

## نشریه مدیریت بیابان

[www.isadmc.ir](http://www.isadmc.ir)

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

## مکان‌یابی استقرار نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در منطقه خشک سیستان

حسین پیری صحراگرد<sup>۱\*</sup>، میثم امیری<sup>۲</sup>، ساناز تناکیان<sup>۳</sup>

۱. استادیار، دانشکده آب و خاک، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲. مربی، گروه پژوهشی مدیریت منابع آب، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

\* نویسنده مسئول: [hopiry@uoz.ac.ir](mailto:hopiry@uoz.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۲

### چکیده

برای بهره‌گیری از قابلیت بالای انرژی خورشیدی در مناطق خشک و بیابانی ایران، شناسایی مناطق دارای بیشترین تناسب به منظور استقرار نیروگاه‌های خورشیدی، مهم است. پژوهش حاضر با هدف تعیین شایستگی اراضی برای استقرار نیروگاه‌های خورشیدی و شناسایی عوامل مهمتر، با توجه به معیارهای آب و هوایی، جغرافیایی، اقتصادی-اجتماعی و محیط زیستی، با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در منطقه سیستان انجام شد. پس از انتخاب عوامل مؤثر بر اساس نظر کارشناسان و متخصصان، وزن هرکدام از معیارها و زیرمعیارها، با مقایسه زوجی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شد. در مرحله بعد، پس از تهیه لایه‌های مربوط به هر معیار در سامانه اطلاعات جغرافیایی، وزن‌های مربوط به هر یک، در لایه مربوط به آن معیار ضرب شد. در مرحله آخر، نقشه تناسب مناطق مختلف دشت سیستان برای استقرار نیروگاه‌های خورشیدی با روی هم گذاری لایه‌ها و اعمال محدودیت‌ها در پنج طبقه تهیه شد. بر اساس نتایج، ۸/۴ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه که در قسمت جنوبی شهرستان زهک و شهرستان هامون و بخش‌های شرقی از شهرستان نیمروز قرار گرفته است، دارای تناسب عالی است. همچنین ۳۶/۶ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای تناسب خوب، ۰/۵ درصد دارای تناسب متوسط و ۱۸ درصد، برای احداث نیروگاه خورشیدی دارای تناسب ضعیف است. افزون بر این، معیارهای ساعات آفتابی، درجه حرارت و ارتفاع به دلیل وزن بیشتر، به عنوان مهم‌ترین معیارها شناخته شد. نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی حدود ۴۵ درصد از منطقه سیستان از تناسب زیادی برای احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار است، بنابراین خطر سرمایه‌گذاری در زمینه احداث نیروگاه خورشیدی در این منطقه کم است. بهره‌برداری حداکثر از انرژی خورشیدی در منطقه سیستان می‌تواند شرایط مناسبی را برای توسعه اقتصادی و افزایش ماندگاری مردم در منطقه فراهم آورد.

**واژگان کلیدی:** انرژی خورشیدی؛ شایستگی اراضی؛ مقایسه زوجی؛ همپوشانی؛ توسعه اقتصادی

## ■ مقدمه

مدیریت نامناسب انرژی، شرایط نامطلوب تولید آن و در نتیجه نبود تناسب بین مصرف انرژی و جمعیت کشور موجب شده است تا ایران از نظر تأمین انرژی با شرایط بحرانی مواجه باشد. از سوی دیگر، به دلیل متأثر بودن همه فعالیت‌های انسانی از انرژی، دردسترس بودن و تأمین انرژی از پیش‌نیازهای توسعه اقتصادی و اجتماعی هر کشور است (۱۱). قرار گرفتن در کمربند بیابانی دنیا و برخورداری حداکثری از تابش خورشید در بیشتر مناطق و فصول سال، موجب شده است مناطق مختلف کشور از قابلیت زیادی برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی برخوردار باشد (۱، ۲۹). به طوری که با شناسایی مناطق مستعد تولید انرژی خورشیدی و تجهیز مساحت‌های بیابانی به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی، کشور ایران قادر خواهد بود علاوه بر تأمین بخش گسترده‌ای از انرژی مورد نیاز منطقه، در زمینه صدور انرژی برق نیز فعال شود (۲۵، ۵، ۲۹). بنابراین برنامه‌ریزی برای استفاده از انرژی خورشیدی یکی از اولویت‌هایی است که بایستی در مناطق مختلف کشور مورد توجه قرار گیرد (۲۹، ۲۶، ۳). در سراسر دنیا نیز به دلیل لزوم کاهش وابستگی به منابع محدود سوخت‌های فسیلی و کاهش تأثیر استفاده از این سوخت‌ها بر تغییر اقلیم، شناسایی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر رو به افزایش است (۱۲). بدیهی است که با حرکت به سمت استفاده از انرژی‌های نوین می‌توان هم از منابع پایدار انرژی برای توسعه صنعتی اطمینان حاصل کرد و همچنین از آلودگی بیشتر محیط‌زیست جلوگیری کرد (۲۱). استقرار و راه‌اندازی نیروگاه‌های خورشیدی در مناطقی که استعداد استفاده از این انرژی را دارند، با تولید انرژی الکتریکی، نقش انکارناپذیری در تأمین، انتقال و همچنین توزیع این انرژی ایفا می‌کند و به‌عنوان یکی از بهترین راه‌های تأمین انرژی در روستاها و مناطق دورافتاده کشور مطرح است. افزون بر این، تولید انرژی با این روش، در مقایسه با دیگر روش‌های تأمین و انتقال انرژی، از نظر هزینه‌های تولید، انتقال و نگهداری نیز مقرون به‌صرفه‌تر است (۲). از سوی دیگر، به دلیل این که عواملی مانند مقدار تولید و هزینه‌های مربوط به آن، هزینه انتقال انرژی، اثرات - محیط زیستی آن و در پایان بازدهی کلی نیروگاه‌ها تحت

تأثیر انتخاب مکان بهینه جهت احداث آن است، بنابراین مکان‌یابی دقیق و تعیین تناسب اراضی یکی از نکات مهم و قابل توجه در احداث این نیروگاه‌ها است (۱۸، ۳۴). افزون بر این، زیادبودن عوامل مؤثر در تعیین تناسب اراضی جهت استقرار نیروگاه‌های خورشیدی، گستردگی حجم اطلاعات در مقیاس‌های مختلف و لزوم مدنظر قرار دادن مجموعه عوامل مؤثر و تأثیرگذار در شناخت مکان‌های مناسب‌تر جهت استقرار نیروگاه خورشیدی، موضوع مکان‌یابی را به چالشی مهم در بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر تبدیل کرده است. بنابراین با توجه به اهمیت قابل توجه موضوع، شناسایی روش‌های دقیق‌تر، سریع‌تر و با قابلیت زیادتر که برای کاربران نیز ساده باشد در مطالعات مربوط به مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. با توجه به موارد بیان شده و شناخت موجود از قابلیت‌های روش‌های مختلف، در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در تلفیق با روش‌های ارزیابی چندمعیاره در مطالعات مکان‌یابی مرتبط با نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق مختلف کشور افزایش یافته است (۴، ۷، ۲۰، ۲۳، ۳۱، ۳۳). بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای انتخاب مکان بهینه برای احداث نیروگاه خورشیدی نشان داد که در صورت استفاده از روش‌های مناسب برای وزن‌دهی به معیارهای مؤثر، بیشتر از ۸۳٪ منطقه دارای پتانسیل مناسبی جهت احداث نیروگاه خورشیدی خواهد بود (۱۲).

بسته به نوع کارکرد نیروگاه‌های خورشیدی، معیارهای مورد استفاده برای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی متفاوت بوده و شاخص‌ها باید با معیارهایی تلفیق شود تا تناسب مکان‌ها با توجه به آن موارد مورد ارزیابی قرار گیرد (۱۶). بر اساس مطالعات انجام شده، در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی علاوه بر معیارهای ارتباطی و مسیری‌های دسترسی، معیارهای جغرافیایی مانند ارتفاع و شیب، معیارهای محیط‌زیستی و معیارهای اقلیمی مانند میزان تابش دریافتی، ابرناکی و رطوبت هوا نیز مهم و تأثیرگذار هستند (۲۷). در یکی از مطالعات مشابه انجام شده، بررسی تناسب اراضی برای احداث نیروگاه خورشیدی با استفاده از

## منطقه مورد بررسی

پژوهش حاضر واقع در شرق ایران و در منطقه سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان با مختصات جغرافیایی  $30^{\circ} 18'43''$  تا  $31^{\circ} 20'43''$  عرض شمالی و  $61^{\circ} 10'43''$  تا  $61^{\circ} 50'43''$  طول شرقی، در سال ۱۳۹۷ انجام شد. منطقه مورد مطالعه از شمال به استان خراسان جنوبی، از جنوب تا نزدیک دشتک، از شرق به کشور افغانستان و از غرب به کویر کرمان محدود است. مساحت منطقه مورد بررسی ۱۵۱۹۷ کیلومترمربع است که ۵۵۶۰ کیلومترمربع آن را دریاچه هامون و اراضی مشرف به دریاچه هامون تشکیل می‌دهد. اقلیم منطقه سیستان خشک و بیابانی است. در این منطقه، تیرماه با بیشترین درجه حرارت سالانه  $53^{\circ}C$ ، گرمترین ماه سال و دی‌ماه با کمینه حرارت مطلق  $12^{\circ}C$  - سردترین ماه سال می‌باشد. از ویژگی‌های بارز آب و هوایی این منطقه می‌توان به زیادبودن مقدار زمانی تشعشع خورشید، فراوانی دامنه تغییرات درجه حرارت روزانه و فصلی، رطوبت کم، تبخیر زیاد، بارندگی کم و پراکنده، بادهای شدید و طوفان شن را نام برد (۳۲). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

## روش پژوهش

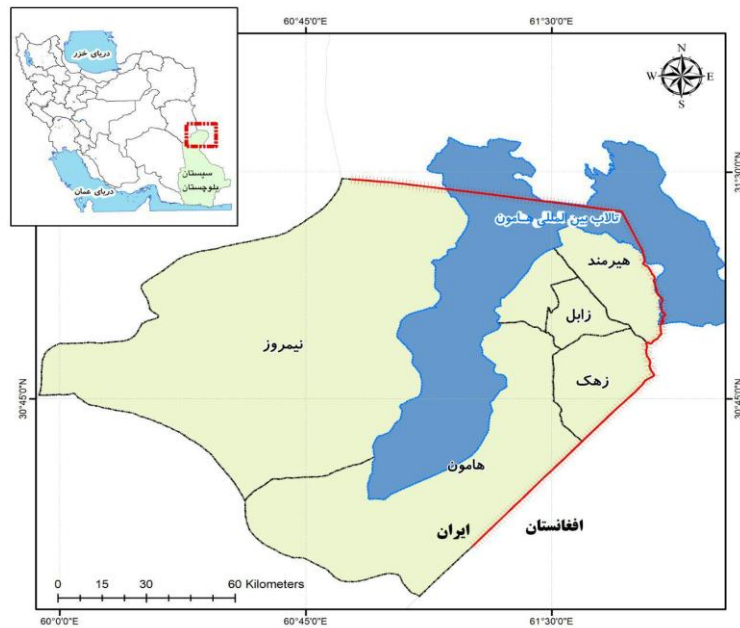
در پژوهش حاضر ابتدا با بهره‌گیری از نظر کارشناسان شهرسازی، کارشناسان محیط‌زیست، کارشناسان انرژی-های نو و از طریق ۳۰ پرسشنامه، از بین معیارهای آب و هوایی شامل میزان تابش دریافتی خورشیدی، تعداد ساعات آفتابی، تعداد روزهای گرد و خاک، تعداد روزهای بارانی، تعداد روزهای ابری، رطوبت نسبی، تبخیر و میزان بارندگی؛ معیارهای جغرافیایی شامل ارتفاع و شیب؛ معیارهای اقتصادی-اجتماعی شامل فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از راه‌های ارتباطی و فاصله از شبکه انتقال نیرو و معیارهای زیست‌محیطی شامل فاصله از مناطق حفاظت‌شده، فاصله از منابع آب‌های سطحی و کاربری اراضی، مؤثرترین معیارها در مکان‌یابی نیروگاه-های خورشیدی شناسایی شد. لازم به ذکر است که معیارهای آب و هوایی از اطلاعات مربوط به منطقه سیستان و مناطق اطراف دشت سیستان شامل زاهدان،

مدل فازی دیمیتل<sup>۱</sup> در شهرهای جیرفت و بم نشان داد که حدود ۱۲ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه از شایستگی بالایی برای احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار است و حدود ۶۶ درصد از کل منطقه برای احداث نیروگاه خورشیدی مناسب نیستند (۱).

با توجه به نیاز مبرم بخش‌های مختلف کشور به انرژی و عدم تناسب بین عرضه و تقاضای انرژی در شرایط فعلی در مناطق مختلف کشور، توجه به توانمندی‌ها و قابلیت‌های موجود در هر منطقه، راهبرد مناسبی برای حل این مشکلات و برون‌رفت از شرایط فعلی است. با توجه به این نکات، توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی در مناطق مستعد کشور به‌ویژه منطقه سیستان ضرورتی اجتناب‌ناپذیر بوده و سرمایه‌گذاری در این بخش افزون بر تأمین نیاز داخل می‌تواند با فراهم آوردن امکان صادرات انرژی به کشورهای همجوار و تأمین نیاز شدید کشورهای افغانستان و پاکستان به انرژی، از نظر اقتصادی نیز درآمد قابل توجهی را به‌همراه داشته باشد. بنابراین، با توجه به توانمندی قابل توجه منطقه سیستان در زمینه انرژی خورشیدی، به دلیل قرار گرفتن در عرض جغرافیایی پایین و داشتن بیش از ۳۳۵ روز آفتابی در سال، شناسایی مکان‌هایی با شایستگی بیشتر برای استقرار نیروگاه‌های خورشیدی می‌تواند با کاهش خطر سرمایه‌گذاری در این زمینه، موجب ترغیب سرمایه‌گذاران برای احداث نیروگاه-های خورشیدی در منطقه سیستان شود. بدیهی است که تحقق این مهم در منطقه سیستان، علاوه بر فراهم آوردن امکان توسعه اقتصادی و اجتماعی منطقه، ماندگاری مردم در منطقه را نیز به همراه خواهد داشت که این نکته با توجه به موقعیت راهبردی و مرزی بودن منطقه سیستان در کشور بسیار حیاتی است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف شناسایی عوامل دارای وزن بیشتر و تعیین مکان‌های با شایستگی بیشتر برای استقرار نیروگاه‌های خورشیدی با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه خشک و بیابانی سیستان انجام شد.

## ■ مواد و روش‌ها

<sup>۱</sup> DEMATEL



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور و استان سیستان و بلوچستان

نقشه‌های مربوط به هر یک از معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی پس از محاسبه وزن‌ها و با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. سپس وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها، حاصل از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی، در لایه‌های مربوط به آن معیار یا زیر معیار در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی ضرب شد. در مرحله بعد، لایه‌های وزن‌دار شده روی هم-اندازی و تلفیق و نواحی دارای محدودیت شناسایی شد. پس از ضرب نقشه محدودیت در نقشه نهایی، مناطق دارای محدودیت شامل فرودگاه، آثار باستانی و مناطق مسکونی از کل نقشه حذف شد (جدول ۱). در نهایت نقشه طبقه‌بندی‌شده تناسب منطقه سیستان برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی تهیه و نقشه نهایی به‌صورت رستری و با دقت ۵۰۰ مترمربع آماده شد. سپس نقشه حاصله با توجه به نسبت میانگین تغییرات هر معیار، در پنج طبقه شامل مناطق ممنوعه، مناطق دارای شایستگی عالی، خوب، متوسط و ضعیف طبقه‌بندی شد. جدول ۲ طبقه‌بندی معیارهای مؤثر بر پتانسیل سنجی نیروگاه‌های خورشیدی و ارجحیت و امتیاز آنها را نشان می‌دهد. روند مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه شده است (شکل ۲).

نهبندان، بیرجند، قاین، شهداد و بم در یک دوره‌ی آماری ۲۰ ساله و بازه زمانی سالهای ۱۳۷۵-۱۳۹۵ استخراج شد و مورد استفاده قرار گرفت. سپس مقایسه زوجی هرکدام از معیارها و زیر معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام و وزن هر معیار نسبت به معیار دیگر بر حسب میزان اولویت به آن معیار مشخص شد. طبقات معیارهای مؤثر در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی و میزان ارجحیت و امتیاز آنها در جدول (۱) آمده است. برای مقایسه زوجی گزینه‌ها از اعداد فازی و برای به دست آوردن وزن‌ها و ارجحیت‌ها از روش میانگین‌گیری هندسی استفاده شد، تحلیل حساسیت و نرخ ناسازگاری قضاوت‌ها به روش گوگوس و بوچر محاسبه شد (رابطه ۱ و ۲).

$$C.R. = C.I. / R.I \quad (1)$$

$$C.I. = \lambda \text{Max-n} / n-1 \quad (2)$$

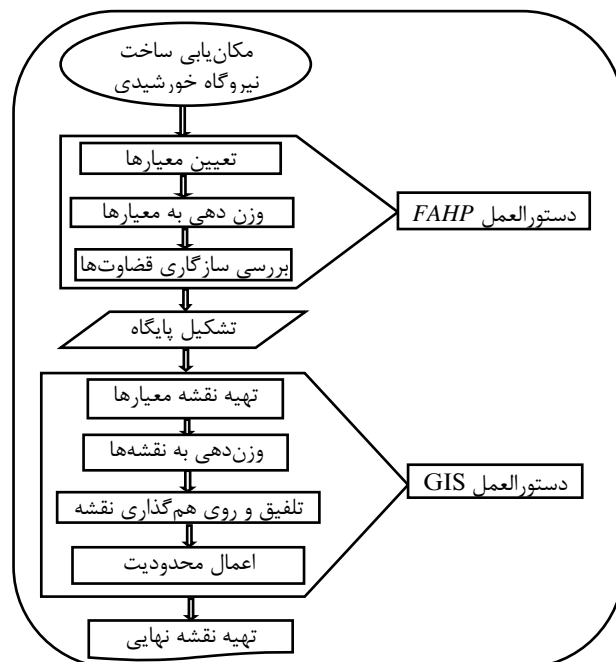
که در رابطه‌های ۱ و ۲، n؛ تعداد معیارها، R.I؛ شاخص سازگاری تصادفی، λ؛ میانگین حسابی، C.I؛ شاخص سازگاری و C.R.؛ نرخ ناسازگاری است.

جدول ۱. حدود معیارهای مورد استفاده برای حذف مناطق دارای محدودیت در منطقه سیستان

فاصله از شبکه انتقال نیرو	مناطق با فاصله کمتر از ۵۰۰ متر
فاصله از راه‌های ارتباطی	مناطق با فاصله کمتر از ۱۵۰۰ متر
فاصله از مناطق مسکونی	مناطق با فاصله کمتر از ۲۵۰۰ متر
فاصله از فرودگاه	مناطق با فاصله کمتر از ۳۰۰۰ متر
فاصله از مناطق حفاظت‌شده	مناطق با فاصله کمتر از ۱۰۰۰ متر
فاصله از منابع آب‌های سطحی	مناطق با فاصله کمتر از ۲۵۰ متر

جدول ۲. طبقات معیارهای مؤثر در پتانسیل‌سنجی نیروگاه‌های خورشیدی و میزان ارجحیت و امتیاز آنها در منطقه سیستان

ارجحیت و امتیاز				طبقه معیارهای مؤثر
نامناسب	نسبتاً مناسب	مناسب	بسیار مناسب	
۳۳۷۳ >	۳۳۷۴-۳۳۹۲	۳۳۹۳-۳۴۱۱	>۳۴۱۲	ساعات آفتابی (ساعت)
<۱۷/۸	۱۷/۸-۲۱	۲۱-۲۴/۳	>۲۴/۳	درجه حرارت (سانتی‌گراد)
>۱۳۰	۹۳-۱۳۰	۵۶-۹۳	<۵۶	تعداد روزهای گرد و غبار
>۲۳	۲۱-۲۳	۱۹-۲۱	<۱۹	تعداد روزهای ابری
۴۸-۵۷	۳۹-۴۸	۳۰-۳۹	۲۲-۳۰	تعداد روزهای بارانی
۱۳۰-۱۶۰	۹۷-۱۳۰	۶۴-۹۷	۳۱-۶۴	مجموع بارندگی سالانه (میلی‌متر)
۳۷-۳۹	۳۵-۳۷	۳۲-۳۵	۳۰-۳۲	رطوبت نسبی (درصد)
۲۵۰۰-۳۱۰۰	۳۱۰۰-۳۷۰۰	۳۷۰۰-۴۳۰۰	۴۳۰۰-۴۹۰۰	تبخیر (میلی‌متر)
۴۷۰-۹۰۰	۹۰۰-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۸۸۰	۱۸۸۰-۲۳۶۰	ارتفاع (متر)
۱۱- >۱۵	۷-۱۱	۳-۷	۰-۳	شیب (درصد)
۴۵۰۰ <	۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۴۵۰۰	-	فاصله شبکه انتقال نیرو (متر)
۴۵۰۰ <	۳۰۰۰-۴۵۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰	۵۰۰-۱۵۰۰	فاصله از راه‌های ارتباطی (متر)
۲۵۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۵۵۰۰	۵۵۰۰-۷۰۰۰	>۷۰۰۰	فاصله از مناطق مسکونی (متر)
۰-۱۰۰۰	-	۱۰۰۰ <	-	فاصله از مناطق حفاظت‌شده (متر)
۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰ <	-	فاصله از آب‌های سطحی (متر)



شکل ۲. فرآیند مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه سیستان

نتایج

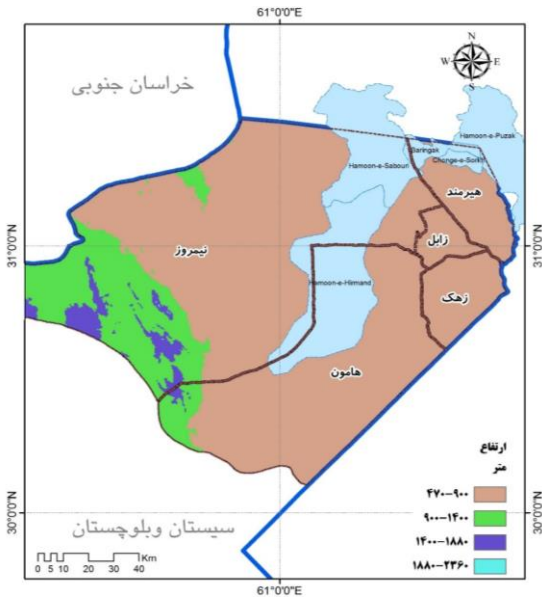
تعیین وزن معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در مکانیابی نیروگاه خورشیدی

نتایج مربوط به مساحت طبقات معیارهای مؤثر در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی نشان داد که از کل مساحت منطقه مورد مطالعه شامل ۱۶۲۰۷ کیلومتر مربع، به غیر از مناطق ممنوعه شامل فاصله از فرودگاه، فاصله از آثار باستانی، فاصله از شهر و روستا، ۱۵/۱۶٪ منطقه از شایستگی بسیار مناسبی از لحاظ ساعات آفتابی برخوردار است. همچنین حدود ۷/۱۲٪ از منطقه از نظر درجه حرارت شایستگی بسیار مناسبی برای استقرار نیروگاه خورشیدی دارد. از نظر ارتفاع نیز حدود ۲/۷٪ منطقه در طبقه مناسب برای احداث نیروگاه قرار گرفت (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسه زوجی معیارها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی نشان می‌دهد که در بین معیارهای مورد بررسی معیار آب و هوایی با وزن ۰/۴۴، دارای بیشترین وزن و معیار زیست‌محیطی

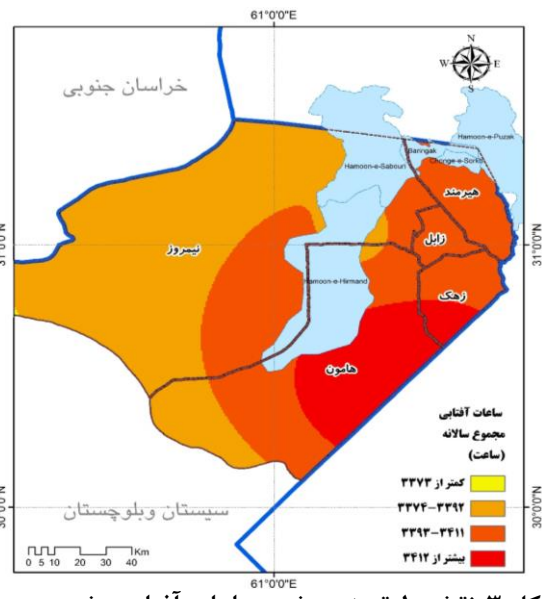
با وزن ۰/۰۶ دارای کمترین وزن است (جدول ۴). به عبارت دیگر، در منطقه سیستان معیارهای آب و هوایی و جغرافیایی دارای اهمیت بیشتر و معیارهای اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی دارای اهمیت کمتری در احداث نیروگاه خورشیدی هستند. نقشه‌ی طبقه‌بندی شده معیارهای مهم در ادامه آمده‌است (شکل ۳ تا ۶). مقایسه زوجی زیرمعیارها نیز نشان داد که از بین زیر معیارهای آب و هوایی، زیرمعیار ساعت آفتابی با وزن ۰/۵۵، از بین زیرمعیارهای جغرافیایی، زیر معیار ارتفاع با وزن ۰/۶۶، از بین زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی، زیرمعیار فاصله از راه‌های ارتباطی با وزن ۰/۴۲ و از زیر معیارهای زیست‌محیطی، زیرمعیار فاصله از مناطق حفاظت‌شده با وزن ۰/۶۶، از اهمیت بیشتری در پتانسیل-سنجی احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار هستند (جدول ۵ تا ۸). افزون بر این، با توجه به پایین بودن نرخ سازگاری‌ها، سازگاری مقایسات نیز مورد تأیید است.

جدول ۳. مساحت طبقات معیارهای مؤثر در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی و میزان ارجحیت و امتیاز آنها در منطقه سیستان

ارجحیت و امتیاز								طبقه معیارهای مؤثر
نامناسب		نسبتاً مناسب		مناسب		بسیار مناسب		
درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	
۱۶/۴۱	۲۶۵۹	۴۴	۷۱۳۲	۲۴/۴۳	۳۹۵۹	۱۵/۱۶	۲۴۵۷	ساعات آفتابی
۰	۰	۲۰/۵	۳۳۲۲	۷۲/۳۸	۱۱۷۳۰	۷/۱۲	۱۱۵۵	درجه حرارت
۵۴/۲۲	۸۷۸۷	۲۷/۹	۴۵۲۲	۱۷/۸۸	۲۸۹۸	۰	۰	تعداد روزهای گرد و غبار
۳۸/۳۳	۶۲۱۲/۱۴	۴۰/۹۶	۶۶۳۸/۴	۲۰/۷۱	۳۳۵۶/۴۶	۰	۰	تعداد روزهای ابری
۳/۵	۵۶۷/۳۴	۱۱/۲	۱۸۱۵/۱۸	۲۳/۴	۳۷۹۲/۴۳	۶۱/۹	۱۰۰۳۲/۱۵	تعداد روزهای بارانی
۰	۰	۱۷/۳۵	۲۸۱۱/۹۱	۳۲/۴	۵۲۵۱/۰۶	۵۰/۲۵	۸۱۴۳/۰۳	مجموع بارندگی
۴۸/۷	۷۸۹۲/۹۱	۲۷	۴۳۷۵/۸۹	۹/۶	۱۵۵۵/۸۷	۱۴/۷	۲۳۸۲/۴۲	رطوبت نسبی
۰	۰	۲۰/۸	۳۳۷۱/۰۵	۳۸/۱	۶۱۷۴/۸۶	۴۱/۱	۶۶۶۱/۰۹	تبخیر
۸۲/۳	۱۳۳۳۸	۱۵	۲۴۳۱	۲/۷	۴۳۸	۰	۰	ارتفاع
۱/۸۶	۱۹۰/۸۱	۲/۹۶	۳۰۴۰/۰۶	۸/۹۰	۹۱۳/۸۱	۸۶/۲۸	۸۸۵۸/۵۶	جغرافیایی شیب
-	-	۹۲/۷۰	۹۵۱۷/۵	۷/۳۰	۷۴۹/۷۵	-	-	فاصله شبکه انتقال نیرو
۲/۲۰	۲۲۵/۵	۵۶/۱۰	۵۷۶۰	۲۹/۶۱	۳۰۴۰	۱۲/۰۹	۱۲۴۱/۷۵	اجتماعی فاصله از راه‌های ارتباطی
۰/۵۳	۵۴/۷۵	۰/۴۵	۴۶/۵	۰/۴۱	۴۲/۵	۹۸/۶۰	۱۰۱۲۳/۵	فاصله از مناطق مسکونی
۲/۶۸	۱۷۵	-	-	۹۷/۳۲	۹۹۹۲/۲۵	-	-	زیست- فاصله از مناطق حفاظت‌شده
-	-	۰/۰۴	۵	۱/۰۳	۱۰۶	۹۸/۹۳	۱۰۱۵۶/۲۵	محیطی فاصله از آب‌های سطحی



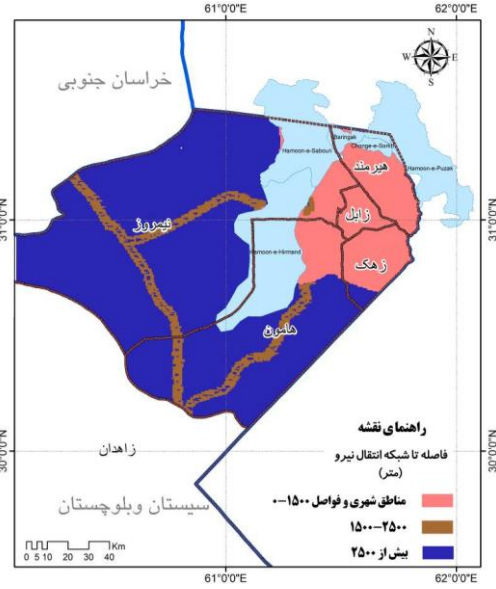
شکل ۴. نقشه طبقه‌بندی‌شده ارتفاع دشت سیستان



شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی شده ساعات آفتابی دشت سیستان ۱۳۷۵-۱۳۹۵



شکل ۶. نقشه طبقه‌بندی‌شده فاصله از مناطق حفاظت‌شده دشت سیستان



شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی‌شده نزدیکی به شبکه انتقال نیرو دشت سیستان

جدول ۴. مقایسه زوجی معیارهای اصلی در پتانسیل‌سنجی ساخت نیروگاه خورشیدی در منطقه سیستان

معیارهای مؤثر در پتانسیل‌سنجی	آب و هوایی	جغرافیایی	اقتصادی-اجتماعی	زیست‌محیطی	وزن
آب و هوایی	۱	۷	۷	۳	۰/۴۴
جغرافیایی	-	۱	۵	۳	۰/۲۸
اقتصادی-اجتماعی	-	-	۱	۵	۰/۲۰
زیست‌محیطی	-	-	-	۱	۰/۰۶

نرخ ناسازگاری ۰/۰۹

جدول ۵. مقایسه زوجی زیرمعیارهای آب و هوایی در پتانسیل سنجی ساخت نیروگاه خورشیدی در منطقه سیستان

شاخص آب و هوایی	ساعات آفتابی	درجه حرارت	تعداد روزهای گرد و غبار	تعداد روزهای ابری	تعداد روزهای بارانی	مجموع بارندگی سالانه	رطوبت نسبی	تبخیر	وزن
ساعات آفتابی	۱	۸	۵	۵	۶	۵	۷	۷	۰/۵۵
درجه حرارت	-	۱	۷	۶	۵	۴	۳	۳	۰/۴۸
تعداد روزهای گرد و غبار	-	-	۱	۷	۵	۴	۴	۴	۰/۴۲
تعداد روزهای ابری	-	-	-	۱	۵	۴	۵	۵	۰/۳۸
تعداد روزهای بارانی	-	-	-	-	۱	۳	۲	۲	۰/۳۲
مجموع بارندگی سالانه	-	-	-	-	-	۱	۳	۳	۰/۲۸
رطوبت نسبی	-	-	-	-	-	-	۱	۳	۰/۲۵
تبخیر	-	-	-	-	-	-	-	۱	۰/۲۲

نرخ ناسازگاری ۰/۰۲

جدول ۶. مقایسه زوجی زیرمعیارهای جغرافیایی در پتانسیل سنجی ساخت نیروگاه خورشیدی در منطقه سیستان

شاخص جغرافیایی	ارتفاع	شیب	وزن
ارتفاع	۱	۷	۰/۶۶
شیب	-	۱	۰/۳۳

نرخ ناسازگاری ۰/۰۰

جدول ۷. مقایسه زوجی زیرمعیارهای اقتصادی - اجتماعی در پتانسیل سنجی ساخت نیروگاه خورشیدی در منطقه سیستان

شاخص اقتصادی - اجتماعی	فاصله از راه های ارتباطی	نزدیکی به شبکه انتقال نیرو	فاصله از مناطق مسکونی	وزن
فاصله از راه های ارتباطی	۱	۷	۷	۰/۴۲
نزدیکی به شبکه انتقال نیرو	-	۱	۷	۰/۴۲
فاصله از مناطق مسکونی	-	-	۱	۰/۰۷

نرخ ناسازگاری ۰/۰۵

جدول ۸. مقایسه زوجی زیرمعیارهای زیست - محیطی در پتانسیل سنجی ساخت نیروگاه خورشیدی در منطقه سیستان

شاخص محیط زیستی	فاصله از مناطق حفاظت شده	فاصله از منابع آب سطحی	وزن
فاصله از مناطق حفاظت شده	۱	۳	۰/۶۶
فاصله از منابع آب های سطحی	-	۱	۰/۳۳

نرخ ناسازگاری ۰/۰۵

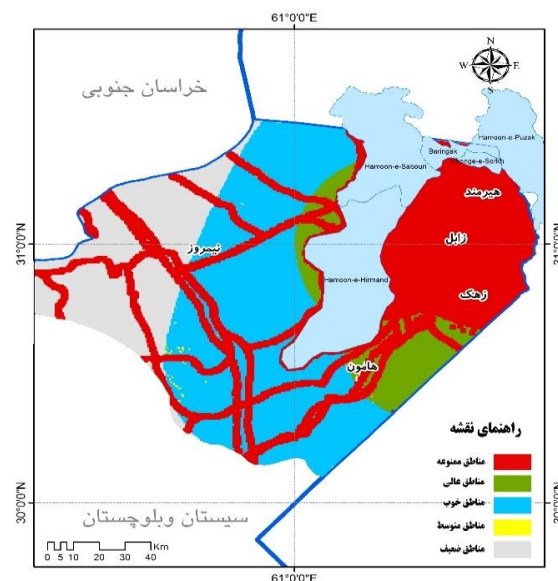
شد (شکل ۷). بر اساس نتایج پژوهش حاضر حدود ۴۵ درصد از کل مساحت منطقه سیستان دارای تناسب خوب و حدود ۱۸ درصد منطقه از تناسب ضعیفی برای احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار است (جدول ۹). نتایج همچنین نشان می دهد که مناطق مجاز برای احداث نیروگاه های خورشیدی در محدوده های جنوبی شهرستان های زهک و هامون و بخش های شرقی شهرستان نیمروز و مناطق با تناسب پایین در محدوده ی بندان و سفیدآبه در اطراف دشت سیستان قرار گرفته است (شکل ۷).

نقشه نهایی تناسب برای احداث نیروگاه های خورشیدی پس از تعیین معیارهای مؤثر در مکان یابی نیروگاه های خورشیدی و به دست آوردن وزن معیارها و زیرمعیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و تجزیه و تحلیل نقشه معیارهای مؤثر در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه مکان های مناسب و اولویت بندی مناطق برای احداث نیروگاه های خورشیدی تهیه شد. در مرحله بعد، نقشه حاصله در پنج طبقه شامل مناطق ممنوعه و مناطق دارای تناسب عالی، خوب، متوسط و ضعیف طبقه بندی



جدول ۹. مشخصات نقشه نهایی تناسب اراضی برای احداث نیروگاه خورشیدی در منطقه سیستان

محدوده	ردیف	طبقه	مساحت برحسب کیلومتر	درصد از دشت سیستان
کل منطقه	-	ممنوعه	۵۹۴۱	۳۶/۶۵
	۱	ضعیف	۲۹۰۱	۱۷/۹
	۲	متوسط	۷۹/۸۲	۰/۴۹
	۳	خوب	۵۹۲۵	۳۶/۵۶
	۴	عالی	۱۳۶۱	۸/۴
مساحت کل	-	-	۱۶۲۰۷	۱۰۰



شکل ۷. نقشه نهایی تناسب مناطق مختلف برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در منطقه سیستان

## ■ بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شناسایی عوامل دارای تأثیر بیشتر و تعیین شایستگی مناطق مختلف دشت سیستان به‌منظور استقرار نیروگاه خورشیدی استفاده شد. نتایج مقایسه زوجی معیارها و شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های ساعت آفتابی و درجه حرارت از بین معیارهای آب و هوایی، شاخص ارتفاع از معیار جغرافیایی، شاخص‌های فاصله از راه‌های ارتباطی و نزدیکی به شبکه انتقال نیرو از معیارهای اقتصادی - اجتماعی و شاخص فاصله از مناطق حفاظت‌شده از معیار محیط زیستی دارای اهمیت بیشتری در پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه خورشیدی در منطقه سیستان هستند.

افزون بر این، تهیه نقشه تناسب مناطق مختلف دشت سیستان بر اساس وزن شاخص‌های مؤثر نشان داد که حدود

۴۵ درصد از کل منطقه مورد مطالعه که به‌طور غالب در قسمت جنوبی شهرستان‌های زهک و هامون و بخش‌های شرقی شهرستان نیمروز واقع شده‌است، دارای شایستگی بیشتری برای استقرار نیروگاه خورشیدی است. بازدیدهای میدانی انجام‌شده و شرایط منطقه مورد مطالعه از نظر عوامل مؤثر نیز تناسب این مناطق را برای احداث نیروگاه تأیید می‌نماید.

با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت که روش مقایسه زوجی که در پژوهش حاضر برای تعیین وزن معیارها و شناسایی شاخص‌های مؤثر مورد استفاده قرار گرفت، روش مناسبی برای تعیین وزن معیارها بوده و کاربرد آن در محیط فازی موجب افزایش قابلیت این روش شده است. در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی ارزش‌گذاری معیارها به شکل منطقی و به‌صورت مقایسه زوجی بین چندمعیار انجام می‌شود و میزان سازگاری و ناسازگاری قضاوت‌ها نیز بررسی

می‌شود (۱۴). این ویژگی موجب می‌شود که این روش نسبت به روش‌های دیگر مانند تاپسیس و SAW در مکان-یابی دقیق‌تر باشد (۱۹). محققین دیگری نیز از این روش برای مطالعات مکان‌یابی استفاده و این روش را به‌عنوان روشی مناسب برای وزن‌دهی و ارزش‌گذاری لایه‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و یافتن مکان‌های بهینه در مطالعات مکان‌یابی معرفی کرده‌اند (۲۶، ۲۸، ۲۹، ۳۳، ۳). افزون بر این، کاربرد سیستم تصمیم‌گیری فازی چند معیاره مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی در انتخاب محل مناسب برای احداث نیروگاه بادی در جنوب شرقی اسپانیا نیز نشان داد که این روش، قابلیت بالایی در شناسایی تناسب مناطق داشته و قسمت‌های شرقی منطقه مورد مطالعه از شایستگی بالایی برای احداث نیروگاه برخوردار است (۳۱). همچنین از این روش در استان‌های فارس، کرمان، ایلام و هرمزگان برای شناسایی مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی و در استان‌های کرمانشاه، اردبیل، کرمان و بوشهر برای مکان‌یابی احداث نیروگاه بادی استفاده شده‌است و نتایج مطلوبی حاصل شده‌است (۲۳، ۸، ۲۹، ۳۳). لازم به‌ذکر است که تصمیم‌گیری صحیح در مورد انتخاب مکان مناسب برای استقرار نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه نیروگاه‌های خورشیدی مستلزم در نظر گرفتن عوامل متعددی است که بهره‌گیری از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، به‌عنوان روشی مناسب برای مدلسازی داده‌های مکانی، در کنار یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی، تحقق این مهم را تسهیل می‌سازد (۳).

مقایسه زوجی شاخص‌های مؤثر در پتانسیل‌سنجی نیروگاه‌های خورشیدی نشان داد که از بین معیارهای آب و- هوایی شاخص‌های ساعات آفتابی و درجه حرارت دارای اهمیت بیشتری بوده و وزن بیشتری را به خود اختصاص داده‌است. در واقع هرچه مجموع ساعات آفتابی بیشتر باشد، میزان دریافت انرژی خورشیدی در یک منطقه بیشتر و در نتیجه نصب صفحات خورشیدی در آن منطقه بهتر است. همسو با یافته پژوهش حاضر گزارش شده‌است که پارامترهای اقلیمی مانند ساعات آفتابی و درجه حرارت، به-عنوان تابعی از میزان تابش خورشید، مهمترین پمتغیرها در بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و ساخت نیروگاه خورشیدی

است و در تعیین شایستگی مناطق برای استقرار نیروگاه خورشیدی از اهمیت بالایی برخوردار هستند (۳، ۱۰، ۱۳، ۲۴). با توجه به این نکته مهم گزارش شده‌است که منطقه سیستان، علی‌رغم وجود ذرات گرد و غبار که ممکن است میزان ورود اشعه خورشید به صفحات خورشیدی را کاهش دهد، به‌دلیل وجود گرمای زیاد و مقدار زیادی تابش خورشید، از نظر این عامل از شایستگی زیادی برخوردار است (۲۹). یکی دیگر از معیارهای مهم و تأثیرگذار در تعیین مکان بهینه برای احداث نیروگاه خورشیدی در منطقه سیستان، ارتفاع است. مناطقی با ارتفاع زیاد به‌دلیل داشتن ترکیبات جوی کمتری و در نتیجه رقیق‌تر بودن جو، مستعد دریافت انرژی خورشیدی بالاتری هستند و در نتیجه شایستگی بیشتری برای ساخت نیروگاه خورشیدی دارند. در مطالعه‌ای مشابه که در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفته نیز ارتفاع به‌عنوان یک عامل مهم در استقرار نیروگاه-های خورشیدی معرفی شده‌است (۲۴). نتایج همچنین نشان داد که زیرمعیارهای فاصله از راه‌های ارتباطی و نزدیکی به شبکه انتقال نیرو از دیگر زیرمعیارهای مؤثر در تعیین تناسب مناطق برای احداث نیروگاه خورشیدی هستند. برای انتقال برق حاصل از تولید نیروگاه خورشیدی به شبکه‌های انتقال نیرو و حمل تجهیزات و با رعایت فواصل محدودیت نسبت به راه‌های ارتباطی و خطوط انتقال نیرو لازم است فاصله‌ای مناسب برای ساخت نیروگاه لحاظ گردد. همسو با یافته پژوهش حاضر، اهمیت رعایت فواصل از راه-های ارتباطی و همچنین نزدیکی به شبکه انتقال نیرو در احداث نیروگاه خورشیدی در پژوهش‌های مشابه که در استان‌های کرمان و هرمزگان انجام شده‌است نیز مورد تأکید قرار گرفته‌است (۲۹ و ۲۶). افزون بر این، در راستای یافته پژوهش حاضر، عامل نزدیکی به راه‌های ارتباطی به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل مؤثر در احداث نیروگاه خورشیدی در کشور عمان معرفی شده است (۹).

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، شاخص فاصله از مناطق حفاظت‌شده وزن بیشتری را نسبت به فاصله از آب‌های سطحی به خود اختصاص داد. معیارهای محیط‌زیستی یکی از عوامل مهم در مکان‌یابی احداث نیروگاه‌ها به‌شمار می‌آیند. از این رو توجه به مسائل محیط‌زیستی به‌ویژه وجود پرندگان بومی و مهاجر، مناطق حفاظت‌شده، آلودگی صوتی

منطقه مدنظر قرار گیرد. هر چند به‌منظور اطمینان از نتایج حاصل از این روش پیشنهاد می‌گردد که از دیگر روش‌های مورد استفاده در مطالعات مکان‌یابی مانند روش‌های تاپسیس و الگوریتم ژنتیک برای شناخت متغیرهای مهم و تعیین تناسب اراضی استفاده شود و پس از مقایسه نتایج حاصل با یکدیگر، روش‌های دقیق‌تر برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر، استفاده از روش‌های مختلف برای گزینش متغیرهای مؤثرتر نیز می‌تواند یکی دیگر از زمینه‌های پژوهش‌های آتی باشد و با تولید نتایج دقیق‌تر، اجرای طرح‌های احداث نیروگاه‌های خورشیدی را در مناطق مختلف تسهیل سازد. در پایان با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود منطقه سیستان به‌عنوان منطقه ویژه مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته شود تا از طریق توسعه استفاده از این انرژی‌ها در منطقه، علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز منطقه و ایجاد اشتغال برای ساکنان محلی، زمینه صادرات انرژی به کشورهای همسایه نظیر افغانستان و پاکستان نیز فراهم شود. بدیهی است که تحقق این مهم می‌تواند توسعه اقتصادی منطقه و افزایش ماندگاری مردم را در منطقه مرزی سیستان را به همراه داشته باشد.

#### ■ سپاسگزاری

این مقاله مرتبط با طرح پژوهشی شماره PR-UOZ97-4 و شماره گزینش: UOZ-GR-9517-24 است که با حمایت مالی دانشگاه زابل انجام شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه زابل سپاسگزاری می‌شود.

و برهم خوردن زیست‌بوم‌ها در مکان‌یابی نیروگاه‌ها در حال حاضر یکی از مهم‌ترین اهداف پژوهشی در ایران و جهان است. با توجه به دلایل ذکر شده، ضروری است که نیروگاه‌ها از این پهنه‌های آبی فاصله لازم را داشته باشد. در تأیید یافته این پژوهش، گزارش شده‌است که در مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، از معیارهای زیست‌محیطی، معیار فاصله از مناطق حفاظت‌شده، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و از اهمیت بیشتری برخوردار است (۱۲). از سوی دیگر، توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس محلی به‌عنوان یک عامل تسهیل‌کننده سیاست‌های محیط‌زیستی معرفی شده است (۳۵).

به‌طور کلی، بر اساس نتایج پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که مجموعه‌ای از عوامل در تعیین مکان‌های بهینه برای استقرار نیروگاه خورشیدی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین ضروری است برای انتخاب مکان‌های بهینه، با استفاده از روش‌های مناسب و دقیق، اقدام به شناسایی عوامل دارای وزن بیشتر و همچنین شناسایی مناطق دارای شایستگی بالاتر کرد. بر اساس نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، زیرمعیارهای ساعات آفتابی، درجه حرارت و ارتفاع، فاصله از راه‌های ارتباطی و نزدیکی به شبکه انتقال نیرو و فاصله از مناطق حفاظت‌شده به‌عنوان معیارهای مهم‌تر در احداث نیروگاه خورشیدی در منطقه سیستان شناسایی شد. افزون بر این، نتایج گویای آن است که حدود ۴۵ درصد از منطقه مورد مطالعه، در محدوده‌ی جنوبی شهرستان زهک و شهرستان هامون و بخش‌های شرقی شهرستان نیمروز، از شایستگی بیشتری برای احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار هستند که این مورد باید در طرح‌های توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در این

#### ■ References

1. Afshari Pour, S.K., Hamzeh, S., & Neysani Samany, N. (2017). Site selection of solar power plant using GIS-Fuzzy DEMATEL model: A case study of Bam and Jiroft cities of Kerman Province in Iran, *Solar Energy Research*, 2 (4), 323-328 (in Farsi).
2. Ahmad Pour, A. (2015). Introducing a variety of renewable energies and examination of its advantages utilization. 6<sup>th</sup> Conference on Renewable, clean and Efficient Energy. 17-36 (in Farsi).
3. Ahmadi, H., Morshedi, J., & Azimi, F. (2016). Site selection of solar power plant using climatic data and geospatial information system (Case study: Ilam Province), *RS & GIS Techniques for Natural Resources*, 7 (1), 41-56 (in Farsi).

4. 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.
5. Alavi, A., & Baghbani, A. (2014). Investigating the effective factors on the wind power plant potential in Zabol city and computing its profitability, *6<sup>th</sup> Conference on Renewable, Clean and Efficient Energy 5*, 31-46 (in Farsi).
6. Alijani, B., & Kaviani, M.R. (2004). Meteorological principles. SAMT publication, (in Farsi).
7. Asadi, M., Entezari, A. (2013). Identification of fields and navigation of wind power plants in the northeast of Iran using AHP method and geographic information system. *Geographic Research*, 3, 67-84 (in Farsi).
8. Azizi, A., Jafari, H., Malek Mohammadi, B., & Khosh Akhlagh, F. (2014). Placing wind power plants using fuzzy hierarchy analysis and network analysis in Ardebil province. *Applied Research on Geographic Sciences* 14 (34), 194-174 (in Farsi).
9. Charabi, A., Gastli, Y. (2011). PV site suitability analysis, using GISbased spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36, 2554-2561.
10. Dawson, S., & Lucas, P. (2012). Less is more: Strategic scale site suitability for concentrated solar thermal power in Western Australia. *Energy Policy*, 47, 91-101.
11. Edenhofer Madrugá, R.P., Sokona, Y., & Seyboth, K. (2011). IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Prepared by working group III of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University press, Cambridge, UK.
12. Georgiou, A., & Skarlatos, D. (2016). Optimal site selection for sitting a solar park using multi-criteria decision analysis and geographical information systems. *Geoscientific instrumentation, methods and data Systems*, 5(2), 321-332.
13. Gorji, M., Khoshnod, S., Omrani, H., & Hashemi, M. (2017). Site selection suitable areas for solar power plants under the influence of climatic factors using FAHP method (Case study: Fars province), *Rs and GIS for Natural Resources*, 8(1), 66-85 (in Farsi).
14. Habibi, A., Ezadyar, S., & Sarafrazi, A. (2015). Fuzzy multi-criteria decision making. Gil publication, 171 pages (in Farsi).
15. Heydari, M. (2004). Locating the construction of solar power plants in Iran, oil and energy, 49-38.
16. Karimi, M. (2008). Optimal site selection of thermal power plants construction using GIS. Approved research projects, Khaje Nasir al-Din Toosi University of Technology, 132 pages (in Farsi).
17. Kaya, T., & Kahraman, C. (2011). Multi criteria decision making in energy planning using a modified Fuzzy TOPSIS methodology, *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6577-6585.
18. Maghsoudi, A. (2006). Placement of solar power plants using multiple analysis method, MSc thesis. Faculty of industrial engineering, University of Tehran, 104 page (in Farsi).
19. Mahtabi Ughani, M., Najafi, A., & Yunesi, H. (2013). Comparison of TOPSIS and AHP ability in site selection municipal (solid wastes disposal) Case study: Karaj landfill site selection, *Health and environment*, 6 (3), 341-352 (in Farsi).
20. Minaei, M. (2009). Implementation of agricultural planning model using fuzzy logic and geographic information system (Case study: Fereidoun shahr). MSc thesis, faculty of geography, Tehran University, 146 page (in Farsi).
21. Mirhosseini, M., Sharifi, F., & Sedaghat, A. (2011). Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 449-459 (in Farsi).

22. Mohammadi, H., Rostami Jalilian., Sh., Taghavi, F., & Shamsipour, A. (2012). Evaluation of wind energy potential in Kermanshah province, 44 (2), 19-32 (in Farsi).
23. Morshedi, J., Borna, R., Asghari Pour Dasht Bozorg., A., Ahmadi, H., & Zaheri Abdehvand, Z. (2011). The location of wind power plants using the analytical hierarchy process (AHP) in the GIS environment. *Remote Sensing and Geographic Information Systems in Planning*. 1 (2), 97-111 (in Farsi).
24. Movaqqari, A., & Tavousi, T. (2013). Zoning feasibility and potential locations for the deployment of solar panels based on climatic variables in Sistan and Baluchestan. *Quarterly journal of energy policy and planning research*. 1 (1), 99-114 (in Farsi).
25. Nasiri, M. (2012). Assessment of solar energy in desert areas of Iran, first national symposium on desert, *Center of International Research on the Desertification*, 13(2), 3-20 (in Farsi).
26. Nohegar, A., Kamangar, M., Karami, P., & Ahmadi Doost, B. (2016). Locating sustainable energy power plant through TOPSIS decision making procedure. *Environmental based territorial planning*, 33, 25-44 (in Farsi).
27. Rashid Zadeh, M., Shams, M. H., Sheykh, A.H., & Khademi Nedoshan, P. (2012). Investigation of climatic potential and solar radiation for the construction of a photovoltaic power plant in Hjeljerd region, 2<sup>th</sup> National conference on wind and sun energy, *Kimia Energy*, 2(5), 16-31 (in Farsi).
28. Razmi, J., Hakimi Asl, A., Nasrollahi, M., Hakimi Asl, M., 2015. Evaluation of wind power plant establishment in five Metropolitan cities of Iran using fuzzy hierarchical analysis method, *Industrial technology development quarterly*, 23, 20-38 (in Farsi).
29. Sadeqi, Z., Dalalbashi Esfahani, Z., Horri. H.R. (2013). Prioritize the factors affecting the location of renewable energy plants (solar and wind energy) in Kerman province using GIS and multi-criteria decision-making techniques. *Quarterly journal of energy policy and planning research ministry of energy*, 1(2), 93-110 (in Farsi).
30. Sahragard, N., arianejad, H., & kamangar. M. (2016). Locating solar thermal power plant to provide a sustainable energy using fuzzy logic, *Energy*, 19(1), 137-152 (in Farsi).
31. Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales ,M.S., & Lamata, M.T. (2016). GIS-based onshore wind farm site selection using fuzzy multi-criteria decision making methods, evaluating the case of southeastern Spain, *Landscape and Urban Planning*, 10(3), 86-102.
32. Sargolzaei, S. (2009). The role of geological-environmental parameters in the development of ancient and modern Sistan residential settlements. MSc thesis in geo-environmental sciences, Ferdowsi University, Mashhad (in Farsi).
33. Tabatabaei, T., & Amiri, F., (2015). Wind farm site selection based on geospatial multi-criteria and analytical hierarchy process (AHP) (Case study: Bushehr province), *RS and GIS for Natural Resources*, 6(1), 1-16 (in Farsi).
34. Yuan, D., Lin, B., & Falconer, R.A. (2007). A modelling study of residence time in a Macro-tidal estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 71(3), 401-411.
35. Yue, C., & Wang, S. (2006). GIS-Based Evaluation of Multifarious Local Renewable Energy Sources: A Case Study of the Chigu Area of Southwestern Taiwan, *Energy Policy*, 34, 730-742.

## **Site Suitability Analysis for Solar Power Plant Establishment Using Multi-Criteria Decision-Making Methods (Case Study: Arid Region of Sistan)**

H. Piri Sahragard<sup>1\*</sup>, M. Amiri<sup>2</sup>, S. Tanakian<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Water and Soil Faculty, Range and Watershed Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
  2. Academic Staff, Hamoun International Wetland Research Institute, University of Zabol, Zabol, Iran.
  3. MSc Graduated, Combating of Desertification, Range and Watershed Department, Water and Soil Faculty, University of Zabol, Zabol, Iran.
- \* Corresponding Author: [hopiry@uoz.ac.ir](mailto:hopiry@uoz.ac.ir)

Received date: 10/06/2018

Accepted date: 24/09/2018

### **Abstract**

Identification of suitable sites for solar power plant establishment in arid regions is very important for using high potential solar energy. This study aimed to identify more important factors influencing site selection for solar power plant establishment and to determine highly suitable sites to establish solar power plants in Sistan region. Influencing factors on site selection were selected based on experts' opinion using Analytic Hierarchy Process (AHP) with regard to climatic, geographic, socio-economic and environmental variables. Paired comparison of criteria and sub-criteria was performed using fuzzy analytic hierarchy process to determine the weight of each criteria. After preparing of the layers of criteria using GIS techniques, weights of criteria were multiplied in their corresponding layer. Finally, site suitability map for solar power plant establishment in Sistan region was prepared at five classes through overlaying of layers. Based on results, 4.8 percent of Sistan region, which is located in the southern part of Zahak and Hamoun cities and eastern parts of Nimrouz city, has an excellent suitability for solar power plants establishment. In addition, 36.6% of the study area has a good suitability, 0.5% has a moderate suitability and 18%, which is located in Bandan and Sefidabeh areas, has a poor suitability for solar power plants. Furthermore, sunny hours, temperature and elevation parameters because of having more weight, were identified as the most important criteria. Results indicated that about 45% of Sistan region has high suitability for solar power plants establishment. Therefore, the investment risk of the solar power plants in Sistan region is low. Maximum utilization of solar energy can provide a favorable condition for economic development and increasing the survival of people in Sistan region.

**Keywords:** Solar energy; Land suitability; Paired comparison; Overlay; Economic development