رشد و جایگاه جغرافیایی استراتژیک؛

این دو وجه نشان می‌دهد که ایران نه‌فقط یک تولیدکننده انرژی، بلکه بازیگری ساختاری و اثرگذار در شبکه جهانی انرژی است که تغییرات آن می‌تواند جهت‌گیری تجارت و جریان‌های انرژی را در مقیاس بین‌المللی تحت تأثیر قرار دهد.

نمودار ۴ روند تغییر مرکزیت بینجی ایران را طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ به‌صورت پیوسته نشان می‌دهد و یکی از کلیدی‌ترین شاخص‌هایی است که تحول جایگاه ساختاری ایران را در شبکه

تا ۲۰۱۵ نتیجه مستقیم محدودیت‌های تحریمی و اختلال در مسیرهای سنتی تجارت انرژی بود، اما از ۲۰۱۶ به بعد، احیای روابط انرژی، تنوع‌بخشی به بازارهای صادراتی و تقویت پیوند با آسیا موجب بازگشت تدریجی ایران به جایگاهی تثبیت‌شده و اثرگذار در ساختار شبکه‌ای انرژی جهانی شده است. این جایگاه نشان می‌دهد که تأثیر ایران تنها تابع میزان صادرات نیست، بلکه حاصل ترکیبی از عوامل ساختاری، جغرافیایی و ژئوپولیتیک است که پایداری نسبی آن را تضمین می‌کند.

#### ۴-۵-۲. تحلیل روابط دوجانبه ایران با کشورهای کلیدی

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر جایگاه ایران در بازار جهانی انرژی و فهم ساختار تعاملات تجاری آن، جدول ۸ روابط دوجانبه ایران با پنج شریک اصلی انرژی در سال ۲۰۲۴ را ارائه می‌کند. در این جدول، شاخص‌هایی همچون حجم مبادلات انرژی (بر حسب میلیون بشکه معادل)، جهت غالب جریان انرژی (صادرات یا واردات)، وزن یال در شبکه تجاری، نوع رابطه (مستقیم یا غیرمستقیم) و توضیحات تکمیلی درباره اهمیت هر رابطه گزارش شده است. ترکیب این متغیرها تصویری ساختاری از نحوه اتصال ایران به بازیگران کلیدی و نقش آن در شکل‌دهی به جریان‌های منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای انرژی ارائه می‌کند.

جدول ۱۶. روابط تجاری انرژی ایران با پنج شریک اصلی (۲۰۲۴)

Table 16. Iran's energy trade relations with five main partners (2024)

توضیح Description	نوع رابطه Type of relationship	وزن یال در شبکه Edge weight in the network	جهت غالب (صادرات/واردات) Dominant direction (export/import)	حجم مبادلات (میلیون بشکه معادل) Trade volume (million barrels equivalent)	کشور طرف معامله Trading partner
بزرگ‌ترین خریدار نفت ایران Largest buyer of Iranian oil	مستقیم Direct	0.34	صادرات Export	680	چین China
وابستگی بلندمدت انرژی Long-term energy dependence	مستقیم Direct	0.22	صادرات Export	430	هند India
مسیر ترانزیتی به اروپا Transit route to Europe	مستقیم Direct	0.14	صادرات گاز Gas export	280	ترکیه Turkey
همکاری در اوپک پلاس Cooperation in OPEC Plus	غیرمستقیم Indirect	0.1	واردات و همکاری Import and cooperation	190	روسیه Russia
تعامل منطقه‌ای Regional interaction	مستقیم Direct	0.08	صادرات و انتقال Export and transit	160	عراق Iraq

سه‌م بسیار بالای این رابطه در شبکه تجاری ایران و محوریت چین در الگوی صادرات انرژی کشور است.

- هند با حجم مبادلات ۴۳۰ میلیون بشکه معادل، دومین شریک مهم ایران محسوب می‌شود و رابطه‌ای پایدار، مستقیم و بلندمدت با ایران دارد که از ثبات تعاملات انرژی میان دو کشور حکایت دارد.
- ترکیه عمده‌تأ در حوزه صادرات گاز نقش‌آفرینی می‌کند و افزون بر نقش مصرف‌کننده، به‌عنوان مسیر ترانزیتی مهم برای انتقال انرژی ایران به اروپا عمل می‌کند.
- روسیه بیشتر از طریق روابط غیرمستقیم، همکاری‌های ساختاری در چارچوب اوپک پلاس و حجم محدود مبادلات

شرق آسیا به‌ویژه چین و هند- موجب ترمیم نقش شبکه‌ای ایران شد. تقویت روابط بلندمدت با چین، افزایش تعاملات با ترکیه، عراق و برخی کشورهای آسیای میانه، و توسعه صادرات فرآورده‌های نفتی نیز در این روند نقش‌آفرین بوده‌اند. این عوامل در مجموع مرکزیت بینجی ایران را در سال ۲۰۲۴ به ۰/۲۰ رسانده‌اند؛ سطحی که نسبت به سال ۲۰۰۰ رشدی بیش از ۵۰ درصدی را نشان می‌دهد. افزایش این شاخص در سال‌های اخیر بیانگر آن است که نقش شبکه‌ای ایران - حتی در شرایط فشار سیاسی بیش از آن‌که وابسته به حجم صادرات باشد، متکی بر موقعیت جغرافیایی، پیوندهای ژئوپولیتیک و ارتباطات پایدار با بازارهای آسیایی است. ایران در مسیر اتصال خاورمیانه به آسیای جنوبی و شرقی قرار دارد و این موقعیت آن را به بازیگری میانجی و غیرقابل حذف در شبکه انرژی تبدیل کرده است.

مقایسه این روند با مقادیر ثبت‌شده برای سایر صادرکنندگان در جدول ۷ نشان می‌دهد که مرکزیت بینجی ایران در سال ۲۰۲۴ پس از عربستان (۰/۲۳) و روسیه (۰/۲۱) و بالاتر از قطر (۰/۱۸) و امارات (۰/۱۵) قرار گرفته است. بنابراین ایران از حیث نقش واسطه‌ای، سومین بازیگر مهم در میان صادرکنندگان بزرگ انرژی محسوب می‌شود. در مجموع، نمودار ۴ روندی پایدار و بلندمدت از افزایش جایگاه میانجی ایران در شبکه جهانی انرژی را ترسیم می‌کند. کاهش مقطعی سال‌های ۲۰۱۲

تحلیل داده‌های جدول ۱۶ نشان می‌دهد که بخش عمده روابط انرژی ایران در سال ۲۰۲۴ با کشورهای آسیایی متمرکز بوده و حدود ۷۰ درصد از کل مبادلات انرژی ایران با شرق آسیا و همسایگان منطقه‌ای انجام شده است. این تمرکز جغرافیایی بیانگر جهت‌گیری راهبردی تجارت انرژی ایران به‌سوی شرق و وابستگی قابل توجه آن به بازارهای آسیایی است.

بررسی هر یک از شرکای کلیدی نیز ابعاد مهمی از ساختار تجارت انرژی ایران را روشن می‌کند:

- چین با حجم مبادلات ۶۸۰ میلیون بشکه معادل، اصلی‌ترین مقصد صادرات نفت ایران است. وزن یال ۰/۳۴ نشان‌دهنده

براساس جدول ۱۷، اثر سرریز تجاری ایران بر چین و هند بسیار برجسته است؛ تقریباً هر تغییر در صادرات ایران بیش از ۴۵ درصد بر بازار چین و نزدیک به ۴۰ درصد بر بازار هند تأثیر می‌گذارد. در مقابل، نفوذ ایران بر اروپا و آمریکا محدودتر است و به ترتیب تنها ۱۶ و ۹ درصد گزارش شده است. این الگو نشان می‌دهد که تغییرات صادراتی ایران عمدتاً بازارهای آسیایی و منطقه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اثر آن بر بازارهای غربی محدود است. از منظر سیاست‌گذاری، این نتایج اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا تصمیمات اقتصادی و تجاری ایران - به ویژه در زمینه سیاست‌های صادراتی و قیمت‌گذاری - باید با تمرکز بر حساسیت بالای بازارهای چین، هند و ترکیه طراحی شود.

#### ۴-۵-۶. تحلیل حساسیت و پایداری شبکه جهانی انرژی

به‌منظور سنجش تاب‌آوری شبکه جهانی انرژی در برابر شوک‌های اقتصادی و سیاسی، یک تحلیل حساسیت انجام شد. در این تحلیل، اثر حذف یا اختلال در عملکرد یک گره (کشور) و تأثیر آن بر تراکم و انسجام کلی شبکه مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف اصلی این بررسی، شناسایی گره‌های کلیدی است که نقش حیاتی در اتصال و پایداری شبکه ایفا می‌کنند.

#### ۴-۵-۱. اثر حذف گره‌های کلیدی

جدول ۱۸ تغییرات تراکم شبکه و میانگین مرکزیت شبکه در صورت حذف برخی کشورهای اصلی را نشان می‌دهد. اعداد ارائه‌شده به صورت درصد تغییر نسبت به وضعیت پایه محاسبه شده‌اند:

براساس نتایج جدول ۱۸، حذف ایران از شبکه جهانی انرژی موجب کاهش ۹/۸ درصدی تراکم شبکه می‌شود؛ رقمی که حتی از اثر حذف ایالات متحده نیز بیشتر است.

این یافته نشان می‌دهد که ایران به‌عنوان یک گره حیاتی در ساختار شبکه انرژی جهان عمل می‌کند و اختلال در فعالیت‌های انرژی آن، به‌ویژه پیوندهای میان خوشه خاورمیانه و بازارهای آسیایی را به‌طور جدی تضعیف می‌کند. در کنار ایران، حذف عربستان سعودی بیشترین اثر منفی را بر تراکم شبکه دارد و موجب ۱۲/۱ درصد کاهش در این شاخص می‌شود؛ موضوعی که نقش محوری عربستان در تأمین عرضه جهانی انرژی را به‌روشنی تأیید می‌کند. حذف روسیه و چین نیز اختلالات قابل ملاحظه‌ای در شبکه ایجاد می‌کند، اما الگوی اثرگذاری آنها متفاوت است: روسیه بیش از همه شبکه اروپا-آسیا را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در حالی که چین بیشتر بخش تقاضای جهانی انرژی را دچار کاهش ارتباطی می‌کند. در مقابل، اگرچه ایالات متحده از بازیگران عمده بازار انرژی است، اما حذف آن اثر کوچکتری نسبت به ایران و عربستان بر تراکم

انرژی با ایران در تعامل است؛ موضوعی که اهمیت ژئوپلیتیکی این کشور در معادلات انرژی ایران را برجسته می‌کند.

• عراق با حجم مبادلات ۱۶۰ میلیون بشکه معادل، یکی از شرکای منطقه‌ای مهم ایران است و به‌عنوان مسیر و پیونددهنده منطقه‌ای در شبکه انرژی نقش ویژه‌ای دارد. در مجموع، یافته‌های جدول ۸ نشان می‌دهد که شبکه روابط انرژی ایران عمدتاً بر محور صادرات نفت و گاز به بازارهای آسیایی استوار است. این الگوی جغرافیایی متمرکز می‌تواند تأثیر مهمی بر جهت‌گیری سیاست‌های انرژی، برنامه‌ریزی صادراتی و راهبردهای بلندمدت ایران در بازار جهانی انرژی داشته باشد.

#### ۴-۵-۳. تحلیل سرریزهای تجاری ایران

نتایج مدل TVP-VAR نشان می‌دهد که سرریزهای تجاری ایران طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۴ روندی صعودی داشته و از ۰/۲۱ در سال ۲۰۰۰ به ۰/۳۱ در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است. این رشد بیانگر آن است که حساسیت شبکه تجارت بین‌المللی به شوک‌های ناشی از تغییرات صادراتی ایران تقویت شده و نقش ایران در انتقال نوسانات تجاری به سایر کشورها نسبت به دو دهه قبل پررنگ‌تر شده است. به‌طور متوسط، در سال ۲۰۲۴ حدود ۳۱ درصد از هر شوک تجاری ایران به سایر کشورها منتقل می‌شود؛ در حالی که این رقم در ابتدای دوره بسیار محدودتر بوده است. تحلیل مقاصد تجاری نیز نشان می‌دهد که بیشترین میزان اثرپذیری از سرریزهای ایران مربوط به چین، هند و ترکیه است؛ امری که با ساختار واقعی تجارت انرژی و کالاهای صادراتی ایران سازگار بوده و بازتاب‌دهنده وابستگی این کشورها به واردات انرژی و مواد اولیه از ایران است. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات مرتبط با قیمت، حجم یا اختلال در صادرات ایران اثر قابل توجهی بر پویایی تجاری این کشورها دارد. جدول زیر این اثرات را نشان می‌دهد:

جدول ۱۷. اثر سرریز تجاری ایران بر کشورهای مختلف  
Table 17. Iran's trade spillover effect on different countries

کشور مقصد Destination country	شاخص سرریز تجاری ایران Iran's trade spillover index
چین China	0.46
هند India	0.39
ترکیه Turkey	0.28
اروپا Europe	0.16
آمریکا United States	0.09

شبکه دارد که نشان‌دهنده توزیع نسبتاً متوازن گره‌های کلیدی در ساختار شبکه است.

جدول ۱۸. اثر حذف کشورها بر تراکم شبکه جهانی انرژی (۲۰۲۴)

Table 18. Effect of country removal on global energy network density (2024)

کشور حذف‌شده Removed country	تغییر در تراکم شبکه (درصد) Change in average network centrality (%)	تغییر در میانگین مرکزیت شبکه (درصد) Change in average network centrality (%)	نتیجه Conclusion
ایران	-9.8	-8.5	کاهش اتصال بین خاورمیانه و آسیا Reduced connectivity between Middle East and Asia
عربستان سعودی	-12.1	-9.9	بیشترین اثر منفی؛ اختلال عرضه جهانی Most negative effect; global supply disruption
روسیه	-10.4	-7.3	تضعیف شبکه اروپا- آسیا Weakening of Europe-Asia network
چین	-8.9	-10.6	اختلال شدید در تقاضا Severe demand disruption
ایالات متحده	-7.5	-8.2	کاهش تأثیرگذاری در بازار جهانی Reduced influence in global market

به‌طور کلی، این تحلیل نشان می‌دهد که تاب‌آوری شبکه جهانی انرژی تا حد زیادی به مجموعه‌ای محدود از گره‌های اصلی وابسته است و حذف یا اختلال در کارکرد این گره‌ها می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای برای اتصال، انسجام و پایداری شبکه به همراه داشته باشد. از منظر سیاست‌گذاری، این یافته‌ها می‌تواند مبنایی برای طراحی استراتژی‌های مدیریت ریسک و افزایش پایداری انرژی باشد، به‌ویژه برای کشورهایی که وابستگی زیادی به جریان‌های انرژی خاورمیانه و آسیا دارند.

## ۲-۶-۴. شبیه‌سازی شوک‌های قیمتی

برای ارزیابی پایداری شبکه جهانی انرژی در برابر شوک‌های قیمتی، یک سناریوی افزایش ناگهانی قیمت نفت در سال فرضی ۲۰۲۲ شبیه‌سازی شد. هدف این سناریو تحلیل اثرات تغییرات قیمت بر صادرات، واردات، حجم کل مبادلات و درآمدهای ارزی کشورها بود و واکنش‌های کوتاه‌مدت شبکه با استفاده از مدل TVP-VAR رصد شد. نتایج نشان می‌دهد که در سال اول پس از شوک، افزایش قیمت نفت منجر به تغییرات قابل توجه اما ناهمگون در بخش‌های مختلف شبکه انرژی شد، که خلاصه آن در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱۹. واکنش کوتاه‌مدت شاخص‌های شبکه جهانی انرژی به شوک افزایش قیمت نفت (۲۰۲۲)

Table 19. Short-term response of global energy network indicators to an oil price shock (2022)

توضیح Explanation	تغییر در اثر شوک (درصد) Change due to shock (%)	شاخص موردبررسی Indicator under study
افزایش صادرات و بهره‌مندی کشورهای صادرکننده از رشد قیمت‌ها Increase in exports and benefit of exporting countries from price growth	4.5	صادرات خاورمیانه Middle East exports
کاهش توان خرید و محدود شدن واردات به دلیل افزایش قیمت نفت Reduction in purchasing power and limitation of imports due to rising oil prices	-3.8	واردات آسیا Asia imports
کاهش حجم معاملات جهانی تحت تأثیر شوک قیمتی Decrease in global trade volume under the influence of price shock	-1.7	حجم کل مبادلات جهانی Total global trade volume
افزایش درآمد ارزی ایران به دلیل ساختار صادراتی نفت محور Increase in Iran's foreign exchange revenue due to oil-dominated export structure	6.2	درآمد ارزی ایران Iran's foreign exchange revenue

بر اساس جدول ۱۹، صادرکنندگان نفت خاورمیانه از شوک قیمتی بهره‌مند شده و صادرات آنها به طور متوسط ۴/۵ درصد افزایش یافته است، به‌طوری که ایران با سهم خود در بازار جهانی نفت، ۶/۲ درصد افزایش درآمد ارزی تجربه کرد. این امر نشان‌دهنده واکنش مثبت و بهره‌مندانه صادرکنندگان نسبت به شوک‌های مثبت قیمت و انعطاف نسبی ساختار شبکه در این بخش است. در مقابل، کشورهای واردکننده آسیایی بیشترین آسیب را متحمل شدند و واردات آنها ۳/۸ درصد کاهش یافت، که فشار ناشی از افزایش قیمت و محدودیت توان خرید را منعکس می‌کند. کاهش واردات موجب کاهش نسبی حجم کل مبادلات جهانی به میزان ۱/۷ درصد شد، که حاکی از مقاومت کوتاه‌مدت شبکه جهانی انرژی در برابر شوک‌های قیمتی است. به‌طور کلی، اثرات شوک‌های قیمتی به صورت نامتقارن توزیع شده و نشان می‌دهد که صادرکنندگان از شوک بهره می‌برند، در حالی که واردکنندگان آسیایی تحت فشار قرار می‌گیرند. این نتایج می‌تواند سیاست‌گذاران را در طراحی استراتژی‌های مدیریت ریسک، مقابله با نوسانات قیمت و تضمین پایداری شبکه انرژی یاری دهد و امکان هدایت متعادل اثرات شوک‌ها را فراهم سازد.

#### ۴-۶-۳. تحلیل پایداری ساختاری شبکه

نفت و گاز طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ از یک ساختار نسبتاً متمرکز به شبکه‌ای چندمرکزی، پویا و پیچیده تحول یافته است. اگرچه صادرکنندگان سنتی مانند عربستان سعودی و روسیه همچنان نقش محوری دارند، ظهور ایالات متحده به‌ویژه در بازار LNG، تقویت جایگاه قطر و تبدیل چین و هند به گره‌های راهبردی تقاضا، بیانگر افزایش تنوع، انعطاف‌پذیری و درهم‌تنیدگی شبکه جهانی انرژی است. این تحول نشان می‌دهد که تبیین رفتار بازار صرفاً با چارچوب‌های سنتی عرضه و تقاضا ناکافی بوده و رویکردهای شبکه‌ای و پویا، به‌ویژه TVP-VAR، در درک خوشه‌بندی منطقه‌ای و سرریزهای بین‌کشوری نقش تعیین‌کننده‌ای دارند.

در این ساختار، ایران علی‌رغم محدودیت‌های ژئوپولیتیکی و تحریمی، جایگاهی برجسته و متمایز دارد. شاخص‌های مختلف مرکزیت نشان می‌دهد که ایران نه فقط یک صادرکننده انرژی، بلکه گره‌ای ساختاری و واسطه‌ای در اتصال خاورمیانه به بازارهای آسیایی و مسیرهای ترانزیتی است. این جایگاه بیش از آنکه متکی بر حجم مطلق صادرات باشد، ناشی از شدت پیوندهای تجاری، موقعیت ژئوپولیتیکی و نقش آن در متعادل‌سازی جریان‌های منطقه‌ای است. نتایج TVP-VAR نیز مؤید آن است که ایران در انتقال اثرات قیمتی و تجاری به بازارهای چین، هند و ترکیه نقش فعال‌تری دارد، در حالی که پیوند آن با اروپا و آمریکا محدودتر است؛ امری که بر اهمیت جهت‌گیری سیاست‌های انرژی ایران به سمت آسیا و مدیریت مسیرهای ترانزیتی تأکید می‌کند.

تحلیل خوشه‌ای نشان می‌دهد که شبکه جهانی انرژی از خوشه‌های به‌هم‌پیوسته خاورمیانه، آسیا، اروپا، آمریکا و صادرکنندگان مستقل تشکیل شده است. این ساختار اگرچه وابستگی بازار به یک بازیگر منفرد را کاهش داده، اما حساسیت شبکه به شوک‌های ژئوپولیتیکی را افزایش داده است؛ زیرا اختلال در یک خوشه می‌تواند از مسیرهای جایگزین به سرعت به سایر بخش‌ها منتقل شود. مقایسه نتایج با ادبیات موجود نیز نشان می‌دهد که مطالعات مبتنی بر داده‌های ایستا یا دوره‌های کوتاه، قادر به توضیح کامل این پویایی‌ها نیستند و ترکیب تحلیل شبکه با مدل‌های پویای اقتصادسنجی، تصویری جامع‌تر از بازآرایی ساختاری بازار انرژی ارائه می‌دهد.

از منظر نظری، نتایج بر اهمیت چارچوب تحلیل شبکه در اقتصاد انرژی تأکید دارد و نشان می‌دهد که شناسایی گره‌های کلیدی، مسیرهای سرریز و نقش میانجی کشورها برای فهم رفتار بازار ضروری است. از منظر عملی، این یافته‌ها می‌تواند راهنمای سیاست‌گذاران و فعالان بازار در طراحی راهبردهای تنوع‌بخشی، مدیریت ریسک و افزایش تاب‌آوری در برابر

در مرحله پایانی تحلیل، شاخص پایداری شبکه<sup>۱</sup> جهانی انرژی محاسبه شد. این شاخص به گونه‌ای طراحی شده است که ترکیبی از سه معیار کلیدی شبکه «تراکم، میانگین مرکزیت و ضریب خوشه‌بندی» را در نظر می‌گیرد و مقیاس آن بین صفر تا یک تعریف شده است. این شاخص، تصویری جامع از میزان انعطاف و تاب‌آوری ساختار شبکه در برابر شوک‌های اقتصادی، سیاسی و قیمتی ارائه می‌دهد. جدول زیر روند تغییرات شاخص پایداری شبکه در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد:

جدول ۲۰. شاخص پایداری شبکه جهانی انرژی در طول زمان  
Table 20. Global energy network sustainability index over time

سال Year	تراکم شبکه Network density	میانگین مرکزیت Average centrality	شاخص پایداری کلی Overall sustainability index
2000	0.28	0.42	0.45
2010	0.31	0.46	0.51
2020	0.34	0.52	0.58
2024	0.36	0.55	0.61

همان‌طور که جدول ۲۰ نشان می‌دهد، شاخص پایداری شبکه طی دو دهه اخیر روندی پیوسته افزایشی داشته و از ۰/۴۵ در سال ۲۰۰۰ به ۰/۶۱ در سال ۲۰۲۴ رسیده است. این رشد تدریجی بیانگر تقویت ساختار شبکه جهانی انرژی و بهبود قابلیت تاب‌آوری آن در برابر اختلالات خارجی است. تداوم این روند صعودی، علی‌رغم وقوع شوک‌های سیاسی و اقتصادی عمده از جمله جنگ اوکراین و تحریم‌های بین‌المللی علیه ایران نشان می‌دهد که شبکه انرژی از سطح بالایی از انعطاف‌پذیری برخوردار است و توانسته است اتصال و انسجام خود را در بستر بی‌ثباتی‌های جهانی حفظ کند. به بیان دیگر، با وجود نوسانات شدید عرضه و تقاضا و تنش‌های ژئوپولیتیکی، پیوندهای میان گره‌های اصلی شبکه پایدار مانده و خوشه‌های منطقه‌ای همچنان عملکرد مؤثر خود را حفظ کرده‌اند. در مجموع، این شاخص نه تنها معیاری کمی برای ارزیابی ثبات شبکه به شمار می‌آید، بلکه ابزاری کاربردی برای سنجش تاب‌آوری سیستم انرژی جهانی است و می‌تواند در تدوین استراتژی‌های مدیریت ریسک و سیاست‌گذاری انرژی بر مبنای نقاط قوت و آسیب‌پذیری‌های ساختاری شبکه مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۵. بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از ترکیب تحلیل شبکه‌ای و مدل اقتصادسنجی پویای TVP-VAR نشان می‌دهد که بازار جهانی

1. Network Stability Index

- Energy Information Administration (EIA). (2024). *International energy statistics*. U.S. Department of Energy.
- Esfahani, E., Rahmati, P., Rezaei, B., & Gharibi, S. (2013). Sanctions and their consequences on oil and gas production and trade. *International Conference on Economics under Sanctions*, Babolsar. [In Persian]
- European Commission. (2023). *EU energy security and diversification report*. Publications Office of the European Union.
- GIIGNL. (2023). *Annual LNG trade report*. International Group of Liquefied Natural Gas Importers.
- Hamilton, J. D. (2009). Causes and consequences of the oil shock of 2007-08. *Brookings Papers on Economic Activity*, 40(1), 215-261.
- Hamilton, J. D. (2020). Understanding crude oil prices. *The Energy Journal*, 41(3), 55-78.
- Henderson, J., & Mitrova, T. (2022). *Impacts of the Russia-Ukraine conflict on global gas markets*. Oxford Institute for Energy Studies.
- Henderson, J., & Mitrova, T. (2022). The geopolitics of energy in Eurasia: Competition, interdependence and geopolitics. *Energy Policy*, 158, 112546.
- IEA (International Energy Agency). (2023). *World energy outlook 2023*. OECD/IEA.
- Jansen, M., & Seebregts, M. (2019). Energy demand and developing economies: Asia's growing role. *Asian Economic Review*, 45(2), 123-146.
- Karimpour, S., Ghasemi, A., & Mohammadi, T. (2020). The impact of Iran's economic sanctions on crude oil trade between Iran and OPEC members: Application of the generalized gravity model. *Iranian Energy Economics Review*, 9(34), 143-172. [In Persian]
- Katzman, K. (2020). *Iran sanctions*. Congressional Research Service.
- Khaki, G. (2020). *Research methods in social and human sciences*. Tehran: Daneshgahi Publications. [In Persian]
- Khatibi, M. (2020). Analysis of global oil market trends and Iran's position. *Energy Research Center*. [In Persian]
- Khatibi, M. (2020). Energy geopolitics and Iran's role in the global oil market. Tehran: Institute for International Energy Studies. [In Persian]
- Kilian, L., & Zhou, X. (2018). Modeling fluctuations in the global demand for crude oil. *Journal of International Money and Finance*, 88, 54-78.
- Li, Y., Xu, X., & Sun, G. (2020). Global oil trade network analysis based on complex network theory. *Energy*, 197, 117246.
- Li, Z., Wang, Y., & Chen, H. (2020). Regional clustering and evolution in global energy trade networks. *Energy Policy*, 138, 111235.
- Majlis Research Center of the Islamic Republic of Iran. (2019). *Assessment of Iran's energy security scenarios*. Energy Studies Office. [In Persian]
- Majlis Research Center of the Islamic Republic of Iran. (2019). *Developments in the global gas market and opportunities for Iran*. Energy Office. [In Persian]
- Majlis Research Center of the Islamic Republic of Iran. (2021). *Consequences of oil sanctions on Iran's energy trade*. Infrastructure Studies Office. [In Persian]
- شوکه‌های ژئوپولیتیکی باشد. برای ایران، تقویت همکاری‌های منطقه‌ای، توسعه زیرساخت‌های ترانزیت و تمرکز هدفمند بر بازارهای آسیایی می‌تواند جایگاه آن را در شبکه جهانی انرژی تثبیت و تقویت کند.
- با این حال، پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی مواجه است؛ از جمله تمرکز بر مجموعه‌ای محدود از کشورها، غلبه شاخص‌های کمی بر ابعاد کیفی سیاست‌گذاری انرژی و عدم لحاظ کامل تحولات فناوری‌های نوین انرژی. پژوهش‌های آینده می‌توانند با گسترش دامنه کشورها، تلفیق روش‌های کمی و کیفی و توجه به سناریوهای فناورانه، درک دقیق‌تری از تاب‌آوری بازار جهانی انرژی ارائه دهند.
- در جمع‌بندی، بازار جهانی نفت و گاز طی دو دهه اخیر دچار بازآرایی عمیق ساختاری شده و به شبکه‌ای چندمرکزی، منعطف اما حساس به شوک‌های ژئوپولیتیکی تبدیل شده است. تحلیل شبکه‌ای همراه با مدل TVP-VAR این تحولات، مسیرهای انتقال اثرات و نقش کشورهایی مانند ایران را به‌روشنی آشکار کرده و پیامدهای مهمی برای سیاست‌گذاری، سرمایه‌گذاری و دیپلماسی انرژی به همراه دارد.
- ### تضاد منافع
- نویسندگان ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع‌دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.
- ### منابع
- Barabási, A. L. (2016). *Network science*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Baumeister, C., & Hamilton, J. D. (2019). Structural interpretation of vector autoregressions with incomplete identification: Revisiting the role of oil supply and demand shocks. *American Economic Review*, 109(5), 1873-1910.
- Borgatti, S. P., & Halgin, D. S. (2011). *Analyzing social networks*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- BP (British Petroleum). (2022). *BP statistical review of world energy 2022*. BP plc.
- British Petroleum. (2023). *Statistical review of world energy 2023*. BP.
- Dashtban Farooji, S., & Dargahi, H. (2021). Iran's position in the international natural gas trade network: Application of graph theory. *Iranian Energy Journal*, 24(1), 7-42. [In Persian]
- Dejpasand, F., Yazdani, M., Taghavi, A., & Moridi Farimani, F. (2025). Effects of economic sanctions on Iran's oil and gas industry. *Strategic Studies in Oil and Energy Industry*, 17(65), 139-166. [In Persian]
- EIA (U.S. Energy Information Administration). (2023). *International energy outlook 2023*. U.S. Department of Energy.
- EIA. (2020). *Annual energy outlook 2020*. U.S. Energy Information Administration.

- Stern, J. (2019). *Narratives for natural gas in decarbonising European energy markets*. Oxford Institute for Energy Studies.
- Stern, J. (2019). *Narratives for the future of gas: The uncertain transition to low-carbon heat*. Oxford Institute for Energy Studies.
- Stern, J. (2020). *The future of gas in decarbonizing European energy markets*. Cambridge University Press.
- Stern, J. (2020). *The impact of COVID-19 on global energy markets*. Oxford Energy Comment.
- Tagliapietra, S. (2017). *Energy relations in the Euro-Mediterranean: A political economy perspective*. Palgrave Macmillan.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge University Press.
- Xu, C., Zeng, W., & Zhang, T. (2019). Dynamic characteristics of the global LNG trade network. *Energy Economics*, 80, 128-140.
- Xu, X., Li, Y., & Chen, S. (2019). Complex network analysis of global energy trade flows. *Applied Energy*, 233-234, 548-559.
- Yergin, D. (2020). *The new map: Energy, climate, and the clash of nations*. Penguin Press.
- Zeinati, A., & Maleki, A. (2024). Global LNG market analysis and policy recommendations for Iran's future. *Strategic Studies in Oil and Energy Industry*, 15(60), 111-130. [In Persian]
- Zhang, C., & Chen, Z. (2021). Global oil trade network: Structure, evolution, and influencing factors. *Energy Economics*, 95, 105132.
- Majlis Research Center of the Islamic Republic of Iran. (2021). *The consequences of U.S. sanctions on the global energy market*. [In Persian]
- Masouri, A. (2025). Geopolitical analysis of energy and Iran's role in gas and oil transit in Central Asia. *21st International Conference on Management and Humanities Research in Iran*, Tehran. [In Persian]
- Maugeri, L. (2013). *The shale oil boom: A U.S. phenomenon*. Belfer Center for Science and International Affairs.
- Newman, I. (2014). *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches*. Boston, MA: Pearson.
- Samadi, A. H., & Zahedi, S. (2018). Application of complex network theory in analyzing the stability of the global natural gas trade network. *Energy Policy and Planning Research Quarterly*, 4(4), 7-40. [In Persian]
- Scott, J. (2017). *Social Network Analysis* (4th ed.). London: Sage Publications.
- Shahnazi, R., & Sajedian Fard, N. (2023). Analysis of global oil trade network patterns: A complex network approach. *Econometric Modeling*, 8(2), 121-162. [In Persian]
- Song, Y., Zhang, L., & Xu, M. (2018). Network structure and evolution of global crude oil trade. *Energy*, 165, 1030-1042.
- Song, Y., Zheng, H., & Zhang, Y. (2018). Evolution of the global natural gas trade network. *Energy*, 159, 227-239.
- Sovacool, B. K. (2016). The political economy of energy transitions. *Nature Energy*, 1(4), 1-7.