



## Optimal Site Selection of Solar Power Plant Via Best-Worst Method, SWARA and Geospatial Information System (A Case Study: Fars Province)

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

1. M.Sc. Student, Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran. Email: [v.atabati@sru.ac.ir](mailto:v.atabati@sru.ac.ir)

2. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran. Email: [mahdi.a@sru.ac.ir](mailto:mahdi.a@sru.ac.ir)

### ARTICLE INFO

**Article type:**  
Research Paper

**Article History:**

Received 05 January 2024

Revised 04 February 2024

Accepted 05 March 2024

Published Online 26 August 2024

**Keywords:**

*Best-Worst Method (BWM),  
Geospatial Information System (GIS),  
Multi-Criteria Decision-Making  
(MCDM),  
Solar Power Plant Site Selection,  
Step-wise Weight Assessment Ratio  
Analysis (SWARA).*

### ABSTRACT

Iran recognized as one of the major fossil fuel producers in the world with a substantial portion of its energy basket reliant on fossil fuels, is situated in a region of the Earth with high solar radiation potential, making it suitable for solar energy production. The first step towards establishing solar power plants is the scientific and operational site selection for their construction. This study aims to identify suitable locations for solar power plants in Fars Province using a Geospatial Information System (GIS) and a multi-criteria decision-making approach. The proposed methodology involves the preparation of informational layers, spatial analyses, and visualizations using GIS. Additionally, criteria weighting and integration were performed using multi-criteria decision-making techniques. The study compares two methods for weighting the location criteria, Best-Worst Method (BWM) and Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA), which have been less utilized in previous research, and combines their results using geometric mean operator. According to the results, the criteria for solar power plant site selection, ranked by importance, are photovoltaic potential (0.241), direct normal irradiation (0.156), temperature (0.120), precipitation (0.092), distance from roads (0.089), distance from urban centers (0.085), distance from faults (0.066), and elevation (0.054). The land suitability maps indicate that over 50% of the area in Fars Province is highly or very highly suitable for the construction of solar power plants, with the northern, northeastern, and central regions, including the counties of Abadeh, Khorrambid, Pasargad, and Sarchehan, being prioritized.

**Cite this article:** 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. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.380640.1085>



© Vahidreza Atabati, Mahdi Arabi

**Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.380640.1085>

### Introduction

Solar energy has garnered significant attention in recent years compared to other renewable energy sources due to its accessibility and economic benefits. The selection of a site for a solar power plant significantly impacts its performance and requires consideration of various decision-making criteria. Multi-criteria decision-making (MCDM) methods have been successfully employed in the site selection of solar power plants. This study aims to identify suitable locations for photovoltaic solar power plants in Fars Province. Photovoltaic solar power plants convert sunlight directly into electricity for use or storage. The approach used in this study is a hybrid method based on Geospatial Information System (GIS) and MCDM. This research involves the spatial processing and analysis of geographical information, the preparation of spatial layers, and visualization using GIS, as well as the weighting and

integration of criteria using MCDM. The study evaluates and compares two relatively new MCDM weighting methods—Best-Worst Method (BWM) and Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)—and considers their integration. Finally, a land suitability map for the construction of photovoltaic solar power plants (hereafter referred to as solar power plants) is developed.

### **Materials and Methods**

In the first stage of this study, after reviewing the issue of solar power plant site selection and the related research, appropriate criteria for the study were selected. Based on expert comparisons, the criteria weights were calculated using the two MCDM weighting methods, BWM and SWARA, and the results were integrated using geometric averaging. In the second stage, suitable spatial data for each decision-making criterion were collected, and spatial layers were generated through spatial analyses. The spatial layers were normalized in the third stage according to their influence on decision-making. Subsequently, the normalized spatial layers were integrated based on the weights obtained from the first stage using the Weighted Linear Combination (WLC) method, and land suitability maps were created. Finally, suitable areas for constructing solar power plants were identified, and the applied methods were evaluated.

### **Results**

The weighting methods revealed that the photovoltaic potential and direct normal irradiation criteria are the most important, while elevation and distance from faults are the least important for solar power plant site selection. The land suitability maps produced using the three weighting methods were largely similar, indicating that over 50% of the study area is highly suitable for constructing solar power plants. According to the results, the counties in the northern, northeastern, and central parts of Fars Province, such as Abadeh, Khorrambid, Pasargad, and Sarchehan, should be prioritized for solar power plant development. Conversely, counties in the western, southern, and southwestern parts, such as Rostam, Mamasani, and Farashband, are a lower priority for development.

### **Conclusion**

This study employed the relatively novel and less utilized weighting methods, BWM and SWARA, for the site selection of solar power plants, and considered their combination for this purpose. The approach presented in this research includes a comprehensive site selection process encompassing the study and examination of the issue, determination of effective criteria, preparation of spatial layers, weighting, and land suitability analysis. Therefore, the application of this approach is recommended for solar power plant site selection in other provinces of the country. Additionally, by adapting the proposed approach (specifically the sections on issue study and examination, determination of effective criteria, and preparation of spatial layers), it can be applied to other contexts as well.



## مکان‌یابی بهینه نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش بهترین-بدترین، سوارا و سیستم اطلاعات مکانی (مطالعه موردی: استان فارس)

وحیدرضا عباتی<sup>۱</sup> | مهدی عرب<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. رایانامه: [v.atabati@sru.ac.ir](mailto:v.atabati@sru.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. رایانامه: [mahdi.a@sru.ac.ir](mailto:mahdi.a@sru.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

#### نوع مقاله:

پژوهشی

#### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

#### کلیدواژه:

تصمیم‌گیری چندمعیاره،

روش بهترین-بدترین،

روش سوارا،

سیستم اطلاعات مکانی،

مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی.

کشور ایران که به عنوان یکی از تولیدکنندگان بزرگ سوخت‌های فسیلی در جهان شناخته می‌شود و قسمت اعظم سبد انرژی‌اش سوخت‌های فسیلی است، در منطقه پرتابشی از کره زمین قرار گرفته است که می‌تواند به منظور تولید انرژی خورشیدی از آن استفاده کند. اولین گام به منظور ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی، مکان‌یابی علمی و عملیاتی محل احداث آن است. تحقیق حاضر با هدف مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان فارس، به ارائه یک رویکرد مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی و تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته است. در رویکرد ارائه‌شده، تهیه لایه‌های اطلاعاتی، تحلیل‌های فضایی و بصری‌سازی با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی انجام شده است. همچنین، وزن‌دهی و تلفیق معیارها با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره صورت گرفته است. تحقیق حاضر به منظور وزن‌دهی معیارهای مکان‌یابی، دو روش بهترین-بدترین و سوارا که در تحقیقات پیشین کمتر مورد استفاده بوده‌اند، را با هم مقایسه کرده و همچنین از عملگرد میانگین هندسی به منظور تلفیق نتایج آن‌ها استفاده کرده است. براساس نتایج، معیارهای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی براساس اهمیت به ترتیب پتانسیل فتوولتائیک (۰/۲۴۱)، تابش نرمال مستقیم (۰/۱۵۶)، دما (۰/۱۲۰)، بارش (۰/۰۹۲)، فاصله از راه‌ها (۰/۰۸۹)، فاصله از مراکز شهری (۰/۰۸۵)، فاصله از گسل‌ها (۰/۰۶۶) و ارتفاع (۰/۰۵۴) بوده است. نقشه‌های تناسب اراضی تهیه‌شده نشان داد بیش از ۵۰ درصد مساحت استان فارس از تناسب زیاد و خیلی زیاد جهت احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار بوده و مناطق شمالی، شمال شرقی و مرکزی مانند شهرستان‌های آباده، خرم بید، پاسارگاد و سرچهان باید در اولویت قرار گیرند.

**استناد:** عباتی، وحیدرضا و عرب، 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. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.380640.1085>

© وحیدرضا عباتی، مهدی عرب **ناشر:** مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2024.380640.1085>



## ۱. مقدمه

موتور محرکه توسعه اقتصادی در سراسر جهان، انرژی بوده و فعالیت‌های مختلف انسان مانند گرمایش و سرمایش، حمل‌ونقل و سیستم‌های تصفیه و شیرین‌سازی آب، نیازمند وجود انرژی هستند [۱]. از طرفی، توسعه صنعتی و استانداردهای بالاتر زندگی، به افزایش تقاضا برای انرژی منجر شده است [۲]. پیش‌بینی شده است که مصرف جهانی انرژی در سال ۲۰۳۵ به حدود ۳۲/۹۲۲ تراوات (حدود دو برابر مصرف آن در سال ۲۰۰۸) افزایش یابد [۳]. منابع تأمین انرژی در سه دسته اصلی شامل سوخت‌های فسیلی (مانند نفت و گاز)، انرژی هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند انرژی بادی و خورشیدی) طبقه‌بندی می‌شود [۲]. طی قرن گذشته، سوخت‌های فسیلی به عنوان منبع اصلی تأمین انرژی انسان مورد استفاده قرار گرفته است که افزایش انتشار CO<sub>2</sub>، افزایش دمای هوا و در نتیجه، تغییرات اقلیم جهانی از جمله مهم‌ترین پیامدهای استفاده از آن‌هاست [۴ و ۵]. بنابراین، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای کاهش این پیامدهای مخرب مورد توجه قرار گرفته است.

امروزه، انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر منابع انرژی تجدیدپذیر، به دلیل در دسترس بودن و جنبه‌های اقتصادی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. گسترش استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی<sup>۱</sup> به عنوان یکی از کاربردهای انرژی خورشیدی، دارای مزایایی از جمله توسعه اقتصادی و فناوری، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش اثرات تغییرات اقلیم است [۶ و ۷]. انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر منابع انرژی تجدیدپذیر به دلیل اینکه منبع تغذیه‌ای با چگالی کم است، نیاز به مناطق وسیعی با شرایط مناسب جغرافیایی و محیطی، به منظور ایجاد زیرساخت و بهره‌برداری دارد [۸].

یکی از عواملی که در بهره‌برداری از انرژی خورشیدی بسیار حائز اهمیت است، مکان احداث نیروگاه خورشیدی است [۹]. احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مناطقی که از شرایط مطلوب میزان ساعات نور خورشید و تشعشع مناسب برخوردارند، ضروری است [۹]. فرایند تعیین سایت‌های بالقوه، یک رویکرد راهبردی جهت تعیین میزان برق تولیدی و مسائل اقتصادی مربوط به آن است [۱۰]. بنابراین به منظور اطمینان از به‌صرفه بودن و عملکرد مناسب یک پروژه انرژی خورشیدی، اولین مرحله، فرایند تجزیه و تحلیل جامع سایت نیروگاه خورشیدی است. در این فرایند، باید معیارهای تصمیم‌گیری بررسی شده و عواملی که بر عملکرد نیروگاه و میزان و هزینه برق تولیدشده تأثیرات مثبت و منفی دارند، ارزیابی شوند. بنابراین، به منظور توسعه یک پروژه انرژی خورشیدی، تعیین مکان بهینه استقرار نیروگاه خورشیدی یک گام حیاتی محسوب می‌شود [۸].

انتخاب یک سایت برای نیروگاه خورشیدی نیازمند در نظر گرفتن معیارهای تصمیم‌گیری مختلف است. یکی از روش‌هایی که قادر به مدیریت و ارزیابی معیارهای مکان‌یابی سایت نیروگاه خورشیدی در مقیاس کاربردی باشد، تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۲</sup> (MCDM) است [۱۱]. روش‌های MCDM با موفقیت در بسیاری از پروژه‌های برنامه‌ریزی انرژی استفاده شده است [۱۲]. از طرفی، سیستم اطلاعات مکانی<sup>۳</sup> (GIS) در سال‌های اخیر به عنوان یک ابزار قدرتمند برای مشاوره، تجزیه و تحلیل و ویرایش داده‌ها، نقشه‌ها و اطلاعات مکانی در مطالعات مختلف مکان‌یابی [۱۳] و به‌ویژه برای برنامه‌ریزی انرژی [۱۴] مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه، برخی از تحقیقات مرتبط در زمینه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از MCDM و GIS ارائه شده است.

حسن<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۳) به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در عربستان سعودی یک رویکرد MCDM شامل روش وزن‌دهی عینی<sup>۵</sup> CRITIC و روش<sup>۶</sup> TOPSIS را استفاده کرده‌اند [۱۵]. آن‌ها ابتدا اطلاعات معیارهای تصمیم‌گیری را برای پنج شهر تهیه کرده و سپس، با استفاده از روش CRITIC وزن معیارها را محاسبه کردند. سپس، رتبه‌بندی شهرها با استفاده از روش TOPSIS صورت گرفت. ستو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۱) به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در الجزایر، از GIS و فرایند تحلیل

1. Solar Power Plants
2. Multiple/Multi Criteria Decision Making
3. Geospatial/Geographic Information System
4. Hassan
5. Objective Weighting Methods
6. Criteria Importance Through Intercriteria Correlation
7. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
8. Settau

سلسله‌مراتبی<sup>۱</sup> (AHP) استفاده کرده‌اند [۱۶]. در این تحقیق به منظور تعیین وزن معیارها از AHP و برای آماده‌سازی و تهیه لایه‌های مکانی معیارها و ترکیب آن‌ها از GIS استفاده شده است. آن‌ها نقشه تناسب اراضی را با رویکردهای مختلف وزن‌دهی و رزولوشن‌های مکانی مختلف تولید کردند. آفیکوم<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۱) به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در اندونزی از یک رویکرد مبتنی بر GIS و AHP استفاده کرده‌اند [۱۷]. کریمی‌پور و همکاران (۱۳۹۹) به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان فارس از ترکیب روش وزن‌دهی دیماتیل-ANP<sup>۳</sup> و روش بهترین-بدترین<sup>۴</sup> (BWM) و روش‌های TOPSIS و COPRAS<sup>۵</sup> برای رتبه‌بندی ۸ سایت کاندید استفاده کردند [۱۸]. در این تحقیق ابتدا نتایج دو روش وزن‌دهی تلفیق شده و سپس، نقشه تناسب اراضی تهیه شد. در نهایت، نتایج رتبه‌بندی سایت‌های کاندید توسط روش‌های مختلف به روش میانگین رتبه، تلفیق شد. نتایج این تحقیق نشان داد ۴۰ درصد نیروگاه‌های موجود استان فارس در منطقه نامناسب احداث شده است. طبق نتایج این تحقیق، مناسب‌ترین سایت برای احداث نیروگاه خورشیدی در استان فارس در شهرستان زرین‌دشت قرار داشت.

سامانی و طاحونی (۱۳۹۸) به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان آذربایجان شرقی، از GIS و Fuzzy AHP استفاده کردند [۱۹]. نتایج این تحقیق نشان داد مناطق غربی و جنوب غربی این استان دارای بیشترین تناسب و مناطق شمالی و شمال شرقی دارای کمترین تناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی هستند. فیروزجائی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۹) به منظور بررسی پتانسیل احداث نیروگاه خورشیدی در ایران از رویکرد ترکیبی شامل GIS و روش میانگین وزن‌دار مرتب<sup>۷</sup> (OWA) استفاده کرده‌اند که روش OWA می‌تواند سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری بدون ریسک تا پرریسک را تولید کند [۴]. نتایج این تحقیق نشان داد استان‌های کرمان، یزد، فارس، خوزستان، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و اصفهان ظرفیت مناسبی برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی خورشیدی دارند. عساکره<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۷) به منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث نیروگاه خورشیدی از یک رویکرد ترکیبی شامل GIS و روش Fuzzy AHP استفاده کردند [۲۰]. براساس نقشه تناسب اراضی تهیه‌شده در این تحقیق، مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی استان خوزستان پتانسیل بسیار خوبی برای احداث نیروگاه خورشیدی دارند.

روش‌های MCDM در کاربردهای مختلف به‌ویژه مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته [۸] و به طور فزاینده‌ای در حال توسعه است [۲۱]. تحقیقات پیشین نشان می‌دهد از میان روش‌های MCDM، روش AHP و ترکیب آن با GIS پرکاربردترین رویکرد مورد استفاده در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی بوده است [۲۲]. در مقابل روش‌های وزن‌دهی دیگر به‌ویژه روش‌های جدید مانند SWARA<sup>۹</sup> و BWM در تعداد محدودی از تحقیقات استفاده شده‌اند [۲۳ و ۲۴]. روش AHP با وجود اینکه شهودی است و پیاده‌سازی آن به‌سهولت انجام می‌شود، دارای معایبی مانند تعداد زیاد مقایسات زوجی و الزام استقلال معیارها از هم است [۱۳]. تعداد زیاد مقایسات زوجی علاوه بر سردرگمی تصمیم‌گیران، احتمال اشتباهات محاسباتی را نیز افزایش می‌دهد [۲۵]. از طرفی الزام استقلال معیارها، منطق استفاده از این روش در برخی از موقعیت‌های تصمیم‌گیری را با چالش مواجه می‌کند. در مقابل روش‌های وزن‌دهی جدید مانند BWM و SWARA برخی از این محدودیت‌ها را برطرف کرده‌اند. BWM تعداد مقایسات زوجی را به میزان محسوسی کاهش و در نتیجه، سهولت پیاده‌سازی را افزایش داده است. این مسئله نتایج این روش را پایدارتر و قابلیت اطمینان آن را افزایش داده است [۲۶]. SWARA تعداد مقایسات زوجی را نسبت به BWM باز هم کاهش داده است. در این روش نظرات و رتبه‌بندی تصمیم‌گیران مورد توجه قرار گرفته [۲۷] و با کاهش مقایسات زوجی، قابلیت آن جهت استفاده در موقعیت‌های تصمیم‌گیری با تعداد معیار زیاد افزایش یافته است. براساس تحلیل حساسیت انجام‌شده در [۱۳] روش SWARA نسبت به دو روش AHP و BWM و روش BWM نیز نسبت به روش AHP پایدارتر بوده و به نتایج بهتری منتج شده است.

1. Analytic Hierarchy Process
2. Agyekum
3. DEMATEL-based ANP
4. Best-Worst Method
5. Complex Proportional Assessment
6. Firozjajei
7. Order Weighted Average
8. Asakereh
9. Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis

تحقیق حاضر با هدف مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک در استان فارس انجام شده است. نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک نوعی از نیروگاه‌های خورشیدی است که تابش خورشید را مستقیم به جریان الکتریسیته تبدیل می‌کند و به منظور استفاده یا ذخیره‌سازی به کار می‌برد. رویکرد مورد استفاده در تحقیق حاضر یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر GIS و MCDM است. در این تحقیق پردازش و تحلیل فضایی اطلاعات مکانی، تهیه لایه‌های مکانی و بصری‌سازی با استفاده از GIS و وزن‌دهی و تلفیق معیارها با استفاده از MCDM انجام شده است. تحقیق حاضر به مقایسه و ارزیابی دو روش نسبتاً جدید وزن‌دهی MCDM یعنی BWM و SWARA و ترکیب آن‌ها پرداخته است. در نهایت، نقشه تناسب اراضی جهت احداث نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک (که در ادامه نیروگاه خورشیدی گفته می‌شود)، تهیه شده است. در ادامه مقاله، مواد و روش‌ها در بخش دوم، یافته‌ها در بخش سوم و در نهایت، نتیجه‌گیری در بخش چهارم ارائه شده است.

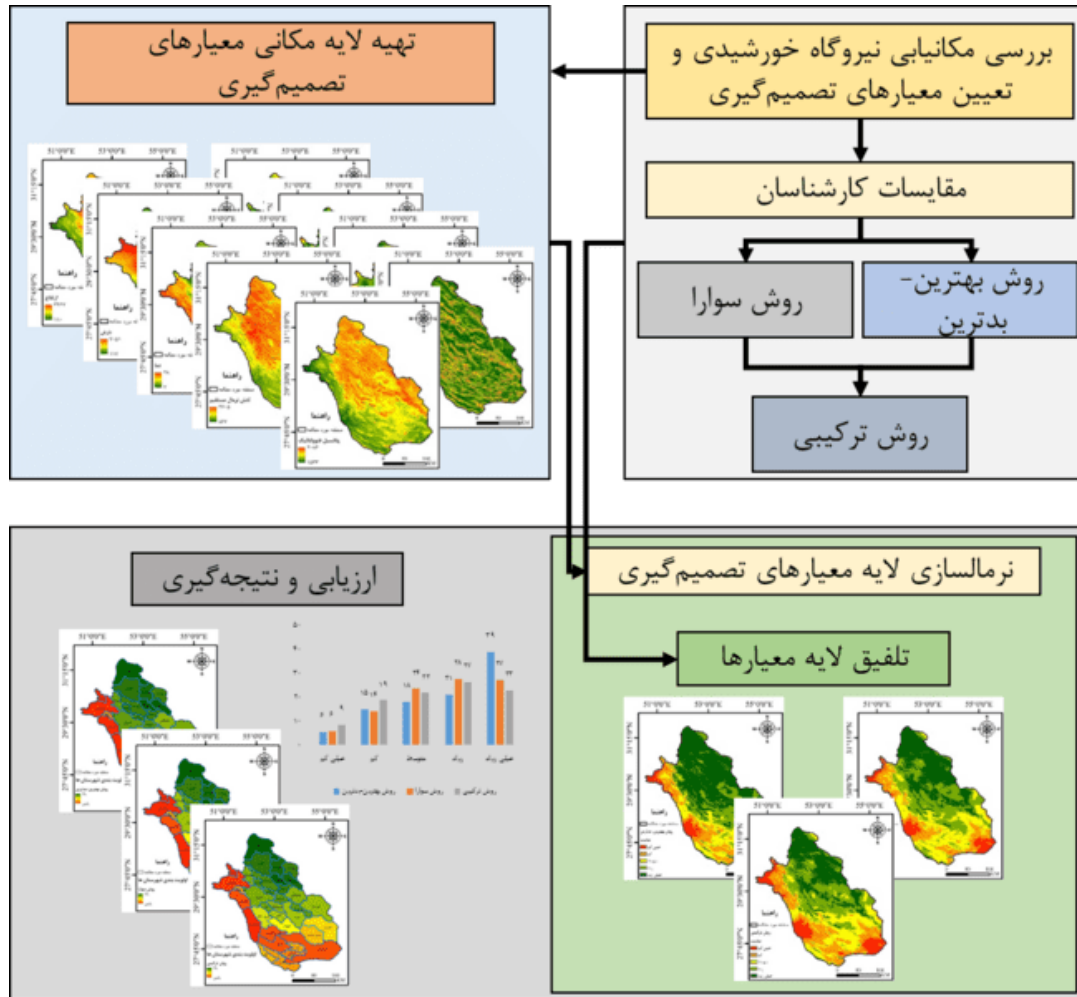
## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱ روش تحقیق

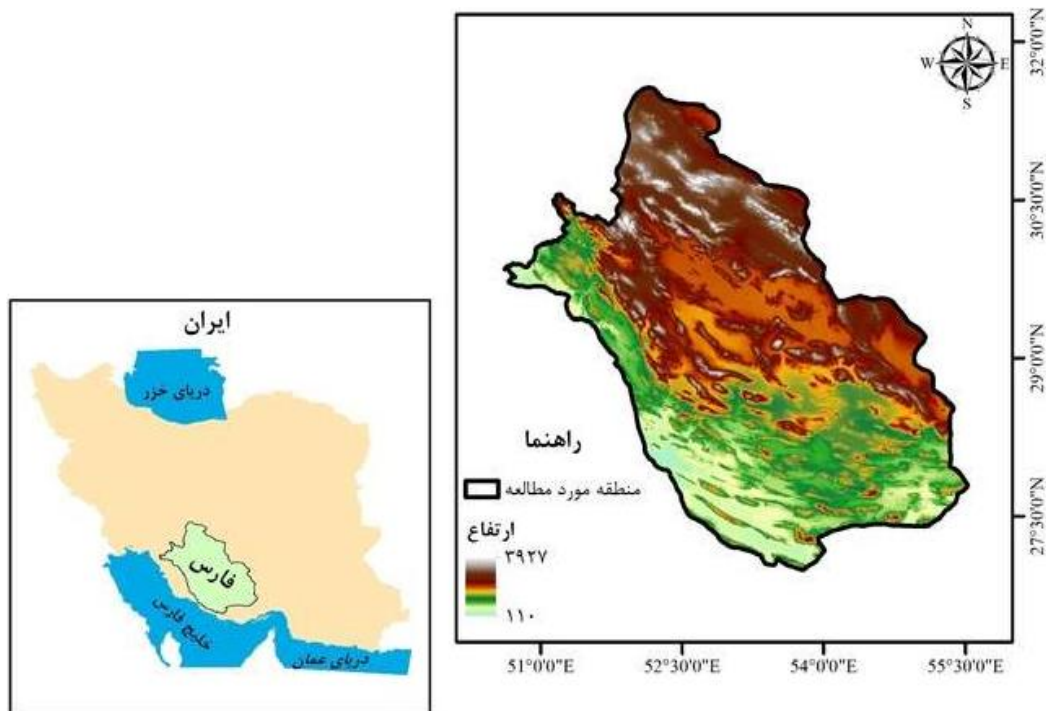
تحقیق حاضر با هدف مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان فارس، از یک رویکرد مبتنی بر GIS و MCDM استفاده کرده است. در رویکرد پیشنهادی، از GIS به منظور آماده‌سازی داده‌ها، انجام تحلیل‌های فضایی و بصری‌سازی اطلاعات و از MCDM برای محاسبه وزن و تلفیق معیارها استفاده شده است. ساختار کلی تحقیق حاضر در شکل ۱ ارائه شده است. در مرحله اول، پس از بررسی مسئله مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی و تحقیقات انجام‌شده در این زمینه، معیارهای مناسب برای استفاده در تحقیق انتخاب شد. سپس، براساس مقایسات زوجی انجام‌شده توسط کارشناسان، وزن معیارها با استفاده از دو روش وزن‌دهی BWM و SWARA محاسبه شده و در نهایت با استفاده از عملگر میانگین هندسی، نتایج دو روش تلفیق شد. در مرحله دوم، داده‌های مکانی مناسب برای تهیه لایه مکانی هر معیار تصمیم‌گیری جمع‌آوری شده و با استفاده از تحلیل‌های فضایی، لایه‌های مکانی هر معیار تولید شد. در مرحله سوم، ابتدا لایه‌های مکانی معیارها متناسب با تأثیر در تصمیم‌گیری، نرمال‌سازی شد. در گام بعد، لایه‌های مکانی نرمال‌سازی‌شده، براساس وزن‌های به‌دست‌آمده از مرحله اول، با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار<sup>۱</sup> (WLC) تلفیق و نقشه‌های تناسب اراضی تهیه شد. در نهایت، مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی تعیین شده و روش‌های مورد استفاده ارزیابی شدند. در ادامه، مبانی نظری و روش‌های مورد استفاده تشریح شده است.

### ۲.۲ منطقه مورد مطالعه

استان فارس یکی از استان‌های واقع‌شده در نواحی جنوبی کشور ایران است که با مساحت ۱۲۳۹۴۶ کیلومتر مربع به عنوان چهارمین استان وسیع کشور شناخته می‌شود. استان فارس در میان مدارهای ۲۷ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ واقع شده است (شکل ۲). این استان از نظر اقلیمی به سه دسته معتدل، کوهستانی و گرم تقسیم شده [۲۸] و در ارتفاع ۱۱۰ تا ۳۹۲۷ متر قرار گرفته است که بیش از ۷۰ درصد از وسعت این استان را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد. میانگین بلندمدت ۵۵ ساله بارندگی منتهی به اردیبهشت ۱۴۰۳ برابر با ۳۰۳/۳ میلی‌متر بوده است. همچنین براساس [۲۸]، میانگین بارندگی، دما و تبخیر ۲۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۹ به ترتیب برابر با ۲۸۶/۸، ۱۸/۹ و ۲۵۵۳/۴ بوده است. موقعیت جغرافیایی استان فارس و شرایط اقلیمی آن موجب شده است که در تحقیقات مختلف به عنوان یکی از استان‌های با تناسب بسیار بالا جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی شناخته شود [۱۲ و ۲۹].



شکل ۱. روش‌شناسی تحقیق



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه

### ۳.۲. انتخاب معیارهای تصمیم‌گیری و تهیه لایه‌های مکانی آن‌ها

نتایج و کیفیت هر تصمیم‌گیری به مجموعه معیارهای انتخاب‌شده و تناسب آن‌ها برای استفاده در فرایند تصمیم‌گیری وابسته است. در هر فرایند تصمیم‌گیری باید متناسب با ساختار و اهداف مسئله مورد بررسی و اهمیت و در دسترس بودن اطلاعات، معیارهای مناسب انتخاب شوند. در تحقیق حاضر با توجه به تحقیقات پیشین و داده‌های مکانی در دسترس، ۹ معیار پراهمیت در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی انتخاب شد. این معیارها در تحقیقات پیشین مورد استفاده بوده و اهمیت آن‌ها تأیید شده است. معیارهای مورد استفاده، تشریح اهمیت آن‌ها در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی و تأثیر آن در فرایند تصمیم‌گیری، در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. معیارهای استفاده‌شده در تحقیق

| تأثیر | اهمیت   | معیار                           | ردیف |
|-------|---|---------------------------------|------|
| مثبت  | پتانسیل فتوولتائیک یا پتانسیل تولید الکتریسته فتوولتائیک <sup>۲</sup> مقدار انرژی الکتریسته تولیدشده در واحد سطح از نور خورشید در یک سیستم فتوولتائیک خورشیدی را نشان می‌دهد. پتانسیل فتوولتائیک در واقع پتانسیل تولید الکتریسته از انرژی خورشیدی را در یک مکان مشخص نشان می‌دهد. این معیار با در نظر گرفتن عواملی مانند تابش خورشیدی، دما، پوشش ابر و مشخصات توپوگرافی و جغرافیایی، محاسبه می‌شود. هر چه مقدار پتانسیل فتوولتائیک یک مکان بیشتر باشد، تناسب آن مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بالاتر است. (واحد: کیلووات ساعت بر کیلووات پیک) | پتانسیل فتوولتائیک <sup>۱</sup> | ۱    |
| مثبت  | تابش نرمال مستقیم، مقدار تابش خورشیدی دریافتی در واحد سطح است. سطح مورد نظر باید به صورتی تنظیم شود که همیشه عمود بر پرتوهای خورشید باشد. هر چه مقدار تابش نرمال مستقیم یک مکان بیشتر باشد، تناسب آن مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بالاتر است. (واحد: کیلووات ساعت بر متر مربع)   | تابش نرمال مستقیم <sup>۳</sup>  | ۲    |
| منفی  | دمای هوا، محیط عملیاتی نیروگاه‌های خورشیدی را مشخص می‌کند. دمای یک مزرعه فتوولتائیک می‌تواند به طور قابل توجهی بر کارایی آن تأثیر بگذارد. سلول‌ها و صفحات فتوولتائیک در دماهای بالاتر برق کمتری تولید می‌کنند. هر چه مقدار دما یک مکان کمتر باشد، تناسب آن مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بالاتر است. البته، دماهای خیلی پایین نیز مطلوب نیست. (واحد: درجه سانتی‌گراد)   | دما                             | ۳    |
| منفی  | بارندگی ممکن است به صفحات فتوولتائیک آسیب‌های فنی وارد کند. از طرفی، باران‌های شدید که موجب جاری شدن رواناب شوند ممکن است موجب خالی شدن خاک زیر صفحات فتوولتائیک و افتادن یا تغییر زاویه آن‌ها شود. هر چه مقدار بارندگی یک مکان کمتر باشد، تناسب آن مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بالاتر است. (واحد: میلی‌متر)  | بارندگی                         | ۴    |
| مثبت  | مناطق با ارتفاع بالاتر بدلیل کمتر بودن غلظت اتمسفر، پتانسیل بیشتری برای دریافت انرژی خورشیدی دارند، ولی هزینه انتقال مصالح و نیروی انسانی برای احداث و بهره‌برداری از نیروگاه خورشیدی با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد. به صورت کلی هر چه مقدار ارتفاع یک مکان بیشتر باشد، تناسب آن مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بالاتر است. (واحد: متر)   | ارتفاع                          | ۵    |
| منفی  | پتانسیل منطقه برای استفاده صنعتی با افزایش مقدار شیب کاهش می‌یابد. مناطق مسطح و با شیب پایین جهت احداث نیروگاه خورشیدی مناسب و مناطق با شیب زیاد باعث افزایش دشواری و هزینه احداث و گسترش نیروگاه خورشیدی می‌شوند. هر چه مقدار شیب یک مکان کمتر باشد، تناسب آن مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بالاتر است. (واحد: درصد)   | شیب                             | ۶    |
| منفی  | یک نیروگاه خورشیدی با هدف تأمین برق مراکز جمعیتی احداث می‌شود، بنابراین باید به مراکز جمعیتی یا مراکز شهری نزدیک باشد. هر چه فاصله یک مکان از مراکز شهری کمتر باشد، تناسب آن مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بالاتر است. (واحد: متر)  | فاصله از مراکز شهری             | ۷    |
| منفی  | فاصله از راه‌ها با هزینه احداث نیروگاه خورشیدی و انتقال انرژی تولیدشده در آن رابطه مستقیم دارد. هرچه قدر فاصله از راه‌ها کمتر باشد، هزینه‌های احداث و بهره‌برداری از نیروگاه خورشیدی کمتر و سهولت آن بیشتر است. هر چه فاصله یک مکان از راه‌ها کمتر باشد، تناسب آن مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بالاتر است. (واحد: متر)   | فاصله از راه‌ها                 | ۸    |
| مثبت  | فاصله مناسب از گسل، ایمنی نیروگاه خورشیدی را تضمین می‌کند. به منظور جلوگیری از آسیب رسیدن به صفحات فتوولتائیک هنگام زلزله که نیاز به انرژی برق بسیار زیاد وجود دارد، رعایت فاصله از گسل لازم و ضروری است. هر چه فاصله یک مکان از گسل‌ها بیشتر باشد، تناسب آن مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بالاتر است. (واحد: متر)  | فاصله از گسل‌ها                 | ۹    |

پس از تعیین معیارهای مناسب، داده‌های مکانی مورد نیاز برای ایجاد لایه مکانی هر معیار تصمیم‌گیری جمع‌آوری شده و سپس با استفاده از تحلیل‌های فضایی مناسب لایه مورد نظر تهیه شده است. جدول ۲ داده‌های اولیه برای تهیه لایه مکانی معیارها را نشان می‌دهد.

1. Potential Photovoltaic
2. Potential Photovoltaic Electricity Production
3. Direct Normal Irradiation



جدول ۲. مشخصات داده‌های جمع‌آوری شده برای تولید لایه مکانی معیارهای تصمیم‌گیری

| بازه زمانی | اندازه پیکسل | فرمت داده   | منبع داده                      | داده                            | اختصار         | معیار               |
|------------|--------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------|
| ۲۰۱۸-۱۹۹۹  | ۸۰۰ متر      | GeoTIFF     | https://solargis.com           | نقشه پتانسیل فتولتائیک          | C <sub>1</sub> | پتانسیل فتولتائیک   |
| ۲۰۱۸-۱۹۹۹  | ۲۵۰ متر      | GeoTIFF     | https://solargis.com           | نقشه تابش نرمال مستقیم          | C <sub>2</sub> | تابش نرمال مستقیم   |
| ۲۰۱۸-۱۹۹۴  | ۸۰۰ متر      | GeoTIFF     | https://solargis.com           | نقشه دما                        | C <sub>3</sub> | دما                 |
| ۲۰۲۳-۲۰۱۰  | -            | Excel Sheet | https://www.irimo.ir           | داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی | C <sub>4</sub> | بارندگی             |
| -          | ۳۰ متر       | GeoTIFF     | https://earthexplorer.usgs.gov | مدل ارتفاعی رقومی (DEM)         | C <sub>5</sub> | ارتفاع              |
| -          | ۳۰ متر       | GeoTIFF     | https://earthexplorer.usgs.gov | DEM                             | C <sub>6</sub> | شیب                 |
| -          | -            | Shapefile   | https://www.openstreetmap.org  | مراکز شهری کشور                 | C <sub>7</sub> | فاصله از مراکز شهری |
| -          | -            | Shapefile   | https://www.openstreetmap.org  | راه‌های کشور                    | C <sub>8</sub> | فاصله از راه‌ها     |
| -          | -            | Shapefile   | www.iiees.ac.ir                | گسل‌های فعال کشور               | C <sub>9</sub> | فاصله از گسل‌ها     |

پس از تهیه داده‌های اولیه، ابتدا سیستم تصویر تمام داده‌ها با استفاده از ابزار Project Raster و Project Raster در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.8 به لامبرت تبدیل شد. در گام بعد، لایه مکانی هر معیار با استفاده از تحلیل‌های فضایی در محیط ArcMap 10.8 تولید شد. چهار معیار پتانسیل فتولتائیک، تابش نرمال مستقیم، دما و ارتفاع با استفاده از ابزار Extract By Mask برای استان فارس برش داده شد. لایه بارندگی با درون‌یابی ایستگاه‌های باران‌سنجی استان فارس و با استفاده از ابزار Kriging تهیه شد. اطلاعات بارندگی به صورت روزانه تهیه شده است که با میانگین‌گیری سالانه، میانگین ۱۴ ساله آن برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد و مبنای درون‌یابی قرار گرفت. لایه شیب با استفاده از ابزار Slope و براساس لایه ارتفاع تهیه شد. فاصله از مراکز شهری، راه‌ها و گسل‌ها با استفاده از ابزار Euclidian Distance تولید شد. درخور یادآوری است که اندازه پیکسل لایه‌های بارندگی، ارتفاع، شیب، فاصله از مراکز شهری، فاصله از راه‌ها و گسل‌ها برابر با ۳۰ متر در نظر گرفته شد و اندازه پیکسل سه لایه پتانسیل فتولتائیک، تابش نرمال مستقیم و دما با استفاده از ابزار Resample و براساس روش Nearest Neighbor به ۳۰ متر تغییر یافت. شکل ۳ لایه مکانی معیارهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

## ۲.۴. روش BWM

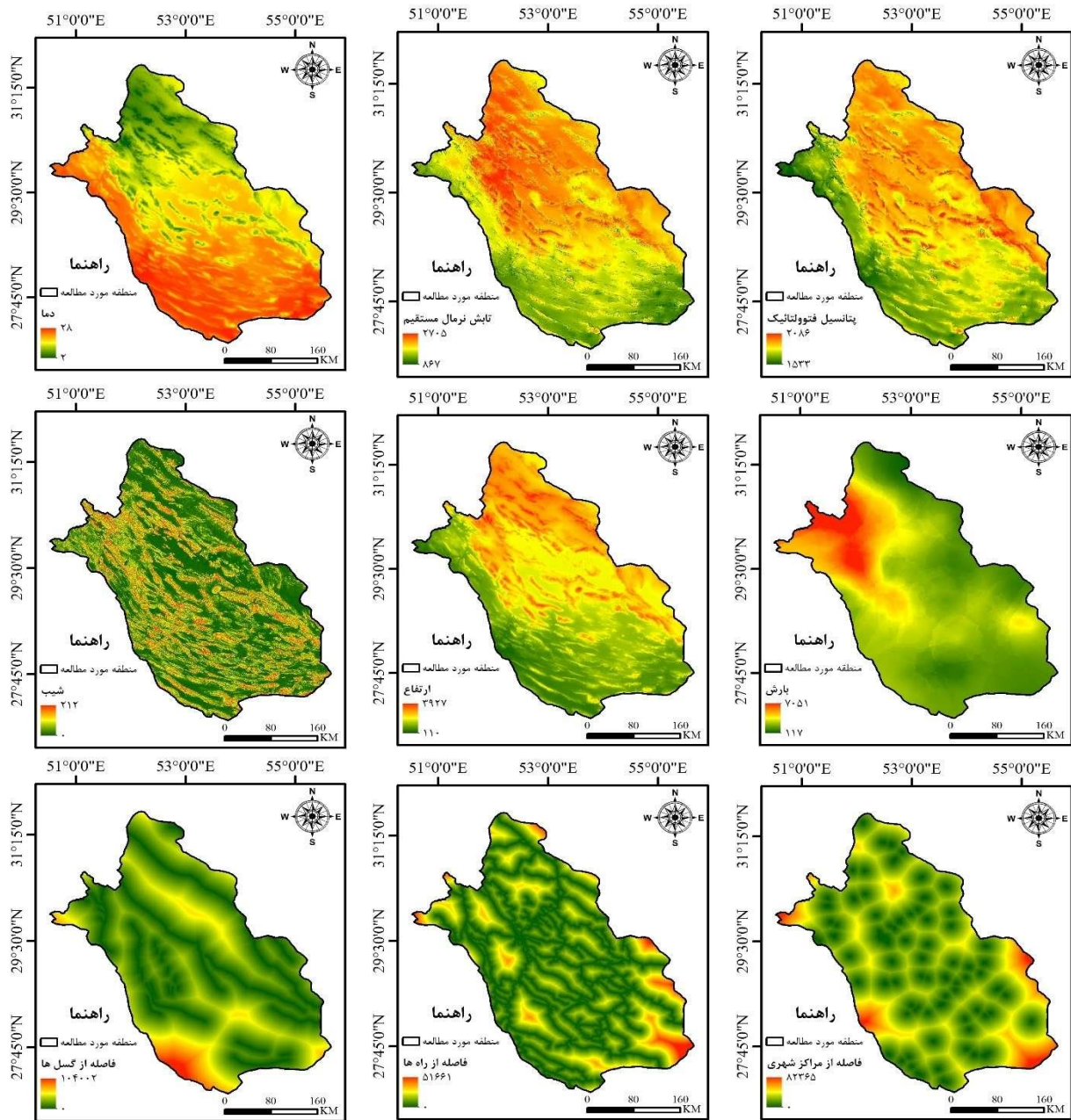
حجم کار و پیچیدگی مقایسات زوجی روش‌هایی مانند AHP، به دلیل وجود رویکردهای مقایسات زوجی بدون ساختار بوده و این یکی از محدودیت‌های این روش‌هاست [۳۰]. روش BWM توسط [۲۶] به منظور انجام مقایسات زوجی با یک رویکرد ساختارمند ارائه شد. با توجه به اینکه در روش BWM مقایسات زوجی ساختارمند بوده و مقایسات غیرضروری حذف شده است، این روش راحت‌تر و دقیق‌تر به نظر می‌رسد [۲۶]. بنابراین، تعداد مقایسات زوجی در این روش به میزان چشمگیری کاهش و قابلیت اطمینان نتایج افزایش یافت [۲۶ و ۳۱]. روش BWM را می‌توان در پنج گام خلاصه کرد که در ادامه براساس [۲۶] ارائه شده است.

**گام اول:** مجموعه معیارهای تصمیم‌گیری به صورت  $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$  تعیین می‌شوند.

**گام دوم:** بهترین معیار ( $C_B$ ) و بدترین معیار ( $C_W$ ) از میان مجموعه معیارهای تصمیم‌گیری انتخاب می‌شوند. بهترین و بدترین معیار به ترتیب دارای بیشترین و کمترین اهمیت در تصمیم‌گیری هستند.

**گام سوم:** با استفاده از رابطه ۱ بردار بهترین - به - دیگران ( $O_B$ ) با مقایسه زوجی  $C_B$  با دیگر معیارها محاسبه می‌شود. در این رابطه  $O_{Bj}$ ،  $j = 1, 2, 3, \dots, m$  درجه ترجیح  $C_B$  نسبت به معیار  $j$ -ام از نظر تصمیم‌گیر است.

$$O_B = (O_{B1}, O_{B2}, \dots, O_{Bm}) \quad (1)$$



شکل ۳. نقشه معیارهای تصمیم‌گیری

**گام چهارم:** با استفاده از رابطه ۲ بردار دیگران - به - بدترین  $(O_w)$  با مقایسه زوجی دیگر معیارها با  $C_w$  محاسبه می‌شود. در این رابطه  $O_w$ ،  $m$ ،  $z = 1, 2, 3, \dots, m$ ،  $z$  درجه ترجیح معیار  $z$ -ام نسبت به  $C_w$  از نظر تصمیم‌گیر است.

$$O_w = (O_{1w}, O_{2w}, \dots, O_{mw})^T \tag{2}$$

ترجیح میان دو معیار توسط تصمیم‌گیر با استفاده از متغیرهای زبانی<sup>۲</sup> مانند اهمیت برابر<sup>۳</sup>، اهمیت متوسط<sup>۴</sup>، مهم<sup>۵</sup>، خیلی مهم<sup>۶</sup> و به‌شدت مهم<sup>۱</sup> و متغیرهای زبانی میانی آن‌ها تعیین می‌شود. جدول ۳ متغیرهای زبانی و مقیاس متناظر آن‌ها را ارائه می‌دهد.

1. Others-to-Worst
2. Linguistic Variables
3. Equally Important
4. Moderately Important
5. Important
6. Very Important

جدول ۳. اعداد متناظر با ترجیحات مقایسات زوجی

| مقیاس | متغیر زبانی                      | مقیاس | متغیر زبانی |
|-------|----------------------------------|-------|-------------|
| ۲     | حد وسط اهمیت برابر و اهمیت متوسط | ۱     | اهمیت برابر |
| ۴     | حد وسط اهمیت متوسط و مهم         | ۳     | اهمیت متوسط |
| ۶     | حد وسط مهم و خیلی مهم            | ۵     | مهم         |
| ۸     | حد وسط خیلی مهم و به شدت مهم     | ۷     | خیلی مهم    |
|       |                                  | ۹     | به شدت مهم  |

**گام پنجم:** با فرموله کردن یک مدل بهینه‌سازی، وزن معیارها محاسبه می‌شود. وزن بهینه معیارهای تصمیم‌گیری  $\{W_1^*, W_2^*, \dots, W_m^*\}$ ، زمانی به دست می‌آید که به ازای هر زوج  $\frac{W_j}{W_w}$  و  $\frac{W_B}{W_j}$  روابط  $a_{jw} = \frac{W_j}{W_w}$  و  $a_{Bj} = \frac{W_B}{W_j}$  برقرار باشد. به منظور برقراری روابط گفته‌شده برای تمام  $j$ -ها، باید در فرایند حل مسئله، بیشینه قدر مطلق اختلاف  $\left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right|$  و  $\left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right|$  کمینه شود. این مدل بهینه‌سازی کمترین-بیشترین ارائه شده در رابطه ۳، باید با برقراری دو شرط  $w_j \geq 0$  و  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ ،  $j = 1, 2, 3, \dots, m$  حل شود.

$$\text{Minmax}_j \left\{ \left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right|, \left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \right\} \quad (3)$$

در رابطه ۳،  $W_B$ ،  $W_w$  و  $W_j$  بهترین معیار، بدترین معیار و معیار  $C_j$  هستند. مدل برنامه‌ریزی خطی مدل بهینه‌سازی رابطه ۳ به صورت رابطه ۴ طراحی می‌شود. در رابطه ۴ مقدار  $\xi$  برای تعیین نرخ سازگاری وزن‌های محاسبه‌شده استفاده می‌شود. هنگامی یک مقایسه کاملاً سازگار است که شرط  $O_{Bj} \times O_{jw} = O_{Bw} \forall j$  برقرار باشد.

Min  $\xi$

Subject to:

$$\left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \text{ for all } j \quad (4)$$

$$\left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right| \leq \xi, \text{ for all } j$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j \geq 0, \text{ for all } j$$

پس از انجام یک فرایند بهینه‌سازی، بردار وزن بهینه  $[W_1^*, W_2^*, \dots, W_m^*]$  و پارامتر  $\xi^*$  بهینه محاسبه می‌شود. به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان وزن‌های به دست آمده، باید نرخ ناسازگاری با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شود. شاخص سازگاری در این رابطه، براساس برتری بهترین معیار نسبت به بدترین معیار تصمیم‌گیری و با استفاده از جدول ۴ تعیین می‌شود. در صورتی که نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسات سازگارند و در غیر این صورت، فرایند مقایسات زوجی باید مورد تجدید نظر قرار گیرد.

$$\text{شاخص سازگاری} = \frac{\xi^*}{\xi^*} \quad (5)$$

جدول ۴. شاخص سازگاری در روش بهترین-بدترین [۲۶]

| نسبت بهترین معیار به بدترین معیار | ۱    | ۲    | ۳    | ۴    | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| شاخص سازگاری                      | ۰/۰۰ | ۰/۴۴ | ۱/۰۰ | ۱/۶۳ | ۲/۳۰ | ۳/۰۰ | ۳/۷۳ | ۴/۴۷ | ۵/۲۳ |

## ۵.۲ روش SWARA

روش تجزیه و تحلیل گام به گام نرخ ارزیابی وزن<sup>۲</sup> (SWARA) توسط [۳۲] به منظور انتخاب روش منطقی حل اختلاف<sup>۳</sup> ارائه شد.

1. Extremely Important
2. Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis
3. Rational dispute resolution method

هرچند این روش به عنوان یک روش وزن‌دهی عینی نیز شناخته می‌شود، ولی با این روش‌ها تفاوت‌هایی دارد [۳۳]. این روش با کاهش محسوس تعداد مقایسات زوجی نسبت به روش‌هایی مانند AHP و BWM و داشتن محاسبات ریاضی ساده، موجب کاهش هزینه‌های محاسباتی و زمان تصمیم‌گیری شده است [۳۴]. در این روش تصمیم‌گیر قادر است اولویت‌های خود را با توجه به هدف مورد نظر و براساس دانش و تجربه شخصی تعیین کند [۳۴]. در این روش ابتدا نظر تصمیم‌گیر در مورد اهمیت نسبی معیارها اخذ شده و سپس براساس آن‌ها وزن معیارها محاسبه می‌شود [۳۳]. ویژگی اصلی روش SWARA امکان برآورد نظر تصمیم‌گیر در مورد نرخ اهمیت معیارها در فرایند وزن‌دهی است، در واقع، این روش می‌تواند اختلاف اهمیت معیارها را ارزیابی کند [۳۲]. در روش SWARA سازگاری وزن‌ها با افزایش تعداد معیارها کاهش نمی‌یابد و به راحتی می‌توان تأثیرات ترجیحات تصمیم‌گیر را در تصمیم‌گیری نهایی مشاهده کرد [۳۴]. به بیانی تصمیم‌گیر در این روش نقش حیاتی دارد [۳۵] زیرا این روش وزن‌دهی، استفاده از نظرات تصمیم‌گیر در محاسبه وزن را به عنوان یک ویژگی متمایز دارد [۳۶]. همچنین، امکان استفاده از نظرات تصمیم‌گیران مختلف و اجرای یک فرایند تصمیم‌گیری گروهی در روش SWARA وجود دارد [۳۶] و بنابراین فرایند وزن‌دهی معیارها نیازمند صرف زمان کمتری است [۳۷]. به صورت کلی استفاده از روش SWARA برای وزن‌دهی معیارها دارای مزایایی از جمله پیاده‌سازی آسان‌تر نسبت به سایر روش‌های وزن‌دهی، صرف زمان کمتر برای انجام فرایند تصمیم‌گیری و آزادی عمل بیشتر تصمیم‌گیر برای اولویت‌بندی معیارها است [۳۶]. در ادامه، مراحل اجرای روش SWARA ارائه شده است.

**گام اول:** معیارهای تصمیم‌گیری براساس نظر تصمیم‌گیر رتبه‌بندی می‌شوند، به طوری که مهم‌ترین معیار دارای رتبه ۱ باشد.

**گام دوم:** اهمیت نسبی ارزش متوسط<sup>۱</sup> یا اهمیت نسبی<sup>۲</sup> ( $S_j$ ) هر معیار نسبت به معیار قبلی توسط تصمیم‌گیر تعیین می‌شود. اهمیت نسبی برای معیار با رتبه اول محاسبه نمی‌شود.

**گام سوم:** برای هر معیار، ضریب<sup>۳</sup> ( $K_j$ ) با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود. ضریب معیار با رتبه اول برابر با ۱ است.

$$K_j = 1 + S_j, j \neq 1. \quad (6)$$

**گام چهارم:** برای هر معیار، وزن اولیه<sup>۴</sup> ( $Q_j$ ) با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود. وزن اولیه معیار با رتبه اول برابر با ۱ است.

$$Q_j = \frac{Q_{j-1}}{K_j}, j \neq 1. \quad (7)$$

**گام پنجم:** برای هر معیار، وزن نهایی ( $W_j$ ) با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود. در این رابطه  $m$  تعداد معیارها است.

$$W_j = \frac{Q_j}{\sum_{j=1}^m Q_j} \quad (8)$$

## ۲.۶ روش WLC

روش WLC یکی از روش‌های پرکاربرد تلفیق معیارها در MCDM مبتنی بر GIS است. این روش دارای ساختار ساده‌ای بوده و به منظور تلفیق لایه‌های معیارها و ایجاد نقشه‌های تناسب اراضی استفاده می‌شود [۱۳]. به صورت کلی این روش دارای دو گام اصلی بوده که به صورت زیر تشریح شده است.

**گام اول:** متناسب با تأثیر هر معیار در فرایند تصمیم‌گیری، لایه‌های مکانی با استفاده از روابط ۹ و ۱۰ نرمال‌سازی می‌شوند. رابطه ۹ به منظور نرمال‌سازی معیارهای سود استفاده می‌شود. معیاری سود است که افزایش مقدار آن موجب افزایش تناسب گزینه مورد نظر شود. به بیانی، معیاری که دارای تأثیر مثبت در تصمیم‌گیری باشد. رابطه ۱۰ به منظور نرمال‌سازی معیارهای هزینه استفاده می‌شود. معیاری هزینه است که کاهش مقدار آن موجب افزایش تناسب گزینه مورد نظر شود. به بیانی، معیاری که دارای تأثیر منفی در تصمیم‌گیری باشد.

1. Comparative Importance of Average Value
2. Relative Importance
3. Coefficient
4. Initial Weight

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (9)$$

$$x_{ij}^* = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (10)$$

**گام دوم:** به منظور محاسبه درجه تناسب هر گزینه، همانند رابطه ۱۱، بردار وزن در بردار معیارهای آن گزینه ضرب می‌شود و مجموع آن به عنوان امتیاز آن گزینه ارائه می‌شود. هرچه امتیاز یک گزینه بیشتر باشد، تناسب آن گزینه برای هدف تصمیم‌گیری بالاتر است. در رابطه ۱۱،  $W_i$  وزن معیار  $i$ -ام و  $C_{ik}$  مقدار معیار  $i$ -ام گزینه  $k$ -ام است.

$$S_k = \sum_{i=1}^n W_i C_{ik} \quad (11)$$

### ۳. یافته‌ها

#### ۳.۱. محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش BWM

به منظور محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از روش BWM، ابتدا از ۱۰ کارشناس در زمینه مهندسی GIS و مهندسی برق-الکترونیک و فتونیک درخواست شد که بهترین و بدترین معیار مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی را از میان معیارهای جدول ۱ مشخص کنند. به این صورت براساس رأی اکثریت، معیارهای پتانسیل فتوولتائیک و ارتفاع به ترتیب به عنوان بهترین و بدترین معیار در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی انتخاب شدند. در گام بعد یک پرسشنامه جهت مقایسه بهترین معیار به دیگران (بردار BO) و دیگران به بدترین معیار (بردار OW) طراحی و در اختیار کارشناسان قرار گرفت. بردارهای نهایی به منظور استفاده در روش BWM از میانگین هندسی بردارهای ارائه‌شده توسط کارشناسان همانند جدول ۵ به دست آمد.

جدول ۵. بردارهای BO و OW نهایی

| بردار               | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| بردار بهترین به همه | ۱/۰۰۰          | ۲/۱۶۹          | ۳/۱۷۸          | ۴/۷۱۲          | ۹/۰۰۰          | ۵/۱۲۳          | ۴/۸۵۰          | ۷/۰۳۱          | ۳/۳۸۴          |
| بردار همه به بدترین | ۹/۰۰۰          | ۴/۱۴۹          | ۲/۸۳۲          | ۱/۹۱۰          | ۱/۰۰۰          | ۱/۷۵۷          | ۱/۸۵۶          | ۱/۲۸۰          | ۱/۲۱۹          |
| وزن                 | ۰/۳۶۰          | ۰/۱۶۶          | ۰/۱۱۳          | ۰/۰۷۶          | ۰/۰۴۰          | ۰/۰۷۰          | ۰/۰۷۴          | ۰/۰۵۱          | ۰/۰۵۰          |

در گام بعد، رابطه ۴ در محیط نرم‌افزار بهینه‌سازی Lingo 11 کدنویسی شد و پس از انجام فرایند بهینه‌سازی، وزن معیارها همانند ردیف سوم جدول ۵ محاسبه شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دو معیار پتانسیل فتوولتائیک و تابش نرمال مستقیم به عنوان پراهمیت‌ترین و دو معیار ارتفاع و فاصله از گسل‌ها به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی تشخیص داده شده‌اند. در گام آخر به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان وزن‌های به‌دست‌آمده، نرخ ناسازگاری با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شده است. در تحقیق حاضر پارامتر  $\xi^*$  برابر با مقدار با  $۰/۰۰۰۲۱$  به دست آمده است و شاخص سازگاری براساس جدول ۲ برابر با  $۵/۲۳$  در نظر گرفته شد. بنابراین، نرخ ناسازگاری وزن‌های به‌دست‌آمده برابر با  $۰/۰۰۰۰۴$  است. با توجه به اینکه نرخ ناسازگاری کمتر از  $۰/۱$  باشد، مقایسات سازگار و وزن‌های به‌دست‌آمده قابل اطمینان هستند.

#### ۳.۵. محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش SWARA

به منظور محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از روش SWARA، ابتدا از ۱۰ کارشناس مشارکت‌کننده، درخواست شد که معیارهای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی را با استفاده از دانش خود رتبه‌بندی کرده و سپس اهمیت نسبی هر معیار نسبت به معیار قبلی را مشخص کنند. در گام بعد فرایند روش SWARA در محیط برنامه‌نویسی Matlab 2018b کدنویسی شده و براساس نظرات هر کارشناس یک بردار وزن همانند جدول ۶ محاسبه شد. در نهایت با استفاده از میانگین هندسی، بردارهای وزن با هم تلفیق شده و وزن نهایی معیارهای تصمیم‌گیری همانند ستون آخر جدول ۶ به دست آمد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دو

معیار پتانسیل فتوولتائیک و تابش نرمال مستقیم به عنوان پراهمیت‌ترین و دو معیار ارتفاع و فاصله از گسل‌ها به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی تشخیص داده شده‌اند.

جدول ۶. وزن به‌دست‌آمده از روش سوارا

| معیار          | کارشناس ۱ | کارشناس ۲ | کارشناس ۳ | کارشناس ۴ | کارشناس ۵ | کارشناس ۶ | کارشناس ۷ | کارشناس ۸ | کارشناس ۹ | کارشناس ۱۰ | وزن نهایی |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| C <sub>1</sub> | ۰/۱۶۰     | ۰/۱۶۸     | ۰/۱۶۵     | ۰/۱۵۷     | ۰/۱۶۲     | ۰/۱۵۶     | ۰/۱۶۲     | ۰/۱۶۳     | ۰/۱۶۲     | ۰/۱۶۳      | ۰/۱۶۲     |
| C <sub>2</sub> | ۰/۱۴۷     | ۰/۱۴۰     | ۰/۱۵۲     | ۰/۱۵۰     | ۰/۱۴۵     | ۰/۱۴۸     | ۰/۱۴۲     | ۰/۱۵۱     | ۰/۱۵۰     | ۰/۱۴۷      | ۰/۱۴۷     |
| C <sub>3</sub> | ۰/۱۳۰     | ۰/۱۲۲     | ۰/۱۲۶     | ۰/۱۲۴     | ۰/۱۱۸     | ۰/۱۳۲     | ۰/۱۴۱     | ۰/۱۱۸     | ۰/۱۳۴     | ۰/۱۳۶      | ۰/۱۲۸     |
| C <sub>4</sub> | ۰/۱۰۴     | ۰/۱۱۳     | ۰/۱۱۰     | ۰/۰۹۰     | ۰/۱۳۴     | ۰/۱۰۵     | ۰/۱۰۴     | ۰/۱۳۲     | ۰/۱۲۰     | ۰/۱۰۶      | ۰/۱۱۱     |
| C <sub>5</sub> | ۰/۰۷۰     | ۰/۰۷۴     | ۰/۰۷۰     | ۰/۰۷۲     | ۰/۰۷۳     | ۰/۰۷۱     | ۰/۰۷۲     | ۰/۰۷۲     | ۰/۰۷۱     | ۰/۰۷۳      | ۰/۰۷۲     |
| C <sub>6</sub> | ۰/۱۱۵     | ۰/۱۰۳     | ۰/۰۹۴     | ۰/۱۱۵     | ۰/۰۹۲     | ۰/۱۱۴     | ۰/۰۹۶     | ۰/۱۰۵     | ۰/۱۱۱     | ۰/۰۹۲      | ۰/۱۰۳     |
| C <sub>7</sub> | ۰/۱۰۵     | ۰/۱۱۱     | ۰/۱۱۷     | ۰/۱۰۶     | ۰/۱۰۵     | ۰/۱۰۷     | ۰/۱۲۰     | ۰/۰۹۶     | ۰/۰۹۲     | ۰/۱۲۱      | ۰/۱۰۸     |
| C <sub>8</sub> | ۰/۰۸۸     | ۰/۰۸۹     | ۰/۰۸۷     | ۰/۱۰۴     | ۰/۰۸۴     | ۰/۰۸۱     | ۰/۰۸۶     | ۰/۰۸۴     | ۰/۰۷۶     | ۰/۰۷۹      | ۰/۰۸۵     |
| C <sub>9</sub> | ۰/۰۸۰     | ۰/۰۸۰     | ۰/۰۷۸     | ۰/۰۸۲     | ۰/۰۸۷     | ۰/۰۸۶     | ۰/۰۷۷     | ۰/۰۷۹     | ۰/۰۸۴     | ۰/۰۸۳      | ۰/۰۸۲     |

### ۶.۳. محاسبه وزن معیارها با ترکیب روش‌های SWAR و BWM

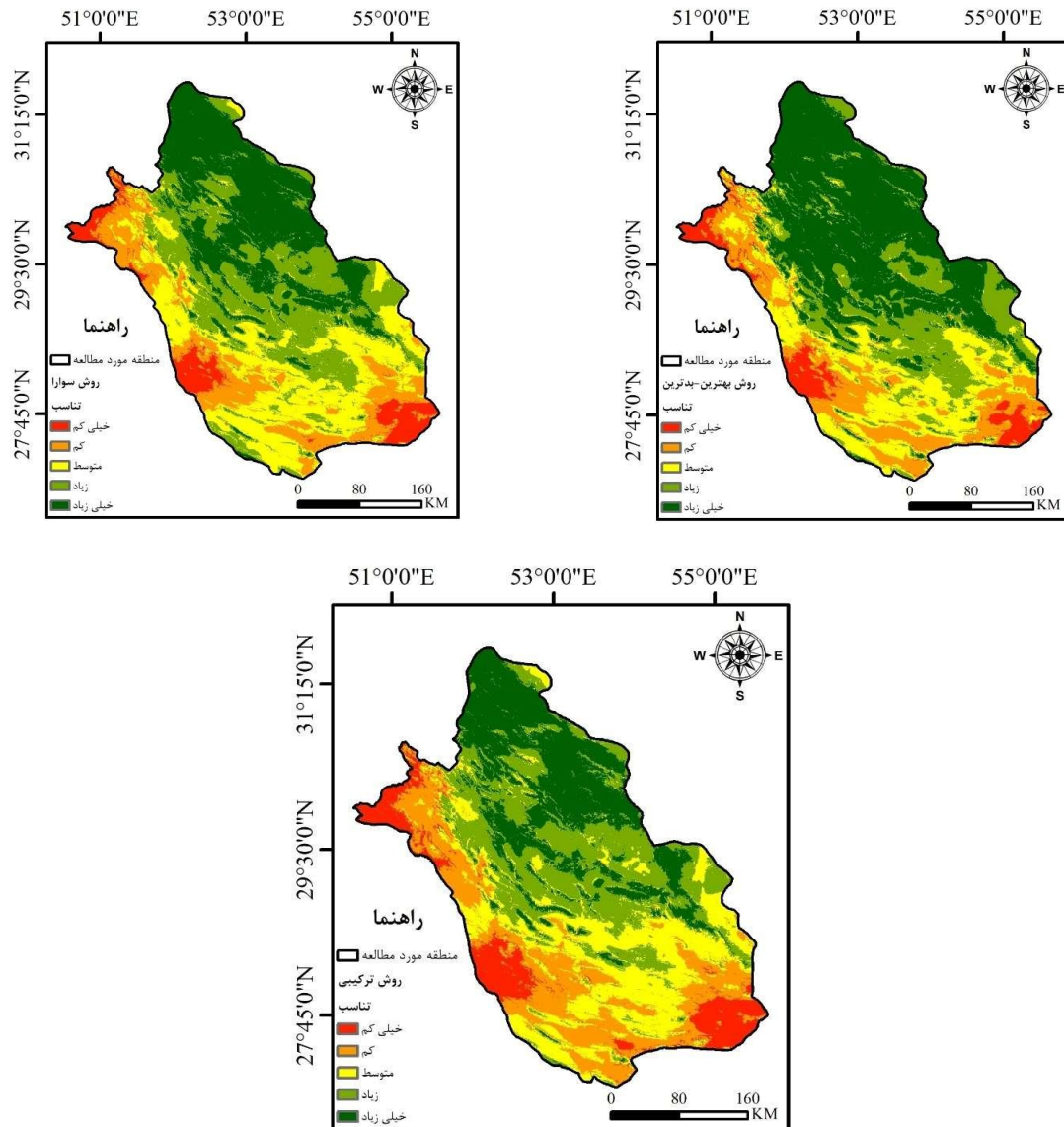
در این قسمت به منظور بهره‌برداری از مزایای هر دو روش، وزن‌های به‌دست‌آمده از آن‌ها با استفاده از عملگر میانگین هندسی تلفیق شده است. در جدول ۷ وزن‌های به‌دست‌آمده از دو روش BWM و SWARA و روش ترکیبی (تلفیق دو روش BWM و SWARA) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دو معیار پتانسیل فتوولتائیک و تابش نرمال مستقیم به عنوان پراهمیت‌ترین و دو معیار ارتفاع و فاصله از گسل‌ها به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی تشخیص داده شده‌اند.

جدول ۷. وزن‌های به‌دست‌آمده از روش ترکیبی

| معیار          | روش BWM | روش SWARA | روش ترکیبی |
|----------------|---------|-----------|------------|
| C <sub>1</sub> | ۰/۳۶۰   | ۰/۱۶۲     | ۰/۲۴۱      |
| C <sub>2</sub> | ۰/۱۶۶   | ۰/۱۴۷     | ۰/۱۵۶      |
| C <sub>3</sub> | ۰/۱۱۳   | ۰/۱۲۸     | ۰/۱۲۰      |
| C <sub>4</sub> | ۰/۰۷۶   | ۰/۱۱۱     | ۰/۰۹۲      |
| C <sub>5</sub> | ۰/۰۴۰   | ۰/۰۷۲     | ۰/۰۵۴      |
| C <sub>6</sub> | ۰/۰۷۰   | ۰/۱۰۳     | ۰/۰۸۵      |
| C <sub>7</sub> | ۰/۰۷۴   | ۰/۱۰۸     | ۰/۰۸۹      |
| C <sub>8</sub> | ۰/۰۵۱   | ۰/۰۸۵     | ۰/۰۶۶      |
| C <sub>9</sub> | ۰/۰۵۰   | ۰/۰۸۲     | ۰/۰۶۴      |

### ۷.۳. تهیه نقشه تناسب اراضی با استفاده از روش WLC

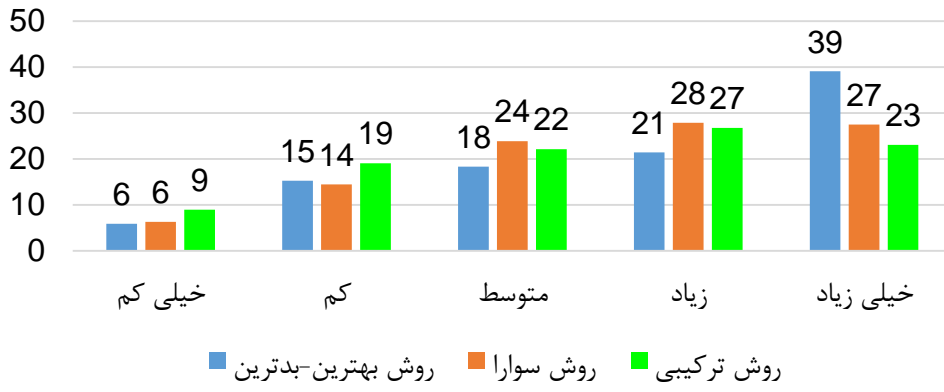
در این قسمت ابتدا متناسب با تأثیر هر معیار در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی (ستون تأثیر در جدول ۱)، لایه مکانی هر معیار با استفاده از یکی از دو رابطه ۹ و ۱۰ نرمال‌سازی شده و مقادیر آن در بازه [۰ و ۱] قرار گرفت. در گام بعد برای هر پیکسل رابطه ۱۱ با استفاده از نتایج روش‌های وزن‌دهی BWM، SWARA و ترکیبی محاسبه شده و امتیاز هر پیکسل محاسبه شده است. نقشه تناسب اراضی به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف وزن‌دهی در شکل ۴ ارائه شده است.



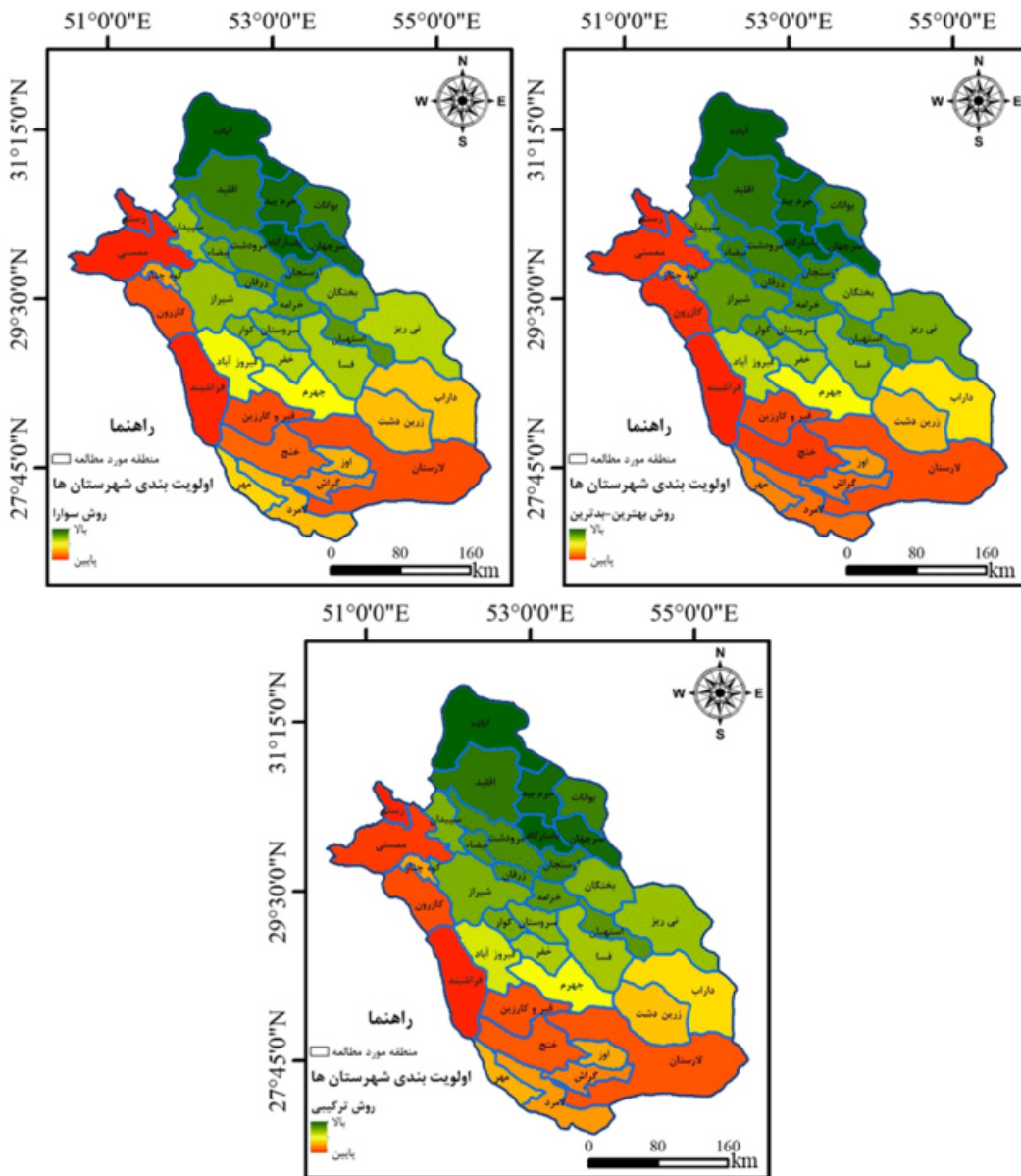
شکل ۴. نقشه تناسب اراضی روش‌های وزندهی مختلف

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، هر سه نقشه تناسب اراضی، نواحی شمالی، شمال شرقی و مرکزی را به عنوان مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی تشخیص داده‌اند. شکل ۵ درصد کلاس‌های تناسب در روش‌های وزندهی مختلف را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، روش SWARA، BWM و ترکیبی به ترتیب در مجموع تناسب ۶۰، ۵۱ و ۵۰ درصد از منطقه مورد مطالعه را زیاد و خیلی زیاد و در مجموع تناسب ۲۱، ۲۰ و ۲۸ درصد از منطقه مورد مطالعه را کم و خیلی کم تشخیص داده‌اند. به صورت کلی نقشه‌های تناسب اراضی مشابه بوده و بیش از ۵۰ درصد از منطقه مورد مطالعه جهت احداث نیروگاه خورشیدی از تناسب بالایی برخوردار است.

اولویت‌بندی شهرستان‌های استان فارس به منظور احداث نیروگاه خورشیدی می‌تواند کاربرد تحقیق حاضر را تکمیل کند. به این منظور، میانگین تناسب پیکسل‌های هر شهرستان با استفاده از ابزار Zonal Statistics در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.8 محاسبه و در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، عملکرد اولویت‌بندی هر سه روش وزندهی نیز مشابه بوده و چهار شهرستان آباده، خرم‌بید، پاسارگاد و سرچهان به منظور احداث نیروگاه خورشیدی باید در اولویت قرار گیرند، همچنین سه شهرستان رستم، ممسنی و فراشبند در اولویت‌های انتهایی قرار گرفته‌اند.



شکل ۵. درصد کلاس‌های تناسب در روش‌های وزن‌دهی مختلف



شکل ۶. اولویت‌بندی شهرستان‌های استان فارس به منظور احداث نیروگاه خورشیدی



#### ۴. نتیجه‌گیری

انرژی در دنیای امروز به عنوان مهم‌ترین مؤلفه زندگی بشر مطرح است و تقریباً تمامی فعالیت‌های انسان را تحت تأثیر قرار داده است. از طرفی، منابع رایج انرژی یعنی سوخت‌های فسیلی دارای تأثیرات مخرب بوده که نیاز است مصرف آن‌ها کاهش یابد. بنابراین، جوامع مختلف به سمت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر تمایل یافتند که یکی از این منابع، انرژی خورشیدی است. طبق تحقیقات، بهترین مناطق با پتانسیل بالا جهت نصب سیستم‌های انرژی خورشیدی شامل: مدیترانه، استرالیا، خاورمیانه، جنوب غرب آمریکا، چین و بخش‌های بیابانی هند است [۳۸]. ایران به عنوان یکی از کشورهای واقع در غرب آسیا و خاورمیانه، در منطقه پرتابشی از کره زمین قرار گرفته است و دریافت مقدار ویژه‌ای از انرژی خورشیدی به عنوان یک فرصت محسوب می‌شود [۵ و ۳۸]. میزان ساعات آفتابی در ایران در تابستان و زمستان به ترتیب برابر با ۱۰۵۰ و ۵۰۰ ساعت است [۳۸]. در یک سال حداقل ۱۸۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع تابش سالانه در ایران وجود دارد [۳۹]. بنابراین، تمرکز بر احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌تواند گامی موثر در جهت افزایش نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی ایران باشد.

تحقیق حاضر با هدف مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان فارس، از یک رویکرد ترکیبی شامل GIS و MCDM استفاده کرده است. در تحقیق حاضر به منظور پرداختن به شکاف تحقیقاتی تحقیقات پیشین یعنی عدم توجه کافی به روش‌های نوین وزن‌دهی MCDM، از دو روش BWM و SWARA استفاده کرده است. همچنین، ترکیب دو روش وزن‌دهی نیز به منظور بهره‌برداری از مزایای هر دو مورد توجه قرار گرفت. روش‌های وزن‌دهی استفاده شده در تحقیق حاضر نسبت به روش‌های رایج مانند AHP، تعداد مقایسات زوجی کمتری داشته و علاوه بر افزایش سهولت پیاده‌سازی، قابلیت اطمینان و دقت نتایج را افزایش داده‌اند. نتایج روش‌های وزن‌دهی نشان داد که معیار پتانسیل فتوولتائیک و تابش نرمال مستقیم مهم‌ترین معیارها در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی بودند که این یافته با نتایج تحقیق [۱۴] و [۱۹] مطابقت دارد. همچنین براساس نتایج روش‌های وزن‌دهی، دو معیار ارتفاع و فاصله از گسل‌ها کم‌اهمیت‌ترین معیارها در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی بودند که این یافته با نتایج تحقیق [۱۴] و [۱۸] مطابقت دارد. نقشه‌های تناسب اراضی تهیه شده با سه روش وزن‌دهی مورد استفاده، به میزان زیادی مشابه بوده و بیش از ۵۰ درصد از منطقه مورد مطالعه را جهت احداث نیروگاه خورشیدی از تناسب بالایی تشخیص داده‌اند. طبق نتایج تحقیق حاضر، شهرستان‌های واقع در قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و مرکزی مانند آباده، خرم بید، پاسارگاد و سرچهان جهت احداث نیروگاه خورشیدی باید در اولویت قرار گیرند. همچنین شهرستان‌های واقع در قسمت غربی، جنوبی و جنوب غربی مانند رستم، ممسنی و فراشبند در اولویت‌های انتهایی قرار می‌گیرند. نتایج به‌دست‌آمده در این قسمت تا حدود زیادی با نتایج تحقیق [۱۸] تطابق دارد.

تحقیق حاضر به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی از روش‌های نوین و کمتر استفاده شده BWM و SWARA استفاده کرده و ترکیب آن‌ها را نیز به این منظور در نظر گرفته است. رویکرد ارائه شده در این تحقیق شامل مطالعه و بررسی مسئله، تعیین معیارهای مؤثر، تهیه لایه‌های مکانی، وزندهی و تناسب اراضی بوده که یک فرایند مکان‌یابی کامل است. بنابراین استفاده از این رویکرد به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در سایر استان‌های کشور به صورت طراحی شده در تحقیق حاضر، توصیه می‌شود. همچنین با بازسازی رویکرد پیشنهادی (قسمت‌های مطالعه و بررسی مسئله، تعیین معیارهای مؤثر و تهیه لایه‌های مکانی) می‌توان آن را در سایر کاربردها نیز مورد استفاده قرار داد. به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آینده می‌توان موارد زیر را توصیه کرد:

(۱) با توجه به نتایج تحقیقات [۴۰ و ۴۱] تلفیق نتایج دو روش وزن‌دهی با استفاده از روش تلفیق اطلاعات مانند تئوری دمپستر-شفر، قابلیت اطمینان و دقت افزایش یافته است، به این منظور توصیه می‌شود ترکیب روش‌های وزندهی با استفاده از این روش انجام و تأثیر آن بر نقشه‌های تناسب اراضی بررسی شود؛

(۲) با توجه به اینکه همواره معایب روش‌های پیشین در روش‌های توسعه‌یافته جدید رفع می‌شود، توصیه می‌شود روش‌های وزن‌دهی MCDM جدیدتر مانند روش ارائه شده در [۴۲] با دو روش BWM و SWARA مقایسه شده و در زمینه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی ارزیابی و بررسی شود.

## منابع

- [1] Mamouri SJ, Derami HG, Ghiasi M, Shafii MB, Shiee Z. Experimental investigation of the effect of using thermosyphon heat pipes and vacuum glass on the performance of solar still. *Energy*. 2014;75:501-7.
- [2] Alamdari P, Nematollahi O, Alemrajabi AA. Solar energy potentials in Iran: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013;21:778-88.
- [3] Moghaddam NB, Mousavi SM, Nasiri M, Moallemi EA, Yousefdehi H. Wind energy status of Iran: Evaluating Iran's technological capability in manufacturing wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15(8):4200-11.
- [4] Firozjaei MK, Nematollahi O, Mijani N, Shorabeh SN, Firozjaei HK, Toomanian A. An integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. *Renewable Energy*. 2019;136:1130-46.
- [5] Bhattacharya M, Churchill SA, Paramati SR. The dynamic impact of renewable energy and institutions on economic output and CO2 emissions across regions. *Renewable Energy*. 2017;111:157-67.
- [6] Owusu PA, Asumadu-Sarkodie S. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*. 2016;3(1):1167990.
- [7] Creutzig F, Goldschmidt JC, Lehmann P, Schmid E, von Blücher F, Breyer C, Fernandez B, Jakob M, Knopf B, Lohrey S, Susca T. Catching two European birds with one renewable stone: Mitigating climate change and Eurozone crisis by an energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014;38:1015-28.
- [8] Al Garni HZ, Awasthi A. Solar PV power plants site selection: A review. *Advances in renewable energies and power technologies*. 2018:57-75.
- [9] Ghasempour R, Nazari MA, Ebrahimi M, Ahmadi MH, Hadiyanto H. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Approach for Selecting Solar Plants Site and Technology: A Review. *International Journal of Renewable Energy Development*. 2019;8(1).
- [10] Sengupta M, Habte A, Wilbert S, Gueymard C, Remund J. Best practices handbook for the collection and use of solar resource data for solar energy applications. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States); 2021.
- [11] Dweiri F, Khan SA, Almulla A. A multi-criteria decision support system to rank sustainable desalination plant location criteria. *Desalination*. 2018;444:26-34.
- [12] Hooshangi N, Gharakhanlou NM, Razin SR. Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*. 2023;384:135481.
- [13] Zandi I, Pahlavani P, Bigdeli B, Lotfata A, Alesheikh AA, Garau C. GIS-Enabled Multi-Criteria Assessment for Hospital Site Suitability: A Case Study of Tehran. *Sustainability*. 2024;16(5):2079.
- [14] Hasti F, Mamkhezri J, McFerrin R, Pezhooli N. Optimal solar photovoltaic site selection using geographic information system-based modeling techniques and assessing environmental and economic impacts: The case of Kurdistan. *Solar Energy*. 2023;262:111807.
- [15] Hassan I, Alhamrouni I, Azhan NH. A CRITIC-TOPSIS multi-criteria decision-making approach for optimum site selection for solar PV farm. *Energies*. 2023;16(10):4245.
- [16] Settou B, Settou N, Gouareh A, Negrou B, Mokhtara C, Messaoudi D. A high-resolution geographic information system-analytical hierarchy process-based method for solar PV power plant site selection: a case study Algeria. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2021;23:219-34.
- [17] Agyekum EB, Amjad F, Shah L, Velkin VI. 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*. 2021;47:101521.
- [18] Karimipour H, Alesheikh AA. 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*. 2021;10(3):183-99, [Persian].
- [19] Samani NN, Tahouni A. The Evaluation of suitable Sites for Solar Farms by Multi Criteria Decision Making in GIS (Case Study: East Azarbaijan Province). *Human Geography Research*. 2019;51(3):747-64, [Persian].
- [20] Asakereh A, Soleymani M, Sheikhdavoodi MJ. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. *Solar Energy*. 2017;155:342-53.
- [21] Ayough A, Boshruai S, Khorshidvand B. A new interactive method based on multi-criteria preference degree functions for solar power plant site selection. *Renewable Energy*. 2022;195:1165-73.
- [22] Khanlari A, Alhuyi Nazari M. A review on the applications of multi-criteria decision-making approaches for power plant site selection. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2021 May:1-7.
- [23] Zandi I, Pahlavani P, Bigdeli B. Land Suitability Assessment for Construction of a Hospital: An Integrated Modeling Approach based on MCDM and GIS (A Case Study: The Second District of Tehran). *Geography and Environmental Planning*. 2023;34(4):69-88, [Persian].

- [24] Zandi I, Pahlavani P, Bigdeli B. Preparation of Flood Susceptibility Map using Multi-Criteria Spatial Analysis and Data Fusion (A Case Study: Maneh and Samalqan County). *Journal of Geomatics Science and Technology*. 2023;12(4):53-76, [Persian].
- [25] Dehshiri SS. New hybrid multi criteria decision making method for offshore windfarm site location in Persian Gulf, Iran. *Ocean Engineering*. 2022;256:111498.
- [26] Rezaei J. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*. 2015;53:49-57.
- [27] Thakkar JJ, Thakkar JJ. Stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Multi-Criteria Decision Making*. 2021:281-9.
- [28] Agricultural Organization of Fars (2020). Fars Province Atlas of Weather and Climatology. Modern Agricultural Technology, Great Iran Publication, Shiraz, Iran, [Persian].
- [29] Noorollahi E, Fadai D, Akbarpour Shirazi M, Ghodsipour SH. Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)—a case study of Iran. *Energies*. 2016;9(8):643.
- [30] Mi X, Tang M, Liao H, Shen W, Lev B. The state-of-the-art survey on integrations and applications of the best worst method in decision making: Why, what, what for and what's next?. *Omega*. 2019;87:205-25.
- [31] Safarzadeh S, Khansefid S, Rasti-Barzoki M. A group multi-criteria decision-making based on best-worst method. *Computers & Industrial Engineering*. 2018;126:111-21.
- [32] Keršuliene V, Zavadskas EK, Turskis Z. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*. 2010;11(2):243-58.
- [33] Chang KH. Integrating subjective-objective weights consideration and a combined compromise solution method for handling supplier selection issues. *Systems*. 2023;11(2):74.
- [34] Şimşek K, Alp S. Evaluation of landfill site selection by combining fuzzy tools in GIS-based multi-criteria decision analysis: a case study in Diyarbakır, Turkey. *Sustainability*. 2022;14(16):9810.
- [35] Zavadskas EK, Čereška A, Matijošius J, Rimkus A, Bausys R. Internal combustion engine analysis of energy ecological parameters by neutrosophic MULTIMOORA and SWARA methods. *Energies*. 2019;12(8):1415.
- [36] Ayyildiz E, Yildiz A, Taskin Gumus A, Ozkan C. An integrated methodology using extended swara and dea for the performance analysis of wastewater treatment plants: Turkey case. *Environmental Management*. 2021;67(3):449-67.
- [37] Zolfani SH, Esfahani MH, Bitarafan M, Zavadskas EK, Arefi SL. Developing a new hybrid MCDM method for selection of the optimal alternative of mechanical longitudinal ventilation of tunnel pollutants during automobile accidents. *Transport*. 2013;28(1):89-96.
- [38] Najafi G, Ghobadian B, Mamat R, Yusaf T, Azmi WH. Solar energy in Iran: Current state and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;49:931-42.
- [39] Gorjian S, Ghobadian B. Solar thermal power plants: progress and prospects in Iran. *Energy Procedia*. 2015;75:533-9.
- [40] Zandi, I, Pahlavani P, Bigdeli B. Different Multi-Criteria Strategies in Hospital Location Ranking using Dempster-Shafer Decision-Level Fusion and Quantifier-guided OWA, A Case Study. *Earth Observation and Geomatics Engineering*. 2022;6(2):10-27.
- [41] Maserrat Z, Alesheikh AA, Jafari A, Charandabi NK, Shahidinejad J. A Dempster-Shafer Enhanced Framework for Urban Road Planning Using a Model-Based Digital Twin and MCDM Techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2024;13(9):302.
- [42] Więckowski J, Wątróbski J, Sałabun W. Inaccuracies in expert judgment: Comparative analysis of RANCOM and AHP methods in housing location selection problem. *IEEE Access*. 2024