Journal of Defense Economics & Sustainable Development, Vol. 10, No. 38, December 2025, pp. 139-175

Defense Economics & Sustainable Development

Journal homepage: https://eghtesad.sndu.ac.ir/

Energy Policymaking under Crisis Conditions: The study and Analysis of Two Variables of Energy Intensity and Energy Consumption, Using a Data Mining Approach in Iran

Mahdi Goldani[1*], Morteza Mohammadi[2], Seyed Ehsan Alavi[3]

1. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Literature and Human Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. Corresponding Author. Email: m.goldani@hsu.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Economics, Faculty of Literature and Human Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. Email: m.mohammadi@hsu.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Economics, Faculty of Literature and Human Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. Email: se.alavi@hsu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 28-04-2025
Accepted: 30-06-2025

Keywords:
Energy Consumption, Energy Intensity, Data Mining, Energy Policy, Time-Series Analysis.

Abstract

The study of energy consumption and energy intensity is of paramount importance, as these two variables provide a comprehensive picture of a country's energy status and play a key role in assessing energy efficiency and the sustainability of energy systems. These indicators not only reflect the level of energy consumption and efficiency but are also directly linked to achieving sustainable development goals, ensuring equitable access to energy, improving quality of life, and environmental protection. This research employs a data-mining approach to analyze energy intensity and energy consumption in Iran. World Bank time-series data from 1990 to 2023 have been used to identify energy consumption patterns and simulate their behavior under various conditions. A primary challenge of the study is the accurate selection of data, which directly impacts the validity of the results. For preprocessing, a missing data imputation technique based on autoencoders was utilized to complete missing data and standardize the dataset. Furthermore, distance-based and time-series similarity methods were employed to analyze data similarities and perform classification.

The findings indicate that Iran's energy intensity is dependent on environmental variables, natural resources, and social welfare. Analysis of total energy consumption also reveals that economic, environmental, and social factors, particularly fossil fuel consumption and greenhouse gas emissions, are influential. This research recommends that energy policymakers in Iran adopt a cross-sectoral and data-driven approach, incorporating economic, social, and environmental variables into their policy-making, so that they can realize optimized energy consumption management, reduce energy imbalances, and achieve sustainable development goals.

Cite this article: Goldani, m., Mohammadi, M., Alavi, E. (2025). Energy Policymaking under Crisis Conditions: The study and Analysis of Two Variables of Energy Intensity and Energy Consumption, Using a Data Mining Approach in Iran. *Journal of Defense Economics & Sustainable Development*, 10 (38), 139-175.

20.1001.1.30607531.1404.10.38.6.6

© The Author(s) 2025. Published by Defense Economics Scientific Association of Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

اقتصاد دفاع و توسعه پایدار

شاپا چاپی: ۳۰۶۰-۱۵۳۱ شاپا الکترونیکی: ۲۹۸۱-۰۶۱x

سیاست‌گذاری انرژی در شرایط بحران: بررسی و تحلیل دو متغیر شدت انرژی و مصرف انرژی با رویکرد داده کاوی در ایران

مهدی گلدانی[۱]*، مرتضی محمدی[۲]، سید احسان علوی[۳]

۱. دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. نویسنده مسئول.
رایانامه: m.goldani@hsu.ac.ir

۲. استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
رایانامه: m.mohammadi@hsu.ac.ir

۳. استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
رایانامه: se.alavi@hsu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی

تاریخچه مقاله:
تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

واژگان کلیدی:
مصرف انرژی، شدت انرژی، داده‌کاوی، سیاست‌گذاری انرژی، تحلیل سری‌های زمانی.

چکیده

بررسی مصرف و شدت انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ زیرا این دو متغیر تصویری جامع از وضعیت انرژی کشور ارائه داده و نقشی کلیدی در ارزیابی بهره‌وری انرژی و پایداری سیستم‌های انرژی ایفا می‌کنند. این شاخص‌ها نه تنها نشان‌دهنده میزان مصرف و کارایی انرژی هستند، بلکه مستقیماً با تحقق اهداف توسعه پایدار، تأمین دسترسی عادلانه به انرژی، بهبود کیفیت زندگی و حفاظت از محیط‌زیست ارتباط دارند. این پژوهش با رویکرد داده‌کاوی به تحلیل شدت انرژی و مصرف انرژی در ایران پرداخته است. داده‌های سری زمانی بانک جهانی در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ برای شناسایی الگوهای مصرف انرژی و شبیه‌سازی رفتار آن‌ها در شرایط مختلف استفاده شده است. یکی از چالش‌های اصلی تحقیق، انتخاب صحیح داده‌هاست که به‌طور مستقیم بر اعتبار نتایج تأثیر می‌گذارد. برای پیش‌پردازش، از تکنیک جایگزینی داده‌های مفقوده مبتنی بر خودرمزگذار جهت تکمیل داده‌های گمشده و استانداردسازی داده‌ها استفاده شده است. همچنین، به منظور تحلیل شباهت‌ها و طبقه‌بندی داده‌ها، از روش‌های مبتنی بر فاصله و شباهت سری‌های زمانی بهره گرفته شده است.

یافته‌ها نشان می‌دهد شدت انرژی ایران به متغیرهای زیست‌محیطی، منابع طبیعی و رفاه اجتماعی وابسته است. تحلیل مصرف کل انرژی نیز نشان می‌دهد که عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، به‌ویژه مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، تأثیرگذار هستند. پژوهش توصیه می‌کند سیاست‌گذاران انرژی در ایران با رویکردی فرابخشی و داده‌محور، متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را در سیاست‌گذاری خود لحاظ کنند تا بتوانند مدیریت بهینه مصرف انرژی، کاهش ناترازی انرژی و تحقق اهداف توسعه پایدار را محقق سازند.

استناد به مقاله: گلدانی، مهدی؛ محمدی، مرتضی و علوی، احسان. (۱۴۰۴). سیاست‌گذاری انرژی در شرایط بحران: بررسی و تحلیل دو متغیر شدت انرژی و مصرف انرژی با رویکرد داده کاوی در ایران. *فصلنامه اقتصاددفاع و توسعه پایدار*، ۱۰(۳۸)، ۱۳۹-۱۷۵.
20.1001.1.30607531.1404.10.38.6.6

ناشر: انجمن علمی اقتصاد دفاع ایران

© نویسندگان

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، موضوع مصرف و شدت انرژی[1] به یکی از چالش‌های مهم در سیاست‌گذاری توسعه پایدار[2]، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران تبدیل شده است. شدت انرژی که نشان‌دهنده میزان انرژی مصرف‌شده به ازای تولید یک واحد محصول یا خدمات است، به همراه مصرف سرانه انرژی، شاخص‌هایی کلیدی برای سنجش کارایی و پایداری نظام‌های تولیدی و مصرفی در کشور به شمار می‌روند. افزایش شدت انرژی، معیاری از ناکارآمدی مدیریت بخش انرژی است (مرادی و همکاران، ۱۴۰۱: ۹).

براساس گزارش‌ها[3]، مصرف جهانی انرژی از ۸,۶۷۶ میلیون تن در سال ۱۹۹۰ به ۱۵,۴۳۶ میلیون تن در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته که رشد سالانه‌ای برابر با ۱/۹ درصد از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ را نشان می‌دهد. در حالی که مصرف انرژی در کشورهای OECD[4] تقریباً ثابت مانده و حتی با کاهش متوسط سالانه ۰/۲ درصدی روبه‌رو بوده، ایران و خاورمیانه رشد قابل توجهی را تجربه کرده‌اند. ایران با رشد سالانه ۴ درصد و خاورمیانه با ۳/۸ درصد بیشترین نرخ افزایش مصرف انرژی را در این بازه داشته‌اند. این تفاوت رشد نشان‌دهنده‌ی تغییر در الگوهای مصرف جهانی است؛ به‌گونه‌ای که سهم بیشتری از تقاضای انرژی به سمت کشورهای در حال توسعه و مناطق نفت‌خیز مانند خاورمیانه منتقل شده است. همچنین، افزایش ۳/۹ درصدی مصرف انرژی ایران در تنها یک سال اخیر (۲۰۲۲–۲۰۲۳) در مقایسه با کاهش ۱/۵ درصدی در کشورهای OECD، بیانگر پویایی انرژی در کشورهای در حال توسعه و فشار فزاینده بر منابع انرژی و محیط‌زیست در این کشورهاست. نمودار ارائه‌شده، روند تغییرات شدت انرژی (نسبت مصرف کل انرژی به تولید ناخالص داخلی) را برای چهار دسته‌ی ایران، جهان، خاورمیانه و کشورهای عضو OECD از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ به تصویر می‌کشد. شدت انرژی به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی بهره‌وری انرژی[5]، بیانگر میزان مصرف انرژی به‌ازای هر واحد تولید اقتصادی است؛ لذا کاهش آن نشانه‌ی بهبود کارایی انرژی[6] در اقتصاد است. بر اساس نمودار، کشورهای OECD طی سه دهه‌ی گذشته کاهش مستمر و قابل توجهی در شدت انرژی تجربه کرده‌اند. این روند نزولی بیانگر پیشرفت این کشورها در حوزه بهره‌وری انرژی، توسعه فناوری‌های نوین، و انتقال به اقتصادهای کم‌کربن است. در مقابل، شدت انرژی جهان نیز روند کاهشی ملایمی را دنبال کرده، که ناشی از پیشرفت‌های فناورانه جهانی و رشد سهم خدمات در ساختار اقتصاد جهانی است. در خاورمیانه، شدت انرژی از دهه ۱۹۹۰ تا اواسط دهه ۲۰۰۰ افزایش یافته و سپس با نوساناتی مواجه بوده، اما همچنان در سطحی بالاتر از میانگین جهانی باقی مانده است. این روند به‌وضوح نشان‌دهنده‌ی ساختار اقتصادی انرژی‌محور،

---

[1] Energy Intensity

[2] توسعه پایدار فرآیندی است که نیازهای کنونی بشر را بدون به‌خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای تأمین نیازهای خود، برآورده می‌سازد؛ به‌گونه‌ای که تعادل بین رشد اقتصادی، حفظ محیط‌زیست و عدالت اجتماعی برقرار باشد.

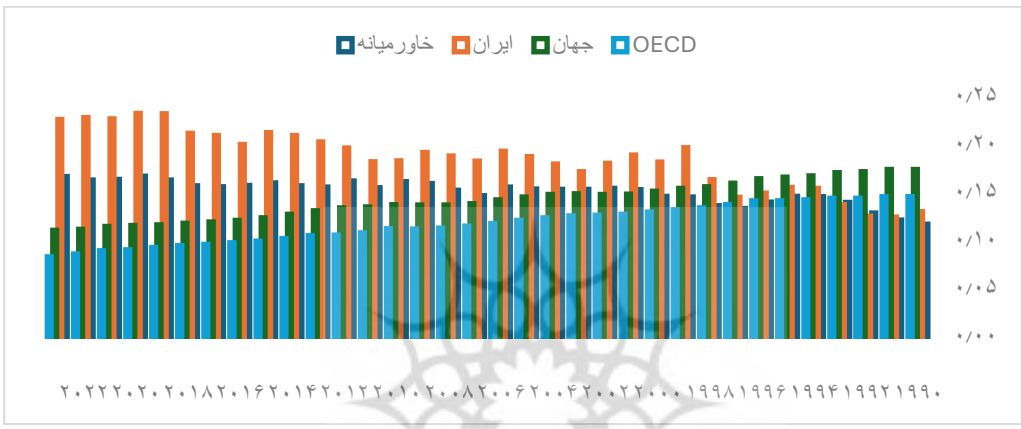
[3] World Energy & Climate Statistics – Yearbook

[4] Organization for Economic Co-operation and Development

[5] میزان کارایی استفاده از انرژی در تولید کالاها و خدمات که نشان می‌دهد چگونه می‌توان با مصرف انرژی کمتر، همان سطح از تولید یا خدمات را حفظ یا حتی افزایش داد.

[6] به نسبت میزان انرژی مفید حاصل‌شده به انرژی مصرف‌شده در یک فرایند، سیستم یا دستگاه گفته می‌شود.

یارانه‌های گسترده سوختی، و نرخ پایین بهره‌وری انرژی در کشورهای منطقه است. در خصوص ایران، نمودار افزایش قابل توجهی در شدت انرژی بین سال‌های ۱۹۹۰ تا حدود ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد و سپس تا حدودی ثبات و کاهش تدریجی در سال‌های اخیر مشاهده می‌شود. با این حال، شدت انرژی ایران در کل دوره‌ی زمانی، در سطحی به مراتب بالاتر از دیگر مناطق قرار دارد. این وضعیت ناشی از ساختار صنعتی ناکارآمد، مصرف بالای انرژی در بخش خانگی و حمل‌ونقل، و سیاست‌های قیمتی ناکارآمد در حوزه انرژی است. بنابراین، شدت بالای انرژی در ایران نمایانگر چالش‌های عمیق در بهره‌وری انرژی است که نیازمند اصلاحات ساختاری و سیاستی بلندمدت در حوزه انرژی، فناوری و اقتصاد است.



نمودار شماره (۱) مقایسه‌ی شدت انرژی در ایران، منطقه خاورمیانه، جهان و کشورهای OECD، سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲
منبع: سالنامه آمار جهانی انرژی و اقلیم ۲۰۲۴

در شرایطی که مصرف و شدت انرژی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، روندی فزاینده و نگران‌کننده دارد و شاخص‌های بهره‌وری انرژی پایین‌تر از میانگین‌های جهانی قرار گرفته‌اند، شناسایی جامع و دقیق متغیرهای مؤثر بر این روند از اهمیت دوچندان برخوردار است. آنچه در بسیاری از مطالعات مغفول می‌ماند، نقش متغیرهایی است که نه صرفاً اقتصادی‌اند و نه مستقیماً در حیطه انرژی تعریف می‌شوند، اما همبستگی و هم‌رفتاری بالایی با هر دو شاخص مصرف و شدت انرژی دارند. در شرایط کنونی که نظام انرژی کشور با ناترازی جدی مواجه است و پدیده‌هایی مانند قطعی‌های گسترده برق به یک وضعیت مکرر بدل شده‌اند، ضرورت اتخاذ تصمیمات بهنگام و دقیق بیش از پیش احساس می‌شود. از این‌رو، شناسایی متغیرهای میان‌رشته‌ای که اغلب در تحلیل‌های سیاست‌گذاری نادیده گرفته می‌شوند ـ از طریق بهره‌گیری از شاخص‌های کمی مرتبط با ابعاد اقتصادی، اجتماعی، نهادی و زیست‌محیطی، نقشی کلیدی در بهبود مدیریت بحران انرژی و ارتقای اثربخشی سیاست‌های مرتبط ایفا می‌کند. این رویکرد می‌تواند زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد و افزایش کارایی در نظام حکمرانی انرژی باشد.

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر تمرکز بر استخراج و تحلیل متغیرهایی است که، فراتر از تقسیم‌بندی‌های سنتی حوزه‌های اقتصادی یا انرژی، دارای هم‌رفتاری معنادار با هر دو شاخص مصرف و شدت انرژی در گذر زمان هستند. این رویکرد، امکان شناسایی عوامل پنهان اما اثرگذار را فراهم می‌آورد؛ عواملی که

تاکنون کمتر در سیاست‌گذاری‌های انرژی مورد توجه قرار گرفته‌اند. با بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی مبتنی بر داده‌های طولی، تلاش شده است تصویری نو از پیشران‌های مصرف و شدت انرژی ترسیم شود که بتواند زمینه‌ساز بازنگری در سیاست‌های فعلی و ارتقای دقت و اثربخشی تصمیم‌گیری‌ها در شرایط بحرانی کنونی باشد. در نهایت، مقایسه نتایج پژوهش با چارچوب‌های نظری و مطالعات پیشین، نه‌تنها به کشف خلأهای دانشی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند بنیان نظری سیاست‌گذاری انرژی را در کشور بازتعریف و تقویت نماید. اما باید در نظر داشت که روش‌های مشابهت‌یابی سری‌های زمانی معمولاً فقط بر اساس شباهت رفتاری داده‌ها با متغیر هدف عمل کرده و آن‌ها را رتبه‌بندی می‌کنند. به همین دلیل، ممکن است برخی متغیرها صرفاً به خاطر داشتن الگوهای زمانی مشابه در رتبه‌های بالا قرار بگیرند، در حالی‌که از لحاظ مفهومی یا تحلیلی ارتباط معناداری با متغیر هدف نداشته باشند.

در این پژوهش، پس از بررسی مبانی نظری و پیشینه تحقیقات در حوزه عوامل مؤثر بر شدت و مصرف انرژی، در بخش روش‌شناسی به بررسی روش‌های مشابهت‌یابی سری‌های زمانی پرداخته شده است. در ادامه، بخش نتایج به تحلیل شاخص‌های هم‌رفتار شناسایی‌شده با مصرف و شدت انرژی اختصاص یافته است. در نهایت، در بخش جمع‌بندی و نتیجه‌گیری، پس از مقایسه یافته‌ها با مطالعات پیشین و تحلیل جامع آن‌ها، سیاست‌گذاری‌های کاربردی در این حوزه ارائه شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱. مبانی نظری پژوهش

انرژی یکی از ارکان اساسی توسعه پایدار محسوب می‌شود. دستیابی به انرژی مطمئن، مقرون‌به‌صرفه و پاک در قلب اهداف توسعه پایدار سازمان ملل[1] قرار دارد. مصرف کارآمد انرژی و کاهش شدت انرژی می‌تواند زمینه‌ساز رشد اقتصادی سبز، کاهش فقر انرژی، ارتقاء سطح رفاه اجتماعی و کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی شود. در این راستا، مطالعات متعدد تأکید دارند که مدیریت هوشمندانه انرژی نقشی کلیدی در تحقق هم‌زمان اهداف زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی ایفا می‌کند. مطالعه رفتار مصرف انرژی و شدت انرژی در چارچوب نظریه‌های اقتصاد انرژی، از اهمیت بسزایی در تحلیل پویایی‌های توسعه اقتصادی، بهره‌وری، و سیاست‌گذاری انرژی برخوردار است. متغیرهای مصرف انرژی و شدت انرژی نه‌تنها بازتاب‌دهنده ساختار تولید و الگوی مصرف انرژی در یک کشور هستند، بلکه به‌عنوان شاخص‌های کلیدی در ارزیابی پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی نیز عمل می‌کنند (بریچی و کایچی، ۲۰۲۳: ۱۵)[2].

۲-۱-۱. رابطه مصرف انرژی و رشد اقتصادی

یکی از مباحث محوری در اقتصاد انرژی، بررسی رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی است. سه

[1] SDG7
[2] Bildirici, & Kayıkçı

فرضیه اصلی در این زمینه مطرح‌اند: فرضیه رشد[1]، فرضیه بازخورد[2]، و فرضیه خنثی[3] . فرضیه رشد بیان می‌کند که مصرف انرژی نقش علّی در رشد اقتصادی ایفا می‌کند؛ در حالی‌که فرضیه بازخورد به وجود رابطه دوسویه بین این دو متغیر اشاره دارد. در مقابل، فرضیه خنثی بر استقلال رشد اقتصادی از مصرف انرژی تأکید دارد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۶). شواهد تجربی نشان داده‌اند که نوع این رابطه وابسته به سطح توسعه، ساختار انرژی و درجه صنعتی‌شدن کشورها است (ناهیدی امیرخیز و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۷).

۲-۱-۲. شدت انرژی به‌عنوان شاخص کارایی و ساختار صنعتی

شدت انرژی، که به‌عنوان نسبت مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی تعریف می‌شود، شاخصی برای ارزیابی بهره‌وری انرژی در سطح اقتصاد کلان است. کاهش شدت انرژی به‌طور معمول نشانه‌ای از افزایش کارایی انرژی، گسترش فناوری‌های کم‌مصرف، و تغییر ساختار اقتصادی از بخش‌های انرژی‌بر به سمت بخش‌های خدماتی و دانش‌بنیان تلقی می‌شود. از منظر نظری، نظریه‌های مربوط به گذار ساختاری[4] و توسعه پایدار، نقش کاهش شدت انرژی را در دستیابی به رشد اقتصادی با کمترین آسیب زیست‌محیطی تأکید می‌کنند (نیتو و همکاران، ۲۰۲۳: ۱۲)[5].

شدت انرژی تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل پیچیده و متنوع قرار دارد. یکی از عوامل مهم، شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی است. مناطقی که دارای آب‌وهوای بسیار سرد یا بسیار گرم هستند، به طور طبیعی برای تأمین گرمایش در زمستان یا سرمایش در تابستان، مصرف انرژی بیشتری دارند (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۰). این امر باعث می‌شود شدت انرژی در چنین مناطقی بالاتر از سایر مناطق با اقلیم معتدل‌تر باشد.

علاوه بر شرایط جوی، سطح عمومی استانداردهای زندگی نیز بر شدت انرژی اثرگذار است. جوامعی که سطح رفاه بالاتری دارند، معمولاً مصرف انرژی بیشتری برای تأمین نیازهای روزمره، رفاهی و تفریحی خود دارند. همچنین، سطح شهرسازی و کیفیت زیرساخت‌های شهری، ازجمله طراحی ساختمان‌ها، سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی و میزان بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، نقشی اساسی در تعیین میزان کارایی مصرف انرژی ایفا می‌کنند (ژنگ و والش، ۲۰۱۹: ۱۹)[6].

مرحله توسعه اقتصادی هر منطقه نیز بسیار مهم است؛ مناطقی که در مراحل اولیه توسعه قرار دارند، ممکن است به دلیل استفاده از فناوری‌های قدیمی‌تر و بهره‌وری پایین‌تر، شدت انرژی بیشتری داشته باشند (لان یو و همکاران، ۲۰۱۷: ۸)[7]. در مقابل، مناطق توسعه‌یافته معمولاً از فناوری‌های کارآمدتری استفاده می‌کنند که

---

[1] Growth Hypothesis
[2] Feedback Hypothesis
[3] Neutrality Hypothesis
[4] Structural Transformation Theories
[5] Nieto et al
[6] Zheng & Walsh
[7] Lan-yue et al

مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. در کنار این عامل، تراکم جمعیت نیز می‌تواند تأثیرگذار باشد (اوتسوکا و گوتو، ۲۰۱۸: ۲۰)[1].

از دیدگاه نظریه‌های اقتصادی، عوامل متعددی به‌طور بالقوه بر شدت انرژی اثر می‌گذارند. این عوامل شامل کارایی انرژی (یعنی توان تولید بیشتر با مصرف انرژی کمتر)، میزان تقاضا برای انرژی، قیمت انرژی در بازار، ساختار اقتصادی (مثلاً سهم صنایع سنگین یا خدماتی در تولید)، کیفیت منابع انرژی مصرفی (مانند تفاوت میان سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر)، سطح فناوری مورد استفاده، میزان باز بودن اقتصاد در برابر تجارت بین‌المللی و نهایتاً، نقش دولت و نهادهای حاکمیتی در سیاست‌گذاری‌ها و تدوین مقررات انرژی است (درگاهی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۱).

در مجموع، شدت انرژی یک شاخص چندبعدی است که درک دقیق آن مستلزم بررسی ترکیبی عوامل اقلیمی، اقتصادی، فناورانه و نهادی است. بهینه‌سازی این شاخص، نه تنها موجب صرفه‌جویی در منابع و کاهش هزینه‌ها می‌شود، بلکه نقش مهمی در تحقق توسعه پایدار و کاهش آثار زیست‌محیطی ایفا می‌کند.

۲-۱-۳. نقش ساختار تولید، سیاست‌گذاری و نهاده‌های اقتصادی

در چارچوب نظریه نهاده‌محور تولید[2]، مصرف انرژی به‌عنوان یکی از نهاده‌های اساسی در فرایند تولید تحلیل می‌شود. ترکیب نهاده‌ها و تکنولوژی تولید، اثر مستقیمی بر الگوی مصرف انرژی و بهره‌وری آن دارد[3]. از سوی دیگر، سیاست‌گذاری‌های انرژی در قالب ابزارهای مالی (مالیات انرژی، یارانه‌ها) یا مقررات محیط‌زیستی، می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم رفتار مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان ایفا کنند (معینی و همکاران، ۱۳۹۷: ۶).

۲-۱-۴. رابطه بین مصرف و شدت انرژی با سلامت روان جوامع

مصرف انرژی و شدت آن می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر سلامت روانی جوامع داشته باشد. در جوامعی که مصرف انرژی بالا و عمدتاً مبتنی بر سوخت‌های فسیلی است، میزان آلاینده‌های هوا به‌ویژه ذرات معلق افزایش می‌یابد. اهمیت بحث تاثیر آلودگی هوا بر سلامت روان جامعه در مطالعاتی همچون برایث‌ویت و همکاران (۲۰۱۹)[4]، نیوبری و همکاران (۲۰۲۱)[5] و بوبلی و همکاران[6] مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعات از نقش بالقوه آلودگی هوا به‌عنوان یک عامل خطر قابل مداخله برای وخامت وضعیت روانی و افزایش بار هزینه‌های خدمات سلامت روان پشتیبانی می‌کنند.

---

[1] Otsuka & Goto
[2] Input-Oriented Theories of Production
[3] Wood (1975)
[4] Braithwaite et al
[5] Newbury et al
[6] Buoli et al

علاوه بر سلامت روان جامع مصرف و شدت انرژی به طور غیر مستقیم میتوانند بر گسترش بیماری‌های همچون دیابت نیز منجر شوند. مطالعات نشان می‌دهند که افزایش سطح مواجهه ذرات معلق و آلاینده‌ها به‌طور معناداری با افزایش خطر مرگ‌ومیر ناشی از دیابت مرتبط است(یانگ و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۴)[1].

۲-۲. پیشینه پژوهش

مصرف انرژی در کشورها پدیده‌ای چندعاملی است که به‌طور گسترده‌ای تحت تأثیر ساختارهای اقتصادی، اجتماعی و نهادی هر کشور قرار دارد. علاوه بر این، نوع و میزان تأثیرگذاری متغیرهای مرتبط با مصرف و شدت انرژی می‌تواند میان کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه متفاوت باشد. با این حال، مرور مطالعات مختلف داخلی و بین‌المللی انجام‌شده طی دهه اخیر نشان می‌دهد که می‌توان عوامل مؤثر بر مصرف و شدت انرژی را به‌صورت نظام‌مند در چند گروه اصلی طبقه‌بندی کرد. بر این اساس، مطالعه حاضر با تحلیل مجموعه‌ای از پژوهش‌های پیشین، این عوامل را در چهار دسته کلی شامل: عوامل اقتصادی، عوامل اجتماعی و جمعیتی، عوامل زیست‌محیطی و عوامل نهادی دسته‌بندی می‌کند.

۲-۲-۱. مطالعات خارجی

بی و همکاران (۲۰۲۴)[2] در مقاله‌ای با عنوان « پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر، وابستگی انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن: مقایسه‌ای بین اقتصادهای توسعه‌یافته و در حال توسعه»، با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته و روش حداقل مربعات مقاوم در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۲، به بررسی اثر انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن [3]در ۵۵ کشور پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که در کشورهای در حال توسعه، مصرف بیش از ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به افزایش انتشار دی‌اکسید کربن سرانه شده است، در حالی‌که در کشورهای توسعه‌یافته، استفاده از این انرژی‌ها توانسته به کاهش معنادار انتشار آلاینده‌ها کمک کند. همچنین اثر سرریزی منطقه‌ای وابستگی انرژی در بین کشورهای همجوار نیز مورد تأیید قرار گرفت.

امین و همکاران (۲۰۲۴)[4] در مقاله‌ای با عنوان «مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تأثیر آن بر کیفیت محیط‌زیست: مسیری برای تحقق اهداف توسعه پایدار در کشورهای آسه‌آن» با استفاده از رویکردهای نسل دوم اقتصادسنجی و داده‌های دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸، به بررسی اثر آموزش، منابع طبیعی، توسعه مالی، شهرنشینی و رشد اقتصادی بر کیفیت محیط‌زیست پرداختند. نتایج نشان داد مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و آموزش به‌ترتیب موجب کاهش ۰.۴۶ و ۰.۲۲ درصدی انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود، در حالی‌که توسعه مالی، شهرنشینی و کاهش منابع طبیعی اثر منفی بر محیط‌زیست دارند. تحلیل علیت ناهمگن نیز وجود رابطه دوسویه

[1] Yang et al
[2] Bi et al
[3] Carbon Dioxide
[4] Amin et al

میان آموزش، مصرف انرژی تجدیدپذیر و انتشار دی‌اکسید کربن را تأیید کرد. پژوهش، بر لزوم افزایش سرمایه‌گذاری در بخش انرژی‌های پاک و آموزش برای تحقق اهداف توسعه پایدار تأکید دارد.

سپتان و همکاران (۲۰۲۴)[1] در مقاله‌ای با عنوان «مصرف انرژی تجدیدپذیر، تغییرات اقلیمی و رشد اقتصادی: مطالعه‌ای در کشورهای منتخب»، با استفاده از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی پانلی در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، به بررسی رابطه بین مصرف انرژی تجدیدپذیر، تغییرات اقلیمی و رشد اقتصادی در ۸۸ کشور با سطوح مختلف درآمدی پرداختند. نتایج نشان داد رشد اقتصادی با افزایش دما ارتباط دارد، در حالی‌که تأثیر بارش بسته به سطح درآمد کشورها متفاوت است. مصرف انرژی غیرتجدیدپذیر در کشورهای توسعه‌یافته موجب کاهش آلاینده‌ها و در کشورهای در حال توسعه منجر به افزایش آلودگی شده است. همچنین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای کم‌درآمد باعث کاهش دما و در کشورهای پردرآمد با شاخص‌های تغییر اقلیم رابطه مثبت دارد. مطالعه بر لزوم راهبردهای متناسب با شرایط اقتصادی و اقلیمی کشورها، توسعه زیرساخت انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه، و افزایش همکاری‌های منطقه‌ای در کشورهای عربی تأکید دارد.

لیان (۲۰۲۴)[2] در مقاله‌ای با عنوان «تأثیر منابع انرژی پاک، شرکت‌های فناوری پیشرفته و گسترش اقتصادی بر ردپای بوم‌شناختی: مطالعه‌ای در مسیر توسعه پایدار»، با استفاده از روش برآورد پانل در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ به بررسی کشورهای G7 و E7 پرداخت. نتایج نشان داد که در کشورهای G7، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های پیشرفته به‌طور معناداری باعث کاهش ردپای زیست‌محیطی شده است، در حالی‌که کشورهای E7 با وجود رشد فناوری، به دلیل چالش‌های ساختاری و زیرساختی، هنوز در مراحل ابتدایی دستیابی به پایداری زیست‌محیطی قرار دارند.

شبیرو رسول (۲۰۲۴)[3] در مقاله‌ای با عنوان «انرژی، جنگل و پایداری زیست‌محیطی: تحلیلی مقایسه‌ای بین اقتصادهای توسعه‌یافته و در حال توسعه» با استفاده از روش حداقل مربعات تعمیم‌یافته و داده‌های پانل کشورهای جهان در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱، نشان دادند که مصرف انرژی و تراکم جمعیت تأثیر مثبت و معناداری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای[4] دارند. در مقابل، سطح پوشش جنگل‌ها تأثیر منفی داشته و به کاهش آلاینده‌ها کمک می‌کند. همچنین اثر میانجی جنگل به‌عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات زیست‌محیطی مصرف انرژی معرفی شده و سیاست‌گذاری بر اساس تفاوت‌های ساختاری کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه توصیه شده است.

هالدَر و همکاران (۲۰۲۳)[5] در مقاله‌ای با عنوان «در مسیر تحقق هدف توسعه پایدار شماره ۷ در کشورهای جنوب صحرای آفریقا: نقش حکمرانی و انرژی تجدیدپذیر» با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته سیستمی و مدل حداقل مربعات سه‌مرحله‌ای در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸، به بررسی تأثیر عوامل نهادی و

---

[1] Spetan et al
[2] Lian
[3] Shabeer & Rasul
[4] گازهایی که با جذب و بازتاب تابش فروسرخ، موجب گرم‌شدن زمین و تغییرات اقلیمی می‌شوند.
[5] Haldar et al

انرژی تجدیدپذیر بر فقر انرژی در ۲۲ کشور آفریقای زیرصحرا پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ابتدا موجب افزایش فقر انرژی شده، اما در مراحل بعدی کاهش آن را به‌دنبال دارد. همچنین حکمرانی شفاف و نهادهای قوی نقش کلیدی در کاهش فقر انرژی بدون آسیب به پایداری زیست‌محیطی ایفا می‌کنند. مطالعه تأکید دارد که به‌منظور مقابله مؤثر با فقر انرژی، کشورهای منطقه باید بر بهبود کیفیت حکمرانی، توسعه زیرساخت‌های مقاوم شبکه برق و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تمرکز کنند.

کونوال و همکاران (۲۰۲۳)[1] در مقاله‌ای با عنوان «شهرنشینی، مصرف انرژی و کیفیت محیطزیست در کشورهای آسیایی» با استفاده از مدل پانل ARDL و داده‌های ۳۲ کشور آسیایی طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰، به بررسی اثر شهرنشینی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر بر انتشار دی‌اکسید کربن پرداختند. نتایج نشان داد که مصرف انرژی تجدیدپذیر و مجذور رشد سرانه GDP اثر منفی و معناداری بر دی‌اکسید کربن دارد، در حالی که شهرنشینی، چگالی جمعیت، رشد اقتصادی، تجارت و مصرف انرژی غیرتجدیدپذیر تأثیر مثبت و معناداری بر آلودگی دارند. همچنین آزمون علیت گرنجر نشان داد که رابطه علّی دوطرفه بین انرژی‌های تجدیدپذیر و انتشار دی‌اکسید کربن و بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر وجود دارد، در حالی که بین شهرنشینی و دی‌اکسید کربن رابطه علّی مشاهده نشد.

دوکاس و همکاران (۲۰۲۲)[2] در مقاله‌ای با عنوان «عوامل مؤثر بر مصرف انرژی و برق در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه: شواهد بین‌المللی» با استفاده از داده‌های پانل ۱۰۹ کشور در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ و بهره‌گیری از مدل‌های اقتصادسنجیFMOLS ، DOLS و PCSE، به بررسی عوامل کلان اقتصادی، نهادی، محیطی و مالی مؤثر بر مصرف انرژی پرداختند. نتایج نشان داد که در کشورهای در حال توسعه، متغیرهایی مانند رشد اقتصادی، سرمایه‌گذاری و دمای زمستان تأثیرگذارترین عوامل بر مصرف انرژی هستند، در حالی که در کشورهای توسعه‌یافته، باز بودن تجاری، فساد و نوآوری نقش مهم‌تری ایفا می‌کنند. همچنین رابطه مثبت معناداری بین فساد، رشد مالی و مصرف انرژی مشاهده شد. پژوهش، بر ضرورت سیاست‌گذاری متناسب با سطح درآمد کشورها برای مدیریت مصرف انرژی و کاهش بحران انرژی تأکید می‌کند.

محمود و همکاران (۲۰۲۲)[3] در مقاله‌ای با عنوان «محرک‌های اجتماعی–اقتصادی مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر: شواهد تجربی از کشورهای بریکس» با استفاده از روش میانگین گروهی تلفیقی (PMG) و داده‌های دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷، به بررسی تأثیر نابرابری درآمد، فساد، رشد اقتصادی، تجارت و انتشار دی‌اکسید کربن بر مصرف انرژی تجدیدپذیر پرداختند. نتایج نشان داد کاهش نابرابری درآمد و کنترل فساد تأثیر مثبت و معناداری بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارد، در حالی‌که رشد اقتصادی در این کشورها بیشتر بر پایه مصرف انرژی‌های فسیلی است و موجب کاهش مصرف انرژی‌های پاک می‌شود. همچنین آزمون علیت گرنجر رابطه دوسویه بین نابرابری درآمد، انتشار دی‌اکسید کربن و مصرف انرژی تجدیدپذیر را تأیید کرد. پژوهش بر

[1] Kunwal et al
[2] Dokas et al
[3] Mehmood et al

اهمیت سیاست‌گذاری در راستای عدالت درآمدی و بهبود کیفیت نهادی برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و دستیابی به اهداف توسعه پایدار در کشورهای بریکس تأکید دارد.

علی و همکاران (۲۰۲۱)[1] در مقاله‌ای با عنوان «تحلیل مقایسه‌ای کاهش منابع طبیعی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تخریب زیست‌محیطی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه»، با استفاده از مدل حداقل مربعات پانلی و داده‌های دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴، تأثیر مصرف انرژی تجدیدپذیر و کاهش منابع طبیعی بر تخریب زیست‌محیطی را بررسی کردند. نتایج نشان داد در کشورهای در حال توسعه، مصرف سوخت‌های فسیلی و رشد اقتصادی اثر مثبت و معناداری بر تخریب زیست‌محیطی دارند، در حالی‌که مصرف انرژی تجدیدپذیر، شهرنشینی و تجارت، اثر منفی و معناداری داشته‌اند. همچنین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه برخلاف کشورهای توسعه‌یافته، به دلیل کارایی پایین، موجب افزایش تخریب زیست‌محیطی شده است.

مجید و اصغر (۲۰۲۱)[2] در مقاله‌ای با عنوان «تجارت، مصرف انرژی، رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست: شواهد تجربی از کشورهای D-8 وG-7 » با استفاده از چارچوب منحنی محیط‌زیستی کوزنتس توسعه‌یافته و داده‌های پانلی طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۹، اثر رشد اقتصادی، تجارت و مصرف انرژی (به‌صورت تجمیعی و تفکیکی شامل نفت، زغال‌سنگ و گاز) را بر کیفیت محیط‌زیست بررسی کردند. نتایج نشان داد که در کشورهایD-8 ، رشد اقتصادی، تجارت و مصرف انواع انرژی موجب کاهش کیفیت محیط‌زیست می‌شود، در حالی‌که در کشورهایG-7 ، درآمد و تجارت بهبود نسبی کیفیت محیط‌زیست را به همراه دارند، اما مصرف سوخت‌های فسیلی همچنان اثر منفی دارد. همچنین، فرضیه EKC در کشورهای D-8 تأیید و در کشورهای G-7رد شده است. پژوهش بر لزوم اصلاح سیاست‌های تجاری در D-8 و کاهش مصرف انرژی‌های غیرتجدیدپذیر در G-7 برای دستیابی به توسعه پایدار تأکید دارد.

له و همکاران (۲۰۲۰)[3] در مقاله‌ای با عنوان «مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر، رشد اقتصادی و انتشار آلاینده‌ها: شواهد بین‌المللی» با استفاده از داده‌های پانل ۱۰۲ کشور طی دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۲ و با به‌کارگیری روش حداقل مربعات تعمیم‌یافته، نشان دادند که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر هر دو تأثیر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی دارند. یافته‌ها همچنین بیانگر آن است که مصرف انرژی غیرتجدیدپذیر باعث افزایش معنادار انتشار گازهای گلخانه‌ای شده، در حالی که انرژی‌های تجدیدپذیر تنها در کشورهای توسعه‌یافته توانسته‌اند به کاهش انتشار آلاینده‌ها کمک کنند.

۲-۲-۲. مطالعات داخلی

باقری‌مقدم و همکاران (۱۴۰۳) در مقاله‌ای با عنوان «نقش سیاست فناوری و نوآوری در مواجهه هم‌زمان با ناترازی شدت انرژی و شدت کربن»، با بهره‌گیری از معادله کایا و سناریوهای بین‌المللی، متغیرهای جمعیت،

[1] Ali et al
[2] Majeed & Asghar
[3] Le et al

درآمد سرانه، شدت انرژی، و شدت کربن را به عنوان مؤثرترین عوامل بر شدت انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران معرفی کرده‌اند. همچنین، سیاست‌های فناورانه و نوآورانه را راهکاری کلیدی برای کاهش ناترازی انرژی و دستیابی به اهداف زیست‌محیطی برشمرده‌اند.

زروکی و همکاران (۱۴۰۲) در مقاله‌ای با عنوان «اثر غیرخطی اندازه دولت بر شدت انرژی در ایران»، با استفاده از مدل ARDL طی دوره ۱۳۵۲–۱۴۰۰، متغیرهای اندازه دولت، قیمت انرژی، ساختار اقتصادی، توسعه مالی و تورم را به‌عنوان عوامل مؤثر بر شدت انرژی شناسایی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که اثر اندازه دولت بر شدت انرژی به‌صورت غیرخطی و U شکل است، به‌گونه‌ای که پس از عبور از آستانه ۴۹/۹ درصد، این اثر از منفی به مثبت تغییر می‌یابد.

اعظمی و محمدی (۱۴۰۱) در مقاله‌ای با عنوان «نقش شدت انرژی در تأثیر نامتقارن تولید بر مصرف انرژی کشورهای اوپک» با استفاده از مدل پانل پویای آستانه در دوره زمانی ۱۹۸۰–۲۰۱۴، نشان داده‌اند که شدت انرژی، نقش تعیین‌کننده‌ای در رابطه بین تولید و مصرف انرژی دارد. همچنین، متغیرهایی مانند تشکیل سرمایه ثابت ناخالص، صادرات صنعتی، و واردات صنعتی نیز به عنوان متغیرهای اثرگذار بر مصرف انرژی شناسایی شده‌اند.

عالی و سایه‌میری (۱۳۹۹) در مقاله‌ای با عنوان «عوامل مؤثر بر شدت انرژی در سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک)» با استفاده از مدل داده‌های تابلویی طی سال های ۱۹۹۵–۲۰۱۸ برای کشورهای عضو اوپک، متغیرهایی چون قیمت نفت، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، تولید ناخالص داخلی، نسبت سرمایه به نیروی کار، قیمت تولیدکننده و سطح تکنولوژی را به عنوان مؤثرترین عوامل بر شدت انرژی شناسایی کرده‌اند.

محسنی و کاکاوند(۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با عنوان «تجزیه مصرف انرژی و عوامل موثر بر آن در ایران و کشورهای منتخب با استفاده از مدل پانل»، متغیرهای قیمت حامل‌های انرژی و ارزش افزوده را دارای رابطه منفی، و مصرف انرژی، تشکیل سرمایه و نیروی کار شاغل را دارای رابطه مثبت و معنادار با شدت انرژی شناسایی کرده‌اند.

جهانگرد و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای با عنوان «تجزیه مصرف انرژی در ایران طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ با استفاده از روش تحلیل تجزیه ساختاری (SDA) » نشان داده‌اند که اثر تقاضای نهایی (حجم مصرف) مهم‌ترین عامل افزایش مصرف انرژی بوده است. سایر عوامل از جمله شدت انرژی، ساختار تولید و ساختار مصرف نیز بر تغییرات مصرف انرژی اثرگذار بوده‌اند، ولی نقش آن‌ها نسبت به تقاضای نهایی کمتر بوده است.

عاشوری و حیدری (۱۳۹۴) در مقاله‌ای با عنوان «عوامل مؤثر بر شدت انرژی در استان‌های ایران: رویکرد میانگین‌گیری بیزی» با استفاده از تکنیک BMA طی سال های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴، متغیرهایی نظیر تولید ناخالص داخلی، سهم صنعت، مصرف انرژی فسیلی و شاخص‌های توسعه انسانی را به عنوان مؤثرترین عوامل بر شدت انرژی در سطح استانی شناسایی کرده‌اند.

با توجه به بررسی مطالعات پیشین، تاکنون پژوهش‌های متعددی به شناسایی عوامل مؤثر بر مصرف و شدت انرژی پرداخته‌اند، اما عمدتاً مبتنی بر مدل‌سازی‌های سنتی اقتصادسنجی بوده‌اند. این در حالی است که ساختار پیچیده و پویا و روابط غیرخطی میان متغیرهای اقتصادی و انرژی، ضرورت بهره‌گیری از روش‌های داده‌کاوی و تحلیل‌های الگوی زمانی را آشکار می‌سازد. پژوهش حاضر با رویکردی نوآورانه، در پی شناسایی متغیرهایی است که از نظر الگوی زمانی بیشترین مشابهت را با مصرف و شدت انرژی دارند و بدین‌ترتیب خلأ موجود در ادبیات را در زمینه استفاده از روش‌های داده‌محور برای تحلیل مصرف انرژی پر می‌کند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

انتخاب داده‌ها یکی از مراحل بنیادین و حیاتی در تحلیل سری‌های زمانی محسوب می‌شود، چراکه به‌طور مستقیم بر دقت، اعتبار و قابلیت تفسیر نتایج اثر می‌گذارد. کیفیت داده‌های ورودی، تعیین‌کننده کیفیت خروجی تحلیل است؛ به‌بیان دیگر، حتی پیچیده‌ترین مدل‌های آماری و الگوریتم‌های پیشرفته نیز نمی‌توانند در صورت استفاده از داده‌های نامناسب، نتایج قابل اتکایی ارائه دهند. از این‌رو، دقت در انتخاب مجموعه داده‌ها باید در اولویت نخست هر پژوهش مبتنی بر تحلیل سری‌های زمانی قرار گیرد. در میان ویژگی‌های مختلف یک دیتاست، «جامعیت» از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است؛ جامعیت زمانی (پوشش بلندمدت و پیوسته داده‌ها) و جامعیت متغیرها (پوشش ابعاد مختلف موضوع مورد مطالعه) از الزامات اساسی برای تضمین اعتبار و پایداری نتایج تحلیلی به شمار می‌آیند. در همین راستا، پایگاه داده‌های توسعه جهانی بانک جهانی به‌واسطه برخورداری از هر دو نوع جامعیت، به‌عنوان یکی از منابع معتبر و استاندارد در مطالعات اقتصادی و اجتماعی شناخته می‌شود.

این مجموعه داده با پوشش زمانی بلندمدت از سال ۱۹۶۰ تاکنون، امکان تحلیل روندهای کلان و بررسی اثرات رویدادهای تاریخی را فراهم می‌آورد. همچنین، با ارائه بیش از ۱۵۰۰ شاخص اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای کشورهای مختلف، شرایط لازم برای تحلیل‌های چندمتغیره، پیش‌بینی‌های اقتصادی و مقایسه‌های بین‌المللی را مهیا می‌سازد. بر این اساس، در مطالعه حاضر از داده‌های شاخص‌های توسعه بانک جهانی برای کشور ایران طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ استفاده شده است تا تحلیلی جامع و قابل اتکا مبتنی بر داده‌های معتبر صورت پذیرد.

۳-۱. پیش‌پردازش داده‌ها

در این مطالعه، برای پیش‌پردازش داده‌ها **و** رفع مقادیر گمشده از روش جایگزینی داده‌های مفقوده مبتنی بر خودرمزگذار[1] استفاده شده است. این روش یکی از پیشرفته‌ترین تکنیک‌های یادگیری عمیق است که به دلیل توانایی بالا در بازسازی داده‌ها و استخراج ویژگی‌های پیچیده، دقت بسیار بالایی را در پیش‌بینی مقادیر گمشده ارائه می‌دهد. با توجه به اینکه در این مطالعه از داده‌های سری زمانی انرژی ایران در بازه ۱۹۹۰ تا

[1] Autoencoder-based Imputation

۲۰۲۳ استفاده شده که شامل الگوهای پیچیده و تغییرات غیرخطی است، روش‌های سنتی مانند میانگین‌گیری یا رگرسیون خطی دقت لازم را ندارند.

۳-۲. محاسبه فاصله و شباهت

در این مطالعه، برای طبقه‌بندی شاخص‌های کلان انرژی شامل شدت مصرف انرژی و مصرف کل انرژی از روش‌های مبتنی بر فاصله[1] استفاده شده است. این روش‌ها به دلیل توجه به ترتیب زمانی و الگوهای غیرخطی، برای تحلیل سری‌های زمانی بلندمدت و شناسایی الگوهای پیچیده مصرف انرژی بسیار مناسب هستند. در ادامه به جزئیات کامل هر روش و نحوه استفاده در این مطالعه پرداخته می‌شود.

اندازه‌گیری شباهت در سری‌های زمانی مبنایی بر خوشه‌بندی و طبقه‌بندی این داده‌ها می‌باشد که وظیفه آن اندازه‌گیری فاصله دو سری زمانی از هم می‌باشد. شباهت سری‌های زمانی نقش مهمی در این روش‌ها برای تحلیل مسیر زمانی ایفا می‌کند. اول، شباهت سری‌های زمانی به عنوان یک معیار مطلق برای استنتاج آماری در مورد رابطه بین سری‌های زمانی مجموعه داده های مختلف استفاده شده است(تیپت و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۰). در سال‌های اخیر، افزایش جمع‌آوری داده امکان ایجاد داده‌های سری زمانی را فراهم کرده‌است. درحالیکه در چند سال گذشته، وظایفی نظیر رگرسیون، طبقه‌بندی و خوشه‌بندی و بخش‌بندی برای کار با سری‌های زمانی به کار می‌رفت. در بسیاری موارد، این وظایف نیازمند تعریف یک اندازگیری فاصله بود که میزان شباهت میان سری‌های زمانی را نشان دهد. به همین علت مطالعه انواع روش‌های اندازه‌گیری فاصله میان سری‌های زمانی مهم و ضروری به نظر می‌رسد.

در بین انواع مختلف معیارهای اندازه‌گیری شباهت سری‌های زمانی، معیارهای شباهت را می‌توان به سه دسته می‌توان تقسیم کرد: معیارهای قدم به قدم، معیارهای کشسان، روش‌های هندسی.

معیارهای قدم به قدم شامل فاصله اقلیدسی و همبستگی است. فاصله اقلیدسی اولین تابع فاصله‌ای معیار اندازه‌گیری شباهت میان سری‌های زمانی هست که به علت سادگی محاسبات مورد توجه است اما این روش برای زیرمسیرهای با طول برابر به کار می‌رود و از شیفت زمانی محلی تبعیت نمی‌کند. ضریب همبستگی، روشی هست برای تخمین اینکه دو سری زمانی با چه درجه‌ای با هم همبستگی دارند. پیرسون از ۱- تا ۱ است و جای تعجب نیست که ضریب همبستگی پیرسون با فاصله اقلیدسی میان اشکال نرمال ارتباط نزدیک دارد.

معیارهای کشسان پیچ‌وتاب زمانی پویا[2] (برخلاف فاصله اقلیدسی در این روش هر نقطه از سری زمانی اول می‌تواند با هر نقطه اختیاری از سری زمانی دوم مقایسه شود به شرطی که اختلافات آن‌ها کمینه باشد)، طول بزرگ‌ترین مسیر مشترک[3] (این روش تغییر فاصله ویرایش است و ایده اصلی آن این است که با اجازه دادن به کشش دو سری، بدون تغییر ترتیب مجدد عناصر، اجازه می‌دهد که برخی از عناصر بی‌همتا باشند)،

[1] Distance-based Methods
[2] Dynamic time warping (DTW)
[3] Longest common subsequence (LCSS)

فاصله ویرایش در توالی واقعی[1] (این روش براساس فاصله ویرایش روی رشته‌ها است و با کمی‌سازی فاصله بین یک جفت عنصر با دو مقدار ۰ و ۱ ، جلوه‌های نویز را از بین می‌برد)، فاصله ویرایش با مجازات واقعی[2] (با همراهی L1-norm و فاصله ویرایش، ERP می‌تواند از تغییر زمان محلی پشتیبانی کند و از L1-norm بین دو عنصر غیر شکاف استفاده می‌کند) ، فاصله ویرایش پیچ و تاب زمانی[3] (یک معیار تشابه متریک است که اجازه می‌دهد اشکال حتی در مورد محور زمان مطابقت داشته‌باشد).

معیارهای هندسی شامل هاسدورف (سوپریمم کمترین فاصله از نقطه در مجموعه ۱ تا هر نقطه دیگر در مجموعه ۲)، فرشت گسسته (حداقل طولی است که برای اتصال سگ و صاحب آن لازم می‌باشد) و فاصله متقارن بخش–مسیر[4] (فاصله نقطه از پاره‌خط را برای تمام نمونه‌های مسیر مرجع و تمام پاره‌خط‌های مسیر دیگر محاسبه می‌کند و سپس میانگین فاصله را گزارش می‌دهد) است.

جدول شماره (۲) مقایسه روش‌های اندازه‌گیری شباهت سری‌های زمانی

روش	مزایا	معایب
فاصله اقلیدسی	ساده ترین معیار واضح ترین و بیش ترین استفاده	یکسان بودن طول دو سری زمانی عدم حمایت از شیفت زمانی محلی ناکارآمدی با افزایش ابعاد سری زمانی حساس بودن فاصله اقلیدسی به تغییرات کوچک در محور زمان
پیچ‌وتاب زمانی پویا	فاصله DTW مقیاسگذاری محلی را برای بُعد زمان انجام میدهد و حفظ ترتیب نمونه‌های دنباله زمانی را تضمین میکند. هر نقطه از سری زمانی اول میتواند با هر نقطه اختیاری از سری دوم مقایسه شود، به شرطی که اختلافات آنها کمینه شود. از مزایای این تابع فاصله میتوان به قابلیت آن در اندازه‌گیری فاصله میان سری زمانی با طول‌های متفاوت و حمایت از شیفت زمانی محلی اشاره کرد.	زمانگیر بودن حساس بودن به نویز نادرست بودن خوشه بندی به علت وجود تعداد زیاد داده پرت در ابتدا و انتهای توالی (برخی از عناصر ممکن است که غیر قابل مقایسه باشد جایی که DTW باید همه عناصر مطابقت داشته باشد.) محدود نمودن انحراف زمانی نیاز به محاسبه برخی از norm Lp های پرهزینه متریک نبودن نیاز به جفت کردن تمام عناصر در سری ها
طول بزرگ‌ترین مسیر مشترک	در برابر نویز بسیار قوی است و علاوه بر دادن وزن بیشتر به قسمتهای مشابه سری، مفهوم شهودی بین مسیرها را ارائه میدهد. با تمرکز بر قسمتهای مشترک، خوشهبندی صحیح را به دست میدهد. محاسبات تقریبی کارآمدتر را امکانپذیر میکند. در این روش، برخلاف روشهای DTW و فاصله اقلیدسی دادهها به نرمال سازی نیاز ندارند.	نتایج دادهکاوی سری زمانی تحت LCSS به شدت به آستانه شباهت بستگی دارد، زیرا رویکرد اندازهگیری شباهت در LCSS یک رویکرد صفر و یک است. از آنجا که هیچ اطلاعاتی در مورد دادهها وجود ندارد و تعیین میزان درست آستانه شباهت بسیار

[1] Edit distance on real sequence (EDR)
[2] Edit distance with real penalty (ERP)
[3] Time warp edit distance (TWED)
[4] Symmetrized Segment-Path Distance

روش	مزایا	معایب
		دشوار است ، استفاده از LCSS در واقع می‌تواند منجر به نتایج ضعیفی شود. متریک نیست و از نابرابری مثلثی تبعیت نمی‌کند.
فاصله ویرایش در توالی واقعی	توابع فاصله موجود معمولا به نویز، تغییر و مقیاسبندی دادهها حساس هستند که معمولا به دلیل خرابی سنسور، خطاهای موجود در تکنیکهای تشخیص، سیگنالهای اختلال و نرخهای مختلف نمونهبرداری رخ میدهد. پاک کردن داده برای از بین بردن این موارد همیشه امکانپذیر نیست. EDR در برابر نقص داده قوی است.	متریک نبودن دلیل اینکه از نابرابری مثلث تبعیت نمی‌کند، این است که وقتی شکاف ایجاد شود، عنصر قبلی را تکرار می‌کند.
فاصله ویرایش با مجازات واقعی	ERP تنها مسافتی است که صرف نظر از هنجار Lp استفاده شده ، متریک است، اما برای سریهای نرمال ، به ویژه برای تعیین مقدار g شکاف ، بهتر کار می کند. ERP یک روش مبتنی بر فاصله ویرایش است که از مزایای DTW و EDR باهم سود میبرد. این معیار یک نقطه مرجع برای اندازه گیری فاصله در زمان ایجاد شکاف میان تطبیق نمونه‌ها استفاده می‌کند. ERP، EDR را به معیار متریک که تابع فاصلهای از قانون نامساوی مثلث پیروی میکند، تبدیل میکند.	چون این روش شامل آستانه زمانی است، اگر اختلاف بین نمایه‌سازی زمان آن‌ها بیش از حد زیاد باشد، دو مکان را با هم مقایسه نخواهندکرد.
فاصله ویرایش پیچ و تاب زمانی	شامل خصوصیات DTW و LCSS است. این روش پیچ و تاب زمانی بصورت یک ضریب برای جریمه انحراف در بعد زمانی کنترل میکند.	اصالت TWEDدر مقایسه با ERP، جدا از مدیریت الحاق و حذف معرفی پارامتر سختی است. میزان خطای طبقه بندی نسبت به پارامتر سختی بسیار حساس است در حالیکه برخی از رفتارهای منظم را نشان می‌دهد.
هاسدروف	فاصله هاسدروف یک معیار است. فاصله بین دو مجموعه از فضاهای متریک را اندازه گیری می‌کند. شباهت مکانی بین دو مسیر را نشان می‌دهد و میزان دور بودن مسیرها از یکدیگر را اندازه‌گیری میکند.	زمانی که دو منحنی فاصله هاسدورف کمی دارد اما در کل شبیه به هم نیستند. در این صورت فاصله هاسدورف مناسب نیست. دلیل این عدم توافق این است که فاصله هاسدورف فقط مجموعه نقاط هر دو منحنی را در نظر میگیرد و روند منحنی‌ها را منعکس نمی‌کند. با این حال روند در بسیاری از کاربردها مهم است مانند تشخیص دست خط. فاصله هاسدورف علاوه بر نمونههای مسیر، تمامی نقاط مابین نمونه‌ها را نیز در نظر می‌گیرد که باعث پیچیده شدن محاسباتی این معیار می‌گردد. در بسیاری از دامنههایی که به مقایسه شکل نیاز است، به طور گستردهای مورد استفاده قرارگرفتهاند ولی نمیتوانند مسیرها را بطور کلی مورد مقایسه قرار دهند.

روش	مزایا	معایب
		در واقع فاصله فریشه و هاسدروف حداکثر فاصله بین دو جسم را در نقاط داده شده در دو جسم برمی‌گرداند.
فریشه گسسته	نمونه‌ها و ترتیب آنها را بر روی یک دنباله پیوسته در نظر می‌گیرد. ایتر و همکاران فاصله فریشه گسسته مبتنی بر مدل برگشتی را برای تخمین فاصله فریشه پیوسته توسعه دادند. این روش پیچیدگی معیار فریشه را کاهش می‌دهد.	در بسیاری از دامنه‌هایی که به مقایسه شکل نیاز است، به طور گستردهای مورد استفاده قرارگرفته‌اند ولی نمی‌توانند مسیرها را بطور کلی مورد مقایسه قرار دهند. در واقع ف فاصله فریشه و هاسدروف حداکثر فاصله بین دو جسم را در نقاط داده شده در دو جسم برمی گرداند.
فاصله متقارن بخش–مسیر	چون روش SSPD مجموع فاصله های اقلیدسی است و با توجه به اینکه برپای نقطه به بخش است، مشکل روش اقلیدسی را حل کرده است و متقارن می‌باشد. مانند روش هاسدروف وابسته به فاصله نقطه از پاره خط است. فاصله نقطه از پاره خط را برای تمام نمونههای مسیر مرجع و تمام پاره‌خط‌های دیگر محاسبه می‌کند. هاوسدورف از حداکثر فاصله نقطه به مسیر و SSPD از میانگین استفاده می کند ، که توضیح می‌دهد چرا آنها تقریباً زمان محاسبه یکسانی دارند. این فاصله از نظر زمان حساس نیست و شکل و فاصله فیزیکی بین دو جسم مسیر را مقایسه می کند. این روش به هیچ پارامتر اضافی و نه نقشه برداری مسیرهای مختلف نیاز ندارد.	

منبع: یافته‌های پژوهش

هر یک از روش‌های مشابهت‌یابی سری‌های زمانی صرفاً بر اساس میزان شباهت رفتاری داده‌ها با متغیر هدف، آن‌ها را رتبه‌بندی می‌کنند. به همین دلیل، ممکن است برخی متغیرها صرفاً به‌دلیل الگوی زمانی مشابه، در رتبه‌های بالا قرار گیرند، در حالی که از نظر مفهومی یا تحلیلی ارتباط معناداری با متغیر مورد بررسی نداشته باشند.

۳-۳. وزن‌دهی براساس اهمیت متغیرها

در این پژوهش، برای ارزیابی میزان اهمیت متغیرها در تبیین شدت انرژی، از رویکردی ترکیبی بهره گرفته شده که تلفیقی از میزان تکرار متغیرها در چندین روش مشابهت‌یابی و رتبه‌بندی آن‌ها است. این روش، امکان ارائه یک شاخص کمی برای مقایسه اهمیت نسبی متغیرها را فراهم می‌کند و به تفکیک متغیرهای کلیدی (که در رتبه‌های بالای چند روش ظاهر شده‌اند) از متغیرهایی که به‌صورت پراکنده یا در رتبه‌های پایین دیده شده‌اند، کمک می‌کند. در گام نخست، تعداد دفعاتی که هر متغیر در میان هفت روش مختلف مشابهت‌یابی ظاهر شده، به‌عنوان شاخصی از پایداری و تأثیرگذاری آن ثبت شده است. سپس، به هر متغیر در هر روش، عددی به‌عنوان وزن اختصاص یافته که با رتبه آن رابطه معکوس دارد. این وزن‌دهی به‌گونه‌ای تعریف شده است که متغیرهای رتبه اول وزن ۲۰ و متغیرهای رتبه بیستم وزن ۱ را دریافت می‌کنند، بر اساس رابطه:

$$W_{i,m} = R_{i.m} - 21 \quad (۱)$$

که در آن:

$R_{i.m}$ رتبه متغیر i در روش m است.

مقدار ثابت ۲۱ تنظیم شده است تا متغیرهایی که در رتبه ۱ قرار دارند، بیشترین وزن (۲۰) و متغیرهای با رتبه ۲۰، کمترین وزن (۱) را دریافت کنند.

برای دستیابی به وزن نهایی هر متغیر، مجموع وزن‌های اختصاص‌یافته به آن در تمامی روش‌هایی که در آن حضور داشته است، محاسبه شده است:

$$W_i^{total} = \sum_{m=1}^{M} W_{i,m} \quad (۲)$$

سپس، برای استانداردسازی مقادیر و حذف تأثیر تعداد دفعات ظاهر شدن متغیر، میانگین وزن متغیر با تقسیم مقدار کل وزن آن بر تعداد روش‌هایی که در آن ظاهر شده، به‌دست آمده است:

$$W_i^{mean} = \frac{W_i^{total}}{F_i} \quad (۳)$$

این روش وزن‌دهی با ترکیب اطلاعات مربوط به رتبه و میزان تکرار هر متغیر، ابزاری مؤثر برای شناسایی متغیرهای کلیدی در تحلیل شدت انرژی فراهم می‌سازد. از آنجا که صرف ظاهر شدن یک متغیر در میان خروجی‌های یک روش مشابهت‌یابی نمی‌تواند به‌تنهایی نشان‌دهنده اهمیت واقعی آن باشد، این رویکرد با در نظر گرفتن هر دو مؤلفه "فراوانی" و "موقعیت رتبه‌ای" به ارزیابی دقیق‌تری از نقش متغیرها در الگوی رفتاری شدت انرژی منجر می‌شود. متغیرهایی که در چندین روش مشابهت‌یابی حضور یافته و در عین حال در رتبه‌های بالاتر نیز ظاهر شده‌اند، به‌عنوان عوامل مؤثر و پایدار در روند تغییرات شدت انرژی شناسایی می‌شوند. این متغیرها نشان‌دهنده پیوند عمیق‌تری با سازوکارهای اصلی مؤثر بر شدت انرژی هستند و می‌توانند پایه‌ای برای سیاست‌گذاری هدفمند، بهینه‌سازی مصرف انرژی و تدوین راهبردهای پایدار در این حوزه فراهم کنند. در مقابل، متغیرهایی که یا به‌ندرت در روش‌های مختلف مشابهت‌یابی شناسایی شده‌اند یا رتبه پایینی داشته‌اند، احتمالاً تأثیرگذاری کمتری بر شدت انرژی دارند یا نقش آن‌ها در شرایط خاص یا کوتاه‌مدت محدود بوده است.

بنابراین، چنین متغیرهایی ممکن است در مدل‌سازی‌های کلان یا طراحی سیاست‌های جامع انرژی، اولویت کمتری داشته باشند. به‌طور کلی، این چارچوب تحلیلی می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای غربال‌گری متغیرها عمل کرده و در انتخاب ورودی‌های مؤثر در مدل‌های پیش‌بینی، تحلیل علّی و تدوین سیاست‌های انرژی‌محور نقش مهمی ایفا کند.

۴. تجزیه و تحلیل داده ها و یافته های پژوهش

در مطالعه حاضر از ۷ روش مشابهت یابی سری‌های زمانی برای اندازه‌گیری مشابهت متغیرهای توسعه بانک جهانی با چهار متغیر کلان انرژی مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه ۲۰ متغیر اول با بیشترین مشابهت به متغیرهای انرژی برای هر ۷ روش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱. شدت انرژی

جدول ۲ شامل بیست متغیر با بیشترین شباهت به شاخص شدت انرژی در ایران است. با بررسی این شاخص‌ها می‌توان استنباط کرد که شدت انرژی در ایران نه تنها به عوامل اقتصادی، بلکه به عوامل اجتماعی و محیط‌زیستی نیز وابسته است. در تحلیل روش‌های مختلف، متغیرهای مرتبط با محیط‌زیست، رفاه اجتماعی و منابع طبیعی بیشترین شباهت را به شدت انرژی ایران داشته‌اند، در حالی که متغیرهای مربوط به حکمرانی و اقتصاد دیجیتال در بسیاری از روش‌ها در اولویت‌های پایین قرار گرفته‌اند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که شدت انرژی در ایران بیش از آنکه به سیاست‌های اقتصادی و فناوری مرتبط باشد، به سیاست‌های زیست‌محیطی، منابع طبیعی و رفاه اجتماعی وابسته است.

جدول شماره (۲) ۲۰ شاخص مشابه به متغیر شدت انرژی در روش‌های مشابهت یابی مختلف

روش اقلیدسی	فاصله تغییر شکل پویا	فاصله بلندترین زیررشته مشترک	ویرایشی با جریمه واقعی	فاصله هاوسدورف	فاصله ویرایشی پیچشی زمانی	فاصله فرشه
هزینه های جاری سلامت (درصد تولید ناخالص داخلی)	مناطق حفاظت شده زمینی (درصد کل مساحت زمین)	آموزش اجباری، مدت (سال)	میزان مرگ و میر خودکشی (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت)	شیوع ناامنی شدید غذایی در جمعیت (٪)	میزان مرگ و میر خودکشی، مرد (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت مرد)	مناطق حفاظت شده زمینی (درصد کل مساحت زمین)
شیوع سوء تغذیه (درصد جمعیت)	پوشش برنامه های حمایت اجتماعی و کار (درصد جمعیت)	میزان مرگ و میر خودکشی، مرد (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت مرد)	آموزش اجباری، مدت (سال)	بیمه و خدمات مالی (درصد واردات خدمات، BoP)	شیوع سوء تغذیه (درصد جمعیت)	پوشش برنامه های حمایت اجتماعی و کار (درصد جمعیت)
نرخ مرگ‌ومیر ناشی از خودکشی در مردان (به‌ازای هر ۱۰۰,۰۰۰ نفر مرد)	شیوع ناامنی شدید غذایی در جمعیت (درصد)	جمعیت ۰۰-۰۴ ساله، زن (درصد جمعیت زن)	مواد غذایی، نوشیدنی ها و تنباکو (درصد ارزش افزوده در تولید)	بیکاری با تحصیلات پایه (درصد کل نیروی کار با تحصیلات پایه)	میزان مرگ و میر خودکشی (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت)	پوشش برنامه های شبکه ایمنی اجتماعی (درصد جمعیت)
مدت زمان آموزش اجباری (بر حسب سال)	میزان مرگ و میر خودکشی، مرد (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت مرد)	جمعیت ۰۰-۰۴ ساله، مرد (٪ جمعیت مرد)	نرخ مرگ و میر خودکشی، زن (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت زن)	بیکاری با تحصیلات پایه، مرد (درصد نیروی کار مرد با تحصیلات پایه)	آموزش اجباری، مدت (سال)	اجاره گاز طبیعی (درصد تولید ناخالص داخلی)
کیفیت مقررات: تعداد منابع	مناطق حفاظت شده زمینی و دریایی (درصداز کل منطقه)	بیکاری با تحصیلات پایه، زن (درصد نیروی کار زن با تحصیلات پایه)	هزینه های جاری سلامت (درصد تولید ناخالص داخلی)	مناطق حفاظت شده زمینی (درصد کل مساحت زمین)	مراحل ثبت ملک (شماره)	صرفه جویی خالص تنظیم شده، از جمله آسیب انتشار

روش اقلیدسی	فاصله تغییر شکل پویا	فاصله بلندترین زیررشته مشترک	ویرایشی با جریمه واقعی	فاصله هاوسدورف	فاصله ویرایشی پیچشی زمانی	فاصله فرشه
						ذرات (درصد از GNI)
کنترل فساد: تعداد منابع	پوشش برنامه های شبکه ایمنی اجتماعی (درصد جمعیت)	بیکاری با تحصیلات پایه، مرد (درصد نیروی کار مرد با تحصیلات پایه)	جمعیت ۰۰-۰۴ ساله، زن (درصد جمعیت زن)	احتمال مرگ در بین جوانان ۲۰-۲۴ سال (در هر ۱۰۰۰)	هزینه های جاری سلامت (درصد تولید ناخالص داخلی)	پوشش برنامه های شبکه امنیت اجتماعی در پنجک سوم (درصد جمعیت)
اثربخشی دولت: تعداد منابع	مراحل راه اندازی برای ثبت کسب و کار، مرد (شماره)	بررسی میانگین مصرف یا درآمد سرانه، کل جمعیت (۲۰۱۷ PPP دلار در روز)	نسبت وابستگی سنی، مسن (٪ جمعیت در سن کار)	نسبت اشتغال به جمعیت، سنین ۱۵ تا ۲۴ سال، زن (درصد) (برآورد ملی)	کیفیت تنظیمی: تعداد منابع	شاخص عمق اطلاعات اعتباری (۰=کم تا ۸=بالا)
نرخ مرگ‌ومیر ناشی از خودکشی (به‌ازای هر ۱۰۰,۰۰۰ نفر جمعیت)	شاخص عمق اطلاعات اعتباری (۰=کم تا ۸=بالا)	انتشار دی اکسید کربن (CO_2) بدون احتساب LULUCF سرانه (t CO2e/capit al)	صرفه جویی تعدیل شده: کاهش منابع طبیعی (درصد GNI)	زمین قابل کشت (درصد مساحت زمین)	مناطق حفاظت شده زمینی (درصد کل مساحت زمین)	مناطق حفاظت شده زمینی و دریایی (درصد از کل منطقه)
شیوع کوتاهی قد نسبت به سن (برآورد مدل‌سازی شده، درصدی از کودکان زیر ۵ سال)	مراحل راه اندازی برای ثبت کسب و کار (شماره)	میزان مرگ و میر خودکشی (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت)	میزان مرگ و میر خودکشی، مرد (به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت مرد)	پوشش برنامه های حمایت اجتماعی و کار (درصد جمعیت)	میزان کسب و کار شاخص افشا (۰ = افشای کمتر تا ۱۰ = افشای بیشتر)	میزان کسب و کار شاخص افشا (۰ = افشای کمتر تا ۱۰ = افشای بیشتر)
ثبات سیاسی و عدم وجود خشونت/تروریسم : تعداد منابع	پوشش برنامه های شبکه امنیت اجتماعی در پنجک سوم (درصد جمعیت)	کنترل فساد: تعداد منابع	جمعیت ۰۰-۰۴ ساله، مرد (٪ جمعیت مرد)	بیکاری، مرد (درصد نیروی کار مرد) (تخمین مدل شده ILO)	کنترل فساد: تعداد منابع	مراحل راه اندازی برای ثبت کسب و کار، مرد (شماره)
شیوع اضافه‌وزن (برآورد مدل‌سازی شده، درصدی از	اجاره گاز طبیعی (درصد تولید ناخالص داخلی)	کیفیت تنظیمی: تعداد منابع	شیوع مصرف فعلی تنباکو، مردان	پوشش برنامه های شبکه ایمنی	برداشت سالانه آب شیرین، خانگی (درصد از	شیوع سوء تغذیه (درصد جمعیت)

روش اقلیدسی	فاصله تغییر شکل پویا	فاصله بلندترین زیررشته مشترک	ویرایشی با جریمه واقعی	فاصله هاوسدورف	فاصله ویرایشی پیچشی زمانی	فاصله فرشه
کودکان زیر ۵ سال)			(درصد از مردان بزرگسال)	اجتماعی (درصد جمعیت)	کل برداشت آب شیرین)	
برداشت سالانه آب شیرین، خانگی (درصد از کل برداشت آب شیرین)	صرفه جویی خالص تعدیل شده، به استثنای آسیب انتشار ذرات (درصد GNI)	مواد غذایی، نوشیدنی ها و تنباکو (درصد ارزش افزوده در تولید)	شیوع ناامنی شدید غذایی در جمعیت (درصد)	نسبت اشتغال به جمعیت، سنین ۱۵ تا ۲۴ سال، زن (درصد) (تخمین مدل شده ILO)	شیوع ناامنی شدید غذایی در جمعیت (درصد)	برداشت سالانه آب شیرین، خانگی (درصد از کل برداشت آب شیرین)
مراحل راه اندازی برای ثبت کسب و کار، مرد (شماره)	نوجوانان خارج از مدرسه، زن (درصد از زنان در سن دبیرستان)	هزینه روش های راه اندازی کسب و کار، مردان (درصد از GNI سرانه)	نسبت جمعیت بیشتر به زیر خط فقر مصرف متوسط ۶۰ درصد توسط هزینه های مراقبت های بهداشتی از جیب (درصد) رسید.	نسبت جمعیت فقر ۲.۱۵ دلار در روز (PPP 2017) (درصد جمعیت)	اثربخشی دولت: تعداد منابع	نوجوانان خارج از مدرسه (درصد سنین متوسطه پایین)
انتشار دی اکسید کربن (CO_2) بدون احتساب LULUCF سرانه (t CO2e/capit al)	صرفه جویی خالص تنظیم شده، از جمله آسیب انتشار ذرات (درصد از GNI)	مخارج دولتی به ازای هر دانش آموز، ابتدایی (درصد تولید ناخالص داخلی سرانه)	بیکاری با تحصیلات پایه (درصد کل نیروی کار با تحصیلات پایه)	شیوع دیابت (درصد جمعیت ۲۰ تا ۷۹ ساله)	مناطق حفاظت شده زمینی و دریایی (درصد از کل منطقه)	گونه های گیاهی (بالاتر)، در معرض تهدید
مراحل راه اندازی برای ثبت کسب و کار (شماره)	پوشش برنامه های شبکه تامین اجتماعی در پنجک دوم (درصد جمعیت)	جمعیت سنی ۳۵-۳۹، زن (درصد جمعیت زن)	واردات کالاهای ICT (درصد کل واردات کالا)	شاخص عمق اطلاعات اعتباری (۰=کم تا ۸=بالا)	شاخص عمق اطلاعات اعتباری (۰=کم تا ۸=بالا)	شیوع ناامنی شدید غذایی در جمعیت (درصد)
واردات کالا از اقتصادهای با درآمد کم و متوسط در جنوب آسیا (درصد کل واردات کالا)	شیوع دیابت (درصد جمعیت ۲۰ تا ۷۹ ساله)	شیوع ناامنی شدید غذایی در جمعیت (٪)	صادرات مواد غذایی (درصد صادرات کالا)	صرفه جویی خالص تنظیم شده، از جمله آسیب انتشار ذرات (درصد از GNI)	بیکاری با تحصیلات پایه، زن (درصد نیروی کار زن با تحصیلات پایه)	کودکان خارج از مدرسه، پسر (درصد سنین دبستان پسرانه)
کیفیت مقررات: رتبه صدکی	شیوع سوء تغذیه (درصد جمعیت)	نسبت وابستگی سنی، مسن (٪	وام خالص (+) / استقراض خالص ()	تولید ناخالص داخلی به ازای هر واحد مصرف	بیکاری با تحصیلات پایه، مرد (درصد	میزان مرگ و میر خودکشی، مرد (به ازای

روش اقلیدسی	فاصله تغییر شکل پویا	فاصله بلندترین زیررشته مشترک	ویرایشی با جریمه واقعی	فاصله هاوسدورف	فاصله ویرایشی پیچشی زمانی	فاصله فرشه
		جمعیت در سن کار)	(درصد از تولید ناخالص داخلی)	انرژی (PPP ثابت ۲۰۲۱ دلار به ازای هر کیلوگرم معادل نفت)	نیروی کار مرد با تحصیلات پایه)	هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت مرد)
انتشار اکسید نیتروژن (N_2O) از فرآیندهای صنعتی (Mt CO_2e)	نسبت جمعیت بیشتر به زیر خط فقر مصرف متوسط ۶۰ درصد توسط هزینه های مراقبت های بهداشتی از جیب (درصد) رسید.	جمعیت سنی ۳۵–۳۹، مرد (درصد از جمعیت مرد)	واردات کالا از اقتصادهای با درآمد کم و متوسط در جنوب صحرای آفریقا (درصد از کل واردات کالا)	شکاف فقر ۳.۶۵ دلار در روز (2017 PPP) (درصد)	بیکاری با تحصیلات پایه (درصد کل نیروی کار با تحصیلات پایه)	صرفه جویی خالص تعدیل شده، به استثنای آسیب انتشار ذرات (درصد GNI)
جمعیت ۶۵ سال و بالاتر، زن (درصد جمعیت زن)	سایر هزینه ها (درصد هزینه)	علت مرگ، بیماری های واگیر و شرایط مادری، دوران بارداری و تغذیه (درصد از کل)	میزان تحصیلات، حداقل کارشناسی ارشد یا معادل، جمعیت ۲۵+، زن (درصد) (تجمیع)	اشتراک پهنای باند ثابت (به ازای هر ۱۰۰ نفر)	ثبات سیاسی و عدم وجود خشونت/تروریسم: تعداد منابع	واردات کالا از اقتصادهای با درآمد کم و متوسط در جنوب آسیا (درصد کل واردات کالا)
ثبت‌نام در مدارس متوسطه خصوصی (درصدی از کل مدارس متوسطه)	میزان کسب و کار شاخص افشا (۰ = افشای کمتر تا ۱۰ = افشای بیشتر)	هزینه های جاری سلامت (٪ تولید ناخالص داخلی)	سایر هزینه ها (درصد هزینه)	اجاره گاز طبیعی (درصد تولید ناخالص داخلی)	نسبت اشتغال به جمعیت، سنین ۱۵ تا ۲۴ سال، زن (درصد) (برآورد ملی)	پوشش برنامه های شبکه تامین اجتماعی در پنجک دوم (درصد جمعیت)

منبع: یافته‌های پژوهش

ارائه نمودار فراوانی متغیرها می‌تواند درک جامع‌تری از میزان اهمیت آن‌ها در تحلیل شدت انرژی فراهم کند. بررسی نمودار فراوانی نشان می‌دهد که "شیوع ناامنی شدید غذایی در جمعیت" (۶ بار)، "میزان مرگ و میر خودکشی در مردان" (۵ بار)، و متغیرهایی مانند "هزینه‌های جاری سلامت"، "شیوع سوء تغذیه"، "مناطق حفاظت‌شده زمینی" و "شاخص عمق اطلاعات اعتباری" (هرکدام ۴ بار) از پرتکرارترین شاخص‌ها در روش‌های مختلف مشابهت‌یابی هستند.

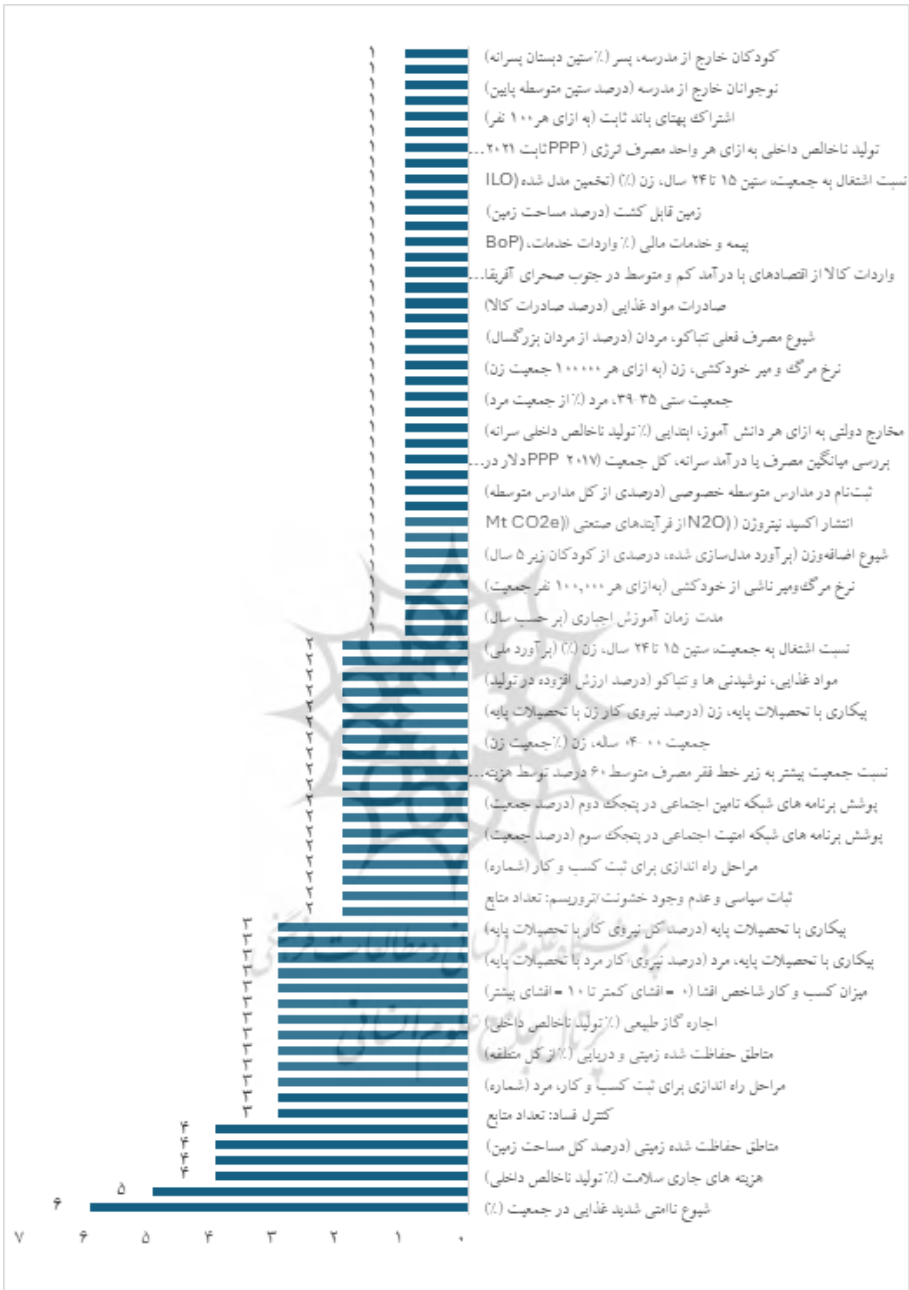
بهبود امنیت انرژی در کشورها به خصوص در کشورهای توسعه یافته، با افزایش انتشار در اکسید کربن و افزایش شدت انرژی همراه است. این رابطه عمدتاً ناشی از وابستگی به شیوه‌های کشاورزی صنعتی و انرژی‌بر

است که برای افزایش تولیدات غذایی ضروری‌اند، اما پیامدهای زیست محیطی سنگینی به همراه دارند. به‌عنوان مثال، استفاده گسترده از ماشین‌آلات سنگین مبتنی بر سوخت‌های فسیلی، کودهای نیتروژنی که در فرآیند تولیدشان گازهای گلخانه‌ای منتشر می‌شود، و سیستم‌های آبیاری ناکارآمد که به مصرف بالای آب و انرژی منجر می‌شوند، همگی در کنار افزایش بازدهی کشاورزی، به تشدید انتشار CO_2 و اتلاف منابع کمک می‌کنند.

شدت انرژی بالا عموماً نشان‌دهنده ناکارآمدی در مصرف انرژی، اتکای بیش‌ازحد به سوخت‌های فسیلی، و فقدان فناوری‌های پاک در تولید و مصرف است. این ناکارآمدی پیامدهای گسترده‌ای برای محیط‌زیست و سلامت انسان به همراه دارد که یکی از کانال‌های اصلی آن آلودگی هوا است. تأثیر آلودگی هوا بر سلامت جسمی به‌خوبی مستند شده است. ذرات معلق بسیار ریز با افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی–عروقی، تنفسی، سرطان ریه و دیابت مرتبط‌اند. آلودگی هوا نه‌تنها بر جسم، بلکه بر سلامت روانی نیز تأثیرگذار است. مواجهه بلندمدت با آلاینده‌های هوا با افزایش ریسک ابتلا به افسردگی، اضطراب، و حتی افزایش نرخ خودکشی مرتبط است.

به‌طور کلی، عوامل اجتماعی–اقتصادی، سلامت و زیست‌محیطی بیشترین همبستگی را با شدت انرژی در ایران دارند .همچنین، سیاست‌های رفاهی، از جمله پوشش شبکه‌های ایمنی اجتماعی، و بهره‌برداری از منابع طبیعی، مانند برداشت آب و حفاظت از زمین، نقش کلیدی در روندهای شدت انرژی ایفا می‌کنند .این یافته‌ها تأکید می‌کنند که ابعاد انسانی و زیست‌محیطی باید به‌عنوان عوامل محوری در تحلیل و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با شدت انرژی در نظر گرفته شوند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



نمودار شماره (۲) فراوانی متغیرهای هم رفتار با شدت انرژی در روش‌های مختلف مشابهت‌یابی

منبع: یافته‌های پژوهش

علاوه بر فراوانی متغیرها در روش‌های مختلف، بررسی اهمیت متغیرها نقش بسزایی در تحلیل شدت انرژی ایفا می‌کند .برای این منظور، وزن‌دهی متغیرها ابزاری مؤثر برای سنجش میزان اهمیت نسبی هر متغیر فراهم می‌آورد. روش وزندهی مورد استفاده در این پژوهش، بر اساس تلفیق رتبه‌بندی و میزان تکرار متغیرها در روش‌های مختلف، یک شاخص کمی برای مقایسه تأثیرگذاری متغیرها ارائه می‌دهد. این روش باعث تمایز متغیرهای کلیدی که در رتبه‌های بالای روش‌های مختلف ظاهر شده‌اند، از متغیرهایی که به‌صورت پراکنده و در رتبه‌های پایین حضور دارند، می‌شود.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و آنچه در نمودار قابل مشاهده است، متغیرهای مرتبط با بهداشت، تغذیه، محیط‌زیست و آموزش بیشترین تأثیر را بر شدت انرژی دارند .متغیرهایی نظیر شیوع ناامنی غذایی، هزینه‌های سلامت، سوءتغذیه و مناطق حفاظت‌شده همواره در روش‌های مختلف ظاهر شده و رتبه‌های بالایی کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده اهمیت پایدار آن‌ها در مدل‌های گوناگون است. از سوی دیگر، متغیرهایی مانند مدت آموزش اجباری و کنترل فساد، هرچند در روش‌های کمتری مشاهده شده‌اند، اما به دلیل رتبه‌های بالاتر، وزن زیادی دریافت کرده‌اند که بر نقش عوامل آموزشی و حکمرانی در شدت انرژی تأکید دارد.

در مقابل، برخی متغیرهای جمعیتی و اقتصادی از جمله ثبت‌نام در مدارس خصوصی، جمعیت سالمندان و صادرات مواد غذایی، وزن کمتری دریافت کرده‌اند که نشان می‌دهد این متغیرها تأثیر ناچیزی در تحلیل شدت انرژی داشته‌اند. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که شدت انرژی به‌طور عمده تحت تأثیر شاخص‌های سلامت، محیط‌زیست، حکمرانی و آموزش قرار دارد، در حالی که برخی متغیرهای اقتصادی و جمعیتی نقش کم‌رنگ‌تری ایفا می‌کنند.

نمودار شماره (۳) تحلیل جامع اهمیت نسبی شاخص‌های هم‌رفتار با شدت انرژی بر اساس رتبه و وزن در شش روش مشابهت‌یابی سری‌های زمانی

منبع: یافته‌های پژوهش

۴-۲. مصرف کل انرژی

تحلیل متغیرهای مشابه به مصرف کل انرژی نشان می‌دهد که ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی، آموزشی، زیرساختی و سلامت عمومی بیشترین همبستگی را با این متغیر دارند. در این میان، مصرف انرژی‌های فسیلی، تولید برق از منابع نفت، گاز و زغال‌سنگ و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان متغیرهای پرتکرار در روش‌های مختلف مشابهت‌یابی مشاهده می‌شوند. این موضوع نشان می‌دهد که کشورهایی که مصرف انرژی بالایی دارند، معمولاً به شدت به سوخت‌های فسیلی وابسته‌اند و در نتیجه، میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در این کشورها نیز بیشتر است. علاوه بر این، برداشت سالانه آب شیرین و منابع آب تجدیدپذیر داخلی از دیگر متغیرهای کلیدی در این تحلیل هستند که نشان‌دهنده ارتباط مصرف انرژی با میزان بهره‌برداری از منابع آبی و وابستگی صنایع و کشاورزی به آب است.

نقش عوامل اقتصادی و توسعه‌ای در مصرف کل انرژی نیز قابل توجه است. متغیرهایی مانند هزینه ناخالص ملی، اعتبارات داخلی به بخش خصوصی، شاخص ارزش صادرات و میزان واردات کالا و خدمات نشان می‌دهند که ساختار اقتصادی کشورها تأثیر مستقیمی بر الگوی مصرف انرژی آن‌ها دارد. کشورهایی که اقتصادهای بزرگ‌تری دارند و وابستگی بالایی به تجارت جهانی دارند، معمولاً مصرف کل انرژی بالاتری نیز دارند. همچنین، یارانه‌ها و نقل و انتقالات مالی دولت در برخی کشورها بر مصرف انرژی اثرگذار است، به‌ویژه در کشورهایی که سیاست‌های حمایتی گسترده‌ای برای انرژی‌های فسیلی دارند. این موضوع تأکید می‌کند که اصلاح سیاست‌های یارانه‌ای و حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند عاملی کلیدی در کاهش مصرف کل انرژی باشد.

ابعاد آموزشی و توسعه انسانی نیز نقش مهمی در مصرف کل انرژی ایفا می‌کنند. شاخص‌هایی مانند ثبت‌نام در مدارس ابتدایی و متوسطه، نسبت دریافت ناخالص در کلاس اول آموزش ابتدایی و سطح تحصیلات نیروی کار نشان می‌دهند که سطح آموزش و توسعه انسانی می‌تواند بر مصرف انرژی در کشورها اثرگذار باشد. کشورهایی که نیروی کار تحصیل‌کرده‌تری دارند، معمولاً به سمت بهره‌وری انرژی و استفاده از فناوری‌های کارآمدتر حرکت می‌کنند. همچنین، متغیرهایی مانند امید به زندگی، نرخ بیکاری جوانان و مشارکت نیروی کار تأیید می‌کنند که ساختار جمعیتی و میزان مشارکت اقتصادی مردم در یک کشور می‌تواند بر الگوی مصرف انرژی تأثیر بگذارد. همچنین میزان مرگ‌ومیر بزرگسالان می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم از طریق کانال آلودگی هوا ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی با مصرف انرژی ارتباط داشته باشد. در واقع، مصرف بالای انرژی به‌ویژه از منابع فسیلی نظیر زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی، منجر به انتشار گسترده آلاینده‌های هوا از جمله ذرات معلق، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد می‌شود. این آلاینده‌ها از عوامل اصلی در بروز بیماری‌های تنفسی، قلبی–عروقی، و سرطان ریه محسوب می‌شوند که در نهایت می‌توانند نرخ مرگ‌ومیر در میان جمعیت بزرگسال را افزایش دهند. بنابراین، رابطه‌ای معنادار و قابل تأمل میان سطح مصرف انرژی (به‌ویژه انرژی فسیلی) و شاخص‌های سلامت عمومی از جمله نرخ مرگ‌ومیر بزرگسالان از طریق اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی ناشی از آلودگی هوا وجود دارد.

از سوی دیگر، ابعاد زیست‌محیطی و حمل‌ونقل نیز ارتباط بالایی با مصرف کل انرژی دارند. شاخص‌هایی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای (متان و دی‌اکسید کربن)، میزان بارش سالانه، سطح تنش آب و انتشار آلاینده‌های صنعتی تأکید می‌کنند که کشورهایی با مصرف انرژی بالا معمولاً اثرات زیست‌محیطی بیشتری نیز دارند. همچنین، خدمات حمل‌ونقل، میزان باربری هوایی و زیرساخت‌های ارتباطی از دیگر شاخص‌های مهم در این تحلیل هستند که نشان می‌دهند کشورهایی با شبکه‌های حمل‌ونقل گسترده و فعالیت‌های تجاری بین‌المللی بالا، مصرف انرژی بیشتری دارند.

جدول شماره (۲) ۲۰ شاخص مشابه به متغیر مصرف انرژی در روش‌های مشابهت یابی مختلف

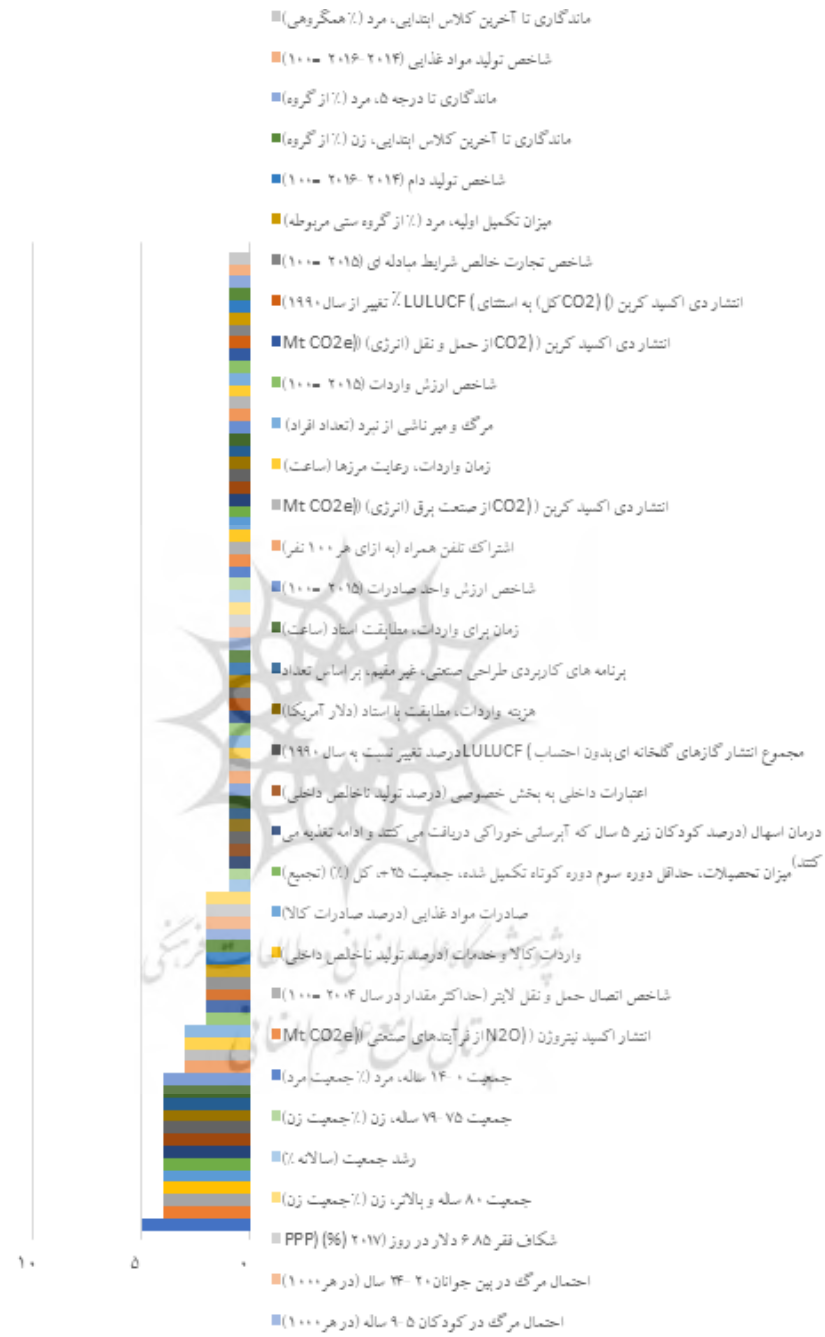
روش اقلیدسی	فاصله تغییر شکل پویا	فاصله بلندترین زیررشته مشترک	ویرایشی با جریمه واقعی	فاصله هاوسدورف	فاصله ویرایشی پیچشی زمانی	فاصله فرشه
مصرف کود (درصد تولید کود)	کودکان (سنین ۰–۱۴) که به تازگی به HIV آلوده شده اند	دانش آموزان پسر زیر حداقل مهارت خواندن در پایان دوره ابتدایی (درصد). آستانه GAML پایین	بیکاری، جوانان مرد (درصد نیروی کار مردان ۱۵ تا ۲۴ ساله) (تخمین مدل شده ILO)	کودکان (سنین ۰–۱۴) که به تازگی به HIV آلوده شده اند	منطقه شهری که ارتفاع آن زیر ۵ متر (کیلومتر مربع) است.	کودکان (سنین ۰–۱۴) که به تازگی به HIV آلوده شده اند
مصرف انرژی سوخت فسیلی (درصد از کل)	مصرف کود (درصد تولید کود)	سهم زنان از جمعیت بالای ۱۵ سال مبتلا به HIV (درصد)	بیکاری، کل جوانان (درصد از کل نیروی کار ۱۵–۲۴ ساله) (تخمین مدل شده ILO)	میزان مرگ و میر، بزرگسال، مرد (به ازای هر ۱۰۰۰ مرد بزرگسال)	مجموع انتشار گازهای گلخانه ای بدون احتساب LULUCF (درصد تغییر نسبت به سال ۱۹۹۰)	میزان مرگ و میر، بزرگسال، زن (به ازای هر ۱۰۰۰ زن بزرگسال)
ثبت نام مدرسه، ابتدایی، پسر (درصد ناخالص)	میزان مرگ و میر، بزرگسال، مرد (به ازای هر ۱۰۰۰ مرد بزرگسال)	استخدام پاره وقت، مرد (درصد از کل اشتغال مردان)	معلمان آموزش دیده در آموزش متوسطه پایین، مرد (درصد معلمان مرد)	مصرف کود (درصد تولید کود)	کودکان (سنین ۰–۱۴) که به تازگی به HIV آلوده شده اند	منابع آب شیرین داخلی تجدیدپذیر، مجموعا (میلیارد متر مکعب)
منابع آب شیرین داخلی تجدیدپذیر، مجموعا (میلیارد متر مکعب)	حمل و نقل هوایی، باربری (میلیون تن کیلومتر)	نیروی کار با تحصیلات پیشرفته، زن (درصد جمعیت زن در سن کار با تحصیلات پیشرفته)	مجموع انتشار گازهای گلخانه ای بدون احتساب LULUCF سرانه (CO2e/capital)	منابع آب شیرین داخلی تجدیدپذیر، مجموعا (میلیارد متر مکعب)	هزینه واردات، مطابقت با اسناد (دلار آمریکا)	ثبت نام مدرسه، ابتدایی، پسر (درصد ناخالص)

روش اقلیدسی	فاصله تغییر شکل پویا	فاصله بلندترین زیررشته مشترک	ویرایشی با جریمه واقعی	فاصله هاوسدورف	فاصله ویرایشی پیچشی زمانی	فاصله فرشه
ثبت نام مدرسه، ابتدایی (درصد ناخالص)	منابع آب شیرین داخلی تجدیدپذیر، مجموعا (میلیارد متر مکعب)	بیکاری، کل (درصد از کل نیروی کار) (برآورد ملی)	ثبت نام مدرسه، متوسطه، زن (درصد ناخالص)	حمل و نقل هوایی، باربری (میلیون تن کیلومتر)	برنامه های کاربردی طراحی صنعتی، غیر مقیم، بر اساس تعداد	ثبت نام مدرسه، ابتدایی (درصد ناخالص)
میزان مرگ و میر، بزرگسال، زن (به ازای هر ۱۰۰۰ زن بزرگسال)	میانگین بارش در عمق (میلی متر در سال)	بیکاری، جوانان مرد (درصد نیروی کار مردان ۱۵ تا ۲۴ ساله) (تخمین مدل شده ILO)	احتمال مرگ در کودکان ۵–۹ ساله (در هر ۱۰۰۰)	میانگین بارش در عمق (میلی متر در سال)	شاخص ارزش صادرات (۲۰۱۵ = ۱۰۰)	ثبت نام مدرسه، ابتدایی، دختر (درصد ناخالص)
تولید برق از منابع نفت، گاز و زغال سنگ (درصد کل)	میزان مرگ و میر، بزرگسال، زن (به ازای هر ۱۰۰۰ زن بزرگسال)	بیکاری، کل جوانان (٪ از کل نیروی کار ۱۵–۲۴ ساله) (تخمین مدل شده ILO)	احتمال مرگ در بین جوانان ۲۰–۲۴ سال (در هر ۱۰۰۰)	منطقه شهری که ارتفاع آن زیر ۵ متر (کیلومتر مربع) است.	سرانه هزینه های بهداشت عمومی دولت داخلی (دلار آمریکا فعلی)	مصرف کود (کیلوگرم در هکتار زمین زراعی)
ثبت نام مدرسه، ابتدایی، دختر (درصد ناخالص)	ثبت نام مدرسه، ابتدایی، پسر (درصد ناخالص)	معلمان آموزش دیده در آموزش متوسطه، مرد (درصد معلمان مرد)	شکاف فقر ۶.۸۵ دلار در روز (2017 PPP) (درصد)	انتشار متان (CH4) (کل) بدون احتساب LULUCF (Mt CO2e)	زمان برای واردات، مطابقت اسناد (ساعت)	نسبت دریافت ناخالص در پایه اول آموزش ابتدایی، کل (درصد گروه سنی مربوطه)
میزان مرگ و میر، بزرگسال، مرد (به ازای هر ۱۰۰۰ مرد بزرگسال)	ثبت نام مدرسه، ابتدایی (درصد ناخالص)	خدمات حمل و نقل (درصد صادرات خدمات تجاری)	جمعیت ۸۰ ساله و بالاتر، زن (درصد جمعیت زن)	ثبت نام مدرسه، ابتدایی، پسر (درصد ناخالص)	شاخص ارزش واحد صادرات (۲۰۱۵ = ۱۰۰)	میزان تکمیل اولیه، مرد (درصد از گروه سنی مربوطه)
نسبت دریافت ناخالص در کلاس اول آموزش ابتدایی، پسر (درصد گروه سنی مربوطه)	منطقه شهری که ارتفاع آن زیر ۵ متر (کیلومتر مربع) است.	خدمات مسافرتی (درصد صادرات خدمات تجاری)	رشد جمعیت (سالانه درصد)	میزان مرگ و میر، بزرگسال، زن (به ازای هر ۱۰۰۰ زن بزرگسال)	میزان مرگ و میر، بزرگسال، زن (به ازای هر ۱۰۰۰ زن بزرگسال)	نسبت دریافت ناخالص در کلاس اول آموزش ابتدایی، پسر (درصد گروه سنی مربوطه)

روش اقلیدسی	فاصله تغییر شکل پویا	فاصله بلندترین زیررشته مشترک	ویرایشی با جریمه واقعی	فاصله هاوسدورف	فاصله ویرایشی پیچشی زمانی	فاصله فرشه
نسبت دریافت ناخالص در پایه اول آموزش ابتدایی، کل (درصد گروه سنی مربوطه)	ثبت نام مدرسه، ابتدایی، دختر (٪ ناخالص)	معلمان آموزش دیده در آموزش متوسطه پایین، مرد (درصد معلمان مرد)	جمعیت ۷۵–۷۹ ساله، زن (درصد جمعیت زن)	ثبت نام مدرسه، ابتدایی (درصد ناخالص)	اشتراک تلفن همراه (به ازای هر ۱۰۰ نفر)	هزینه ناخالص ملی (درصد تولید ناخالص داخلی)
نسبت دریافت ناخالص در کلاس اول آموزش ابتدایی، زن (درصد از گروه سنی مربوطه)	نسبت دریافت ناخالص در کلاس اول آموزش ابتدایی، پسر (درصد گروه سنی مربوطه)	صرفه جویی خالص تنظیم شده، از جمله آسیب انتشار ذرات (درصد از GNI)	جمعیت ۰–۱۴ ساله، مرد (درصد جمعیت مرد)	مصرف انرژی سوخت فسیلی (درصد از کل)	انتشار دی اکسید کربن (CO_2) از صنعت برق (انرژی) (Mt CO_2e)	ماندگاری تا آخرین کلاس ابتدایی، کل (درصد از گروه)
ایمن سازی، DPT (درصد کودکان ۱۲–۲۳ ماهه)	مصرف انرژی سوخت فسیلی (درصد از کل)	صرفه جویی تعدیل شده: کاهش انرژی (درصد GNI)	انتشار اکسید نیتروژن (N_2O) از فرآیندهای صنعتی (Mt CO_2e)	ثبت نام مدرسه، ابتدایی، دختر (درصد ناخالص)	میزان مرگ و میر، بزرگسال، مرد (به ازای هر ۱۰۰۰ مرد بزرگسال)	میانگین بارش در عمق (میلی متر در سال)
هزینه ناخالص ملی (درصد تولید ناخالص داخلی)	ماندگاری تا آخرین کلاس ابتدایی، کل (درصد از گروه)	رشد جمعیت شهری (سالانه درصد)	شاخص اتصال حمل و نقل لاینر (حداکثر مقدار در سال ۲۰۰۴ = ۱۰۰)	نسبت دریافت ناخالص در کلاس اول آموزش ابتدایی، پسر (درصد گروه سنی مربوطه)	مصرف کود (درصد تولید کود)	نسبت دریافت ناخالص در کلاس اول آموزش ابتدایی، زن (درصد از گروه سنی مربوطه)
ایمن سازی، سرخک (درصد کودکان ۱۲ تا ۲۳ ماهه)	مصرف کود (کیلوگرم در هکتار زمین زراعی)	بیکاری با تحصیلات متوسط، مرد (درصد نیروی کار مرد با تحصیلات متوسط)	نیروی کار با تحصیلات پیشرفته، زن (درصد جمعیت زن در سن کار با تحصیلات پیشرفته)	تولید برق از منابع نفت، گاز و زغال سنگ (درصد کل)	زمان واردات، رعایت مرزها (ساعت)	شاخص تولید دام (۲۰۱۴–۲۰۱۶ = ۱۰۰)
انتشار متان (CH_4) (کل) بدون احتساب LULUCF (Mt CO_2e)	نسبت دریافت ناخالص در پایه اول آموزش ابتدایی، کل	زمان لازم برای اجرای قرارداد (روزها)	واردات کالا و خدمات (درصد تولید ناخالص داخلی)	شاخص ارزش صادرات (۲۰۱۵ = ۱۰۰)	مرگ و میر ناشی از نبرد (تعداد افراد)	مصرف انرژی سوخت فسیلی (درصد از کل)

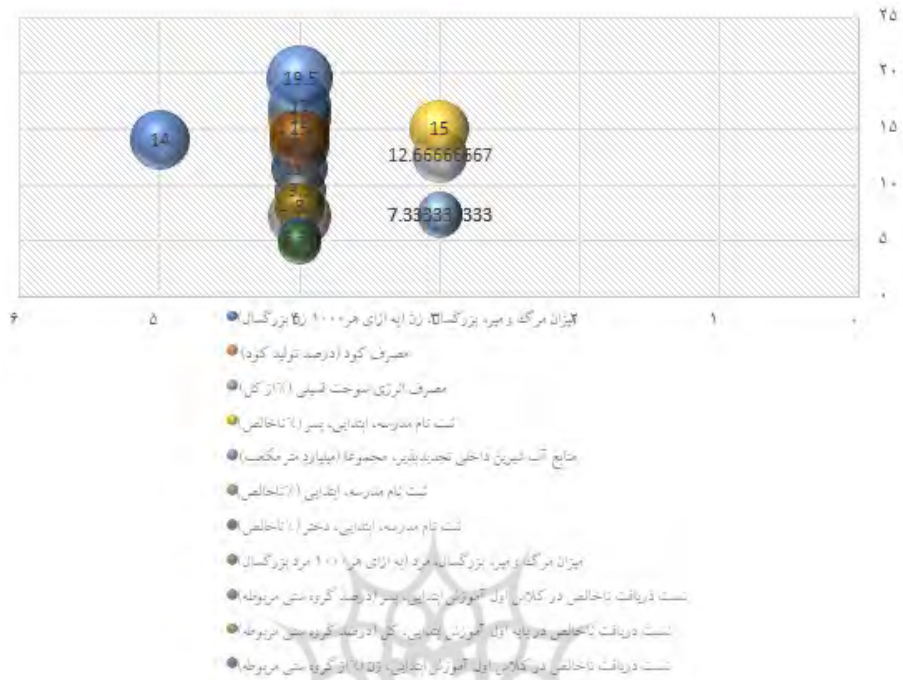
روش اقلیدسی	فاصله تغییر شکل پویا	فاصله بلندترین زیررشته مشترک	ویرایشی با جریمه واقعی	فاصله هاوسدورف	فاصله ویرایشی پیچشی زمانی	فاصله فرشه
	(درصد گروه سنی مربوطه)					
برداشت سالانه آب شیرین، مجموعا (میلیارد متر مکعب)	انتشار متان (CH_4) از انتشارات فرار (انرژی) (Mt CO_2e)	مجموع انتشار گازهای گلخانه ای بدون احتساب LULUCF سرانه (CO_2e/capital)	صادرات مواد غذایی (درصد صادرات کالا)	نسبت دریافت ناخالص در پایه اول آموزش ابتدایی، کل (درصد گروه سنی مربوطه)	شاخص ارزش واردات (۲۰۱۵ = ۱۰۰)	ماندگاری تا آخرین کلاس ابتدایی، زن (درصد از گروه)
انتشار متان (CH_4) از انتشارات فرار (انرژی) (Mt CO_2e)	نسبت دریافت ناخالص در کلاس اول آموزش ابتدایی، زن (درصد از گروه سنی مربوطه)	کل مصرف الکل سرانه، مرد (لیتر الکل خالص، تخمین‌های پیش‌بینی شده، مردان بالای ۱۵ سال)	میزان تحصیلات، حداقل دوره سوم دوره کوتاه تکمیل شده، جمعیت ۲۵+، کل (درصد) (تجمیع)	سرانه هزینه های بهداشت عمومی دولت داخلی (دلار آمریکا فعلی)	انتشار دی اکسید کربن (CO_2) از حمل و نقل (انرژی) (Mt CO_2e)	ماندگاری تا درجه ۵، مرد (درصد از گروه)
مصرف کود (کیلوگرم در هکتار زمین زراعی)	شاخص ارزش صادرات (۲۰۱۵ = ۱۰۰)	زمان حل ورشکستگی (سالها)	درمان اسهال (درصد کودکان زیر ۵ سال که آبرسانی خوراکی دریافت می کنند و ادامه تغذیه می کنند)	نسبت دریافت ناخالص در کلاس اول آموزش ابتدایی، زن (درصد از گروه سنی مربوطه)	انتشار دی اکسید کربن (CO_2) (کل) به استثنای LULUCF (درصد تغییر از سال ۱۹۹۰)	شاخص تولید مواد غذایی (۲۰۱۴–۲۰۱۶ = ۱۰۰)
برداشت سالانه آب شیرین، کشاورزی (درصد کل برداشت آب شیرین)	هزینه ناخالص ملی (درصد تولید ناخالص داخلی)	نرخ تعرفه اعمال شده، میانگین وزنی، محصولات تولیدی (درصد)	اعتبارات داخلی به بخش خصوصی (درصد تولید ناخالص داخلی)	هزینه ناخالص ملی (درصد تولید ناخالص داخلی)	شاخص تجارت خالص شرایط مبادله ای (۲۰۱۵ = ۱۰۰)	ماندگاری تا آخرین کلاس ابتدایی، مرد (درصد همگروهی)

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار شماره (۴) فراوانی متغیرهای هم رفتار با مصرف انرژی کل در روش‌های مختلف مشابهت‌یابی

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار شماره (۵) تحلیل جامع اهمیت نسبی شاخص‌های هم‌رفتار با مصرف کل انرژی بر اساس رتبه و فراوانی در شش روش مشابهت‌یابی سری‌های زمانی

منبع: یافته‌های پژوهش

۵. نتیجه‌گیری

به‌صورت سنتی، در فرآیند ساخت مدل‌های رگرسیونی و سایر مدل‌های پیش‌بینی، شناسایی متغیرهای وابسته عمدتاً بر مبنای مرور ادبیات پژوهش صورت می‌گیرد. هرچند این رویکرد از پشتوانه نظری برخوردار است، اما با محدودیت‌هایی نیز همراه است؛ از جمله عدم جامعیت در پوشش تمامی جنبه‌های پدیده مورد مطالعه و اتکا به پیش‌فرض‌ها و چارچوب‌های پیشین. در این میان، بهره‌گیری از روش‌های داده‌کاوی به‌عنوان رویکردی نوین می‌تواند به شناسایی الگوهای پنهان و همبستگی‌های معنادار میان متغیرها کمک کرده و تا حد زیادی محدودیت‌های موجود در روش‌های سنتی را برطرف سازد. این ابزار تحلیلی امکان تحلیل داده‌محور را فراهم می‌سازد و می‌تواند در انتخاب دقیق‌تر متغیرهای تأثیرگذار نقش بسزایی ایفا کند. روش‌های مشابهت‌یابی در سری‌های زمانی معمولاً صرفاً بر پایه میزان تشابه الگوهای رفتاری داده‌ها با متغیر هدف عمل می‌کنند و بر این اساس به رتبه‌بندی متغیرها می‌پردازند. از این رو، ممکن است برخی متغیرها صرفاً به دلیل هم‌زمانی یا شباهت در الگوی تغییرات، در رتبه‌های بالاتر قرار گیرند، در حالی‌که از منظر مفهومی یا تحلیلی، فاقد ارتباط معنادار با متغیر مورد نظر باشند.

این پژوهش با بهره‌گیری از روش‌های مشابهت‌یابی سری‌های زمانی، به‌دنبال شناسایی متغیرهایی است که رفتار مشابهی با دو متغیر «مصرف انرژی» و «شدت انرژی» دارند. داده‌های مورد استفاده از پایگاه جامع «شاخص‌های توسعه بانک جهانی» استخراج شده‌اند. انتخاب این پایگاه داده به دلیل جامعیت آن صورت گرفته است، چراکه ابعاد گوناگونی از توسعه، از جمله شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و نهادی را در بر می‌گیرد. بازه زمانی داده‌ها سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ را برای کشور ایران شامل می‌شود. هدف اصلی این مطالعه، شناسایی متغیرهایی است که بالاترین میزان هم‌بستگی را با دو شاخص اصلی انرژی دارند و می‌توانند به‌عنوان متغیرهای کلیدی در تحلیل‌ها و مدل‌سازی‌های آینده مورد استفاده قرار گیرند.

یافته‌های پژوهش حاضر به‌طور معناداری با بدنه مطالعات داخلی و بین‌المللی همخوانی دارد و در عین حال، برخی ابعاد نوآورانه را نیز در تحلیل شدت و مصرف انرژی برجسته می‌کند. بررسی فراوانی و وزن‌دهی متغیرها نشان داد که عوامل مرتبط با سلامت، تغذیه، آموزش و محیط‌زیست، نقش محوری در تبیین شدت انرژی در ایران دارند. این نتایج با مطالعاتی مانند برایث‌ویت و همکاران (۲۰۱۹) و لیم و همکاران (۲۰۲۱) همسوست که بر تأثیر آلودگی هوا ناشی از مصرف انرژی فسیلی بر بیماری‌هایی نظیر دیابت، افسردگی و مرگ‌ومیر ناشی از خودکشی تأکید کرده‌اند. در همین راستا، حضور پررنگ متغیرهایی مانند «هزینه‌های جاری سلامت» و «سوءتغذیه» در یافته‌های پژوهش حاضر، ارتباط روشن میان شدت انرژی بالا و پیامدهای سلامت عمومی را برجسته می‌کند.

در بعد زیست‌محیطی، نتایج این پژوهش از طریق شاخص‌هایی مانند برداشت آب، مناطق حفاظت‌شده، و انتشار گازهای گلخانه‌ای، همسویی بالایی با مطالعاتی نظیر شبیر و رسول (۲۰۲۴)، علی و همکاران (۲۰۲۱) و لیان و همکاران (۲۰۲۴) دارد. این مطالعات نیز به‌وضوح نشان داده‌اند که بهره‌برداری غیربهینه از منابع طبیعی و وابستگی به سوخت‌های فسیلی، با افزایش شدت انرژی و تخریب زیست‌محیطی همراه است. همچنین، تأکید پژوهش حاضر بر نقش آموزش و شاخص‌های نهادی (مانند کنترل فساد و پوشش شبکه‌های ایمنی اجتماعی) در مدل‌های تحلیل شدت انرژی، با نتایج امین و همکاران (۲۰۲۲)، ژوکا و همکاران (۲۰۱۲) و هالدار و همکاران (۲۰۲۳)کاملاً هم‌راستاست. این همخوانی نشان می‌دهد که سرمایه انسانی و کیفیت حکمرانی از مهم‌ترین محرک‌های حرکت به‌سوی الگوهای پایدار مصرف انرژی هستند.

نکته متمایزکننده پژوهش حاضر، بهره‌گیری از روش‌های داده‌کاوی و تحلیل‌های مبتنی بر مشابهت زمانی برای کشف متغیرهای کلیدی و پرتکرار در مدل‌های مختلف است، که در اغلب مطالعات سنتی اقتصادسنجی پیشین کمتر به آن توجه شده است. به این ترتیب، پژوهش نه‌تنها نتایج گذشته را تأیید می‌کند، بلکه با ارائه دیدگاهی داده‌محور، درک عمیق‌تری از روابط میان متغیرهای بین‌بخشی در حوزه انرژی و توسعه پایدار فراهم می‌سازد.

نتایج حاصل از تحلیل فراوانی متغیرهای همبسته با مصرف انرژی نشان می‌دهد که مصرف انرژی بیش از آنکه تنها متأثر از متغیرهای اقتصادی صرف باشد، شدیداً به شاخص‌های اجتماعی، سلامت عمومی و زیرساخت‌های آموزشی وابسته است. به‌عبارت دیگر، سطوح بالاتر مصرف انرژی در کشورها می‌تواند بازتابی از توسعه اجتماعی و افزایش دسترسی به خدمات عمومی نیز باشد. همبستگی بالای شاخص‌هایی مانند نرخ

مرگ‌ومیر نوزادان یا میزان اشتغال زنان تحصیل‌کرده با مصرف انرژی، بر وجود رابطه‌ای میان کیفیت زندگی و مصرف منابع انرژی دلالت دارد. در این چارچوب، می‌توان نتیجه گرفت که تحلیل مصرف انرژی باید با رویکردی میان‌رشته‌ای دنبال شود که نه تنها متغیرهای اقتصادی، بلکه وضعیت اجتماعی، سلامت و زیرساخت‌های آموزشی را نیز مدنظر قرار دهد. استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی در این پژوهش امکان شناسایی چنین الگوهای چندبُعدی را فراهم ساخته و افق‌های جدیدی برای طراحی سیاست‌های جامع و کارآمد انرژی می‌گشاید.

نتایج این مطالعه تأکید می‌کند که مصرف و شدت انرژی نه تنها از منظر اقتصادی اهمیت دارند، بلکه نقش بنیادینی در مسیر تحقق توسعه پایدار ایفا می‌کنند. کاهش شدت انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌تواند به کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی، افزایش بهره‌وری اقتصادی و ارتقای سطح رفاه اجتماعی منجر شود. بنابراین، سیاستگذاری انرژی باید با رویکردی جامع و پایدار همراه باشد تا از طریق تقویت بهره‌وری، گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر و اصلاح الگوهای مصرف، زمینه تحقق اهداف توسعه پایدار فراهم گردد. یافته‌های این پژوهش در مقایسه با پیشینه مطالعاتی موجود، حاکی از آن است که بخش قابل توجهی از متغیرهای شناسایی‌شده از طریق روش‌های داده‌کاوی در تحلیل شدت و مصرف انرژی، در ادبیات سنتی پژوهش‌ها مورد توجه قرار نگرفته‌اند. درحالی‌که مطالعات پیشین عمدتاً بر متغیرهای اقتصادی مانند تولید ناخالص داخلی، قیمت نفت، تشکیل سرمایه، و متغیرهای مرتبط با ساختارهای صنعتی تمرکز داشته‌اند، پژوهش حاضر توانسته است با رویکرد مبتنی بر تحلیل سری‌های زمانی و الگوهای رفتاری، متغیرهایی از حوزه‌های متنوع‌تری همچون سلامت عمومی (نرخ مرگ‌ومیر نوزادان، تعداد پزشکان)، آموزش (نسبت دانش‌آموز به معلم، نرخ باسوادی نوجوانان)، حکمرانی (شاخص کنترل فساد)، و امنیت غذایی (شیوع ناامنی شدید غذایی) را شناسایی کند. این یافته‌ها بر تنوع عوامل مؤثر بر الگوهای مصرف انرژی و شدت آن دلالت دارند که در رویکردهای سنتی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

با توجه به یافته‌های این پژوهش و در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران حوزه انرژی رویکردی فرابخشی، داده‌محور و مبتنی بر شواهد تجربی را در دستور کار قرار دهند. تجربه‌های جهانی و مطالعات نظری و تجربی نشان می‌دهد که چالش‌های مرتبط با مصرف و شدت انرژی، صرفاً از مسیرهای فناورانه یا اقتصادی قابل حل نیستند، بلکه ریشه در ساختارهای اجتماعی، نهادی، آموزشی و بهداشتی نیز دارند. بنابراین، ضروری است تا طراحی سیاست‌های انرژی از قالب‌های بخشی صرف خارج شده و به‌صورت نظام‌مند در تعامل با سایر حوزه‌های حکمرانی انجام شود.

در این چارچوب، متغیرهایی نظیر شاخص‌های سلامت عمومی، سطح سواد و آموزش، میزان نابرابری‌های اجتماعی، کیفیت نهادهای حکمرانی، مشارکت مدنی، و سطح اعتماد عمومی نه‌تنها پیامدهای اجتماعی سیاست‌های انرژی را تبیین می‌کنند، بلکه خود می‌توانند به‌عنوان محرک‌های بنیادین برای اصلاح الگوی مصرف انرژی و کاهش شدت آن ایفای نقش نمایند. برای مثال:

- افزایش سطح آموزش و آگاهی عمومی می‌تواند منجر به بهبود رفتارهای مصرفی و ارتقاء بهره‌وری انرژی در بخش خانگی و خدماتی شود.

- تقویت حکمرانی مطلوب، کاهش فساد و بهبود پاسخ‌گویی نهادها می‌تواند زمینه‌ساز اجرای مؤثرتر سیاست‌های انرژی، حذف یارانه‌های ناکارآمد، و تخصیص بهینه منابع انرژی گردد.
- بهبود وضعیت بهداشتی و کاهش فقر انرژی نیز از طریق ارتقاء رفاه اجتماعی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی پرمصرف، نقشی غیرمستقیم اما تعیین‌کننده در بهینه‌سازی مصرف انرژی دارد.

از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران، چارچوب سیاست‌گذاری انرژی را به‌گونه‌ای بازطراحی کنند که این متغیرها به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی، و نه صرفاً متغیرهای کنترل، وارد تحلیل‌ها و برنامه‌ریزی‌ها شوند.

مسیرهای عملیاتی و نهادی

در راستای تحقق این اهداف، اقدامات زیر می‌تواند به‌عنوان مسیرهای راهبردی سیاستی مورد توجه قرار گیرد:

- ایجاد سامانه‌های پایش و ارزیابی یکپارچه میان‌بخشی برای گردآوری، تحلیل و به‌روزرسانی مداوم داده‌ها در حوزه‌های انرژی، آموزش، بهداشت، حکمرانی و توسعه اجتماعی.
- نهادینه‌سازی سیاست‌گذاری شواهدمحور با تکیه بر روش‌های کمی و کیفی مدرن از جمله تحلیل‌های علی (علّیت گرنجر، مدل‌های معادلات ساختاری، و مدل‌های پویای علّی) برای درک دقیق‌تر از نوع و جهت روابط میان متغیرها.
- توسعه ابزارهای سیاست‌گذاری منعطف و تطبیق‌پذیر که توانایی پاسخ‌گویی به تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت، همچنین مواجهه با اثرات غیرخطی و آستانه‌ای را داشته باشند.
- تقویت ظرفیت نهادی برای هماهنگی بین دستگاه‌های اجرایی در حوزه‌های انرژی، آموزش، سلامت، محیط زیست، و برنامه‌ریزی کلان، به‌منظور پرهیز از تصمیم‌گیری‌های جزیره‌ای.
- تشویق سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک، ارتقاء بهره‌وری، و ارتقاء نوآوری‌های محلی از طریق سیاست‌های حمایتی از تحقیق و توسعه (R&D) و انتقال فناوری.
- تدوین برنامه‌های آموزشی و ترویجی فراگیر برای افزایش سطح آگاهی عمومی نسبت به هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه انرژی.

در نهایت، سیاست‌گذاری انرژی در قرن ۲۱ نیازمند رویکردی ترکیبی و پیچیده است که همزمان به ابعاد فناورانه، رفتاری، نهادی و ساختاری توجه داشته باشد. استفاده از چارچوب‌های نظری بین‌رشته‌ای مانند توسعه پایدار، رشد سبز، و حکمرانی خوب می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا از منطق صرفاً فنی یا اقتصادی فاصله گرفته و به سمت راهکارهای جامع‌نگر حرکت کنند. این تحول در نگرش و عمل، نه‌تنها به کاهش شدت انرژی و بهبود بهره‌وری کمک خواهد کرد، بلکه به ارتقاء تاب‌آوری ساختار انرژی کشور در برابر شوک‌های داخلی و خارجی، تحقق عدالت اجتماعی، و پایداری زیست‌محیطی نیز منجر می‌شود.

منابع و مأخذ

منابع فارسی

- اعظمی، سمیه و محمدی، پوریا. (۱۴۰۱). نقش شدت انرژی در تأثیر نامتقارن تولید بر مصرف انرژی کشورهای اوپک. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۱(۴۱)، ۳۳-۶۰.
- باقری‌مقدم، ناصر؛ احمدی، محمدعلی؛ عباس پور، مجید و ناظمی، امیر. (۱۴۰۳). نقش سیاست فناوری و نوآوری در مواجهه هم‌زمان با ناترازی شدت انرژی و شدت کربن .*مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی*، ۱۴(۵۲)، ۱۰۴-۱۲.
- جهانگرد، اسفندیار؛ گلشنی، وجیهه؛ عبداله میلانی، مهنوش و غفارزاده، حمیدرضا. (۱۳۹۶). تجزیه مصرف انرژی در ایران ۱۳۹۰-۱۳۸۰ (یک تحلیل ایستای مقایسه ای با رویکرد SDA). *اقتصاد کاربردی*، ۲۰(۷)، ۱-۱۰.
- درگاهی، حسن و بیابانی خامنه، کاظم. (۱۳۹۳). تأمین مالی کارایی انرژی: مورد اقتصاد ایران. *اقتصاد و الگو سازی*، ۵، ۲۹-۵۸.
- زروکی، شهریار؛ احمدی، احمدرضا و بوشهری، محمد. (۱۴۰۲). اثر غیرخطی اندازه دولت بر شدت انرژی در ایران. *مدلسازی اقتصاد انرژی*، ۱(۱)،. ۷۷-۱۰۲.
- عاشوری، پارسا و حجت، حیدری. (۱۳۹۸). عوامل موثر بر شدت انرژی در استان‌های ایران: رویکرد میانگین‌گیری بیزی. *مجله پژوهش های برنامه ریزی و سیاستگذاری انرژی*، ۵(۱)، ۲۹-۶۳.
- عالی، احمدرضا و سایه‌میری، علی. (۱۳۹۹). عوامل مؤثر برشدت انرژی در سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک). *مجله‌ی بررسی‌های آمار رسمی ایران*، ۳۱(۲)، ۳۲۳-۳۴۶.
- محسنی، رضا و میثم، کاکاوند. (۱۳۹۶). تجزیه مصرف انرژی و عوامل موثر بر آن در ایران و کشورهای منتخب. *فصلنامه علمی پژوهشی راهبرد اقتصادی*، ۶(۲۲).
- محمدی، مریم؛ فتاحی، شهرام، و سهیلی، کیومرث. (۱۴۰۰). بررسی رابطه علّیت بین مصرف انرژی و تولید ناخالص استان‌های ایران با استفاده از تحلیل موجک با داده‌های پانل. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۰(۴۰)،۱۲۵-۱۵۹.
- مرادی، فیض اله؛ عاقلی، لطفعلی و عصاری آرانی، عباس. (۱۴۰۱). تأثیر نااطمینانی در سیاست‌های اقتصادی بر شدت انرژی در ایران. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۸(۷۲)، ۲۷-۵۸.
- معینی، شهرام؛ شریفی، علیمراد و رسولی فرح، سمیرا. (۱۳۹۷). تحلیل مقایسه ای سیاست مالیات بر انرژی های با پایه نفت و گاز و یارانه R&D انرژی بر بهره وری انرژی در ایران. *نظریه های کاربردی اقتصاد*، ۵(۲)، ۱۰۳-۱۲۶.
- ناهیدی امیرخیز، محمدرضا؛ رحیم زاده، فرزاد و شکوهی فرد، سیامک. (۱۴۰۰). بررسی رابطه رشد اقتصادی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای (مطالعه موردی: کشورهای منتخب سازمان همکاری اسلامی). *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۳)، ۱۳-۲۶

منابع لاتین

- Ali, A., Audi, M., & Roussel, Y. (2021). Natural resources depletion, renewable energy consumption and environmental degradation: A comparative analysis of developed and developing world. *International Journal of Energy Economics and Policy, 11*(3), 251–260.
- Amin, N., Shabbir, M. S., Song, H., & Abbass, K. (2024). Renewable energy consumption and its impact on environmental quality: A pathway for achieving sustainable development goals in ASEAN countries. *Energy & Environment, 35*(2), 644–662.
- Bi, Z., Guo, R., & Khan, R. (2024). Renewable adoption, energy reliance, and CO_2 emissions: A comparison of developed and developing economies. *Energies, 17*(13), 3111.
- Bildirici, M., & Kayıkçı, F. Ç. (2023). Energy consumption, energy intensity, economic growth, FDI, urbanization, PM2.5 concentrations nexus. *Environment, Development and Sustainability*, 1–19.
- Dokas, I., Panagiotidis, M., Papadamou, S., & Spyromitros, E. (2022). The determinants of energy and electricity consumption in developed and developing countries: International evidence. *Energies, 15*(7), 2558.
- Haldar, A., Sethi, N., Jena, P. K., & Padhan, P. C. (2023). Towards achieving Sustainable Development Goal 7 in sub-Saharan Africa: Role of governance and renewable energy. *Sustainable Development, 31*(4), 2446–2463.
- Kunwal, I., Sheikh, M. R., Faridi, M. Z., & Mushtaq, M. I. (2023). Urbanization, energy consumption and environmental quality in Asian countries. *Bulletin of Business and Economics, 12*(4), 372–386.
- Lan-yue, Z., Yao, L., Jing, Z., Bing, L., Ji-min, H., Shi-huai, D., & Ya-qi, Z. (2017). The relationships among energy consumption, economic output and energy intensity of countries at different stage of development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74*, 258–264.
- Le, T. H., Chang, Y., & Park, D. (2020). Renewable and nonrenewable energy consumption, economic growth, and emissions: International evidence. *The Energy Journal, 41*(2), 73–92.
- Lian, M. (2024). The impact of cleaner energy sources, advanced technology firms, and economic expansion on ecological footprints is critical in sustainable development. *Heliyon, 10*(11), e31100.
- Liu, R., Qadeer, A., Liu, J., Sarwar, S., & Hussan, M. W. (2024). The paradox of progress towards SDG7: Governance quality and energy poverty dynamics in Pakistan. *Sustainability, 16*(19), 8291.
- Majeed, M. T., & Asghar, N. (2021). Trade, energy consumption, economic growth, and environmental quality: Empirical evidence from D-8 and G-7

countries. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(43), 61302–61316.

- Mehmood, U., Agyekum, E. B., Tariq, S., Ul Haq, Z., Uhunamure, S. E., Edokpayi, J. N., & Azhar, A. (2022). Socio-economic drivers of renewable energy: Empirical evidence from BRICS. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(8), 4614.
- Nieto, J., Moyano, P. B., Moyano, D., & Miguel, L. J. (2023). Is energy intensity a driver of structural change? Empirical evidence from the global economy. *Journal of Industrial Ecology, 27*(1), 283–296.
- Nillesen, H. L. P., Haffner, C. G. R., & Ozbugday, F. C. (2013). A global perspective on the long-term impact of increased energy efficiency. In *Energy efficiency towards the end of demand growth* (pp. 87–110).
- Otsuka, A., & Goto, M. (2018). Regional determinants of energy intensity in Japan: The impact of population density. *Asia-Pacific Journal of Regional Science, 2*, 257–278.
- Shabeer, M. G., & Rasul, F. (2024). Energy, forests and environmental sustainability: A comparative analysis of developed and developing economies. *Journal of Economic Impact, 6*(1), 14–20.
- Spetan, K. A. A., Al-Rawabdeh, M. M., Al-Assaf, G. I., & Al-Tal, R. M. (2024). Renewable energy consumption, climate change, and economic growth: A case of selected countries. *Journal of Ecohumanism, 3*(6), 1645–1665.
- Zheng, W., & Walsh, P. P. (2019). Economic growth, urbanization and energy consumption: A provincial-level analysis of China. *Energy Economics, 80*, 153–162.
- Buoli, M., Grassi, S., Caldiroli, A., Carnevali, G. S., Mucci, F., Iodice, S., ... & Bollati, V. (2018). Is there a link between air pollution and mental disorders? *Environment International, 118*, 154–168.
- Yang, B. Y., Fan, S., Thiering, E., Seissler, J., Nowak, D., Dong, G. H., & Heinrich, J. (2020). Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research, 180*, 108817.
- Braithwaite, I., Zhang, S., Kirkbride, J. B., Osborn, D. P., & Hayes, J. F. (2019). Air pollution (particulate matter) exposure and associations with depression, anxiety, bipolar, psychosis and suicide risk: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives, 127*(12), 126002.
- Newbury, J. B., Stewart, R., Fisher, H. L., Beevers, S., Dajnak, D., Broadbent, M., ... & Bakolis, I. (2021). Association between air pollution exposure and mental health service use among individuals with first presentations of psychotic and mood disorders: Retrospective cohort study. *The British Journal of Psychiatry, 219*(6), 678–685.