پژوهش و فناوری محیط‌زیست، ۱۴۰۴،(۱۷)۱۰، ۱۸۵-۲۰۰

پژوهش و فناوری محیط‌زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

تحلیل اتصال نوسانات متغیرهای اقتصادی و محیط زیستی در ایران (۲۰۰۶-۲۰۲۳)

سعید کیان‌پور[1]✉، محسن حاجیان[2]، سپیده عظیمی[3]

۱- استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- گروه علوم‌پایه، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۸/۱۰

دسترسی آنلاین:
۱۴۰۴/۰۹/۱۰

کلید واژه‌ها:
اتصال نوسانات،
چارک واریانس خودرگرسیون،
متغیرهای اقتصادی-محیط‌زیستی،
ایران

چکیده

تعاملات پویای متغیرهای اقتصادی و محیط‌زیستی در ایران، با توجه به چالش‌های جهانی‌شدن و تغییرات اقلیمی، اهمیت فزاینده‌ای یافته است. این پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد چارک واریانس خودرگرسیون (QVAR) به بررسی اتصال نوسانات میان متغیرهای اقتصادی (شاخص اقتصادی، پیچیدگی اقتصادی، جهانی‌شدن) و محیط‌زیستی (انتشار دی‌اکسید کربن) طی بازه ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ پرداخته است. هدف مطالعه، تحلیل تعاملات این متغیرها در چارک‌های ۲۵ام، ۵۰ام و ۷۵ام و شناسایی نقش آن‌ها به‌عنوان انتقال‌دهنده یا دریافت‌کننده نوسانات در دوره‌های عادی و بحرانی بود. داده‌های سالانه پس از پیش‌پردازش و تفاوت‌گیری با آزمون ریشه واحد (ADF) ایستا شده و با شاخص‌های سرریز نوسانات(TCI، NET، TO، FROM) و شبکه‌های اتصال تحلیل شدند. یافته‌ها نشان داد که شاخص کل اتصال (TCI) در چارک ۷۵ام (شرایط بحرانی) به ۳۳/۸۴ و در چارک ۵۰ام (شرایط عادی) به ۱۷/۱۳ می‌رسد، که الگویی U شکل را تأیید می‌کند. شاخص اقتصادی و پیچیدگی اقتصادی در بحران‌هایی نظیر بحران مالی جهانی (۲۰۱۰-۲۰۰۶)، بحران چین (۲۰۱۷-۲۰۱۴) و جنگ روسیه و اوکراین (۲۰۲۳-۲۰۲۱) انتقال‌دهندگان اصلی نوسانات بودند، در حالی که دی‌اکسید کربن گیرنده باقی ماند، که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری محیط‌زیست ایران در برابر شوک‌های اقتصادی است. جهانی‌شدن در شرایط آرام و بحرانی گیرنده بود و در همه‌گیری کووید-۱۹ (۲۰۲۲-۲۰۱۹) و بحران بانک سیلیکون ولی (۲۰۲۳-۲۰۲۲) آسیب‌پذیری بیشتری نشان داد. اوج TCI در سال ۲۰۱۴ با افت قیمت نفت هم‌زمان بود، که نقش کلیدی متغیرهای اقتصادی را برجسته می‌کند. این یافته‌ها بر تقویت پیچیدگی اقتصادی با تمرکز بر صنایع سبز و مدیریت فعال جهانی‌شدن در بحران‌ها تأکید دارند.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: S_kianpoor@pnu.ac.ir

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Analysis of the Connectedness of Economic and Environmental Volatility in Iran (2006–2023)

Saeed Kianpoor[1]✉, Mohsen Hajian[2], Sepideh Azimi[3]

1- Assistant Professor, Department of Economics, Payame Noor University, Tehran, Iran
2- Department of Economics, Payame Noor University, Tehran, Iran
3- Department of Basic Science, Faculty of Basic and General Studies, Technical and Vocational University(TVU), Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
2025/05/19
Accepted:
2025/11/01
Available online:
2025/12/01

Keywords:
Volatility Connectedness,
Quantile Vector Autoregression,
Economic–Environmental Variables,
Iran

Abstract

The dynamic interactions between economic and environmental variables in Iran have become increasingly important in light of globalization challenges and climate change. This study uses the Quantile Vector Autoregression (QVAR) approach to examine volatility connectedness among economic variables (Economic Indicator, Economic Complexity, Globalization) and an environmental variable (CO_2 emissions) over the period 2006–2023. The objective is to analyze the interactions of these variables across the 25th, 50th, and 75th quantiles and identify their roles as transmitters or receivers of volatility under normal and crisis conditions. Annual data were preprocessed and differenced to achieve stationarity using the Augmented Dickey–Fuller (ADF) test, and were analyzed using spillover indices (TCI, NET, TO, FROM) and connectedness networks. The findings show that the Total Connectedness Index (TCI) rises to 33.84 in the 75th quantile (crisis conditions) and decreases to 17.13 in the 50th quantile (normal conditions), confirming a U-shaped pattern. The Economic Indicator and Economic Complexity acted as major transmitters of volatility during crises such as the global financial crisis (2006–2010), the China crisis (2014–2017), and the Russia–Ukraine war (2021–2023). In contrast, CO_2 emissions consistently remained a receiver, highlighting the high vulnerability of Iran's environmental sector to economic shocks. Globalization also acted as a receiver in both tranquil and crisis periods, showing intensified vulnerability during the COVID-19 pandemic (2019–2022) and the Silicon Valley Bank crisis (2022–2023). The peak TCI in 2014 coincided with the sharp drop in oil prices, underscoring the critical influence of economic variables. These results emphasize the need to strengthen economic complexity through green industries and pursue active management of globalization during crises.

Corresponding author E-mail address: S_kianpoor@pnu.ac.ir

مقدمه

جهانی‌شدن، تحولات اقتصادی و تغییرات اقلیمی از چالش‌های کلیدی قرن حاضر هستند که ساختارهای اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی را تحت تأثیر قرار داده‌اند(ویشنوفسکا[1]،۲۰۲۱). افزایش گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی اکسید کربن، تغییرات اقلیمی را تشدید کرده است. رشد صنعت و مصرف انرژی، نگرانی‌های محیط زیستی جهانی را افزایش داده. ایران نیز با رشد سریع صنعتی و محدودیت‌های محیط زیستی، تحت تأثیر پیامدهای جهانی شدن و ساختار اقتصادی بر انتشار دی اکسید کربن قرار دارد(انصاری نصب و بیدمال، ۱۴۰۰). این پژوهش با رویکردی جامع به تحلیل ابعاد مختلف این پدیده می‌پردازد. جهانی شدن، با تسریع تبادلات اقتصادی و فناورانه، مرزها را کمرنگ کرده و انتقال فناوری و نوآوری را تسهیل نموده است. این تغییرات می‌توانند به بهبود بهره‌وری منابع بیانجامند(استویانوویچ[2]،۲۰۱۸؛ توماشوک[3]،۲۰۲۲). جهانی شدن با رشد صنعتی و مصرف انرژی، ممکن است انتشار دی اکسید کربن را افزایش دهد. بنابراین، نقش دوگانه آن (هم فرصت‌ها و هم تهدیدهای محیط زیستی) نیازمند بررسی دقیق است (جهانی شدن و عدالت زیست محیطی[4]،۲۰۲۳) .شاخص‌های اقتصادی مانند تولید ناخالص داخلی، رشد اقتصادی، سرمایه‌گذاری، تورم و مصرف انرژی، عملکرد اقتصاد را اندازه‌گیری کرده و بر الگوهای تولید، مصرف و انتشار دی اکسید کربن تأثیر می‌گذارند (سیرا-سوارز[5]، ۲۰۱۷). به عنوان مثال، در زمانی که رشد صنعتی و توسعه اقتصادی تسریع می‌یابد، احتمال افزایش مصرف انرژی و بهره‌برداری از منابع فسیلی نیز بالاتر می‌رود که این امر می‌تواند به افزایش انتشار گازهای آلاینده منجر شود (ابوالحسنی و همکاران، ۱۳۹۸). پیشرفت اقتصادی و فناوری می‌تواند توسعه انرژی‌های پاک را تسهیل کند. از این رو، تحلیل شاخص‌های اقتصادی برای درک رابطه بین رشد اقتصادی و تغییرات محیط زیستی ضروری است (باندیوپادیا[6]،۲۰۱۷) .پیچیدگی اقتصادی نیز مفهومی نسبتاً نوین است که نشان‌دهنده تنوع و گستردگی فعالیت‌های تولیدی و صنعتی در یک کشور می‌باشد. یک اقتصاد با پیچیدگی بالا معمولاً توانایی تولید محصولات فناورانه و با ارزش افزوده را دارد و از این رو می‌تواند به عنوان عاملی تعیین‌کننده در جهت بهبود بهره‌وری و کاهش اتلاف منابع محسوب شود(گونری[7]،۲۰۲۰). این موضوع در ایران، به‌عنوان کشوری با رشد صنعتی سریع و وابستگی به منابع فسیلی، اهمیتی ویژه دارد، زیرا تعادل بین رشد اقتصادی و حفاظت محیط‌زیست چالش اصلی سیاست‌گذاری است (انصاری نصب و بیدمال، ۱۴۰۰). در عین حال، کشورهایی که از نظر ساختاری در حال گذار از مدل‌های اقتصادی سنتی به سمت مدرن‌سازی هستند، ممکن است شاهد دوره‌هایی از افزایش مصرف انرژی و انتشار بی‌رویه کربن دی اکسید باشند (شکیل[8]،۲۰۲۱). اقتصادهای پیچیده با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته و نیروی کار ماهر، به کاهش اتلاف انرژی و افزایش بهره‌وری منابع منجر می‌شوند (احمد[9]،۲۰۲۱). تأثیر جهانی‌شدن، شاخص‌های اقتصادی و پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی اکسید کربن قابل بررسی است. با رشد یکپارچگی و تبادل فناوری و سرمایه، کشورها فرصت استفاده از راهکارهای کارآمد و سبز را می‌یابند (هاسپر[10]،۲۰۰۹) . در مقابل، رقابت برای رشد سریع و حفظ بازار گاه به استفاده از فناوری‌های آلاینده و مصرف زیاد سوخت فسیلی منجر می‌شود و تعادل اقتصاد و محیط زیست را دشوار می‌کند. بنابراین، بررسی اثرات این عوامل می‌تواند نقاط قوت و ضعف مدل‌های رشد را آشکار کرده و به سیاست‌گذاری برای تعادل پایدار کمک کند (مارسیگلیو[11]،۲۰۲۱) . هدف این پژوهش بررسی چگونگی تعامل پویای متغیرهای اقتصادی (شاخص اقتصادی، پیچیدگی اقتصادی، جهانی‌شدن) و محیط‌زیستی (دی‌اکسید کربن) در ایران است. سؤال اصلی این است که این متغیرها چگونه در دوره‌های

[1] Vyshnevska
[2] Stojanović
[3] Tomashuk
[4] Globalization and Environmental Justice
[5] Sierra-Suárez
[6] Bandyopadhyay
[7] Güneri
[8] Shakeel
[9] Ahmed
[10] Hasper
[11] Marsiglio

عادی و بحرانی نوسانات را منتقل یا دریافت می‌کنند؟ این مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ با استفاده از رویکرد چارک واریانس خودرگرسیون و شاخص‌های سرریز نوسانات انجام شده است.این مقاله در پنج بخش سازماندهی شده است: مقدمه، مواد و روش‌ها، یافته‌ها، بحث و نتیجه‌گیری، و منابع. بخش مواد و روش‌ها داده‌ها و روش تحلیل را شرح می‌دهد، یافته‌ها نتایج را ارائه می‌دهد، و بحث و نتیجه‌گیری پیامدهای سیاستی را بررسی می‌کند. شاخص‌های اقتصادی و پیچیدگی صنعت همراه با جهانی‌شدن بر بهره‌وری منابع و استفاده از فناوری‌های نوین اثرگذارند. توان جذب سرمایه، انتقال فناوری و ایجاد زیرساخت‌های صنعتی از عوامل اصلی تعیین‌کننده مسیرهای محیط‌زیستی هستند (دی کونزو[1]،۲۰۲۲). به‌عنوان مثال، کشورهایی که سیاست‌های حمایتی متمرکز بر ارتقاء سطح فناوری‌های پاک و افزایش کارایی مصرف انرژی دارند، می‌توانند الگوی مناسبی برای ترکیب منافع اقتصادی و محیط زیستی ایجاد کنند (ویس[2]،۲۰۱۶). از سوی دیگر، کشورهایی که در زمینه تدوین سیاست‌های بلندمدت ناکامان عمل می‌کنند، در معرض خطرات ناشی از افزایش انتشار کربن دی اکسید قرار خواهند گرفت (استراس[3]،۲۰۲۱). بنابراین، استفاده همزمان از شاخص‌های اقتصادی و درک عمیق از سطح پیچیدگی اقتصادی، مبنایی برای سنجش عملکرد نظام‌های اقتصادی و اثرگذاری آن‌ها بر محیط زیست به شمار می‌آید. درک اثرات جهانی‌شدن، شاخص‌های اقتصادی و پیچیدگی صنعتی برای سیاست‌گذاری اقتصادی و محیط زیستی ضروری است. ایران در گذار از مدل‌های سنتی به فناوری‌های نوین، با چالش مدیریت منابع، بهبود مصرف انرژی و کاهش آلاینده‌ها روبه‌روست. این پژوهش با رویکردی یکپارچه روابط این متغیرها را بررسی کرده تا زمینه اصلاح سیاست‌ها را فراهم کند. اهمیت آن در ارائه راهکارهایی جامع برای مقابله با پیامدهای رشد صنعتی و نوسانات اقتصادی و تحقق توسعه پایدار است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی پویایی‌های اتصال بین متغیرهای اقتصادی و محیط زیستی (شامل انتشار دی‌اکسید کربن، شاخص جهانی‌شدن[4]، شاخص پیچیدگی اقتصادی[5] و یک شاخص اقتصادی ترکیبی[6] از یک رویکرد جامع و پیشرفته استفاده می‌کند. برای این منظور، از روش بردار خودرگرسیونی چارک بهره گرفته شده است که بر اساس چارچوب دیبولد و ییلماز[7] (۲۰۱۲, ۲۰۱۴) توسعه یافته و امکان تحلیل اتصال در چارک‌های مختلف (مانند ۲۵، ۵۰ و ۷۵) را فراهم می‌کند. این روش به ما اجازه می‌دهد تا اثرات سرریز بین متغیرها را در شرایط مختلف، از جمله دوره‌های بحرانی مانند بحران مالی جهانی (۲۰۰۸-۲۰۱۰)، بحران چین (۲۰۱۴-۲۰۱۷)، همه‌گیری کووید-۱۹ (۲۰۱۹-۲۰۲۲)، جنگ روسیه و اوکراین (۲۰۲۱-۲۰۲۳)، و بحران بانک سیلیکون ولی (۲۰۲۲-۲۰۲۳) بررسی کنیم.

پیش‌پردازش داده‌ها: داده‌های اولیه به‌صورت سالانه جمع‌آوری شده و شامل متغیرهای انتشار دی‌اکسید کربن، شاخص جهانی‌شدن، مصرف برق، تولید ناخالص داخلی و شاخص پیچیدگی اقتصادی هستند. داده‌های انتشار دی‌اکسید کربن از پایگاه داده پروژه جهانی کربن و داده‌های جهان ما استخراج شده‌اند. شاخص جهانی‌شدن از مؤسسه اقتصادی سوئیس KOF گردآوری شده است. شاخص پیچیدگی اقتصادی از داده‌های اطلس پیچیدگی اقتصادی دانشگاه هاروارد به‌دست آمده است. شاخص اقتصادی ترکیبی نیز با میانگین‌گیری از داده‌های مصرف برق و تولید ناخالص داخلی، که از بانک جهانی و آژانس بین‌المللی انرژی جمع‌آوری شده‌اند، محاسبه شده است. ابتدا، یک شاخص اقتصادی ترکیبی با میانگین‌گیری از متغیرهای مصرف برق و تولید ناخالص داخلی ایجاد شد. شاخص اقتصادی ترکیبی به منظور ارائه یک معیار جامع از فعالیت اقتصادی طراحی شده است که نحوه محاسبه آن به شرح زیر است(دیبولد و ییلماز، ۲۰۱۲):

[1] De Cunzo
[2] Weiss
[3] Strauss
[4] KOF
[5] ECI
[6] Economic Indicator
[7] Diebold & Yilmaz

$$\text{Composite Economic Indicator}_t=\frac{\text{Electric}_t+\text{داخلی ناخالص تولید}}{2} \quad (۱)$$

دلیل انتخاب متغیرها: تولید برق به عنوان معیاری از زیرساخت‌های صنعتی و مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی به عنوان شاخص استاندارد رشد اقتصادی، انتخاب شدند. ترکیب این دو متغیر امکان ارائه یک شاخص جامع را فراهم می‌کند که هم جنبه‌های زیرساختی و هم جنبه‌های تولیدی اقتصاد را در بر می‌گیرد.

شاخص ترکیبی با کاهش ابعاد داده‌ها هم‌خطی متغیرهای اقتصادی را کم می‌کند و اطلاعات مهم را حفظ می‌کند. در کشورهای اوپک، تولید برق به عنوان مکمل تولید ناخالص داخلی، نشانگر فعالیت صنعتی است. پس از محاسبه شاخص ترکیبی، مصرف برق و تولید ناخالص داخلی حذف شدند تا مدل ساده‌تر و بدون هم‌خطی باشد. متغیرهای نهایی شامل دی اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص ترکیبی اقتصادی در بازه ۲۰۰۶-۲۰۲۳ است. ایستایی داده‌ها با تفاوت‌گیری اول و دوم تضمین شد:

$$\Delta \text{ECI}_{i.t} = (\text{ECI}_{i.t} - \text{ECI}_{i.-1}) - (\text{ECI}_{i.t-1} - \text{ECI}_{i.t-2}).$$
$$\Delta \text{CO2}_{i.t} = \text{CO2}_{i.t} - \text{CO2}_{i.t-1}.$$
$$\Delta \text{kof}_{i.t} = \text{kof}_{i.t} - \text{kof}_{i.t-1}$$
$$\Delta \text{ Economic Indicator}_{\text{i.t}} = \text{ Economic Indicator}_{\text{ i.t}} - \text{ Economic Indicator}_{\text{ i.t-1}} \quad (۲)$$

ΔECIi,t تفاوت دوم شاخص پیچیدگی اقتصادی برای ایران در سال t ، برای حذف روندهای غیرایستا .

ΔCO2i,t تفاوت اول انتشار دی‌اکسید کربن برای ایران در سال t، برای ایستایی داده‌ها .

ΔKOFi,t تفاوت اول شاخص جهانی‌شدن برای ایران در سال t ، برای حذف روندهای خطی .

ΔEconomic Indicatori,t تفاوت اول شاخص اقتصادی ترکیبی برای ایران در سال t ، برای ایستایی سری زمانی .

i و t به‌ترتیب نشان‌دهنده ایران و سال.

تخمین نوسانات: برای تحلیل اتصال، ابتدا داده‌ها استانداردسازی شدند تا اثرات مقیاس حذف شوند.

$$z_{i.t} = \frac{x_{i.t}-\mu_i}{\sigma_i}. \quad (۳)$$

که در آن xi,t مقدار اولیه متغیر، μi میانگین، و σi انحراف معیار متغیر است.

اتصال چارک: برای تحلیل اتصال در چارک‌های مختلف، از مدل چارک واریانس خودرگرسیون استفاده شد که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y_{i.t} = c_i(\tau) + \sum_{l=1}^{p} B_{i.l}(\tau) y_{i.t-l} + e_{i.t}(\tau). t = 1. \dots . T. \quad (۴)$$

که در آن yi,t بردار متغیرهای وابسته، ci(τ) و(ei,t(τ به‌ترتیب بردارهای ثابت و خطا در چارک (τ، و Bi,l(τ ماتریس ضرایب تأخیری در چارک τ هستند. فرض می‌شود که باقی‌مانده‌ها از حد چارک جمعیتی فراتر نمی‌روند، یعنی . Q_τ (e_(i.t)|y_(i.t-1).….y_(i.t-p))=0 چارک شرطیτام پاسخ به‌صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$Q_\tau\left(y_{i.t} \mid y_{i.t-1}. \dots . y_{i.t-p}\right) = c_i(\tau) + \sum_{l=1}^{p} \hat{B}_{i.l}(\tau) y_{i.t-l} \quad (۵)$$

شاخص‌های سرریز: برای محاسبه شاخص‌های سرریز، از چارچوب دیبولد و ییلماز (۲۰۱۲, ۲۰۱۴) استفاده شد.

$$y_{i.t} = \mu_i(\tau) + \sum_{s=0}^{\infty} A_{i.s}(\tau) e_{i.t-s}(\tau). t = 1. \dots . T. \quad (۶)$$

که در آن μ_i (τ) و ماتریس‌های A_(i.s) (τ) به‌صورت بازگشتی تعریف می‌شوند. سپس، با استفاده از تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی تعمیم‌یافته، سهم هر متغیر در واریانس خطای پیش‌بینی متغیر دیگر محاسبه شد:

$$\theta_{ij}^{g}(H) = \frac{\sigma_{jj}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} \left(e_i' A_{i.h} \Sigma_i e_j\right)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} \left(e_i' A_{i.h} \Sigma_i A_{i.h}' e_i\right)} \quad (۷)$$

که در آن Σi ماتریس واریانس-کوواریانس خطاها برای کشور i، σjj عنصر قطری jام ماتریس Σi، و ei بردار انتخاب با مقدار ۱ در عنصر i ام و ۰ در سایر عناصر است. برای استانداردسازی، مقادیر نرمال‌سازی‌شده به‌صورت زیر محاسبه شدند:

$$\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H) = \frac{\theta_{ij}^{g}(H)}{\sum_{j=1}^{N} \theta_{ij}^{g}(H)} \quad (۸)$$

شاخص کل اتصال برای چارک τ به‌صورت زیر تعریف شد:

$$\text{اتصال کل شاخص}_{i}(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1.i\neq j}^{N} \tilde{\theta}_{ij}^{g}(\tau)}{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \tilde{\theta}_{ij}^{g}(\tau)} \times 100 \quad (۹)$$

همچنین، شاخص‌های سرریز جهت‌دار شامل سرریز به سایر متغیرها، سرریز از سایر متغیرها و شاخص خالص سرریز به‌ترتیب به‌صورت زیر محاسبه شدند:

$$S_{i\rightarrow\cdot(\tau)} = \frac{\sum_{j=1.i\neq j}^{N} \tilde{\theta}_{ij}^{g}(\tau)}{\sum_{j=1}^{N} \tilde{\theta}_{ij}^{g}(\tau)} \times 100$$

$$S_{i\leftarrow\cdot(\tau)} = \frac{\sum_{j=1.i\neq j}^{N} \tilde{\theta}_{ji}^{g}(\tau)}{\sum_{j=1}^{N} \tilde{\theta}_{ji}^{g}(\tau)} \times 100.$$

$$\text{NS} = (\tau) = S_{i\rightarrow\cdot(\tau)-S_{i\leftarrow\cdot}(\tau)} \quad (۱۰)$$

برای تحلیل پویایی‌های زمانی، از رویکرد پنجره غلتان با طول پنجره ۱۰۰ روز و افق پیش‌بینی ۱۰ روز استفاده شد. انتخاب تأخیرهای مدل با استفاده از معیار اطلاعات شوارتز انجام شد (دیبولد و ییلماز، ۲۰۱۲).

یافته‌های پژوهش

داده‌های سالانه ایران از ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۳ شامل انتشار دی اکسید کربن، شاخص جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص ترکیبی اقتصادی است. این بازه چند بحران مهم را در بر می‌گیرد تا تأثیر بحران‌ها روی اتصال متغیرها بررسی شود. آمار توصیفی و آزمون دیکی-فولر تعمیم‌یافته برای تایید ایستایی داده‌ها پس از تفاوت‌گیری انجام شد و نتایج ایستایی را نشان داد. در ادامه، جدول ۱ را ارائه می‌دهیم که آمار توصیفی متغیرها را پس از پیش‌پردازش و تفاوت‌گیری نشان می‌دهد.

جدول(۱) آمار توصیفی

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	میانه	حداکثر
دی‌اکسید کربن	۷/۵۳	۰/۸۳	۵/۶۸	۷/۸۰	۸/۰۷
جهانی‌شدن	۳۱/۰۴	۳/۸۸	۲۷/۰۳	۳۱/۰۴	۴۱/۰۲
پیچیدگی اقتصادی	۰/۰۴	۰/۷۳	-۱/۱۹	-۰/۰۱	۱/۰۰۹
شاخص اقتصادی	۳/۶۳	۰/۰۵	۳/۵۵	۳/۶۱	۳/۷۴

ماخذ:یافته‌های پژوهش

جدول۲ آمار توصیفی متغیرهای دی اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی ایران (۲۰۲۳-۲۰۰۶) را نشان می‌دهد .دی اکسید کربن با میانگین ۷.۵۳ و انحراف معیار ۰.۸۳ نوسانات متوسط دارد. جهانی‌شدن بیشترین پراکندگی (میانگین ۳۱ و انحراف ۳.۸۸) و شاخص اقتصادی کمترین نوسان (انحراف ۰.۰۵) را دارد. این داده‌ها برای تحلیل‌های بعدی کاربردی است.

جدول(۲) آزمون ریشه واحد

کشور	دی‌اکسید کربن	جهانی‌شدن	پیچیدگی اقتصادی	شاخص اقتصادی
ایران	(ساکن) ۰/۰۳۷۰	(ساکن) ۰/۰۱۸۷	(ساکن) ۰/۰۰۰۰	(ساکن) ۰/۰۳۲۰

ماخذ:یافته‌های پژوهش

جدول ۲ نتایج آزمون ریشه واحد متغیرهای دی اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی ایران را نشان می‌دهد که با p کمتر از ۰.۰۵، داده‌ها پس از تفاوت‌گیری ایستا هستند و برای تحلیل مناسب‌اند.

جدول(۳) انتقال نوسانات در چارک ۲۵ام برای ایران

	دی‌اکسید کربن	جهانی‌شدن	پیچیدگی اقتصادی	شاخص اقتصادی	از دیگران[1]
دی‌اکسید کربن	۹۳/۹۹۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۰۱۵	۳۲/۹۶۶
جهانی‌شدن	۰/۱۸۲۶	۹۹/۸۱۷	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۴۶/۹۷۹
پیچیدگی اقتصادی	۲۲/۸۴۳	۰/۰۰۷۵	۷۷/۱۴۹	۰/۰۰۰۲۰	۲۰/۰۳۸
شاخص اقتصادی	۸/۸۴۵۹	۸۸/۰۹۰	۲/۹۹۷۷	۰/۰۶۶۱	۰/۰۱۶۶
به دیگران[2]	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	شاخص کل اتصال=۳۰/۷۴
خالص	-۷/۹۶۶	-۲۱/۹۷۹	۴/۹۶۲	۲۴/۹۸۳	

ماخذ:یافته‌های پژوهش

توجه: شاخص‌های سرریز چارک از تجزیه واریانس بر اساس پیش‌بینی‌های ۱۰ مرحله‌ای محاسبه می‌شوند. تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی اساسی بر اساس یک FIVAR ده بعدی مرتبه ۱ است که توسط AIC نشان داده شده است.

جدول ۳ شاخص‌های سرریز نوسانات در چارک ۲۵ (شرایط پایین) برای ایران را نشان می‌دهد. شاخص کل اتصال برابر ۳۰.۷۴ است که اتصال متوسط بین متغیرها را نشان می‌دهد. شاخص اقتصادی با NET مثبت (۲۴.۹۸۳) انتقال‌دهنده اصلی و جهانی‌شدن با NET منفی (۲۱.۹۷۹-) دریافت‌کننده اصلی نوسانات است. تجزیه واریانس FEVD بیانگر انتقال ۸۸.۰۹۰ شاخص اقتصادی به جهانی‌شدن است. این الگو نقش کلیدی شاخص اقتصادی در شرایط پایین را نشان می‌دهد.

جدول(۴) انتقال نوسانات در چارک ۵۰ام برای ایران

	دی‌اکسید کربن	جهانی‌شدن	پیچیدگی اقتصادی	شاخص اقتصادی	از دیگران
دی‌اکسید کربن	۹۹/۹۹۹	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۹۶	۳۸/۳۰۷
جهانی‌شدن	۱۲/۰۶۳	۸۷/۹۳۶	۰/۰۰۰۰۶۲	۰/۰۰۰۶۴	۲۵/۰۲۰
پیچیدگی اقتصادی	۳۹/۹۱۱	۰/۰۵۳۱	۶۰/۰۳۵	۰/۰۰۰۰۱۲	۱۵/۷۹۴
شاخص اقتصادی	۰/۱۲۵۴	۱۲/۰۹۰	۳/۱۳۸۹	۸۳/۵۱۶	۲۰/۸۸
به دیگران	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	شاخص کل اتصال=۱۷/۱۳
خالص	-۱۳/۳۰۷	-۰/۰۲	۹/۲۰۹	۴/۱۲۰	

ماخذ:یافته‌های پژوهش

توجه: شاخص‌های سرریز چارک از تجزیه واریانس بر اساس پیش‌بینی‌های ۱۰ مرحله‌ای محاسبه می‌شوند. تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی اساسی بر اساس یک FIVAR ده بعدی مرتبه ۱ است که توسط AIC نشان داده شده است.

جدول ۴ شاخص‌های سرریز نوسانات در چارک ۵۰ام برای ایران را نشان می‌دهد. شاخص اتصال کل ۱۷/۱۳ است که کاهش اتصال نسبت به چارک ۲۵ام را نشان می‌دهد. پیچیدگی اقتصادی (خالص مثبت ۹/۲۰۶) انتقال‌دهنده و دی‌اکسید کربن (خالص منفی -۱۳/۳۰۷) دریافت‌کننده است. پیچیدگی اقتصادی بیشترین سرریز (۳۹/۹۱۱) را به دی‌اکسید کربن دارد. این نشان‌دهنده کاهش وابستگی متغیرها در شرایط عادی است.

[1] FROM
[2] TO

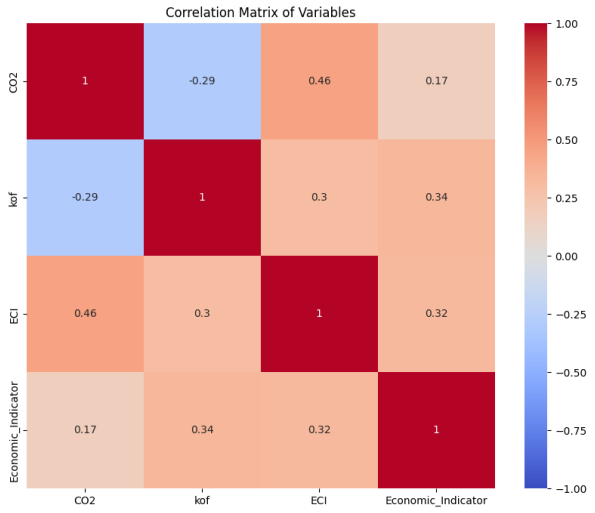
جدول(۵) انتقال نوسانات در چارک ۷۵ام برای ایران

	دی‌اکسید کربن	جهانی‌شدن	پیچیدگی اقتصادی	شاخص اقتصادی	از دیگران
دی‌اکسید کربن	۹۹/۹۹۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۹۱	۰/۰۰۰۱۵	۴۷/۶۱۵
جهانی‌شدن	۰/۰۰۵۳	۹۹/۹۹۰	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۸	۲۶/۹۶۶
پیچیدگی اقتصادی	۸۳/۷۲۰	۷/۷۹۸۵	۸/۴۸۱	۰/۰۰۰۰۱۱	۱۱/۳۷۸
شاخص اقتصادی	۶/۷۳۳۷	۰/۰۷۴۲	۳۷/۰۲۷	۵۶/۱۶۵	۱۴/۰۴۲
به دیگران	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	شاخص کل اتصال=۳۳/۸۴
خالص	-۲۲/۶۱۵	-۱/۹۶۶	۱۳/۶۲۲	۱۰/۹۵۸	

ماخذ:یافته‌های پژوهش

توجه: شاخص‌های سرریز چارک از تجزیه واریانس بر اساس پیش‌بینی‌های ۱۰ مرحله‌ای محاسبه می‌شوند. تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی اساسی بر اساس یک FIVAR ده بعدی مرتبه ۱ است که توسط AIC نشان داده شده است.

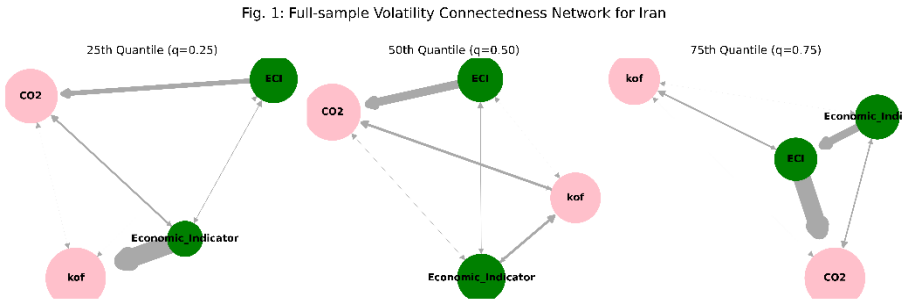
جدول ۵ سرریز نوسانات در چارک ۷۵ام ایران را نشان می‌دهد. اتصال کل افزایش یافته. پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی انتقال‌دهنده و دی‌اکسید کربن دریافت‌کننده است. پیچیدگی اقتصادی بیشترین سرریز را به دی‌اکسید کربن دارد. وابستگی متغیرها در شرایط بحرانی بیشتر است. نقشه حرارتی با پایتون و سیبورن[1] ترسیم شده و ارتباطات متغیرها در داده‌های روزانه ایران را نشان می‌دهد: دی‌اکسید کربن و پیچیدگی اقتصادی همبستگی مثبت قوی دارند. دی‌اکسید کربن و جهانی‌شدن همبستگی منفی دارند. جهانی‌شدن و شاخص اقتصادی همبستگی مثبت دارند. پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی همبستگی مثبت متوسط دارند. دی‌اکسید کربن و شاخص اقتصادی همبستگی مثبت ضعیف دارند.



ماخذ:یافته‌های پژوهش

نمودار (۱) شکل ماتریس همبستگی

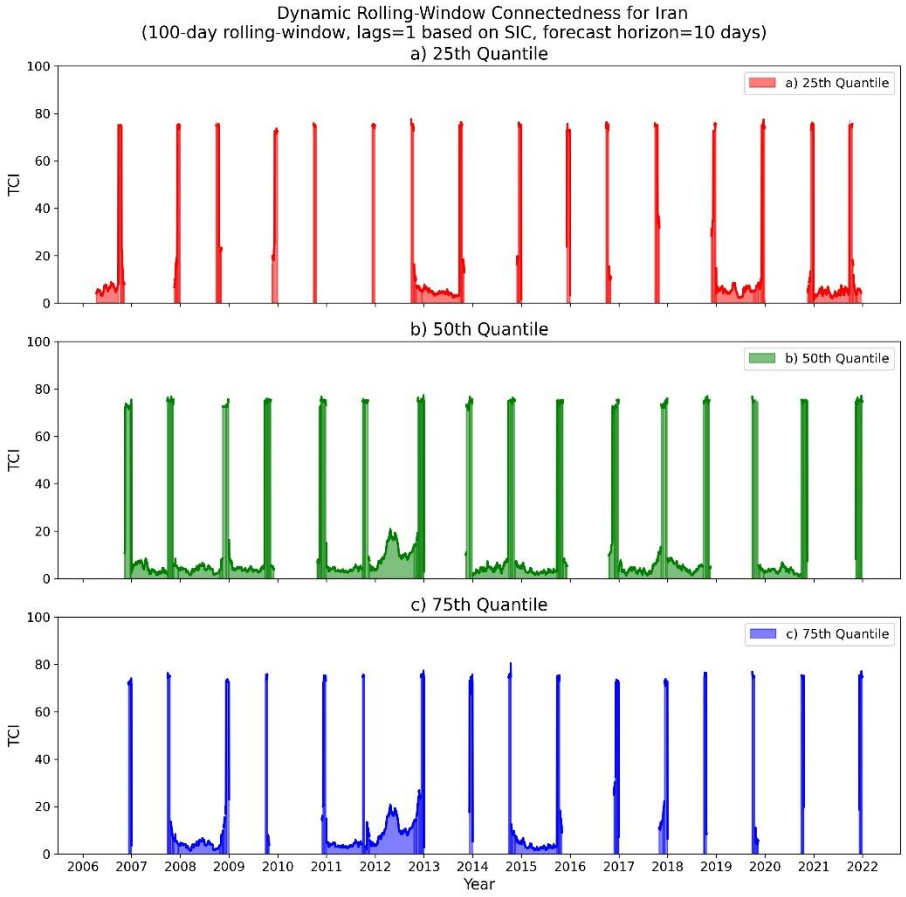
[1] Seaborn



ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل (۱) شبکه اتصال نوسانات بین متغیرها

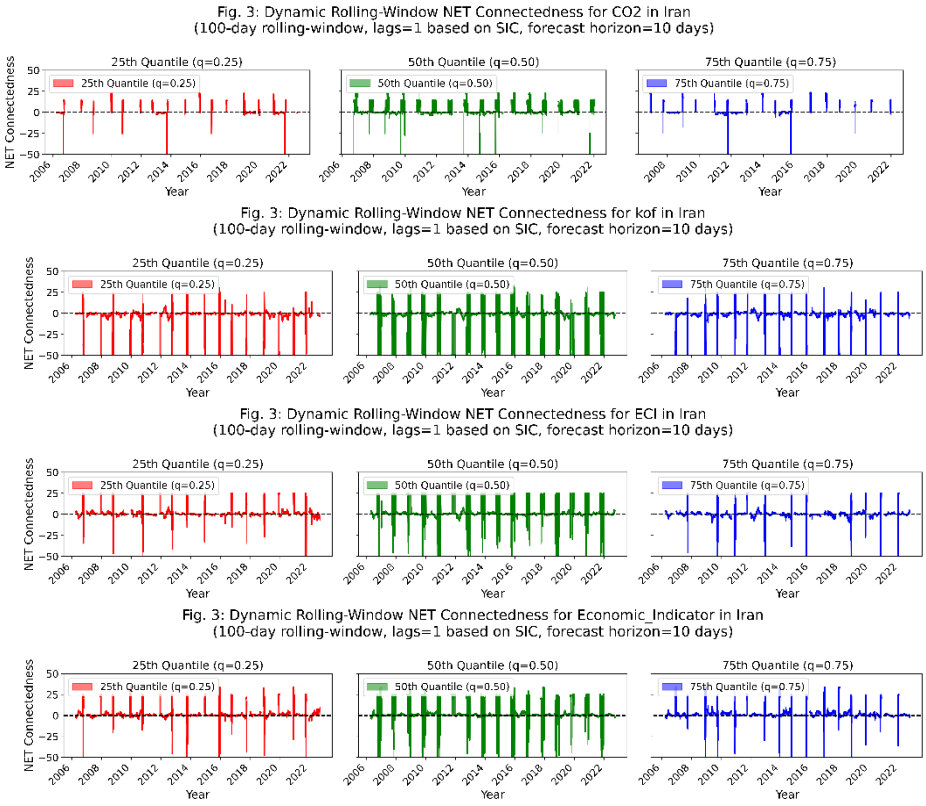
شکل ۱ شبکه اتصالات نوسانات بین دی‌اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی در ایران نشان‌دهنده پویایی روابط این متغیرهاست. در نوسانات کم، شاخص اقتصادی نوسانات را به جهانی‌شدن منتقل می‌کند. در شرایط معمولی، پیچیدگی اقتصادی پخش‌کننده اصلی و دی‌اکسید کربن گیرنده است. در نوسانات شدید، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی پخش‌کننده و دی‌اکسید کربن گیرنده اصلی است، در حالی که جهانی‌شدن کم‌رنگ‌تر است. دی‌اکسید کربن بیشترین ارتباط را دارد و قوی‌ترین انتقال از پیچیدگی اقتصادی به دی‌اکسید کربن و از شاخص اقتصادی به جهانی‌شدن است. این نشان می‌دهد وابستگی متغیرها با شرایط اقتصادی و محیط زیستی تغییر می‌کند و می‌تواند به سیاست‌گذاری هدفمند کمک کند.



ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل (۲) پویایی‌های زمانی شاخص کل اتصال- اتصال پویا نورد-پنجره

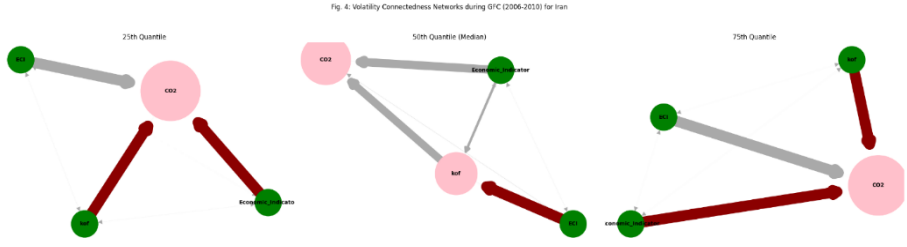
شکل ۲ پویایی‌های زمانی شاخص کل اتصال بین دی‌اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی در ایران را با روش پنجره غلتان ۱۰۰ روزه در چارک‌های ۲۵ام، ۵۰ام و ۷۵ام نشان می‌دهد. در چارک ۲۵ام، اوج اتصال در ۲۰۱۲ (تحریم‌های اقتصادی) و کمترین در ۲۰۲۱ (پساکرونا) است. در چارک ۵۰ام، بیشترین اتصال در ۲۰۱۲ (تحریم‌ها) و کمترین در ۲۰۲۰ (کرونا) دیده می‌شود. در چارک ۷۵ام، اوج در ۲۰۱۴ (افت قیمت نفت) و فرود در ۲۰۰۸ (بحران مالی جهانی) ثبت شده. این نشان‌دهنده تأثیر بحران‌های اقتصادی و جهانی بر وابستگی متغیرها و راهنمایی برای سیاست‌گذاری در شرایط بحرانی است.



ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل (۳) اتصال NET پویا بین زیرشاخص های اندازه گیری شده

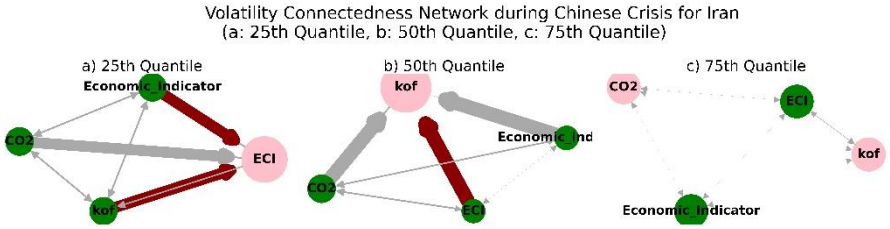
شکل ۳ شاخص خالص اتصالرا برای دی‌اکسید کربن، جهانی‌شدن، شاخص اقتصادی و پیچیدگی اقتصادی در ایران با روش پنجره غلتان در چارک‌های ۲۵ام، ۵۰ام و ۷۵ام بررسی می‌کند. دی‌اکسید کربن در ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ انتقال‌دهنده و در ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹ گیرنده است. جهانی‌شدن در ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ انتقال‌دهنده و در ۲۰۰۶ گیرنده است. پیچیدگی اقتصادی در ۲۰۰۶ و ۲۰۱۶ پخش‌کننده و در ۲۰۰۹ گیرنده است. شاخص اقتصادی در ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ انتقال‌دهنده و در ۲۰۰۶ گیرنده است، با اوج در ۲۰۱۱. این نشان‌دهنده تغییر نقش متغیرها در بحران‌های مالی، تحریم‌ها و کروناست و برای سیاست‌گذاری مهم است.



ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل (۴) شبکه اتصال نوسانات بین متغیرها در دوره بحران مالی جهانی

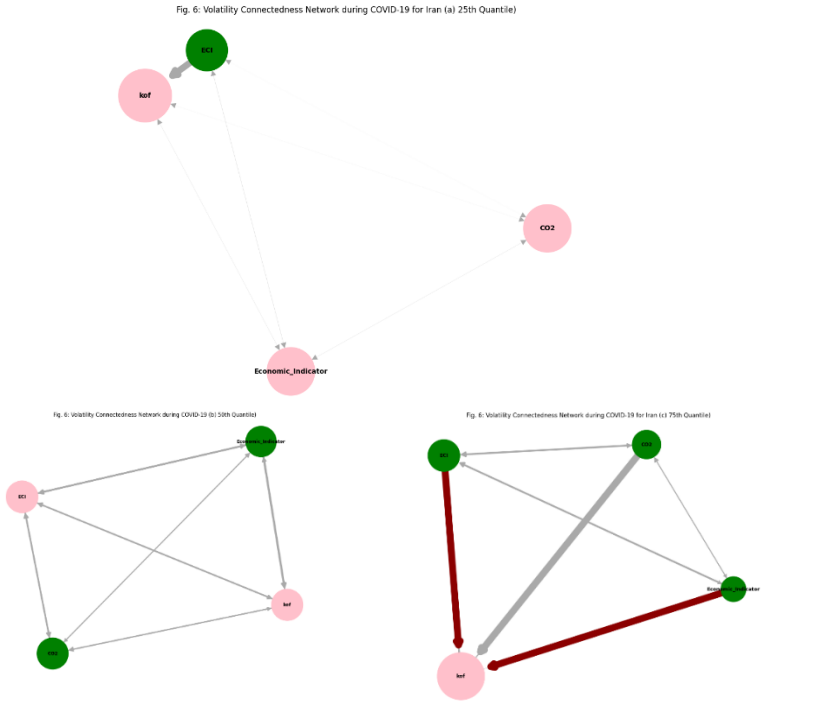
شکل ۴ شبکه اتصال نوسانات بین دی‌اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی را در بحران مالی جهانی (۲۰۱۰-۲۰۰۶) در چارک‌های ۲۵ام، ۵۰ام و ۷۵ام بررسی می‌کند. در چارک ۲۵ام و ۷۵ام، اتصال کل به بیش از ۷۵ درصد می‌رسد، دی‌اکسید کربن گیرنده اصلی با دریافت نوسانات بالا و جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی انتقال‌دهنده هستند. در چارک ۵۰ام، اتصال کل کاهش یافته، دی‌اکسید کربن گیرنده اصلی اما با شدت کمتر و جهانی‌شدن تا حدی گیرنده است، در حالی که پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی پخش‌کننده باقی می‌مانند. این نشان می‌دهد دی‌اکسید کربن در بحران مالی تحت تأثیر نوسانات متغیرهای اقتصادی و جهانی‌شدن بوده و برای سیاست‌گذاری در بحران‌ها راهنمایی ارائه می‌دهد.



ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل (۵) شبکه اتصال نوسانات بین متغیرها در دوره بحران چین

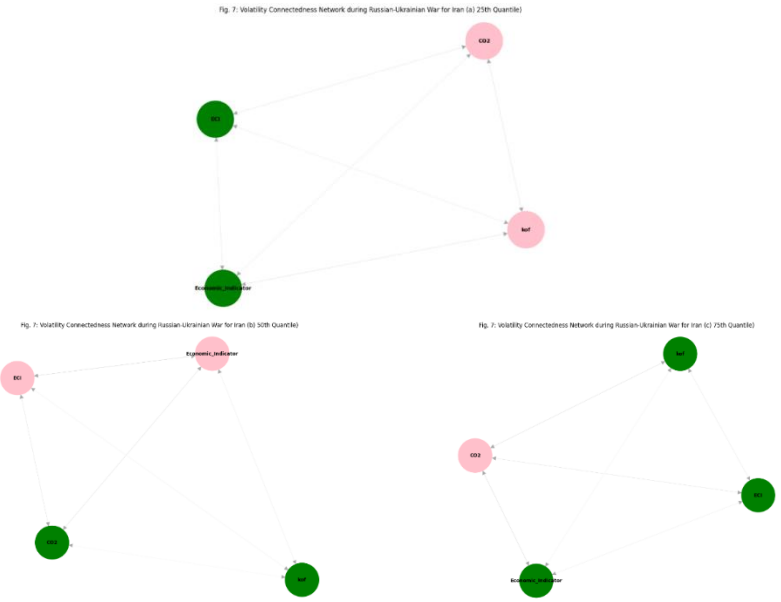
شکل ۵ شبکه اتصال نوسانات بین دی‌اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی را در بحران چین (۲۰۱۷-۲۰۱۴) در چارک‌های ۲۵ام، ۵۰ام و ۷۵ام بررسی می‌کند. در چارک ۲۵ام، دی‌اکسید کربن، جهانی‌شدن و شاخص اقتصادی انتقال‌دهنده و پیچیدگی اقتصادی گیرنده اصلی با قوی‌ترین انتقال از دی‌اکسید کربن و جهانی‌شدن است. در چارک ۵۰ام، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی پخش‌کننده و جهانی‌شدن گیرنده اصلی با تبادل بالای نوسانات است. در چارک ۷۵ام، اتصال کم شده، پیچیدگی اقتصادی کمی انتقال‌دهنده و سایرین گیرنده ضعیف با تعامل کم هستند. این نشان‌دهنده وابستگی متفاوت متغیرها در بحران چین و نقش متمایز پیچیدگی اقتصادی و جهانی‌شدن برای سیاست‌گذاری در ایران است.



ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل (۶) شبکه اتصال نوسانات بین متغیرها در دوره همه‌گیری کووید-۱۹

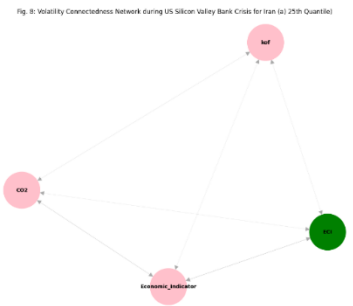
شکل ۶ شبکه اتصال نوسانات بین دی اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ (۲۰۱۹-۲۰۲۲) را در چارک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ نشان می‌دهد. در چارک ۲۵، پیچیدگی اقتصادی انتقال‌دهنده اصلی و جهانی‌شدن گیرنده کلیدی است؛ دی‌اکسید کربن و شاخص اقتصادی نقش کمتری دارند. در چارک ۷۵، دی‌اکسید کربن و شاخص اقتصادی انتقال‌دهندگان اصلی و جهانی‌شدن گیرنده است، با تبادلات قوی بین متغیرها و نقش متعادل پیچیدگی اقتصادی. این تحلیل نشان می‌دهد کووید-۱۹ وابستگی متغیرها را تغییر داده و جهانی‌شدن به‌ویژه در شرایط بحرانی گیرنده نوسانات بوده که برای سیاست‌گذاری مهم است.

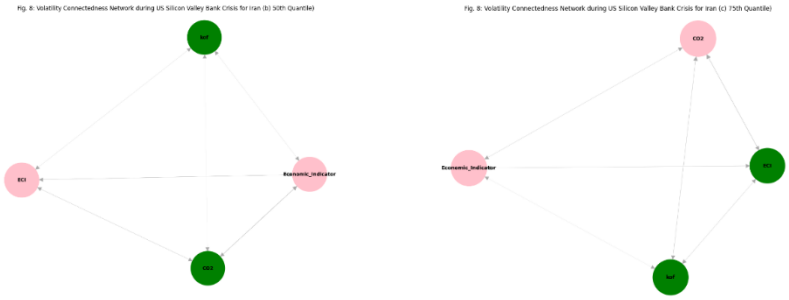


ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل(۷) شبکه اتصال نوسانات بین متغیرها در دوره جنگ روسیه و اوکراین

شکل ۷ شبکه اتصال نوسانات بین دی اکسید کربن، جهانی‌شدن، شاخص اقتصادی و پیچیدگی اقتصادی در دوره جنگ روسیه و اوکراین (۲۰۲۱-۲۰۲۳) را در چارک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ نشان می‌دهد. در چارک ۲۵، پیچیدگی و شاخص اقتصادی انتقال‌دهنده و دی اکسید کربن و جهانی‌شدن گیرنده‌های اصلی با اتصالات ضعیف‌اند. در چارک ۵۰، دی اکسید کربن و جهانی‌شدن نقش انتقال‌دهنده و شاخص اقتصادی و پیچیدگی گیرنده دارند ولی اتصالات محدود است. در چارک ۷۵، جهانی‌شدن، شاخص اقتصادی و پیچیدگی انتقال‌دهنده و دی اکسید کربن گیرنده کلیدی با مسیرهای قابل توجه به دی اکسید کربن هستند. این تحلیل نشان می‌دهد اتصال نوسانات در این بحران ضعیف بوده و دی‌اکسید کربن عمدتاً گیرنده است که اهمیت سیاست‌گذاری را در این شرایط برجسته می‌کند.

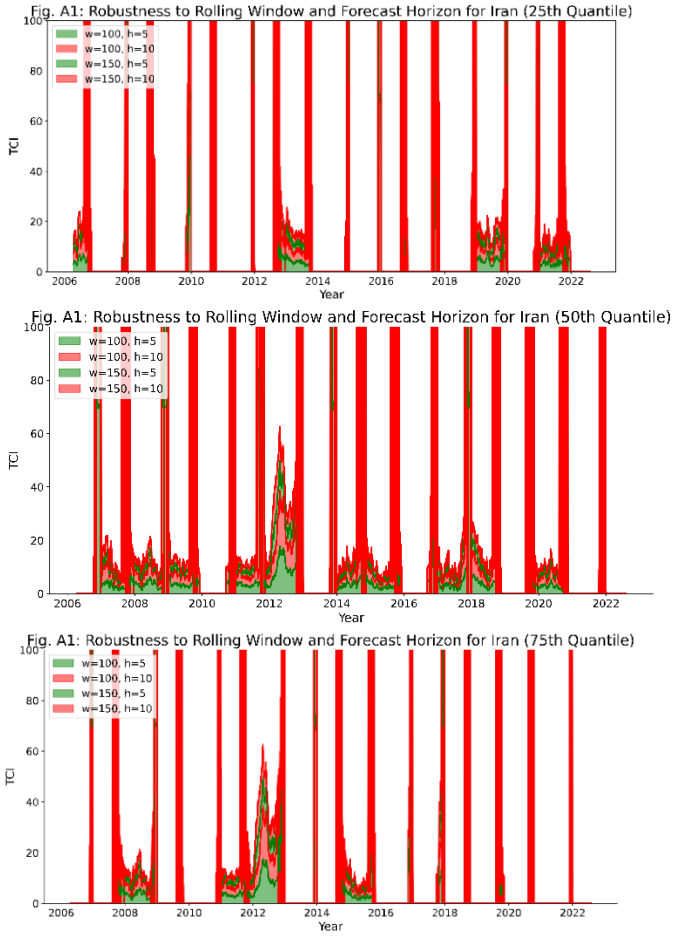




ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل (۸) شبکه اتصال نوسانات بین متغیرها در دوره بحران بانک سیلیکون ولی

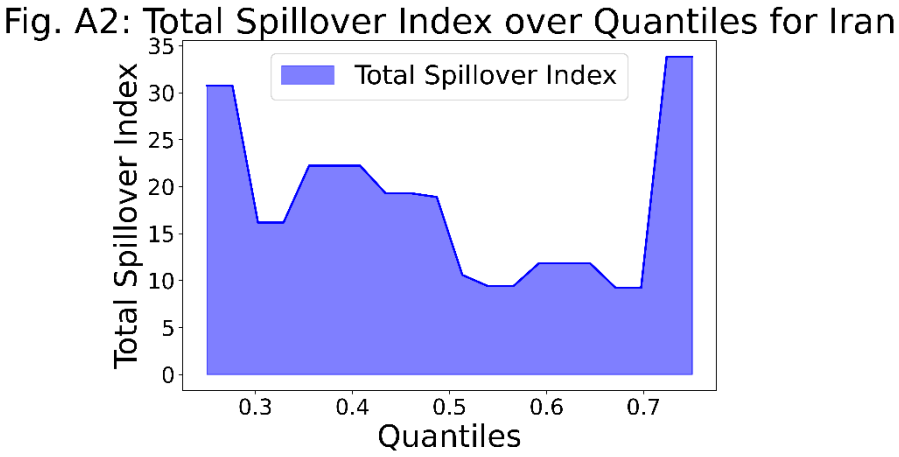
شکل ۸ شبکه اتصال نوسانات بین دی اکسید کربن، جهانی‌شدن، شاخص اقتصادی و پیچیدگی اقتصادی در بحران بانک سیلیکون ولی (۲۰۲۲-۲۰۲۳) را در چارک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ نشان می‌دهد. در چارک ۲۵، پیچیدگی اقتصادی انتقال‌دهنده اصلی و دی اکسید کربن، جهانی‌شدن و شاخص اقتصادی گیرنده‌اند با انتقال‌های اندک از پیچیدگی به شاخص اقتصادی. در چارک ۵۰، دی اکسید کربن و جهانی‌شدن انتقال‌دهنده و شاخص اقتصادی و پیچیدگی گیرنده هستند، با قوی‌ترین مسیر از دی اکسید کربن به شاخص اقتصادی. در چارک ۷۵، جهانی‌شدن و پیچیدگی انتقال‌دهنده و دی اکسید کربن و شاخص اقتصادی گیرنده‌اند، با مسیر قابل توجه از پیچیدگی به دی اکسید کربن .این نشان می‌دهد اتصال نوسانات در این بحران محدود بوده و نقش متغیرها متغیر است که اهمیت سیاست‌گذاری را افزایش می‌دهد.



ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل(۹) استحکام شاخص کل اتصال) شاخص کل اتصال (نسبت به اندازه پنجره (۱۰۰ و ۱۵۰ روز) و افق پیش‌بینی

شکل ۹ استحکام شاخص کل اتصال) شاخص کل اتصال (بین دی اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی ایران را با تغییر اندازه پنجره (۱۰۰ و ۱۵۰ روز) و افق پیش‌بینی (۵ و ۱۰ روز) در چارک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ بررسی می‌کند. در چارک ۲۵، اوج اتصال سال ۲۰۱۹ با پنجره ۱۰۰ روز و افق ۵ روز (۷۸.۲۹) هم‌زمان با تشدید تحریم‌هاست. در چارک ۵۰، بیشترین مقدار سال ۲۰۱۲ با پنجره ۱۵۰ روز و افق ۵ روز (۷۷.۸۶) مرتبط با تحریم‌های شدید است. در چارک ۷۵، اوج اتصال سال ۲۰۱۴ با پنجره ۱۰۰ روز و افق ۵ روز (۸۱.۸۲) هم‌زمان با افت قیمت نفت رخ داده. در برخی دوره‌ها شاخص کل اتصال به صفر می‌رسد که نشان‌دهنده حداقل وابستگی و انتقال نوسانات است.



ماخذ:یافته‌های پژوهش

شکل (۱۰) شاخص کل اتصال (شاخص کل اتصال) در چارک‌های مختلف

شکل ۱۰ شاخص کل اتصال بین دی اکسید کربن، جهانی‌شدن، پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی ایران را در چارک‌های ۲۵ تا ۷۵ بررسی می‌کند. بیشترین مقدار شاخص کل اتصال (۳۳.۸۴) در چارک‌های ۷۲ و ۷۵ دیده می‌شود که نشان‌دهنده اتصال قوی‌تر در شرایط بحرانی است، و کمترین مقدار (۹.۲۳) در چارک ۶۷ که وابستگی را در سطوح متوسط نوسانات کاهش می‌دهد. الگوی کلی شاخص کل اتصال به شکل U است؛ اتصال در چارک‌های پایین و بالا قوی‌تر و در میانه‌ها ضعیف‌تر است. این الگو کمک می‌کند پویایی‌های اقتصادی و محیط زیستی ایران بهتر در سیاست‌گذاری درک شود.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تعاملات پویا میان متغیرهای اقتصادی و زیست‌محیطی در ایران، به تحلیل جامعی از چگونگی انتقال و دریافت نوسانات در شرایط مختلف دست یافت. از منظر اقتصادی، نتایج نشان داد که پیچیدگی اقتصادی و شاخص اقتصادی به‌عنوان انتقال‌دهندگان اصلی نوسانات عمل می‌کنند، به‌ویژه در دوره‌های بحرانی مانند بحران مالی جهانی (۲۰۰۶-۲۰۱۰) و تشدید تحریم‌ها در سال ۲۰۱۲. این نقش برجسته بیانگر آن است که ساختار تولید و سیاست‌های کلان اقتصادی نه‌تنها بر یکدیگر، بلکه بر بخش زیست‌محیطی نیز اثرگذاری قابل‌توجهی دارند. از منظر زیست‌محیطی، دی‌اکسید کربن به‌طور مداوم گیرنده نوسانات بود، که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بالای محیط‌زیست ایران در برابر شوک‌های اقتصادی است. جهانی‌شدن نیز در چارک‌های پایین و بالا به‌عنوان گیرنده ظاهر شد و در دوره‌هایی مانند همه‌گیری کووید-۱۹ و بحران بانک سیلیکون ولی (۲۰۲۲-۲۰۲۳) تحت تأثیر شدید قرار گرفت، که می‌تواند به کاهش فعالیت‌های بین‌المللی یا سیاست‌های زیست‌محیطی مرتبط با آن اشاره داشته باشد. الگوی U شکل شاخص کل اتصال (شاخص کل اتصال) نشان‌دهنده وابستگی قوی‌تر متغیرها در شرایط آرام

(چارک ۲۵ام) و بحرانی (چارک ۷۵ام) و کاهش آن در شرایط متوسط (چارک ۵۰ام) است. این الگو می‌تواند به ثبات نسبی در دوره‌های عادی یا انعطاف‌پذیری محدود سیستم در برابر تغییرات متعارف نسبت داده شود.

یافته‌ها همچنین تأثیر عمیق بحران‌های جهانی مانند افت قیمت نفت (۲۰۱۴)، تحریم‌ها و جنگ روسیه و اوکراین را بر پویایی متغیرها در ایران تأیید کردند. به‌عنوان مثال، اوج شاخص کل اتصال در سال ۲۰۱۴ در چارک ۷۵ام با افت قیمت نفت هم‌زمان بود، که نشان‌دهنده نقش کلیدی متغیرهای اقتصادی در انتقال نوسانات به دی‌اکسید کربن است. این تعاملات پیچیده بر ضرورت هماهنگی بین سیاست‌های اقتصادی و زیست‌محیطی تأکید دارند. از نظر سیاستی، پیشنهاد می‌شود که با تمرکز بر توسعه صنایع سبز و فناوری‌های کم‌کربن، پیچیدگی اقتصادی تقویت شود تا اثرات منفی بر انتشار دی‌اکسید کربن کاهش یابد . این شامل سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود بهره‌وری انرژی در بخش‌های صنعتی است .همچنین، در دوره‌های بحرانی مانند تحریم‌ها یا شوک‌های جهانی، سیاست‌های تنظیم تجارت بین‌المللی و مالی باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که نوسانات شاخص‌های اقتصادی و جهانی‌شدن را مدیریت کرده و فشار بر محیط‌زیست را کم کنند .ایجاد نظام پیش‌بینی مبتنی بر داده‌های فرکانس بالا و مدل‌های پویا نیز برای شناسایی زودهنگام شوک‌ها و تدوین پاسخ‌های سیاستی مؤثر توصیه می‌شود .یافته‌های پژوهش با مطالعات بخشی (۱۴۰۳)، لعل خضری و آشنا (۱۴۰۱)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۸)، اوغلو و آکال (۲۰۲۴)، فضلی و صفی‌الله (۲۰۲۴)، ژیا و همکاران (۲۰۲۴)، تکباش و توتوملو (۲۰۲۳)، یو و همکاران (۲۰۲۳)، دمیرال و آکچا (۲۰۲۲)، محمد و خان (۲۰۲۱) و کواکوا (۲۰۲۱) مشابه است. با این حال، برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود تحلیل به کشورهای مشابه منطقه گسترش یابد و از داده‌های با تفکیک زمانی بیشتر استفاده شود تا ابعاد گسترده‌تری از این پویایی‌ها روشن گردد. در نهایت، این مطالعه چارچوبی علمی و کاربردی برای سیاست‌گذاری هدفمند در ایران ارائه می‌دهد و نشان می‌دهد که درک دقیق تعاملات میان متغیرهای اقتصادی و زیست‌محیطی برای مواجهه با چالش‌های جهانی و داخلی ضروری است. این نتایج می‌توانند پایه‌ای برای طراحی استراتژی‌های بلندمدت و پایدار در راستای توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست فراهم آورند.

منابع

- ابوالحسنی، اصغر، متقی، سمیرا و فرهادی، احسان . (۱۳۹۸). بررسی تحلیلی ارتباط آلودگی محیط‌زیست و رشد اقتصادی (فرضیه کوزنتس) با تأکید بر نقش آموزش. فصلنامه علمی آموزش محیط زیست و توسعه پایدار، ۸(۱)، ۱۰۵-۱۱۶. https://doi.org/10.30473/ee.2019.6328
- Ahmed, Z., Adebayo, T. S., Udemba, E. N., Murshed, M., & Kirikkaleli, D. (2021). Effects of economic complexity, economic growth, and renewable energy technology budgets on ecological footprint: the role of democratic accountability. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–16. https://doi.org/10.1007/S11356-021-17673-2
- Bandyopadhyay, S. (2017). Evaluating sustainable economic development. *Clean Technologies and Environmental Policy, 19*(7), 1815–1816. https://doi.org/10.1007/S10098-017-1400-7
- De Cunzo, F., Petri, A., Zaccaria, A., & Sbardella, A. (2022). The trickle down from environmental innovation to productive complexity. *Dental Science Reports, 12*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-022-25940-6
- Fazlly, S. K., & Safiullah, K. (2024). The Impacts of Globalization, Economic Growth, Population and Urbanization on Carbon Dioxide Emissions in Afghanistan. *Nangarhar University International Journal of Biosciences, 03*(ICCC(special)), 376–379. https://doi.org/10.70436/nuijb.v3i02.243
- Globalization and Environmental Justice (pp. 50–61). (2023). IGI Global eBooks. https://doi.org/10.4018/978-1-6684-7188-3.ch004
- Güneri, B., & Yalta, A. Y. (2020). Does economic complexity reduce output volatility in developing countries. *Bulletin of Economic Research, 73*(3), 411–431. https://doi.org/10.1111/BOER.12257
- Hasper, M. (2009). Green Technology in Developing Countries: Creating Accessibility Through a Global Exchange Forum. *Duke Law and Technology Review, 7*(1), 1–14.

- Marsiglio, S., Marsiglio, S., Masoudi, N., & Masoudi, N. (2021). Transboundary Pollution Control and Competitiveness Concerns in a Two-Country Differential Game. *Environmental Modeling & Assessment*, 1–14. https://doi.org/10.1007/S10666-021-09768-4
- Mealy, P., Farmer, J. D., Farmer, J. D., & Teytelboym, A. (2017). A New Interpretation of the Economic Complexity Index. *Social Science Research Network*. https://doi.org/10.2139/SSRN.3075591
- Nan, S., Huo, Y., You, W., & Guo, Y. (2022). Globalization spatial spillover effects and carbon emissions: What is the role of economic complexity? *Energy Economics, 112*, 106184. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106184
- Sierra-Suárez, L. P., Collazos-Rodríguez, J. A., Sanabria-Domínguez, J. A., & Vidal-Alejandro, P. (2017). La construcción de indicadores de la actividad económica: una revisión bibliográfica. *Apuntes Del CENES, 36*(64), 79–107. https://doi.org/10.19053/01203053.V36.N64.2017.5132
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics, 70*(1), 65–94. https://doi.org/10.2307/1884513
- Stojanović, S. (2018). Globalization of the world economy and changes in the organization and management. *28*(5), 1511–1519. https://doi.org/10.35120/KIJ28051511S
- Strauss, B. H., Kulp, S., Rasmussen, D. J., & Levermann, A. (2021). Unprecedented threats to cities from multi-century sea level rise. *Environmental Research Letters, 16*(11), 114015. https://doi.org/10.1088/1748-9326/AC2E6B
- Weiss, B., & Obi, M. (2016). Climate Change Mitigation and Clean Energy Technology Policies (pp. 75–106). Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33957-3_5
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.

-