-- Iranian Energy Economics------
Summer 2023, 47 (12), 47-78
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.72989.1991

ATU PRESS

Original Research
Received: 11/Mar/2023
Accepted: 21/May/2023
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Introducing a Composite Index for Measuring and Evaluating Energy Security in Iran

Esmael Torkamani *
Ph.D. in Economics, Faculty of Economic and Social Sciences, Abu Ali Sina University, Hamadan, Iran

Mohammad Hassan Fotros
Professor, Department of Economics, Faculty of Economic and Social Sciences, Abu Ali Sina University, Hamadan, Iran

Abstract
Energy supply and ensuring energy security for countries is a vital goal to achieve growth and sustainable development. Energy security provides a country's ability to meet current and future energy demand, resilience, and responsiveness to minimize systematic shocks to supply disruptions. This study uses five dimensions; Availability, Accessibility, Affordability, Acceptability, and Develop-ability, as well as by using entropy-weight and TOPSIS method, the composite index of Iran's energy security for the period 1980-2019 has been measured. The results show that Iran's energy security has decreased in the period under review. The highest level of energy security was 0.716 in 1982 and the lowest level was 0.272 in 2018. Also, the level of energy security was higher than 0.5 in the periods 1980 to 1987 and 1991 to 1993, and lower than 0.5 in the periods 1988 to 1990 and 1994 to 2019.

Keywords: Energy Security, TOPSIS Method, Entropy-Weight, Composite Index

JEL Classification: Q56 , Q40 , C43

* Corresponding Author: e.torkamani94@basu.ac.ir
How to Cite: Torkamani, E., Fotros, M H. (2023). Introducing a Composite Index for Measuring and Evaluating Energy Security in Iran. Iranian Energy Economics, 47 (12), 47-78.

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۲، شماره ۴۷، تابستان ۱۴۰۲، ۴۷-۷۸
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.72989.1991

ارائه شاخصی ترکیبی برای اندازه‌گیری و ارزیابی امنیت انرژی در ایران

اسماعیل ترکمنی * دکتری اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه ابوعلی سینا، همدان، ایران

محمدحسن فطرس استاد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه ابوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

تأمین انرژی و تضمین امنیت انرژی برای کشورها هدف حیاتی برای دستیابی به رشد و توسعه پایدار است. امنیت انرژی توانایی یک کشور برای برآوردن تقاضای انرژی فعلی و آتی و همچنین تاب‌آوری و واکنش به حداقل‌سازی تکانه‌های سیستمی اختلال در عرضه را فراهم می‌کند. در این مطالعه با استفاده از پنج بعد: موجود بودن، در دسترس بودن، مقرون به صرفه بودن، قابل قبول بودن و قابل توسعه بودن، و همچنین با استفاده از روش تاپسیس و وزن‌دهی آنتروپی، شاخص ترکیبی امنیت انرژی ایران برای دوره ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ اندازه‌گیری شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که امنیت انرژی ایران در دوره مورد بررسی روند کاهشی داشته است. بالاترین میزان امنیت انرژی در سال ۱۳۶۱ و برابر با ۰/۷۱۶ و کمترین میزان آن ۰/۲۷۲ و مربوط به سال ۱۳۹۷ بوده است. همچنین میزان امنیت انرژی در بازه‌های زمانی ۱۳۵۹ تا ۱۳۶۶ و ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۲ بالاتر از ۰/۵، و در بازه‌های زمانی ۱۳۶۷ تا ۱۳۶۹و ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۸ پایین‌تر از ۰/۵ قرار داشته است.

کلیدواژه‌ها: امینت انرژی، روش تاپسیس، وزن‌دهی آنتروپی، شاخص ترکیبی

طبقه‌بندی JEL: C43 , Q40 , Q56

* نویسنده مسئول: e.torkamani94@basu.ac.ir

۱. مقدمه

انرژی منبعی حیاتی است که همه اقتصادها برای تولید کالاها و خدمات و افزایش رفاه انسانی، اجتماعی و اقتصادی به آن نیاز دارند و به‌عنوان یکی از نهاده‌های تولید، نقش مهمی در رشد و توسعه اقتصادی کشورها ایفا می‌کند. این تأثیرگذاری به‌گونه‌ای است که بانک جهانی در گزارش سال ۲۰۰۱، راه مقابله با فقر و دستیابی به رشد بالاتر را مصرف انرژی و دسترسی بیشتر به انرژی دانسته است (مؤسسه انرژی جهانی[1]، ۲۰۱۸). به همین دلیل، دسترسی به انرژی و امنیت انرژی از اهداف اصلی کشورها است. امنیت انرژی یکی از پارامترهای کلیدی است که برای تعیین موقعیت فعلی و جهت‌گیری توسعه کشورها در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدودیت منابع انرژی، توزیع نابرابر و افزایش تقاضای انرژی بویژه در کشورهای در حال توسعه، نشان می‌دهد که امنیت انرژی از موضوعات با اهمیت در توسعه هر کشور است (رادوانویچ و همکاران[2]، ۲۰۱۷). اهمیت امنیت انرژی از زمان جنگ جهانی اول که چرچیل منبع انرژی نیروی دریایی بریتانیا را از زغال سنگ به نفت تغییر داد، آشکار شد. اما نگرانی‌ها در مورد امنیت انرژی از دهه ۱۹۷۰ بروز بیشتری یافت، زمانی که اقتصاد جهانی برای غلبه بر بحران‌های نفتی ۱۹۷۳ و ۱۹۷۹ تلاش می‌کرد. بیشتر مطالعات اولیه در مورد امنیت انرژی بر امنیت منابع نفتی متمرکز بود. به عبارت دیگر، در دوره پس از شوک‌های نفتی دهه ۱۹۷۰، تعریف امنیت انرژی مربوط به اجتناب از ریسک عرضه نفت خام ناشی از نوسانات احتمالی آن از خاورمیانه بود. آژانس بین‌المللی انرژی در دهه ۱۹۷۰ در واکنش به همین نوسانات تشکیل شد.

با تغییر در ساختار انرژی جهانی و ایجاد نگرانی در مورد امنیت انرژی، مفهوم و ابعاد امنیت انرژی گسترش یافت و مطالعات زیادی مفهوم امنیت انرژی را تعریف و معیارهایی برای ارزیابی آن بیان کردند (رن و سواکول[3]، ۲۰۱۴). سواکول[4] (۲۰۱۰) ابعاد امنیت انرژی را، قیمت انرژی، محیط زیست، دسترسی به انرژی و پایداری حکومت در نظر می‌گیرد. مونوز و همکاران[5] (۲۰۱۵) معتقدند که امنیت انرژی شامل ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی،

1. Global Energy Institute (GEI)
2. Radovanovic
3. Ren and Sovacool
4. Sovacool
5. Munoz et al.

سیاسی، زیست‌محیطی و ژئوپلیتیکی است. این مطالعات نشان می‌دهند که امنیت انرژی ماهیت چند بعدی[۱] دارد.

با گسترش و آشکار شدن اهمیت امنیت انرژی، کمّی‌سازی و اندازه‌گیری امنیت انرژی با استفاده از شاخص‌ها و معیارها مورد توجه قرار گرفت. مطالعات مختلف، طیف گسترده‌ای از شاخص‌های امنیت انرژی را، چه برای مقایسه عملکرد بین کشورها و چه برای بررسی تغییرات عملکرد یک کشور در طول زمان پیشنهاد کرده‌اند. اغلب مطالعات از شاخص‌ها یا معیارهایی استفاده می‌کنند که ابعاد مختلفی را در بر می‌گیرد. به هریک از این شاخص‌ها با توجه به اهمیت، وزن مشخصی داده و از یک تکنیک تجمیع مناسب برای ترکیب آن‌ها و ارائه یک شاخص استفاده می‌شود. شاخص‌های امنیت انرژی که از این طریق به دست می‌آیند، شاخص‌های ترکیبی[۲] نامیده می‌شوند (آنگ و همکاران[۳]، ۲۰۱۵).

بررسی امنیت انرژی برای ایران از چند جهت حائز اهمیت است. تقاضای بالا و بیش از اندازه انرژی در کنار قیمت پایین انرژی از این موارد است. به گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (۲۰۲۱) ایران با تولید ۳۴۱۳ میلیون تن نهمین کشور تولیدکننده انرژی، و با مصرف ۲۵۴۶ میلیون تن دهمین کشور مصرف‌کننده انرژی در سال ۲۰۱۹ بوده‌است. میزان تولید انرژی در دوره ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ از ۸۳۲ میلیون تن به ۳۴۱۳ میلیون تن (حدود ۳۱۰٪ رشد) و میزان مصرف انرژی در این مدت از ۳۳۸ به ۲۵۴۶ میلیون تن (حدود ۶۲۶٪ رشد) رسیده است. عدم توجه به تأمین و امنیت انرژی، مصرف انرژی کشور را با چالش جدی روبرو می‌کند. همچنین، نبود استانداردهای صحیح مصرف انرژی در بخش‌های مختلف و وابستگی شدید تأمین انرژی به سوخت‌های فسیلی موجب افزایش انتشار آلودگی در ایران شده است. از سوی دیگر، اقتصاد ایران علی‌رغم کاهش وابستگی به درآمدهای نفتی در سال‌های اخیر، هنوز هم به درآمدهای نفتی متکی است. براساس گزارش صندوق بین‌المللی پول در سال ۲۰۱۶ (آوریل ۲۰۱۶ تا مارس ۲۰۱۷) درآمد صادرات نفت خام ایران نزدیک ۴۰ درصد از کل درآمدهای دولت را تشکیل می‌داد. در سال ۲۰۱۹، ایران

---

۱. چند بعدی بودن به این مفهوم است که با استفاده از شاخص‌های متفاوت و نیز اهداف خاص می‌توان به تعریف و بررسی امنیت انرژی پرداخت (عسگری و بهنود، ۱۳۹۸).

۲. در مورد ساخت شاخص‌های ترکیبی به مطالعه دابی و دیل (۲۰۱۳) مراجعه شود.

3. Ang et al.

۳۰ میلیارد دلار درآمد خالص از صادرات نفت به دست آورده بود (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۱). وابستگی بودجه ایران به صادرات نفت بیش از ۷۵ درصد است و حدود ۳۵ درصد از تولید ناخالص داخلی ایران را درآمدهای ناشی از نفت تشکیل داده است (حیدری فتح‌آباد و تکلیف، ۱۳۹۷).

بنابراین، انرژی هم از بُعد مصرف آن و هم از بعد صادرات مهم است. پس، توجه به تأمین و امنیت انرژی حائز اهمیت است. در زمینه امنیت انرژی در ایران مطالعات محدودی انجام شده که اغلب آن‌ها به صورت کیفی و توصیفی است. این مطالعه با ارائه مجموعه‌ای از شاخص‌ها و با استفاده از روش تاپسیس و وزن‌دهی آنتروپی، شاخص ترکیبی امنیت انرژی ایران را برای دوره ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ محاسبه و اندازه‌گیری می‌کند. ساختار پژوهش در ادامه به این صورت است که پس از این مقدمه، در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه تحقیق مرور می‌شود. در بخش سوم، روش محاسبه شاخص ترکیبی و داده‌ها بیان می‌شود. بخش چهارم، به محاسبه و تجزیه و تحلیل شاخص ترکیبی امنیت انرژی و بخش پنجم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مطالعه اختصاص می‌یابد.

۲. ادبیات موضوع

امنیت را می‌توان به عنوان وضعیت عاری از خطر یا تهدید تعریف کرد. از این رو، امنیت انرژی به این معنا است که، انرژی باید همیشه در دسترس باشد و خطر اختلال در آن وجود نداشته باشد (نارولا[1]، ۲۰۱۴). بعد از آشکار شدن اهمیت امنیت انرژی، تعاریف متعددی از آن بیان شده است. بوهی و تومان[2] (۱۹۹۳) ناامنی انرژی را کاهش در رفاه به دلیل تغییر قیمت انرژی یا در دسترس نبودن آن، تعریف می‌کنند. اینتارک و همکاران[3] (۲۰۰۷) امنیت انرژی را توانایی یک اقتصاد برای دستیابی به تأمین منابع انرژی به صورت پایدار، به موقع و مقرون به صرفه که تأثیر نامطلوبی بر عملکرد اقتصادی نداشته باشد، تعریف می‌کنند. گراب و همکاران[4] (۲۰۰۶) و کرویت و همکاران[5] (۲۰۰۹) امنیت انرژی را توانایی تأمین جریان انرژی برای پاسخگویی به تقاضا در یک اقتصاد به شیوه و قیمتی که روند اقتصاد را

1. Narula
2. Bohi and Toman
3. Intharak
4. Grubb et al.
5. Kruyt et al.

مختل نکند، تعریف می‌کنند. مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه[1] (۲۰۰۷) امنیت انرژی را توانایی یک اقتصاد برای تضمین دستیابی به تأمین منابع انرژی به صورت پایدار و به موقع با قیمت انرژی که تأثیر نامطلوبی برعملکرد اقتصادی نداشته باشد، تعریف می‌کند. وینزر[2] (۲۰۱۲) امنیت انرژی را تداوم عرضه انرژی نسبت به تقاضای انرژی تعریف می‌کند. نارولا (۲۰۱۴) مفهوم امنیت انرژی پایدار را پیشنهاد و آن را به عنوان ارائه خدمات انرژی بدون وقفه به روشی مقرون به صرفه، عادلانه، کارآمد و سازگار با محیط زیست تعریف می‌کند.

شیپرز و همکاران[3] (۲۰۰۷) شاخص عرضه بر تقاضا انرژی را برای ارزیابی امنیت عرضه انرژی تعریف کردند. هیوز[4] (۲۰۱۲) امنیت انرژی را در چارچوب چهار بُعد، یعنی بررسی، کاهش، جایگزینی و محدودیت[5] مورد ارزیابی قرار داد[6]. گزارش مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه (۲۰۰۷) چارچوب امنیت انرژی و توسعه پایدار که ترکیبی از چهار بُعد است را پیشنهاد می‌کند. این ابعاد شامل، موجود بودن[7] (فیزیکی)، در دسترس بودن[8] (ژئوپلیتیکی)، مقرون به صرفه بودن[9] (اقتصادی)، و قابل قبول بودن[10] (زیست‌محیطی) است[11]. موجود بودن، به منابع فیزیکی نفت (و سایر سوخت‌های فسیلی) و انرژی اشاره دارد که عمدتاً توسط منابع انرژی اولیه و ظرفیت اکتشاف تعیین می‌شود. در دسترس بودن، منعکس کننده امکانات تأمین انرژی در شبکه حمل و نقل و جنبه‌های ژئوپلتیکی است (وقتی مکان تولید انرژی و محل مصرف انرژی یکی نباشد). مقرون به صرفه بودن به این معنی است که منابع انرژی با قیمت‌های مناسب و رقابتی، از جمله انرژی داخلی و انرژی وارداتی، تضمین شوند. قابل قبول بودن در برگیرنده مسائل زیست‌محیطی است که به تأثیر تولید و استفاده از انرژی بر محیط زیست اشاره می‌کند (لی و انگوئن[12]، ۲۰۱۹).

---

1. Asia Pacific Energy Research Centre (APERC)
2. Winzer
3. Scheepers et al.
4. Hughes
5. Review, Reduce, Replace and Restrict

۶. این چهار بُعد به اختصار با 4Rs نشان داده می‌شوند.

7. availability
8. accessibility
9. affordability
10. acceptability

۱۱. این چهار بُعد به اختصار با 4As نشان داده می‌شوند.

12. Le and Nguyen

کرویت و همکاران (۲۰۰۹) از چارچوب امنیت انرژی و توسعه پایدار مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه (۲۰۰۷) برای ارزیابی شاخص یکپارچه امنیت انرژی استفاده کردند. سواکول (۲۰۱۳) برای ارزیابی امنیت انرژی شاخصی پنج بُعدی شامل، دستیابی، مقرون به صرفه بودن، بهره‌وری، پایداری و حاکمرانی تعریف کرد. آنگ و همکاران (۲۰۱۵) با توجه به ادبیات موجود در مورد امنیت انرژی بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵، هفت بُعد امنیت انرژی را مورد مطالعه قرار دادند. این ابعاد شامل دستیابی انرژی، زیرساخت انرژی، قیمت انرژی، اثرات اجتماعی، محیط زیست، حکمرانی، و بهره‌وری انرژی است. نارولا و ردی[1] (۲۰۱۶) برای بررسی امنیت انرژی در کشورهای در حال توسعه، سیستم انرژی را به زیر سیستم‌های عرضه، تبدیل و توزیع و تقاضا تقسیم کردند. هر زیر سیستم توسط چهار بعد، دستیابی، مقرون به صرفه بودن، بهره‌وری و مقبولیت ارزیابی شد. یائو و چانگ[2] (۲۰۱۴) امنیت انرژی چین را با استفاده از چارچوب امنیت انرژی و توسعه پایدار مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه (۲۰۰۷) برای یک دوره ۳۰ ساله اندازه‌گیری کردند. نواز و الوی[3] (۲۰۱۸) با استفاده از شکاف تولید و مصرف انرژی الکتریسته، به ارزیابی امنیت انرژی الکتریسته پاکستان پرداختند. فانگ و همکاران[4] (۲۰۱۸) و لی و انگوئن (۲۰۱۹) علاوه بر چهار بُعد مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه (۲۰۰۷)، بُعد قابل توسعه بودن[5] امنیت انرژی را به عنوان شاخص عملکرد پایداری انرژی در نظر گرفتند. بر این اساس، قابلیت توسعه منعکس کننده ظرفیت توسعه پایدار سیستم انرژی در حالت کربن پایین، پاک و بهینه شده است.

مزرعتی (۱۳۸۶) بیان می‌کند که مفهوم امنیت انرژی در طول زمان تغییر یافته است و علاوه بر امنیت عرضه انرژی باید امنیت تقاضای انرژی را در نظر گرفت. این مطالعه نشان می‌دهد که امنیت انرژی یک مفهوم چند بعدی است و براساس این ابعاد چندگانه که در آن تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان و سرمایه‌گذاران در ریسک‌ها با همدیگر مشارکت دارند، یک امنیت انرژی پایدارتر قابل حصول است. ملکی (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای با عنوان «امنیت انرژی، ایران و مسائل دریای خزر» وجوه گوناگون امنیت انرژی، جایگاه ایران،

1. Narula and Reddy
2. Yao and Chang
3. Nawaz and Alvi
4. Fang et al.
5. develop- ability

خطوط حمل و نقل کنونی و در حال احداث و سیاست‌های قدرت‌های جهانی و کشورهای منطقه در این زمنیه را مورد بررسی قرار داد.

درخشان (۱۳۹۱) امنیت انرژی و تحولات آینده بازارهای نفت و گاز را مورد مطالعه قرار داد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که علی‌رغم آمارهای خوشبینانه از توازن عرضه و تقاضای نفت و گاز متعارف در میان مدت و بلندمدت (۲۰۳۵)، کشورهای مصرف‌کننده به ویژه اقتصاد رو به رشد چین در معرض عدم امنیت انرژی در بلندمدت قرار دارند. انتظار المهدی (۱۳۹۳) با استفاده از معیار بهره‌وری، امنیت انرژی را برای ۸۷ کشور با تأکید بر ۲۸ کشور عمده تولیدکننده جهان اسلام را بررسی کرد. در این مطالعه با استفاده از میانگین نمرات استاندار، کشورها در چهار گروه بهره‌وری بالا، بهره‌وری متوسط بالا، بهره‌وری متوسط پایین و بهره‌وری پایین قرار می‌گیرند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که ایران در گروه کشورهایی با امنیت انرژی متوسط پایین قرار دارد.

کریمی و علی دوستی (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به طراحی شاخص کمی و تجمعی برای ارزیابی امنیت عرضه انرژی ایران پرداختند. این شاخص، ترکیبی از شاخص‌های ساده ارزیابی امنیت انرژی است. با استفاده از این شاخص وضعیت امنیت انرژی ایران با کشورهایی که از نظر اقتصادی مشابه ایران هستند مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد ایران در میان کشورهای مشابه خود، وضعیت امنیت انرژی چندان مناسبی ندارد و سیستم عرضه انرژی آن آسیب‌پذیرتر از بسیاری از کشورهای هم‌تراز خود است. عسگری و بهنود (۱۳۹۸) با استفاده از شاخص ترکیبی، امنیت انرژی برق در ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد که در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در مجموع امنیت عرضه برق در ایران در حد متوسط بوده اما طی ۱۶ سال با شیب ملایمی اندازه امنیت عرضه برق کاهش یافته است.

مارچامادول و کومار[1] (۲۰۱۲) امنیت انرژی تایلند را با استفاده از نوزده شاخص برای یک دوره ۴۵ ساله (۲۰۳۰-۱۹۸۶) با استفاده از داده‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۹ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که سناریو «جامعه کم کربن» امنیت انرژی بالاتر یا آسیب‌پذیری کمتری در برابر ریسک انرژی بلندمدت نشان می‌دهد. دیک[2] (۲۰۱۳) به سنجش امنیت

1. Martchmadol and Kumar
2. Dike

تقاضای صادرات انرژی در کشورهای اوپک و تعیین ریسک‌های امنیت تقاضای نفت خام خارجی برای این کشورها پرداخت. نتایج مطالعه نشان داد که ریسک امنیت تقاضای صادرات انرژی اوپک با توجه به کشورها و انواع انرژی متفاوت است. رن و سواکول (۲۰۱۴) تأثیرگذارترین عوامل مؤثر بر امنیت انرژی چین و همچنین موثرترین اقدامات راهبردی برای تقویت آن را بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که نسبت پایین استفاده از انرژهای تجدیدپذیر، مهمترین عامل تهدیدکننده امنیت انرژی چین است و انجام تحقیق و توسعه در زمینه فناوری‌های انرژی و بهبود بهره‌وری انرژی برجسته‌ترین اقدام راهبردی برای تقویت امنیت انرژی است.

یائو و چانگ (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با استفاده از چارچوب امنیت انرژی مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه (۲۰۰۷) به بررسی چگونگی تغییر امنیت انرژی چین در دوره اصلاحات اقتصادی و آزاد سازی تجاری پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که تفاوت در اولویت‌های سیاسی در طول هر دوره بر وضعیت امنیت انرژی تأثیر می‌گذارد. همچنین چین نیاز به توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر در مقیاس بزرگ و توجه بیشتر به کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای برای معکوس کردن روند نزولی امنیت انرژی دارد. فانگ و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای با استفاده از پنج بعد موجود بودن، در دسترس بودن، قابل تحمل بودن (مقرون به صرفه بون)، مقبولیت و قابلیت توسعه، شاخص امنیت انرژی پایدار چین را ارائه کردند. نتایج مطالعه نشان داد که طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵، سیستم امنیت انرژی چین امتیازات نسبتاً بالایی در مقبولیت و قابلیت توسعه داشته است، در حالی که روند نزولی موجود بودن نیاز به توجه بیشتری دارد.

آگوتیس و همکاران[1] (۲۰۲۰) سطح امنیت انرژی کشورهای حوزه بالتیک را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ را پوشش می‌دهد که در آن کشورهای حوزه بالتیک با تغییرات اساسی در بخش انرژی مواجه شدند. نتایج نشان داد که سطح امنیت انرژی استونی و لتونی در مقایسه با لیتوانی بالاتر است. عامل اصلی این تفاوت به دلیل منابع انرژی قوی استونی و لتونی است، در حالی که لیتوانی سطح بالای از واردات برق را دارد. عبدالله و همکاران[2] (۲۰۲۱) عملکرد شاخص امنیت انرژی پاکستان را برای

1. Augutis et al.
2. Abdullah et al.

سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۴۰ مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با استفاده از تحلیل تشخیصی، آزمون قابلیت اطمینان و وزن‌دهی از طریق تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی، ۳۹ شاخص را انتخاب کردند. براساس نتایج مطالعه، عملکرد امنیت انرژی پاکستان بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ روند نزولی و یک روند صعودی تا سال ۲۰۴۰ دارد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که سیاست فعلی پاکستان به دلیل وابستگی بالا به واردات انرژی و مسائل حاکمیتی در بهبود عملکرد امنیت انرژی مؤثر نیست و سیستم انرژی پاکستان آسیب‌پذیر است.

۳. روش‌شناسی تحقیق

امنیت انرژی شاخصی چند بعدی است و برای اندازه‌گیری آن باید ابعاد و شاخص‌های مختلفی تعریف و محاسبه شوند. این شاخص‌ها، توسط روش‌ها و معیارهای ترکیب و در نهایت شاخص ترکیبی امنیت انرژی محاسبه می‌شود. شکل (۱) مراحل انجام و محاسبه شاخص ترکیبی امنیت انرژی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

شکل ۱. چارچوب محاسبه شاخص ترکیبی امنیت انرژی

۱-۳. شناسایی و محاسبه ابعاد و شاخص‌ها

برای ساخت شاخص ترکیبی امنیت انرژی ابتدا لازم است تا ابعاد و شاخص‌ها مشخص و تعریف شوند. در این پژوهش با استفاده از تعاریف ارائه شده و مطالعات مختلف (مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه، ۲۰۰۷؛ نارولا ۲۰۱۴ و فانگ و همکاران، ۲۰۱۸) و همچنین با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود، پنج بعد موجود بودن، در دسترس بودن، مقرون به صرفه بودن، قابل قبول بودن و قابل توسعه بودن برای اندازه‌گیری امنیت انرژی در نظر گرفته می‌شود.

موجود بودن (D_1): تمام انرژهای عمده فسیلی پایان‌پذیر هستند. خاصیت پایان‌پذیری منابع به معنای آن است که بازیابی آن‌ها آنچنان آهسته و کند صورت می‌گیرد که می‌توان تصور کرد، طبیعت تنها یکبار آن‌ها را عرضه و بشریت تنها یکبار از آن‌ها می‌تواند استفاده نماید (ملکی، ۱۳۹۳). بنابراین، موجود بودن، منعکس کننده امکانات تأمین انرژی از نظر جغرافیایی است. موجود بودن برای به دست آوردن انرژی از منابع تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر، ویژگی مهمی است که پیش‌بینی مطابقت عرضه انرژی با تقاضای انرژی را بهبود می‌بخشد (تانگسوپیت و همکاران[1]، ۲۰۱۶).

در دسترس بودن (D_2): در دسترس بودن منعکس‌کننده امکانات تأمین انرژی در کانال حمل و نقل و جنبه‌های ژئوپلیتیکی است. زیرساخت‌های انرژی و روابط بین انرژی، جامعه و همچنین سیاست، در این بعد مدنظر قرار می‌گیرد. در دسترس بودن زیرساخت‌های انرژی و شرایط سیاسی و اقتصادی کشورهای واردکننده انرژی بر ثبات عرضه انرژی تأثیر می‌گذارد. با توجه به فاصله بین تولید و مصرف ذخایر هیدروکربوی، در دسترس بودن جریان مداوم انرژی حائز اهمیت است (ملکی، ۱۳۹۳). در دسترس بودن یکی از ابعاد امنیت انرژی است که بیان می‌کند اگر افراد جامعه به طور مداوم به انرژی دسترسی نداشته باشند، وجود منابع زیاد (موجود بودن) و حتی مقرون به صرفه هیچ فایده‌ای ندارد. این بدان معنا است که خدمات انرژی نه‌تنها باید قیمت‌های قابل پیش‌بینی و مقرون به صرفه داشته باشد، بلکه باید به طور عادلانه بین اعضای جامعه توزیع شود (سواکول، ۲۰۱۱).

1. Tongsopit et al.

مقرون به صرفه بودن (D_3): یکی از متداول‌ترین خواسته‌های جامعه در اقتصادهای در حال توسعه، داشتن انرژی مقرون به صرفه است. مقرون به صرفه بودن منعکس‌کننده امکان تأمین انرژی از نظر اقتصادی است. «تأمین انرژی کافی و بدون وقفه با قیمت‌های معقول» اولین و اولیه‌ترین معنای امنیت انرژی است (یرگین[1]، ۱۹۸۸). مقرون به صرفه بودن، بعد اقتصادی مربوط به قیمت انرژی معقول، دسترسی عادلانه به منابع انرژی و داشتن گزینه‌های انرژی که نیاز افراد را با قیمت مناسب برآورد کند را در نظر می‌گیرد. مقرون به صرفه بودن به سطح دسترسی گروه‌های مختلف درآمدی به انرژی اشاره دارد (تانگسوپیت و همکاران، ۲۰۱۶).

قابل قبول بودن (D_4): قابل قبول بودن به طور کلی به جنبه‌های زیست‌محیطی مربوط می‌شود، اما می‌تواند موانع اجتماعی و فرهنگی میان جمعیت را نیز شامل شود (نارولا، ۲۰۱۴). قابل قبول بودن نشان دهنده این است که چگونه یک اقتصاد یا یک جامعه تأثیر جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی یک منبع انرژی را در نظر می‌گیرند. قابل قبول بودن ایمنی را اندازه‌گیری و تأثیر انرژی بر محیط زیست و جامعه را مشخص می‌کند (تانگسوپیت و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین، قابل قبول بودن نشان‌دهنده تأثیر تولید و استفاده از انرژی بر اقتصاد و محیط زیست است.

قابل توسعه بودن (D_5): قابل توسعه بودن منعکس‌کننده ظرفیت توسعه پایدار سیستم انرژی در حالت کم کربن، پاک و بهینه شده است و مهمترین عملکرد پایداری انرژی است. شرایط امنیت انرژی منعکس کننده یک اتفاق گذشته است، در حالی که ظرفیت توسعه امنیت انرژی اساس و ضمانت لازم برای اطمینان آینده است (فانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

به منظور اندازه‌گیری و کمّی‌سازی ابعاد بالا، هریک از آن‌ها به شاخص‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. شاخص‌ها مبتنی بر داده‌ها هستند و امکان کمّی‌سازی و اندازه‌گیری آن‌ها نیز وجود دارد. جدول (۱)، شاخص‌های هریک از ابعاد و نحوه محاسبه آن‌ها را بیان می‌کند.

1. Yergin

جدول ۱. شاخص ترکیبی امنیت انرژی

ابعاد (D)	شاخص (I)	نحوه محاسبه	اثرگذاری	منبع داده
موجود بودن (D_1)	تولید سرانه انرژی (I_{11})	تولید کل انرژی تقسیم بر جمعیت	مثبت	EIA-WDI
	ذخیره انرژی به تولید انرژی (I_{12})	نسبت ذخیره انرژی به تولید انرژی فسیلی	مثبت	ترازنامه انرژی و EIA
	شکاف عرضه و تقاضا انرژی (I_{13})	نسبت تولید انرژی به مصرف انرژی	مثبت	EIA
در دسترس بودن (D_2)	سهم سرمایه‌گذاری در انرژی (I_{21})	سرمایه‌گذاری در صنعت نفت و گاز تقسیم بر سرمایه‌گذاری کل	مثبت	ترازنامه انرژی و بانک مرکزی
	واردات انرژی (I_{22})	مصرف انرژی منهای تولید انرژی تقسیم بر مصرف انرژی	مثبت	EIA
	حجم بازار انرژی (I_{23})	تولید انرژی ایران نقسیم بر تولید انرژی جهان	مثبت	EIA
مقرون به صرفه بودن (D_3)	نسبت نوسانات قیمت سوخت داخلی (I_{31})	نسبت نوسانات شاخص قیمت خرده فروشی بنزین	منفی	ترازنامه انرژی
	نسبت نوسانات قیمت نفت خام (I_{32})	نسبت نوسانات قیمت نفت خام	منفی	OPEC
	GDP سرانه (I_{33})	GDP تقسیم بر جمعیت	مثبت	WDI
قابل اطمینان بودن (D_4)	سهم انرژی از سوخت‌های غیرفسیلی (I_{41})	مصرف انرژی غیرفسیلی تقسیم بر مصرف انرژی کل	مثبت	EIA
	شدت انرژی (I_{42})	مصرف انرژی تقسیم بر GDP	منفی	EIA-WDI
	شدت انتشار کربن (I_{43})	انتشار CO_2 تقسیم بر GDP	منفی	EIA-WDI
قابلیت توسعه داشتن (D_5)	مصرف سرانه انرژی (I_{51})	مصرف انرژی تقسیم بر جمعیت	منفی	EIA
	انتشار کربن در واحد مصرف انرژی (I_{52})	انتشار CO_2 تقسیم بر مصرف انرژی	منفی	EIA
	شاخص تنوع انرژی (I_{53})	شاخص شانون – وینر (SWI)	مثبت	EIA

نحوه محاسبه شاخص‌ها در ستون سوم بیان شده است. شاخص شانون- وینر[1] (SWI) برای اندازه‌گیری تنوع انرژی از رابطه زیر قابل محاسبه است. در این رابطه، τ_j سهم هریک از انواع انرژی و m تعداد آن را نشان می‌دهند. با توجه به ویژگی لگاریتم طبیعی، علامت منفی در رابطه (۱) ارزش مثبت این شاخص را تضمین می‌کند.

$$SWI = -\sum_{j=1}^{m} \tau_j ln\tau_j \qquad (۱)$$

1. Index Shannon -Wiener

۲-۳. نرمال‌سازی شاخص‌ها

مقادیر اولیه هر شاخص جهت انجام سایر مراحل باید نرمال‌سازی شوند. برای این منظور مقادیر اولیه هر شاخص براساس روش حداقل- حداکثر که یک روش متداول در زمینه تصمیم‌گیری چند وجهی است نرمال‌سازی می‌شود. به عبارت دیگر با توجه به مقیاس‌های متفاوت هر شاخص ابتدا لازم است تا هر شاخص نرمال و سپس وزن‌دهی و ترکیب شوند. نرمال‌سازی شاخص‌های مثبت و منفی به ترتیب توسط روابط (۲) و (۳) انجام می‌شود.

$$I'_{ij} = \frac{I_{ij} - \min\,(I_{ij})}{\max(I_{ij}) - \min\,(I_{ij})} \quad i = 1, \dots, 5\,, j = 1,2,3 \qquad (۲)$$

$$I'_{ij} = \frac{\max(I_{ij}) - I_{ij}}{\max(I_{ij}) - \min\,(I_{ij})} \quad i = 1, \dots, 5\,, j = 1,2,3 \qquad (۳)$$

مقادیر نرمال هر شاخص عددی بین صفر و یک است که عدد صفر حداقل مقدار و عدد یک حداکثر مقدار یک شاخص را نشان می‌دهد.

۳-۳. ترکیب شاخص‌ها (الگوی تاپسیس)

روش تاپسیس (تکنیک رتبه‌بندی ترجیحات با تشابه به راه‌حل آیده‌آل)[1]، یکی از مفیدترین روش‌های تصمیم‌گیری چند وجهی در بررسی مسائل است. منطق این روش، تعریف راه‌حل‌های ایدئال مثبت و ایدئال منفی است. مبنای آن، این است که گزینه منتخب، کوتاه‌ترین فاصله را تا راه‌حل ایدئال داشته باشد. این الگو از شش مرحله تشکیل شده است که در ادامه این مراحل توضیح داده می‌شود.

تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری نرمال: داده‌های اولیه با روش نرمال‌سازی پردازش می‌شوند و ماتریس تصمیم‌گیری نرمال هر بُعد به دست می‌آید. این ماتریس برای هر بعد شامل m گزینه در سطر ماتریس و n معیار در ستون ماتریس است. عنصر I'_{tj} ماتریس، مقدار عددی شاخص‌های نرمال شده است که t سال و j شاخص مورد نظر را نشان می‌دهد. ماتریس (۴) نحوه تشکیل این ماتریس را نشان می‌دهد.

$$A_i = \begin{bmatrix} I'_{11} & \dots & I'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I'_{m1} & \dots & I'_{mn} \end{bmatrix},\ i = 1, \dots, 5 \qquad (۴)$$

1. Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS)

محاسبه وزن هر شاخص: وزن هر شاخص در هریک از ابعاد، به روش وزن‌دهی آنتروپی محاسبه می‌شود. برای محاسبه وزن هر شاخص ابتدا آنتروپی اطلاعاتی شاخص j توسط رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$e_j = -k \sum_{t=1}^{m} p\,(I'_{tj}) \ln\, p\,(I'_{tj}) \qquad (۵)$$

که $k = \frac{1}{\ln n}$ و $p(I'_{tj}) = \frac{I'_{tj}}{\sum_{t=1}^{m} I'_{tj}}$ هستند. آنتروپی اطلاعات نشان‌دهنده درجه بی‌نظمی اطلاعات است و هرچه بیشتر باشد، سهم شاخص در ارزیابی امنیت انرژی کمتر است. بعد از محاسبه آنتروپی اطلاعات برای هر شاخص، درجه انحراف از اطلاعات هر شاخص (d_j) از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$d_j = 1 - e_j \;\; j = 1, \ldots, 3 \qquad (۶)$$

در نهایت با محاسبه درجه انحراف هر شاخص، وزن هر شاخص از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{m} d_j} \;\; j = 1, \ldots, 3 \qquad (۷)$$

با محاسبه وزن هر شاخص، ماتریس وزنی شاخص‌ها تشکیل و با ضرب آن در ماتریس تصمیم‌گیری نرمال A_i، ماتریس تصمیم‌گیری نرمال وزنی حاصل خواهد شد.

$$(y_{ij})_{m\times n} = A_i(w_j) \qquad (۸)$$

تعیین راه‌حل ایده‌آل: راه‌حل ایدئال مثبت (y_{ij}^{+}) و راه‌حل ایدئال منفی (y_{ij}^{-}) به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$y_{ij}^{+} = \max\,(y_{ij}) \qquad (۹)$$

$$y_{ij}^{-} = \min\,(y_{ij}) \qquad (۱۰)$$

تعیین فاصله اقلیدسی: در این مرحله، فاصله اقلیدسی هریک از داده‌ها از ایدئال مثبت (y_{ij}^{+}) و ایدئال منفی (y_{ij}^{-}) به طور جداگانه محاسبه و تعیین می‌شود. رابطه (۱۱) و (۱۲) فاصله اقلیدسی داده‌ها از ایدئال مثبت و منفی را بیان می‌کنند.

$$\theta_j^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (y_{ij} - y_{ij}^+)^2} \quad (۱۱)$$

$$\theta_j^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (y_{ij} - y_{ij}^-)^2} \quad (۱۲)$$

محاسبه نزدیکی نسبی به جواب ایده‌آل: نزدیکی نسبی به جواب ایدئال در محدوده $[0,1]$ است. هرچه نزدیکی نسبی به جواب ایدئال بیشتر باشد میزان بُعد امنیت انرژی بالاتر است. وقتی نزدیکی نسبی به جواب ایدئال برابر ۱ باشد، میزان آن بُعد امنیت انرژی به بالاترین سطح خود می‌رسد. برعکس وقتی صفر است، میزان آن بُعد امنیت انرژی در پایین‌ترین سطح خود قرار دارد. نزدیکی نسبی به صورت زیر رابطه تعریف می‌شود.

$$D_i = \frac{\theta_j^-}{\theta_j^- + \theta_j^+} \, , i = 1,2, \dots ,5 \quad (۱۳)$$

۳-٤. محاسبه شاخص ترکیبی امنیت انرژی

با محاسبه D_i از رابطه (۱۳) مقادیر هریک از ابعاد تعریف شده در جدول (۲) برای دوره زمانی مورد نظر محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، با انجام گام‌های دوم تا هشتم، برای شاخص‌های هر بُعد می‌توان میزان ابعاد پنج‌گانه را محاسبه کرد. پس از محاسبه هریک از ابعاد و تکرار گام دوم تا هشتم، شاخص ترکیبی امنیت انرژی برای دوره زمانی ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ محاسبه خواهد شد.

٤. تجزیه و تحلیل و ارزیابی امنیت انرژی

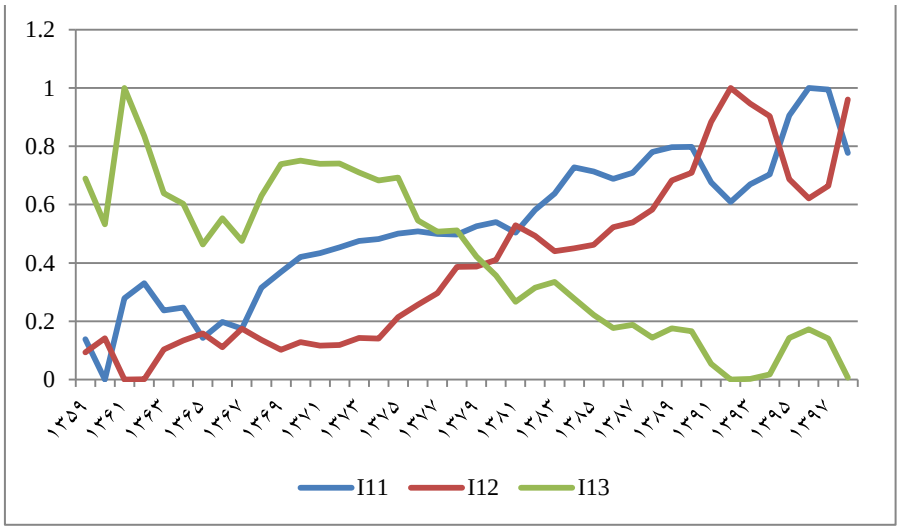
در بخش قبلی، ابعاد و شاخص‌های امنیت انرژی مشخص و چگونگی محاسبه شاخص امنیت انرژی بیان شد. در این بخش با توجه به روابط بخش قبلی، محاسبه و تجزیه و تحلیل کمی شاخص‌ها و ابعاد برای دوره ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ انجام می‌شود.

۱-٤. تجزیه و تحلیل شاخص‌ها

با استفاده از شاخص‌های تعریف شده در جدول (۱)، مقدار اولیه هر شاخص در دوره زمانی مورد نظر محاسبه می‌شود. با استفاده از رابطه (۲) برای شاخص‌های مثبت و رابطه (۳) برای شاخص‌های منفی مقدار نرمال شده هر شاخص به دست می‌آید. نمودارهای زیر مقادیر نرمال شده هر شاخص را در دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۵۹ نشان می‌دهند.

نمودار (۱) شاخص‌های نرمال بعد موجود بودن را نشان می‌دهد. شاخص تولید سرانه انرژی (I_{11}) نشان‌دهنده ظرفیت تأمین انرژی است. این شاخص، شاخصی مثبت برای امنیت انرژی است، زیرا با افزایش آن، امنیت انرژی افزایش می‌یابد. این شاخص به معنی ظرفیت بیشتر تأمین انرژی است. شاخص نسبت ذخایر نفت و گاز به تولید انرژی (I_{12}) نشان‌دهنده منابع انرژی موجود در طول زمان است، بنابراین، شاخصی مثبت است. هر دو شاخص I_{11} و I_{12} در طول دوره زمانی روند افزایشی دارند. کمترین میزان شاخص I_{11} مربوط به سال ۱۳۶۰ (صفر) و بیشترین مقدار مربوط به سال ۱۳۹۶ (یک) است. در مورد شاخص I_{12} کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب مربوط سال‌های ۱۳۶۱ و ۱۳۹۲ است. شاخص تولید انرژی به مصرف انرژی (I_{13}) نشان دهنده شکاف بین تولید و مصرف انرژی است. مقدار بالاتر این نسبت به معنای شکاف کمتر در تولید انرژی یک کشور نسبت به تقاضای انرژی آن کشور و نشان دهنده سطح بالاتر امنیت انرژی است. کمترین میزان شاخص I_{13} مربوط به سال ۱۳۹۲ و بیشترین مقدار آن مربوط به سال ۱۳۶۱ است.

نمودار ۱. شاخص‌های نرمال بعد موجود بودن

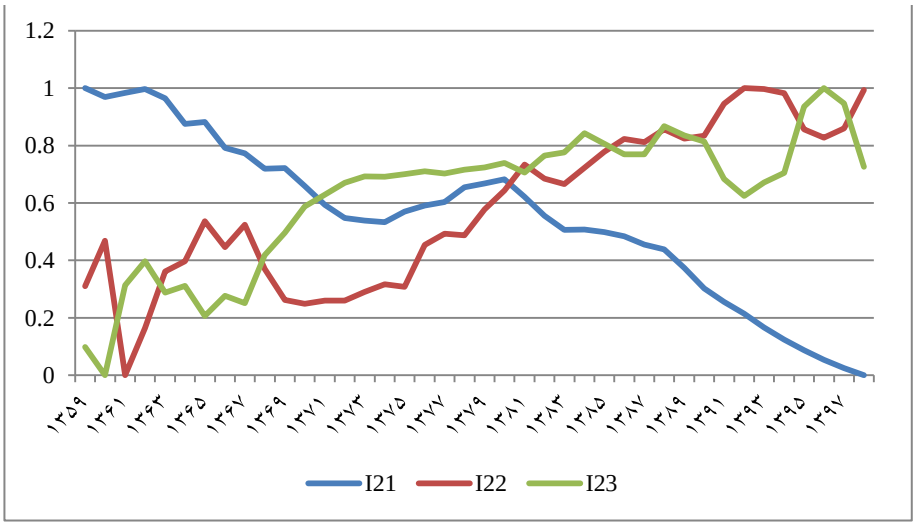


منبع: محاسبات پژوهش

نمودار (۲) شاخص‌های نرمال بُعد در دسترس بودن را نشان می‌دهد. I_{21} سهم سرمایه‌گذاری در انرژی است. سرمایه‌گذاری در انرژی برای بهبود زیرساخت‌های انرژی، ظرفیت تولید انرژی و نرخ تبدیل انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، شاخصی

مثبت است. این شاخص در طول دوره زمانی بجز دو دوره (۱۳۶۰ تا ۱۳۶۲) و (۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰) روند کاهشی را نشان می‌دهد. بالاترین میزان این شاخص مربوط به سال ۱۳۵۹ و پایین‌ترین میزان مربوط به سال ۱۳۹۸ است. شاخص واردات انرژی (I_{22}) معرف وجه دسترسی به انرژی با ملاحظات جغرافیایی است. کمترین و بیشترین میزان این شاخص مربوط به سال‌های ۱۳۶۱ و ۱۳۹۲ است. شاخص حجم بازار انرژی (I_{23}) نیز نشان دهنده میزان انرژی کشور نسبت به کل انرژی جهان است. کمترین و بیشترین میزان این شاخص مربوط به سال‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۹۶ است.

نمودار ۲. شاخص‌های نرمال بعد در دسترس بودن

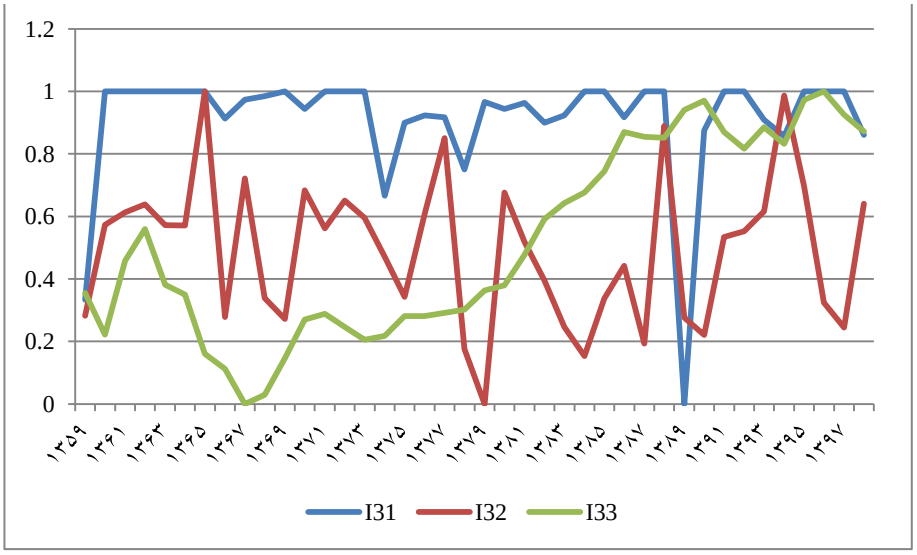


منبع: محاسبات پژوهش

نمودار (۳) شاخص‌های نرمال بعد مقرون به صرفه را نشان می‌دهد. شاخص نسبت نوسانات قیمت سوخت داخلی (I_{31}) نشان دهنده نوسانات قیمت بنزین است. هرچه نسبت نوسان قیمت داخلی سوخت بیشتر باشد امنیت انرژی کمتر است. بنابراین، شاخصی منفی است. این نوسانات بین سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۳ کمتر است و در اکثر سال‌ها دارای بیشترین مقدار است. در حالی که بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸ این نوسانات بیشتر شده است. کمترین میزان این شاخص مربوط به سال ۱۳۸۹ است. شاخص I_{32} نسبت نوسانات قیمت نفت خام را نشان می‌دهد. نوسان قیمت نفت یک شاخص منفی است. هر چقدر میزان این نوسانات کمتر و نزدیک به عدد یک باشد امنیت انرژی وضعیت بهتری دارد. بیشترین

میزان این شاخص در سال ۱۳۶۵ و کمترین آن مربوط به سال ۱۳۷۹ است. شاخص (I_{32}) نشان دهنده تولید ناخالص داخلی سرانه است. تولید ناخالص داخلی سرانه می‌تواند نشان دهنده توانایی افراد برای پرداخت باشد. تولید ناخالص داخلی سرانه استانداردهای زندگی افراد را در همه کشورها اندازه‌گیری می‌کند. هرچه تولید ناخالص داخلی سرانه بالاتر باشد، توانایی مقاومت در برابر تأثیر منفی افزایش قیمت انرژی قوی‌تر است. کمترین و بیشترین میزان این شاخص به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۹۶ است.

نمودار ۳. شاخص‌های نرمال بعد مقرون به صرفه بودن

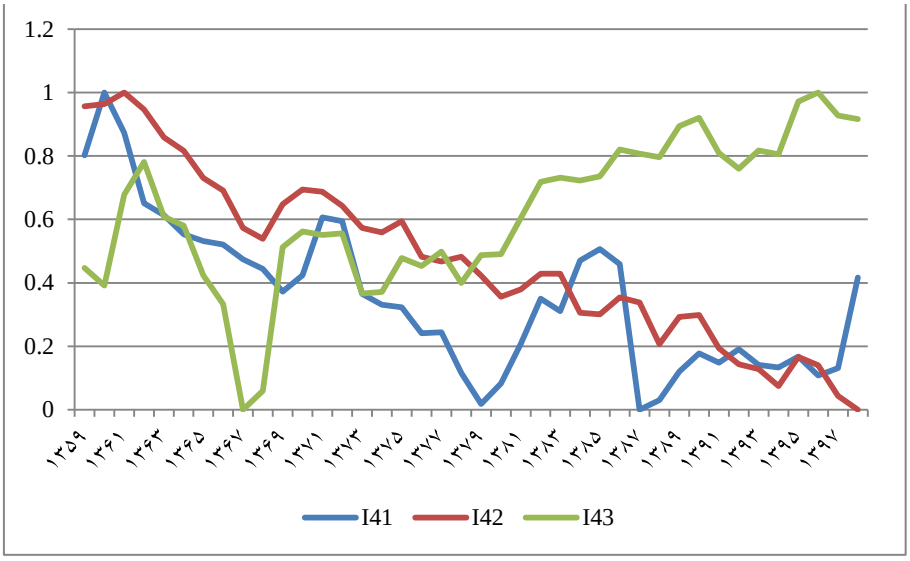


منبع: محاسبات پژوهش

نمودار (۴) شاخص‌های نرمال بعد قابل قبول بودن را نشان می‌دهد. شاخص I_{41} سهم انرژی از سوخت‌های غیرفسیلی را نشان می‌دهد. توسعه انرژی غیرفسیلی می‌تواند ظرفیت تأمین انرژی را افزایش دهد و ایمنی و پایداری سیستم انرژی را بهبود بخشد، بنابراین شاخصی مثبت است. بالاتر بودن این شاخص به معنای بهبود وضعیت امینت انرژی است. میزان این شاخص در سال‌های اخیر پایین بوده است و این نشان می‌دهد که وضعیت ایران در استفاده از سوخت‌های غیرفسیلی مطلوب نیست. این شاخص در سال ۱۳۸۷ کمترین میزان و در سال ۱۳۶۰ بیشترین میزان را داشته است. شاخص شدت انرژی (I_{42}) به طور گسترده در ارزیابی امنیت انرژی استفاده شده است. کاهش این شاخص نشان دهنده

افزایش بازده انرژی است و بر امنیت انرژی تأثیر مثبت دارد، بنابراین یک شاخص منفی است. روند کلی شاخص شدت انرژی نیز نزولی و نشان دهنده افزایش ناکارآیی انرژی است. بالاترین میزان این شاخص در سال ۱۳۶۱ و پایین‌ترین مقدار این شاخص مربوط به سال ۱۳۹۸ است. شدت انتشار کربن (I_{43}) نشان دهنده میزان انتشار کربن با توجه به تولید ناخالص داخلی است. توسعه اقتصادی کم کربن مورد توافق همه کشورهای جهان است. هم از منظر اقتصادی و هم از منظر زیست‌محیطی، کاهش شدت انتشار کربن نشانه عملکرد بهتر امنیت انرژی است. بنابراین، شدت انتشار کربن شاخصی منفی است. این شاخص یک روند نوسانی را بین سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۳۷۹ داشته است اما از سال ۱۳۷۷ به بعد وضعیت این شاخص بهبود یافته و در سال ۱۳۹۶ به بالاترین سطح خود رسیده است.

نمودار ٤. شاخص‌های نرمال بعد قابل قبول بودن

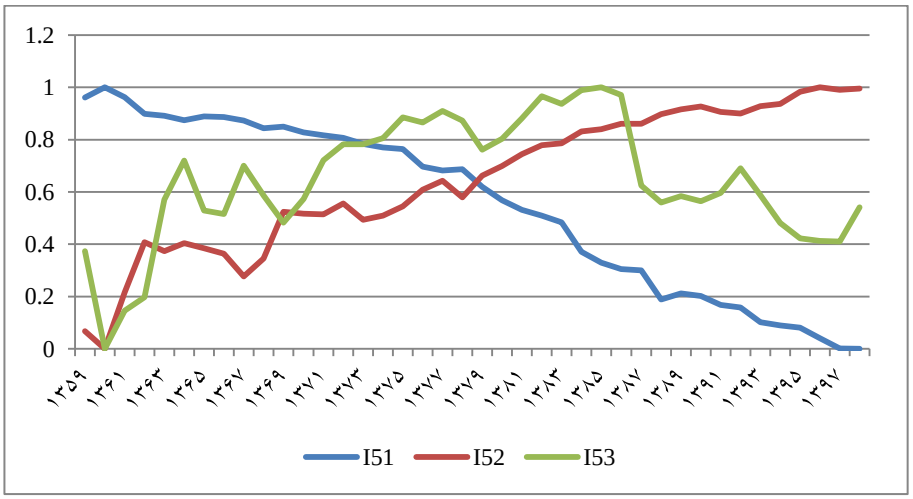


منبع: محاسبات پژوهش

نمودار (۵) شاخص‌های نرمال بعد قابل توسعه بودن را نشان می‌دهد. شاخص I_{51} مصرف سرانه انرژی را در بازه زمانی مورد نظر نشان می‌دهد. افزایش در مصرف سرانه انرژی ریسک امنیت انرژی را افزایش می‌دهد. بنابراین شاخصی منفی است. این شاخص در طول دوره کاهشی است و وضعیت امنیت انرژی از منظر این شاخص رو به کاهش است. بالاترین میزان این شاخص در سال ۱۳۶۰ و پایین‌ترین آن مربوط به سال ۱۳۹۸ است.

شاخص I_{52} انتشار کربن به مصرف انرژی را نشان می‌دهد. این نشان دهنده رابطه بین ساختار انرژی و انتشار کربن از طریق مصرف حامل‌های انرژی است. کمترین و بیشترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۹۶ است. شاخص I_{53} میزان تنوع انرژی را با استفاده از شاخص شانون- وینر نشان می‌دهد. از آنجا که تنوع مصرف انرژی می‌تواند آسیب‌پذیری و ناامنی وابستگی بیش از حد به یک منبع انرژی را کاهش دهد، شاخص تنوع انرژی یک شاخص مثبت است. میزان این شاخص در سال‌های اخیر وضعیت مطلوبی نداشته به طوری که از مقدار یک در سال ۱۳۸۵ به زیر ۰/۶ در سال ۱۳۹۸ رسیده است. کمترین میزان این شاخص مربوط به سال ۱۳۶۰ است.

نمودار۵. شاخص‌های نرمال بعد قابل توسعه بودن



منبع: محاسبات پژوهش

۲-٤. محاسبه وزن شاخص‌ها

در بخش قبلی شاخص‌های نرمال هر پنج بعد محاسبه شد. با داشتن شاخص‌های نرمال می‌توان ماتریس تصمیم‌گیری نرمال را با استفاده از رابطه (۴) برای هر بُعد به دست آورد و سپس با توجه به این ماتریس، وزن هر شاخص را با استفاده از روابط (۵) تا (۷) محاسبه کرد. جدول (۲) وزن هر شاخص را برای هریک از ابعاد نشان می‌دهد. به عنوان مثال، وزن شاخص تولید سرانه انرژی (I_{11}) ۰/۱۸۲۹ و وزن شاخص شدت انرژی (I_{42}) ۰/۳۵۹۳ است. مجموع وزن شاخص‌ها در هر بعد برابر یک است.

جدول۲. وزن شاخص‌ها امنیت انرژی

ابعاد / شاخص	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
وزن شاخص اول	۰/۱۸۲۹	۰/٤۲٦۳	۰/۱۰۰۹	۰/٤٦۷۹	۰/۵۳۹۹
وزن شاخص دوم	۰/٤۳۵۳	۰/۳۲۰٦	۰/۳٤۷۳	۰/۳۵۹۳	۰/۲۵۹۱
وزن شاخص سوم	۰/۳۸۱۸	۰/۲۵۳۱	۰/۵۵۱۸	۰/۱۷۲۸	۰/۲۰۱۰
مجموع وزن‌ها	۱	۱	۱	۱	۱

منبع: محاسبات پژوهش

جدول (۲) نشان می‌دهد، در بعد موجود بودن شاخص دوم یعنی نسبت ذخیره انرژی به تولید انرژی از اهمیت بشتری برخوردار است. در بعد در دسترس بودن، شاخص سرمایه‌گذاری در انرژی اهمیت بیشتری دارد. شاخص سوم یعنی تولید ناخالص داخلی سرانه از اهمیت بیشتری در بعد مقرون به صرفه بودن برخوردار است. در بعد چهارم، اهمیت شاخص سهم انرژی غیرفسیلی نسبت به دو شاخص دیگر بیشتر است. در بعد قابل توسعه بودن، اهمیت شاخص اول یعنی شاخص مصرف سرانه انرژی بیشتر است. در بین ابعاد پنج گانه بیشترین وزن را مصرف سرانه انرژی به خود اختصاص داده است. این موضوع نشان دهنده اهمیت بالای مصرف سرانه انرژی در بحث امنیت انرژی است.

٤-۳. محاسبه راه‌حل ایدئال شاخص‌ها

با محاسبه وزن شاخص‌ها، ماتریس تصمیم‌گیری نرمال وزنی با استفاده از رابطه (۸) به دست می‌آید. با داشتن این ماتریس، راه‌حل ایدئال مثبت و منفی هر شاخص با استفاده از رابطه (۹) و (۱۰) قابل محاسبه است. جدول (۳) راه حل‌آیده‌ال مثبت و منفی هر شاخص را برای تمامی ابعاد نشان می‌دهد. با توجه به این که مقدار شاخص‌ها نرمال و بین صفر و یک است، بنابراین مقادیر مثبت راه‌حل ایدئال برای تمام شاخص‌ها همان وزن (وزن هر شاخص ضربدر عدد یک) و مقادیر منفی صفر (وزن هر شاخص ضربدر صفر) به دست آمده است.

جدول ۳. راه‌حل ایدئال مثبت و منفی شاخص‌ها

ابعاد / شاخص	D_1		D_2		D_3		D_4		D_5	
	مثبت	منفی	مثبت	منفی	مثبت	منفی	مثبت	منفی	مثبت	منفی
شاخص اول	۰/۱۸۲۹	۰	۰/٤۲٦۳	۰	۰/۱۰۰۹	۰	۰/٤٦۷۹	۰	۰/۵۳۹۹	۰
شاخص دوم	۰/٤۳۵۳	۰	۰/۳۲۰٦	۰	۰/۳٤۷۳	۰	۰/۳۵۹۳	۰	۰/۲۵۹۱	۰
شاخص سوم	۰/۳۸۱۸	۰	۰/۲۵۳۱	۰	۰/۵۵۱۸	۰	۰/۱۷۲۸	۰	۰/۲۰۱۰	۰

منبع: محاسبات پژوهش

٤-٤. محاسبه ابعاد امنیت انرژی

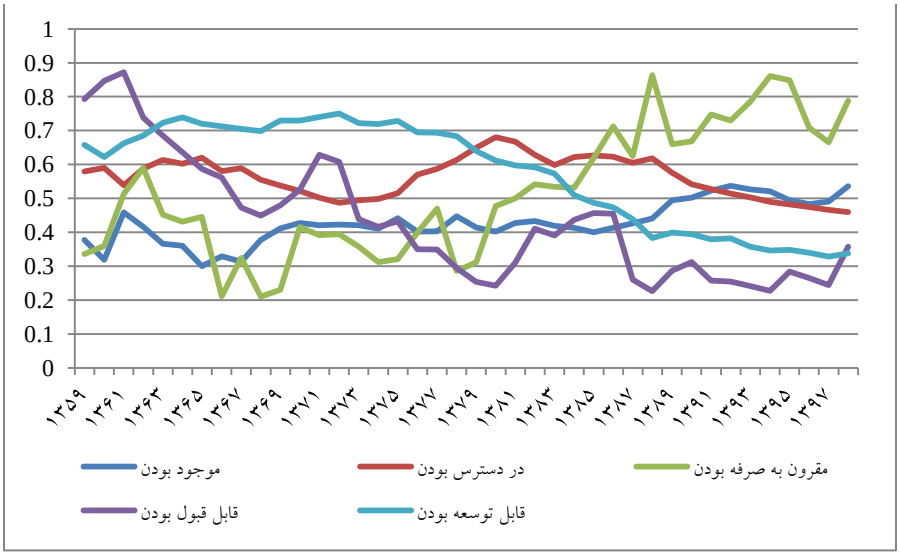
با محاسبه راه‌حل ایدئال در بخش قبلی و به دست آوردن فاصله اقلیدسی ایدئال مثبت و منفی شاخص‌ها از رابطه (۱۱) و (۱۲)، نزدیکی نسبی به جواب ایدئال را برای هریک از ابعاد از رابطه (۱۳) محاسبه و ابعاد امنیت انرژی اندازه‌گیری می‌شود. جدول (۴) خلاصه آماری هریک از ابعاد و نمودار (۶) میزان هریک از ابعاد امنیت انرژی را در دوره ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد.

جدول ٤. خلاصه آماری ابعاد امنیت انرژی

ابعاد	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
حداقل	۰/۲۹۹٦	۰/٤٥۹۸	۰/۲۰۹۹	۰/۲۲٦۳	۰/۳۲۸۱
حداکثر	۰/٥۳٦٤	۰/٦۸۰۲	۰/۸٦۳۸	۰/۸۷۲٤	۰/۷٥۰۲
میانگین	۰/٤۲۸۰	۰/٥٦۳۳	۰/٥۱٥۷	۰/٤۳۳٤	۰/٥۷٥۸
انحراف معیار	۰/۰٦۰٥	۰/۰٥۹٥	۰/۱۸۹۸	۰/۱۸۰۹	۰/۱٥۲٦

منبع: محاسبات پژوهش

نمودار ٦. ابعاد امنیت انرژی

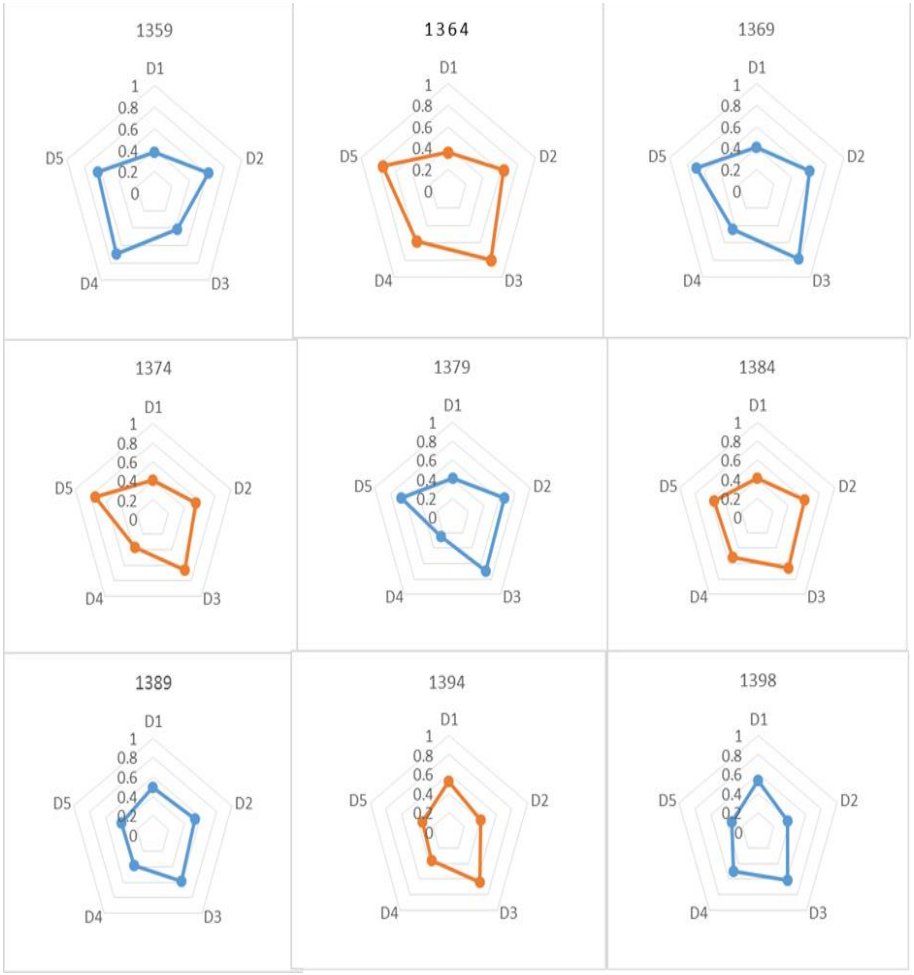


منبع: محاسبات پژوهش

با توجه به نمودار (۶) و نتایج جدول (۴) حداقل میزان بعد موجود بودن ۰/۲۹۹۶ و حداکثر میزان آن ۰/۵۳۶۴ است. این مقادیر به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۸ است. با توجه به میانگین ۰/۴۲۸، از سال ۱۳۸۸ به بعد میزان این بعد بالاتر از میانگین قرار داشته است. بعد در دسترس بودن در سال ۱۳۹۸ کمترین مقدار و در سال ۱۳۸۰ بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. در یک دهه اخیر میزان این بعد همیشته کمتر از میانگین دوره است. بعد مقرون به صرفه بودن دارای مقادیر حداقل و حداکثری در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۸ بوده است. نمودار این بعد نشان می‌دهد که میزان آن در بازه ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۱ کمتر از میانگین و از سال ۱۳۸۲ به بعد میزان این بعد افزایش و بالاتر از میانگین شده است. نمودار بعد چهارم یعنی قابل قبول بودن نشان می‌دهد که این بعد از امنیت انرژی وضعیت مناسبی در دوره زمانی ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ نداشته است و روند نزولی دارد. بالاترین میزان این بعد مربوط به سال ۱۳۶۱ و کمترین آن مربوط به سال ۱۳۸۸ است. از سال ۱۳۷۵ به بعد میزان این شاخص به استثنای چند سال (۸۴، ۸۵ و ۸۶) میزان این شاخص همواره از میانگین دوره پایین‌تر است. وضعیت این بعد از سال ۱۳۸۶ به بعد به مراتب کاهش یافته و به زیر ۰/۴ رسیده است. در خصوص بعد قابل توسعه بودن حداقل و حداکثر میزان مربوط به سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۷۲ است. نمودار این بعد نشان می‌دهد که وضعیت این شاخص از سال ۱۳۸۳ به بعد رو به کاهش گذاشته و از میانگین کل دوره کمتر است، وضعیت حتی از سال ۱۳۸۸ به بعد بدتر و به زیر ۰/۴ رسیده است.

نمودار (۷) امکان مقایسه ابعاد امنیت انرژی در سال‌های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار و مقایسه ابعاد امنیت انرژی سال ۱۳۵۹ و سال ۱۳۹۸ می‌توان گفت که وضعیت بعد اول و سوم بهتر، و وضعیت ابعاد دوم، چهارم و پنجم بدتر شده است.

نمودار ۷. مقایسه ابعاد امنیت انرژی در مقاطع مختلف



منبع: محاسبات پژوهش

٥-٤. ارزیابی امنیت انرژی ترکیبی

برای به دست آوردن امنیت انرژی ترکیبی، ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری نرمال ابعاد تشکیل می‌شود، سپس وزن هریک از آن‌ها مانند وزن شاخص‌ها و با استفاده از روابط (۵) تا (۷) محاسبه می‌شود. در مرحله بعد، راه‌حل ایدئال مثبت و منفی ابعاد از طریق ماتریس تصمیم‌گیری استاندار وزنی ابعاد به دست می‌آید. جدول (۵) میزان وزن و راه‌حل ایدئال مثبت و منفی ابعاد امنیت انرژی را نشان می‌دهد.

جدول۵. وزن و راه‌حل ایدئال ابعاد امنیت انرژی

ابعاد	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
وزن ابعاد	۰/۱۱۰۹	۰/۱٦٤٥	۰/۱۸٤۳	۰/۳۲۹٥	۰/۲۱۰۷
راه‌حل ایدئال مثبت	۰/۱۱۰۹	۰/۱٦٤٥	۰/۱۸٤۳	۰/۳۲۹٥	۰/۲۱۰۷
راه‌حل ایدئال منفی	۰	۰	۰	۰	۰

منبع: محاسبات پژوهش

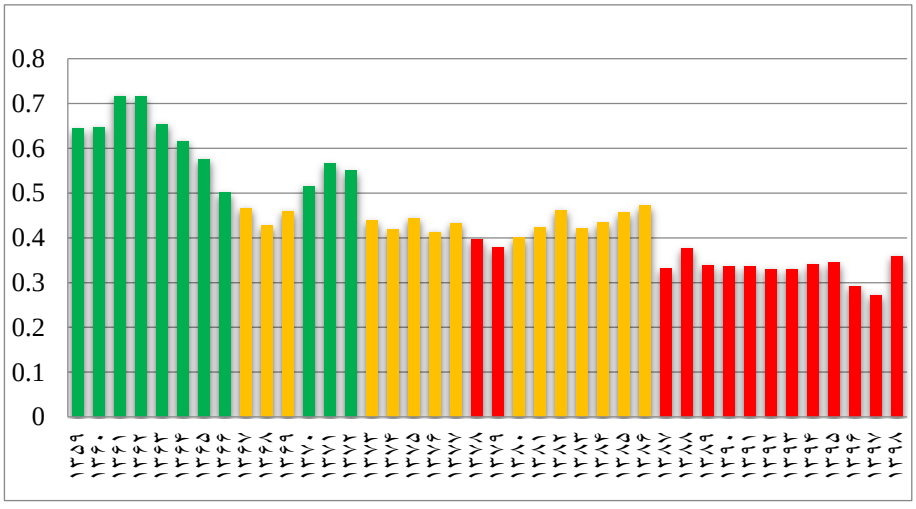
نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که بیشترین وزن در بین ابعاد امنیت انرژی را بعد قابل قبول بودن دارد. با محاسبه راه حال ایدئال مثبت و منفی، فاصله اقلیدسی ایدئال مثبت و منفی ابعاد از رابطه (۱۱) و (۱۲) محاسبه و با داشتن مقادیر فاصله اقلیدسی هریک از ابعاد، نزدیکی نسبی به جواب ایدئال را از رابطه (۱۳) به دست می‌آید. با محاسبه نزدیکی نسبی به جواب ایدئال در نهایت شاخص ترکیبی امنیت انرژی اندازه‌گیری می‌شود. جدول (۶) خلاصه آماری امنیت انرژی و نمودار (۷) شاخص ترکیبی امنیت انرژی در دوره ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد.

جدول ٦. خلاصه آماری امنیت انرژی ترکیبی

	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
امنیت انرژی	۰/۲۷۲	۰/۷۱٦	۰/٤٥۰	۰/۱۱٦

منبع: محاسبات پژوهش

نمودار ۷. امنیت انرژی ترکیبی



منبع: محاسبات پژوهش

نمودار (۷) روند امنیت انرژی ایران در دوره ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. این نمودار با سه رنگ سبز برای سطوح بیشتر از ۰/۵، نارنجی سطوح بین ۰/۵ تا ۰/۴ و قرمز برای سطوح کمتر از ۰/۴ مشخص شده است. امنیت انرژی در سال‌ها اولیه دوره زمانی یعنی از ۱۳۵۹ تا ۱۳۶۶ همواره بالاتر از ۰/۵ و وضعیت مطمئن و قابل قبولی داشته است. بعد از این دوره امنیت انرژی روند نوسانی را تجربه کرده است و بجز سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۲ که دوباره وضعیت مطمئن و مطلوبی را نشان می‌دهد، در سایر سال‌ها (نارنجی و قرمز) در وضعیت خوب و قابل قبولی قرار نداشته است. در یک دهه اخیر وضعیت امنیت انرژی ایران مناسب نبوده و مقدار آن همیشه کمتر از ۰/۴ قرار داشته است، بویژه در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ که به زیر ۰/۳ هم رسیده است. بیشترین مقدار امنیت انرژی ۰/۷۱۶ در سال ۱۳۶۱ و کمترین مقدر آن برابر با ۰/۲۷۲ در سال ۱۳۹۷ است.

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

افزایش رشد اقتصادی و بهبود استانداردهای زندگی، نیازمند استفاده از نهاده انرژی است. تضمین تأمین انرژی کافی، قابل اطمینان و سازگار با محیط زیست به هدف و چالش اصلی تبدیل و اهمیت امنیت انرژی را آشکار کرده است. امنیت انرژی مفهومی چند بعدی است که با توجه به اهداف خاص هر کشور تعریف و اندازه‌گیری می‌شود. اغلب کشورهای توسعه‌یافته امنیت انرژی را براساس مدیریت ریسک‌های ناشی از کمبود منابع انرژی در نظر می‌گیرند. در حالی که کشورهای در حال توسعه آن را یک مفهوم جامع‌تر می‌دانند که شامل مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی، ژئوپلیتکی و کارآیی است. در این مطالعه امینت انرژی ایران طی دوره ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۸ با استفاده از پنج بعد موجود بودن، در دسترس بودن، مقرون به صرفه بودن، قابل قبول بودن و قابل توسعه بودن اندازه‌گیری و ارزیابی شد. برای کمّی‌سازی و اندازه‌گیری هریک از ابعاد با استفاده از داده‌های موجود شاخص‌های تعریف و محاسبه شد. بعد از محاسبه میزان شاخص‌ها با استفاده از روش حداقل- حداکثر، داده‌های نرمال شده هر شاخص به دست آمد. در ادامه با استفاده از روش تاپسیس و وزن‌دهی آنتروپی، وزن هر شاخص محاسبه و سپس با استفاده از راه‌حل ایدئال مثبت و منفی میزان هریک از ابعاد اندازه‌گیری شد. در ادامه با تکرار این فرآیند برای هریک از ابعاد، شاخص ترکیبی امنیت انرژی محاسبه شد.

نتایج مطالعه نشان داد که اهمیت شاخص‌های نسبت ذخیره انرژی به تولید انرژی (I_{12})، شاخص سرمایه‌گذاری در انرژی (I_{21})، شاخص تولید ناخالص سرانه (I_{33})، شاخص سهم انرژی غیرفسیلی (I_{41}) و شاخص مصرف سرانه انرژی (I_{51}) به ترتیب بیشترین اهمیت را در بین ابعاد پنج‌گانه دارند. شاخص نسبت ذخایر به تولید انرژی، شاخصی مثبت برای امنیت انرژی است. روند این شاخص در سال‌های اخیر نوسانی است و نشان می‌دهد که برداشت از ذخایر افزایش یافته است. این موضوع می‌تواند در آینده، بعد موجود بودن امینت انرژی را تحت تأثیر قرار دهد. شاخص سرمایه‌گذاری بیشترین اهمیت را در بعد در دسترس بودن دارد. روند این شاخص در اکثر سال‌های دوره مورد بررسی کاهشی است. به عبارت دیگر، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های انرژی کاهش یافته است و میزان سرمایه‌گذاری در انرژی نیازمند توجه بیشتری است. شاخص تولید ناخالص سرانه در بعد مقرون به صرفه بودن اهمیت بیشتری نسبت به دو شاخص دیگر دارد. این موضوع نشان می‌دهد که توجه به قدرت خرید افراد برای دستیابی به انرژی می‌تواند حائز اهمیت باشد و امنیت انرژی را افزایش دهد. سهم انرژی غیرفسیلی در بعد قابل قبول بودن بیشترین اهمیت را دارد. روند این شاخص نشان داد که ایران وضعیت مناسبی در مصرف انرژی غیرفسیلی ندارد و این موضوع موجب کاهش بعد قابل قبول بودن و امنیت انرژی شده است. شاخص مصرف انرژی نیز اهمیت بالایی در بعد قابل توسعه بودن دارد. روند افزایش مصرف انرژی سرانه در ایران موجب کاهش این شاخص در طول دوره مورد بررسی شده است.

با ترکیب ابعاد، شاخص ترکیبی امنیت انرژی اندازه‌گیری و نشان داد که امنیت انرژی در دوره مورد بررسی روندی نزولی داشته است. بالاترین میزان امنیت انرژی ۰/۷۱۶ (سال ۱۳۶۱) و کمترین میزان آن ۰/۲۷۲ (سال ۱۳۹۷) بود. نتایج و محاسبات نشان داد که وضعیت امنیت انرژی در طول سال‌های اخیر یعنی از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ به مراتب بدتر شده و به زیر ۰/۴ رسیده است.

با توجه به اهمیت امنیت انرژی و نتایج مطالعه، روند فعلی نیازمند اصلاح است و سیاست‌گذاری صحیح و تصمیم‌گیری مناسب در حوزه انرژی برای بهبود وضعیت امنیت انرژی ضروری است. اهمیت هریک از شاخص‌ها نشان داد که کدامیک از شاخص‌ها می‌تواند تأثیر بیشتری بر بهبود امنیت انرژی در ایران داشته باشد. توجه به ابعاد با

اهمیت‌تر، مثل بُعد قابل اطمینان بودن و قابلیت توسعه داشتن و شاخص‌هایی مانند مصرف سرانه انرژی، سهم انرژی از سوخت‌های غیرفسیلی و شدت انرژی که سهم بیشتری در این ابعاد دارند، می‌تواند در بهبود روند امنیت انرژی نقش مهمی داشته باشد. بنابراین، تمرکز روی این شاخص‌ها و تلاش برای تقویت سایر شاخص‌ها باید مد نظر قرار گیرد. در این راستا می‌توان به مواردی مانند، افزایش ذخایر انرژی به تولید انرژی، افزایش سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی و استفاده از سوخت‌های غیرفسیلی و کاهش مصرف سرانه انرژی اشاره کرد.

٦. تعارض منافع

تعارض منافعی ندارم.

۷. سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از داوران محترم بابت ارائه نظرات و پیشنهادهای ارزشمند کمال تشکر و قدردانی را دارند.

ORCID

Esmael Torkamani https://orcid.org/0000-0002-3349-599X
Mohammad Hassan Fotros https://orcid.org/0000-0001-6859-5854

۸. منابع

انتظار المهدی، مصطفی. (۱۳۹۳). اندازه‌گیری شاخص‌های امنیت انرژی: بهره‌وری داشتن؛ با تأکید بر کشورهای عمده تولیدکننده جهان اسلام، *فصلنامه مطالعات سیاسی جهان اسلام*، شماره ۱۰: ۳۱-۵۱.

حیدری فتح‌آباد، علی و تکلیف، عاطفه. (۱۳۹۷). بررسی رابطه امنیت تقاضای صادرات نفت خام و سرمایه‌گذاری بخش بالادستی صنعت نفت در کشورهای عضو اوپک، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۲۸: ۸۱-۵۱.

درخشان، مسعود. (۱۳۹۱). امنیت انرژی و تحولات آینده بازارهای نفت و گاز، *فصلنامه راهبرد*، *شماره ۶۴*: ۱۸۸-۱۵۹.

عسگری، حشمت اله و بهنود، عباس. (۱۳۹۸). تعیین یک شاخص ترکیبی برای اندازه‌گیری میزان امنیت عرضه برق در ایران، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۳۰: ۱۲۲-۹۳.

کریمی، محمدصادق و علیدوستی، علی. (۱۳۹۳). ارزیابی آسیب‌پذیری انرژی در ایران با استفاده از شاخص ترکیبی کمی آسیب‌پذیری انرژی، *فصلنامه پژوهش‌های حفاظتی- امنیتی دانشگاه جامع امام حسین (ع)*، شماره ۱: ۱۴۶-۱۱۵.

مزرعتی، محمد. (۱۳۸۶). امنیت انرژی، دو روی یک سکه: امنیت عرضه و امنیت تقاضای انرژی، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۱۳: ۸۷-۷۱.

ملکی، عباس. (۱۳۸۹). امنیت انرژی، ایران و مسائل دریای خزر، *فصلنامه آسیای مرکزی و قفقاز*، شماره ۷۰: ۱۶۰-۱۲۱.

ملکی، عباس. (۱۳۹۳). سیاست‌گذاری انرژی، تهران، *نشر نی*.

References

Abdullah, F. B., Iqbal, R., Jawaid, M., Memon, I., Mughal, S., Memon, F. S. and Rizvi, S. S. A. (2021). Energy security index of Pakistan (ESIOP). *Energy Strategy Reviews*, 38, 100710.

Ang, B. W., Choong, W. L. and Ng, T. S. (2015). Energy security: Definitions, dimensions and indexes. *Renewable and sustainable energy reviews*, 42, 1077-1093.

Asgari, H. and Behnood, A. (2019). Determination of a composite index to measure the security of electricity supply in Iran. *Iranian Energy Economics*, 8 (30), 93-122. [In Persian]

Asia Pacific Energy Research Centre (APERC). (2007). A Quest for Energy Security in the 21st Century: Resources and Constraints. Japan: Tokyo.

Augutis, J., Krikštolaitis, R., Martišauskas, L., Urbonienė, S., Urbonas, R. and Ušpurienė, A. B. (2020). Analysis of energy security level in the Baltic States based on indicator approach. *Energy*, 199, 117427.

Bohi, D. R. and Toman, M. A. (1993). Energy security: externalities and policies. *Energy policy*, 21 (11), 1093-1109.

Derakhshan, M. (2012). Energy Security and Future Developments in Oil and Gas Markets. Rahbord, 21 (64), 159-188. [In Persian]

Dike, J. C. (2013). Measuring the security of energy exports demand in OPEC economies. *Energy policy*, 60, 594-600.

Dobbie, M. J. and Dail, D. (2013). Robustness and sensitivity of weighting and aggregation in constructing composite indices. *Ecological Indicators*, 29, 270-277.

Entezarulmahdi, M. (2014). Measuring Energy Security Indicators: Efficiency with Emphasis on the Major Countries of the Islamic World. *Political studies of Islamic world*, 3 (10), 31-51. [In Persian]

Fang, D., Shi, S. and Yu, Q. (2018). Evaluation of sustainable energy security and an empirical analysis of China. *Sustainability*, 10 (5), 168.

Global Energy Institute (GEI). (2018). International index of energy security risk: Assessing risk in a global energy market. Available at: https://www. Global energy institute.org/energy-security-risk-index. Publishers.

Heydari Fathabad, A. and Taklif, A. (2018). Investigating the relationship between security of crude oil exports demand and investment in the upstream oil industry in OPEC member countries. *Iranian Energy Economics*, 7 (28), 51-81. [In Persian]

Hughes, L. (2012). A generic framework for the description and analysis of energy security in an energy system. *Energy Policy*, 42, 221-231.

Intharak, N., Julay, J. H., Nakanishi, S., Matsumoto, T., Sahid, E. J. M., Aquino, A. G. O. and Aponte, A. A. (2007). A quest for energy security in the 21st century. *Asia Pacific Energy Research Centre Report*.

Karimi. M. S. and Alidoosti. A. (2015). Assessment of energy vulnerability in Iran using quantitative composite index of energy vulnerability. *Protective & security researches*, 3 (9), 115-146. [In Persian]

Kruyt, B., Van Vuuren, D. P., de Vries, H. J. and Groenenberg, H. (2009). Indicators for energy security. *Energy policy*, 37 (6), 2166-2181.

Le, T. H. and Nguyen, C. P. (2019). Is energy security a driver for economic growth? Evidence from a global sample. *Energy policy*, 129, 436-451.

Maleki, A. (2011). Energy Security: Iran and the Caspian Sea Issues, *Central Asia and The Caucasus Journal*, 16 (70), 121-160. [In Persian]

Maleki, A. (2015). Energy policy. Tehran. *Ney publication*. [In Persian]

Martchamadol, J. and Kumar, S. (2012). Thailand's energy security indicators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (8), 6103-6122.

Mazraati, M. (2007). Two Faces of Energy Security: Energy Supply and Demand. Energy. *Economics Review*, 4 (13), 71-87. [In Persian]

Munoz, B., García-Verdugo, J. and San-Martín, E. (2015). Quantifying the geopolitical dimension of energy risks: A tool for energy modelling and planning. *Energy*, 82, 479-500.

Narula, K. (2014). Is sustainable energy security of India increasing or decreasing? *International Journal of Sustainable Energy*, 33 (6), 1054-1075.

Narula, K. and Reddy, B. S. (2016). A SES (sustainable energy security) index for developing countries. *Energy*, 94, 326-343.

Nawaz, S. M. N. and Alvi, S. (2018). Energy security for socio-economic and environmental sustainability in Pakistan. *Heliyon*, *4* (10), e00854.

Radovanović, M., Filipović, S. and Pavlović, D. (2017). Energy security measurement-A sustainable approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1020-1032.

Ren, J. and Sovacool, B. K. (2014). Quantifying, measuring, and strategizing energy security: Determining the most meaningful dimensions and metrics. *Energy*, 76, 838-849.

Scheepers, M., Seebregts, A., de Jong, J. and Maters, H. (2007). EU standards for energy security of supply. *Gas*, 52 (6), 86.

Sovacool, B. K. (2011). Evaluating energy security in the Asia pacific: Towards a more comprehensive approach. *Energy policy*, 39 (11), 7472-7479.

Sovacool, B. K. (2013). An international assessment of energy security performance. *Ecological Economics*, 88, 148-158.

Tongsopit, S., Kittner, N., Chang, Y., Aksornkij, A. and Wangjiraniran, W. (2016). Energy security in ASEAN: A quantitative approach for sustainable energy policy. *Energy policy*, 90, 60-72.

Winzer, C. (2012). Conceptualizing energy security. *Energy policy*, *46*, 36-48.

Yao, L. and Chang, Y. (2014). Energy security in China: a quantitative analysis and policy implications. *Energy Policy*, 67, 595-604.

Yergin, D. (1988). Energy Security in the 1990s. *Foreign Aff.*, 67, 110.

استناد به این مقاله: ترکمنی، اسماعیل؛ فطرس، محمدحسن. (۱۴۰۲). ارائه شاخصی ترکیبی برای اندازه‌گیری و ارزیابی امنیت انرژی در ایران، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۴۷ (۱۲)، ۴۷-۷۸.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.