



A Hybrid Model for Prioritizing the Construction of Renewable Power Plants with Sustainable Development Considerations

Fatima Sedady

MSc in MBA, Semnan University, Semnan, Iran.

fatimasedady@semnan.ac.ir

Mohammad Ali Beheshtinia 

Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

beheshtinia@semnan.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-08-30

Revised: 2025-09-29

Accepted: 2025-10-06

Keywords:

*Sustainable Development,
Renewable Energy,
Dimensions of Sustainable
Development, MCDM,
Fuzzy Theory*

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Renewable energies have a direct role in the three main dimensions of sustainability: economic, social, and environmental. In recent years, the growing energy demand, depletion of fossil fuel resources, and environmental hazards have drawn global attention to renewable energies. The construction of renewable power plants plays a significant role in national energy policy. However, due to the high investment costs of renewable power plants, selecting the appropriate type of plant is crucial. Therefore, this study proposes a hybrid approach combining Analytic Hierarchy Process (AHP), Enhanced Digital Logic, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, and Copeland methods to prioritize the construction of renewable power plants in Iran, considering multiple dimensions including technical, economic, social, political, and environmental sustainability aspects.

Materials and Methods: First, several types of renewable power plants with potential for deployment in Iran were identified. Then, criteria for evaluating and prioritizing their construction were established, considering various dimensions of sustainable development. The weights of the criteria were determined using AHP and MDL methods. Subsequently, scores for each power plant under each criterion were calculated. Finally, Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR methods were applied to rank the priority of renewable power plant construction in Iran. The results of different methods were integrated using the Copeland method.

Results: Six renewable power plants were identified as alternatives and 25 criteria were considered for their evaluation. The results indicated that, in order of importance, the main criteria were economic, environmental, technical, political, and social factors. Furthermore, the final results revealed that the priority for establishing renewable power plants in Iran is

• Corresponding author.

E-mail: beheshtinia@semnan.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0001-8062-3934>

as follows: solar, hydro, wind, wave and tidal, geothermal, and biomass power plants.

This research, by introducing 25 evaluation criteria for the development of renewable power plants—categorized into five main dimensions (economic, environmental, technical, political, and social)—helps policymakers, managers, and investors in the renewable energy sector to gain a comprehensive perspective and make more effective decisions regarding the allocation of limited resources for the construction of higher-priority power plants.

Conclusion: This study applied a hybrid approach combining AHP, MDL, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, and Copeland methods to prioritize the construction of renewable power plants in Iran, considering multiple dimensions of sustainable development. The results indicate that solar power plants hold the highest priority, followed by hydro, wind, wave and tidal, geothermal, and biomass plants. These findings provide valuable insights for policymakers and investors, guiding strategic planning and resource allocation for sustainable energy development in Iran.

Cite this article:

Sadady, F., Beheshtinia, M. A. (2025). Providing a Hybrid Framework for Prioritizing the Construction of Renewable Power Plants with Sustainable Development Considerations. *Managerial Modelling in Sustainable Development*, 1(2), 1-28.

DOI: [https://doi.org/ 10.22075/mmsd.2025.38868.1018](https://doi.org/10.22075/mmsd.2025.38868.1018)

© 2024 authors retain the copyright and full publishing rights. Journal of Managerial Modelling in Sustainable Development Published by **Semnan University Press**.

This is an open access article under the CC-BY-4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



ارائه مدل ترکیبی برای اولویت بندی احداث نیروگاه های تجدید پذیر با ملاحظات توسعه پایدار

فاطمه سدادی

کارشناس ارشد MBA، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

fatimasedady@semnan.ac.ir

محمدعلی بهشتی نیا *

دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

beheshtinia@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: انرژی های تجدیدپذیر در سه بُعد اصلی پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی) نقش مستقیم دارند. در سال های اخیر، رشد تقاضای انرژی، کمبود منابع سوخت های فسیلی و خطرات زیست محیطی توجه جهانی را به انرژی های تجدیدپذیر معطوف کرده است و ساخت نیروگاه های تجدیدپذیر در سیاست گذاری بخش انرژی کشورها نقش مهمی ایفا می کند. از طرفی، به علت هزینه های سرمایه گذاری بالای نیروگاه های تجدیدپذیر، انتخاب درست نوع نیروگاه بسیار حائز اهمیت است. لذا این تحقیق به ارائه رویکردی ترکیبی از تکنیک های تحلیل سلسله مراتبی، منطق دیجیتال بهبود یافته، تاپسیس فازی، ویکور فازی و Copeland جهت اولویت بندی احداث نیروگاه های تجدیدپذیر در کشور ایران با در نظر گرفتن ابعاد مختلف، از جمله ابعاد توسعه پایدار نظیر ملاحظات فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست محیطی پرداخته است. روش: ابتدا چند نوع نیروگاه انرژی تجدیدپذیر که در کشور پتانسیل استفاده از آنها وجود دارد شناسایی می شوند. سپس معیارهایی جهت ارزیابی و اولویت بندی احداث آنها با در نظر گرفتن ابعاد توسعه پایدار تعیین می شود. در ادامه، وزن معیارها با روش های AHP و MDL تعیین می شود. سپس امتیاز هر نیروگاه در هر معیار محاسبه شده و در انتها با استفاده از روش های فازی TOPSIS و VIKOR، به رتبه بندی اولویت احداث نیروگاه های تجدیدپذیر در کشور ایران پرداخته می شود. در نهایت، با استفاده از روش Copeland، نتایج روش های مختلف یکپارچه می گردد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴	
واژه های کلیدی: توسعه پایدار، انرژی تجدیدپذیر، ابعاد توسعه پایدار، تصمیم گیری چند معیاره، تئوری فازی	

یافته‌ها: شش نیروگاه انرژی تجدیدپذیر به عنوان گزینه و ۲۵ معیار جهت ارزیابی آن‌ها شناسایی شد. نتایج نشان داد که به ترتیب معیارهای اصلی اقتصادی، زیست‌محیطی، فنی، سیاسی و اجتماعی بیشترین اهمیت را دارا هستند. همچنین نتایج نهایی نشان می‌دهند که اولویت احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر در ایران به ترتیب شامل نیروگاه‌های خورشیدی، برق‌آبی، بادی، موج و جزرومد، زمین‌گرمایی و زیست‌توده است.

این تحقیق با معرفی ۲۵ معیار ارزیابی در زمینه احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر، که در پنج بُعد اصلی (اقتصادی، زیست‌محیطی، فنی، سیاسی و اجتماعی) دسته‌بندی شده‌اند، به سیاست‌گذاران، مدیران و سرمایه‌گذاران بخش انرژی‌های تجدیدپذیر کمک می‌کند تا دید جامعی به دست آورند و تصمیم‌های مؤثرتری در زمینه تخصیص منابع محدود برای احداث نیروگاه‌هایی که اولویت بیشتری دارند، اتخاذ کنند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه با استفاده از رویکردی ترکیبی شامل AHP، MDL، تاپسیس فازی، ویکور فازی و روش Copeland، اولویت‌بندی ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر در ایران را با در نظر گرفتن ابعاد مختلف توسعه پایدار انجام داد. نتایج نشان می‌دهد که نیروگاه‌های خورشیدی در اولویت نخست قرار دارند و پس از آن نیروگاه‌های برق‌آبی، بادی، موج و جزرومد، زمین‌گرمایی و زیست‌توده قرار دارند. این یافته‌ها بینش‌های ارزشمندی برای سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران فراهم می‌کنند و می‌توانند راهنمایی برای برنامه‌ریزی استراتژیک و تخصیص منابع در توسعه پایدار انرژی در ایران باشند.

استناد: سدادی، فاطیما، بهشتی‌نیا، محمدعلی (۱۴۰۴). ارائه‌ی چارچوبی ترکیبی برای اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر با ملاحظات توسعه پایدار. *مدل‌سازی مدیریتی در توسعه پایدار*، ۱(۲)، ۱-۲۸.

DOI: <https://doi.org/10.22075/mmsd.2025.38868.1018>

ناشر: دانشگاه سمنان

۱. مقدمه

انرژی‌های تجدیدپذیر نقشی کلیدی در دستیابی به توسعه پایدار ایفا می‌کنند، زیرا همزمان سه بُعد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از منظر زیست‌محیطی، استفاده از منابعی همچون خورشید، باد، زیست‌توده و زمین‌گرمایی موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه مقابله با تغییرات اقلیمی می‌شود، همچنین آلودگی هوا و آب را نسبت به سوخت‌های فسیلی کاهش داده و به حفظ منابع طبیعی تجدیدناپذیر کمک می‌کند (Beheshtinia et al., 2025). از نظر اقتصادی، انرژی‌های نو با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی امنیت انرژی را افزایش داده و فرصت‌های شغلی جدیدی در حوزه نصب، بهره‌برداری و فناوری ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، هرچند سرمایه‌گذاری اولیه در این حوزه بالاست، اما در بلندمدت هزینه‌های تولید و مصرف انرژی کاهش یافته و امکان جذب سرمایه‌گذاری‌های پایدار فراهم می‌شود (Hanna et al., 2024). در بُعد اجتماعی نیز انرژی‌های تجدیدپذیر زمینه دسترسی عادلانه‌تر به انرژی، به‌ویژه در مناطق محروم و دورافتاده را فراهم می‌کنند و با کاهش آلودگی هوا، سلامت عمومی را ارتقا می‌دهند. همچنین این منابع با تأمین انرژی پاک برای نسل‌های آینده، به تحقق عدالت بین‌نسلی کمک کرده و موجب تغییر سبک زندگی به سمت مصرف مسئولانه‌تر می‌شوند (Shapna et al., 2025). در مجموع، انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان موتور محرک توسعه پایدار عمل می‌کنند، زیرا در عین تأمین نیازهای انرژی جوامع امروزی، امکان رشد اقتصادی پایدار، رفاه اجتماعی و حفاظت از محیط‌زیست را برای آینده نیز فراهم می‌آورند.

در سال‌های اخیر توجه جهانی به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر معطوف شده است. بالارفتن قیمت سوخت‌های فسیلی، پایان‌پذیری منابع این انرژی‌ها و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها باعث شده است که توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر در سیاست‌گذاری بخش انرژی کشورها نقش مهمی ایفا کنند (Mukhtarov, 2024). اگرچه نیروگاه‌های تجدیدپذیر سازگار با محیط زیستند و از هزینه بهره‌برداری اندکی برخوردارند، اما هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالایی خواهند داشت (Osman et al., 2023). بنابراین انتخاب درست نوع نیروگاه تجدیدپذیر جهت احداث بسیار حائز اهمیت است. انواع مختلفی از نیروگاه‌های تجدیدپذیر وجود دارد که انتخاب نوع مناسب هر یک از آن‌ها جهت احداث (گزینه‌ها)، نیازمند توجه به جنبه‌های مختلف (معیارها) می‌باشد. تصمیم‌گیری چند معیاره ($MCDM^1$) به بررسی و انتخاب بهترین گزینه با توجه به مجموعه‌ای از معیارها می‌پردازد. تکنیک‌های مختلفی به این منظور ارائه شده‌اند که هر یک دیدگاه خاصی را در تصمیم‌گیری مد نظر قرار می‌دهند (Sedady & Beheshtinia, 2019). در این تحقیق با استفاده از رویکردی ترکیبی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به اولویت‌بندی احداث انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر با در نظر گرفتن معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا معیارها و زیرمعیارهایی که تأثیر مهم بر انتخاب نوع نیروگاه تجدیدپذیر دارند با استفاده از مرور ادبیات شناسایی می‌شوند؛ سپس با استفاده از تکنیک‌های تاپسیس فازی ($FTOPSIS^2$) و ویکور فازی ($FVIKOR^3$) به اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر با در نظر گرفتن معیارهای شناسایی شده، پرداخته می‌شود. در هر دو تکنیک مذکور بایستی وزن معیارها به صورت ورودی مشخص شود. که برای تعیین وزن معیارها نیز از دو تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP^4) و منطق دیجیتالی بهبود (MDL^5) یافته استفاده

¹. Multi Criteria Decision Making

². Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

³. Fuzzy Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromision Resenje

⁴. Modified Digital Logic

⁵. Analytic Hierarchy Process

شده است. در انتها نیز از تکنیک Copeland جهت اجماع نهایی رتبه‌بندی‌های به دست آمده استفاده می‌شود. به منظور درک بهتر رویکرد پیشنهادی، یک مطالعه‌ی موردی بر نیروگاه‌های تجدیدپذیر ایران صورت می‌گیرد. اغلب تحقیقات تنها بر یک یا چند بُعد محدود (مثلاً اقتصادی یا زیست‌محیطی) تمرکز داشته و ابعاد جامع توسعه پایدار را همزمان لحاظ نکرده‌اند. این تحقیق با ارائه لیست جامعی از معیارها شامل ۲۵ معیار در ابعاد اقتصادی، فنی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی سعی در پوشش این خلا دارد. همچنین بسیاری از مدل‌های تصمیم‌گیری در این حوزه به یک روش منفرد متکی بوده و از قابلیت ترکیبی چند روش برای افزایش اعتبار نتایج استفاده نکرده‌اند. به منظور رفع این خلا در این تحقیق از چهار روش ترکیبی AHP-FTOPSIS، MDL-FTOPSIS، AHP-FVIKOR و MDL-FVIKOR و همچنین روش Copeland جهت رتبه‌بندی نیروگاه‌های تجدیدپذیر استفاده شده است. سوال اصلی که این تحقیق در پی یافتن پاسخ آن است به شرح زیر می‌باشد:

- اولویت‌بندی احداث انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، فنی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی به چه صورتی است؟

همچنین سوالات فرعی که در طول تحقیق به آن‌ها پاسخ داده می‌شود عبارتند از:

۱. چه معیارهایی جهت انتخاب بهترین نوع نیروگاه تجدیدپذیر جهت احداث مطرح هستند؟
 ۲. اهمیت هر یک از این معیارها چگونه است؟
 ۳. اولویت‌بندی احداث نیروگاه تجدیدپذیر چگونه است؟
- در ادامه در بخش ۲ به بیان ادبیات تحقیق پرداخته می‌شود. سپس روش تحقیق در بخش ۳ و نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی روی مطالعه‌ی موردی در بخش ۴ تبیین می‌شود. در انتها نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی در بخش ۵ ارائه می‌شود.

۲. پیشینه پژوهش

تحقیقات مختلفی به بررسی اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته‌اند و هر یک دسته‌ای از معیارها را به این منظور در نظر گرفته‌اند. در این بخش به مرور این تحقیقات پرداخته می‌شود.

چاتزیموراتیدیس و پیلاواچی (2012) مدلی با ترکیب روشهای AHP و پرامته برای انتخاب بهترین نیروگاه تجدیدپذیر برای تولید برق ارائه کردند که معیارهای محیط‌زیستی، فنی و اجتماعی را در بر می‌گرفت. پرپینا و همکاران (2013) از AHP برای انتخاب پایدارترین فناوری تولید برق با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی توسعه دادند. یزدانی-چمزینی و همکاران (2013) به بررسی انتخاب مناسب‌ترین پروژه نیروگاه تجدیدپذیر با استفاده از روشهای AHP و COPRAS پرداختند. با در نظر گرفتن جنبه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی، احمد و طاهر (2014) از روش AHP و سنگول و همکاران (2015) از روش TOPSIS برای اولویت‌بندی ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر استفاده کردند. رن (۲۰۱۸) چارچوبی برای اولویت‌بندی سیستم‌های انرژی بر اساس ارزیابی پایداری چرخه‌عمر در شرایط عدم قطعیت ارائه کرد. وی از برنامه‌ریزی هدف لگاریتمی دو مرحله‌ای فازی برای وزن‌دهی معیارها و تحلیل رابطه‌ای خاکستری فاصله‌ای برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده نمود. در مطالعه موردی چهار گزینه تولید برق در بریتانیا، رآکتور آب

فشرده پایدارترین و زغال‌سنگ کمترین گزینه شناخته شد. اعتبار نتایج با روش تاپسیس فاصله‌ای و تحلیل حساسیت بررسی شد و تنها سه معیار کلی محیطی، اقتصادی و اجتماعی در نظر گرفته شد.

شاو و همکاران (۲۰۲۰) بررسی کاربرد روش‌های MCDM در انتخاب مکان نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر پرداختند. آنان با مرور نظام‌مند ۸۵ مقاله منتشرشده بین ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸، مراحل و معیارهای انتخاب مکان را تحلیل و روش‌های رایج مانند تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزن‌دهی و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی گزینه‌ها را شناسایی کردند. همچنین شیوه‌های اعتبارسنجی نتایج و تفاوت معیارهای مرتبط با منابع مختلف انرژی بررسی شد. شتاوی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی و انتخاب بهترین گزینه‌های انرژی تجدیدپذیر برای اردن پرداختند. آنان با استفاده از روش AHP و جمع‌آوری نظرات خبرگان، چهار گزینه انرژی تجدیدپذیر را بر اساس معیارهای فنی، محیط‌زیستی، جغرافیایی و اقتصادی-اجتماعی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد باد با ۵۱.۹٪ و خورشیدی با ۳۱.۳٪ به ترتیب اولویت بالاتری دارند و تحلیل حساسیت، اثر معیارهای جغرافیایی و اقتصادی-اجتماعی بر نتایج را کمی نشان داد.

ارگول و همکاران (۲۰۲۲) به تعیین مناسب‌ترین مکان و نوع مبدل برای یک نیروگاه انرژی موج در ترکیه پرداختند. آنان از ساختار دو مرحله‌ای تصمیم‌گیری چندمعیاره با روش‌های ANP و Fuzzy TOPSIS استفاده کردند و پنج شهر ساحلی دریای سیاه را بررسی نمودند. نتایج نشان داد شهر سینوپ بهترین مکان و مبدل Oyster مناسب‌ترین گزینه برای نصب در آن مکان است. عبدل و همکاران (۲۰۲۲) به توسعه یک مدل اولویت‌بندی منابع انرژی تجدیدپذیر برای تولید برق در کشورهای در حال توسعه پرداختند. آنان با استفاده از روش ترکیبی AHP و VIKOR، چهار منبع اصلی (آب، باد، زیست‌توده و خورشیدی) را بر اساس شش معیار اصلی و شانزده زیرمعیار ارزیابی کردند و نشان دادند که معیار اقتصادی بیشترین اهمیت را دارد. نتایج مدل اولویت‌بندی، انرژی آبی را به‌عنوان بهترین گزینه، باد در رتبه دوم و زیست‌توده و خورشیدی در رتبه‌های سوم و چهارم معرفی کردند. آکپاهو و اودوی-یورک (۲۰۲۳) با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به اولویت‌بندی منابع انرژی تجدیدپذیر برای تولید برق پایدار در بنین پرداختند. آن‌ها ۱۸ معیار در چهار بُعد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را به کار گرفتند و با روش‌های CRITIC، آنتروپی و EDAS منابع مختلف را رتبه‌بندی کردند. نتایج نشان داد انرژی خورشیدی فتوولتائیک بهترین گزینه برای توسعه برق پایدار در بنین است و پس از آن باد، CSP، برق آبی و زیست‌انرژی قرار دارند.

امیری و همکاران (۲۰۲۴) به توسعه چارچوبی چندمعیاره برای اولویت‌بندی منابع انرژی تجدیدپذیر در عربستان سعودی پرداختند. آنان با استفاده از روش‌های AHP و TOPSIS و نظرات خبرگان، گزینه‌های تک‌منبعی و ترکیبی را ارزیابی کردند و انرژی خورشیدی را به‌عنوان بهترین گزینه شناسایی نمودند. تحلیل حساسیت نیز برای بررسی اثر تغییر وزن معیارها بر نتایج انجام شد. آلمیدا و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی و اولویت‌بندی گزینه‌های انرژی تجدیدپذیر در برزیل برای سرمایه‌گذاری پایدار پرداختند. آنان با استفاده از روش SWARA-MOORA-3NAG و بر اساس معیارهایی مانند دسترسی به منابع، صرفه‌جویی اقتصادی، ایجاد اشتغال و اثرات محیط‌زیستی، گزینه‌ها را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد انرژی خورشیدی به‌عنوان بهترین گزینه برای برزیل شناخته شد و نسبت به انرژی‌های آبی، بادی و زیست‌توده مزیت بیشتری دارد. کرباسی یزدی و همکاران (۲۰۲۴) به شناسایی بهترین مکان‌ها برای اجرای پروژه‌های انرژی سبز در هند پرداختند تا انتشار CO₂ کاهش یابد و اهداف انرژی تجدیدپذیر کشور تحقق یابد. آنان با استفاده از روش‌های ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط نامطمئن، از جمله روش دلفی، Fermatean fuzzy WASPAS و MEREC، عوامل مؤثر بر انتخاب مکان را

اولویت بندی کردند. نتایج نشان داد NP Kunta در آندراپرادش بهترین گزینه برای اجرای پروژه های انرژی سبز است و اهداف و راهبردهای سیاسی از مهم ترین عوامل تعیین کننده هستند.

امتزینوونه و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی کاربرد سیستم های انرژی تجدیدپذیر هیبریدی در کشاورزی نیجریه پرداختند. آن ها با استفاده از رویکرد انرژی و روش های تصمیم گیری چندمعیاره (EDAS، TOPSIS و ARAS) به تعیین پیکربندی و ظرفیت بهینه این سیستم ها برای تأمین نیازهای انرژی مزرعه پرداختند. نتایج نشان داد که یک جایگزین انرژی مشخص) در روش TOPSIS بیشترین اولویت را دارد، در حالی که در روش های EDAS و ARAS رتبه های پایین تری کسب کرده است. کوماری و همکاران (۲۰۲۵) به بهینه سازی یک واحد آب شیرین کن اسمز معکوس آب شور (BWRO) با منابع انرژی تجدیدپذیر خود کفا در جنوب هند پرداختند. آن ها از روش های Fuzzy AHP و VIKOR برای ارزیابی و انتخاب بهینه ترین پیکربندی و اندازه واحد آب شیرین کن در چهار منطقه اقلیمی استفاده کردند. نتایج نشان داد که ترکیب سیستم خورشیدی فتوولتائیک، باتری و دستگاه بازیابی انرژی در منطقه دوم بهترین عملکرد را با کمترین هزینه انرژی و آب دارد. گاوراو و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی طراحی و ارزیابی سیستم انرژی هیبریدی تجدیدپذیر با قابلیت تولید هیدروژن پرداختند. آنها با استفاده از رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره و شبیه سازی با نرم افزار HOMER Pro، سه نوع سیستم ذخیره انرژی باتری (لیتیوم-یون، سرب-اسید و وانادیوم فلو) را مورد تحلیل قرار دادند و نشان دادند که سیستم هیبریدی مبتنی بر باتری وانادیوم فلو به لحاظ اقتصادی، محیط زیستی و فنی گزینه بهینه و پایدار برای تأمین برق روستاها و تولید هیدروژن پاک است.

زندى و لطف آتا (۲۰۲۵) به ارزیابی و اولویت بندی استراتژی های انرژی تجدیدپذیر پایدار در امارات متحده عربی پرداختند. آن ها از روش های هیبریدی MCDM شامل MOORA و SAW و نسخه های فازی آن ها برای تحلیل استراتژی ها و ارائه مدل نوآورانه تصمیم گیری استفاده کردند. نتایج نشان داد ترکیب MOORA-SAW ابزار مناسبی برای انتخاب استراتژی های بهینه و برنامه ریزی آینده منابع انرژی سبز پایدار است و رویکردهای باز و یکپارچه بیشترین کارایی را دارند. ماگابله و همکاران (۲۰۲۵) به ارزیابی و اولویت بندی استراتژی های انرژی تجدیدپذیر پایدار در امارات متحده عربی پرداختند. آن ها از روش های هیبریدی MCDM شامل MOORA و SAW و نسخه های فازی آن ها برای تحلیل استراتژی ها و ارائه مدل نوآورانه تصمیم گیری استفاده کردند. نتایج نشان داد ترکیب MOORA-SAW ابزار مناسبی برای انتخاب استراتژی های بهینه و برنامه ریزی آینده منابع انرژی سبز پایدار است و رویکردهای باز و یکپارچه بیشترین کارایی را دارند. مرور ادبیات موضوع مشخص می نماید که اگرچه هدف اکثر تحقیقات بر ارائه ی رویکردی جهت رتبه بندی نیروگاه های تجدیدپذیر متمرکز می باشد، اما آن ها در نوع و تعداد معیارها و زیرمعیارها و تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره با یکدیگر تفاوت دارند. بیشتر تحقیقات از ۱ یا ۲ تکنیک جهت ارزیابی استفاده نمودند، درحالیکه تحقیق حاضر با ۴ رویکرد ترکیبی به رتبه بندی نیروگاه های تجدیدپذیر پرداخته است. پس از بررسی ادبیات پژوهش برای تفکیک، تکمیل و حذف موارد هم پوشان، پنج معیار اصلی شامل فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست محیطی انتخاب شدند. هر یک از این معیارها دارای پنج زیرمعیار هستند. در شکل ۱، معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده همراه با علامت اختصاری آن ها ارائه شده است.

سیاسی (C _۴)	فنی (C _۱)
مقررات دولتی (C _{۴,۱})	بهره‌وری انرژی (C _{۱,۱})
حمایت دولتی (C _{۴,۲})	قابلیت اطمینان (C _{۱,۲})
پذیرش سیاسی پروژه (C _{۴,۳})	قابلیت توسعه (C _{۱,۳})
وابستگی به تکنولوژی خارجی (C _{۴,۴})	سهولت دسترسی به فن‌آوری (C _{۱,۴})
سازگاری با اهداف سیاست ملی انرژی (C _{۴,۵})	مدت زمان آماده‌سازی و پیاده‌سازی (C _{۱,۵})
زیست‌محیطی (C _۵)	اقتصادی (C _۲)
تاثیر بر محیط زیست (C _{۵,۱})	هزینه‌ی سرمایه‌گذاری (C _{۲,۱})
استفاده از زمین (C _{۵,۲})	هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات (C _{۲,۲})
تاثیر بصری (C _{۵,۳})	عمر سرویس (C _{۲,۳})
آلودگی صوتی (C _{۵,۴})	هزینه‌ی عملیاتی (C _{۲,۴})
انتشار آلاینده (C _{۵,۵})	مدت زمان بازگشت سرمایه (C _{۲,۵})
اجتماعی (C _۳)	
ایمنی (C _{۳,۱})	
ایجاد اشتغال (C _{۳,۲})	
مقبولیت اجتماعی (C _{۳,۳})	
موقعیت جغرافیایی (C _{۳,۴})	
توسعه‌ی محلی و مزایای اجتماعی (C _{۳,۵})	

شکل ۱. معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده

برتری این تحقیق به سایر تحقیقات عبارت است از:

۱. معرفی معیارها و زیرمعیارهای جامع که تمامی زیرمعیارهای تحقیقات مشابه را در بر می‌گیرد و تعیین میزان اهمیت هر یک از آنها با دو روش AHP و MDL؛
۲. ارائه‌ی رویکرد ترکیبی جدید از تکنیک‌های MCDM شامل چهار روش ترکیبی AHP-FTOPSIS، MDL-FTOPSIS، AHP-FVIKOR و MDL-FVIKOR و همچنین روش Copeland جهت اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر.

۳. روش

در این تحقیق به ارائه‌ی یک رویکرد ترکیبی جدید از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جهت اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر پرداخته می‌شود. بدین صورت که پس از شناسایی معیارها و زیرمعیارهایی مؤثر در تصمیم‌گیری، از تکنیک‌های تاپسیس فازی و ویکور فازی جهت اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. در هر دو تکنیک مذکور بایستی وزن معیارها به صورت ورودی مشخص شود. که برای تعیین وزن معیارها نیز از دو تکنیک تحلیل سلسله مراتبی و منطق دیجیتال به‌یاد گرفته استفاده می‌شود. از ترکیب این تکنیک‌ها ۴ رویکرد ترکیبی به دست می‌آید که شامل روشهای MDL-FTOPSIS، AHP-FTOPSIS، MDL-FVIKOR و AHP-FVIKOR هستند. هر یک از این ۴ رویکرد ممکن

است رتبه بندی متفاوتی از نیروگاه ها را ارائه دهند. در انتها جهت یکپارچه سازی نتایج، تکنیک Copeland توسعه می یابد. ساختار هر یک از این ۴ رویکرد به شرح زیر است:

AHP-FTOPSIS: از تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین وزن معیارها و زیر معیارها و از تاپسیس فازی جهت رتبه بندی گزینه ها استفاده می شود.

MDL-FTOPSIS: از منطق دیجیتال بهیود یافته جهت تعیین وزن معیارها و زیر معیارها و از تاپسیس فازی جهت رتبه بندی گزینه ها استفاده می شود.

AHP-FVIKOR: از تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین وزن معیارها و زیر معیارها و از ویکور فازی جهت رتبه بندی گزینه ها استفاده می شود.

MDL-FVIKOR: از منطق دیجیتال بهیود یافته جهت تعیین وزن معیارها و زیر معیارها و از ویکور فازی جهت رتبه بندی گزینه ها استفاده می شود.

گام های انجام تحقیق به شرح زیر است:

گام ۱: تعیین و استخراج معیارها و زیر معیارهای اثر گذار در انتخاب محل احداث نیروگاه های تجدیدپذیر با استفاده از مطالعات کتابخانه ای و مرور ادبیات موضوع و تایید لیست نهایی معیارها توسط خبرگان
گام ۲: معرفی گزینه های مناسب برای مکان یابی نیروگاه تجدیدپذیر با استفاده از مطالعات کتابخانه ای و نظرات خبرگان.

گام ۳: تهیه و تنظیم ماتریس تصمیم گیری با استفاده از پرسشنامه ماتریس تصمیم که توسط خبرگان تکمیل می شود.
گام ۴: وزن دهی به معیارها و زیر معیارها با استفاده از پرسشنامه ماتریس مقایسات زوجی که توسط خبرگان تکمیل می شود و با بهره گیری از روش های AHP و MDL.

گام ۵: ارزیابی و اولویت بندی گزینه ها با به کارگیری چهار روش ترکیبی شامل:

AHP-FTOPSIS، MDL-FTOPSIS، AHP-FVIKOR و MDL-FVIKOR.

گام ۶: تعیین رتبه نهایی گزینه ها از طریق روش Copeland.

در این تحقیق از ۳ پرسشنامه جهت گردآوری اطلاعات استفاده می شود. پرسشنامه ی اول و دوم پرسشنامه ی مقایسات زوجی هستند که در AHP و MDL جهت تعیین وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها استفاده شده اند. پرسشنامه ی سوم جهت تشکیل ماتریس تصمیم گیری در FTOPSIS و FVIKOR طراحی شده است و هدف آن به دست آوردن امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار می باشد. از آنجایی که در امتیاز دادن به هر کدام از معیارها، شرایط و محدودیت های منطقه ی مورد مطالعه بسیار تأثیر گذار است، بنابراین معیارها به صورت کیفی تعریف شده اند و استفاده از پرسشنامه اعتبار بیشتری دارد. کلیه پرسشنامه ها توسط یک نمونه ۱۲ نفره از خبرگان تکمیل شده اند که ۶ نفر آنها از اساتید دانشگاهی و ۶ نفر آنها از افراد با سابقه بالای ۱۰ سال کار در حوزه انرژی های تجدیدپذیر هستند. هر سه پرسشنامه استاندارد هستند و روایی آنها توسط مطالعات پیشین تأیید شده است (Beheshtinia & Omid, 2017). علاوه بر این، پایایی پرسشنامه های ماتریس مقایسات زوجی و MDL به ترتیب با نرخ ناسازگاری ۰.۰۷ و ۰.۰۵ تأیید شدند. پایایی پرسشنامه سوم نیز با ضریب آلفای کرونباخ ۰.۹۲ تأیید گردید.

در ادامه در مورد هر یک از تکنیک‌های MCDM مورد استفاده در رویکرد پیشنهادی توضیحاتی ارائه می‌گردد.

۳.۱. فرایند تحلیل سلسه مراتبی

اساس این روش بر مبنای مقایسات زوجی قرار دارد. در تحقیق حاضر از این روش جهت مقایسه معیارها و زیرمعیارها استفاده می‌شود. در هر مقایسه می‌توان برتری یک معیار نسبت به معیار دیگر را توسط یکی از گزینه‌های نشان داده شده در جدول ۱ بیان نمود.

جدول ۱. مقدار عددی ترجیحات در مقایسه‌ی دوبه‌دو

گزینه	مقدار عددی
ترجیح خیلی کم	۱
ترجیح کم	۳
مرجع	۵
ترجیح زیاد	۷
ترجیح خیلی زیاد	۹

گام‌های تکنیک AHP در این تحقیق به شرح زیر است:

مرحله ۱: فرض کنید n معیار وجود داشته باشد و C_{ij}^k امتیاز معیار i ام نسبت به معیار j ام توسط تصمیم‌گیرنده k ام باشد. با گرفتن میانگین هندسی از نظرات تصمیم‌گیرندگان یک ماتریس مقایسات زوجی کلی که ماتریسی $n \times n$ است به دست آورید. اگر D تعداد تصمیم‌گیرندگان باشد، آنگاه:

$$C_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^D C_{ij}^k} \quad (1)$$

مرحله ۲: مجموع مقادیر هر ستون را محاسبه نمایید.

مرحله ۳: اعداد موجود در هر ستون را بر مجموع همان ستون تقسیم کنید تا مقادیر نرمال‌سازی شوند.

مرحله ۴: میانگین مقادیر هر ردیف را به دست آورده و نتایج حاصل را به عنوان وزن معیارها در نظر بگیرید.

۳.۲. منطق دیجیتالی بهبود یافته

در این روش، برای مقایسه‌ی زوجی معیارها از سه مقدار عددی ۱، ۲ و ۳ استفاده می‌شود؛ به گونه‌ای که برای معیار کم‌اهمیت‌تر عدد ۱ و برای معیار با اهمیت بالاتر عدد ۳ تخصیص داده می‌شود. در صورت برابر بودن ارزش معیارها به هر دو عدد ۲ تخصیص می‌یابد. تفاوت MDL با AHP این است که MDL تنها برتری معیارها نسبت به هم مورد مقایسه قرار می‌دهد. گام‌های این تکنیک به شرح زیر است:

گام ۱. به ازای هر تصمیم‌گیرنده جدول مقایسات مربوط به معیارها را به دست آورید و برای هر معیار تعداد تصمیمات مثبت را محاسبه کنید. تعداد تصمیمات مثبت معیار i ام را که توسط تصمیم‌گیرنده k ام تعیین شده‌اند را با p_i^k نشان دهید.

گام ۲. اگر D تعداد تصمیم‌گیرندگان باشد، میانگین تصمیمات مثبت مربوط به معیار i را از رابطه‌ی (۲) محاسبه کنید.

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^D p_i^k}{D} \quad (2)$$

گام ۳. میانگین نظرات مثبت مربوط به معیارها را نرمالایز کنید و اعداد به دست آمده را به عنوان وزن معیارها در نظر بگیرید.

۳.۳. تئوری فازی

در این تحقیق از تئوری فازی جهت تبیین عدم قطعیت در متغیرهای کیفی استفاده شده است. به دلیل آن که متغیرهای زبانی قابلیت ورود مستقیم به محاسبات ریاضی را ندارند، می توان هر یک از آنها را به مقادیر فازی عددی تبدیل نمود. تابع عضویت یک عدد فازی که با $\mu_{\tilde{A}}(x)$ نشان داده می شود، به معنای میزان عضویت x در $\tilde{A}$ است. تابع عضویت عدد فازی مثلثی مثل $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ مطابق رابطه (۳) نشان داده می شود:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & \forall \quad x < a_1 \text{ or } x > a_3 \\ (x - a_1) / (a_2 - a_1) & \forall \quad a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x) / (a_3 - a_2) & \forall \quad a_2 \leq x \leq a_3 \end{cases} \quad (3)$$

اگر $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ اعداد فازی مثلثی و d فاصله بین آن دو باشد، محاسبات ریاضی استفاده شده از آنها به صورت روابط (۴) تا (۸) هستند:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (4)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (5)$$

$$\tilde{A} \times \tilde{B} = (\min(a_1 b_1, a_1 b_3, a_3 b_1, a_3 b_3), a_2 b_2, \max(a_1 b_1, a_1 b_3, a_3 b_1, a_3 b_3)) \quad (6)$$

$$\tilde{A} / \tilde{B} = (\min(a_1 / b_1, a_1 / b_3, a_3 / b_1, a_3 / b_3), a_2 / b_2, \max(a_1 / b_1, a_1 / b_3, a_3 / b_1, a_3 / b_3)) \quad (7)$$

$$d = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (8)$$

همچنین در این تحقیق جهت غیرفازی نمودن $\tilde{A}$ از رابطه (۹) استفاده شده است (Wu et al., 2016):

$$D(\tilde{A}) = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \quad (9)$$

۳.۴. تاپسیس فازی

منطق زیربنایی این تکنیک تعریف راه حل‌های ایده‌آل مثبت ($FPIS^1$) و ایده‌آل منفی ($FNIS^2$) است. گام‌های روش تاپسیس فازی مورد استفاده در این تحقیق برای رتبه‌بندی m گزینه با استفاده از n معیار به شرح زیر است (Cavallaro, 2010):

گام ۱. ماتریس تصمیم فازی $\tilde{X}$ (ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها براساس معیارها) را مانند رابطه‌ی (۱۰) تشکیل دهید. به‌طوریکه $A_1, A_2, \dots, A_m$ گزینه‌ها، $C_1, C_2, \dots, C_n$ معیارها و $\tilde{x}_{ij}$ رتبه‌ی گزینه‌ی A_i از منظر معیار C_j و W_j وزن C_j هستند.

$$\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

گام ۲. در این گام، ماتریس تصمیم باید نرمالایز شود. اگر اعداد فازی به صورت (a, b, c) باشند، آنگاه درایه‌های ماتریس فازی نرمال شده‌ی $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ ، برای معیار سود و هزینه به ترتیب مطابق روابط (۱۱) و (۱۲) به دست می‌آیند:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), \quad c_j^* = \max_i \{c_{ij}\} \quad (11)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad a_j^- = \min_i \{a_{ij}\} \quad (12)$$

گام ۳. ماتریس نرمال موزون $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ براساس وزن معیارها را مطابق رابطه‌ی (۱۳) تشکیل دهید. برای این کار وزن هر معیار را در درایه‌های مربوط به آن معیار ضرب کنید. در این تحقیق وزن معیارها با استفاده از AHP و MDL محاسبه شده است. $\tilde{r}_{ij}$ درایه‌های ماتریس نرمال شده به دست آمده از گام ۲ و w_j وزن معیار J ام می‌باشد.

$$\tilde{v}_{ij} = w_j \times \tilde{r}_{ij}, \quad w_j = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (13)$$

گام ۴. جواب‌های ایده‌آل مثبت فازی ($FPIS$) و ایده‌آل منفی فازی ($FNIS$) را به ترتیب از روابط (۱۴) و (۱۵) محاسبه نمایید. J معیارهای ارزش سود، J' عناصر ارزش هزینه، $FPIS_j$ و $FNIS_j$ به ترتیب عنصر J ام جواب ایده‌آل مثبت و جواب ایده‌آل منفی را نشان می‌دهند.

$$FPIS = \{(FPIS_j = \max_i \tilde{V}_{ij} \mid j \in J)\} \\ , (FPIS_j = \min_i \tilde{V}_{ij} \mid j \in J')\}, \quad j = 1, \dots, n \quad (14)$$

$$FNIS = \{(FNIS_j = \min_i \tilde{V}_{ij} \mid j \in J)\} \\ , (FNIS_j = \max_i \tilde{V}_{ij} \mid j \in J')\}, \quad j = 1, \dots, n \quad (15)$$

گام ۵. فاصله‌ی گزینه‌ها از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی را با استفاده از روابط (۱۶) و (۱۷) تعیین کنید. که d_i^- و d_i^+ به ترتیب مجموع فاصله‌ی گزینه‌ها از جواب ایده‌آل مثبت و جواب ایده‌آل منفی می‌باشد.

¹. Fuzzy Positive Ideal Solution

². Fuzzy Negative Ideal Solution

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, FPIS_j) \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (16)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, FNIS_j) \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (17)$$

گام ۶. شاخص نزدیکی گزینه ی A_i را که با CC_i^* نشان داده می شود، با استفاده از رابطه ی (۱۸) محاسبه کنید.

$$CC_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (18)$$

گام ۷. در گام پایانی، گزینه ها را بر مبنای مقدار CC_i^* به صورت صعودی مرتب سازی کنید. $0 \leq CC_i^* \leq 1$ است. بدیهی است هرچه CC_i^* به عدد ۱ نزدیک تر باشد، گزینه ی A_i فاصله ی کمتری از راه حل ایده آل مثبت و فاصله ی بیشتری از راه حل ایده آل منفی خواهد داشت.

۳.۵. ویکور فازی

در این روش، معیارها بر اساس میزان نزدیکی به راه حل ایده آل رتبه بندی می شوند، به طوری که هدف، دستیابی به بیشینه مطلوبیت گروهی و کمینه تأسّف فردی باشد. مراحل اجرای ویکور فازی در این پژوهش، با فرض مجموعه ای شامل m گزینه و n معیار، به شرح زیر است:

گام ۱. ماتریس تصمیم گیری فازی $\tilde{X}$ را تشکیل دهید. در این تحقیق ماتریس تصمیم گیری تاپسیس و ویکور یکی می باشد، که مطابق رابطه ی (۱۰) نشان داده شده است.

گام ۲. نقطه ی ایده آل مثبت و ایده آل منفی را تعیین کنید. بدین منظور برای هر معیار، بهترین و بدترین هریک را در میان همه ی گزینه ها تعیین و به ترتیب $\tilde{F}_j^+ = (l_j^+, m_j^+, u_j^+)$ و $\tilde{F}_j^- = (l_j^-, m_j^-, u_j^-)$ تعریف می کنیم. خواهیم داشت:

$$\tilde{F}_j^+ = \max_i \tilde{x}_{ij} \quad (19) \quad (\text{برای معیار سود } j)$$

$$\tilde{F}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij}$$

$$\tilde{F}_j^+ = \min_i \tilde{x}_{ij} \quad (20) \quad (\text{برای معیار هزینه } j)$$

$$\tilde{F}_j^- = \max_i \tilde{x}_{ij}$$

گام ۳.

ماتریس فازی نرمال سازی شده $\tilde{D} = [\tilde{d}_{ij}]_{m \times n}$ را بر اساس روابط (۲۱) و (۲۲) بسازید. عناصر این ماتریس نشان دهنده ی فاصله فازی نرمال شده ی گزینه i از نقطه ایده آل مثبت هستند.

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{(\tilde{F}_j^+ - \tilde{x}_{ij})}{(u_j^+ - l_j^-)} \quad (21) \quad (\text{برای معیار سود } j)$$

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{(\tilde{x}_{ij} - \tilde{F}_j^+)}{(u_j^- - l_j^+)} \quad (22) \quad (\text{برای معیار هزینه } j)$$

گام ۴. دو شاخص شامل سودمندی^۱ $\tilde{S}_i$ ، که میزان نزدیکی گزینه i به نقطه ایده‌آل مثبت را نشان می‌دهد، و شاخص تأسف^۲ $\tilde{R}_i$ ، که فاصله گزینه i از نقطه ایده‌آل منفی را مشخص می‌کند، را با استفاده از روابط (۲۳) و (۲۴) محاسبه کنید. در این روابط و w_j وزن معیار j ام می‌باشد که در این تحقیق با استفاده از AHP و MDL محاسبه می‌شوند. همچنین $\tilde{R}_i = (R_i^l, R_i^m, R_i^u)$ و $\tilde{S}_i = (S_i^l, S_i^m, S_i^u)$ در نظر گرفته شده‌اند.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^m (w_j \times \tilde{d}_{ij}) \quad (23)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j (w_j \times \tilde{d}_{ij}) \quad (24)$$

گام ۵. شاخص ویکور $\tilde{Q}_i$ از رابطه‌ی (۲۵) محاسبه کنید. شاخص ویکور در واقع ارزش ویکور گزینه‌ی i ام را بیان می‌کند. در این رابطه $\tilde{S}_i^+ = \min_i \tilde{S}_i$ ، $\tilde{S}_i^- = \max_i \tilde{S}_i$ ، $\tilde{R}_i^+ = \min_i \tilde{R}_i$ و $\tilde{R}_i^- = \max_i \tilde{R}_i$ می‌باشد. ν نیز وزنی برای استراتژی بیشینه‌ی مطلوبیت گروهی^۳ است که می‌تواند مقداری بین ۰ تا ۱ را به خود اختصاص دهد (Opricovic & Tzeng, 2004) و برابر است با $\nu = m + 1 / 2m$ (تعداد گزینه‌ها).

$$\tilde{Q}_i = \nu \left[\frac{\tilde{S}_i - \tilde{S}_i^+}{\tilde{S}_i^- - \tilde{S}_i^+} \right] + (1 - \nu) \left[\frac{\tilde{R}_i - \tilde{R}_i^+}{\tilde{R}_i^- - \tilde{R}_i^+} \right] \quad (25)$$

گام ۶. در مرحله پایانی، پس از انجام فازی‌زدایی شاخص ویکور $\tilde{Q}_i$ با بهره‌گیری از رابطه (۹)، گزینه‌ها را رتبه‌بندی کنید. به این ترتیب، گزینه‌ای که مقدار Q_i کمتری نسبت به سایرین دارد، در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد. در تعیین گزینه‌ی برتر^۲ شرط زیر بایستی بررسی شوند:

شرط ۱. اگر گزینه‌ی $A_{(1)}$ و $A_{(2)}$ در میان m گزینه، رتبه‌ی اول و دوم را داشته باشند، رابطه‌ی (۲۶) برقرار باشد؛

$$Q(A_{(1)}) - Q(A_{(2)}) \geq \frac{1}{m-1} \quad (26)$$

شرط ۲. گزینه‌ی برتر باید بهترین رتبه را بر اساس مقادیر دفازی شده‌ی $\tilde{S}_i$ و $\tilde{R}_i$ داشته باشد.

اگر تنها شرط ۱ برقرار نباشد مجموعه k گزینه‌ی $\{A_{(1)}, A_{(2)}, \dots, A_{(K)}\}$ به عنوان گزینه‌ی برتر شناخته می‌شود که بیشترین مقدار k از رابطه‌ی (۲۷) به دست می‌آید و اگر تنها شرط ۲ برقرار نباشد گزینه‌های $A_{(1)}$ و $A_{(2)}$ به عنوان گزینه‌ی برتر شناخته می‌شوند.

$$Q(A_{(K)}) - Q(A_{(1)}) \leq \frac{1}{m-1} \quad (27)$$

¹. Utility Measure

². Regret Measure

³. Maximum Group Utility

۶.۳. Copeland

در این تحقیق از ۴ رویکرد جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود که هر رویکرد ممکن است منجر به نتیجه‌ی متفاوتی شود. Copeland تکنیکی جهت رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بر مبنای تعداد بردها و باخت‌های آن‌ها در k فاکتور مختلف می‌باشد. گام‌های تکنیک Copeland توسعه داده شده در این مقاله به صورت زیر می‌باشد:

گام ۱. ماتریس مقایسات زوجی $m \times m$ به نام ماتریس برد تشکیل دهید که عنصر W_{ij} در آن تعداد دفعاتی که گزینه i اولویت بالاتری نسبت به گزینه j دارد را نشان می‌دهد.

گام ۲. ماتریس مقایسات زوجی $m \times m$ به نام ماتریس باخت تشکیل دهید که عنصر L_{ij} در آن تعداد دفعاتی که گزینه i اولویت پایین‌تری نسبت به گزینه j دارد را نشان می‌دهد.

گام ۳. ماتریس نهایی $m \times m$ تشکیل دهید و به ازای هر S_{ij} عبارت $W_{ij} - L_{ij}$ را محاسبه کنید. اگر این تفاضل مثبت شد، گزینه i بر گزینه j پیروز شده و مقدار S_{ij} را برابر W قرار دهید. اگر این تفاضل منفی شد بدین معنی است که گزینه i مغلوب گزینه j شده و مقدار S_{ij} را برابر L قرار دهید. اگر تفاضل برابر صفر شد، دو گزینه یکسانند و مقدار S_{ij} را برابر D قرار دهید.

گام ۴. گزینه‌ها را براساس تفاضل تعداد باخت‌ها از بردها رتبه‌بندی کنید. گزینه‌ای که این تفاضل در آن بیشتر است، اولویت نهایی بالاتری را به خود اختصاص می‌دهد.

۴. یافته‌ها

در این بخش نتایج حاصل از پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی جهت اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر در ایران ارائه می‌شود. ایران کشوریست سرشار از منابع سوخت‌های فسیلی و همین امر سبب شده که متأسفانه رتبه‌ی دهم جهان را در انتشار گازهای گلخانه‌ای به خود اختصاص دهد. با اینکه ایران دارای ظرفیت‌های قابل توجهی برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر است، اما بهره‌برداری کافی از این پتانسیل‌ها صورت نمی‌گیرد و در حال حاضر تقریباً ۸۲ تا ۸۳ درصد از برق کشور همچنان از منابع سوخت فسیلی تأمین می‌شود (Sedady & Beheshtinia, 2019). پتانسیل بالای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و عدم استفاده‌ی کافی از آن در ایران، باعث شد که این کشور به عنوان منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب شود.

۴.۱. گام اول: شناسایی معیارها و زیرمعیارها

پس از مرور نظام‌مند ادبیات پژوهش و به منظور تفکیک، تکمیل و حذف موارد هم‌پوشان، پنج معیار کلان شامل فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی تعیین گردید. هر یک از این معیارها شامل پنج زیرمعیار مرتبط هستند که به تفکیک ویژگی‌های هر معیار کمک می‌کنند. در شکل ۱، ساختار سلسله‌مراتبی معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده به همراه نمادهای اختصاری آن‌ها ارائه شده است.

۴. ۲. گام دوم: شناسایی گزینه‌های مناسب

با ارزیابی ظرفیت‌های ایران در زمینه بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و با مشورت خبرگان، شش نوع نیروگاه به‌عنوان گزینه‌های قابل بررسی در این پژوهش انتخاب شدند. جدول ۲، گزینه‌ها همراه با علامت اختصاری مربوط به هر یک را نشان می‌دهد.

جدول ۲. گزینه‌های در نظر گرفته شده

علامت اختصاری	گزینه‌ها (نوع نیروگاه)
A _۱	نیروگاه بادی (Tizpar et al., 2014)
A _۲	نیروگاه برق‌آبی (Bozorgzadeh, 2012; Najjari & Arjomand, 2016)
A _۳	نیروگاه خورشیدی (Zoghi et al., 2017)
A _۴	نیروگاه زیست‌توده (Hamzeh et al., 2011)
A _۵	نیروگاه زمین‌گرمایی (Shakeri et al., 2015)
A _۶	نیروگاه امواج و جزرومد (Khojasteh & Kamali, 2016; Soleimani et al., 2015)

۴. ۳. گام سوم: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

در این پژوهش، اطلاعات لازم برای تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری از پرسشنامه سوم جمع‌آوری شده است. با توجه به اینکه معیارهای مورد نظر کیفی هستند، از مقادیر ارائه‌شده در جدول ۳ برای تبدیل داده‌های کیفی به مقادیر کمی استفاده گردیده است. همچنین، ماتریس تصمیم‌گیری فازی مطابق با جدول ۴ تهیه شده است.

جدول ۳. متغیرهای کلامی در ماتریس تصمیم‌گیری فازی (Chang, 2014)

عبارت کلامی	عدد فازی
خیلی ضعیف	(۰, ۱, ۲)
ضعیف	(۱, ۲, ۳)
نسبتاً ضعیف	(۲, ۳, ۵, ۵)
متوسط	(۴, ۵, ۶)
نسبتاً خوب	(۵, ۶, ۵, ۸)
خوب	(۷, ۸, ۹)
خیلی خوب	(۸, ۹, ۱۰)

۴. ۴. گام چهارم: تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها

در این تحقیق از دو تکنیک AHP و MDL جهت تعیین وزن معیارها بهره گرفته شده است. اطلاعات مورد نیاز از پرسشنامه - های اول و دوم استخراج می‌شوند. نتایج به‌دست آمده در جدول ۵ آمده است. نتایج نشان داد که معیارهای اقتصادی، زیست محیطی و فنی به ترتیب مهمترین معیارهای اصلی هستند. نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در هر دو روش AHP و MDL، معیارهای عمر سرویس و میزان انتشار آلاینده‌ها بیشترین اهمیت را دارند و به‌عنوان عوامل اصلی در ارزیابی شناخته می‌شوند. در روش AHP، معیار مدت زمان بازگشت سرمایه به‌تنهایی در جایگاه سوم اهمیت قرار گرفته است، در

حالی که در روش MDL این جایگاه سوم به‌طور همزمان به معیار مدت زمان سرمایه به همراه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات اختصاص یافته است.

جدول ۴. ماتریس تصمیم‌گیری فازی

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
$C_{1,1}$	(۵,۶۷,۷,۸,۳۳)	(۵,۶,۵,۸)	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۴,۵,۶)	(۱,۲,۳)	(۱,۲,۳)
$C_{1,2}$	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۵,۶,۷)	(۳,۴,۵,۶)	(۲,۳۳,۳,۵,۴,۶۷)	(۲,۳۳,۳,۵,۴,۶۷)
$C_{1,3}$	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۷,۸,۹)	(۲,۳,۴)	(۴,۵,۵,۷)	(۵,۶,۷)
$C_{1,4}$	(۴,۵,۶)	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۵,۶,۷)	(۵,۳۳,۶,۵,۷,۶۷)
$C_{1,5}$	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)
$C_{2,1}$	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۶,۷,۸)	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۶,۷,۸)	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۳,۴,۵,۶)
$C_{2,2}$	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۱,۶۷,۳,۴,۶,۳۳)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۳,۴,۵,۶)
$C_{2,3}$	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۵,۶,۷)	(۶,۳۳,۷,۵,۸,۶۷)	(۲,۳,۵,۵)	(۳,۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)
$C_{2,4}$	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۶,۳۳,۷,۵,۸,۶۷)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۵,۶,۵,۸)	(۷,۸,۹)	(۴,۵,۵,۷)
$C_{2,5}$	(۵,۳۳,۶,۵,۷,۶۷)	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۵,۳۳,۶,۵,۷,۶۷)	(۱,۳۳,۲,۵,۳,۶۷)	(۳,۴,۵)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)
$C_{3,1}$	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۷,۸,۹)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)	(۳,۴,۵,۶)	(۲,۳,۴)
$C_{3,2}$	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۴,۵,۵,۷)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)
$C_{3,3}$	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۳,۴,۵,۶)	(۷,۸,۹)	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۴,۵,۶)	(۱,۳۳,۲,۵,۳,۶۷)
$C_{3,4}$	(۶,۳۳,۷,۵,۸,۶۷)	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۷,۸,۹)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۱,۳۳,۲,۵,۳,۶۷)	(۵,۶,۵,۸)
$C_{3,5}$	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۲,۳,۴)
$C_{4,1}$	(۵,۶,۵,۸)	(۲,۳,۵,۵)	(۴,۵,۶)	(۲,۳,۵,۵)	(۴,۵,۶)	(۱,۲,۳)
$C_{4,2}$	(۶,۳۳,۷,۵,۸,۶۷)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)	(۵,۶۷,۷,۸,۳۳)	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)	(۲,۳۳,۳,۵,۴,۶۷)
$C_{4,3}$	(۴,۵,۶)	(۵,۶,۵,۸)	(۵,۶,۵,۸)	(۴,۵,۶)	(۴,۵,۶)	(۱,۲,۳)
$C_{4,4}$	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۵,۳۳,۶,۵,۷,۶۷)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۵,۶۷,۷,۸,۳۳)
$C_{4,5}$	(۵,۶۷,۷,۸,۳۳)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۷,۸,۹)	(۲,۶۷,۴,۵,۳۳)	(۴,۵,۶)	(۳,۴,۵)
$C_{5,1}$	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۱,۳۳,۲,۵,۳,۶۷)	(۵,۳۳,۶,۵,۷,۶۷)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)
$C_{5,2}$	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۵,۳۳,۶,۵,۷,۶۷)	(۶,۷,۸)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۶,۳۳,۷,۵,۸,۶۷)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)
$C_{5,3}$	(۵,۶,۷)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)	(۳,۶۷,۵,۶,۳۳)	(۲,۳,۵,۵)	(۴,۳۳,۵,۵,۶,۶۷)	(۴,۵,۵,۷)
$C_{5,4}$	(۴,۶۷,۶,۷,۳۳)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)	(۱,۳۳,۲,۵,۳,۶۷)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)	(۴,۵,۶)	(۲,۳۳,۳,۵,۴,۶۷)
$C_{5,5}$	(۱,۲,۳)	(۱,۳۳,۲,۵,۳,۶۷)	(۱,۲,۳)	(۳,۳۳,۴,۵,۵,۶۷)	(۱,۳۳,۲,۵,۳,۶۷)	(۱,۲,۳)

جدول ۵. وزن معیارها و زیرمعیارها

معیارهای اصلی	زیرمعیارها	AHP			MDL		
		وزن معیارها	وزن زیرمعیارها	وزن کل	وزن معیارها	وزن زیرمعیارها	وزن کل
C_1	$C_{1,1}$	۰.۱۷	۰.۳۱۷	۰.۰۵۴	۰.۲۰۸	۰.۲۴۲	۰.۰۵
	$C_{1,2}$		۰.۲۹۹	۰.۰۵۱		۰.۲۲۵	۰.۰۴۷
	$C_{1,3}$		۰.۱۱۹	۰.۰۲		۰.۱۸۳	۰.۰۳۸
	$C_{1,4}$		۰.۰۵۷	۰.۰۱		۰.۱۵	۰.۰۳۱
	$C_{1,5}$		۰.۲۰۷	۰.۰۳۵		۰.۲	۰.۰۴۲
C_2	$C_{2,1}$	۰.۴۰۳	۰.۱۲۳	۰.۰۵	۰.۲۷۵	۰.۱۶۷	۰.۰۴۶
	$C_{2,2}$		۰.۱۸۱	۰.۰۷۳		۰.۲۰۸	۰.۰۵۷
	$C_{2,3}$		۰.۳۸۷	۰.۱۵۶		۰.۲۵۸	۰.۰۷۱
	$C_{2,4}$		۰.۰۸	۰.۰۳۲		۰.۱۵۸	۰.۰۴۴
	$C_{2,5}$		۰.۲۲۹	۰.۰۹۲		۰.۲۰۸	۰.۰۵۷
C_3	$C_{3,1}$	۰.۰۴	۰.۴۷۲	۰.۰۱۹	۰.۱۱۷	۰.۲۸۳	۰.۰۳۳
	$C_{3,2}$		۰.۱۷۳	۰.۰۰۷		۰.۲۰۸	۰.۰۲۴
	$C_{3,3}$		۰.۰۵۵	۰.۰۰۲		۰.۱۳۳	۰.۰۱۶
	$C_{3,4}$		۰.۲۱۹	۰.۰۰۹		۰.۲۱۷	۰.۰۲۵
	$C_{3,5}$		۰.۰۸	۰.۰۰۳		۰.۱۵۸	۰.۰۱۸
C_4	$C_{4,1}$	۰.۰۹	۰.۱۴	۰.۰۱۳	۰.۱۵	۰.۱۸۳	۰.۰۲۸
	$C_{4,2}$		۰.۲۱۸	۰.۰۲		۰.۲۰۸	۰.۰۳۱
	$C_{4,3}$		۰.۰۹۳	۰.۰۰۸		۰.۱۵۸	۰.۰۲۴
	$C_{4,4}$		۰.۱۷۶	۰.۰۱۶		۰.۲	۰.۰۳
	$C_{4,5}$		۰.۳۷۳	۰.۰۳۴		۰.۲۵	۰.۰۳۸
C_5	$C_{5,1}$	۰.۲۹۶	۰.۲۲۹	۰.۰۶۸	۰.۲۵	۰.۲۱۷	۰.۰۵۴
	$C_{5,2}$		۰.۱۴۱	۰.۰۴۲		۰.۱۷۵	۰.۰۴۴
	$C_{5,3}$		۰.۱۱۶	۰.۰۳۴		۰.۱۶۷	۰.۰۴۲
	$C_{5,4}$		۰.۱۴۹	۰.۰۴۴		۰.۱۸۳	۰.۰۴۶
	$C_{5,5}$		۰.۳۶۵	۰.۱۰۸		۰.۲۵۸	۰.۰۶۵

۴. ۵. گام پنجم: رتبه‌بندی گزینه‌ها

همانگونه که اشاره شد در این تحقیق از ۴ رویکرد ترکیبی جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. در جدول ۶ به تفکیک نتایج روشهای AHP-FTOPSIS و MDL-FTOPSIS شامل فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی با استفاده از روابط ۱۶ و ۱۷، شاخص نزدیکی (CC_i^*) با استفاده از رابطه ۱۸ و در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها نشان داده شده است. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که در روشهای AHP-FTOPSIS و MDL-FTOPSIS نیروگاههای خورشیدی، آبی و مبتنی بر جذرومد به ترتیب بالاترین اولویت احداث را دارند.

همچنین در جدول ۷، به تفکیک نتایج روشهای AHP-FVIKOR و MDL-FVIKOR شامل شاخص ویکور (Q_i) با استفاده از رابطه ۲۵ و رتبه‌بندی گزینه‌ها ارائه شده است. در این تحقیق به منظور مساوات بین رویکردها، شاخص ویکور $v = 0.5$ در نظر گرفته شده است. نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که در روشهای AHP-FVIKOR و MDL-FVIKOR نیروگاههای خورشیدی، آبی و بادی به ترتیب بالاترین اولویت احداث را دارند.

جدول ۶. رتبه بندی گزینه ها در روش تاپسیس فازی

AHP-FTOPSIS				MDL-FTOPSIS			
رتبه	بهره فایده	فاصله از منفی	بهره فایده	رتبه	بهره فایده	فاصله از منفی	بهره فایده
۴	۰.۱۹۱	۱.۰۱۸	۰.۲۴۱	۴	۰.۱۸۸	۰.۲۴۱	۰.۲۳۲
۲	۰.۴۳۱	۰.۲۴۸	۰.۱۸۸	۲	۰.۳۴	۰.۰۹۶	۰.۱۹۴
۱	۰.۷۸	۰.۰۹۶	۰.۳۴	۱	۰.۱۲۴	۰.۹۶۷	۰.۳۴۱
۶	۰.۱۱۳	۰.۹۶۷	۰.۱۲۴	۶	۰.۱۱۷	۰.۹۵۹	۰.۱۱۲
۵	۰.۱۱۷	۰.۹۵۹	۰.۱۲۷	۵	۰.۳۶۹	۰.۲۷۶	۰.۱۱۷
۳	۰.۳۶۹	۰.۲۷۶	۰.۱۶۱	۳	۰.۳۹۷	۰.۲۶۶	۰.۱۷۵

جدول ۷. رتبه بندی گزینه ها در روش ویکور فازی

AHP-FVIKOR			MDL-FVIKOR		
رتبه	شاخص ویکور	رتبه	رتبه	شاخص ویکور	رتبه
۳	۰.۱۱۷	۳	۳	۰.۱۰۸	۳
۲	۰.۰۸۶	۲	۲	۰.۰۷	۲
۱	۰.۰۶۹	۱	۱	۰.۰۵۲	۱
۶	۰.۲۴۴	۶	۶	۰.۲۹۹	۶
۵	۰.۱۹۱	۵	۵	۰.۲۱۶	۵
۴	۰.۱۴۳	۴	۴	۰.۱۴۴	۴

۶.۴. گام ششم: رتبه بندی نهایی گزینه ها با استفاده از Copeland

همانگونه که جداول ۶ و ۷ نشان می دهند، ۴ رویکرد مورد استفاده لزوماً نتیجه یکسانی ارائه نمی دهند. به منظور تجمیع نتایج، از تکنیک Copeland استفاده شده است که ماتریس نهایی آن در جدول ۸ آمده است. نتایج جدول ۸ نشان می دهد که نیروگاههای خورشیدی و آبی به ترتیب بالاترین اولویت احداث را دارند. اولویت سوم نیز بطور مشترک با نیروگاههای بادی و مبتنی بر جاذرومد است.

جدول ۸. ماتریس نهایی در روش Copeland

رتبه	A _۱	A _۲	A _۳	A _۴	A _۵	A _۶
۳	-	L	L	W	W	D
۲	W	-	L	W	W	W
۱	W	W	-	W	W	W
۵	L	L	L	-	L	L
۴	L	L	L	W	-	L
۳	D	L	L	W	W	-

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تکنیک‌های MCDM به ارایه‌ی یک رویکرد ترکیبی جهت اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر پرداخته شد. اولویت احداث انواع این نیروگاه‌ها توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی هر کشور متفاوت است که در این تحقیق رویکرد پیشنهادی در کشور ایران پیاده‌سازی شد. برای این منظور، ابتدا معیارهای اصلی و زیرمعیارها با بررسی ادبیات تحقیق تعیین شدند و لیست نهایی معیارها توسط خبرگان تایید شد. در این راستا، پنج معیار اصلی شامل فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی انتخاب شد و برای هر معیار اصلی، پنج زیرمعیار در نظر گرفته شد (در مجموع ۲۵ زیرمعیار).

۱.۵. بحث

۱.۱.۵. بحث در مورد روشهای رتبه بندی

برای رتبه‌بندی نیروگاه‌های تجدیدپذیر، دو روش FTOPSIS و FVIKOR به کار گرفته شد. در هر دو روش، وزن معیارها باید به عنوان ورودی مشخص گردد. وزن معیارهای اصلی و زیرمعیارها با استفاده از تکنیک‌های AHP و MDL محاسبه شد و از ترکیب این روش‌ها، چهار رویکرد ترکیبی شامل AHP-FTOPSIS، MDL-FTOPSIS، AHP-FVIKOR و MDL-FVIKOR حاصل شد. هر یک از تکنیک‌های MCDM از یک منظر خاص فرآیند تصمیم‌گیری را انجام می‌دهند که ممکن است در نهایت منجر به نتیجه متفاوتی شود. از این رو در مدل پیشنهادی از تکنیک Copeland جهت یکپارچه‌سازی نتایج و دستیابی به یک رتبه‌بندی نهایی استفاده شد.

نتایج محاسبات تعیین وزن معیارها با استفاده از تکنیک AHP نشان دادند به ترتیب معیارهای اصلی اقتصادی، زیست‌محیطی، فنی، سیاسی و اجتماعی بیشترین اهمیت را دارا هستند. همچنین در تعیین وزن معیارها با استفاده از تکنیک MDL نیز به ترتیب معیارهای اصلی اقتصادی، زیست‌محیطی، فنی، سیاسی و اجتماعی بیشترین اهمیت را دارند. همچنین نتایج مقایسه وزن معیارها و زیرمعیارها با استفاده از دو روش AHP و MDL نشان می‌دهد که در بیشتر موارد، درجه اهمیت معیارها و زیرمعیارها در هر دو تکنیک تقریباً یکسان به دست آمده است. تنها تفاوت مشاهده‌شده مربوط به دو زیرمعیار «هزینه نگهداری و تعمیرات» و «مدت زمان بازگشت سرمایه» است؛ در تکنیک MDL هر دو زیرمعیار رتبه دوم را کسب کردند، در حالی که در روش AHP، زیرمعیار مدت زمان بازگشت سرمایه رتبه دوم و زیرمعیار هزینه نگهداری و تعمیرات رتبه سوم را به دست آورد. بنابراین، این دو روش می‌توانند به عنوان جایگزین‌های قابل قبول برای تعیین اهمیت معیارها استفاده شوند، به‌ویژه که MDL به دلیل سادگی محاسبات، گزینه مناسبی برای جایگزینی AHP محسوب می‌شود.

نتایج رتبه‌بندی نیروگاه‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد که در رویکردهای AHP-FTOPSIS و MDL-FTOPSIS، بالاترین اولویت احداث نیروگاه‌ها در ایران به ترتیب نیروگاه‌های خورشیدی، برق آبی و امواج و جزرومد هستند. از سوی دیگر، در رویکردهای AHP-FVIKOR و MDL-FVIKOR، بالاترین اولویت احداث به ترتیب نیروگاه‌های خورشیدی، برق آبی و بادی هستند. با توجه به اینکه نتایج تعیین وزن معیارها در تکنیک‌های AHP و MDL تقریباً مشابه بودند، رتبه‌بندی گزینه‌ها در AHP-FTOPSIS و MDL-FTOPSIS نیز همسان است و همین موضوع برای AHP-FVIKOR و MDL-FVIKOR نیز صادق است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به کارگیری روش‌های AHP و MDL در تعیین وزن معیارها منجر به نتایجی تقریباً مشابه می‌شود. با این حال، نتایج حاصل از به کارگیری روش‌های AHP-FTOPSIS و AHP-FVIKOR

FVIKOR با یکدیگر متفاوت است (همچنین نتایج حاصل از به‌کارگیری روش‌های MDL-FTOPSIS و MDL-FVIKOR با یکدیگر متفاوت است) که این موضوع نشان می‌دهد استفاده از روش‌های FTOPSIS و FVIKOR در فرآیند رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌تواند موجب تغییر در نتایج نهایی شود. بعبارت دیگر رتبه‌بندی معیارها نسبت به روش انتخابی برای تعیین وزن آن‌ها حساسیت چندانی ندارد و در هر دو روش AHP و MDL ترتیب اهمیت معیارها تقریباً یکسان است. با این حال، رتبه‌بندی گزینه‌ها وابستگی بیشتری به روش انتخابی دارد و نتایج حاصل از آن می‌تواند با تغییر روش ارزیابی دچار تفاوت شود.

۲.۱.۵. بحث در مورد نتایج

در هر دو روش دو روش AHP و MDL به ترتیب معیارهای «عمر سرویس» و «میزان انتشار آلاینده‌ها» بالاترین اهمیت را داشتند. این دو معیار در ارزیابی و اولویت‌بندی ساخت انواع نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر نقش بسیار مهمی دارند. معیار عمر سرویس نشان‌دهنده طول عمر مفید نیروگاه و تجهیزات آن است و نیروگاهی با عمر سرویس طولانی‌تر می‌تواند سرمایه‌گذاری اولیه را توجیه کند، هزینه‌های نگهداری را کاهش دهد و بازده انرژی بیشتری در طول زمان ارائه دهد. بنابراین، این معیار کمک می‌کند تا بین گزینه‌های مختلف، نیروگاهی انتخاب شود که بیشترین بهره‌وری طولانی‌مدت را داشته باشد (Akintayo et al., 2023; Steffen et al., 2020). همچنین، معیار میزان انتشار آلاینده‌ها نشان‌دهنده تأثیر محیط زیستی نیروگاه است؛ حتی در انرژی‌های تجدیدپذیر، فرآیند ساخت، حمل و نصب تجهیزات و تولید برق می‌تواند آلاینده‌هایی تولید کند. نیروگاهی که کمترین آلاینده را تولید کند، برای پایداری زیست‌محیطی و رعایت استانداردهای محیط زیستی اولویت بالاتری دارد و این معیار به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند گزینه‌ای انتخاب کنند که ضمن تولید انرژی، کمترین آسیب را به محیط زیست وارد نماید (Sobczuk et al., 2025).

در تمامی روش‌ها دو اولویت برتر ساخت به ترتیب مربوط به نیروگاه‌های خورشیدی و برق آبی هستند. ساخت نیروگاه‌های خورشیدی در ایران اهمیت زیادی دارد زیرا این کشور به دلیل قرار گرفتن در کمربند خورشیدی جهان از پتانسیل بالایی برای بهره‌گیری از انرژی خورشید برخوردار است و مناطق وسیعی با تابش مناسب دارد که بهره‌وری بالای این نیروگاه‌ها را تضمین می‌کند (Ranjgar & Niccolai, 2023; Zahedi et al., 2022). استفاده از انرژی خورشیدی موجب کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی می‌شود و در نتیجه مشکلات زیست‌محیطی و اقتصادی ناشی از مصرف بی‌رویه نفت و گاز کاهش می‌یابد (Hakemzadeh et al., 2025; Labbafi et al., 2024). از نظر زیست‌محیطی نیز تولید برق از خورشید باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا می‌شود که به‌ویژه در کلان‌شهرها و مناطق صنعتی اهمیت ویژه‌ای دارد (Schultz & Carvalho, 2022; Shahsavari & Akbari, 2018). انرژی خورشیدی به عنوان منبعی تجدیدپذیر می‌تواند به تأمین پایدار انرژی برای صنایع، کشاورزی و مناطق دورافتاده کمک کند و به توسعه پایدار کشور یاری رساند (Mohammadi & Yavari, 2017). علاوه بر این، با وجود سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً بالا، هزینه نگهداری پایین و عمر طولانی تجهیزات خورشیدی موجب صرفه‌جویی اقتصادی و بازگشت سرمایه در مدت زمان کوتاه می‌شود (Hakemzadeh et al., 2025). در نهایت، بهره‌گیری از خورشید تنوع منابع انرژی را افزایش داده، خطر خاموشی و وابستگی به واردات انرژی را کاهش می‌دهد و امنیت انرژی کشور را تقویت می‌کند (Razmjoo et al., 2019).

ساخت نیروگاه‌های برق‌آبی در ایران اهمیت زیادی دارد زیرا این نیروگاه‌ها با استفاده از منابع آب‌های جاری همچون رودخانه‌ها و سدها، به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر و پایدار، تولید برق بلندمدت و مطمئن را تضمین می‌کنند (Razmjoo et al., 2019; Solaymani, 2021). تولید برق از آب موجب کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی مانند نفت و گاز شده و در نتیجه به بهبود اقتصاد انرژی کشور کمک می‌کند (Evans et al., 2009). علاوه بر این، سدهای برق‌آبی نقش مهمی در مدیریت منابع آب از جمله ذخیره‌سازی، کنترل سیلاب‌ها، پشتیبانی کشاورزی و تأمین آب شرب ایفا می‌کنند (Schmitt & Rosa, 2024). از نظر زیست‌محیطی نیز نیروگاه‌های برق‌آبی نسبت به نیروگاه‌های حرارتی و گازی آلاینده‌های بسیار کمتری تولید کرده و در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر هستند. به علاوه این نیروگاه‌ها قابلیت تنظیم تولید برق در ساعات اوج مصرف را دارند و می‌توانند نیازهای شبکه را در شرایط حساس پاسخ دهند. (Branche, 2017). در نهایت، با وجود هزینه اولیه بالای احداث سد و نیروگاه، عمر طولانی و هزینه نگهداری پایین، برق‌آبی به یک سرمایه‌گذاری اقتصادی و راهبردی برای توسعه پایدار کشور تبدیل می‌شود (Kaldellis, 2025).

۲.۵. پیشنهادات کاربردی، مدیریتی و سیاسی

با توجه به یافته‌های تحقیق، توصیه می‌شود سیاست‌گذاران انرژی کشور تمرکز سرمایه‌گذاری و سیاست‌های حمایتی خود را بر توسعه نیروگاه‌های خورشیدی و برق‌آبی به عنوان اولویت‌های اصلی قرار دهند. در همین راستا، مدیریت منابع باید با طراحی برنامه‌های استراتژیک، از پتانسیل‌های جغرافیایی کشور بهره‌برداری کند؛ به گونه‌ای که انرژی خورشیدی در مناطق کویری و انرژی برق‌آبی در مناطق کوهستانی و رودخانه‌ای به کار گرفته شود. علاوه بر این، تنوع‌بخشی به سبد انرژی کشور از طریق توسعه ترکیبی نیروگاه‌های خورشیدی، بادی و برق‌آبی ضروری است تا وابستگی به سوخت‌های فسیلی کاهش یابد و امنیت انرژی ارتقا یابد.

۳.۵. محدودیتهای تحقیق

هر چند معیارهای شناسایی شده و رویکرد ترکیبی ارائه شده جهت تصمیم‌گیری در این تحقیق می‌تواند در سایر مناطق و کشورها مورد استفاده قرار گیرد، اما وزن معیارها، ماتریس تصمیم و اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌ها ممکن است در هر منطقه و کشور متفاوت باشد.

۴.۵. پیامدهای تحقیق

تحقیق حاضر با ارائه‌ی یک ابزار تصمیم‌گیری چندمعیاره با در نظر گرفتن ۲۵ معیار متنوع در ابعاد اقتصادی، فنی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی، امکان بهره‌برداری سیاست‌گذاران، مدیران و سرمایه‌گذاران از نتایج آن را فراهم ساخته و به تخصیص بهینه منابع محدود در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر کمک می‌کند. به عبارت دیگر یافته‌های تحقیق می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا منابع محدود را به نیروگاه‌هایی با اولویت بیشتر اختصاص دهند. همچنین، نتایج این تحقیق می‌تواند مبنای طراحی استراتژی‌های ملی انرژی قرار گیرد و اولویت‌های واقعی کشور را در توسعه این حوزه مشخص سازد.

۵.۵. زمینه های تحقیقات آتی

در نظر گرفتن دیدگاه سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره نظیر الکتراه و پرامیتی و به دست آوردن برآیند نتایج آن‌ها می‌تواند به عنوان حوزه‌ای برای تحقیقات آتی در نظر گرفته شود. بررسی گزینه‌های نیروگاهی دیگر غیر از نیروگاه‌های مورد مطالعه و شناسایی معیارها و زیرمعیارهای جدید برای تصمیم‌گیری، می‌تواند به عنوان یک محور پیشنهادی برای تحقیقات آینده مطرح شود.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

ORCID

Fatima Sedady

Mohammad Ali Beheshtinia  <https://orcid.org/0000-0001-8062-3934>

منابع

- Abdul, D., Wenqi, J., & Tanveer, A. (2022). Prioritization of renewable energy source for electricity generation through AHP-VIKOR integrated methodology. *Renewable Energy*, 184, 1018-1032. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.082>
- Ahmad, S., & Tahar, R. M. (2014). Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. *Renewable Energy*, 63, 458-466. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.001>
- Akintayo, B. D., Ige, O. E., Babatunde, O. M., & Olanrewaju, O. A. (2023). Evaluation and Prioritization of Power-Generating Systems Using a Life Cycle Assessment and a Multicriteria Decision-Making Approach. *Energies*, 16(18), 6722. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/18/6722>
- Akpahou, R., & Odoi-Yorke, F. (2023). A multicriteria decision-making approach for prioritizing renewable energy resources for sustainable electricity generation in Benin. *Cogent Engineering*, 10(1), 2204553. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2204553>
- Almeida, V. V. A., Gomes, C. F. S., Pinochet, L. H. C., & dos Santos, M. (2024). Prioritization of investment order in Brazil among renewable energy sources: an analysis using the SWARA-MOORA-3NAG method. *Journal of Modelling in Management*, 20(2), 620-647. <https://doi.org/10.1108/jm2-09-2023-0208>
- Amiri, A. A., Wahid, M. N., Al-Buraiki, A. S., & Al-Sharafī, A. (2024). A strategic multi-criteria decision-making framework for renewable energy source selection in Saudi Arabia using AHP-TOPSIS. *Renewable Energy*, 236, 121523. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121523>
- Beheshtinia, M. A., & Omidī, S. (2017). A hybrid MCDM approach for performance evaluation in the banking industry. *Kybernetes*, 46(8), 1386-1407. <https://doi.org/10.1108/k-03-2017-0105>
- Beheshtinia, M. A., Yaghobian, S. N., Fathi, M., Ghobakhloo, M., & Foroughi, B. (2025). Overcoming barriers to renewable energy adoption: A decision-making framework for strategy evaluation and implementation prioritization. *Cleaner Environmental Systems*, 18, 100314. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cesys.2025.100314>
- Bozorgzadeh, E. (2012). Hydropower Development in Iran: Vision and Strategy. In *Comprehensive Renewable Energy* (pp. 253-263). Elsevier. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00608-9>
- Branche, E. (2017). The multipurpose water uses of hydropower reservoir: The SHARE concept. *Comptes Rendus Physique*, 18(7), 469-478. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crhy.2017.06.001>
- Cavallaro, F. (2010). Fuzzy TOPSIS approach for assessing thermal-energy storage in concentrated solar power (CSP) systems. *Applied Energy*, 87(2), 496-503. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.009>
- Chang, T.-H. (2014). Fuzzy VIKOR method: A case study of the hospital service evaluation in Taiwan. *Information Sciences*, 271, 196-212. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.02.118>
- Chatzimouratidis, A. I., & Pilavachi, P. A. (2012). Decision support systems for power plants impact on the living standard. *Energy Conversion and Management*, 64, 182-198. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.05.006>
- Emezirinwune, M. U., Adejumbi, I. A., Adebisi, O. I., & Akinboro, F. G. (2025). Application of energy balance and MCDM approach to the selection of hybrid renewable energy systems for agricultural application. *Franklin Open*, 12, 100317. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fraope.2025.100317>
- Ergul, E. U., & Ozbek, T. (2022). Wave-energy plant site and converter type selection using multi-criteria decision making. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, 175(2), 49-63. <https://doi.org/10.1680/jener.21.00087>
- Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2009). Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(5), 1082-1088. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.008>

- Gaurav, A., Tyagi, A., Jha, S. K., & Kumar, B. (2025). Assessment using MCDM approach of renewable hybrid energy system with hydrogen production capability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 137, 448-460. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.05.082>
- Hakemzadeh, M. H., Sharifi, S., Mirbolooki, H., Abedi, T., Moghadamikhomami, S., & mousavi, s. j. (2025). Techno-Economic Evaluation of Solar Photovoltaic Power Plants in Gilan Province. *Journal of Environmental Research and Technology*, 16(9), 187-204. <https://doi.org/10.61186/jert.49655.9.16.187>
- Hamzeh, Y., Ashori, A., Mirzaei, B., Abdulkhani, A., & Molaei, M. (2011). Current and potential capabilities of biomass for green energy in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4934-4938. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.060>
- Hanna, R., Heptonstall, P., & Gross, R. (2024). Job creation in a low carbon transition to renewables and energy efficiency: a review of international evidence. *Sustainability Science*, 19(1), 125-150. <https://doi.org/10.1007/s11625-023-01440-y>
- Kaldellis, J. K. (2025). Long-Term Analysis of Hydropower's Pivotal Role in Sustainable Future of Greece. *Energies*, 18(9), 2214. <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/9/2214>
- Karbassi Yazdi, A., Tan, Y., Birau, R., Frank, D., & Pamučar, D. (2024). Sustainable solutions: using MCDM to choose the best location for green energy projects. *International Journal of Energy Sector Management*, 19(1), 146-180. <https://doi.org/10.1108/ijesm-01-2024-0005>
- Khojasteh, D., & Kamali, R. (2016). Evaluation of wave energy absorption by heaving point absorbers at various hot spots in Iran seas. *Energy*, 109, 629-640. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.054>
- kumari, D. S., Manoharan, P. S., Chidambarathanu, K., & Vishnupriyan, J. (2025). Optimization of self-sufficient hybrid renewable energy source fed BWRO desalting plant through fuzzy AHP and VIKOR MCDM techniques. *Desalination and Water Treatment*, 322, 101215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101215>
- Labbafi, S., Labbafi, S., Heirani, H., & Sina, S. (2024). Investigation of the Economic Mechanism of Utilizing Distributed Solar Photovoltaic Systems in Iran. *International Journal of Photoenergy*, 2024(1), 2812246. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2024/2812246>
- Magableh, G. M., Mistarihi, M. Z., & Abu Dalu, S. (2025). Innovative hybrid fuzzy MCDM techniques for adopting the appropriate renewable energy strategy. *Resources, Environment and Sustainability*, 21, 100234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resenv.2025.100234>
- Mohammadi, M., & Yavari, G. (2017). Factors Affecting The Use and Development of Solar Energy in Iran's Agricultural Sector [Agriculture, Renewable Energy, Fossil, Fuel, Sustainability]. 2017, 6(1), 9. <https://doi.org/10.14710/ijred.6.1.45-53>
- Mukhtarov, S. (2024). Oil prices and the renewable energy transition: Empirical evidence from China. *Utilities Policy*, 91, 101840. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jup.2024.101840>
- Najjari, V., & Arjomand, M. (2016). Investigating 32 fundamental Iranian dams and efficiency of placed powerhouse on them in 1393 [Research]. *Dam and Hedroelectric Powerplant*, 3(9), 55-66. <http://journal.hydropower.org.ir/article-1-134-fa.html>
- Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Osman, A. I., Chen, L., Yang, M., Msigwa, G., Farghali, M., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2023). Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(2), 741-764. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01532-8>
- Perpiña, C., Martínez-Llario, J. C., & Pérez-Navarro, Á. (2013). Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants. *Land Use Policy*, 31, 326-335. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.07.014>
- Ranjgar, B., & Niccolai, A. (2023). Large-Scale Rooftop Solar Photovoltaic Power Production Potential Assessment: A Case Study for Tehran Metropolitan Area, Iran. *Energies*, 16(20), 7111. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/20/7111>
- Razmjoo, A. A., Davarpanah, A., & zargarian, A. (2019). The Role of Renewable Energy to Achieve Energy Sustainability in Iran. An Economic and Technical Analysis of the Hybrid Power

- System. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s40866-019-0063-3>
- Ren, J. (2018). Multi-criteria decision making for the prioritization of energy systems under uncertainties after life cycle sustainability assessment. *Sustainable Production and Consumption*, 16, 45-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.06.005>
- Schmitt, R. J. P., & Rosa, L. (2024). Dams for hydropower and irrigation: Trends, challenges, and alternatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114439. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114439>
- Schultz, H. S., & Carvalho, M. (2022). Design, Greenhouse Emissions, and Environmental Payback of a Photovoltaic Solar Energy System. *Energies*, 15(16), 6098. <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/16/6098>
- Sedady, F., & Beheshtinia, M. A. (2019). A novel MCDM model for prioritizing the renewable power plants' construction. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 30(2), 383–399. <https://doi.org/doi:10.1108/MEQ-05-2018-0102>
- Şengül, Ü., Eren, M., Eslamian Shiraz, S., Gezder, V., & Şengül, A. B. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. *Renewable Energy*, 75, 617-625. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.045>
- Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 275-291. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065>
- Shakeri, A., Ghoreyshinia, S., Mehrabi, B., & Delavari, M. (2015). Rare earth elements geochemistry in springs from Taftan geothermal area SE Iran. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 304, 49-61. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.07.023>
- Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy*, 157, 377-403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.137>
- Shapna, K. J., Li, J., & Hossain, M. L. (2025). Solar energy integration in off-grid communities: empowering remote areas in Bangladesh for sustainable development. *Discover Sustainability*, 6(1), 371. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01214-9>
- Shatnawi, N., Abu-Qdais, H., & Abu Qdais, F. (2021). Selecting renewable energy options: an application of multi-criteria decision making for Jordan. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 17(1), 209-219. <https://doi.org/10.1080/15487733.2021.1930715>
- Sobczuk, S., Jaroń, A., Mazur, M., & Borucka, A. (2025). Renewable Energy and CO2 Emissions: Analysis of the Life Cycle and Impact on the Ecosystem in the Context of Energy Mix Changes. *Energies*, 18(13), 3332. <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/13/3332>
- Solaymani, S. (2021). A Review on Energy and Renewable Energy Policies in Iran. *Sustainability*, 13(13), 7328. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/13/7328>
- Soleimani, K., Ketabdari, M. J., & Khorasani, F. (2015). Feasibility study on tidal and wave energy conversion in Iranian seas. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 11, 77-86. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2015.03.006>
- Steffen, B., Beuse, M., Tautorat, P., & Schmidt, T. S. (2020). Experience Curves for Operations and Maintenance Costs of Renewable Energy Technologies. *Joule*, 4(2), 359-375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.11.012>
- Tizpar, A., Satkin, M., Roshan, M. B., & Armoudli, Y. (2014). Wind resource assessment and wind power potential of Mil-E Nader region in Sistan and Baluchestan Province, Iran – Part 1: Annual energy estimation. *Energy Conversion and Management*, 79, 273-280. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.10.004>
- Wu, Z., Ahmad, J., & Xu, J. (2016). A group decision making framework based on fuzzy VIKOR approach for machine tool selection with linguistic information. *Applied Soft Computing*, 42, 314-324. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2016.02.007>
- Yazdani-Chamzini, A., Fouladgar, M. M., Zavadskas, E. K., & Moini, S. H. H. (2013). Selecting the optimal renewable energy using multi criteria decision making. *Journal of Business Economics and Management*, 14(5), 957-978. <https://doi.org/10.3846/16111699.2013.766257>

- Zahedi, R., Zahedi, A., & Ahmadi, A. (2022). Strategic Study for Renewable Energy Policy, Optimizations and Sustainability in Iran. *Sustainability*, 14(4), 2418. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/4/2418>
- Zandi, I., & Lotfata, A. (2025). Evaluating solar power plant sites using integrated GIS and MCDM methods: a case study in Kermanshah Province. *Scientific Reports*, 15(1), 3288. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87476-9>
- Zoghi, M., Houshang Ehsani, A., Sadat, M., javad Amiri, M., & Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, Part 2, 986-996. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014>