



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 35, Issue 4, No.96, Winter 2024, pp. 113- 136

Received: 09/11/2024

Accepted: 15/02/2025

## Utilizing GIS with SWARA, EDAS, and TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Methods for Solar Power Plant Site Selection in Fars Province

Vahidreza Atabati <sup>1</sup> \*, Mahdi Arabi <sup>2</sup>

1- M.Sc. in Geospatial Information System (GIS), Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran  
v.atabati@sru.ac.ir

2- Associate professor, Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran  
mahdi.a@sru.ac.ir

### Abstract

Utilization of solar energy through construction of solar power plants has become a pivotal sector in the global energy landscape. Iran, with its advantageous geographical and climatic conditions, possesses substantial potential for the development of solar power facilities and electricity generation. This study employed a Geographic Information System (GIS)-based Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) approach to identify optimal sites for solar power plants in Fars Province. 9 critical criteria identified through prior research were mapped using GIS. The SWARA method was utilized to assign weights to these criteria, establishing a hierarchy of importance with photovoltaic potential ranked highest and altitude ranked lowest. The TOPSIS and EDAS methods were then applied to produce a land suitability map, indicating that 21 and 9% of Fars Province were highly suitable for the construction of solar power plants, respectively. This research prioritized the counties of Fars Province for the establishment of solar energy facilities.

**Keywords:** Solar Power Plant Site Selection, Multi-Criteria Decision-Making (MCDM), Geospatial Information System (GIS).

### Introduction

The demand for renewable energy as a substitute for fossil fuels has been rising in recent years. Solar energy, one of the most prevalent forms of renewable energy, has garnered significant attention in developing countries due to its potential for sustainable, cost-effective, and environmentally friendly energy production. Iran, a major oil and gas producer, primarily generates electricity from fossil fuel power plants, with solar energy representing only a minor portion of its electricity generation. Despite having high solar radiation levels and numerous sunny days throughout the year, Iran has yet to fully capitalize on its solar power potential. Determining the optimal location for a solar power plant is a complex task influenced by environmental, climatic, and topographical factors, requiring scientific approaches. Site selection involves evaluating potential areas and prioritizing

\*Corresponding Author

Atabati, V. and Arabi, M. (2025). Utilizing GIS and SWARA, EDAS, and TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Methods to Solar Power Plant Site Selection in Fars Province. *Geography and Environmental Planning*, 35 (4), 113 - 136 .

2252-0910 © University of Isfahan

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



10.22108/gep.2025.143337.1681

locations that ensure high efficiency in electricity generation. By integrating Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods with Geographic Information Systems (GIS), it becomes possible to effectively manage spatial information, analyze various locations, and assess their suitability for solar power plant establishment.

This study employed an integrated MCDM approach based on GIS for site selection of a solar power plant in Fars Province. GIS was utilized to manage and prepare spatial data, while MCDM methods facilitated criteria weighting and development of a land suitability map. The SWARA method was applied to assign weights to the criteria and two MCDM techniques, TOPSIS and EDAS, were used to integrate the spatial layers.

### Materials & Methods

In this study, Geographic Information System (GIS) technology was employed for the collection, management, and visualization of spatial data, while Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) techniques were utilized for weighting and integrating the decision-making criteria. Initially, a comprehensive review of existing literature on solar power plant site selection identified 9 key criteria: photovoltaic potential, distance from protected areas, temperature, precipitation, elevation, slope, distance from urban centers, distance from roads, and distance from fault lines. Subsequently, expert opinions were gathered and the SWARA method was applied to establish the weights of the decision-making criteria. Relevant spatial data were collected and spatial layers for each criterion were generated through appropriate analyses within the GIS environment. These spatial layers were then integrated based on the calculated weights using two MCDM methods: TOPSIS and EDAS. The findings were analyzed, conclusions drawn, and results compared with previous studies to identify priority counties for solar power plant establishment.

The SWARA method enhanced decision-making accuracy and efficiency compared to traditional methods like AHP by minimizing the number of pairwise comparisons. In this approach, experts ranked the criteria according to their importance and a reduction coefficient was applied to derive the weights. For generating the land suitability map, the TOPSIS method was employed, evaluating each location based on its proximity to an ideal solution (best conditions) and its distance from a negative ideal solution (worst conditions). The site closest to the ideal solution and farthest from the negative solution was deemed the most suitable. Additionally, the EDAS method was utilized to prioritize sites based on their distance from the average value, incorporating two key measures: Positive Distance from Average (PDA) and Negative Distance from Average (NDA). The site with the highest PDA and the lowest NDA was ranked as the optimal choice.

### Research Findings

The results obtained from the SWARA method indicated that photovoltaic potential was the most critical criterion, while elevation was deemed the least significant. For land suitability mapping, both the TOPSIS and EDAS methods were employed. TOPSIS, a widely recognized method for solar power plant site selection, demonstrated high efficiency, while the EDAS method, being relatively newer and less explored, also yielded effective results. The findings from both methods were consistent, showing that the northern and northeastern regions of Fars Province were more suitable for solar power plant development. According to the TOPSIS method, classification of land suitability for Fars Province was as follows: very high suitability (21%), high suitability (45%), moderate suitability (24%), low suitability (8%), and very low suitability (2%). In contrast, the EDAS method classified the province as follows: very high suitability (9%), high suitability (27%), moderate suitability (34%), low suitability (22%), and very low suitability (8%). Additionally, the study prioritized counties in Fars Province for solar power plant development. Both TOPSIS and EDAS methods identified Abadeh, Khorrambid, and Bavanat as the top three priority counties, while Rostam, Mohr, Kuhchenar, Kazerun, and Farashband were ranked as the least suitable locations.

### Discussion of Results & Conclusion

This study aimed to identify suitable locations for the establishment of solar power plants in Fars Province. The results demonstrated the effectiveness of integrating Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods with Geographic Information Systems (GIS) for spatial decision-making. Both the TOPSIS and EDAS methods were employed to analyze and prioritize potential sites. The findings revealed a strong correlation between the results of these two methods, indicating that the northern and northeastern regions of Fars Province were more suitable for solar power plants, while the southern and southwestern areas were less favorable. Additionally, this study highlighted the EDAS method as a more robust and stable alternative to TOPSIS, suggesting that EDAS provides greater decision-making stability and reinforcing its potential for future applications. Given the favorable solar conditions in Fars Province, application of these methodologies could significantly contribute to the development of sustainable energy and enhance energy efficiency in Iran. The comprehensive framework utilized in this study—including problem identification, criteria selection, weighting, and decision-making—can be effectively adapted for solar power plant site selection in other provinces.

## مقاله پژوهشی

# استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره سوارا، ایداس و تاپسیس به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان فارس

وحیدرضا عتباتی\* ، کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر

شهید رجایی، تهران، ایران"

v.atabati@sru.ac.ir

مهدی عربی، دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

mahdi.a@sru.ac.ir

## چکیده

بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و احداث نیروگاه خورشیدی برای تولید برق به یکی از حوزه‌های مهم انرژی جهان تبدیل شده است. کشور ایران به دلیل شرایط جغرافیایی و آب‌وهوایی ویژه پتانسیل بالایی در زمینه احداث نیروگاه‌های خورشیدی و تولید برق دارد. محققان در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت مکان احداث نیروگاه خورشیدی در عملکرد و میزان برق تولیدی آن و با هدف مکان‌یابی بهینه نیروگاه خورشیدی در استان فارس از یک رویکرد ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی استفاده کرده‌اند. در این مطالعه براساس پژوهش‌های پیشین تعداد ۹ معیار مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی انتخاب و لایه فضایی هر معیار با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی تهیه و سپس وزن معیارها با استفاده از روش وزن‌دهی سوارا محاسبه شده است. براساس نتایج روش وزن‌دهی ترتیب اهمیت معیارها به صورت پتانسیل فتوولتائیک (۰/۱۷۲)، دما (۰/۱۳۷)، بارش (۰/۱۱۹)، فاصله از مراکز شهری (۰/۱۱۶)، شیب (۰/۱۱۱)، فاصله از راه‌ها (۰/۰۹۲)، فاصله از گسل‌ها (۰/۰۸۸)، فاصله از مناطق حفاظت‌شده (۰/۰۸۶) و ارتفاع (۰/۰۷۷) بوده است. در این مطالعه برای تهیه نقشه تناسب اراضی از دو روش تاپسیس و ایداس استفاده شده است. براساس نتایج روش تاپسیس و ایداس به ترتیب ۲۱ درصد و ۹ درصد از استان فارس تناسب بسیار بالایی برای احداث نیروگاه خورشیدی دارند. محققان در پژوهش حاضر شهرستان‌های استان فارس را از نظر تناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی اولویت‌بندی کرده‌اند. براساس نتایج دو روش تاپسیس و ایداس شهرستان‌های آباده، خرمبید و بوانات در اولویت اول تا سوم بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، سیستم اطلاعات مکانی

\*نویسنده مسئول

عتباتی، وحیدرضا و عربی، مهدی. (۱۴۰۳). استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره سوارا، ایداس و تاپسیس به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان فارس، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۵ (۴)، ۱۳۶-۱۱۳.



## مقدمه

توسعه پایدار، حفظ رفاه انسان و رشد اقتصادی و اجتماعی به شدت نیازمند وجود انرژی است (Demir et al., 2024, P. 1; Saraswat et al., 2021, P. 865P. 1;). در دهه‌های اخیر به دلیل رشد جمعیت و شهرنشینی و صنعتی شدن کشورهای مختلف تقاضا برای انرژی افزایش چشمگیری داشته است (Imam et al., 2024, P. 2). برق یکی از انواع انرژی است که به دلیل افزایش مصرف و توزیع آن در سراسر جهان به یک انرژی با تقاضای فزاینده تبدیل شده است (Rashid, 2015, P. 3). در حال حاضر، بیشتر نیروگاه‌های تولید برق در جهان از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند که تأثیرات منفی زیست‌محیطی دارد (Rana & Moniruzzaman, 2024, P. 1). در حال حاضر، تقریباً ۸۰ درصد از انرژی جهان با سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود؛ ولی این منابع محدود بوده است و تأثیرات زیست‌محیطی چشمگیری مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (Çolak, 2024, P. 1). علاوه بر این، کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی، تخریب لایه اوزون و افزایش بیماری‌های ناشی از اثرهای زیست‌محیطی سوخت‌های فسیلی خطرهای چشمگیری را برای جوامع به وجود آورده است (Niajalili et al., 2025). تنها طی سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۵ انتشار CO<sub>2</sub> در اثر سوزاندن سوخت‌های فسیلی ۱۰۸ درصد افزایش یافته است (Messaoudi et al., 2019, P. 68). به طور کلی، مصرف سوخت‌های فسیلی پیامدهای نامطلوب بسیاری برای محیط زیست و جامعه دارد که از جمله آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Kuşkaya et al., 2023, P. 859). ۱- انتشار CO<sub>2</sub> و ایجاد آلودگی هوا؛ ۲- افزایش دمای متوسط جهانی؛ ۳- ایجاد بحران‌های طبیعی؛ ۴- ناامنی غذا، آب و انرژی؛ ۵- تهدید رفاه انسان؛ ۶- ایجاد مانع برای رشد و توسعه پایدار؛ ۷- افزایش سرعت کاهش منابع طبیعی. بنابراین توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی طی سال‌های اخیر افزایش یافته است؛ به صورتی که سرمایه‌گذاری جهانی در این زمینه در سال ۲۰۱۲ بیش از ۲۶۹ میلیارد دلار بوده است (BNEF, 2013).

کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای بزرگ تولیدکننده و صادرکننده سوخت‌های فسیلی در جهان شناخته می‌شود. این کشور به دلیل برخورداری از منابع عظیم نفت و گاز به طور تقریبی تمام برق مورد نیاز خود را با نیروگاه‌های سوخت فسیلی تأمین می‌کند. ایران در سال ۲۰۲۲ تنها ۰/۱۸ درصد از برق مورد نیاز خود را با انرژی خورشیدی تولید کرده است؛ در حالی که در این سال به صورت متوسط ۴/۵۳ درصد از برق جهان با استفاده از انرژی خورشیدی تولید شده است (LCP, 2023). کشور ایران در سال‌های اخیر با مشکل تأمین برق مواجه بوده است. در این کشور با توجه به گستردگی جغرافیایی سکونتگاه‌های انسانی هزینه انتقال برق به نسبت بالاست. یکی از راه‌های مقابله با این کمبود برق در کشور و تأمین برق پایدار احداث نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر است که نیاز است مورد توجه قرار گیرد.

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به دلیل افزایش مصرف انرژی در جهان روبه افزایش است (Al Garmi & Awasthi, 2020, P. 490). امروزه انرژی خورشیدی به عنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر برای تولید انرژی پایدار، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست به یک گزینه مناسب پیش روی کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. استفاده از انرژی خورشیدی موجب افزایش کیفیت زندگی، توسعه اقتصادی، ایجاد اشتغال و کاهش آلاینده‌ها در

محیط زیست می‌شود (Saraswat et al., 2021, P. 865). ازجمله مزایای انرژی خورشیدی نسبت به سوخت‌های فسیلی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Tsoutsos et al., 2005, P. 290). ۱- کاهش انتشار گازهای سمی مانند  $SO_2$  و  $CO_2$ ؛ ۲- جلوگیری از کاهش منابع طبیعی؛ ۳- انرژی پایدار و ایمن؛ ۴- توسعه پایدار؛ ۵- افزایش کیفیت منابع آب.

براساس نتایج پژوهش‌ها و برآورد انرژی دریافتی از خورشید در مناطق مختلف جهان مدیترانه، استرالیا، خاورمیانه، جنوب غرب آمریکا، چین و بخش‌های بیابانی هند نسبت به سایر مناطق برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی تناسب بالاتری دارند (Najafi et al., 2015, P. 933). ایران در موقعیت بسیار مطلوب برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که با حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال در حدود ۲۲۰۰ کیلووات ساعت تابش خورشیدی در هر متر مربع را دریافت می‌کند (Najafi et al., 2015, P. 931). بنابراین شرایط جغرافیایی و محیطی ایران موجب ایجاد پتانسیل بسیار بالا در زمینه تولید برق با انرژی خورشیدی شده است؛ با این حال به دلیل شرایط جغرافیایی، محیطی، اقلیمی و توپوگرافی مختلف در کشور تعیین یک مکان بهینه برای احداث نیروگاه خورشیدی بسیار دشوار است؛ زیرا عملکرد نیروگاه به‌طور کامل متأثر از مکان احداث آن است. به‌منظور استفاده حداکثری از منافع اقتصادی، تولید حداکثری انرژی و کاهش هزینه‌ها و مسائل زیست‌محیطی نیاز است که مکان‌های مختلف برای احداث نیروگاه خورشیدی ارزیابی و یک مکان بهینه برای استقرار آن انتخاب شود (Agyekum et al., 2021, P. 2). بنابراین شناسایی و اولویت‌بندی مناطق مستعد یک گام اساسی در احداث نیروگاه خورشیدی است. تعیین مکان بهینه احداث نیروگاه خورشیدی یک تصمیم‌گیری پیچیده بوده و نیازمند در نظر گرفتن معیارهای متنوعی است که به یکدیگر وابسته یا در تضاد هستند (Saraji et al., 2024, P. 2). بنابراین فرآیند تعیین مکان بهینه احداث نیروگاه خورشیدی نیازمند استفاده از رویکردهای مؤثر علمی است تا از طرفی، بتواند به یک تصمیم‌گیری صحیح و بهینه منجر و از طرف دیگر، علاوه بر جلوگیری از اتلاف منابع منجر به تولید برق حداکثری شود. یکی از رویکردهای مؤثر استفاده‌شده در فرآیند تعیین مکان بهینه احداث نیروگاه خورشیدی تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multi-Criteria Decision-Making) (MCDM) است.

استفاده از MCDM امکان تجزیه و تحلیل مناطق مختلف و ارزیابی تناسب آنها را برای احداث نیروگاه خورشیدی فراهم می‌کند. MCDM در پژوهش‌های مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی همواره مورد استفاده بوده و عملکرد بالایی داشته است (Hooshangi et al., 2023, P. 13).

### پیشینه پژوهش

ساراجی و همکاران در پژوهشی با عنوان «یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره دو مرحله‌ای جدید برای انتخاب سایت‌های مزرعه خورشیدی» برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در لیتوانی از یک رویکرد MCDM دو مرحله‌ای استفاده کرده‌اند. در این پژوهش ابتدا وزن معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از روش وزن‌دهی کریتیک (Criteria Importance Technique for Order of Through Intercriteria Correlation) محاسبه و سپس با استفاده از روش تاپسیس (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) سایت‌های کاندید رتبه‌بندی شده است (Saraji et al., 2024).

احدی و همکاران پژوهشی با عنوان «انتخاب مکان بهینه برای نیروگاه خورشیدی در ایران از طریق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)» انجام دادند. محققان در این مطالعه برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در ایران مراکز استان‌ها را با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytic Hierarchy Process) (AHP) ارزیابی و رتبه‌بندی کردند. در نتیجه این پژوهش شهر زاهدان برای احداث نیروگاه خورشیدی مستعدترین شهر در بین مراکز استان‌ها انتخاب شد (Ahadi et al., 2023).

آیو و همکاران پژوهشی با عنوان «یک روش تعاملی جدید مبتنی بر توابع درجه ترجیحی چندمعیاره برای انتخاب سایت نیروگاه خورشیدی» انجام دادند. محققان در این مطالعه برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در ایران از یک رویکرد MCDM جدید مبتنی بر روش پرامتی (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) استفاده کرده‌اند. همچنین، رویکرد استفاده‌شده در این پژوهش در مقایسه با برخی از روش‌های تصمیم‌گیری از نظر لحاظ کردن ترجیحات تصمیم‌گیر مقایسه و در آن کارآمدی روش مدنظر نشان داده شد (Ayough et al., 2022).

ازدمیر و ساهین پژوهشی با عنوان «تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب مکان برای یک نیروگاه PV خورشیدی با استفاده از AHP» انجام دادند. محققان در این مطالعه برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در ترکیه و برای وزن‌دهی به معیارها و رتبه‌بندی مکان‌های کاندید از روش AHP استفاده کردند (Ozdemir & Sahin, 2018). با توجه به جنبه مکانی مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی و برای مدیریت اطلاعات فضایی، ترکیب MCDM با سیستم اطلاعات مکانی (Geographic Information System) (GIS)، موجب افزایش عملکرد، دقت و سهولت تصمیم‌گیری شده است (Heidary Dahooie et al., 2022, P. 2).

هوشنگی و همکاران پژوهشی با عنوان «ارزیابی سایت‌های بالقوه در ایران برای بومی‌سازی مزارع خورشیدی با استفاده از TOPSIS فازی Fermatean مبتنی بر GIS» انجام دادند. در این مطالعه ابتدا وزن معیارها با استفاده از روش AHP محاسبه و سپس نقشه تناسب اراضی با استفاده از روش تاپسیس و ترکیب آن با اعداد فازی تهیه شد. در نهایت، محققان مکان‌های مناسب را برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی پس از بررسی در استان‌های جنوبی یافتند (Hooshangi et al., 2023).

آگیکوم و همکاران پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی انتخاب سایت نیروگاه فتوولتائیک با استفاده از فرآیند سلسله‌مراتبی تحلیلی و خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی - پیامدهای سیاست برای گسترش شبکه انتقال، غنا» انجام دادند. محققان در این مطالعه برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در غنا از ترکیب AHP، GIS و خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی استفاده کردند (Agyekum et al., 2021).

ساراسوات و همکاران پژوهشی با عنوان «تکنیک مدل‌سازی مبتنی بر MCDM و GIS برای ارزیابی مکان‌های مزرعه خورشیدی و بادی در هند» انجام دادند. محققان در این پژوهش ابتدا وزن معیارهای تصمیم‌گیری را با استفاده از AHP محاسبه و سپس لایه‌های مکانی معیارها را با استفاده از GIS تهیه کردند. در نهایت، لایه مکانی معیارها براساس وزن‌های محاسبه‌شده در محیط GIS تلفیق و نقشه تناسب اراضی تهیه شد (Saraswat et al., 2021).

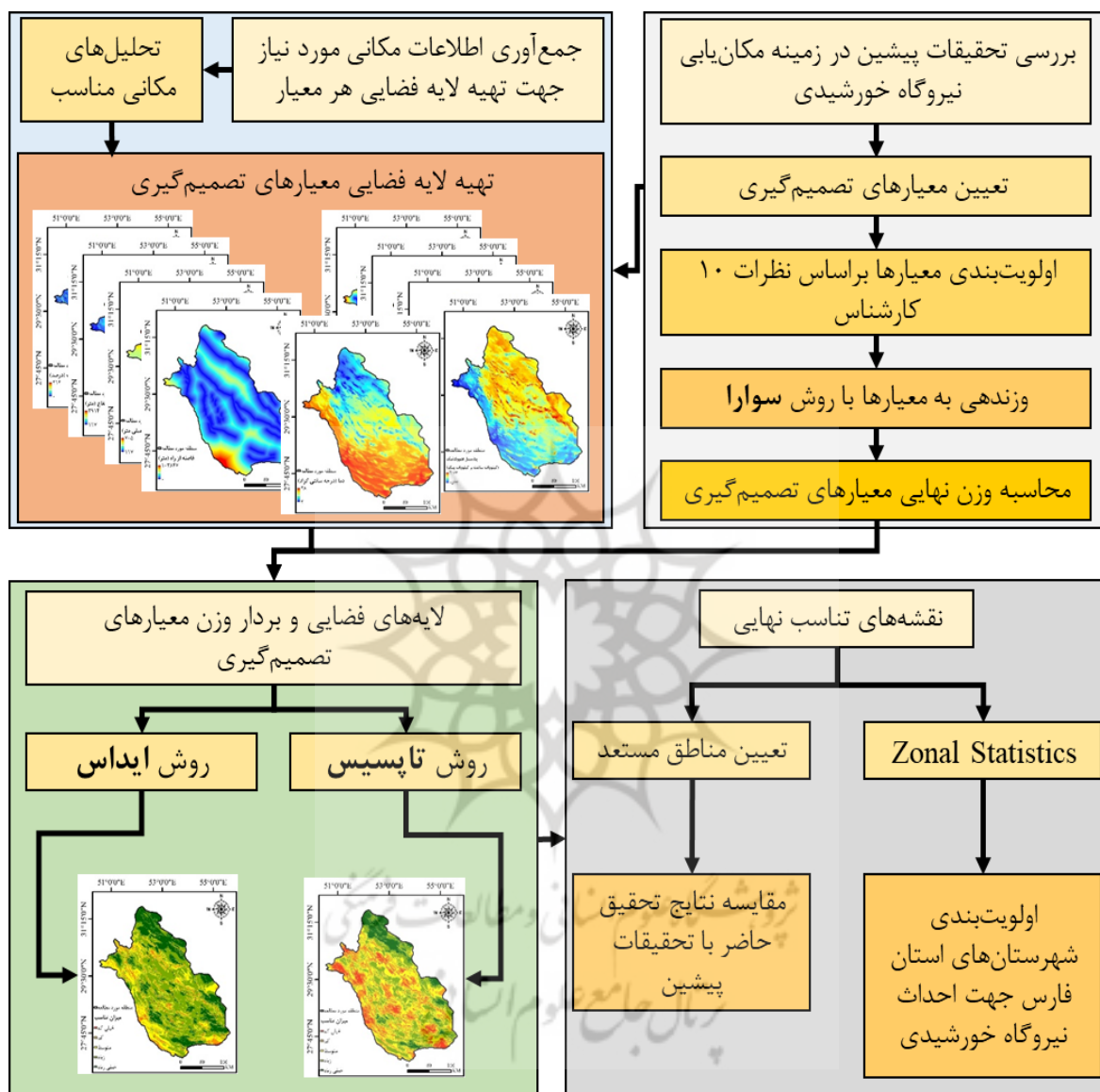
درنهایت، محققان پژوهش حاضر برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی [Asakereh et al. \(2017\)](#) از ترکیب GIS با فازی AHP، [Günen \(2021\)](#) و [Azizkhani et al. \(2017\)](#) از ترکیب GIS با AHP و [Heidary Dahooie et al. \(2022\)](#) از ترکیب GIS، روش وزن‌دهی سوارا (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) و روش‌های MCDM همانند تاپسیس استفاده کرده‌اند.

به صورت کلی مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که ترکیب MCDM و GIS به عنوان یک رویکرد کاربردی و مؤثر در کاربردهای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی مورد استفاده بوده است. محققان در پژوهش‌های پیشین برای انجام دادن فرآیند وزن‌دهی بیشتر از روش متداول AHP استفاده کرده‌اند و روش‌های وزن‌دهی جدید مانند سوارا در پژوهش‌های محدودی مانند [Heidary Dahooie et al. \(2022\)](#) استفاده شده است. حال آنکه روش سوارا با کاهش محسوس تعداد مقایسه‌های زوجی نسبت به روش AHP قابلیت اطمینان نتایج را افزایش داده است و برخلاف سایر روش‌های وزن‌دهی با افزایش تعداد معیارهای تصمیم‌گیری ناسازگاری وزن‌های محاسبه شده در این روش افزایش نمی‌یابد ([Şimşek & Alp, 2022, P. 3](#)). محققان در پژوهش‌های پیشین برای تلفیق لایه مکانی معیارها از روش‌های MCDM مانند تاپسیس و ترکیب خطی وزن‌دار استفاده کرده‌اند؛ با این حال روش‌های MCDM جدید مانند روش ایداس (Evaluation based on Distance from Average Solution) که مناسب موقعیت‌های تصمیم‌گیری با معیارهای متضاد است ([Keshavarz Ghorabae et al., 2015, P. 435](#))، مورد توجه قرار نگرفته است؛ بنابراین محققان در پژوهش حاضر با هدف مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان فارس از یک رویکرد ترکیبی MCDM مبتنی بر GIS استفاده کرده‌اند. در این پژوهش از GIS برای مدیریت و تهیه اطلاعات مکانی و از MCDM برای وزن‌دهی به معیارها و تهیه نقشه تناسب اراضی احداث نیروگاه خورشیدی استفاده شده است. در این پژوهش وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش سوارا و تلفیق لایه مکانی معیارها با استفاده از دو روش MCDM شامل تاپسیس و ایداس انجام شده است.

### روش‌شناسی پژوهش

محققان در پژوهش حاضر برای مکان‌یابی مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی در استان فارس از یک رویکرد ترکیبی MCDM مبتنی بر GIS استفاده کرده‌اند. در این پژوهش برای تهیه داده‌های مکانی و مدیریت و بصری‌سازی آنها از GIS و برای انجام دادن فرآیند وزن‌دهی به معیارهای تصمیم‌گیری و تلفیق آنها از MCDM استفاده شده است. **شکل ۱** ساختار کلی روش‌شناسی پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در **شکل ۱** مشاهده می‌شود، ابتدا پژوهش‌های پیشین در زمینه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی بررسی و سپس معیارهای مناسب برای استفاده در پژوهش تعیین و معیارهای تصمیم‌گیری براساس نظرهای کارشناسان و با استفاده از روش وزن‌دهی سوارا وزن محاسبه شد. در گام بعد داده‌های مکانی مناسب برای تهیه لایه فضایی معیارهای تصمیم‌گیری جمع‌آوری و لایه فضایی هر معیار با استفاده از تحلیل‌های مکانی مناسب در محیط GIS تهیه شده است. در گام بعد لایه‌های فضایی معیارها براساس وزن‌های محاسبه شده از روش سوارا و با استفاده از دو روش MCDM تاپسیس و ایداس تلفیق و نقشه تناسب اراضی

برای احداث نیروگاه خورشیدی تهیه و درنهایت، در گام آخر یافته‌های پژوهش با پژوهش‌های پیشین مقایسه شد. درپایان، شهرستان‌های اولویت‌دار برای احداث نیروگاه خورشیدی تعیین شد.



شکل ۱: ساختار کلی روش‌شناسی پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

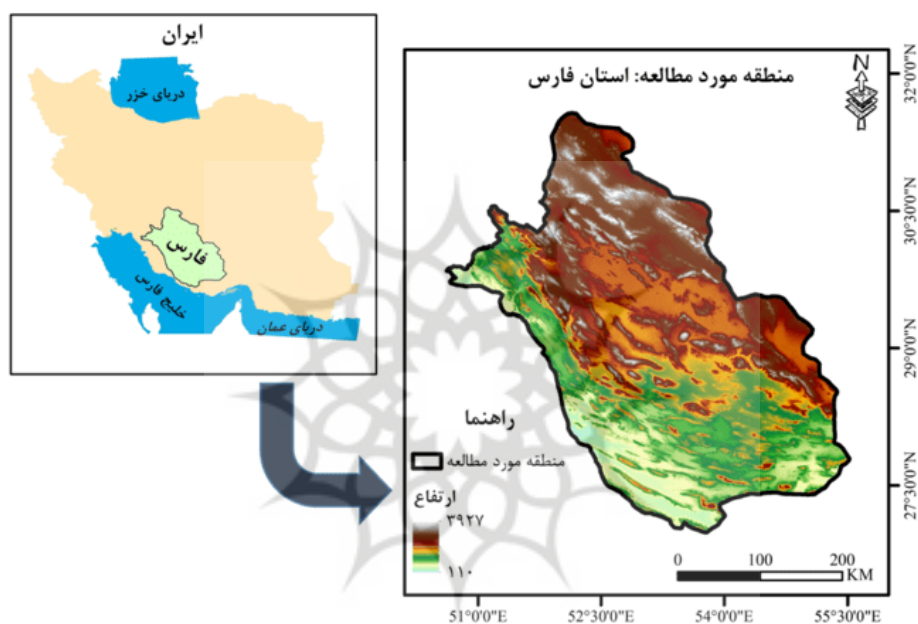
Figure 1: Overall structure of the research methodology

#### منطقه مطالعه شده

استان فارس با مساحت ۱۲۲۲۷۲ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۴۸۵۰۰۰۰ نفر در قسمت جنوبی کشور ایران قرار گرفته است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، این استان در عرض شمالی ۲۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه از خط استوا و طول شرقی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۴ دقیقه از نصف النهار مبدأ واقع شده

است. استان فارس ۳۷ شهرستان، ۹۷ بخش، ۱۲۱ شهر و ۲۲۲ دهستان دارد و از شمال با استان‌های اصفهان و کهگیلویه و بویر احمد، از شرق با استان‌های یزد و کرمان، از غرب با استان بوشهر و از جنوب با استان هرمزگان در مجاورت است. مناطق استان فارس در دامنه ارتفاعی ۱۱۰ تا ۳۹۲۷ متر قرار گرفته و بیش از ۷۰ درصد از آن را مناطق کوهستانی تشکیل داده است. میانگین بارندگی طی ۵۵ سال گذشته در استان فارس برابر با ۳۰۳/۳ میلی‌متر بوده است. به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه استان فارس و دریافت میزان بسیار بالای تابش خورشیدی نتایج پژوهش‌های مختلف این استان را برای احداث نیروگاه خورشیدی از تناسب بالایی تشخیص داده است (Hooshangi et al., 2023, P. 12).

(Noorollahi et al., 2016, P. 3).



شکل ۲: منطقه مطالعه شده (منبع: نویسندگان ۱۴۰۳)

Figure 2: Study area

### معیارهای تصمیم‌گیری

کیفیت و نتایج هر فرآیند تصمیم‌گیری به معیارهای استفاده شده وابسته است و این معیارها باید تا حد ممکن کامل و حداقل باشد. در پژوهش حاضر براساس پژوهش‌های پیشین تعداد ۹ معیار همانند **جدول ۱** انتخاب شده است. در انتخاب معیارها سعی شده است پراهمیت‌ترین معیارهای استفاده شده در پژوهش‌های پیشین انتخاب شود. به عبارتی، پس از مرور پیشینه پژوهش معیارهایی که بیشترین تکرار را در پژوهش‌های پیشین داشتند، به عنوان معیارهای نهایی در پژوهش حاضر انتخاب شدند. گفتنی است که علاوه بر مورد ذکر شده، در دسترس بودن داده مکانی معیار انتخاب شده نیز مورد توجه قرار گرفت. معیارهایی مانند ظرفیت کشاورزی (Elkadeem et al., 2021; Effat & El-Zeiny, 2022) و نوع مالکیت و قیمت زمین (Xiao et al., 2021; Islam et al., 2024) به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات آنها و باوجود پراهمیت بودن مورد استفاده قرار نگرفتند.

جدول ۱: معیارهای استفاده‌شده در پژوهش

Table 1: Criteria used in the research

| ردیف | معیار                                       | اهمیت                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | تأثیر |
|------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ۱    | پتانسیل فتوولتائیک (Potential Photovoltaic) | به مقدار انرژی الکتریسیته تولیدشده در واحد سطح از نور خورشیدی پتانسیل فتوولتائیک گفته می‌شود. با افزایش مقدار پتانسیل فتوولتائیک یک منطقه تناسب آن برای احداث نیروگاه خورشیدی افزایش می‌یابد (Ahadi et al., 2023; Ayough et al., 2022; Hassan et al., 2023; Islam et al., 2024; Li et al., 2024; Şahin et al., 2024).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | مثبت  |
| ۲    | فاصله از مناطق حفاظت‌شده                    | مناطق حفاظت‌شده مناطقی هستند که از نظر زیستگاه گیاهی یا جانوری اهمیت فراوانی دارند. احداث نیروگاه خورشیدی در نزدیکی مناطق حفاظت‌شده بر زندگی گونه‌های ساکن در آن تأثیرهای غیرمستقیم داشته است و موجب مهاجرت گونه‌های خاص و حساس و حتی مرگ آنها می‌شود (Sindhu; et al., 2017; Solangi et al., 2019). بنابراین با توجه به ارزش اکولوژیکی گونه‌های جانوری و گیاهی و آسیب‌پذیری آنها مکان نیروگاه‌های خورشیدی باید دور از مناطق حفاظت‌شده انتخاب شود (Zoghi et al., 2017). به عبارتی، با افزایش فاصله یک منطقه از مناطق حفاظت‌شده تناسب آن برای احداث نیروگاه خورشیدی افزایش می‌یابد (Ayough et al., 2022; Seker, 2020; Al Garmi & Awasthi, 2017).                                                   | مثبت  |
| ۳    | دما                                         | عملکرد یک نیروگاه خورشیدی به میزان زیادی از دمای هوا تأثیر می‌پذیرد. با افزایش دمای یک منطقه تناسب آن برای احداث نیروگاه خورشیدی افزایش می‌یابد (Hassan; et al., 2023; Heidary Dahooie et al., Ahadi et al., 2023; Hassan et al., 2023; Heidary Dahooie et al., 2023; Islam et al., 2024; Li et al., 2024; Şahin et al., 2024; Wang et al., 2021).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | مثبت  |
| ۴    | بارندگی                                     | وقوع بارش‌های شدید و طولانی مدت می‌تواند به صفحات خورشیدی و موقعیت قرارگیری آنها آسیب وارد کند. با افزایش بارندگی در یک منطقه تناسب آن برای احداث نیروگاه خورشیدی کاهش می‌یابد (عبتاتی و عربی، ۱۴۰۳؛ Ahadi et al., 2023; Li et al., 2024; Wang et al., 2021).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | منفی  |
| ۵    | ارتفاع                                      | غلظت اتمسفر در مناطق مرتفع کمتر بوده و در نتیجه، میزان نور خورشید دریافتی بیشتر است. با افزایش ارتفاع یک منطقه تناسب آن برای احداث نیروگاه خورشیدی افزایش می‌یابد (Rane et al., Heidary Dahooie et al., 2022; Şahin et al., 2024; 2024).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | مثبت  |
| ۶    | شیب                                         | هزینه احداث نیروگاه خورشیدی و انتقال برق تولیدی آن ارتباط زیادی به شیب منطقه دارد. با افزایش شیب یک منطقه تناسب آن برای احداث نیروگاه خورشیدی کاهش می‌یابد (Heidary Dahooie; et al., Ayough et al., 2022; Islam et al., 2024; Li et al., 2024; Şahin et al., 2024).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | منفی  |
| ۷    | فاصله از مراکز شهری                         | برق تولیدشده با یک نیروگاه خورشیدی باید برای استفاده به مراکز جمعیتی (مراکز شهری) منتقل شود. با افزایش فاصله یک منطقه از مراکز شهری تناسب آن برای احداث نیروگاه خورشیدی کاهش می‌یابد (Islam et al., 2024; Ayough et al., 2022). محققان در پژوهش‌های Firozjaei et al. (2019)، Seker (2020) و Shorabeh et al. (2022) بیان کرده‌اند که نزدیکی نیروگاه‌های خورشیدی به مراکز شهری نسبت به حالتی که از شهرها دور باشند، مزایای اقتصادی بیشتری به همراه دارد. نزدیکی نیروگاه خورشیدی به شهرها، تلفات انرژی و آلودگی هوا در اثر طولانی بودن خطوط انتقال و (Hafeznia et al., 2017)، وابستگی انرژی به منابع دورتر را کاهش می‌دهد و صنایع را ترغیب به استفاده از انرژی خورشیدی می‌کند (Zoghi et al., 2017). | منفی  |
| ۸    | فاصله از راه‌ها                             | هزینه احداث نیروگاه خورشیدی و بهره‌برداری و انتقال برق تولیدی آن ارتباط زیادی به نزدیکی به راه‌های ارتباطی دارد. با افزایش فاصله یک منطقه از راه‌ها تناسب آن برای احداث نیروگاه خورشیدی کاهش می‌یابد (Ayough et al., 2022; Heidary Dahooie et al., 2022; Islam et al., 2024; Li et al., 2024; Rane et al., 2024; Şahin et al., 2024).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | منفی  |
| ۹    | فاصله از گسل‌ها                             | ایمنی یک نیروگاه خورشیدی باید با حفظ فاصله از مناطق پرخطر تضمین شود. با افزایش فاصله یک منطقه از گسل‌ها تناسب آن برای احداث نیروگاه خورشیدی افزایش می‌یابد (Besharatifard et al., 2022).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | مثبت  |

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

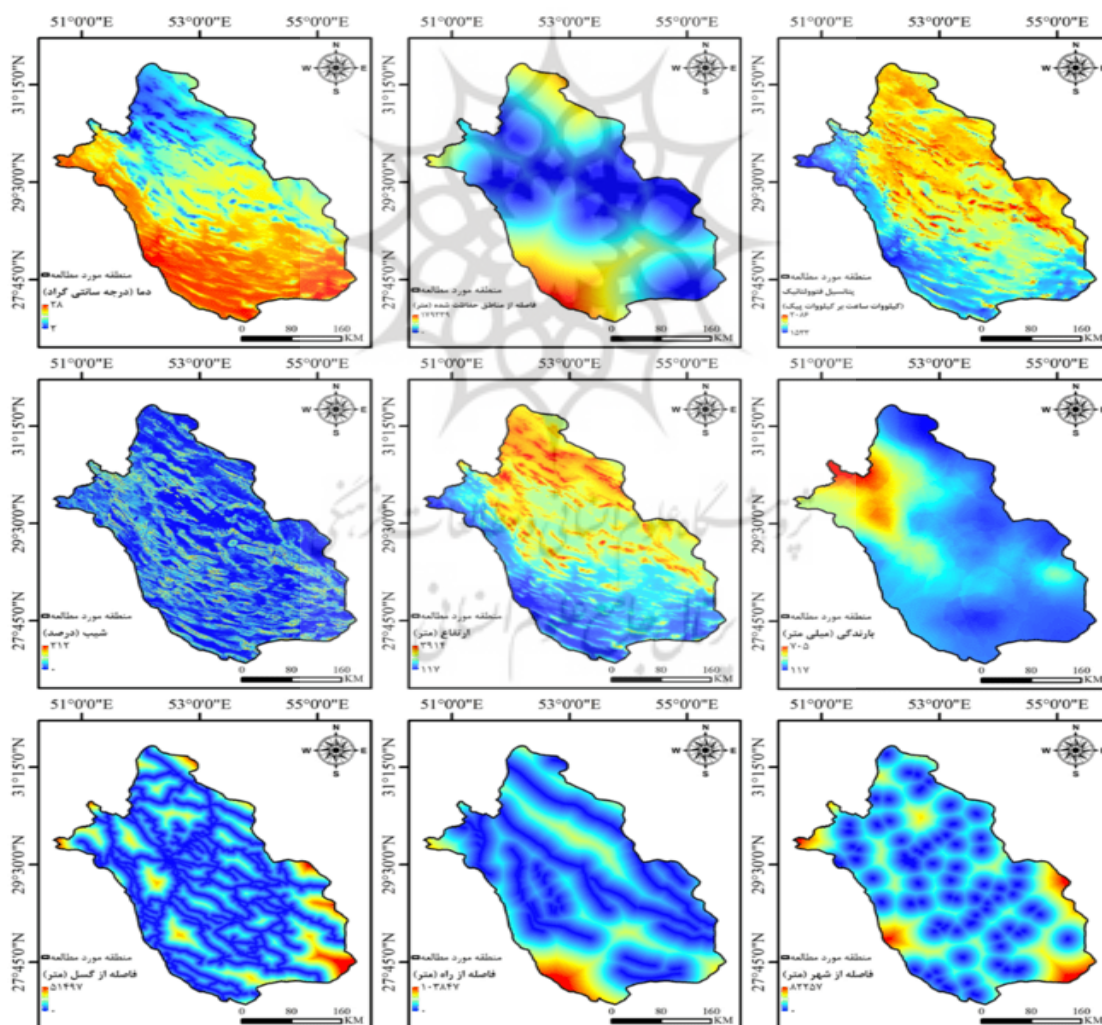
در این مطالعه داده‌های مکانی لازم پس از انتخاب معیارهای مناسب برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی و برای تهیه لایه مکانی معیارها جمع‌آوری شد. داده‌های جمع‌آوری شده برای هر معیار در جدول ۲ ارائه شده است. در ادامه، برای تهیه لایه فضایی هر معیار از تحلیل‌های فضایی مناسب شامل Extract، Euclidian Distance، Slope، Kriging و Mask by ArcGIS 10.8 استفاده شده است (شکل ۳).

جدول ۲: داده‌های مکانی لازم برای تهیه لایه فضایی آنها

Table 2: Spatial data required to prepare their spatial layer

| منبع داده                                                                   | داده مکانی                     | معیار          | اختصار                   |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------|
| <a href="https://solargis.com">https://solargis.com</a>                     | نقشه پتانسیل فتوولتائیک        | C <sub>1</sub> | پتانسیل فتوولتائیک       |
| <a href="https://map.google.com">https://map.google.com</a>                 | نقشه مناطق حفاظت‌شده           | C <sub>2</sub> | فاصله از مناطق حفاظت‌شده |
| <a href="https://solargis.com">https://solargis.com</a>                     | نقشه دما                       | C <sub>3</sub> | دما                      |
| <a href="https://www.irimo.ir">https://www.irimo.ir</a>                     | داده‌های ایستگاه‌های بارانسنجی | C <sub>4</sub> | بارندگی                  |
| <a href="https://earthexplorer.usgs.gov">https://earthexplorer.usgs.gov</a> | مدل ارتفاعی رقومی (DEM)        | C <sub>5</sub> | ارتفاع                   |
| <a href="https://earthexplorer.usgs.gov">https://earthexplorer.usgs.gov</a> | DEM                            | C <sub>6</sub> | شیب                      |
| <a href="https://www.openstreetmap.org">https://www.openstreetmap.org</a>   | مراکز شهری کشور                | C <sub>7</sub> | فاصله از مراکز شهری      |
| <a href="https://www.openstreetmap.org">https://www.openstreetmap.org</a>   | راه‌های کشور                   | C <sub>8</sub> | فاصله از راه‌ها          |
| <a href="http://www.iiees.ac.ir">www.iiees.ac.ir</a>                        | گسل‌های فعال کشور              | C <sub>9</sub> | فاصله از گسل‌ها          |

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳



شکل ۳: نقشه معیارهای استفاده‌شده در پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 3: Map of the criteria used in the research

## روش سوارا

Keršuliene et al. (2010) این روش را ارائه کردند. با توجه به اینکه این روش تعداد مقایسه‌های زوجی را به میزان محسوسی کاهش می‌دهد و برای محاسبه وزن معیارها از محاسبات ساده‌ای استفاده می‌کند، هزینه‌های محاسباتی و زمان تصمیم‌گیری را به‌نحو مؤثری کاهش داده است (Şimşek & Alp, 2022, P. 3). تصمیم‌گیر در این روش قادر است اولویت‌های خود را با توجه به هدف مدنظر و براساس دانش و تجربه شخصی تعیین کند (Şimşek & Alp, 2022, P. 2). در روش سوارا ابتدا نظرهای تصمیم‌گیری درباره اهمیت معیارها دریافت و سپس براساس آنها وزن معیارها محاسبه می‌شود (Chang, 2023, P. 2). مراحل اجرای روش سوارا به‌صورت زیر است:

**گام اول:** تصمیم‌گیر براساس تجربه خود معیارهای تصمیم‌گیری را رتبه‌بندی می‌کند؛ به‌گونه‌ای که معیار با رتبه اول مهم‌ترین معیار در تصمیم‌گیری باشد؛

**گام دوم:** تصمیم‌گیر اهمیت نسبی (Relative Importance) ( $S_j$ ) هر معیار را نسبت به معیار قبلی تعیین می‌کند. اهمیت نسبی برای شاخص با رتبه اول محاسبه نمی‌شود؛

**گام سوم:** ضریب (Coefficient) ( $K_j$ ) با استفاده از رابطه (۱) برای هر معیار محاسبه می‌شود (Keršuliene et al., 2010). ضریب معیار با رتبه اول برابر با ۱ است.

$$K_j = 1 + S_j, j \neq 1 \quad (1)$$

**گام چهارم:** وزن اولیه (Initial Weight) ( $Q_j$ ) هر معیار با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Keršuliene et al., 2010). وزن اولیه معیار با رتبه اول برابر با ۱ است.

$$Q_j = \frac{Q_{j-1}}{K_j}, j \neq 1 \quad (2)$$

**گام پنجم:** وزن نهایی ( $W_j$ ) هر معیار با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Keršuliene et al., 2010). در این رابطه  $m$  تعداد معیارهاست.

$$W_j = \frac{Q_j}{\sum_{j=1}^m Q_j} \quad (3)$$

## روش ایداس

روش ایداس یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره جدید است که Keshavarz Ghorabae et al. (2015) آن را توسعه داده‌اند. این روش در حل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده کاربرد زیادی داشته است (Torkayesh et al., 2023, P. 3). روش نرمال‌سازی این روش که با نرمال‌سازی سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره متفاوت است، براساس میانگین راه‌حل‌های هر معیار انجام می‌شود. در روش ایداس بهترین گزینه کمترین فاصله از راه‌حل میانگین (Average Solution) (AV) را دارد (Keshavarz Ghorabae et al., 2015, P. 2). در این روش برای ارزیابی گزینه‌ها دو معیار ارزیابی فاصله مثبت از راه‌حل میانگین (PDA) (Positive Distance from Average) و فاصله منفی از راه‌حل میانگین

(Negative Distance from Average) ( $NDA$ ) برای هر گزینه محاسبه می‌شود. برای یک گزینه هرچه  $PDA$  بیشتر و  $NDA$  کمتر باشد، امتیاز آن افزایش می‌یابد. در ادامه، مراحل روش ایداس تشریح شده است.

**گام اول:** ماتریس تصمیم از رابطه (۴) تشکیل می‌شود (Keshavarz Ghorabae et al., 2015). رابطه (۴) یک ماتریس تصمیم برای  $n$  گزینه را نشان می‌دهد که مقدارهای  $m$  شاخص برای هر کدام محاسبه شده است. در این رابطه  $x_{ij}$  مقدار معیار  $j$ -ام برای گزینه  $i$ -ام است؛

$$D_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

**گام دوم:** راه‌حل میانگین هر شاخص ( $AV_j$ ) با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Keshavarz Ghorabae et al., 2015). در این رابطه  $AV_j$  راه‌حل میانگین شاخص  $j$ -ام و  $n$  تعداد گزینه‌هاست؛

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (5)$$

**گام سوم:** معیار  $PDA$  برای هر درایه ماتریس تصمیم با استفاده از روابط (۶) و (۷) محاسبه می‌شود (Keshavarz Ghorabae et al., 2015). از رابطه (۶) برای شاخص‌های مثبت و از رابطه (۷) برای شاخص‌های منفی استفاده می‌شود. معیار  $NDA$  برای هر درایه ماتریس تصمیم با استفاده از روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شود (Keshavarz Ghorabae et al., 2015). از رابطه (۸) برای شاخص‌های مثبت و از رابطه (۹) برای شاخص‌های منفی استفاده می‌شود. در روابط (۶-۹)  $PDA_{ij}$  فاصله مثبت شاخص  $j$ -ام گزینه  $i$ -ام از راه‌حل میانگین شاخص  $j$ -ام و  $NDA_{ij}$  فاصله منفی شاخص  $j$ -ام گزینه  $i$ -ام از راه‌حل میانگین شاخص  $j$ -ام است؛

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (6)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j} \quad (7)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j} \quad (8)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (9)$$

**گام چهارم:** مجموع وزن‌دار  $PDA$  ( $SP_i$ ) و  $NDA$  ( $SN_i$ ) برای هر گزینه و با استفاده از بردار وزن شاخص‌ها با روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شود (Keshavarz Ghorabae et al., 2015). در این روابط  $w_j$  وزن شاخص  $j$ -ام است. در این روابط  $SP_i$  و  $SN_i$  به ترتیب مجموع وزن‌دار فاصله مثبت و منفی از راه‌حل میانگین برای گزینه  $i$ -ام است؛

$$SP_i = \sum_{j=1}^m w_j \times PDA_{ij} \quad (10)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^m w_j \times NDA_{ij} \quad (11)$$

گام پنجم: دو بردار  $SP$  و  $SN$  با استفاده از روابط (۱۲) و (۱۳) نرمال‌سازی می‌شوند (Keshavarz Ghorabae et al., 2015). در این روابط  $NSP_i$  و  $NSN_i$  به ترتیب مجموع وزن‌دار نرمال‌شده مثبت و منفی برای گزینه  $i$ -ام است؛

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)} \quad (12)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)} \quad (13)$$

گام ششم: امتیاز ارزیابی (Compromise Score) ( $AS$ ) گزینه‌ها با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود (Keshavarz Ghorabae et al., 2015). گزینه‌ای که بیشترین مقدار  $AS$  را کسب کند، به عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود.

$$AS_i = \frac{1}{2}(NSP_i + NSN_i), 0 \leq AS_i \leq 1 \quad (14)$$

#### روش تاپسیس

روش تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شناخته شده و پرکاربرد است که (Hwang & Yoon, 1981) ارائه کردند. در این روش امتیاز گزینه‌ها براساس فاصله از راه‌حل ایدئال مثبت (Positive Ideal Solution) و منفی (Negative Ideal Solution) ( $PIS$  و  $NIS$ ) محاسبه می‌شود. در روش تاپسیس گزینه‌ای که کمترین  $PIS$  و بیشترین  $NIS$  را داشته باشد تناسب بالاتری دارد. در ادامه، مراحل روش تاپسیس تشریح شده است.

گام ۱: ماتریس تصمیم از رابطه (۴) تشکیل می‌شود؛

گام ۲: برای نرمال‌سازی ماتریس تصمیم از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود (Hwang & Yoon, 1981). در این رابطه  $x_{ij}$  و  $r_{ij}$  به ترتیب مقدار معیار  $j$ -ام برای گزینه  $i$ -ام و نرمال‌شده آن بوده و  $n$  تعداد گزینه‌هاست؛

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (15)$$

گام ۳: ماتریس نرمال وزن‌دار با رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود (Hwang & Yoon, 1981). در این رابطه  $t_{ij}$  مقدار وزن‌دار نرمال‌شده معیار  $j$ -ام برای گزینه  $i$ -ام است؛

$$t_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (16)$$

گام ۴: راه‌حل ایدئال مثبت ( $S^+$ ) و راه‌حل ایدئال منفی ( $S^-$ ) با استفاده از رابطه (۱۷) و (۱۸) محاسبه می‌شوند (Hwang & Yoon, 1981). در این روابط  $t_i^+$  و  $t_i^-$  به ترتیب بهترین و بدترین مقدار معیار  $i$ -ام هستند؛

$$S^+ = \{t_1^+, t_2^+, \dots, t_m^+\} \quad (17)$$

$$S^- = \{t_1^-, t_2^-, \dots, t_m^-\} \quad (18)$$

گام ۵: فاصله هر گزینه از راه‌حل‌های ایدئال مثبت و منفی با روابط (۱۹) و (۲۰) محاسبه می‌شود (Hwang & Yoon, 1981). در این روابط  $d_i^+$  و  $d_i^-$  به ترتیب فاصله گزینه  $i$ -ام از راه‌حل‌های ایدئال مثبت و منفی است؛

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (t_{ij} - t_j^+)^2} \quad (19)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (t_{ij} - t_j^-)^2} \quad (20)$$

گام ۶: تناسب هر گزینه براساس رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود (Hwang & Yoon, 1981). در این رابطه  $C_i$  تناسب یا امتیاز گزینه  $i$ -ام است.

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (21)$$

## یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

### وزن‌دهی

در این مطالعه برای محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش وزن‌دهی سوارا نیاز است که کارشناس ابتدا معیارها را رتبه‌بندی و سپس اهمیت نسبی هر معیار را نسبت به معیار قبلی تعیین کند. در پژوهش حاضر از ۱۰ کارشناس با تخصص‌های GIS، مهندسی برق الکترونیک و فوتونیک درخواست شده است تا پس از رتبه‌بندی معیارهای تصمیم‌گیری اهمیت نسبی هر معیار را نسبت به معیار قبلی‌اش مشخص کنند. سپس برای هر کارشناس مراحل روش سوارا (قسمت ۲-۴) در محیط برنامه‌نویسی Matlab 2018 کدنویسی شده و به ازای هر کارشناس یک بردار وزن همانند **جدول (۳)** محاسبه شده است. در نهایت، میانگین هندسی بردار وزن هر ۱۰ کارشناس به عنوان وزن نهایی معیارها در نظر گرفته شد (ستون آخر **جدول ۳**). همان‌گونه که در ستون آخر **جدول (۳)** مشاهده می‌شود، دو معیار پتانسیل فتوولتائیک و دما بیشترین وزن و دو معیار ارتفاع و فاصله از مناطق حفاظت‌شده کمترین وزن را داشته است.

جدول ۳: نتایج روش وزن‌دهی سوارا

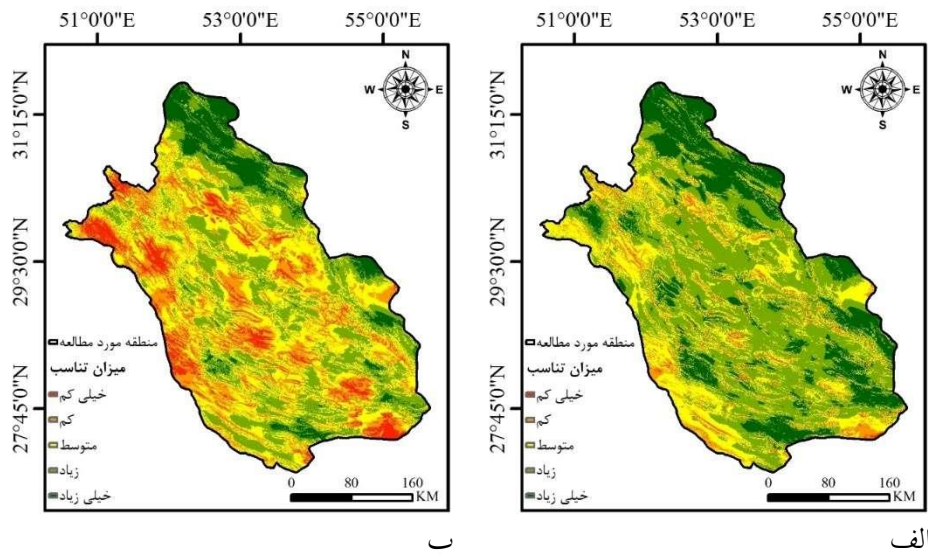
Table 3: Results of the weighted svvara method

| وزن نهایی | کارشناس ۱۰ | کارشناس ۹ | کارشناس ۸ | کارشناس ۷ | کارشناس ۶ | کارشناس ۵ | کارشناس ۴ | کارشناس ۳ | کارشناس ۲ | کارشناس ۱ | معیار          |
|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| ۰/۱۷۲     | ۰/۱۷۳      | ۰/۱۷۳     | ۰/۱۷۵     | ۰/۱۷۳     | ۰/۱۶۷     | ۰/۱۷۱     | ۰/۱۶۸     | ۰/۱۷۷     | ۰/۱۷۵     | ۰/۱۷۲     | C <sub>1</sub> |
| ۰/۰۸۶     | ۰/۰۸۶      | ۰/۰۸۵     | ۰/۰۸۱     | ۰/۰۸۴     | ۰/۰۸۷     | ۰/۰۹۵     | ۰/۰۸۷     | ۰/۰۸۱     | ۰/۰۸۸     | ۰/۰۸۱     | C <sub>2</sub> |
| ۰/۱۳۷     | ۰/۱۴۶      | ۰/۱۴۵     | ۰/۱۲۸     | ۰/۱۵۰     | ۰/۱۴۱     | ۰/۱۲۵     | ۰/۱۳۳     | ۰/۱۳۷     | ۰/۱۳۰     | ۰/۱۴۱     | C <sub>3</sub> |
| ۰/۱۱۹     | ۰/۱۱۴      | ۰/۱۲۹     | ۰/۱۴۳     | ۰/۱۱۱     | ۰/۱۱۳     | ۰/۱۴۲     | ۰/۰۹۷     | ۰/۱۲۰     | ۰/۱۲۱     | ۰/۱۱۲     | C <sub>4</sub> |
| ۰/۰۷۷     | ۰/۰۷۸      | ۰/۰۷۶     | ۰/۰۷۸     | ۰/۰۷۷     | ۰/۰۷۶     | ۰/۰۷۷     | ۰/۰۷۷     | ۰/۰۷۶     | ۰/۰۷۹     | ۰/۰۷۵     | C <sub>5</sub> |
| ۰/۱۱۱     | ۰/۰۹۸      | ۰/۱۱۹     | ۰/۱۱۴     | ۰/۱۰۳     | ۰/۱۲۲     | ۰/۰۹۸     | ۰/۱۲۳     | ۰/۱۰۲     | ۰/۱۱۰     | ۰/۱۲۴     | C <sub>6</sub> |
| ۰/۱۱۶     | ۰/۱۳۰      | ۰/۱۰۰     | ۰/۱۰۴     | ۰/۱۲۹     | ۰/۱۱۵     | ۰/۱۱۱     | ۰/۱۱۴     | ۰/۱۲۷     | ۰/۱۱۸     | ۰/۱۱۳     | C <sub>7</sub> |
| ۰/۰۹۲     | ۰/۰۸۴      | ۰/۰۸۲     | ۰/۰۹۱     | ۰/۰۹۲     | ۰/۰۸۷     | ۰/۰۸۹     | ۰/۱۱۲     | ۰/۰۹۵     | ۰/۰۹۴     | ۰/۰۹۵     | C <sub>8</sub> |
| ۰/۰۸۸     | ۰/۰۸۹      | ۰/۰۹۱     | ۰/۰۸۶     | ۰/۰۸۲     | ۰/۰۹۲     | ۰/۰۹۲     | ۰/۰۸۸     | ۰/۰۸۵     | ۰/۰۸۵     | ۰/۰۸۶     | C <sub>9</sub> |

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

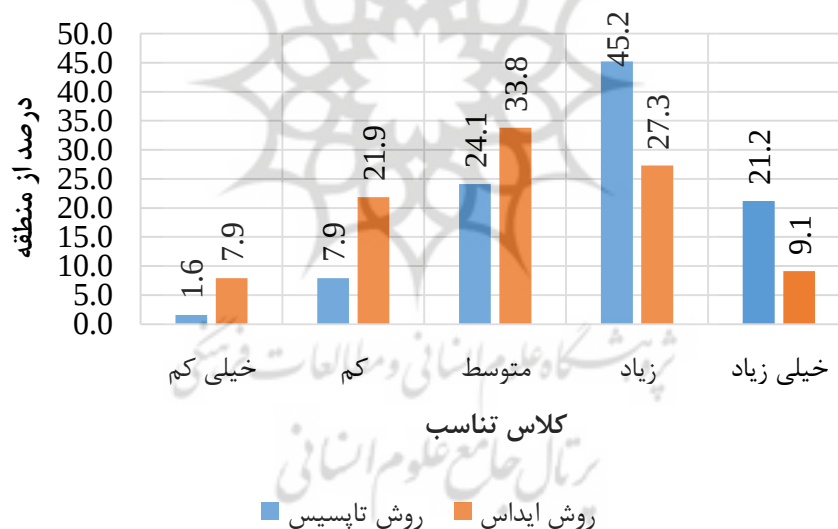
## تهیه نقشه تناسب اراضی

در این پژوهش برای تهیه نقشه تناسب اراضی احداث نیروگاه خورشیدی با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس و ایداس مراحل هر دو روش در محیط برنامه‌نویسی Matlab 2018 کدنویسی شده است. پس از محاسبه تناسب اراضی برای کل استان فارس نتایج هر روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به روش Natural Breaks به پنج کلاس با تناسب خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد کلاسه‌بندی و در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مناطق شمالی و شامل شرقی استان فارس در هر دو روش تناسب خیلی زیاد و مناطق غربی تناسب کمتری داشته است. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود براساس نتایج روش تاپسیس بیشترین مساحت استان فارس به‌ترتیب در کلاس‌های تناسب زیاد (۴۵ درصد)، متوسط (۲۴ درصد)، خیلی زیاد (۲۱ درصد)، کم (۸ درصد) و خیلی کم (۲ درصد) بوده است. همچنین، براساس نتایج روش ایداس بیشترین مساحت استان فارس به‌ترتیب در کلاس‌های تناسب متوسط (۳۴ درصد)، زیاد (۲۷ درصد)، کم (۲۲ درصد)، خیلی زیاد (۹ درصد) و خیلی کم (۸ درصد) بوده است.



شکل ۴: نقشه تناسب اراضی با استفاده از روش: الف) تاپسیس، ب) ایداس (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 4: Land suitability map using the method: a) TOPSIS, b) EDAS



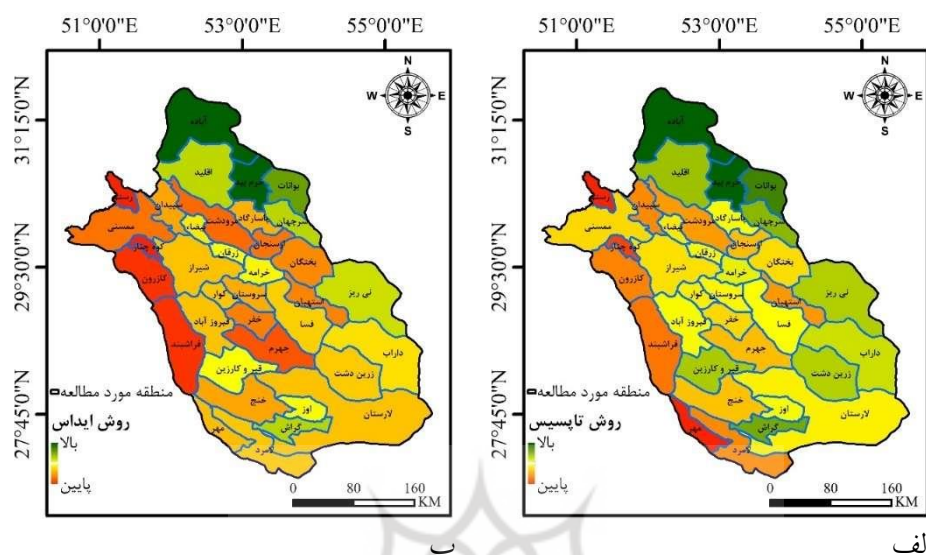
شکل ۵: درصد کلاس‌های تناسب در روش‌های تاپسیس و ایداس (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 5: Percentage of fitness classes in TOPSIS and EDAS methods.

### اولویت‌بندی شهرستان‌ها

در این پژوهش برای اولویت‌بندی شهرستان‌های استان فارس جهت احداث نیروگاه خورشیدی میانگین تناسب پیکسل‌های هر شهرستان به‌عنوان معیار اولویت‌بندی محاسبه شده است (شکل ۶). در پژوهش حاضر میانگین تناسب پیکسل‌های هر شهرستان با ابزار Zonal Statistics در محیط ArcGIS 10.8 محاسبه شده است. همان‌گونه که در شکل

۶ مشاهده می‌شود، در هر دو روش تاپسیس و ایداس دو شهرستان آباده و خرم‌بید در اولویت‌های ابتدایی و شهرستان‌های رستم، مهر، کوه چنار، کازرون و فراشبند در اولویت‌های انتهایی قرار گرفته است.



شکل ۶: اولویت‌بندی شهرستان‌های استان فارس بر اساس روش: الف) تاپسیس، ب) ایداس (منبع: نویسنده، ۱۴۰۳)  
Figure 6: Prioritization of counties in Fars province based on the method: a) TOPSIS, b) EDAS

### نتیجه‌گیری

منابع سوخت فسیلی منبع اصلی تولید برق در جهان هستند و این منابع علاوه بر محدودیت و تجدیدناپذیر بودن پیامدهای زیست‌محیطی و اثرهای مخرب بر سلامتی انسان دارند. جوامع امروزی با توجه به محدودیت‌ها و اثرهای منفی سوخت‌های فسیلی در پی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی است. انرژی خورشیدی یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر پایدار است. براساس نتایج پژوهش‌ها و برآورد انرژی دریافتی از خورشید کشور ایران به‌عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی تناسب زیادی دارد (Najafi et al., 2015, P. 931). کشور ایران در یک موقعیت جغرافیایی بی‌نظیر واقع شده است و با داشتن تعداد ساعات‌های آفتابی به‌نسبت زیاد انرژی خورشیدی فراوانی دریافت می‌کند (Najafi et al., 2015, P. 931). با این حال، به‌دلیل برخورداری کشور ایران از منابع عظیم نفت و گاز از این پتانسیل عظیم در کشور استفاده مطلوب نشده است؛ بنابراین برنامه‌ریزی برای استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در کشور می‌تواند این پتانسیل را در کشور مورد بهره‌برداری قرار دهد و منافع اقتصادی و توسعه پایدار را برای کشور ایران به ارمغان آورد. پژوهش برای تعیین مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی در استان فارس انجام شده است. محققان در این پژوهش با توجه به عملکرد زیاد رویکرد ترکیبی MCDM و GIS برای مدیریت و تهیه اطلاعات مکانی از GIS و برای وزن‌دهی به معیارها و تلفیق آنها از روش‌های MCDM استفاده کرده‌اند. روش وزن‌دهی سوارا در پژوهش‌های پیشین به‌ندرت مورد استفاده قرار گرفته و با تعداد

مقایسه‌های زوجی کمتر به نتایج قابل اطمینان‌تری منجر شده است (Zandi et al., 2024, P. 12). بنابراین محققان در پژوهش حاضر وزن معیارهای تصمیم‌گیری را با استفاده از روش وزن‌دهی سوارا و براساس نظرهای تعداد ۱۰ کارشناس در زمینه‌های تخصصی مرتبط با انرژی خورشیدی محاسبه کردند که به‌عنوان مشارکت اول قابل ذکر است. تلفیق لایه‌های فضایی معیارهای تصمیم‌گیری در پژوهش‌های پیشین بیشتر با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار و تاپسیس انجام شده است؛ با این حال روش‌های تصمیم‌گیری جدید مانند روش ایداس مورد توجه قرار نگرفته است. روش ایداس نسبت به روش‌های رایج MCDM مانند تاپسیس و ویکور عملکرد و پایداری بیشتری دارد (Keshavarz Ghorabae et al., 2015). بنابراین محققان در این مطالعه از روش ایداس برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی استفاده و نتایج آن را با روش متداول تاپسیس مقایسه کردند که به‌عنوان مشارکت دوم حاضر قابل ذکر است. در پژوهش حاضر براساس پژوهش‌های پیشین تعداد ۹ معیار برای انجام‌دادن فرآیند مکان‌یابی انتخاب شده است. نتایج وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش سوارا نشان داد که معیارهای پتانسیل فتوولتائیک و ارتفاع به‌ترتیب مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیار در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی بوده است. پتانسیل فتوولتائیک میزان برق تولید از انرژی خورشیدی را نشان می‌دهد و به‌طور طبیعی، مهم‌ترین معیار در زمینه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی است. این نتایج با نتایج پژوهش‌های نسانی سامانی و طاحونی (۱۳۹۸)، Zoghi et al. (2017) و Imam et al. (2024) مطابقت دارد. این درحالی است که در پژوهش کریمی‌پور و آل‌شیخ (۱۳۹۹) تعداد ساعت‌های آفتابی و در پژوهش Islam et al. (2024) تابش خورشیدی به‌عنوان مهم‌ترین معیار تعیین شده بود. براساس نتایج روش وزن‌دهی در پژوهش حاضر ترتیب اهمیت معیارها به‌صورت زیر است: پتانسیل فتوولتائیک (۰/۱۷۲)، دما (۰/۱۳۷)، بارش (۰/۱۱۹)، فاصله از مراکز شهری (۰/۱۱۶)، شیب (۰/۱۱۱)، فاصله از راه‌ها (۰/۰۹۲)، فاصله از گسل‌ها (۰/۰۸۸)، فاصله از مناطق حفاظت‌شده (۰/۰۸۶) و ارتفاع (۰/۰۷۷).

در پژوهش حاضر برای تهیه نقشه تناسب اراضی از دو روش تاپسیس و ایداس استفاده شده است. روش تاپسیس یکی از روش‌های موجود در زمینه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در پیشینه پژوهش است که عملکرد زیادی دارد و روش ایداس یک روش تصمیم‌گیری مؤثر است که کمتر مورد توجه بوده است. با توجه به اینکه در پژوهش‌های متعدد مبنای عملکرد بهینه یک روش جدید در یک کاربرد مشخص، شباهت نتایج روش جدید با نتایج روش‌های متداول است (Bošković et al., 2023, P. 39503)، در این پژوهش همبستگی میان نتایج دو روش ایداس و تاپسیس محاسبه شده است. به‌صورت کلی، نتایج دو روش مشابه بوده و همبستگی پیرسن ۰/۸۵۱۷ داشته است؛ بنابراین عملکرد روش ایداس نیز در زمینه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی مطلوب است. در هر دو روش ایداس و تاپسیس قسمت‌های شمالی و شمال شرقی استان فارس نسبت به سایر مناطق تناسب فراوانی داشته است. این نتایج با نتایج کریمی‌پور و آل‌شیخ (۱۳۹۹) تطابق دارد. گفتنی است که پژوهش حاضر برخلاف پژوهش کریمی‌پور و آل‌شیخ (۱۳۹۹) که با هدف کاهش حجم محاسبات ابتدا از روش ساده ترکیب خطی وزن‌دار برای تعیین پهنه‌های مستعد استفاده و سپس تعداد سایت‌های محدودی را با روش تاپسیس رتبه‌بندی کردند، در این پژوهش تمام سلول‌های منطقه با روش‌های مؤثر ایداس و تاپسیس رتبه‌بندی و پهنه‌های مستعد تعیین شد. گفتنی است که مناطق شمالی و

شمال شرقی استان فارس نسبت به سایر مناطق پتانسیل فتوولتائیک بیشتری دارد و در ارتفاعات استان قرار گرفته است؛ با این حال به دلیل اینکه وزن معیار ارتفاع نسبت به معیار پتانسیل فتوولتائیک بسیار کمتر است، تأثیر آن در نقشه تناسب اراضی خیلی کم بوده است. براساس نتایج روش تاپسیس بیشترین مساحت استان فارس در کلاس تناسب زیاد (۴۵ درصد) و کمترین آن در کلاس تناسب خیلی کم (۲ درصد) بوده است. براساس نتایج روش ایداس بیشترین مساحت استان فارس در کلاس تناسب متوسط (۳۴ درصد) و کمترین آن در کلاس تناسب خیلی کم (۸ درصد) بوده است. این نتایج با نتایج کریمی‌پور و آل شیخ (۱۳۹۹) تطابق دارد که این می‌تواند به دلیل استفاده مشترک از روش تاپسیس باشد. همچنین، نتایج پژوهش حاضر با نتایج عبدالحی (۱۳۹۷) در تناقض است که این می‌تواند ناشی از تفاوت در معیارهای استفاده شده روش وزندهی متفاوت و روش تصمیم‌گیری مختلف باشد. محققان در پژوهش حاضر شهرستان‌های استان فارس را از نظر تناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی اولویت‌بندی کردند. براساس نتایج حاضر و پژوهش کریمی‌پور و آل شیخ (۱۳۹۹) شهرستان‌های کوهستانی استان فارس، یعنی آباده، خرمبید و بوانات در اولویت اول تا سوم بوده است. این درحالی است که در پژوهش عبدالحی (۱۳۹۷) شهرستان‌های نیریز، استهبان و فسا به عنوان اولویت‌های اول تا سوم تعیین شده بود. محققان در پژوهش حاضر برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان فارس از یک چارچوب علمی کامل شامل مطالعه مسئله، تعیین معیارهای مؤثر، وزندهی به معیارها و تلفیق معیارهای تصمیم‌گیری استفاده کردند. این چارچوب علمی به خوبی می‌تواند برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در سایر استان‌های کشور مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده می‌توان موارد زیر را توصیه کرد: ۱- با توجه به اینکه در پژوهش‌های پیشین از روش‌های وزندهی عینی که قادر هستند براساس ماتریس تصمیم وزن معیارها را استخراج کنند، استفاده شده است، توصیه می‌شود روش وزندهی سوارا در مقایسه با اینگونه روش‌ها ارزیابی شود؛ ۲- از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند روش ارائه شده در Stević et al. (2020) برای تلفیق لایه‌های مکانی معیارها استفاده شود و نسبت به دو روش تاپسیس و ایداس مقایسه و ارزیابی شود؛ ۳- برای کاهش هزینه‌های انتقال و توزیع برق تولیدشده معیار نزدیکی به نیروگاه‌های سوخت فسیلی در تصمیم‌گیری مورد توجه قرار گیرد.

## منابع

- کریمی‌پور، حسن، و آل شیخ، علی اصغر (۱۳۹۹). مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با تلفیق روش‌های بهترین-بدترین، دنپ، کوپراس و تاپسیس (مطالعه موردی: استان فارس). *مجله علمی علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۱۰ (۳)، ۱۸۳-۱۹۹.  
<http://jgst.issgeac.ir/article-1-987-en.html>
- عبدالحی، علی اصغر (۱۳۹۷). قابلیت‌سنجی اقلیمی به منظور احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی در استان فارس به روش Fuzzy overlay و AHP با استفاده از GIS. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۲۵ (۱۰۵)، ۶۳-۷۳.  
<https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.31473>
- عتباتی، وحیدرضا، و عربی، مهدی (۱۴۰۳). مکان‌یابی بهینه نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش بهترین-بدترین، سوارا و سیستم اطلاعات مکانی (مطالعه موردی: استان فارس). *فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار*، ۳ (۲)، ۲۰۹-۲۲۷.  
<https://doi.org/10.22059/ses.2024.380640.1085>

نیسانی سامانی، نجمه، و طاحونی، امیر (۱۳۹۸). ارزیابی مکان‌های مناسب برای مزارع خورشیدی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی). *پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*، ۵۱(۳)، ۷۶۴-۷۷۷. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2019.279885.1007909>

## References

- Abdollahi, A. A. (2018). Climatic feasibility survey for the construction of solar power plants in fars province by fuzzy overlay and AHP methods using GIS. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(105), 63-73. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.31473> [In Persian].
- Agyekum, E. B., Amjad, F., Shah, L., & Velkin, V. I. (2021). Optimizing photovoltaic power plant site selection using analytical hierarchy process and density-based clustering-policy implications for transmission network expansion Ghana. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47(6), 101521. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101521>
- Ahadi, P., Fakhrabadi, F., Pourshaghagh, A., & Kowsary, F. (2023). Optimal site selection for a solar power plant in Iran via the analytic hierarchy process (AHP). *Renewable Energy*, 47(1), 118944. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118944>
- Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2020). A monte carlo approach applied to sensitivity analysis of criteria impacts on solar PV site selection. In *handbook of probabilistic models*. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816514-0.00020-5>
- Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206, 1225-1240. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>
- Asakereh, A., Soleymani, M., & Sheikhdavoodi, M. J. (2017). A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province Iran. *Solar Energy*, 155(4), 342-353. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.075>
- Atabati, V., & Arabi, M. (2024). Optimal site selection of solar power plant via Best-Worst method, SWARA and geospatial information system (A case study: Fars province). *Journal of Sustainable Energy Systems*, 3(2), 209-227. <https://doi.org/10.22059/ses.2024.380640.1085> [In Persian].
- Ayough, A., Boshruie, S., & Khorshidvand, B. (2022). A new interactive method based on multi-criteria preference degree functions for solar power plant site selection. *Renewable Energy*, 195(1), 1165-1173. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.087>
- Azizkhani, M., Vakili, A., Noorollahi, Y., & Naseri, F. (2017). Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1198-1206. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.103>
- Besharatifard, M., Moradian, P., Emarati, M., Ebadi, M., Chofreh, A. G., & Klemeš, J. J. (2022). Ground-mounted photovoltaic power station site selection and economic analysis based on a hybrid fuzzy best-worst method and geographic information system: A case study Guilan province. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 169, 112923. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112923>
- Bošković, S., Švadlenka, L., Jovčić, S., Dobrodolac, M., Simić, V., & Bacanin, N. (2023). An alternative ranking order method accounting for two-step normalization (AROMAN) A case study of the electric vehicle selection problem. *IEEE Access*, 11, 39496-39507. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3265818>
- Bloomberg New Energy Finance. (2013). Available online (Accessed 09.10.2024). <https://about.bnef.com>
- Chang, K. H. (2023). Integrating subjective-objective weights consideration and a combined compromise solution method for handling supplier selection issues. *Systems*, 11(2), 74. <https://doi.org/10.3390/systems11020074>

- Çolak, Z. (2024). A hybrid MCDM method for enhancing site selection for wind power plants in Turkey. *Energy for Sustainable Development*, 82(3), 101536. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101536>
- Demir, A., Dinçer, A. E., & Yılmaz, K. (2024). A novel procedure for the AHP method for the site selection of solar PV farms. *International Journal of Energy Research*, (1), 5535398. <https://doi.org/10.1155/2024/5535398>
- Effat, H. A., & El-Zeiny, A. M. (2022). Geospatial modeling for selection of optimum sites for hybrid solar-wind energy in Assiut Governorate Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(2), 627-637. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.03.005>
- Elkadeem, M. R., Younes, A., Sharshir, S. W., Campana, P. E., & Wang, S. (2021). Sustainable siting and design optimization of hybrid renewable energy system: A geospatial multi-criteria analysis. *Applied Energy*, 295, 117071. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117071>
- Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Mijani, N., Shorabeh, S. N., Firozjaei, H. K., & Toomanian, A. (2019). An integrated GIS-based ordered weighted averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. *Renewable Energy*, 136, 1130-1146. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.090>
- Günen, M. A. (2021). A comprehensive framework based on GIS-AHP for the installation of solar PV farms in Kahramanmaraş Turkey. *Renewable Energy*, 178(9), 212-225. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.078>
- Hafeznia, H., Yousefi, H., & Astaraei, F. R. (2017). A novel framework for the potential assessment of utility-scale photovoltaic solar energy application to eastern Iran. *Energy Conversion and Management*, 151, 240-258. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.076>
- Hashemizadeh, A., Ju, Y., & Dong, P. (2020). A combined geographical information system and Best–Worst Method approach for site selection for photovoltaic power plant projects. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 2027-2042. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02598-8>
- Hassan, I., Alhamrouni, I., & Azhan, N. H. (2023). A critic–topsis multi-criteria decision-making approach for optimum site selection for solar PV farm. *Energies*, 16(10), 4245. <https://doi.org/10.3390/en16104245>
- Heidary Dahooie, J., Husseinzadeh Kashan, A., Shoaie Naeini, Z., Vanaki, A. S., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2022). A hybrid multi-criteria-decision-making aggregation method and geographic information system for selecting optimal solar power plants in Iran. *Energies*, 15(8), 2801. <https://doi.org/10.3390/en15082801>
- Hooshangi, N., Gharakhanlou, N. M., & Razin, S. R. G. (2023). Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy Topsis. *Journal of Cleaner Production*, 384(1), 135481. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135481>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making: a state-of-the-art survey. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 186(1). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Imam, A. A., Abusorrah, A., & Marzband, M. (2024). Potentials and opportunities of solar PV and wind energy sources in Saudi Arabia: Land suitability techno-socio-economic feasibility and future variability. *Results in Engineering*, 21, 101785. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101785>
- Islam, M. R., Aziz, M. T., Alauddin, M., Kader, Z., & Islam, M. R. (2024). Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach. *Renewable Energy*, 220, 119595. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119595>
- Karimipour, H., & Alesheikh, A. A. (2021). Location of solar power plants by combining the best-worst methods Danp Copras and Topsis Case study of Fars province. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 10(3), 183-199. <http://jgst.issgeac.ir/article-1-987-en.html> [In Persian].
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (Swara). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243–258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>

- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451. <https://doi.org/10.15388/Informatica.2015.57>
- Kuşkaya, S., Bilgili, F., Muğaloğlu, E., Khan, K., Hoque, M. E., & Toguç, N. (2023). The role of solar energy usage in environmental sustainability: Fresh evidence through time-frequency analyses. *Renewable Energy*, 206(20), 858-871. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.063>
- LCP: Low-Carbon Power (2023). Electricity in Iran in 2023. Available online: <https://lowcarbonpower.org/region/Iran> (accessed on 2 May 2024). <https://www.lcp.com>
- Li, X. Y., Dong, X. Y., Chen, S., & Ye, Y. M. (2024). The promising future of developing large-scale PV solar farms in China: A three-stage framework for site selection. *Renewable Energy*, 220(1), 119638. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119638>
- Messaoudi, D., Settou, N., Negrou, B., Rahmouni, S., Settou, B., & Mayou, I. (2019). Site selection methodology for the wind-powered hydrogen refueling station based on AHP-GIS in Adrar Algeria. *Energy Procedia*, 162, 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.04.008>
- Najafi, G., Ghobadian, B., Mamat, R., Yusaf, T., & Azmi, W. H. (2015). Solar energy in Iran: Current state and outlook. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 49, 931-942. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.056>
- Neisani Samani, N., & Tahouni, A. (2019). The evaluation of suitable sites for solar farms by multi criteria decision making in GIS (Case study: East Azarbaijan province). *Human Geography Research*, 51(3), 747-764. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2019.279885.1007909> [In Persian].
- Niajalili, M., Mayeli, P., & Madani, S. (2025). Assessing a hybrid wind-solar irrigation system for kiwi orchards in Northern Iran: Feasibility environmental impact and economic viability. *Next Sustainability*, 5, 100071. <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2024.100071>
- Noorollahi, E., Fadai, D., Akbarpour Shirazi, M., & Ghodsipour, S. H. (2016). Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) (A case study of Iran). *Energies*, 9(8), 643. <https://doi.org/10.3390/en9080643>
- Ozdemir, S., & Sahin, G. (2018). Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP. *Measurement*, 129(2), 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.020>
- Rana, M. S. P., & Moniruzzaman, M. (2024). Demarcation of suitable site for solar photovoltaic power plant installation in Bangladesh using geospatial techniques. *Next Energy*, 3(1), 100109. <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2024.100109>
- Rane, N. L., Günen, M. A., Mallick, S. K., Rane, J., Pande, C. B., Giduturi, M., & Alreshidi, M. A. (2024). GIS-based multi-influencing factor (MIF) application for optimal site selection of solar photovoltaic power plant in Nashik India. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00832-2>
- Rashid, M. H. (2015). *Electric renewable energy systems*. Academic press. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-14432-7>
- Şahin, G., Koç, A., & Van Sark, W. (2024). Multi-criteria decision making for solar power-Wind power plant site selection using a GIS-intuitionistic fuzzy-based approach with an application in the Netherlands. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101307. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101307>
- Saraji, M. K., Streimikiene, D., & Suresh, V. (2024). A novel two-stage multicriteria decision making approach for selecting solar farm sites: A case study. *Journal Of Cleaner Production*, 444, 141198. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141198>
- Saraswat, S. K., Digalwar, A. K., Yadav, S. S., & Kumar, G. (2021). MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India. *Renewable Energy*, 169, 865-884. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.056>
- Seker, S. (2020). *Site selection for solar power plants using integrated two-stage hybrid method based on intuitionistic fuzzy AHP and COPRAS approach*. Intelligent and Fuzzy Techniques In Big Data Analytics And Decision Making: Proceedings Of The INFUS 2019 Conference, Istanbul, Turkey.

- [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1\\_75](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_75)
- Shorabeh, S. N., Firozjaei, H. K., Firozjaei, M. K., Jelokhani-Niaraki, M., Homaei, M., & Nematollahi, O. (2022). The site selection of wind energy power plant using GIS-multi-criteria evaluation from economic perspectives. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 168, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112778>
- Sindhu, S., Nehra, V., & Luthra, S. (2017). Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 496-511. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.135>
- Şimşek, K., & Alp, S. (2022). Evaluation of landfill site selection by combining fuzzy tools in GIS-based multi-criteria decision analysis: A case study in Diyarbakır, Turkey. *Sustainability*, 14(16), 9810. <https://doi.org/10.3390/su14169810>
- Solangi, Y. A., Shah, S. A. A., Zameer, H., Ikram, M., & Saracoglu, B. O. (2019). Assessing the solar PV power project site selection in Pakistan: Based on AHP-fuzzy VIKOR approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(29), 30286-30302. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06172-0>
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>
- Torkayesh, A. E., Deveci, M., Karagoz, S., & Antucheviciene, J. (2023). A state-of-the-art survey of evaluation based on distance from average solution (EDAS): Developments and applications. *Expert Systems with Applications*, 221, 119724. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119724>
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy policy*, 33(3), 289-296. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6)
- Wang, C. N., Dang, T. T., & Bayer, J. (2021). A two-stage multiple criteria decision making for site selection of solar photovoltaic (PV) power plant: A case study in Taiwan. *IEEE Access*, 9, 75509-75525. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3081995>
- Xiao, M., Junne, T., Haas, J., & Klein, M. (2021). Plummeting costs of renewables—are energy scenarios lagging? *Energy Strategy Reviews*, 35, 100636. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100636>
- Zandi, I., Pahlavani, P., Bigdeli, B., Lotfata, A., Alesheikh, A. A., & Garau, C. (2024). GIS-Enabled Multi-Criteria assessment for hospital site suitability: A case study of Tehran. *Sustainability*, 16(5), 2079. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/2079>
- Zoghi, M., Ehsani, A. H., 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(2), 986-996. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014>