Economic Growth and Development Research Open Access

Autumn (2025) 15(60): 101-124

DOI: 10.30473/egdr.2025.74566.7005

ORIGINAL ARTICLE

Growth Levers for Less-Developed Economies of the N-11 Group: A Quantile Analysis of the Role of the Energy Trilemma and Economic Complexity

Bahar Salarvand[1], **Ali Hasanvand**[2]

1. Ph.D. in Economics, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Economics, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Correspondence
Bahar Salarvand**Email**: salarvand.ba@fc.lu.ac.ir

Received: 28/Dec/2024
Accepted: 04/ May /2025

How to cite:
Salarvand, B. & Hasanvand, A. (n.d.). Growth levers for less-developed economies of the N-11 group: A quantile analysis of the role of the energy trilemma and economic complexity. Economic Growth and Development Research, 15(60), 101-124

(DOI:10.30473/egdr.2025.74566.7005)

ABSTRACT

This study investigates the impact of financial development, the energy trilemma, and economic complexity on economic growth in emerging N11 countries over the period 2000–2023, using the Quantile Regression via Moments (QRMM) approach. The results indicate that financial development has a positive and significant effect on economic growth. Holding other factors constant, it can increase growth by 0.24 to 0.28 units, with stronger effects observed in lower quantiles. Furthermore, economic complexity exhibits a positive and significant impact across all quantiles except the highest one, contributing to economic growth by 0.07 to 0.15 units, with its influence being more pronounced in the lower quantiles. The energy trilemma index also shows a positive and significant effect on growth from the first to the median quantile; a one-unit increase in this index can raise growth by 0.05 to 0.08 units. To verify the robustness of the results, the study employs alternative estimators, including FGLS, PCSE, and Driscoll-Kraay standard errors, all of which confirm the direction and significance of the estimated coefficients. The findings suggest key policy implications: enhancing financial development, promoting economic complexity, and improving performance in the energy trilemma index can serve as effective levers for accelerating growth, particularly in lower-performing N11 economies. These insights highlight the differentiated impacts of structural factors across the growth distribution and underscore the importance of tailored policy approaches in emerging markets.

KEYWORDS

Economic Growth, Emerging N-11 Economies, Panel Quantile Regression based on Moments, Energy Trilemma, Economic Complexity.

JEL: O10, C20, F43, Q43.

Copyright © 2024 The Authors. Published by Payame Noor University.

This work is licensed under Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی

سال پانزدهم، شماره شصت، پاییز ۱۴۰۴ (۱۲۴-۱۰۱)
DOI: 10.30473/egdr.2025.74566.7005

«مقاله پژوهشی»

اهرم‌های رشد برای اقتصادهای کمترتوسعه‌یافته گروه N11: تحلیل چندکی نقش مثلث انرژی و پیچیدگی اقتصادی

بهار سالاروند[۱]، علی حسنوند[۲]

۱. دکتری اقتصاد، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۲. استادیار، گروه اقتصاد، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

نویسنده مسئول:
بهار سالاروند
رایانامه: Salarvand.ba@fc.lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴

استناد به این مقاله:
سالاروند، بهار و حسنوند، علی. (۱۴۰۴). اهرم‌های رشد برای اقتصادهای کمتر توسعه‌یافته گروه N11: تحلیل چندکی نقش مثلث انرژی و پیچیدگی اقتصادی. فصلنامه علمی پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی، ۱۳(۵۱)، ۱۲۴-۱۰۱.
(DOI:10.30473/egdr.2025.74566.7005)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر توسعه مالی، مثلث انرژی و پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی در کشورهای نوظهور گروه N11 طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ و با استفاده از روش رگرسیون کوانتایل مبتنی بر گشتاور انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد توسعه مالی اثر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی دارد؛ به‌طوری‌که با فرض ثبات سایر شرایط، می‌تواند رشد را بین ۰,۲۴ تا ۰,۲۸ واحد افزایش دهد و این اثر در چندک‌های پایین‌تر بیشتر است. همچنین، پیچیدگی اقتصادی در تمام چندک‌ها به‌جز چندک آخر، اثر مثبت و معناداری دارد و می‌تواند رشد اقتصادی را از ۰,۰۷ تا ۰,۱۵ واحد افزایش دهد؛ این اثر نیز در چندک‌های پایین برجسته‌تر است. اثر مثلث انرژی بر رشد اقتصادی نیز در چندک‌های اول تا ۰,۵ مثبت و معنادار است؛ به‌گونه‌ای که با افزایش یک واحد در این شاخص، رشد اقتصادی می‌تواند بین ۰,۰۵ تا ۰,۰۸ واحد افزایش یابد. در این پژوهش برای آزمون استحکام نتایج، از مدل‌های FGLS، PCSE و Driscoll-Kraay استفاده شده است که تأییدکننده جهت ضرایب هستند. یافته‌ها دلالت‌های سیاستی مهمی دارند و نشان می‌دهند که توسعه مالی، ارتقای پیچیدگی اقتصادی و بهبود شاخص مثلث انرژی از اهرم‌های مؤثر رشد در کشورهای با عملکرد پایین‌تر گروه N11 به شمار می‌روند.

واژه‌های کلیدی

رشد اقتصادی، کشورهای نوظهور N11، رگرسیون چندکی پانلی مبتنی بر گشتاور، مثلث انرژی، پیچیدگی اقتصادی..

طبقه بندی JEL: O10، C20، F43، Q43.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۳ ©. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.

این مقاله تحت گواهی زیر مستند شده و هر نوع استفاده غیر تجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و یا رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
Creative commons attribution-Noncommercial 4.0 international license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

۱- مقدمه

اقتصاد جهانی طی سال‌های اخیر با بی‌ثباتی قابل توجهی روبه‌رو بوده است. بر اساس گزارش بانک جهانی، جهان در نیمه اول دهه جاری کمترین رشد تولید ناخالص داخلی ۳۰ سال اخیر را تجربه کرده است. تورم فزاینده، افزایش نرخ بهره و کاهش سرمایه‌گذاری‌ها رکود شدیدی در روند رشد اقتصادی ایجاد کرده‌اند (لبیدی[1]، ۲۰۲۵). از طرفی، همزمان، رشد مداوم جمعیت، شهرنشینی و افزایش سطح رفاه، تقاضا برای انرژی را به شدت افزایش داده است که پیش‌بینی می‌شود این تقاضا تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شود و تأمین پایدار این تقاضای فزاینده نیازمند سرمایه‌گذاری‌های عظیم در زیرساخت‌های انرژی است (خان و همکاران[2]، ۲۰۲۱ الف). این وضعیت، مجموعه‌ای از چالش‌های پیچیده انرژی را ایجاد می‌کند که تحت عنوان مثلث انرژی[3] مورد بررسی قرار می‌گیرد. مثلث انرژی بر لزوم توازن بین سه هدف همزمان در سیستم‌های انرژی تأکید دارد: امنیت انرژی (تأمین مطمئن تقاضای فعلی و آینده، تاب‌آوری زیرساخت‌ها)، عدالت انرژی (دسترسی گسترده، منصفانه و مقرون به‌صرفه برای همه) و پایداری محیط زیست (گذار به منابع و فناوری‌های کم‌کربن برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2 و مقابله با تغییرات اقلیمی) (شورای جهانی انرژی[4]، ۲۰۲۰). دستیابی به توازن در این سه‌راهی، به ویژه در زمینه‌گذار سریع انرژی به سمت سیستم‌های غیرمتمرکز و کربن‌زدایی شده، اغلب مستلزم بده‌بستان‌های دشوار با سایر اولویت‌های اقتصادی و اجتماعی مانند رشد اقتصادی است (لوچانی[5]، ۲۰۲۰) که ماهیت پیچیده این بده‌بستان‌ها، چالش‌های انرژی کشورها را بسیار متنوع ساخته است (لیو و همکاران[6]، ۲۰۲۲).

انرژی به عنوان ورودی اصلی تقریباً در تمام فعالیت‌های تولید و مصرف، نقشی کلیدی در رشد و توسعه اقتصادی ایفا می‌کند و ارتباط قوی با رشد اقتصادی دارد (لاباندرا و مانزانو[7]، ۲۰۱۲؛ عرفان و همکاران[8]، ۲۰۲۰). با این حال، رابطه دقیق بین رشد اقتصادی و چالش‌های مثلث انرژی، به ویژه ملاحظات زیست‌محیطی، موضوع بحث پژوهشگران قدیم تا به حال بوده است (اکینز[9]، ۱۹۹۹). دیدگاه‌ها متفاوتند؛ برخی گذار انرژی را فرصتی برای رشد و برخی دیگر آن را پرهزینه می‌دانند (لوچانی، ۲۰۲۰). در کشورهای در حال توسعه، بده‌بستان بین رشد اقتصادی و حفاظت از محیط زیست یا امنیت انرژی به دلیل نیازهای توسعه‌ای شدیدتر است و رشد اقتصادی اغلب اولویت بالاتری می‌یابد (گریگوریف و مدژیدووا[10]، ۲۰۲۰؛ خان و همکاران، ۲۰۲۱ ب). سرعت گذار انرژی نیز بر حمایت یا تضعیف رشد مؤثر است؛ گذار سریع نیازمند تغییرات ساختاری و سرمایه‌گذاری‌های بیشتری است (لوچانی، ۲۰۲۰). بنابراین، درک چگونگی تعامل ابعاد مثلث انرژی و سایر عوامل با رشد اقتصادی، به‌ویژه در اقتصادهای نوظهور، اهمیت بالایی دارد. شکل (۱) روند تغییرات شاخص مثلث انرژی را در کشورهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

مطابق با شکل (۱)، تغییرات شاخص مثلث انرژی در کشورهای گروه N11 در بازه زمانی ۲۰۰۰–۲۰۲۳، نشان‌دهنده ناهمگنی در دسترسی، پایداری و کارایی سیستم‌های انرژی است. برای نمونه، بنگلادش از سطح ۳۹/۱۶ در سال ۲۰۰۰ تا سقف ۱۰۰ واحد در سال ۲۰۲۲ رشد کرده که بیانگر گسترش گسترده زیرساخت های انرژی و سیاست های مؤثر در افزایش دسترسی به منابع تجدیدپذیر است. در مقابل، کره جنوبی با شروع از ۸۳ واحد در سال ۲۰۰۰، به‌تدریج تا ۷۵/۷ در سال ۲۰۲۳ افت کرده است؛ این کاهش نه ناشی از ضعف زیرساخت، بلکه منعکس‌کننده بهبود کارایی مصرف و سیاست‌های محدودکننده انتشار گازهای گلخانه ای است. کشورهای در حال توسعه همانند اندونزی و پاکستان نیز با سطوح متوسط از شاخص انرژی (میانگین حدود ۷۵–۴۵) نوسانات دوره‌ای قابل‌توجهی را تجربه کرده‌اند؛ برای مثال، ارزش شاخص مثلث انرژی اندونزی بین ۴۵/۹ تا ۶۱/۳ نوسان داشته و پاکستان از ۷۳/۳ تا ۸۵ را ثبت کرده است. همچنین، نیجریه در سال های اخیر با مقادیر بسیار پایین مواجه بوده که نشانگر شرایط بحرانی در تأمین انرژی و زیرساخت‌های ضعیف آن است.

در کنار چالش‌های انرژی، ساختار تولید یک اقتصاد نیز نقش مهمی در تعیین مسیر توسعه دارد. پیچیدگی اقتصادی (ECI) مفهوم جدیدی است که برای ارزیابی ویژگی‌های تولیدی کشورها و تفاوت در درآمد و رشد توسعه یافته است (محمدی خیاره و زیوری، ۱۴۰۱). ECI نه تنها ساختارهای تولیدی را توضیح می‌دهد، بلکه به تفاوت‌های درآمدی و رشد

1. Labidi
2. Khan et al.
3. Energy Trilemma
4. World Energy Council
5. Luciani
6. Liu et al.
7. Labandeira & Manzano
8. Irfan et al.
9. Ekins
10. Grigoryev & Medzhidova

نیز کمک می‌کند (همان) و به عنوان یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده رشد اقتصادی بلندمدت مطرح است (فلیپه و همکاران[1]، ۲۰۱۲؛ استویکوسکی و کوکارف[2]، ۲۰۱۷). ارتباط قوی بین پیچیدگی بالاتر و رشد اقتصادی بالاتر و نوسانات تولید کمتر نشان داده شده است (گونیری و یالتا[3]، ۲۰۲۱). توانایی تولید کالاهای پیچیده متکی بر شبکه‌هایی است که دانش و قابلیت‌ها را کنار هم قرار داده، اقتصاد را در برابر شوک مقاوم‌تر کرده و رشد پایدارتری به دنبال دارد (هارتمان و همکاران[4]، ۲۰۱۷). شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب روند تولید ناخالص داخلی سرانه و پیچیدگی اقتصادی را در کشورهای مورد مطالعه نشان می‌دهند.

مطابق با شکل‌های (۲) و (۳)، در چارچوب رابطه بین شاخص مثلث انرژی، GDP سرانه و پیچیدگی اقتصادی، مشاهده می شود که درآمد سرانه بالا لزوماً با شاخص مثلث انرژی بهتر مترادف نیست. به عنوان مثال، در سال ۲۰۲۳ کره‌جنوبی با میانگین GDP سرانه بالای ۳۴ هزار دلار، شاخص مثلث انرژی ۷۵/۷ را داراست، در حالی که ویتنام با GDPسرانه حدود ۳۷۶۰ دلار شاخص مثلث انرژی ۶۱/۷ را ثبت کرده است. از سوی دیگر، شاخص پیچیدگی اقتصادی نیز به‌تنهایی تبیین‌کننده کارایی سیستم‌های مثلث انرژی نیست؛ ایران با پیچیدگی اقتصادی ۰/۴- و شاخص مثلث انرژی نزدیک به ۵۲، تفاوت جدی با مصر با پیچیدگی ۰/۱۵- و شاخص مثلث انرژی ۸۷ نشان می‌دهد که تنوع تولیدی و توان نوآوری مجموعه صنعتی، تأثیر غیرقابل‌انکاری بر بهره‌برداری مؤثر از منابع انرژی دارد (هیدالگو و هاسمن[5]، ۲۰۰۹). این عدم تطابق خطی میان متغیرها تأکید می کند که صرفاً تحلیل میانگین اثر مثلث انرژی بر رشد اقتصادی (میانگین‌گرا) نمی‌تواند همه لایه‌های رابطه را آشکار سازد.

این مطالعه بر بررسی این روابط در گروه کشورهای N11 (Next Eleven[6]) متمرکز است که از سریع‌ترین اقتصادهای نوظهور در حال رشد جهان هستند (نبی و همکاران[7]، ۲۰۲۳). این کشورها در حال گذار اقتصادی بوده و در پی افزایش صادرات و تنوع و پیچیدگی محصولات آن هستند که منجر به انتشار دانش و نوآوری و تسریع رشد اقتصادی می‌شود (محمدی خیاره و زیوری، ۱۴۰۱). بنابراین، درک و پرداختن به عوامل مؤثر بر پایداری و شتاب رشد اقتصادی برای کشورهای N11 ضروری است. با وجود اهمیت مثلث انرژی و پیچیدگی اقتصادی در رشد اقتصادی، ادبیات موضوع نشان‌دهنده شکاف‌های تحقیقاتی قابل توجهی است. در حالی که مطالعات به بررسی ابعاد جداگانه مثلث انرژی و ارتباط آن‌ها با رشد اقتصادی پرداخته‌اند (لیو و همکاران، ۲۰۲۲)، کمتر به تأثیر مثلث انرژی به صورت یکپارچه (ترکیب هر سه بعد) بر رشد اقتصادی پرداخته شده است. همچنین بسیاری از این مطالعات، بده‌بستان حیاتی بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست را در زمینه سه‌راهی انرژی نادیده گرفته‌اند (فو و همکاران[8]، ۲۰۲۱). از طرفی، در زمینه پیچیدگی اقتصادی، ارتباط مثبت آن با رشد تأیید شده است (هاوسمن و هیدالگو[9]، ۲۰۱۱؛ فلیپه و همکاران، ۲۰۱۲)، اما مطالعات کمتری به بررسی همزمان پیچیدگی اقتصادی و انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان تعیین‌کننده‌های رشد پرداخته‌اند. از طرفی کشورهای N11 مراحل گوناگونی از توسعه اقتصادی را تجربه می‌کنند، از جمله اقتصادهای مبتنی بر منابع طبیعی (مانند ایران و نیجریه)، صنعتی (ترکیه و مکزیک)، و کشاورزی (بنگلادش و پاکستان). این تنوع اجازه می‌دهد تا تأثیر عواملی مانند مثلث انرژی، پیچیدگی اقتصادی و توسعه مالی در شرایط متفاوت بررسی شود. با توجه به ناهمگنی واضح اقتصادهای N11، روش رگرسیون کوانتایل مبتنی بر گشتاور (MMQR) به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای بررسی تفاوت های اثرات میان این کشورها در سطوح مختلف توزیع متغیر وابسته (رشد اقتصادی) انتخاب شده است. این نگرش به پژوهش حاضر کمک می‌کند تا الگوهای پیچیده‌تری مانند الگوی EKC، N شکل را شناسایی و تفسیر کند. مهم‌تر اینکه، مطالعات ارتباط بین پیچیدگی اقتصادی و رشد اقتصادی به ویژه در مورد کشورهای نوظهور مانند N11 محدود است و شواهد تجربی کافی، به‌خصوص در ارتباط با کشورهای N11 وجود ندارد.

در پاسخ به این شکاف‌ها، مطالعه حاضر با هدف ارائه بینشی جامع‌تر، به بررسی همزمان تأثیر مثلث انرژی (شاخص ترکیبی)، پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی کشورهای N11 برای دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۳ می‌پردازد. نوآوری و سهم اصلی این پژوهش شامل موارد زیر است: اولاً، پژوهش حاضر اولین

1. Felipe et al.
2. Stojkoski & Kocarev
3. Güneri & Yalta
4. Hartmann et al.
5. Hidalgo & Hausmann
6. بنگلادش، مصر، اندونزی، ایران، کره جنوبی، مکزیک، نیجریه، پاکستان، فیلیپین، ترکیه، ویتنام
7. Nabi et al.
8. Fu et al.
9. Hausmann & Hidalgo

مطالعه به منظور بررسی اهرم‌های جدید رشد اقتصادی شامل مثلث انرژی و پیچیدگی اقتصادی است. ثانیاً، روش اقتصادسنجی به کار رفته در پژوهش حاضر، رگرسیون چندکی مبتنی بر گشتاورها (ماچادو و سیلوا[1]، ۲۰۱۹) است که مقاوم در برابر نقاط پرت است. این روش امکان برآورد مدل را در چندک‌های مختلف رشد اقتصادی و با لحاظ اثرات ثابت فراهم می‌کند. ثالثاً، در این مطالعه، شاخص توسعه مالی بر اساس دو مؤلفه حجم نقدینگی و اعتبارات داخلی اعطا شده به بخش خصوصی با استفاده از تحلیل مؤلفه اساسی (PCA) محاسبه شده است.

۲- پیشینه پژوهش

۲-۱- پیشینه نظری

انرژی به عنوان شریان حیاتی اقتصادها، مهم‌ترین نهاده تولیدی است و تقریباً تمام فعالیت‌های اقتصادی به آن وابسته است (حسین‌زاده و هینز[2]، ۲۰۲۱؛ لبیدی، ۲۰۲۵). این نقش اساسی، انرژی را همواره در کانون مطالعات رشد و توسعه اقتصادی قرار داده و ارتباط قوی بین دسترسی به انرژی و رشد اقتصادی مشاهده می‌شود (لاباندرا و مانزانو، ۲۰۱۲؛ عرفان و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال، صرف افزایش مصرف انرژی لزوماً بهینه نیست و چالش‌های مرتبط با نحوه تولید، توزیع و مصرف، مفهوم سه‌راهی انرژی را مطرح می‌سازد.

مصرف انرژی به عنوان یکی از محرک‌های اصلی فعالیت‌های اقتصادی، رابطه مستقیمی با رشد اقتصادی دارد (ایوانوفسکی و همکاران[3]، ۲۰۲۰)؛ انرژی نماینده تولید کالاها و تولید بیشتر کالاها معادل رشد اقتصادی بالاتر است (خان و همکاران، ۲۰۲۲). از دیدگاه تاریخی، انرژی نقش کلیدی در تحولات اقتصادی داشته است (لبیدی، ۲۰۲۵). با این حال، رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی پیچیده است و ممکن است با افزایش سطح درآمد تغییر کند؛ در سطوح درآمدی بالاتر، استفاده کارآمد از انرژی به همان اندازه مصرف کل انرژی برای توسعه اقتصادی مهم می‌شود (اسن و بایراک[4]، ۲۰۱۷). مطالعات تجربی متعددی رابطه بین مصرف انرژی (شامل انواع مختلف آن) و رشد اقتصادی را بررسی کرده‌اند که نتایج متنوعی ارائه داده‌اند. برخی مطالعات ارتباط مثبت بین مصرف کل انرژی و رشد اقتصادی را در نمونه‌های مختلف یافته‌اند (ایوانوفسکی و همکاران، ۲۰۲۰). در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر (RE)، مطالعات در نمونه‌های مختلف (مانند شهباز و همکاران[5]، ۲۰۲۰؛ وانگ و وانگ[6]، ۲۰۲۰؛ دوگان و همکاران[7]، ۲۰۲۰؛ عجمی و اینگلیسی-لوتز[8]،۲۰۲۰) رابطه مثبت با رشد اقتصادی را نشان داده‌اند. برخی حتی به علّیت دوطرفه اشاره کرده‌اند (آل‌ملالی و همکاران[9]، ۲۰۱۳؛ آپرجیس و پین[10]، ۲۰۱۰). افزایش ظرفیت انرژی تجدیدپذیر نیز تأثیر مثبت قابل توجهی بر کارایی اقتصاد کلان و تشکیل سرمایه نشان داده است (چین و هو[11]، ۲۰۰۸). با این حال، یافته‌ها همواره یکسان نبوده‌اند؛ برخی مطالعات رابطه معکوس بین بلندمدت و کوتاه‌مدت (اسمولوویچ و همکاران[12]، ۲۰۲۰) یا تأثیر منفی در کشورهای با درآمد بالا را گزارش کرده‌اند (دوگان و همکاران، ۲۰۲۰). این تنوع در نتایج نشان می‌دهد که رابطه ممکن است به عواملی مانند سطح درآمد کشور یا روش‌شناسی بستگی داشته باشد (دوگان و همکاران، ۲۰۲۰؛ کانگ[13]، ۲۰۲۲).

در مورد انرژی‌های غیرتجدیدپذیر (NRE) مانند سوخت‌های فسیلی، ارتباط مثبت با رشد اقتصادی در برخی مطالعات مشاهده شده است (شهباز و همکاران، ۲۰۲۰). در ایالات متحده، علّیت مثبت از تولید ناخالص داخلی به گاز طبیعی و از نفت به تولید ناخالص داخلی واقعی نشان داده شده است (پین[14]، ۲۰۱۱). با این حال، در مورد انرژی هسته‌ای در ایالات متحده، برخی مطالعات عدم وجود علّیت گرنجر را یافته‌اند (پاینه و تیلور[15]، ۲۰۱۰). برخی مطالعات به وجود علّیت دوطرفه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در نمونه‌هایی مانند کشورهای آمریکای مرکزی (آپرجیس و پین، ۲۰۰۹) و کشورهای با درآمد بالا (آل‌ملالی و همکاران، ۲۰۱۳) اشاره کرده‌اند، در حالی که در نمونه‌هایی مانند کشورهای اتحادیه اروپا، رابطه یک‌طرفه گزارش شده است (اوچان و فاتح[16]، ۲۰۱۴). این یافته‌ها نشان می‌دهد که رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی پیچیده، وابسته به زمینه و نوع انرژی است و

1. Machado & Silva
2. Hoseinzadeh & Heyns
3. Ivanovski et al.
4. Esen & Bayrak
5. Shahbaz et al.
6. Wang & Wang
7. Dogan et al.
8. Ajmi & Inglesi-Lotz
9. Al-mulali et al.
10. Apergis & Payne
11. Chien & Hu
12. Smolović et al.
13. Kang
14. Payne
15. Payne & Taylor
16. Uçan & Fatih

نیاز به بررسی دقیق‌تر در گروه‌های مختلف کشورها دارد. همچنین، مطالعات کمی به بررسی این رابطه با در نظر گرفتن همزمان ساختار اقتصادی (پیچیدگی اقتصادی) پرداخته‌اند، عاملی که می‌تواند در درک بهتر چگونگی تأثیرگذاری استفاده از انرژی بر رشد، به ویژه از طریق تغییر در شدت انرژی بخش‌های مختلف تولید، نقش مهمی ایفا کند (لبیدی، ۲۰۲۵).

۲-۱-۱- اثر مثلث انرژی بر رشد اقتصادی

همان‌طور که در مقدمه ادبیات موضوع اشاره شد، مثلث انرژی چارچوبی برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های انرژی بر اساس ابعاد امنیت، عدالت و پایداری محیط زیست ارائه می‌دهد (شورای جهانی انرژی، ۲۰۱۸؛ ۲۰۱۹؛ ۲۰۲۰). دستیابی به تعادل در این ابعاد برای عملکرد پایدار اقتصادی و اجتماعی ضروری است (لاباندرا و مانزانو، ۲۰۱۲). با این حال، مدیریت همزمان این سه هدف اغلب نیازمند بده‌بستان‌های دشوار است. رابطه بین این مثلث و رشد اقتصادی، به ویژه در بلندمدت، موضوعی پیچیده با یافته‌های گاه متناقض است (اکینز[1]، ۱۹۹۹؛ خان و همکاران[2]، ۲۰۲۱ ب).

در کشورهای در حال توسعه، این بده‌بستان‌ها شدیدترند؛ ضرورت دستیابی به رشد اقتصادی برای مقابله با فقر، ممکن است منجر به اولویت‌دهی رشد بر ملاحظات پایداری محیط زیست یا حتی امنیت انرژی شود (گریگوریف و مدژیدووا، ۲۰۲۰؛ خان و همکاران، ۲۰۲۱ ب). گریگوریف و مدژیدووا (۲۰۲۰) این وضعیت را سه‌راهی جهانی انرژی برای کشورهای فقیرتر توصیف می‌کنند که بین نیاز به توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط زیست درگیر معضلی جدی هستند. خان و همکاران (۲۰۲۱ ب) اشاره کردند که تأثیر سه‌راهی انرژی بر رشد اقتصادی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، تنها در بلندمدت قابل توجه است. بررسی مطالعاتی که بر ابعاد جداگانه مثلث انرژی تمرکز دارند، بینش‌های متفاوتی ارائه می‌دهد:

- **امنیت انرژی و رشد اقتصادی:** امنیت انرژی می‌تواند رشد اقتصادی را تقویت کند در حالی که ناامنی انرژی اثرات منفی دارد و حفظ ظرفیت انرژی اضافی نسبت به تقاضا برای رشد اقتصادی مستمر حیاتی است (له و نگوین[3]، ۲۰۱۹). با این حال، ماهیت این رابطه به عوامل مختلفی بستگی دارد. افزایش وابستگی به منابع انرژی وارداتی می‌تواند شکاف عرضه و تقاضا ایجاد کرده (نواز و علوی[4]، ۲۰۱۸) و بر پتانسیل رشد اقتصادی تأثیر بگذارد (گاسپاراتوس و گادا[5]، ۲۰۰۹). نوسانات در عرضه انرژی، به‌ویژه از منابع متغیر مانند تجدیدپذیرها، می‌تواند قیمت را کاهش داده اما به امنیت عرضه آسیب برساند (کوستر و همکاران[6]، ۲۰۲۰). در مورد رابطه علّی، نتایج در گروه‌های درآمدی مختلف متفاوت بوده و برخی مطالعات شواهدی مبنی بر علّیت پیدا نکرده‌اند (اوزترک و همکاران[7]، ۲۰۱۰).
- **عدالت انرژی و رشد اقتصادی:** عدالت انرژی (دسترسی گسترده، قابل اعتماد و مقرون‌به‌صرفه) می‌تواند رشد اقتصادی را از طریق بهبود بهره‌وری، افزایش فرصت‌های کسب‌وکار و ارتقاء سطح زندگی تقویت کند (انرژی‌پدیا[8]، ۲۰۲۰). شاخص‌های جامع عدالت انرژی ارتباط قابل توجهی بین فقر انرژی و رشد اقتصادی در هر دو دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت نشان می‌دهند (عُلاح و همکاران[9]، ۲۰۲۱). با این حال، افزایش دسترسی بدون برنامه‌ریزی مناسب می‌تواند به گسترش شکاف ثروت و فشار زیست‌محیطی منجر شود (انرژی‌پدیا، ۲۰۲۰). تأمین مالی مناسب و سیاست‌های سرمایه‌گذاری برای بهبود دسترسی و مقرون‌به‌صرفه بودن انرژی برای حمایت از رشد اقتصادی حیاتی است (عُلاح و همکاران، ۲۰۲۱).
- **پایداری محیط زیست و رشد اقتصادی:** سازگاری یا ناسازگاری پایداری محیط‌زیست و رشد اقتصادی یک چالش کلیدی در ادبیات بوده است. دیدگاه کلاسیک‌تر معتقد است فعالیت‌های اقتصادی ذاتاً منجر به تخریب محیط زیست می‌شوند (اکینز و جیکوبز[10]، ۱۹۹۵) و بنابراین رشد و پایداری ناسازگارند (داماریا[11]، ۲۰۱۸؛ اوزترک و همکاران، ۲۰۱۰). در مقابل، دیدگاه‌های جدیدتر بر امکان سازگاری تأکید دارند و مفهوم رشد سبز را مطرح می‌کنند که هدف آن رشد اقتصادی همزمان با حفظ دارایی‌های طبیعی است (دروز و همکاران[12]، ۲۰۱۸). مطالعات تجربی نتایج متفاوتی ارائه داده‌اند؛ برخی ارتباط

1. Ekins
2. Khan et al.
3. Le & Nguyen
4. Nawaz & Alvi
5. Gasparatos & Gadda
6. Coester et al.
7. Ozturk et al.
8. Energy pedia
9. Ullah et al.
10. Ekins & Jacobs
11. Demaria
12. Drews et al.

منفی یافته‌اند (محجوبین و همکاران[1]، ۲۰۲۰)، در حالی که برخی دیگر شواهدی مبنی بر امکان تفکیک رشد از تخریب از طریق عوامل تکنولوژیکی و ساختاری (کورنیاوان و همکاران[2]، ۲۰۲۱) یا سازگاری (دروز و همکاران، ۲۰۱۸) یافته‌اند. نقش بهره‌وری انرژی و سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و دستیابی به توسعه پایدار اقتصادی تأیید شده است (دل‌آنا[3]، ۲۰۲۱؛ اکرم و همکاران[4]، ۲۰۲۱؛ ژانگ و همکاران[5]، ۲۰۲۱؛ زیولو و همکاران[6]، ۲۰۲۰).

با وجود این بررسی‌ها، یک محدودیت مهم در ادبیات این است که اغلب ابعاد مثلث انرژی به صورت جداگانه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و تعاملات آن‌ها در یک چارچوب واحد کمتر بررسی شده است. مطالعاتی که به تأثیر مثلث انرژی بر رشد پرداخته‌اند نیز، اغلب از منظر کلی این مفهوم را در نظر گرفته‌اند و به تفکیک و تجمیع ابعاد آن نپرداخته‌اند (خان و همکاران، ۲۰۲۱ ب؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۲). عدم بررسی مثلث انرژی به صورت یکپارچه ممکن است درک دقیقی از اثر کلی سیستم انرژی بر رشد ارائه ندهد.

۲-۱-۲- اثر پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی

پیچیدگی اقتصادی مفهوم نسبتاً جدیدی است که برای ارائه معیاری جامع از ویژگی‌های تولید کشورها گسترش یافته است. ادبیات اخیر بر ساختار تولید کشورها به عنوان یکی از دلایل اصلی تفاوت‌های عظیم درآمدی و رشد بین کشورها تأکید دارد. دیدگاه ساختارگرایان توسعه بر این دلالت دارد که رشد اقتصادی با تغییرات ترکیب بخشی تولید و پیشرفت در تولید کالاهای پیچیده مرتبط است. توسعه اقتصادی را می‌توان فرآیند یادگیری کشورها در مورد چگونگی تولید و صادرات محصولات پیچیده‌تر تفسیر کرد (محمدی خیاره و زیوری، ۱۴۰۱).

پیچیدگی اقتصادی با کمی‌سازی توانایی اقتصادها برای تولید و صادرات محصولات متنوع و پیچیده با ارزش افزوده بالا، به طور صریح با رشد اقتصادی مرتبط است (میلی و همکاران[7]، ۲۰۱۹). شاخص پیچیدگی اقتصادی (ECI) که توسط هیدالگو و هاوسمن (۲۰۰۹) توسعه یافته، بازتاب‌دهنده سطح پیشرفت تکنولوژیکی و عاملی کلیدی در رشد اقتصادی بلندمدت تلقی می‌شود (فلیپه و همکاران،۲۰۱۲؛ استویکوسکی و کوکارف، ۲۰۱۷). ECI به عنوان یکی از قابل اعتمادترین پیش‌بینی‌کننده‌های رشد اقتصادی شناخته می‌شود، به طوری که پیچیدگی بالاتر با رشد بالاتر و نوسانات کمتر تولید مرتبط است (گونیری و یالتا، ۲۰۲۱). توانایی تولید کالاهای پیچیده متکی بر شبکه‌هایی است که دانش و قابلیت‌ها را کنار هم قرار داده و اقتصاد را در برابر شوک مقاوم‌تر کرده و رشد پایدارتری به دنبال دارد (هارتمان و همکاران، ۲۰۱۷).

تئوری پیچیدگی اقتصادی بر این مبنا استوار است که دانش، به ویژه دانش ضمنی، عامل کلیدی در تولید است (نوناکا[8]، ۱۹۹۴). برای تسریع تولید، افراد و شرکت‌ها باید تخصص پیدا کنند (نظریه تقسیم کار اسمیت). سهم تقسیم کار در رشد نه تنها به میزان دانش ذخیره شده، بلکه به نحوه ادغام انواع مختلف دانش از طریق تعامل انسانی و شبکه‌های پیچیده بستگی دارد. این امر منجر به توسعه قابلیت‌های تولیدی می‌شود. یک کشور برای امکان‌پذیر ساختن تقسیم کار گسترده و توسعه قابلیت‌های تولیدی متنوع خود، نیازمند توسعه توانایی تولید محصولات متنوع و پیچیده است (محمدی خیاره و زیوری، ۱۴۰۱).

اندازه‌گیری پیچیدگی اقتصادی عموماً با ECI که از روش بازتاب‌ها[9] مشتق شده است (هاوسمن و هیدالگو، ۲۰۱۰؛ هیدالگو و هاوسمن، ۲۰۰۹) صورت می‌گیرد. این روش داده‌های تجاری را شبکه‌ای دوطرفه تفسیر می‌کند که در آن تنوع و پیچیدگی محصولات صادراتی یک کشور، تنوع قابلیت‌های غیرقابل تجارت و تعاملات آن‌ها را منعکس می‌کند (محمدی خیاره و زیوری، ۱۴۰۱). هیدالگو و هاوسمن (۲۰۰۹) دو مفهوم تنوع[10] و فراگیری[11] را تعریف کردند. تنوع نشان‌دهنده تعداد محصولاتی است که یک کشور با مزیت نسبی آشکار (RCA) صادر می‌کند و فراگیری تعداد کشورهایی که در صادرات یک محصول مزیت دارند. یک اقتصاد پیچیده‌تر است اگر طیف وسیع‌تری از محصولات را صادر کند، به‌ویژه محصولاتی که توسط تعداد کمی از کشورهای دیگر صادر می‌شوند. شاخص‌هایی مانند پیچیدگی سطح محصول و پیچیدگی صادرات کشور برای اندازه‌گیری

1. Mahjabeen et al.
2. Kurniawan et al.
3. Dell'Anna
4. Akram et al.
5. Zhang et al.
6. Ziolo et al.
7. Mealy et al.
8. Nonaka
9. Method of Reflections
10. diversity
11. ubiquity

پیچیدگی استفاده می‌شوند که اطلاعات درآمدی و ساختار شبکه کشورها و محصولات صادراتی آن‌ها را در بر می‌گیرند (محمدی خیاره و زیوری، ۱۴۰۱). مطالعات تجربی متعددی به بررسی رابطه بین پیچیدگی اقتصادی و رشد اقتصادی پرداخته‌اند:

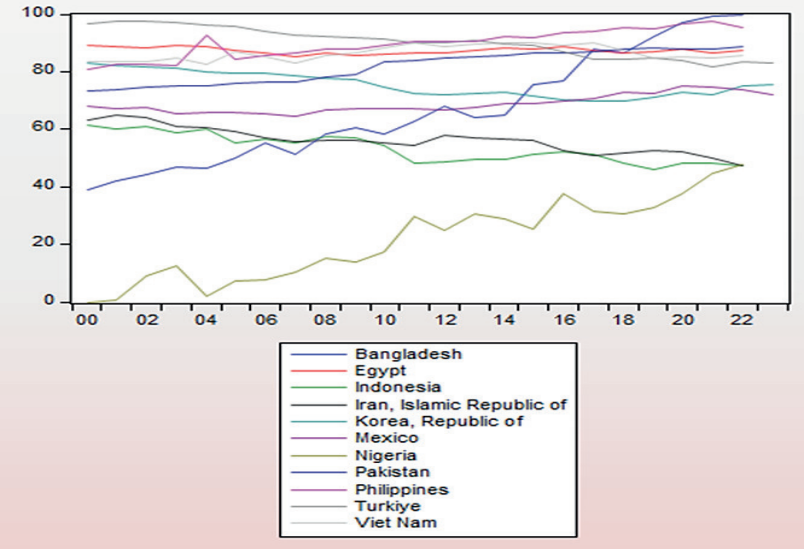
هیدالگو و همکاران (۲۰۰۷) و هیدالگو و هاوسمن (۲۰۰۹) نشان دادند که پیچیدگی اقتصادی می‌تواند تفاوت‌های درآمدی را توضیح داده و نرخ‌های رشد آینده را پیش‌بینی کند. هاسمن و همکاران (۲۰۱۴) ادعا می‌کنند که پیچیدگی کشور پیش‌بینی‌کننده قوی‌تری برای رشد در مقایسه با معیارهای سنتی است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که پیچیدگی اقتصادی یکی از عوامل مهم برای رشد بلندمدت است (فلیپه و همکاران، ۲۰۱۲؛ استویکوسکی و کوکارف، ۲۰۱۷). با این حال، تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر رشد در کوتاه‌مدت اغلب معنادار نشده است (استویکوسکی و کوکارف، ۲۰۱۷؛ دمیرال، ۲۰۱۶)؛ که بیانگر زمان‌بر بودن تأثیر تحولات ساختاری بر رشد است (استویکوسکی و کوکارف، ۲۰۱۷). مطالعاتی که بر روی گروه‌های مختلف کشورها بر اساس مراحل توسعه تمرکز کرده‌اند، نشان می‌دهند که رابطه متفاوتی بین پیچیدگی اقتصادی و رشد وجود دارد. کشورهای توسعه‌یافته اغلب مرکز فضای محصول را اشغال می‌کنند، در حالی که کشورهای در حال توسعه در حاشیه قرار دارند (هیدالگو و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعاتی در نمونه‌هایی مانند کشورهای جنوب شرقی و مرکزی اروپا نشان داده‌اند که پیچیدگی رابطه مثبت و قابل توجهی با رشد بلندمدت دارد، اما برای کوتاه‌مدت شواهدی پیدا نکرده‌اند (استویکوسکی و کوکارف، ۲۰۱۷). همچنین، پژوهش‌هایی به بررسی اثر شاخص پیچیدگی اقتصادی یا پیچیدگی صادراتی بر رشد اقتصادی در نمونه‌هایی مانند کشورهای MENAT (رحیمی و همکاران،۱۴۰۰)، کشورهای صادرکننده نفت (فاضلی و خداپرست پیرسرایی، ۱۳۹۸) و کشورهای تولیدکننده علم (پژم و سلیمی‌فر، ۱۳۹۴) پرداخته‌اند و یافته‌های متفاوتی از جمله تأثیر مثبت و معنادار گزارش کرده‌اند (رحیمی و همکاران، ۱۴۰۰؛ فاضلی و خداپرست پیرسرایی، ۱۳۹۸).

۲-۱-۳- اثر توسعه مالی بر رشد اقتصادی

توسعه بخش مالی به طور گسترده‌ای به عنوان یک عامل مهم و مثبت در رشد اقتصادی شناخته شده است. توسعه مالی می‌تواند از طریق مکانیسم‌هایی مانند افزایش پس‌انداز، بسیج سرمایه‌گذاری، ترویج سرمایه‌گذاری‌های مولد، تخصیص بهینه منابع، و تسهیل پیشرفت‌های تکنولوژیک، رشد را تحریک کند (لوکاس[1]، ۱۹۸۸؛ عمکارت[2]، ۱۹۹۷). از این رو، تعمیق توسعه مالی اغلب برای دستیابی به آستانه‌های اقتصادی و اهداف توسعه ضروری تلقی می‌شود (لبیدی، ۲۰۲۵). با این حال، رابطه بین توسعه مالی و رشد اقتصادی در ادبیات مورد بحث بوده است (بیست[3]، ۲۰۱۸) و اجماع کاملی در مورد ماهیت و قوت این ارتباط وجود ندارد. در حالی که دیدگاه کلاسیک بر نقش حیاتی توسعه مالی در رشد تأکید دارد (لوین[4]، ۱۹۹۷)، برخی نظریه‌پردازان نئوکلاسیک معتقدند که تأمین مالی دیگر منبع اصلی رشد نیست و ارتباط بین توسعه مالی و رشد بیش از حد بیان شده است (خان و همکاران، ۲۰۲۱).

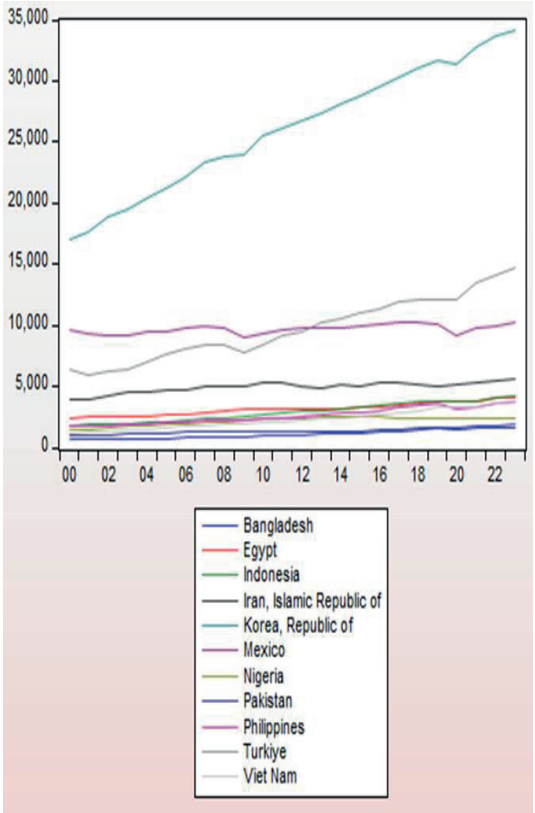
مطالعات تجربی نیز نتایج متنوعی ارائه داده‌اند. بسیاری از مطالعات ارتباط مستقیم و مثبتی بین توسعه مالی و رشد اقتصادی یافته‌اند (ستی و همکاران[5]، ۲۰۲۰؛ سونگ و همکاران[6]، ۲۰۲۰ الف؛ نسرین و همکاران[7]، ۲۰۲۰). برای مثال، مطالعات جهانی با استفاده از روش‌هایی مانند FMOLS و VECM، ارتباط مستقیم بین توسعه مالی و رشد اقتصادی را تأیید کرده‌اند (سونگ و همکاران، ۲۰۲۰ الف). با این حال، برخی مطالعات اثرات نامطلوبی را برای توسعه مالی بر رشد اقتصادی مشاهده کرده‌اند (چنگ و همکاران[8]،۲۰۲۰). همچنین، روابط غیرخطی نیز گزارش شده است، مانند رابطه U شکل در اقتصاد دریایی چین (سونگ و همکاران،۲۰۲۰ ب). از سوی دیگر، توسعه بخش مالی، به‌ویژه در قالب مالی سبز و مالیات‌های محیط زیستی، می‌تواند از سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر حمایت کرده و به گذار انرژی و پایداری کمک کند (عباس و همکاران[9]، ۲۰۲۳). این ارتباطات نشان می‌دهد که بخش مالی می‌تواند نقش تسهیل‌کننده‌ای در گذار به سیستم‌های انرژی پایدارتر ایفا کند که بر چشم‌انداز رشد اقتصادی بلندمدت تأثیرگذار است. یک مطالعه اخیر به بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات، توسعه مالی و تجارت بر رشد اقتصادی در کشورهای N11 پرداخته است (نبی و همکاران، ۲۰۲۳)، که نشان‌دهنده اهمیت این عوامل در این گروه از کشورها است.

1. Lucas
2. Omkarnath
3. Bist
4. Levine
5. Sethi et al.
6. Song et al.
7. Nasreen et al.
8. Cheng et al.
9. Abbas et al.



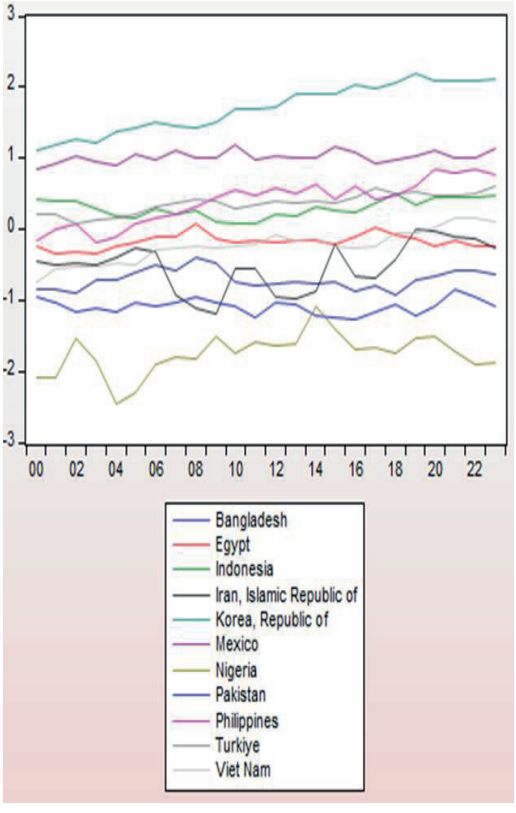
شکل ۱. روند تغییرات شاخص مثلث انرژی

مأخذ: بانک جهانی



شکل ۲. روند تولید ناخالص داخلی سرانه

مأخذ: بانک جهانی



شکل ۳. روند شاخص پیچیدگی اقتصادی

مأخذ: بانک جهانی

۲-۲- پیشینه پژوهش

۲-۲-۱- پیشینه خارجی

خان و همکاران در پژوهشی به بررسی تأثیر شاخص مثلث انرژی بر رشد اقتصادی با در نظر گرفتن نقش مصرف انرژی، رشد جمعیت و توسعه مالی پرداختند. این مطالعه بر روی ده کشور برتر در شاخص جهانی مثلث انرژی سال ۲۰۲۰ و برای بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ انجام شد و از تکنیک‌های پیشرفته اقتصادسنجی از جمله آزمون‌های ریشه واحد پنل نسل دوم و آزمون وابستگی مقطعی استفاده نمود. برای تخمین‌ها، آنها از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) اثرات تصادفی و ثابت برای برآورد اثرات کوتاه‌مدت و رگرسیون‌های حداقل مربعات تعمیم‌یافته(GLS) اثرات تصادفی و ثابت و رگرسیون حداقل مربعات کاملاً تعدیل‌شده مقاوم (FMOLS) برای برآورد اثرات بلندمدت استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تأثیر شاخص مثلث انرژی و رشد جمعیت بر رشد اقتصادی تنها در بلندمدت معنادار است، در حالی که مصرف انرژی و توسعه مالی هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت بر رشد اقتصادی تأثیر می‌گذارند (خان و همکاران، ۲۰۲۱ الف: ۱).

چانگ و فانگ در پژوهشی به بررسی فرضیه رشد با محوریت انرژی تجدیدپذیر در دو گروه اقتصادی بریکس (BRICS)و کشورهای نوظهور N11 پرداختند. آنها در این مطالعه از روش‌های میانگین گروهی تعمیم‌یافته (AMG) و رگرسیون چندکی گشتاورها (MMQR) برای بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹ بهره بردند. نتایج آنها برای کشورهای N11 نشان داد که بر اساس روش‌های AMG و MMQR فرضیه رشد با محوریت انرژی تجدیدپذیر در این گروه از کشورها تأیید نمی‌شود. به عبارت دیگر، یافته‌های آن‌ها نشان داد که در کشورهای N11، مصرف انرژی تجدیدپذیر لزوماً منجر به رشد اقتصادی نمی‌گردد. آنها همچنین با استفاده از روش‌های تخمین پنل ناهمگن، به وجود فرضیه بقا[1] در کشورهای N11 پی بردند که به معنای تأثیر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی (و نه برعکس) است (چانگ و فانگ، ۲۰۲۲: ۷۸۸).

لیو و همکاران در پژوهشی به بررسی نقش شاخص مثلث انرژی و گذار به سمت انرژی پایدار در رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست پرداختند. آنها این پژوهش را بر روی ده کشور اول با بیشترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن و برای بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته اقتصادسنجی انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در بلندمدت، شاخص مثلث انرژی، گذار به سمت انرژی پایدار، سرمایه‌گذاری در دارایی‌های ثابت و مصرف انرژی همگی در رشد اقتصادی نقش دارند و به آن کمک می‌کنند. همچنین، نتایج حاکی از آن بود که شاخص مثلث انرژی با کیفیت محیط زیست رابطه منفی دارد. در حالی که گذار به سمت انرژی پایدار هم رشد اقتصادی و هم کیفیت محیط زیست را در بلندمدت بهبود می‌بخشد. یافته‌ها نشان دادند که سرمایه‌گذاری در دارایی‌های ثابت و مصرف انرژی نیز در کنار کمک به رشد اقتصادی، به محیط زیست آسیب می‌رسانند (لیو و همکاران، ۲۰۲۲: ۱).

کانگ در پژوهشی به بررسی رابطه میان مؤلفه‌های شاخص مثلث انرژی (شامل امنیت انرژی، عدالت انرژی، و پایداری محیط زیست) و رشد اقتصادی پرداخت. این مطالعه بر روی ۱۰۹ کشور جهان در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ انجام شد و کشورها بر اساس سطح درآمد و منطقه دسته‌بندی شدند. روش‌شناسی پژوهش بر پایه یک تابع تولید کاب-داگلاس تعمیم‌یافته بنا شده و از تکنیک‌های رگرسیون پنل شامل حداقل مربعات معمولی تلفیقی (Pooled OLS)، حداقل مربعات تعمیم‌یافته امکان‌پذیر (FGLS)، اثرات ثابت (Fixed Effects) و روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) استفاده گردید؛ همچنین تحلیل سری زمانی برای هر کشور به صورت جداگانه انجام شد. نتایج کلیدی نشان داد که هر یک از مؤلفه‌های شاخص مثلث انرژی به طور متوازن عمل نمی‌کنند و تأثیر هر مؤلفه بر رشد اقتصادی بسته به سطح درآمد و منطقه کشورها متفاوت است. این یافته‌ها بر لزوم سیاست‌گذاری‌های محیط زیستی متوازن که بازتاب‌دهنده جنبه‌های مختلف شاخص مثلث انرژی باشند و بتوانند به رشد اقتصادی کمک کنند، تأکید دارد (کانگ، ۲۰۲۲: ۱۷).

ابراهیم و همکاران در پژوهشی به بررسی تأثیر شاخص مثلث انرژی و پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی تجدیدپذیر در کشورهای نوظهور N11 پرداختند. آنها در این پژوهش از روش رگرسیون چندکی پنلی برای بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ بهره بردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مصرف انرژی تجدیدپذیر با شاخص مثلث انرژی، رشد اقتصادی، توسعه مالی و جمعیت شهری رابطه مثبت و معناداری دارد. با این حال، نتایج حاکی از آن بود که مصرف انرژی تجدیدپذیر با پیچیدگی اقتصادی رابطه منفی دارد (ابراهیم و همکاران، ۲۰۲۴: ۱۵).

۲-۲-۲- پیشینه داخلی

پژم و سلیمی فر در پژوهشی به بررسی تأثیر شاخص پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی در ۴۲ کشور برتر در تولید علم

[1] conservation hypothesis

پرداختند. آنها این مطالعه را برای بازه زمانی ۱۷ ساله ۱۹۹۶-۲۰۱۲ و بر روی ۴۲ کشور منتخب (برترین‌ها در تولید علم) انجام داده و از روش اقتصادسنجی داده‌های پانلی استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که استفاده از داده‌های پانلی برای برآورد مدل این تحقیق مناسب نبوده است، اما بر اساس برآورد مدل با استفاده از داده‌های مقطعی کشورهای مورد مطالعه، تأثیر شاخص پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی معنی‌دار و مثبت می‌باشد (پژم و سلیمی فر، ۱۳۹۴: ۱۶).

رحیمی فر و همکاران در پژوهشی به بررسی اثر شاخص پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی کشورهای حوزه منا-ترکیه (MENAT)پرداختند. آنها این مطالعه را بر روی ۱۳ کشور منتخب این منطقه و برای بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ با استفاده از روش داده‌های پانل و مدل گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM)انجام دادند. نتایج نشان داد که متغیرهای سرمایه انسانی و شاخص پیچیدگی اقتصادی دارای تأثیر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی در کشورهای مورد مطالعه بوده‌اند. در مقابل، اندازه دولت، تشکیل سرمایه فیزیکی و حجم تجارت تأثیر منفی و معناداری بر رشد اقتصادی داشتند (رحیمی فر و همکاران، ۱۴۰۰: ۱).

عصاری آرانی و رستمی در پژوهشی به بررسی تأثیر امنیت انرژی بر رشد اقتصادی پرداختند. این مطالعه بر روی ده کشور منتخب صادرکننده انرژی در خاورمیانه و با استفاده از ده شاخص مختلف برای سنجش امنیت انرژی (بر اساس پنج مفهوم اصلی شامل در دسترس بودن، دسترسی، قابل قبول بودن، مقرون به صرفه بودن و قابلیت توسعه داشتن) انجام شد. روش‌شناسی پژوهش بر پایه نسخه‌ای تعمیم‌یافته از تابع تولید کاب-داگلاس بنا شده و از روش‌های حداقل مربعات تعمیم‌یافته برآوردی (EGLS) و خطاهای استاندارد تصحیح شده پانل (PCSE) برای تخمین مدل با استفاده از داده‌های تابلویی استفاده گردید. نتایج آن‌ها نشان داد که فقدان شکاف بین تولید و مصرف انرژی، توانایی تأمین انرژی ملی، ساختار انرژی ملی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، میزان انتشار CO_2 از سوخت‌های فسیلی، ثبات سیاسی و قیمت نفت تأثیر مثبت و معنادار بر رشد اقتصادی کشورهای مزبور داشته‌اند. در حالی که میزان شدت انرژی و نسبت انتشارCO_2 به تولید ناخالص داخلی تأثیر منفی و معنادار بر رشد اقتصادی آن‌ها داشته‌اند (عصاری آرانی و رستمی، ۱۴۰۱: ۱۳۹).

ذبیحی و همکاران در پژوهشی به بررسی تأثیر شاخص ریسک امنیت انرژی بر ثبات اقتصادی در کشور ایران پرداختند. آنها این مطالعه را برای بازه زمانی سالانه ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ و بر روی کشور ایران انجام داده و از رویکرد مدل‌سازی بسیار جدید رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل(QQR) استفاده کردند. نتایج حاصله مبین آن است که در دامنه‌های مشخصی از توزیع متغیرها (کوانتایل‌های ۰/۵ تا ۰/۷ شاخص ریسک امنیت انرژی و کوانتایل‌های ۰/۴ تا ۰/۹ ثبات اقتصادی)، ارتباط منفی میان شاخص ریسک امنیت انرژی و ثبات اقتصادی وجود دارد؛ بدین معنا که افزایش ریسک امنیت انرژی باعث کاهش ثبات اقتصادی می‌شود (ذبیحی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۳۴).

محمدی خیاره و زیوری در پژوهشی به بررسی تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی کشورهای N11 پرداختند. آنها این مطالعه را برای بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ انجام داده و با توجه به تأیید فرضیه‌های ناهمگنی ضرایب و وابستگی مقطعی، از رویکرد پانل ARDL و تخمین‌زن‌های میانگین گروهی با اثرات همبسته مشترک (CCEMG) و میانگین گروهی تلفیقی با اثرات همبسته مشترک (CCEPMG) استفاده کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که پیچیدگی اقتصادی در بلندمدت یک عامل مهم و کلیدی برای رشد اقتصادی در کشورهای N11 است. با این حال، تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی در کوتاه‌مدت معنادار نیست که بیانگر زمان‌بر بودن تأثیر تحولات ساختاری تولید بر رشد اقتصادی است (محمدی خیاره و زیوری، ۱۴۰۲: ۱۸۵).

جواهری و همکاران در پژوهشی به بررسی تأثیر پیچیدگی اقتصادی و ردپای اکولوژیکی بر رشد اقتصادی کشورهای عضو اوپک پرداختند. آنها این مطالعه را برای بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۰ و بر روی کشورهای عضو اوپک انجام داده و از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته در داده‌های تابلویی (Panel GMM) استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که پیچیدگی اقتصادی تأثیر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی در کشورهای صادرکننده نفت دارد. همچنین، شاخص ردپای اکولوژیکی تأثیر منفی و معناداری بر رشد اقتصادی در کشورهای اوپک می‌گذارد (جواهری و همکاران، ۱۴۰۳: ۲۷).

مرور ادبیات نشان می‌دهد که رشد اقتصادی فرآیندی چندبعدی تحت تأثیر عوامل مرتبط با انرژی، ساختار اقتصادی و بخش مالی است. در حالی که مطالعات قابل توجهی به بررسی تأثیر ابعاد جداگانه مثلث انرژی، مصرف انرژی، پیچیدگی اقتصادی و توسعه مالی بر رشد اقتصادی پرداخته‌اند، خلاء قابل توجهی در پژوهش‌هایی که به بررسی همزمان تأثیر این سه مجموعه از عوامل می‌پردازند، وجود دارد. به طور خاص، کمبود

مطالعاتی که: ۱. تأثیر مثلث انرژی را به صورت یک شاخص ترکیبی ارزیابی کنند؛ ۲. پیچیدگی اقتصادی را به عنوان یک عامل ساختاری مؤثر در نظر بگیرند؛ و ۳. از روش اقتصادسنجی رگرسیون چندکی مبتنی بر گشتاورها بهره ببرند، مشهود است. علاوه بر این، این پژوهش‌ها اغلب بر روی گروه‌های خاصی از کشورها تمرکز کرده‌اند و بررسی این روابط در بستر اقتصادهای نوظهور با ویژگی‌های منحصر به فرد مانند کشورهای N11، که در مراحل حساسی از توسعه قرار دارند و به دنبال تنوع‌بخشی و افزایش پیچیدگی اقتصادی خود هستند، همچنان نیازمند توجه بیشتر است. مطالعه حاضر با ترکیب این عوامل در یک چارچوب تحلیلی یکپارچه و تمرکز بر کشورهای N11، در پی پر کردن بخشی از این شکاف‌ها و ارائه بینش‌های جدید و پیامدهای سیاستی مشخص برای این گروه از اقتصادها است.

۳- روش‌شناسی پژوهش

به منظور بررسی تأثیر مثلث انرژی، پیچیدگی اقتصادی و توسعه مالی بر رشد اقتصادی کشورهای N11 طی بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۳[1]، الگوی اقتصادسنجی زیر بر اساس مطالعات پیشین (خان و همکاران، ۲۰۲۱ الف؛ کانگ، ۲۰۲۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۲؛ چانگ و فانگ، ۲۰۲۲؛ جواهری و همکاران، ۱۴۰۲؛ محمدی خیاره و زیوری، ۱۴۰۱؛ نبی و همکاران، ۲۰۲۳) مشخص شده است:

$$\begin{aligned} GDPP_{it} = {} & \delta_0 + \delta_1 \text{Energy Trilemma}_{it} + \\ & \delta_2 ECI_{it} + \delta_3 FD_{it} + \delta_4 URBAN_{it} + \\ & \delta_5 REN_{it} + \delta_6 FDI_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (۱)$$

در این الگو، $GDPP_{it}$ تولید ناخالص داخلی سرانه کشور i در سال t (دلار ثابت ۲۰۱۵، لگاریتم طبیعی) است که داده‌های آن از بانک جهانی اخذ شده است. $\text{Energy Trilemma}_{it}$ شاخص مثلث انرژی است که بر اساس دسترسی به برق (درصد جمعیت)، انتشار دی اکسید کربن (مگاتن CO_2) و واردات خالص انرژی (درصد مصرف) تعریف و با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) محاسبه شده است. داده‌های این متغیر نیز از بانک جهانی جمع‌آوری شده‌اند. ECI_{it} نشان‌دهنده پیچیدگی اقتصادی است؛ این شاخص، معیاری از توانمندی‌ها و دانش فنی کشور بر پایه تنوع و پیچیدگی محصولات صادراتی است و داده‌های آن از پایگاه داده آزمایشگاه رشد اطلس اخذ شده است. FD_{it} شاخص توسعه مالی است که مطابق با مطالعه نبی و همکاران (۲۰۲۳) از دو متغیر حجم نقدینگی و اعتبارات داخلی اعطا شده به بخش خصوصی (هر دو به صورت درصدی از GDP) با استفاده از PCA به دست آمده است. داده‌های این متغیر از بانک جهانی است. $URBAN_{it}$ نرخ شهرنشینی (درصد جمعیت کل) و REN_{it} مصرف انرژی تجدیدپذیر (درصد کل مصرف نهایی) است. FDI_{it} نشان‌دهنده سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (ورودی خالص، درصد GDP) است که شامل جریان‌های خالص ورودی سرمایه با هدف کسب منافع مدیریتی پایدار در بنگاه‌های اقتصادی کشور میزبان است. داده‌های متغیرهای URBAN، REN و FDI نیز از بانک جهانی گرفته شده‌اند. در الگوی فوق، $(i = 1, \dots, N)$ نمایانگر کشورها، $(t = 1, \dots, T)$ نشان دهنده سال‌ها، (δ_0) عرض از مبدأ، (ε_{it}) جمله خطا و (δ_1) تا (δ_6) ضرایب متغیرهای مستقل می باشند. لازم به ذکر است که با توجه به این که واحد متغیرهای الگوی تحقیق یکسان نیست؛ لذا با استفاده از روش Z-Score همه متغیرها استانداردسازی شده و سپس در رگرسیون به کار رفته است.

افزون بر این، روش اصلی برآورد در این مطالعه، رگرسیون چندکی گشتاورها (MMQR) است. این روش که توسط ماچادو و سیلوا (۲۰۱۹) معرفی شده، به دلیل مقاومت در برابر نقاط پرت، بهترین تکنیک برآورد محسوب می‌شود (آدبایو و همکاران[1]، ۲۰۲۲). MMQR دارای مزایای متعددی نسبت به روش‌های سنتی است؛ برخلاف رگرسیون خطی سنتی که تنها بر میانگین تمرکز دارد، MMQR کل توزیع داده‌ها را در نظر می‌گیرد و می‌تواند مقادیر غیرمتقاطع برای صدک‌های مختلف را برآورد کند (حوسام و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، MMQR اجازه می‌دهد تا اثرات پراکندگی شرطی ناهمگن متغیرها بر کل توزیع بررسی شود و برای مدیریت غیرخطی بودن، روابط نامتقارن، ناهمگنی و درونزایی مناسب است (رزاق و همکاران[2]، ۲۰۲۲).

در این پژوهش، به منظور حصول اطمینان از اعتبار نتایج و جلوگیری از رگرسیون کاذب، ابتدا آزمون‌های وابستگی مقطعی، ایستایی سری‌ها و همجمعی انجام می‌گیرد. برای بررسی مشکل وابستگی مقطعی، از سه آزمون فریز[3] (۱۹۹۵)، فریدمن[4] (۱۹۳۷) و پسران (۲۰۰۴) استفاده می‌شود که فرض صفر آن‌ها استقلال مقطعی است. جهت بررسی ایستایی سری‌ها، آزمون ریشه واحد نسل دوم پسران (۲۰۰۷) به کار گرفته می‌شود.

[1]. کشورها و دوره زمانی براساس داده‌های موجود انتخاب شده است.

[1]. Adebayo et al.
[2]. Razzaq et al.
[2]. Frees
[3]. Friedman

آزمون‌های ریشه واحد نسل دوم برای حل مشکل وابستگی مقطعی بین واحدهای پانلی مناسب هستند و فرض صفر آن‌ها وجود ریشه واحد در سری‌هاست (حوسام و همکاران[1]، ۲۰۲۴). سپس، برای بررسی وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها، آزمون نسل دوم وسترلوند[2] (۲۰۰۵) (که با استفاده از روش بوت استرپ وابستگی مقطعی را لحاظ می‌کند) اجرا می‌شود. علاوه بر این، برای بررسی تغییرپذیری در ضرایب شیب، از آزمون همگنی شیب پسران (۲۰۰۴) استفاده می‌شود که نسخه اصلاح شده آزمون سوامی[3] (۱۹۷۰) محسوب می‌شود.

قابل ذکر هست که در این پژوهش مبنای استفاده از روش رگرسیون کوانتایل مبتنی بر گشتاور، آزمون‌های تشخیصی مربوط به ناهمسانی شیب و وابستگی بین کشورها است. با بررسی این آزمون‌ها، مشخص می‌شود که متغیرهای تحت مطالعه دارای اثرات ناهمگن در سطوح مختلف توزیع هستند و یا وجود وابستگی متقابل بین مقاطع در داده‌های پنل برای کشورهای N11 قطعیت دارد یا خیر؟ در چنین مواردی، روش‌های سنتی مانند رگرسیون OLS یا روش‌های میانگین‌گرای پنل نمی‌توانند به‌خوبی اثرات ناهمگن را در کل توزیع متغیر وابسته مدل‌سازی کنند. بنابراین، روش MMQR به‌عنوان گزینه‌ای مناسب انتخاب شد چرا که توانایی تشخیص اثرات متغیرها در صدک‌های مختلف از توزیع متغیر وابسته را دارد. در برابر وجود داده‌های پرت مقاوم بوده و از کل مجموعه داده‌ها برای تخمین استفاده می‌کند.

چندک شرطی $(Q_\pi(\pi|\tilde{X}))$ برای مدل مقیاس-مکانی در MMQR به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_{it} = \beta_i + \acute{X}_{it}\theta + (\alpha_i + Z_{it}\gamma)\varepsilon_{it} \quad (۳)$$

معادله (۳) احتمال $(P(\alpha_i + \hat{Z}_{it}\gamma > 0) = 1)$ را نشان می‌دهد، که در آن (θ)، (β)، (α)، (γ) پارامترهای مورد نیاز برای برآورد هستند. همچنین در معادله فوق، $(i = 1, \dots, n)$ اثر ثابت ویژه و Z بردار K-بعدی از مؤلفه‌های X است که با مؤلفه (l) زیر تبدیل شده اند:

$$\hat{Z}_j = \hat{Z}_j(\acute{X}), \quad j = 1,2,\dots,k \quad (۴)$$

در معادله (۴)، ε_{it} نشان دهنده متعامد بودن با $\acute{X}_{it}$ است و با دستیابی به شرایط گشتاوری که ناهمگنی شدید ندارند، سازگار است؛ بنابراین، چندک شرطی Y در معادله (۳) به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$Q_\pi(\pi \mid \tilde{\boldsymbol{X}}_{\boldsymbol{it}}) = (\beta_i + \alpha_i q(\pi)) + \boldsymbol{\acute{X}_{it}}\theta + \widehat{\boldsymbol{Z}_{it}}\gamma q(\pi) \quad (۵)$$

که در آن، $Q_\pi(\pi \mid \tilde{X}_{it})$ نشان دهنده توزیع چندکی Y_{it} است. بنابراین، Q_π به صورت زیر تعریف می شود:

$$\min_q \sum_i \sum_t \rho_\pi(R_{it} - (\alpha_i + \widehat{Z_{it}}\gamma)q) \quad (۶)$$

که در آن $\rho_\pi(R = (\pi - 1)AI\{A \le 0\} + \mathrm{TA}I\{A > 0\}$ تابع زیان چندکی استاندارد است (حوسام و همکاران، ۲۰۲۴).

در پژوهش حاضر، معادله زیر بر طبق رگرسیون کوانتایل مبتنی بر گشتاور و برای هر صدک τ استاندارد شده است:

$$Q_\tau(\mathrm{GDPP_{it}}) = \delta_0(\tau) + \delta_1(\tau)\mathrm{Energy\ Trilemma_{it}} + \delta_2(\tau)\mathrm{ECI_{it}} + \delta_3(\tau)\mathrm{FD_{it}} + \delta_4(\tau)\mathrm{URBAN_{it}} + \delta_5(\tau)\mathrm{REN_{it}} + \delta_6(\tau)\,\mathrm{FDI_{it}} + u_{it}(\tau) \quad (۷)$$

که شرط می‌شود:

$$Q_{u_{it}}(\tau \mid X_{it}) = 0 \quad (۸)$$

و صورت مسئله کمینه‌سازی برای هر τ ضرایب $(\{\delta_j(\tau)\}_{j=0}^6)$ از حل معادله (۹) به دست می‌آید:

$$(\hat{\delta}_0(\tau), \hat{\delta}(\tau)) = arg\ min_{\delta_0,\delta_1,\dots,\delta_6} \sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} \rho_\tau\,(GDPP_{it} - \delta_0 - \sum_{j=1}^{6} \delta_j X_{j_{it}}) \quad (۹)$$

که در آن $\rho_\tau(u) = u[\tau - 1_{\{u<0\}}]$ تابع چک‌فانکشن کوانتایل است و X بیانگر متغیرهای مستقل هست. تحلیل‌ها با استفاده از روش‌های آماری جایگزین و مکمل مانند حداقل مربعات تعمیم یافته امکان پذیر (FGLS)، Driscoll-Kraay و PCSE به عنوان آزمون‌های مقاومت، گسترش یافته است. برآوردگر FGLS پیشنهادی وولدریج (۲۰۱۰) امکان دستیابی به برآوردهای کاراتر نسبت به حداقل مربعات معمولی را فراهم می کند، به ویژه در شرایط ناهمسانی واریانس، همبستگی سریالی و مقطعی (بای و همکاران[1]، ۲۰۲۱).

٤- نتایج تحقیق

جدول (۱) شاخص‌های آمار توصیفی متغیرهای پژوهش را در

[1] Houssam et al.
[2] Westerlund
[3] Swamy

[1] Bai et al.

بازه زمانی–مکانی مورد مطالعه نشان می دهد. متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه با میانگین ۶۰۰۴/۳۳ دلار (بر اساس قیمت‌های ثابت ۲۰۱۵) و انحراف معیار ۷۲۰۳/۱۸ بیانگر نابرابری چشمگیر در سطح درآمدی بین کشورهای نمونه است (دامنه: از ۶۲۰ دلار تا ۳۴/۱۲۱ دلار). این پراکندگی بالا، لزوم کنترل ناهمگنی بین کشوری در مدلسازی را برجسته می‌کند. شاخص پیچیدگی اقتصادی با میانگین ۰/۰۰۳- و انحراف معیار ۰/۹۵، حاکی از تمرکز کشورهای نمونه بر تولیدات کم فناوری و ساده است (دامنه: از ۲/۴۵- تا ۲/۱۹). نرخ شهرنشینی با میانگین ۵۳/۲۲ درصد و انحراف معیار ۱۸/۳۷، نشان دهنده تفاوت‌های ساختاری در الگوهای توسعه شهری است (از ۲۳/۵۹ تا ۸۱/۹۳). متغیر توسعه مالی با میانگین۷۱/۵۲ درصد از تولید ناخالص داخلی و انحراف معیار ۴۹/۸۵، گویای ناهمگنی عمیق در عمق بازارهای مالی کشورهاست (دامنه: از ۰ تا ۲۴۷/۹۹). همچنین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با میانگین ۲۷/۸۴ درصد و انحراف معیار ۲۴/۲۷، بیانگر شکاف فناورانه بین کشورهای پیشرو و عقبمانده در گذار انرژی است (دامنه: از ۰/۴ تا ۸۸/۱۰). شاخص مثلث انرژی نیز با میانگین نزدیک به صفر (۰/۰۰۳-) و دامنه ۲/۹۵- تا ۱/۲۱، نشان دهنده چالش‌های متعادل سازی امنیت انرژی، پایداری و عدالت دسترسی در نمونه مورد مطالعه است. سرمایه گذاری مستقیم خارجی با میانگین ۱/۷۸ درصد و انحراف معیار ۱/۶۰، حاکی از نوسانات گسترده در جذب سرمایه خارجی است (از ۲/۷۵- تا ۹/۶۶). این ناهمگنی آماری، ضرورت به کارگیری روش‌های رگرسیونی پانل چندکی با لحاظ اثرات ثابت را برای اطمینان از برآوردهای کارا و بی طرفانه تأیید می کند.

نتایج آزمون‌های وابستگی مقطعی و آزمون‌های ریشه واحد در جداول (۲) و (۳) گزارش شده است. نتایج آزمون‌های وابستگی مقطعی حاکی از رد فرضیه استقلال مقطعی در داده‌های پانلی مورد مطالعه است. بر اساس آزمون فریز با آماره ۲/۷۴۵ که از تمام مقادیر بحرانی (۰/۱۱۷۴ در سطح ده درصد، ۰/۱۵۳۷ در سطح پنج درصد و ۰/۲۲۲۵ در سطح یک درصد) فراتر می رود، وابستگی مقطعی در سطح اطمینان ۹۹٪ تأیید می شود. همچنین آزمون فریدمن با آماره کای–اسکوئر ۳۴/۵۸ و مقدار احتمال ۰/۰۰، وجود همبستگی سیستماتیک بین واحدهای مقطعی را نشان می‌دهد. همچنین، آزمون پسران با آماره ۲/۰۷ و مقدار احتمال ۰/۰۳، که در سطح پنج درصد معنادار است، مؤید وجود اثرات مشترک یا شوک‌های برونزا است که به صورت نامتقارن بر کشورهای نمونه تأثیر می‌گذارند. این یافته‌ها به طور همگرا دلالت بر آن دارند که مدلهای تخمین سنتی (مانند OLS یا اثرات ثابت ساده) به دلیل نقض فرض استقلال مشاهدات، ممکن است به برآوردهای ناکارا و اریب منجر شوند. بنابراین، استفاده از روش‌های چندکی و روش‌های روباستی همچون خطاهای استاندارد اصلاح شده پانلی (PCSE)، تکنیک‌های GLS تعمیم یافته (FGLS) و دیسکرول–کری Driscoll-Kraay برای کنترل وابستگی مقطعی و دستیابی به نتایج معتبر ضروری است. این مدل‌ها تضمین می کند که خطاهای استاندارد برآوردها، اثرات وابستگی مقطعی و زمانی را به طور همزمان تصحیح می کنند و نتایج از اعتبار آماری بالاتری برخوردار خواهند بود.

نتایج مربوط به آزمون ریشه واحد نسل دوم CADF در جدول (۳) گزارش شده است. بر اساس نتایج آزمون ریشه واحد CADF برخی متغیرهای مدل پژوهش شامل مثلث انرژی، شاخص پیچیدگی اقتصادی، توسعه مالی و مصرف انرژی تجدیدپذیر در سطح ناایستا هستند و نیازمند یک تفاضل مرتبه اول برای دستیابی به ایستایی‌اند که نشان‌دهنده وجود یک فرآیند (I(1)) در این متغیرهاست. به عنوان مثال، متغیر مثلث انرژی با آماره آزمون ۱/۱۹ و ارزش احتمال ۰/۸۶ در سطح نامانا بوده، اما پس از گرفتن تفاضل مرتبه اول با آماره ۴/۹۰- و ارزش احتمال ۰/۰۰ ایستا می‌شود. این الگو برای متغیرهای پیچیدگی اقتصادی و توسعه مالی تکرار می‌شود. با این حال، متغیرهای جمعیت شهری، تولیدناخالص داخلی سرانه و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در سطح دارای ریشه واحد نیستند. بر اساس نتایج، متغیر تولید ناخالص داخلی در سطح مانا (I(0)) تشخیص داده شد؛ آزمون CADF با آماره Zt-bar برابر با ۱/۷۶- و مقدار احتمال ۰/۰۳ مانایی این متغیر را تایید کرد. متغیر سرمایه گذاری مستقیم خارجی و جمعیت شهری نیز در سطح مانا (I(0)) تشخیص داده شدند.

پس از تعیین مرتبه هم انباشتگی متغیرهای پژوهش و شناسایی متغیرهای نامانا از مرتبه یک (I(1))، آزمون هم‌انباشتگی پانلی نسل دوم با هدف بررسی وجود رابطه تعادلی بلندمدت میان متغیرهای مورد بررسی در این پنل انجام پذیرفت. آزمون نسل دوم Westerlund از جمله روش‌های معتبری هست که وجود هم‌انباشتگی را در داده‌های پانلی مورد ارزیابی قرار می‌دهد؛ فرضیه صفر در این آزمون‌ها عدم وجود رابطه هم‌انباشتگی میان متغیرها است.

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرها

متغیرها	آمار توصیفی				
	مشاهدات	میانگین	انحراف معیار	کمترین مقدار	بیشترین مقدار
GDPP	۲۶۴	۶۰۰۴/۳۳	۷۲۰۳/۱۸	۶۲۰/۵۶	۳۴۱۲۱/۰۲
Energy Trilemma	۲۵۶	-۰/۰۰۳	۰/۸۹	-۲/۹۵	۱/۲۱
ECI	۲۶۴	-۰/۰۶	۰/۹۵	-۲/۴۵	۲/۱۹
FD	۲۶۴	۷۱/۵۲	۴۹/۸۵	۰/۰۰	۲۴۷/۹۹
URBAN	۲۶۴	۵۳/۲۲	۱۸/۳۷	۲۳/۵۹	۸۱/۹۳
REN	۲۴۲	۲۷/۸۴	۲۴/۲۷	۰/۴۰	۸۸/۱۰
FDI	۲۶۴	۱/۷۸	۱/۶۰	-۲/۷۵	۹/۶۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۲. آزمون وابستگی مقطعی

نام آزمون	آماره آزمون	مقدار بحرانی	مقدار احتمال
آزمون فریز	۲/۷۴	۰/۱۱۷۴ در سطح ده درصد	-
		۰/۱۵۳۷ در سطح پنج درصد	-
		۰/۲۲۲۵ در سطح یک درصد	-
آزمون فریدمن	۳۴/۵۸	-	۰/۰۰
آزمون پسران	۲/۰۷	-	۰/۰۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۳. آزمون ریشه واحد CADF

متغیرها	در سطح	با تفاضل مرتبه اول
GDPP	-۱/۷۶ (۰/۰۳)	-
Energy Trilemma	۱/۱۹ (۰/۸۶)	-۴/۹۰ (۰/۰۰)
ECI	-۱/۲۰ (۰/۱۱)	-۷/۲۵ (۰/۰۰)
FD	۱۹/۳۳ (۰/۶۲)	-۲/۱۹ (۰/۰۱)
URBAN	۴/۱۷ (۰/۰۰)	-
REN	۰/۱۱ (۰/۵۴)	-۴/۴۲ (۰/۰۰)
FDI	-۴/۶۱ (۰/۰۰)	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۴. آزمون همجمعی پانل

Westerlund Co-integration test	
Variance ratio	۱/۷۷ (۰/۰۳)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۵. آزمون همگنی شیب پسران

آزمون	آماره	ارزش احتمال
Delta	۷/۱۷	(۰/۰۰)
.adj	۸/۶۸	(۰/۰۰)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۶. نتایج تخمین مدل

متغیر	Driscoll-Kraay	PCSE	FGLS	MMQR				
				90th	75^{th}	50th	25th	10th	Location
Energy Trilemma	۰/۰۵ (۰/۰۰)	۰/۰۵ (۰/۰۰)	۰/۰۶ (۰/۰۰)	۰/۰۱ (۰/۶۹)	۰/۰۳ (۰/۱۲)	۰/۰۵ (۰/۰۰)	۰/۰۷ (۰/۰۰)	۰/۰۸ (۰/۰۰)	۰/۰۵ (۰/۰۰)
ECI	۰/۱۰ (۰/۰۰)	۰/۱۰ (۰/۰۰)	۰/۱۱ (۰/۰۰)	۰/۰۲ (۰/۵۰)	۰/۰۷ (۰/۰۲)	۰/۱۰ (۰/۰۰)	۰/۱۳ (۰/۰۰)	۰/۱۵ (۰/۰۰)	۰/۱۰ (۰/۰۰)
FD	۰/۲۶ (۰/۰۰)	۰/۲۶ (۰/۰۰)	۰/۲۷ (۰/۰۰)	۰/۲۴ (۰/۰۰)	۰/۲۶ (۰/۰۰)	۰/۲۶ (۰/۰۰)	۰/۲۷ (۰/۰۰)	۰/۲۸ (۰/۰۰)	۰/۲۶ (۰/۰۰)
URBAN	۰/۹۰ (۰/۰۰)	۰/۹۰ (۰/۰۰)	۰/۹۴ (۰/۰۰)	۰/۸۵ (۰/۰۰)	۰/۸۸ (۰/۰۰)	۰/۹۰ (۰/۰۰)	۰/۹۳ (۰/۰۰)	۰/۹۴ (۰/۰۰)	۰/۹۰ (۰/۰۰)
REN	۰/۱۳ (۰/۰۰)	۰/۱۳ (۰/۰۰)	۰/۱۷ (۰/۰۰)	۰/۰۲ (۰/۶۶)	۰/۰۸ (۰/۰۰)	۰/۱۳ (۰/۰۰)	۰/۱۸ (۰/۰۰)	۰/۲۱ (۰/۰۰)	۰/۱۳ (۰/۰۰)
FDI	۰/۰۷ (۰/۰۰)	۰/۰۷ (۰/۰۰)	۰/۰۵ (۰/۰۰)	۰/۰۸ (۰/۰۰)	۰/۰۷ (۰/۰۰)	۰/۰۶ (۰/۰۰)	۰/۰۶ (۰/۰۰)	۰/۰۶ (۰/۰۰)	۰/۰۷ (۰/۰۰)
عرض از مبدأ	−۰/۰۰۵ (۰/۴۹)	−۰/۰۰۵ (۰/۳۹)	−۰/۰۲ (۰/۰۰)	۰/۲۶ (۰/۰۰)	۰/۱۰ (۰/۰۰)	−۰/۰۱ (۰/۲۲)	−۰/۱۳ (۰/۰۰)	−۰/۲۱ (۰/۰۰)	−۰/۰۰۵ (۰/۶۳)
تعداد مشاهدات	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲	۲۴۲
R-squared	۰/۹۶	۰/۹۶							

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از اجرای این آزمون‌ها در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، شواهدی قوی مبنی بر رد فرضیه صفر دال بر عدم وجود هم‌انباشتگی ارائه شده است. آزمون Westerlund با آماره ۱/۷۷ و مقدار احتمال ۰/۰۳، فرضیه صفر را در سطح معنی‌داری ۵٪ رد می‌نمایند. این نتایج قویاً وجود یک رابطه تعادلی پایدار و معنادار را در بلندمدت میان متغیرهای مورد بررسی در پانل تایید می‌کند. این یافته از نظر اقتصادی حائز اهمیت است، چرا که نشان می‌دهد متغیرهای نامانا در مجموعه مورد تحلیل، علی‌رغم نوسانات کوتاه‌مدت، در بلندمدت در مسیری مشترک حرکت کرده و از یکدیگر فاصله زیادی نمی‌گیرند. در ادامه به بررسی آزمون همگنی شیب پرداخته خواهد شد.

نتایج حاصل از اجرای آزمون همگنی شیب پسران برای مدل مورد بررسی در جدول (۵) ارائه شده است. آماره‌های Delta و Adjusted Delta جدول (۵) به وضوح نشان‌دهنده وجود ناهمگنی در ضرایب شیب است. آماره Delta برابر با ۷/۱۷ و آماره Adjusted Delta (که معمولاً برای بهبود ویژگی‌های نمونه کوچک آماره اصلی به کار می‌رود) برابر با ۸/۶۸ می‌باشد. مقادیر احتمال بسیار کوچک ۰/۰۰ منجر به رد قاطع فرضیه صفر آزمون همگنی شیب می‌شوند. این بدان معناست که شواهد آماری بسیار قوی وجود دارد که نشان می‌دهد فرضیه همگن بودن ضرایب شیب در بین کشورهای N11 پذیرفتنی نیست.

این نتیجه دلالت صریح بر ناهمگن بودن تأثیرگذاری متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته در بین کشورهای مختلف نمونه دارد. به عبارت دیگر، نمی‌توان انتظار داشت که یک واحد تغییر در هر یک از متغیرهای مستقل، تأثیری کاملاً یکسان بر عملکرد اقتصادی/موقعیت در تمامی کشورهای N11 داشته باشد. این ناهمگنی می‌تواند ناشی از تفاوت در ساختار اقتصادی، نهادها، سیاست‌ها، فرهنگ یا سایر ویژگی‌های

منحصربه‌فرد هر کشور باشد که نحوه واکنش اقتصاد آن‌ها به تغییرات در عوامل تبیین‌کننده را متفاوت می‌سازد. پیامد اصلی این یافته برای تحلیل‌های اقتصادسنجی، لزوم استفاده از روش‌ها و مدل‌هایی است که این ناهمگنی را در نظر می‌گیرند. استفاده از مدل‌هایی که به اشتباه فرض همگنی ضرایب را دارند، می‌تواند منجر به تخمین‌های مغرضانه و استنتاج‌های آماری نادرست شود. در این راستا، بکارگیری روش‌های برآوردی پیشرفته‌تری مانند روش رگرسیونی پانل چندکی می تواند مفید باشد. روش MMQR با برآورد ضرایب در چندک‌های مختلف توزیع متغیر وابسته، به طور ضمنی این امکان را فراهم می‌آورد که تأثیر متغیرهای مستقل بر اساس سطح عملکرد اقتصادی (که با چندک‌ها نمایش داده می‌شود) متفاوت باشد. این تفاوت در تأثیرگذاری در طول چندک‌ها می‌تواند بازتابی از همان ناهمگنی ضرایب شیب در بین کشورها باشد، به‌خصوص اگر این ناهمگنی با سطح توسعه یا عملکرد کشورها مرتبط باشد (حوسام و همکاران، ۲۰۲۴). بنابراین، رد فرضیه همگنی شیب، تأییدکننده لزوم تحلیل‌های تفصیلی‌تر و ناهمگن است که توسط نتایج MMQR ارائه گردیده و نشان می‌دهد که رویکرد مدل‌سازی چندکی برای این داده‌ها و این جامعه آماری کشورهای N11 کاملاً مناسب و ضروری هست.

۵- نتایج مدل

این بخش به تحلیل و تفسیر نتایج حاصل از برآورد مدل‌های اقتصادسنجی می‌پردازد. ابتدا، نتایج مدل اصلی پژوهش، یعنی رگرسیون چندکی پنلی با اثرات ثابت (MMQR)، به تفصیل واکاوی می‌شود تا الگوهای ناهمگن تأثیرگذاری متغیرها در چندک‌های مختلف رشد اقتصادی مشخص گردد. سپس، این یافته‌ها با نتایج حاصل از مدل‌های مقاوم میانگین‌محور (PCSE، FGLS و Driscoll-Kraay) مقایسه می‌شود تا ارزش تحلیلی و برتری روش‌شناختی MMQR در این پژوهش تبیین گردد. نتایج کامل برآوردها در جدول (۶) ارائه شده است. نتایج برآورد مدل MMQR، وجود ناهمگنی قابل توجه در تأثیر متغیرهای مستقل بر رشد اقتصادی در گروه کشورهای N11 را تأیید می‌کند. این بدان معناست که اندازه و گاهی حتی معناداری اثر یک متغیر، به جایگاه یک کشور در توزیع شرطی رشد اقتصادی بستگی دارد. تفسیر ضرایب متغیرهای مستقل به شرح زیر هست:

توسعه مالی: این متغیر در تمامی چندک‌های مورد بررسی، از ۰/۱۰ تا ۰/۹۰، دارای اثری مثبت و از نظر آماری کاملاً معنادار است. به طور مشخص، در چندک ۰/۱۰ ام، یک واحد افزایش در شاخص توسعه مالی، با ثبات سایر شرایط، منجر به افزایش ۰/۲۸ واحدی در رشد اقتصادی می‌شود. این اثر در چندک ۰/۹۰ ام نیز با ضریب ۰/۲۴ تاثیر مثبت و معنادار را نشان می‌دهد. این ثبات نشان می‌دهد که توسعه بخش مالی، یک سیاست بنیادین و مؤثر برای تمام کشورهای N11 ، چه آن‌هایی که با چالش رشد پایین مواجه‌اند و چه آن‌هایی که در مسیر رشد سریع قرار دارند، محسوب می‌شود.

نرخ شهرنشینی: مشابه توسعه مالی، شهرنشینی نیز یک محرک فراگیر برای رشد اقتصادی در این گروه از کشورهاست. در چندک ۰/۱۰ ام، افزایش یک واحدی در نرخ شهرنشینی، با فرض ثبات سایر شرایط، با افزایش ۰/۹۴ واحدی در رشد اقتصادی همراه است که در سطح ۵ درصد معنادار هست. این تأثیر بزرگ، نقش حیاتی شهرنشینی در مراحل اولیه توسعه از طریق تجمیع نیروی کار و افزایش بهره‌وری را برجسته می‌سازد. جالب توجه است که در چندک ۰/۹۰ ام، اندازه این اثر به ۰/۸۵ کاهش می‌یابد، هرچند همچنان از نظر آماری معنادار است. این کاهش جزئی می‌تواند نشانگر آن باشد که در کشورهای موفق‌تر گروه N11 (مانند کره جنوبی یا ترکیه)، اگرچه شهرنشینی همچنان مثبت عمل می‌کند، اما ممکن است با چالش‌های ناشی از تراکم بیش از حد و فشار بر زیرساخت‌ها مواجه شده و بازدهی نهایی آن رو به کاهش گذارد.

سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی: تحلیل این متغیر، اهمیت نگاه چندکی را به خوبی آشکار می‌کند. تأثیر FDI در چندک‌های پایین رشد اقتصادی، مثبت اما نسبتاً کوچک است. در چندک‌های ۰/۱۰ ام و ۰/۲۵ ام، یک واحد افزایش در جریان FDI رشد اقتصادی را تنها به میزان ۰/۰۶ واحد افزایش می‌دهد. اما این تأثیر در چندک ۰/۹۰ ام به ۰/۰۸ واحد افزایش می‌یابد که از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنادار هست. این الگو قویاً مؤید نظریه ظرفیت جذب است. در کشورهایی از گروه N11که در سطوح پایین‌تر رشد قرار دارند (برای مثال، کشورهایی با نهادهای ضعیف‌تر یا زیرساخت‌های کمتر توسعه‌یافته)، توانایی بهره‌برداری کامل از سرریزهای فناوری و مدیریتی FDI محدود است. در مقابل، اقتصادهای پویاتر و توسعه‌یافته‌تر این گروه (مانند مکزیک یا اندونزی در دوره‌های موفق) به دلیل برخورداری از سرمایه انسانی بالاتر و محیط کسب‌وکار بهتر، قادرند FDI را به شکل مؤثرتری به رشد اقتصادی تبدیل کنند.

انرژی تجدیدپذیر: در چندک ۰/۱۰ ام، یک واحد افزایش

در مصرف انرژی تجدیدپذیر، با فرض ثبات سایر شرایط، رشد اقتصادی را به میزان ۰/۲۱ واحد افزایش می‌دهد که این ضریب از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنادار هست. همچنین این اثر در چندک ۰/۲۵ ام به میزان معنادار ۰/۱۸ کاهش یافته و در چندک ۰/۹۰ ام به ۰/۰۲ می‌رسد که از نظر آماری بی‌معناست.

پیچیدگی اقتصادی و مثلث انرژی: مطابق با نتایج، در چندک ۰/۱۰ ام، یک واحد افزایش در شاخص پیچیدگی اقتصادی، با فرض ثبات سایر شرایط می‌تواند رشد اقتصادی را ۰/۱۵ واحد تقویت کند که این ضریب در سطح ۵ درصد معنادار هست. این تأثیر در چندک آخر عملاً از بین رفته و به ۰/۰۲ بی معنا تقلیل می‌یابد. به طور مشابه، بهبود در شاخص مثلث انرژی در چندک ۰/۱۰ ام، رشد را ۰/۰۸ واحد افزایش می‌دهد، در حالی که در چندک ۰/۹۰ ام تأثیر آن نزدیک به صفر و بی‌معناست. ستون‌های انتهایی جدول (۶) نتایج حاصل از سه روش مقاوم PCSE، Driscoll-Kraay و FGLS را نشان می‌دهد. این روش‌ها اثر متوسط (میانگین) متغیرها را در کل پنل برآورد می‌کنند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضرایب تمامی متغیرهای مستقل در هر سه روش مثبت و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار هستند. به عنوان مثال، روش Driscoll-Kraayنشان می‌دهد که به طور متوسط، یک واحد افزایش در شاخص توسعه مالی، رشد اقتصادی را ۰/۲۶ واحد افزایش می‌دهد. ضریب تبیین بسیار بالای ۰/۹۶ نیز حاکی از قدرت توضیحی بالای مدل است. اگر تحلیل به همین روش‌های میانگین‌محور محدود می‌شد، نتیجه‌گیری پژوهش این بود که تمام متغیرها به طور یکسان برای تمام کشورها مفید هستند و اینجاست که ارزش تحلیلی روشMMQR آشکار می‌شود. به عنوان مثال، روش Driscoll-Kraay تأثیر متوسط FDI را ۰/۰۷ برآورد می‌کند. اما تحلیل چندکی نشان داد که این عدد یک میانگین گمراه‌کننده است که تأثیر ضعیف‌تر آن در کشورهای با رشد پایین (۰/۰۶) و تأثیر قوی‌تر آن در کشورهای با رشد بالا (۰/۰۸) را پنهان می‌کند. همچنین روش‌های میانگین‌محور، تأثیر متوسط و معناداری برای انرژی تجدیدپذیر ۰/۱۳ در روش Driscoll-Kraay و پیچیدگی اقتصادی ۰/۱۰ نشان می‌دهند. اما این تحلیل MMQR بود که کشف کرد این تأثیر تقریباً به طور کامل متعلق به کشورهایی است که در نیمه پایینی رشد اقتصادی قرار دارند و این متغیرها برای اقتصادهای پیشروی گروه N11، محرک‌های اصلی رشد محسوب نمی‌شوند. در نتیجه، بکارگیری روش MMQR صرفاً یک انتخاب تکنیکی نبوده، بلکه یک ضرورت تحلیلی برای پاسخ به سوال اصلی پژوهش بوده است. این روش به پژوهش فعلی اجازه داد تا از یک تحلیل کلی و یکسان‌انگارانه فراتر رفته و به توصیه‌های سیاستی تفکیک‌شده و هدفمند دست یابد. این رویکرد نشان می‌دهد که یک نسخه واحد برای رشد اقتصادی در گروه متنوع N11 وجود ندارد و سیاست‌گذاران باید با توجه به جایگاه اقتصادی کشور خود، اولویت‌های متفاوتی را برای تخصیص منابع و تمرکز اصلاحات در نظر بگیرند.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش که با هدف بررسی تأثیر مثلث انرژی، پیچیدگی اقتصادی و توسعه مالی بر رشد اقتصادی کشورهای N11 در بازه زمانی ۲۰۲۳-۲۰۰۰ انجام شد، به نتایج چندلایه‌ای دست یافت. یافته‌های حاصل از مدل‌های مقاوم (FGLS، Driscoll-Kraay و PCSE) یک تصویر اولیه و همگرا ارائه می‌دهند؛ به طوری که تمامی متغیرهای مستقل شامل مثلث انرژی، پیچیدگی اقتصادی، توسعه مالی، شهرنشینی، انرژی تجدیدپذیر و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به طور میانگین اثر مثبت و بسیار معنی‌داری بر رشد اقتصادی دارند. این نتایج با یافته‌های خان و همکاران (۲۰۲۱الف)، نبی و همکاران (۲۰۲۳) و جواهری و همکاران (۱۴۰۳) نیز سازگار است. با این حال، این تحلیل میانگین‌محور، لایه‌های پنهان و ناهمگنی‌های مهمی را نادیده می‌گیرد که روش رگرسیون چندکی پنلی (MMQR) آن‌ها را آشکار می‌سازد. تحلیل چندکی نشان می‌دهد که متغیرهای بنیادینی همچون توسعه مالی، نرخ شهرنشینی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در تمام چندک‌های رشد اقتصادی، از پایین‌ترین تا بالاترین سطح، اثر مثبت و پایداری دارند. در مقابل، گروه دیگری از متغیرها شامل مثلث انرژی، پیچیدگی اقتصادی و انرژی تجدیدپذیر، الگوی متفاوتی را به نمایش می‌گذارند؛ به گونه‌ای که تأثیر آن‌ها عمدتاً در کشورهای با سطوح رشد پایین تا متوسط (تا چندک ۷۵ام) قوی و معنادار بوده و در چندک ۹۰ام تضعیف شده یا از نظر آماری بی‌معنا می‌شود. این دوگانگی در الگوها، یک پیام سیاستی قدرتمند را در بر دارد: سیاست‌های معطوف به گذار انرژی، ارتقاء پیچیدگی تولید و مدیریت متوازن انرژی، عملاً نقش یک اهرم جهش را برای اعضای عقب‌مانده‌تر گروه N11 ایفا می‌کنند. برای کشورهایی نظیر بنگلادش یا پاکستان، سرمایه‌گذاری متمرکز بر این حوزه‌ها می‌تواند بازدهی نهایی بالایی در پی داشته و به کاهش شکاف توسعه کمک شایانی

نماید، در حالی که برای اقتصادهای پیشرفته‌تر این گروه که احتمالاً به سطحی از بلوغ در این زمینه‌ها دست یافته‌اند، این عوامل دیگر محرک‌های اصلی رشد نبوده و سیاست‌های دیگری باید در اولویت قرار گیرند.

پیشنهادات سیاستی

بر اساس این نتایج، پیشنهادات سیاستی برای کشورهای N11 و ایران ارائه می‌شود:

در سطح کلی برای کشورهای N11، با توجه به نقش حیاتی توسعه مالی و شهرنشینی در تمام سطوح رشد، سیاست‌گذاران باید بر تقویت بازارهای مالی، افزایش دسترسی بخش خصوصی به اعتبارات، بهبود کارایی نهادهای مالی و برنامه‌ریزی جامع شهری، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های پایدار و ایجاد فرصت‌های برابر در شهرها تمرکز کنند. جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نیز از طریق بهبود محیط کسب‌وکار و ثبات اقتصادی و حقوقی یک اولویت است.

کشورهای N11 با رشد پایین‌تر تا میانی که هدف تسریع رشد را دارند، باید بر بهبود همزمان ابعاد مثلث انرژی (امنیت، عدالت، پایداری)، افزایش پیچیدگی ساختار تولید و صادرات، و گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر تمرکز ویژه داشته باشند. این سیاست‌ها می‌توانند محرک‌های اصلی برای عبور از مراحل رشد اولیه باشند.

برای ایران، به عنوان یکی از کشورهای N11، اصلاح نظام بانکی و بازار سرمایه، افزایش شفافیت و کارایی در تخصیص منابع مالی و تسهیل دسترسی بخش خصوصی به اعتبارات، اولویت دارد. مدیریت مؤثر شهرنشینی از طریق برنامه‌ریزی فضایی و تأمین زیرساخت‌ها و خدمات شهری ضروری است. جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نیازمند دیپلماسی اقتصادی فعال، تعریف پروژه‌های جذاب و ارائه ضمانت‌های لازم است. علاوه بر این، تمرکز بر ارتقاء پیچیدگی اقتصادی (حمایت از دانش‌بنیان‌ها، صادرات غیرنفتی با ارزش افزوده بالا، تسهیل نوآوری) و سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود شاخص مثلث انرژی (به ویژه پایداری و امنیت) می‌تواند موتورهای اصلی رشد در شرایط کنونی ایران باشند و به تنوع‌بخشی و کاهش وابستگی به نفت کمک کنند. این اقدامات انعطاف‌پذیری اقتصاد در برابر شوک‌های خارجی را نیز افزایش می‌دهند.

منابع

Abbas, J., Wang, L., Ben Belgacem, S., Sunil, P., Pawar, S., Najam, H. & Abbas, J. (2023). Investment in Renewable Energy and Electricity Output: Role of Green Finance, Environmental Tax, and Geopolitical Risk: Empirical Evidence from China. *Energy, 269*, Article 126683.

Adebayo, T. S., Akadiri, S. S., Adedapo, A. T. & Usman, N. (2022). Does Interaction Between Technological Innovation and Natural Resource Rent Impact Environmental Degradation in Newly Industrialized Countries? New Evidence from Method of Moments Quantile Regression. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(2), 3162-3169.

Ajmi, A. N. & Inglesi-Lotz, R. (2020). Biomass Energy Consumption and Economic Growth Nexus in OECD Countries: A Panel Analysis. *Renewable Energy, 162*, 1649-1654

Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Huang, G. & Irfan, M. (2021). Heterogeneous Effects of Energy Efficiency and Renewable Energy on Economic Growth of BRICS Countries: a Fixed Effect Panel Quantile Regression Analysis. *Energy*, *215*, 119019.

Al-mulali, U., Fereidouni, H. G., Lee, J. Y. & Che Sab, C. N. B. (2013). Examining the Bi-Directional Long Run Relationship between Renewable Energy Consumption and GDP Growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22*, 209-222.

Apergis, N. & Payne, J. E. (2009). Energy Consumption and Economic Growth in Central America: Evidence from a Panel Cointegration and Error Correction Model. *Energy Economics, 31*(2), 211-216.

Apergis, N. & Payne, J. E. (2010). Renewable Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from a Panel of OECD Countries. *Energy Policy, 38*(2), 656-660.

Assari Arani, A. & Rostami, S. (2022). The Impact of Energy Security on Economic Growth. *Economic Letter, 22*(84), 139–169. (In Persian).

Bai, J., Choi, S. H. & Liao, Y. (2021). Feasible Generalized Least Squares for Panel Data With Cross-Sectional and Serial Correlations. *Empirical Economics, 60*, 309-326.

Bist, J. P. (2018). Financial Development and Economic Growth: Evidence from a Panel of 16 African and Non-African Low-Income Countries. *Cogent Economics & Finance, 6*(1), Article 1449780.

Braun, E. & Wield, D. (1994). Regulation as a Means for the Social Control of Technology. *Technology Analysis & Strategic Management, 6*(3), 259-272.

Chang, C.-L. & Fang, M. (2022). Renewable Energy-Led Growth Hypothesis: New Insights from BRICS and N-11 Economies. *Renewable Energy, 188*, 788-800.

Cheng, C. Y., Chien, M. S. & Lee, C. C. (2020). ICT Diffusion, Financial Development, and Economic Growth: An international Cross-Country Analysis. *Economic Modelling, 86*, 239-249.

Chien, T. & Hu, L. J. (2008). Renewable Energy: An Efficient Mechanism to Improve GDP. *Energy Policy, 36*(8), 3045-3052.

Choi, I. (2001). Unit Root Tests for Panel Data. *Journal of International Money and Finance, 20*(2), 249-272.

Coester, A., Hofkes, M. W. & Papyrakis, E. (2020). Economic Analysis of Batteries: Impact on Security of Electricity Supply and Renewable Energy Expansion in Germany. *Applied Energy, 275*, Article 115364.

Dell'Anna, F. (2021). Green Jobs and Energy Efficiency as Strategies for Economic Growth and the Reduction of Environmental Impacts. *Energy Policy*, *149*, 112031.

Demaria, F. (2018). Why Economic Growth is not Compatible with Environmental Sustainability. *Ecologist*, 1–6.

Demiral, M. (2016). Knowledge, Complexity and Economic Growth: Multi-country Evidence by Development Stages. *Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology, VI*(1).

Dogan, E., Altinoz, B., Madaleno, M. & Taskin, D. (2020). The Impact of Renewable Energy Consumption to Economic Growth: a Replication and Extension of Inglesi-Lotz (2016). *Energy Economics, 90*, Article 104866.

Drews, S., Antal, M. & van den Bergh, J. C. J. M. (2018). Challenges in Assessing Public Opinion on Economic Growth Versus Environment: Considering European and US Data. *Ecological Economics, 146*, 265-272.

Ekins, P. (1999). Economic Growth and Environmental Sustainability: The Prospects for Green Growth. Routledge.

Ekins, P. & Jacobs, M. (1995). Environmental Sustainability and the Growth of GDP: Conditions for Compatibility. In V. Bhaskar & A. Glyn (Eds.), *The North the South and the Environment: Ecological Constraints and Global Economy* (pp. 9–46). Earthscan.

Energypedia. (2020). Economic Impact of Energy Access on Individuals and the Community Economic Benefits of Energy Access. Systems, Solar Home Development, Economic, 1–7.

Esen, O. & Bayrak, M. (2017). Does More Energy Consumption Support Economic Growth in net Energy-Importing Countries?. *Journal of Economic and Financial Administrative Sciences, 22*(1), 75-98.

Fazeli, Z. & Khodaparast Pirsaraei, Y. (2019). Evaluating the Effects of Export Complexity and Economic Freedom on Economic Growth in Selected Oil-Exporting Countries. *Economic Letter, 19*(75), 149–189. (In Persian).

Felipe, J., Kumar, U., Abdon, A. & Bacate, M. (2012). Product Complexity and Economic Development. *Structural Change and Economic Dynamics, 23*(1), 36-68.

Frees, E. W. (1995). Assessing Cross-Sectional Correlation in Panel Data. *Journal of*

Econometrics, 69(2), 393-414. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01658-M

Friedman, M. (1937). The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance. *Journal of the American Statistical Association, 32*(200), 675-701.

Fu, F. Y., Alharthi, M., Bhatti, Z., Sun, L., Rasul, F., Hanif, I. & Iqbal, W. (2021). The Dynamic Role of Energy Security, Energy Equity and Environmental Sustainability in the Dilemma of Emission Reduction and Economic Growth. *Journal of Environmental Management, 280*, Article 111828.

Gasparatos, A. & Gadda, T. (2009). Environmental Support, Energy Security and Economic Growth in Japan. *Energy Policy, 37*(10), 4038-4048.

Grigoryev, L. M. & Medzhidova, D. D. (2020). Global Energy Trilemma. *Russian Journal of Economics, 6*(5), 437-462.

Güneri, B. & Yalta, A. Y. (2021). Does economic Complexity Reduce Output Volatility in Developing Countries?. *Bulletin of Economic Research, 73*(3), 411-431.

Hartmann, D., Guevara, M. R., Jara-Figueroa, C., Aristarán, M. & Hidalgo, C. A. (2017). Linking Economic Complexity, Institutions, and Income Inequality. *World Development, 93*, 75-93.

Hausmann, R. & Hidalgo, C. A. (2010). Country Diversification, Product Ubiquity, and Economic Divergence. *HKS Working Paper No. RWP10-045*.

Hausmann, R. & Hidalgo, C. A. (2011). The Network Structure of Economic Output. *Journal of Economic Growth, 16*(4), 309-342.

Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M. & Simoes, A. (2014). The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity. Mit Press.

Hidalgo, C. A. & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(26), 10570-10575.

Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A. L. & Hausmann, R. (2007). The Product Space Conditions the Development of Nations. *Science, 317*(5837), 482-487.

Hoseinzadeh, S. & Heyns, P. S. (2021). Advanced Energy , Exergy , and Environmental (3E) Analyses and Optimization of a Coal-Fired 400 MW Thermal Power Plant. *Journal of Energy Resources Technology, 143*(1), Article 010909.

Houssam, N., Ibrahiem, D. M. & El-Aasar, K. M. (2024). Insights from the N11 Economies on Drivers of the Clean Energy Transition. *Utilities Policy, 90*, 101818.

Ibrahiem, D. M., Houssam, N., Esily, R. R., Sethi, N. & Fouad, H. (2024). Modelling Energy Trilemma and Economic Growth on Renewables in N11 Economies: Do Economic Complexity Matter? *Heliyon, 10*(17), e36937. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36937

Irfan, M., Smolović, J. C., Muhadinović, M., Radonjić, M. & Đurašković, J. (2020). How Does Renewable Energy Consumption Affect Economic Growth in the Traditional and New Member States of the European Union?. *Energy Reports, 6*, 505-513.

Ivanovski, K., Hailemariam, A. & Smyth, R. (2020). The Effect of Renewable and Non-Renewable Energy Consumption on Economic Growth: Non-Parametric Evidence. *Journal of Cleaner Production, 259*, Article 1249516.

Javaheri, B., Ghaderi, S., Ghamashi, N. & Amani, R. (2024). Investigating the Impact of Economic Complexity and Ecological Footprint on Economic Growth in OPEC Countries. *Economic Research (Growth and Sustainable Development), 24*(1), 27–56. (In Persian).

Kang, H. (2022). An Analysis of the Relationship between Energy Trilemma and Economic Growth. *Sustainability,*

14(7), 3863. https://www.mdpi.com/2071-1050/14/7/3863

Khan, I., Hou, F., Irfan, M., Zakari, A. & Le, H. P. (2021 الف). Does Energy Trilemma a Driver of Economic Growth? The Roles of Energy Use, Population Growth, and Financial Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 146*, 111157. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111157

Khan, I., Hou, F., Khan, M. K., Panjwani, M. K., Chandio, A. A. & Li, H. (2021 ب). The Impact of Natural Resources, Energy Consumption, and Population Growth on Environmental Quality: Fresh Evidence from the United States of America. *Science of the Total Environment, 754*, Article 142222.

Khan, I., Zakari, A., Zhang, J., Dagar, V. & Singh, S. (2022). A Study of Trilemma Energy Balance, Clean Energy Transitions, and Economic Expansion in the Midst of Environmental Sustainability: New Insights from Three Trilemma Leadership. *Energy, 248*, Article 123619.

Kurniawan, R., Sugiawan, Y. & Managi, S. (2021). Economic Growth–Environment Nexus: an Analysis Based on Natural Capital Component of Inclusive Wealth. *Ecological Indicators*, *120*, 106982.

Labandeira, X. & Manzano, B. (2012). Some Economic Aspects of Energy security. *European Research Studies Journal, 15*(3), 47-64.

Labidi, M. A. (2025). An Analysis of the Relationship Between Economic Complexity-Energy and Economic Growth: Evidence from Method of Moment Quantile Regression. *Energy, 327*, 136412. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136412

Le, T. H. & Nguyen, C. P. (2019). Is Energy Security a Driver for Economic Growth? Evidence from a Global Sample. Energy Policy, 129, 436-451.

Levin, A., Lin, C.-F. & Chu, C.-S. J. (2002). Unit Root Tests in Panel Data: Asymptotic and Finite-Sample Properties. *Journal of Econometrics, 108*(1), 1-24.

Levine, R. (1997). Financial Development and Economic Growth: Views and Agenda. *Journal of Economic Literature, 35*(2), 688-726.

Liu, H., Khan, I., Zakari, A. & Alharthi, M. (2022). Roles of Trilemma in the World Energy Sector and Transition Towards Sustainable Energy: A Study of Economic Growth and the Environment. *Energy Policy, 170*, 113238. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113238

Lucas, R. E. (1988). On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics, 22*(1), 3–42.

Luciani, G. (2020). The Impacts of the Energy Transition on Growth and Income Distribution. In Lecture Notes in Energy (73, 305-318)..

Machado, J. A. & Silva, J. S. (2019). Quantiles Via Moments. *Journal of Econometrics, 213*(1), 145-173.

Maddala, G. & Wu, S. (1996). A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test: Evidence From Simulations and the Bootstrap. Ohio State University, Mimeo.

Mahjabeen, S., Shah, S. Z. A., Chughtai, S. & Simonetti, B. (2020). Renewable Energy, Institutional Stability, Environment and Economic Growth Nexus of D-8 Countries. *Energy Strategy Reviews, 29*, Article 100484.

Mealy, P., Farmer, J. D. & Teytelboym, A. (2019). Interpreting Economic Complexity. *Science Advances, 5*(1), Article Eaau 1705.

Mohammadi Khiyareh, M. & Zivouri, A. (2022). The Impact of Economic Complexity on Economic Growth in N-11 Countries Using the Panel ARDL Approach. *Economic Letter, 22*(86), 185–219. (In Persian).

Nabi, A. A., Tunio, F. H., Azhar, M., Syed, M. S. & Ullah, Z. (2023). Impact of Information and Communication

Technology, Financial Development, and Trade on Economic Growth: Empirical Analysis on N11 Countries. Journal of the Knowledge Economy, 14(3), 3203-3220.

Nasreen, S., Mahalik, M. K., Shahbaz, M. & Abbas, Q. (2020). How Do Financial Globalization, Institutions and Economic Growth Impact Financial Sector Development in European Countries?. *Research in International Business and Finance, 54*, Article 101247.

Nawaz, S. M. N. & Alvi, S. (2018). Energy Security for Socio-Economic and Environmental Sustainability in Pakistan. *Heliyon, 4*(10), Article e00854.

Nonaka, I. (1994). A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation. *Organization Science, 5*(1), 14-37.

Omkarnath, G. (1997). Financial Development. *Review of Development and Change, 2*(2), 338-354.

Ozturk, I., Aslan, A. & Kalyoncu, H. (2010). Energy Consumption and Economic Growth Relationship: Evidence from Panel Data for low and Middle Income1 Countries. *Energy Policy*,2 38(10), 5382-5387.

Pazham, S. M. & Salimifar, M. (2015). Investigating the Impact of Economic Complexity Index on Economic Growth in 42 Top Scientific Production Countries. *Regional Economics and Development, 22*(10), 16–38. (In Persian).

Payne, J. E. (2011). US Disaggregate Fossil Fuel Consumption and Real GDP: An Empirical Note. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 6(1), 63-68.

Payne, J. E. & Taylor, J. P. (2010). Nuclear Energy Consumption and Economic Growth in the U.S.: An Empirical Note. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 5*(3), 301-307.

Pedroni, P. (2001). Fully Modified OLS for Heterogeneous Cointegrated Panels. In *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels* (pp. 93-130). Emerald Group Publishing Limited.

Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. *Cambridge Working Papers. Economics, 1240*(1), 1.

Pesaran, M. H. (2007). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross Section Dependence. *Journal of Applied Econometrics, 22*(2), 265–312.

Rahimi, F., Sayemiri, A., Ghasemian, N. & Shayan, A. (2021). The Effect of Economic Complexity Index on Economic Growth of MENAT Countries (2008–2017). *Applied Economics, 11*(36), 1–15. (In Persian).

Razzaq, A., Sharif, A., An, H. & Aloui, C. (2022). Testing the Directional Predictability Between Carbon Trading and Sectoral Stocks in China: New Insights Using Cross-Quantilogram and Rolling Window Causality Approaches. *Technological Forecasting and Social Change, 182*, 121846.

Sethi, P., Chakrabarti, D. & Bhattacharjee, S. (2020). Globalization, Financial Development and Economic Growth: Perils on the Environmental Sustainability of an Emerging Economy. *Journal of Policy Modeling, 42*(3), 520-535.

Shahbaz, M., Raghutla, C., Chittedi, K. R., Jiao, Z. & Vo, X. V. (2020 الف). The Effect of Renewable Energy Consumption on Economic Growth: Evidence from the Renewable Energy Country Attractive Index. *Energy, 201*, Article 118162.

Smolović, J. C., Muhadinović, M., Radonjić, M. & Đurašković, J. (2020). How Does Renewable Energy Consumption Affect Economic Growth in the Traditional and New Member States of the European Union?. *Energy Reports, 6*, 505-513.

Song, C. Q., Chang, C. P. & Gong, Q. (2020 الف). Economic Growth, Corruption, and Financial Development: Global Evidence. *Economic Modelling, 89*, 581-592.

Song, Y., Chen, B., Tao, R., Su, C. W. & Umar, M. (2020 ب). Too Much or Less?

Financial Development in Chinese Marine Economic Growth. *Regional Studies in Marine Science, 37*, Article 101324.

Stojkoski, V. & Kocarev, L. (2017). The Relationship between Growth and Economic Complexity: Evidence from Southeastern and Central Europe. *University Library of Munich, Germany*.

Swamy, P. A. (1970). Efficient Inference in a Random Coefficient Regression Model. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 311-323.

Uçan, O. & Fatih, Y. (2014). Energy Consumption and Economic Growth Nexus: Evidence from Developed Countries in Europe. *International Journal of Energy Economics and Policy, 4*(3), 411-419.

Ullah, S., Khan, M. & Yoon, S.-M. (2021). Measuring Energy Poverty and its Impact on Economic Growth in Pakistan. *Sustainability*, *13*(19), 10969.

Wang, Q. & Wang, L. (2020). Effect of Renewable Energy Consumption on Economic. *Energy, 207*, Article 118200.

Westerlund, J. (2005). New Simple Tests for Panel Cointegration. *Econometric Reviews, 24*(3), 297-316.

Wooldridge, J. M. (2010). Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data. MIT Press.

World Energy Council. (2018). World Energy Trilemma Index 2018.

World Energy Council. (2019). Trilemma Index 2019.

World Energy Council. (2020). World Energy Trilemma Index 2020, Published by the World Energy Council in Partnership with OLIVER WYMAN.

Zabihi, S. M., Akbari, F. & Saleh Nia, N. (2023). The Effect of Energy Security Risk Index on Economic Stability in Iran. *Stable Economy, 4*(3), 134–164. (In Persian).

Zhang, J., Patwary, A. K., Sun, H., Raza, M., Taghizadeh-Hesary, F. & Iram, R. (2021 الف). Measuring Energy and Environmental Efficiency Interactions Towards CO2 Emissions Reduction Without Slowing Economic Growth in Central and Western Europe. Journal of Environmental Management, 279, Article 111704.

Ziolo, M., Jednak, S., Savić, G. & Kragulj, D. (2020). Link Between Energy Efficiency and Sustainable Economic and Financial Development in OECD Countries. *Energies, 13*(22), Article 5898.