دوفصلنامه
مطالعات بین‌رشته‌ای
در تعالی معماری و شهرسازی

دوره ۳، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳
DOI: 10.71882/jisaud.2024.1121630

مکان‌یابی پهنه‌های مستعد نیروگاه خورشیدی با رویکرد بهره‌وری از انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از روش MARCOS-IHWP (نمونهٔ موردی: محلات اسلام‌آباد و شیرودی شهر تنکابن)

فرشاد رفیع‌پور[۱] مریم خستو*[۲] وحید بیگدلی راد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه ۱۱۳ تا ۱۲۹

چکیده

توجه به منابع تجدیدپذیر انرژی که جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی تجدیدناپذیر هستند، سبب شده است که جوامع به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر، نظیر انرژی خورشیدی سوق پیدا کنند. هدف از این پژوهش مکان‌یابی مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی در محلات اسلام‌آباد و شیرودی شهر تنکابن است. نوع تحقیق حاضر، کاربردی و روش تحقیق توصیفی – تحلیلی بوده و جامعه آماری تحقیق سی نفر از کارشناسان حوزهٔ مرتبط که با استفاده از فرمول کوکران تعداد ۲۸ نفر به‌عنوان نمونهٔ آماری انتخاب شدند. روش‌های گردآوری اطلاعات شامل؛ پرسش‌نامه، مشاهده میدانی و مطالعات اسنادی بوده و روش تجزیه‌وتحلیل اطلاعات نیز در بخش مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی روش IHWP (تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس) در نرم‌افزار GIS و در بخش رتبه‌بندی نقاط نهایی احداث نیروگاه خورشیدی، روش MARCOS (سنجش و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس راه‌حل) در نرم‌افزار Excel است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد برای استقرار نیروگاه خورشیدی ۲۶ درصد مساحت شهر در پهنهٔ خیلی نامناسب، ۲۳ درصد پهنهٔ نامناسب، ۲۰درصد نسبتاً مناسب، ۲۰ درصد مناسب و ۱۱ درصد در پهنه کاملاً مناسب که بیشتر در بخش مرکزی شهر است، قرار دارد. همچنین محلهٔ اسلام‌آباد از استعداد بیشتری در احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار است. محلهٔ اسلام‌آباد ۷۲٫۸۸ درصد بیشتر در محدودهٔ مرکزی و محلهٔ شیرودی ۲۷٫۱۱ درصد بیشتر در محدودهٔ جنوبی دارای پهنهٔ مطلوب برای احداث نیروگاه خورشیدی است. کُد شناسایی ۵۴ در محلهٔ شیرودی در رتبه اول، کُد شناسایی ۲۶ و ۲۷ (محلهٔ اسلام‌آباد) در رتبه دوم، کُد شناسایی ۵۷ (محلهٔ شیرودی) در رتبه سوم، کُد شناسایی ۵۰ و ۵۱ (محلهٔ اسلام‌آباد) در رتبه چهارم، کُد شناسایی ۱ و ۲ (محلهٔ اسلام‌آباد) در رتبه پنجم و کُد شناسایی ۱۰ (محلهٔ شیرودی) در رتبه ششم هستند.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی، نیروگاه خورشیدی، تنکابن، روش IHWP، روش MARCOS

[۱] دانشجوی دکتری شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
[۲] استادیار دانشکده هنر و معماری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. (نویسنده مسئول) khastou@qiau.ac.ir
[۳] دانشیار دانشکده هنر و معماری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

۱. مقدمه

انرژی از عوامل اصلی رشد اقتصادی کشورها بوده و یکی از شروط توسعهٔ جوامع استفاده بهینه از انرژی است و در مقابل کشورهایی که بهرهٔ کمتری از انرژی دارند در زمرهٔ جوامع فقیر محسوب می‌شوند (Khajavi Pour, Shahraki & Hosseinzadeh Saljooghi,2021,30). ضرورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، تقاضا برای انرژی خورشیدی را افزایش داده و در واقع منابع تجدیدپذیر انرژی جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی تجدیدناپذیر بوده و سبب شده است که جوامع به سمت انرژی‌هایی نظیر انرژی خورشیدی سوق پیدا نماید (Wei, Islam, Hasanuzzaman, & Cuce,2024,345). باتوجه‌به نیاز جوامع به انرژی الکتریکی، روش‌های مختلفی برای تولید این انرژی با حداقل آلودگی‌های زیست‌محیطی وجود دارد که انرژی خورشیدی یکی از این موارد است (Shah Porun Rena & Moniruzzaman,2023,241). این انرژی در قیاس با سایر منابع، یکی از مهم‌ترین، در دسترس‌ترین و پاک‌ترین منابع بوده و برای بهره‌مندی از آن نیاز به فناوری خیلی پیشرفته و گران نیست (Subbian,2023,98)؛ و همچنین مطالعه عملکرد حرارتی در شهرها از موضوعات مهمی است که از اهداف اصلی آن کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار کربن و توسعهٔ منابع انرژی پایدار است (Alghoul, Rijabo & Mashena,2017,85). امروزه با توسعه فناوری‌ها و ارادهٔ سیاسی کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه و همچنین توجه به موضوع تاب‌آوری، توسعهٔ پایدار و چالش‌های موجود در بحران انرژی و تخریب محیط‌زیست، تعیین پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر جنبهٔ اساسی در سیاست‌های انرژی و تحولات مقررات دارد و طراحی و توسعهٔ شهرها در راستای کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی، کاهش کربن و ردپای اکولوژیکی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر موردتوجه و برنامه‌ریزی قرار گرفته است (Nandini K, Jayalakshmi & Vinay Kumar,2024,146).

نیازهای انرژی بسته به اقلیم، فناوری‌های انرژی و شکل شهری متفاوت است، ازاین‌رو جانمایی سلول‌های خورشیدی بر مصرف انرژی اثر دارد (Ahmadian, Sodagar, Bingham, Elnokaly & Mills,2021,115). در واقع مکان‌هایی هستند که به طور بالقوه می‌توان با بهره‌وری و استفاده صحیح از ابزارها، منابع و فناوری‌های نوین مانند نرم‌افزار GIS[1] (سیستم اطلاعات جغرافیایی)، سطح پایداری مکان‌های مستعد را از طریق مؤلفه‌ها و شاخص‌های موجود ارتقا داد (Sahin, Akkus, Koc & van Sark,2024,218). امروزه سیستم اطلاعات جغرافیایی، به‌عنوان یک فناوری برتر و کارآمد بوده که امکان تحلیل‌های فضایی را تسهیل می‌نماید (Hassaan, Hassan & Al-Dashti,2021,60). از طرفی در بسیاری از مسائل برنامه‌ریزی شهری و مدیریت فضایی، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS مورداستفاده قرار می‌گیرد (Zhang, Yu, Wu, Du, Zhang & Xiao,2024,510).

کشور ایران باوجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم آن و متوسط تابش ۵٫۵ – ۴٫۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه‌ی انرژی خورشیدی است (رضائی، حسینعلی و شریفی،۱۳۹۸،۱۶۳). شهر تنکابن واقع درغرب استان مازندران با تأکید بر محلات شیرودی در شمال و اسلام‌آباد در جنوب شهر با ۸۰۰ ساعت آفتابی در سال از محلاتی هستند که ظرفیت‌های لازم در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، منطبق بر شرایط اقلیمی را دارا است. با نگاهی به این محلات و موقعیت جغرافیایی آن بنظر می‌رسد تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی، می‌تواند در بهره‌وری از انرژی خورشیدی نقش مؤثری ایفا نماید که این امر مستلزم. مکان‌یابی صحیح پهنه‌های مستعد جهت ایجاد نیروگاه خورشیدی و پنل‌های فتوولتائیک[2] است.

ضرورت وجود یک الگوی بهینه جهت مکان‌یابی و توسعهٔ استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی باعث شده است در این تحقیق، هدف اصلی مکان‌یابی پهنه‌های مستعد احداث نیروگاه خورشیدی و پنل‌های فتوولتائیک در نمونهٔ موردی باشد که علاوه بر تأمین برق موردنیاز، باعث کاهش آلودگی زیست‌محیطی می‌شود. پرسش اصلی تحقیق به‌قرار زیر است:

کدام مکان‌ها در محلات موردمطالعه مستعد برای جانمایی نیروگاه خورشیدی و پنل‌های فتوولتائیک هستند؟

۲. پیشینه تحقیق

در مورد موضوع تحقیق، مطالعات مختلفی انجام شده است که در ادامه به چند مورد از پیشینه داخلی و خارجی اشاره می‌شود:

زنگنه و همکاران (۲۵،۱۴۰۳) در مقاله‌ی "قابلیت‌سنجی استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در شهرهای مناطق خشک (مطالعه‌ی موردی: شهر سبزوار" معتقدند که جهت توسعهٔ استفاده از انرژی خورشیدی نیاز به مکان‌یابی نواحی است که در آن انرژی خورشیدی در حد مطلوب و دیگر شرایط لازم احداث نیروگاه را دارا باشد. پژوهش حاضر از نظر روش تحقیق، توصیفی – تحلیلی و از نظر روش گردآوری اطلاعات کتابخانه‌ای و میدانی است. پارامترهای مورد بررسی در پژوهش از نظر اقلیمی شامل بارندگی، ساعات آفتابی، تابش دریافتی، ابرناکی، درجه‌ی حرارت، گرد و غبار، یخبندان و نقاط ارتفاعی است و برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم افزار GIS و تکنیک سلسله‌مراتبی AHP استفاده شده است (زنگنه، حاجی شمسایی و زنگنه،۱۴۰۳،۲۵).

منجزی و همکاران (۲۳،۱۴۰۲) در مقاله "مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک-های GIS(مطالعه‌ی موردی: شهرستان اندیمشک)" معتقد هستند مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی طبق نظر کارشناسان خبره با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و در محیط GIS می‌تواند نقش مهمی در گسترش توسعه پایدار داشته باشد. در این تحقیق ۱۲ معیار از ابعاد اقتصادی، محیطی و امنیتی وزن-دهی و سپس در محیط GIS به‌صورت خطی فازی‌سازی شد که نتایج تحقیق نشان می‌دهد اراضی مستعد مکان‌یابی بیشتر در اطراف محدودهٔ شهر واقع شده‌اند و معیارهای فاصله از مناطق صنعتی و نظامی و شبکهٔ راه‌آهن بیشترین همبستگی را با نقشهٔ مکان‌یابی داشته است (منجزی، افروس، داود بهاروندی و مرادی مطلق،۱۴۰۲،۲۳).

توکلی و همکاران (۶۱،۱۴۰۲) در مقاله "امکان‌سنجی احداث یک نیروگاه متصل به شبکه فتوولتائیک با رویکرد پایداری محیط‌زیست شهری (مطالعه‌ی موردی: منطقه۲۲ تهران)" عنوان می‌کنند که رشد و توسعهٔ جوامع انسانی همواره موازی با تولید و مصرف انرژی بوده و وابستگی به انرژی و به‌تبع آن رشد مصرف انرژی فسیلی، موجب افزایش مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. در این مقاله، ابتدا شرایط اقلیمی و تابش محل احداث نیروگاه مورد بررسی قرار گرفت و پس از انتخاب ماژول و اینورتر مناسب، مطالعات فنی نیروگاه صورت گرفت که در این بررسی، آرایش بهینه‌ی پنل‌ها و اثر سایه‌اندازی آن‌ها روی یکدیگر با استفاده از نرم افزار PVSyst انجام گرفت. نتایج به‌دست‌آمده، به طراحی این نیروگاه در ۲۰ پنل خورشیدی در هشتاد و دو ردیف، با سطح اشغال حدود ۱۰۷۵۸مترمربع منجر شد (توکلی، خادم‌الحسینی، گندمکار و اذانی،۱۴۰۲،۶۱).

شاه‌پوران رِنا و مونیروزیمَن[۳] (۸۹،۲۰۲۴) در مقاله "تعیین مکان مناسب برای نصب نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی در بنگلادش با استفاده از تکنیک‌های ژئو فضایی" عنوان می‌کنند که هدف اصلی این تحقیق، اتخاذ روش مکانی مبتنی بر فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای انتخاب منطقهٔ مناسب برای نیروگاه‌های فتوولتائیک خورشیدی (PV) در بنگلادش است. در مجموع ۹ لایه موضوعی شامل؛ شیب، تابش افقیِ جهانی، رطوبت نسبی، تابش مستقیم معمولی، ارتفاع، فاصله از جاده‌های اصلی، فاصله از مناطق حفاظت‌شده، بارندگی، و کاربری زمین/پوشش زمین در GIS ترکیب و ۵ پهنه در طیف کمتر مناسب تا پهنه عالی طبقه‌بندی شدند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که مناطق «مناسب» و «خوب» برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در بخش‌های غربی و شمال غربی (راجشاهی، پابنا، سراجگنج، ناتوره، نائوگان، چاپینوابگانج، بوگورا، فریدپور) قرار دارند (Shah Porun Rena & Moniruzzaman,2024,89).

شاهین[۴] و همکاران (۲۱۵،۲۰۲۴) در مقاله "حل مسئله مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی چندمعیاره با استفاده از تابع فازی تاگوچی در GIS: نمونهٔ موردی استان کارص/ترکیه" معتقد هستند که تعیین مناطق مناسب برای جانمایی نیروگاه خورشیدی باتوجه‌به این‌که انرژی خورشیدی و برق‌آبی پرمصرف‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر در استان کارص ترکیه هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق با استفاده از شاخص‌هایی مانند ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی، تراکم جمعیتی و... با استفاده از روش فازی تاگوجی مدل‌سازی انجام شد و پهنهٔ مناسب در شهر کارص را در نرم‌افزار GIS مشخص شد (Sahin et al,2024,215).

لی[5] و همکاران (۶۳،۲۰۲۱) در مقاله‌ای تحت عنوان "بررسی کمی تأثیر شکل شهری بر کاربرد فتوولتائیک‌ها بر روی پشت‌بام در مقیاس وسیع با استفاده از روشی ساده"، رابطهٔ بین فرم شهری و پتانسیل استفاده از فتوولتائیک‌ها را روی پشت‌بام، جهت برنامه‌ریزی شهری کم‌کربن و کاهش مصرف انرژی را بررسی نمودند. این مقاله ابتدا تأثیر شکل شهری را بر پتانسیل نصب فتوولتائیک سقف خورشیدی برای ۱۲ شهر در سراسر چین که مناطق مختلف آب‌وهوای خورشیدی را پوشش می‌دادند، را بررسی می‌کند. از طرف دیگر محققان دریافتند محیط‌های شهری متراکم و توسعه‌یافته تأثیر مثبتی بر استفاده از انرژی خورشیدی دارند و استفاده در مقیاس بزرگ فتوولتائیک‌ها بر روی پشت‌بام‌ها یکی از راه‌حل‌های امیدوارکننده برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعهٔ شهر کم‌کربن است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، تراکم شهری بر پتانسیل نصب فتوولتائیک‌ها در شهرها در مکان‌هایی با عرض جغرافیایی بالا با تابش متوسط خورشید تأثیر قابل‌توجهی دارد و با کاهش ارتفاع ساختمان می‌توان تأثیر منفی آن را کاهش داد (Li, Jing, Liu & Zhao,2021,63).

۳. روش تحقیق

نوع تحقیق حاضر کاربردی و روش تحقیق توصیفی – تحلیلی است و از مطالعات اسنادی، مشاهدات میدانی و پرسش‌نامه برای گردآوری اطلاعات استفاده شده است. باتوجه‌به تخصصی بودن موضوع، تعداد ۳۰ نفر از خبرگان به‌عنوان جامعه‌ی آماری و از این تعداد ۲۸ نفر با استفاده از فرمول کوکران به‌عنوان نمونهٔ آماری، جهت تکمیل پرسش‌نامه‌ها انتخاب شد. در این تحقیق از دو روش IHWP[6] (تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس) برای مکان‌یابی در نرم‌افزار GIS و روش MARCOS[7] (سنجش و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس راه‌حل سازشی) برای رتبه‌بندی مکان‌های منتخب استفاده شده است.

روش IHWP در ۵ گام انجام می‌شود. گام اول؛ تعیین ماتریس داده‌ها (شاخص‌ها)، گام دوم؛ تکمیل پرسش‌نامه‌ی رتبه‌بندی شاخص‌ها و استنتاج فروض وزن‌دهی شاخص‌ها، گام سوم؛ محاسبه اوزان شاخص‌ها، گام چهارم؛ انتقال اوزان شاخص‌ها به نرم‌افزار GIS و گام پنجم؛ تلفیق نقشه‌ها و تولید نقشه‌ی نهایی مکان‌یابی (اباذرلو،۱۳۹۲،۱۱۲).

(فرمول ۱)

$$X = \frac{D}{N}$$

X = امتیاز اولیه هر شاخص

D = امتیاز به‌دست‌آمده از مدل دلفی

N = تعداد دسته‌های هر شاخص

(فرمول ۲)

$$j = D - (N - i)X$$

j = امتیاز به‌دست‌آمده برای دسته‌های مختلف هر شاخص

i = رقم اختصاص‌داده‌شده برای دسته‌های مختلف هر شاخص

روش MARCOS نیز شامل ۶ گام می‌شود. گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم؛ گام دوم: تعیین ایده‌آل و ضد ایده‌آل؛ گام سوم: نرمال‌سازی؛ گام چهارم: وزن‌دهی؛ گام پنجم: درجه‌ی مطلوبیت گزینه‌ها؛ گام ششم: تعیین عملکرد نهایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها. تصمیم‌گیری چندمعیاره به معنی سنجش و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس راه حل سازشی است در سال ۲۰۲۰ ارائه شد و این روش برای رتبه‌بندی گزینه‌های پژوهش مورداستفاده قرار می‌گیرد (تاجمیری رستمی و فرهادی،۱۴۰۰،۱۸۰).

۴. مبانی نظری

۴-۱. انرژی خورشیدی

بهره‌گیری از انرژی از ابتدای تاریخ‌تمدن انسان موردنظر بوده و دانشمندان از دیرباز در پی آن بوده‌اند کـه ابزار و ماشین‌هایی را اختراع کنند که انرژی پست‌تر را به انرژی بالاتر تبدیل کنند تا از آن بهره‌گیری بیشتری نمایند و در این رهگذر است که انگیزه‌ای قوی برای رشد صنعتی جوامع انسانی به وجود می‌آید (گرجی، خشنود مطلق، عمرانی و هاشمی،۱۳۹۶،۷۰). منابع انرژی بـه دو دستهٔ منـابع تجدیدناپذیر، مانند سوخت‌های فسیلی کـه بعـد از مصرف، بـرای همیشه از دست می‌روند و منابع تجدیدپذیر مانند خورشید، باد، زمین گرما، زیست‌توده و آب که می‌توانند در یک دورهٔ زمانی کوتاه تجدید یـا احیاء شوند، تقسیم می‌شوند (احمدی، مرشدی و عظیمی،۱۳۹۵،۴۵). انرژی ستارهٔ خورشید یکی از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و از منابع عمدهٔ تأمین انرژی در منظومهٔ شمسی است که در نتیجهٔ گرما و نور تولید شده توسط خورشید تولید می‌شود (صحراگرد، آریانژاد، و کمانگر،۱۳۹۵،۸۵۶). میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و کشور ایران در کمربند

خورشیدی، بیشترین مقدار انرژی را دارا بوده و در نواحی پرتابش واقع است (Kalaiselvan & Purushothaman, 2016,2320) و مطالعات نشان می‌دهد ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی می‌تواند انرژی موردنیاز بخش‌های گسترده‌ای از منطقه را نیز تأمین و در زمینهٔ صدور انرژی برق فعال شود (جمالی،۱۳۹۷،۵۶).

۴-۲. نیروگاه خورشیدی

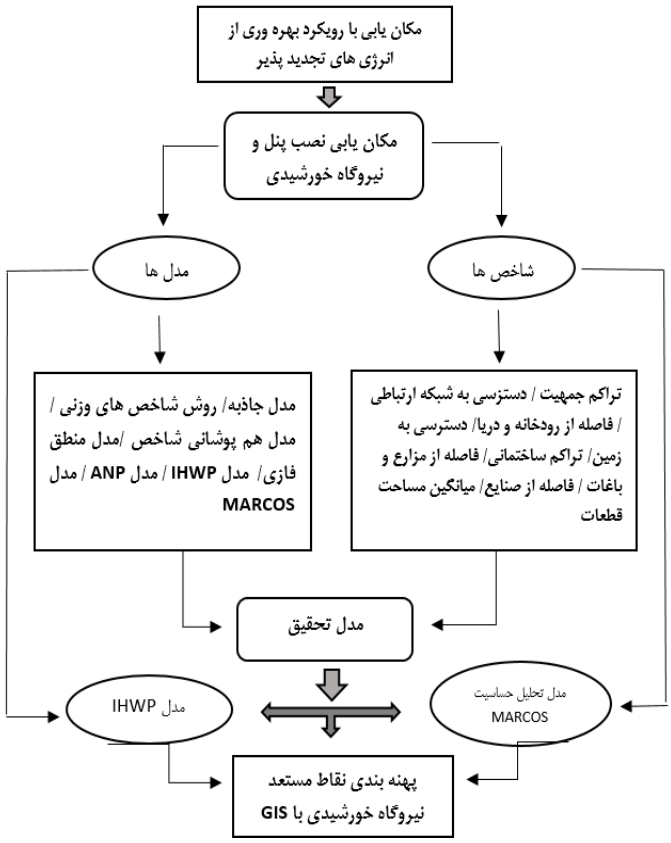
گرم‌شدن جهانی کرهٔ زمین، امنیت انرژی و مسائل اقتصادی، وضعیت را از انرژی سنتی به انرژی تجدیدپذیر تبدیل می‌کند. ثابت شده است که انرژی خورشیدی یکی از منابع قابل‌اعتماد انرژی برای تولید برق است. انرژی خورشیدی دارای ویژگی وفور، آزاد و تمیز بودن است و هیچ نوع آلودگی برای محیط‌زیست ندارد (احمدی و همکاران،۱۳۹۵،۴۶). در حال حاضر فناوری احداث نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی به ۵ دسته نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی از نوع سهموی خطی[۸]، دریافت‌کنندهٔ مرکزی[۹]، بشقابی[۱۰]، دودکش‌های خورشیدی[۱۱]، کلکتورهای فرنل[۱۲] تقسیم می‌شوند (Khajavi Pour et al,2021,68). از انرژی خورشیدی برای مصارف مختلف خانگی و صنعتی در مقیاس کلان (نیروگاهی) و خرد (غیر نیروگاهی) استفاده می‌شود که یا توسط سامانه‌های جمع‌آوری حرارتی، انرژی گرمایی را ذخیره نموده و یا توسط سامانه‌های فتوولتائیک مستقیماً پرتوهای خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند (Gašparović & Gašparović,2019,88). به پدیده‌ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از سازوکارهای محرک، الکتریسیته تولید کند، پدیده فتوولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده‌ها استفاده کند، سیستم فتوولتائیک گویند (Al Garni & Awasthi,2017,1230).

۴-۳. مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی

انتخاب مکان، یکی از گام‌های اساسی در ساخت نیروگاه‌های خورشیدی است که بر ظرفیت تولید برق و منافع اقتصادی - اجتماعی در آینده تأثیر می‌گذارد (صادقی، دلال‌باشی اصفهانی و حری،۱۳۹۲،۱۰۰). استفاده از انرژی خورشیدی تابع شرایطی است که می‌تواند در میزان بازدهی و صرفهٔ اقتصادی آن برای مصرف‌کننده مؤثر باشد. مهم‌ترین این شرایط مکان‌یابی نواحی است که شرایط احداث نیروگاه را دارا باشند (تقوایی و صبوحی،۱۳۹۶،۶۶). مکان‌یابی فعالیتی است که قابلیت و توانایی‌های یک منطقه را از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر کاربری‌ها و پارامترهای دیگر برای انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهد (پیری صحراگرد، امیری و تناکیان،۱۳۹۷،۶۸). در مکان‌یابی نیروگاه انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین معیارها، تعریف محیط جغرافیایی مناسب است که شرایط کالبدی زمین مانند ارتفاع منطقه، شیب و جنس زمین (مقصودی،۱۳۸۵،۵۱)، نوع پوشش گیاهی، آلودگی زیست‌محیطی، نوع منابع آبی (کرمی و سروستان،۱۴۰۱،۱۷۳)، عوامل اقلیمی منطقه مانند میزان تابش دریافتی، ابرناکی، رطوبت هوا و بارندگی و جهت وزش باد (مؤمن‌زاده، کلانتری، تازه و تقی‌زاده مهرجردی،۱۳۹۹،۱۱۰)، دسترسی و مسیرهای ارتباطی در مناطق مسکونی و غیرمسکونی، نزدیکی به مراکز مصرف شامل مناطق مسکونی، صنعتی، اداری و تجاری، نوع کاربری اراضی و موقعیت مناطق جمعیتی (نادی‌زاده شورابه، نیسانی سامانی و ابدالی،۱۳۹۸،۱۳۵) را شامل می‌شود.

۵. چهارچوب نظری

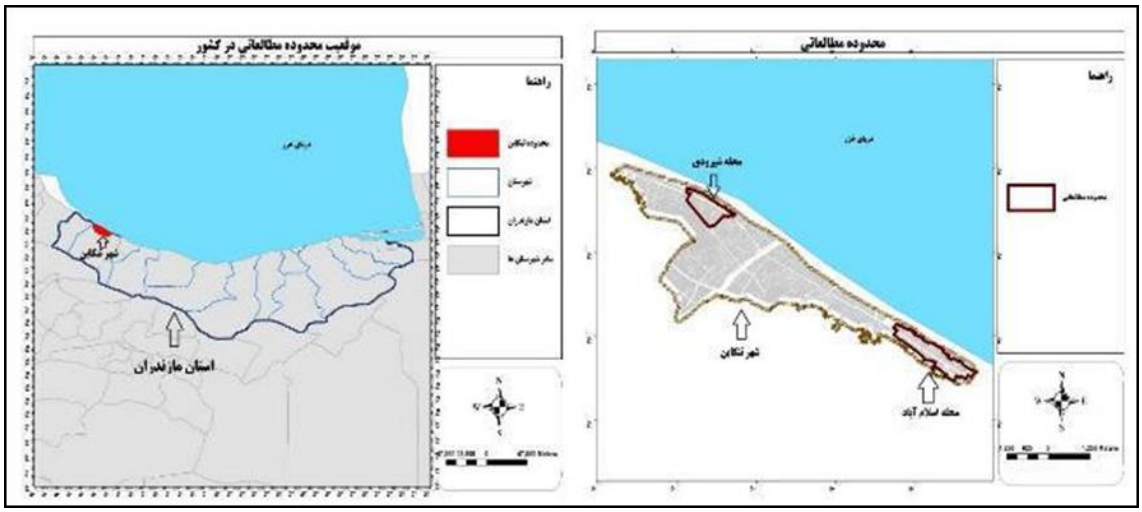
چهارچوب یک شبکهٔ منطقی، توسعه‌یافته، توصیف شده و کامل بین متغیرهایی است که از طریق فرایندهایی مانند مصاحبه، مشاهده و بررسی پیشینهٔ پژوهش فراهم آمده است. در پژوهش حاضر، مطالعات پیشینه و مبانی نظری، چارچوب نظری را فراهم ساخته است. شکل (۱) مدل مفهومی تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱. مدل مفهومی تحقیق (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)

۶. شناخت نمونهٔ موردی

محدودهٔ موردمطالعه شهر ساحلی تنکابن (با تأکید بر محلات شیرودی و اسلام‌آباد) است که در غرب استان مازندران در مسیر راه رشت—چالوس واقع شده و بر اساس آخرین سرشماری آمار و نفوس سال ۹۵ جمعیت آن بالغ بر ۵۵،۴۳۴ نفر است.



شکل ۲. موقعیت نمونهٔ موردی (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)

۷. بحث

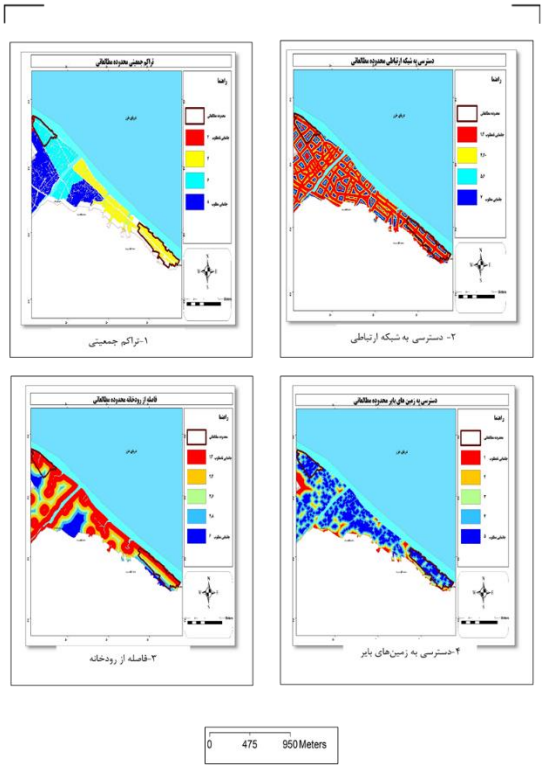
۷-۱. مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در نمونهٔ موردی با روش IHWP

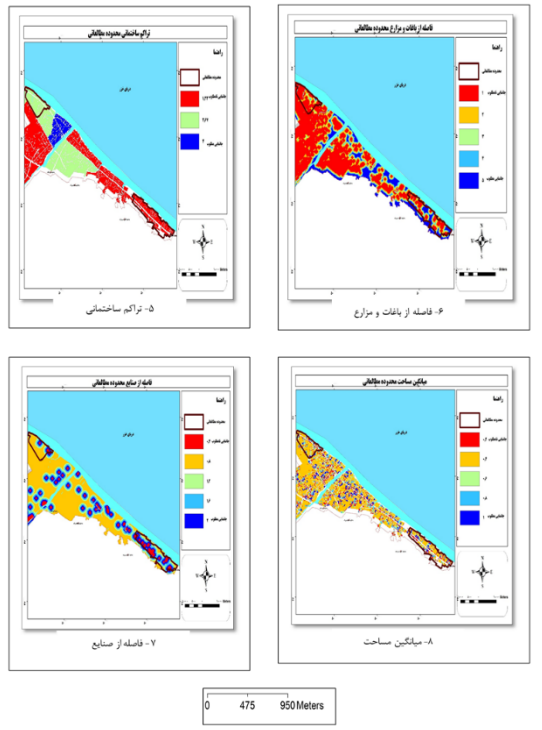
پس از شناسایی لایه‌های مورد بررسی بر اساس میزان اهمیت هر عامل در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی، شاخص‌های انتخاب‌شده بر اساس روش دلفی (نظرات خبرگان و کارشناسان) رتبه‌بندی می‌شوند. سپس معکوس رتبهٔ هر لایه به‌عنوان وزن آن لایه در مدل IHWP در نظر گرفته می‌شود که در جدول (۱) امتیاز نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها ارائه شده است.

جدول ۱. وزن‌دهی به شاخص‌های مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در نمونه موردی (ماخذ: نگارنده)

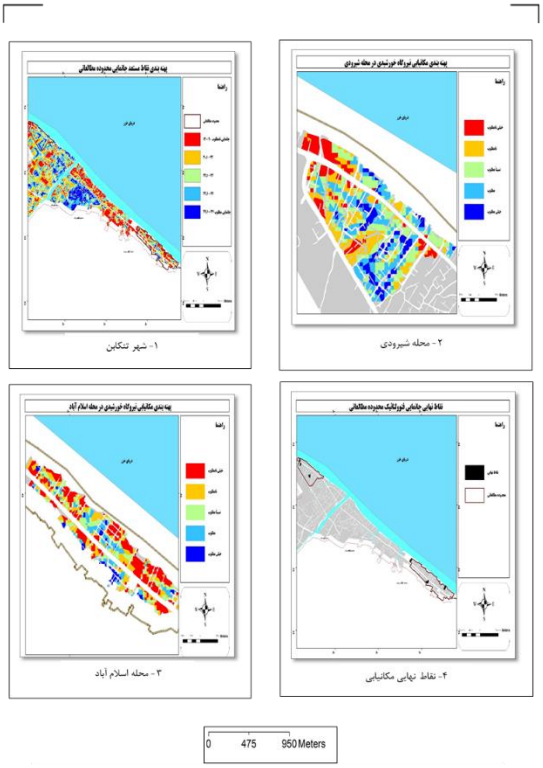
شاخص	رتبه بر اساس دلفی	معکوس رتبه	تعداد کلاس هر شاخص	طبقه‌بندی				
تراکم جمعیت	۱	۸	۴	کمتر از ۱۰۰ نفر در هکتار	بین ۱۰۰ تا ۱۲۰	بین ۱۲۰ تا ۱۴۰	بالای ۱۴۰	
				۲	۴	۶	۸	
دسترسی به شبکه ارتباطی	۲	۷	۵	کمتر از ۳۰ متر	بالای ۱۲۰ متر	۱۰۰ تا ۱۲۰ متر	۶۰ تا ۱۰۰ متر	۳۰ تا ۶۰ متر
				۱,۴	۱,۴	۴,۲	۵,۶	۷
فاصله از رودخانه‌ها و دریا	۳	۶	۵	کمتر از ۲۰۰ متر	۲۰۰ تا ۳۰۰ متر	۳۰۰ تا ۴۰۰ متر	۴۰۰ تا ۵۰۰ متر	بالای ۵۰۰ متر
				۱,۲	۲,۴	۳,۶	۴,۸	۶
دسترسی به زمین‌های بایر و متروکه	۴	۵	۵	کمتر از ۵۰ متر	بین ۵۰ تا ۱۰۰	بین ۱۰۰ تا ۱۵۰	بین ۱۵۰ تا ۲۰۰	بیشتر از ۲۰۰ متر
				۵	۴	۳	۲	۱
تراکم ساختمانی	۵	۴	۳	کمتر از ۵۰ درصد	بین ۵۰ تا ۶۰	بالای ۶۰		
				۱,۳	۲,۷	۴		
فاصله از مزارع و باغات	۶	۳	۵	کمتر از ۵۰ متر	۵۰ تا ۸۰ متر	۸۰ تا ۱۰۰ متر	۱۰۰ تا ۱۲۰ متر	بالای ۱۲۰ متر
				۰,۶	۱,۲	۱,۸	۲,۴	۳
فاصله از صنایع	۷	۲	۵	کمتر از ۵۰ متر	بیشتر از ۲۰۰ متر	بین ۱۵۰ تا ۲۰۰	بین ۱۰۰ تا ۱۵۰	بین ۵۰ تا ۱۰۰
				۰,۴	۰,۸	۱,۲	۱,۶	۲
میانگین مساحت قطعات	۸	۱	۵	کمتر از ۱۰۰۰ مترمربع	بالای ۴۰۰۰ مترمربع	۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰
				۰,۲	۰,۴	۰,۶	۰,۸	۱

در ادامه با استفاده از ابزار Raster Calculate ستون‌های امتیازات مربوط به هر یک از لایه‌های اطلاعاتی ایجادشده در محیط GIS با یکدیگر جمع می‌شوند و نقشهٔ نهایی با کلاس‌بندی داده‌ها در ۵ طبقه متمایز شامل (خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد) از نظر مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در نمونهٔ موردی تولید می‌شود. در شکل (۳) نقشه لایه‌های وزن‌دار شده ارائه می‌شود که رنگ قرمز بیانگر جانمایی خیلی نامطلوب و به سمت رنگ آبی که میل می‌کند به معنی جانمایی خیلی مطلوب است.





شکل ۳. مراحل مدل‌سازی لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش IHWP در محیط GIS (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)



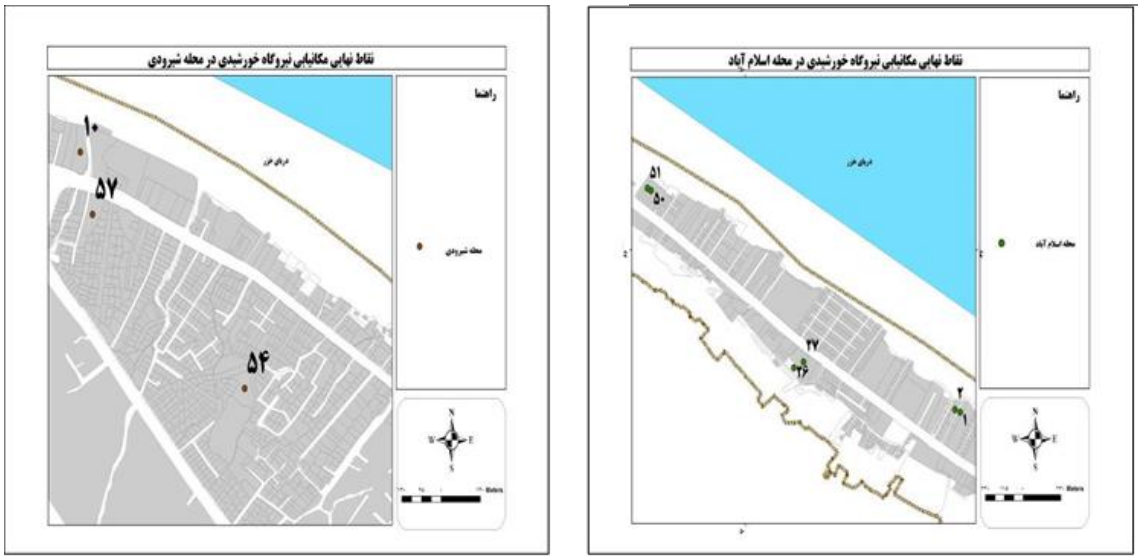
شکل ۴. پهنه‌بندی مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در نمونه موردی (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)

باتوجه‌به شکل (۴) پهنه‌بندی جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در شهر تنکابن بدین صورت است که ۲۶ درصد مساحت شهر در پهنهٔ خیلی نامناسب، ۲۳ درصد پهنهٔ نامناسب، بیست درصد نسبتاً مناسب، بیست درصد مناسب و یازده درصد در پهنه کاملاً مناسب که بیشتر در بخش مرکزی شهر است و نتیجه‌ی مقایسه دو محله باهم، محلهٔ اسلام‌آباد از استعداد بیشتری در احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار است. محلهٔ اسلام‌آباد ۷۲,۸۸ درصد بیشتر در محدودهٔ مرکزی و محلهٔ شیرودی ۲۷,۱۱ درصد بیشتر در محدودهٔ جنوبی دارای پهنهٔ مطلوب برای احداث نیروگاه خورشیدی است. در ادامه با استفاده از روش MARCOS مکان‌های منتخب طبق جدول (۲) برای احداث نیروگاه خورشیدی رتبه‌بندی می‌شود.

جدول ۲. نقاط نهایی جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در محلات شیرودی و اسلام‌آباد شهر تنکابن (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)

محله	کُد نقشه	مساحت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی

اسلام‌آباد	۱	۳۱۷۸	۴۹۳۸۶۷,۳	۴۰۷۱۵۸۹,۵
اسلام‌آباد	۲	۳۲۲۳	۴۹۳۸۴۲,۱	۴۰۷۱۶۰۱
شیرودی	۱۰	۳۶۷۲	۴۸۴۷۱۱,۲	۴۰۷۶۲۴۸,۷
اسلام‌آباد	۲۶	۳۵۰۹	۴۹۳۰۵۲,۷	۴۰۷۱۷۸۹,۸
اسلام‌آباد	۲۷	۲۵۷۲	۴۹۳۱۰۰,۱	۴۰۷۱۸۱۷,۵
اسلام‌آباد	۵۰	۲۸۲۹	۴۹۲۳۵۴	۴۰۷۲۵۹۰,۵
اسلام‌آباد	۵۱	۲۸۷۴	۴۹۲۳۳۵,۷	۴۰۷۲۶۰۱,۲
شیرودی	۵۴	۳۹۲۲	۴۸۷۸۴۸,۲	۴۰۷۵۶۷۱,۱
شیرودی	۵۷	۳۵۵۳	۴۸۷۴۴۳,۷	۴۰۷۶۰۹۶,۷



شکل۵. نقاط نهایی مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در نمونهٔ موردی (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)

۷-۲. اولویت‌بندی مکان‌های منتخب برای احداث نیروگاه خورشیدی در نمونهٔ موردی با روش MARCOS

رتبه‌بندی نقاط نهایی جهت احداث نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش MARCOS ارزیابی شد که در جدول (۳) و (۴) محاسبات گام‌های نهایی مشاهده می‌شود.

جدول ۳. درجه‌ی مطلوبیت نقاط نهایی جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در محلات شیرودی و اسلام‌آباد شهر تنکابن (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)

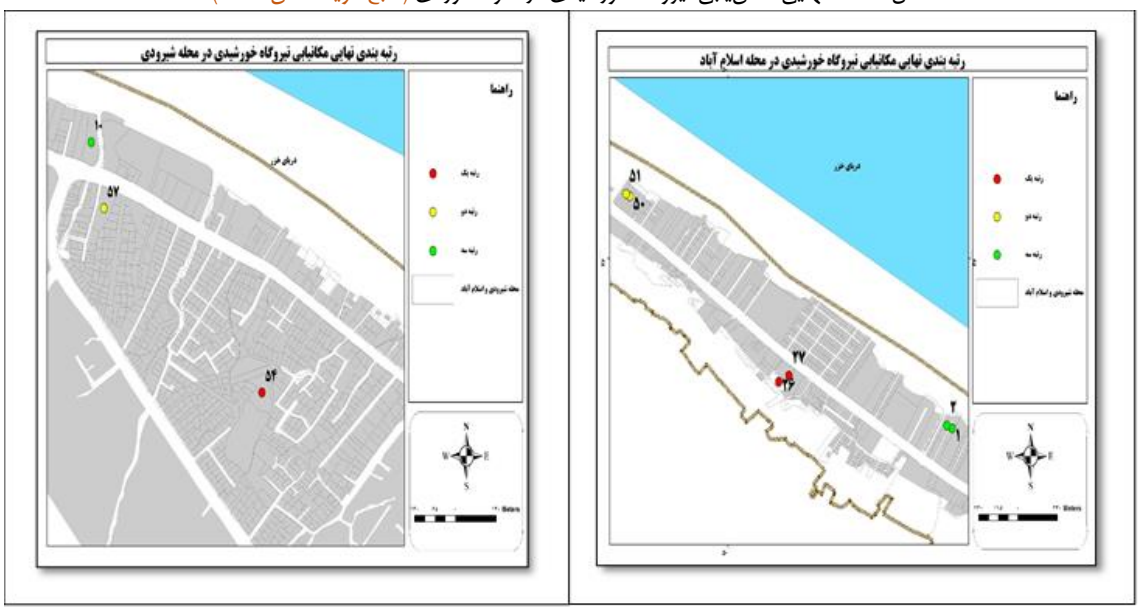
	S_i	Sa_i	Saa_i	K_i^+	K_i^-
شماره شناسایی ۱ و ۲ (محلهٔ اسلام‌آباد)	۱,۱۷۰	۱,۶۳۵	۰,۹۵۶	۰,۷۱۵۵	۱,۲۲۳۴
شماره شناسایی ۲۶ و ۲۷ (محلهٔ اسلام‌آباد)	۱,۳۹۶	–	–	۰,۸۵۴۳	۱,۴۶۰۷
شماره شناسایی ۵۰ و ۵۱ (محلهٔ اسلام‌آباد)	۱,۲۲۱	–	–	۰,۷۴۷۲	۱,۲۷۷۶
شماره شناسایی ۱۰ (محلهٔ شیرودی)	۱,۰۵۲	–	–	۰,۶۴۳۵	۱,۱۰۰۲
شماره شناسایی ۵۴ (محلهٔ شیرودی)	۱,۴۴۰	–	–	۰,۸۸۰۷	۱,۵۰۵۹
شماره شناسایی ۵۷ (محلهٔ شیرودی)	۱,۲۹۹	–	–	۰,۷۹۴۵	۱,۳۵۸۵

جدول ۴. تعیین عملکرد نهایی و رتبه‌بندی نقاط نهایی جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در محلات شیرودی و اسلام‌آباد شهر تنکابن (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)

	$f(k_i^+)$	$f(k_i^-)$	$f(k_i)$	رتبه
شماره شناسایی ۱ و ۲ (محلهٔ اسلام‌آباد)	۰,۶۳۱۰	۰,۳۶۹۰	۰,۵۸۸۵	۵
شماره شناسایی ۲۶ و ۲۷ (محلهٔ اسلام‌آباد)	۰,۶۳۱۰	۰,۳۶۹۰	۰,۷۰۲۶	۲

۴	۰,۶۱۴۶	۰,۳۶۹۰	۰,۶۳۱۰	شماره شناسایی ۵۰ و ۵۱ (محلهٔ اسلام‌آباد)
۶	۰,۵۲۹۲	۰,۳۶۹۰	۰,۶۳۱۰	شماره شناسایی ۱۰ (محلهٔ شیرودی)
۱	۰,۷۲۴۴	۰,۳۶۹۰	۰,۶۳۱۰	شماره شناسایی ۵۴ (محلهٔ شیرودی)
۳	۰,۶۵۳۵	۰,۳۶۹۰	۰,۶۳۱۰	شماره شناسایی ۵۷ (محلهٔ شیرودی)

شکل۵. نقاط نهایی مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در نمونهٔ موردی (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)



شکل ۶. رتبه‌بندی نقاط نهایی مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در نمونهٔ موردی (منبع: نویسندگان،۱۴۰۳)

همان‌گونه که از محاسبات MARCOS در شکل (۵) و (۶) مستخرج است، کُد شناسایی ۵۴ در محلهٔ شیرودی در رتبهٔ اول، کُد شناسایی ۲۶ و ۲۷ (محلهٔ اسلام‌آباد) در رتبهٔ دوم، کُد شناسایی ۵۷ (محلهٔ شیرودی) در رتبهٔ سوم، کُد شناسایی ۵۰ و ۵۱ (محلهٔ اسلام‌آباد) در رتبهٔ چهارم، کُد شناسایی ۱ و ۲ (محلهٔ اسلام‌آباد) در رتبهٔ پنجم و کُد شناسایی ۱۰ (محلهٔ شیرودی) در رتبهٔ ششم هستند. شایان‌ذکر است در محلهٔ شیرودی پیشنهاد

بر احداث فتوولتائیک سقفی و در محلهٔ اسلام‌آباد نیز نیروگاه خورشیدی است.

۸. یافته‌ها

در قسمت بحث مقاله به تحلیل چرایی به‌دست‌آمدن یافته‌ها و مقایسه تطبیقی آن با سایر تحقیقات پرداخته می‌شود. جهت توسعهٔ استفاده از انرژی خورشیدی نیاز به مکان‌یابی نواحی است که در آن انرژی خورشیدی در حد مطلوب و دیگر شرایط لازم احداث نیروگاه را دارا باشد. امروزه با افزایش جمعیت جهان میزان مصرف انرژی افزایش‌یافته است و اگر تولید انرژی مدیریت و در مسیر جدیدی قرار نگیرد، اثرات و عواقب جبران‌ناپذیری را منجر خواهد شد. امروزه بیشتر ممالک جهان از جمله کشور ایران به اهمیت و نقش انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی پی برده‌اند و بر آن تأکید نموده‌اند. باتوجه‌به اهمیت این موضوع، هدف از پژوهش حاضر قابلیت‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در محلات شیرودی و اسلام‌آباد شهر تنکابن است. معیارهای شناسایی شده در این تحقیق، با معیارهای شناسایی شده در تحقیق‌های پیشین مطابقت دارد و در تحقیق حاضر به شاخص‌هایی چون تراکم ساختمانی و دسترسی به فضاهای سبز و باز اشاره شده که در تحقیقات پیشین بیشتر مغفول بوده است. تحقیقات پیشین حداکثر به پهنه‌بندی نقاط مستعد برای احداث نیروگاه خورشیدی اشاره نموده و تحلیل حساسیت مبنی بر رتبه‌بندی مکان‌ها اشاره ننموده‌اند، بنابراین در تحقیق حاضر از روش مارکوس که روشی ساده، کارا و پایدار برای رتبه‌بندی در شرایط پویا است، استفاده شده است. همچنین در تحقیقات پیشین صرفاً به احداث نیروگاه خورشیدی اشاره شده درحالی‌که ممکن است در برخی پهنه‌های مستعد باتوجه‌به مساحت و اقلیم، به‌جای احداث نیروگاه نیاز به نصب پنل‌های فتوولتائیک سقفی باشد که در تحقیق حاضر، در محلهٔ شیرودی، پنل‌های فتوولتائیک و در محدوه محلهٔ اسلام-آباد پیشنهاد احداث نیروگاه خورشیدی شده است.

۹. نتیجه‌گیری

توسعه انرژی نو یکی از شاخص‌های مهم در توسعه اقتصادی بوده و به لحاظ بُعد اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، زیست‌محیطی و سازمانی نقاط قوت و دلایل مهمی برای استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارد. در سال‌های اخیر بحران جهانی انرژی، محدودیت سوخت‌های فسیلی افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمای روزافزون کره زمین موجب شده که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی نه‌تنها در نیروگاه‌های بزرگ برای مصارف عمومی بلکه در خانه‌ها بـرای استفاده شخصی رواج یابـد. انواع نیروگاه‌های انرژی خورشیدی طراحی، سـاخت و راه‌اندازی شده که روزانه بیش از هزار کیلووات برق از طریق پروژه‌های مختلف تولیـد می‌کند. در این مطالعه با استفاده از ۸ معیار تراکم جمعیت، دسترسی به شبکه ارتباطی، فاصله از رودخانه‌ها و دریا، دسترسی به زمین‌های بایر و متروکه، تراکم ساختمانی، فاصله از مزارع و باغات، فاصله از صنایع و میانگین مساحت قطعات در نمونه موردی که محلات شیرودی و اسلام‌آباد در شهر تنکابن است به مکان‌یابی نیروگاه-های خورشیدی پرداخته شد. بخش تحلیل تحقیق از دو قسمت مجزا تشکیل شده بود که در بخش اول؛ مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در نمونه موردی با استفاده از روش IHWP در نرم-افزار GIS انجام گردید در این بخش نتایج تحقیق نشان می-دهد ۲۶ درصد مساحت شهر در پهنه خیلی نامناسب، ۲۳ درصد پهنه نامناسب، ۲۰درصد نسبتاً مناسب، ۲۰ درصد مناسب و ۱۱ درصد پهنه کاملاً مناسب که بیشتر در بخش مرکزی شهر است و همچنین محلهٔ اسلام‌آباد از استعداد بیشتری در احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار است. محلهٔ اسلام‌آباد ۷۲,۸۸ درصد بیشتر در محدودهٔ مرکزی و محلهٔ شیرودی ۲۷,۱۱ درصد بیشتر در محدوده جنوبی دارای پهنه مطلوب برای احداث نیروگاه خورشیدی است. در بخش دوم تحلیل با استفاده از روش MARCOS در نرم‌افزار Excel به اولویت‌بندی نقاط نهایی جهت احداث نیروگاه خورشیدی پرداخته شد که نتایج تحقیق در این بخش نشان می‌دهد کُد شناسایی ۵۴ در محلهٔ شیرودی در رتبهٔ اول، کُد شناسایی ۲۶ و ۲۷ (محلهٔ اسلام‌آباد) در رتبهٔ دوم، کُد شناسایی ۵۷ (محلهٔ شیرودی) در رتبهٔ سوم، کُد شناسایی ۵۰ و ۵۱ (محلهٔ اسلام‌آباد) در رتبهٔ چهارم، کُد شناسایی ۱ و ۲ (محلهٔ اسلام‌آباد) در رتبهٔ پنجم و کُد شناسایی ۱۰ (محله شیرودی) در رتبهٔ ششم هستند. شایان‌ذکر است در محلهٔ

شیرودی فتوولتائیک سقفی احداث می‌شود و در محلهٔ اسلام‌آباد نیز نیروگاه خورشیدی احداث می‌شود.

پی‌نوشت

۱. Geographic Information System
۲. Photovoltaic panels
۳. Shah Porun Rena & Moniruzzaman
۴. Sahin
۵. Li
۶. Inversion Hierarchical Weight Process
۷. Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution
۸. Parabolic Trough
۹. CRS
۱۰. Dish Parabolic
۱۱. Chimney Solar
۱۲. Collector Fresnel

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

منابع

- اباذرلو، سجاد. (۱۳۹۲). ارزیابی آسیب‌پذیری شهر با رویکرد پدافند غیرعامل با منطق فازی (پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد شهرسازی)، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز، تهران. https://ctb.iau.ir/fa/page/185
- احمدی، هدی، مرشدی، جعفر و عظیمی، فریده. (۱۳۹۵). مکان‌یابی نیروگاه های خورشیدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و سامانه اطلاعات مکانی (مطالعهٔ موردی: استان ایلام)، *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱ (۷)، ۵۷-۴۱. https://sid.ir/paper/189608/fa
- پیری صحراگرد، حسین، امیری، میثم و تناکیان، ساناز. (۱۳۹۷). مکان‌یابی استقرار نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در منطقهٔ خشک سیستان. *مدیریت بیابان*، ۶(۱۲)، ۷۴-۶۱. https://doi.org/10.22034/jdmal.2019.34760
- تاجمیری رستمی، فرزاد، فرهادی، فرهاد. (۱۴۰۰). انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور با استفاده از روش جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره: اندازه‌گیری و رتبه‌بندی مطابق با راه‌حل سازشی (مارکوس). *اندیشه آماد*، ۲۰(۷۹)، ۱۶۹-۱۹۳. SID. https://sid.ir/paper/952862/fa
- تقوایی، مسعود، صبوحی، عفت. (۱۳۹۶). پهنه بندی و مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در استان اصفهان .*فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*. ۸(۲۸)، ۸۲-۶۱. https://doi.org/20.1001.1.22285229.1396.8.28.4.6
- توکلی، هانیه، خادم‌الحسینی، احمد، گندمکار، امیر و اذانی، مهری. (۱۴۰۲). امکان‌سنجی احداث یک نیروگاه متصل به شبکه فتوولتائیک با رویکرد پایداری محیط‌زیست شهری (مطالعه موردی: منطقه۲۲ تهران). *علوم جغرافیایی (جغرافیای کاربردی)*، ۵ (۱۹)، ۴۱-۶۱. https://sanad.iau.ir/fa/Article/1120169
- جمالی، جمشید. (۱۳۹۷). مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات مکانی (مطالعه موردی: استان اصفهان)(پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی نقشه‌برداری و GIS)، مؤسسه آموزش عالی عمران و توسعه، همدان، ایران.
- رضائی، محمد، حسینعلی، فرهاد و شریفی علیرضا. (۱۳۹۸). پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک در ایران با بهره گیری از روش فازی. *علوم و فنون نقشه برداری*، ۹ (۳) :۱۵۹-۱۷۱، http://jgst.issgeac.ir/article-1-842-fa.html
- زنگنه، مهدی، حاجی شمسایی، مجتبی و زنگنه، یعقوب. (۱۴۰۳). قابلیت سنجی استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در شهرهای مناطق خشک (مطالعه موردی: شهر سبزوار). *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۸(۳)، ۲۵-۴۲. https://doi.org/10.22034/JGET.2023.341989.14220

- صادقی، زین‌العابدین، دلال‌باشی اصفهانی، زهرا و حری، حمیدرضا. (۱۳۹۲). اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. *فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، ۱ (۲)، ۹۳-۱۱۰، http://epprjournal.ir/article-1-32-fa.html
- صحراگرد، نصرالله، آریانژاد، حیدر و کمانگر محمد. (۱۳۹۵). مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی حرارتی جهت تأمین انرژی پایدار با استفاده از منطق فازی. *نشریه انرژی ایران*، ۱۹(۱)، ۸۴۹-۸۶۵. URL: http://necjournals.ir/article- 1-849-fa.html
- کرمی، مختار، سروستان، رسول. (۱۴۰۱). مکان‌یابی صفحه‌های خورشیدی با استفاده از فراسنج‌های اقلیمی و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان خوزستان). *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۴(۲)(پیاپی ۱۱۷)، ۱۶۹-۱۸۰. https://doi.org/10.30495/JEST.2022.27496.3652
- گرجی، مصطفی، خشنود مطلق، سجاد، عمرانی، حسین، و هاشمی، مرتضی. (۱۳۹۶). مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی تحت‌تأثیر پارامترهای اقلیمی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (مطالعه موردی: استان فارس). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GISدر علوم منابع طبیعی)، ۸(۱) (پیاپی ۲۶)، ۸۴-۶۶. http://dorl. et/dor/20.1001.1.26767082.1396.8.1.5.8
- مقصودی، امیر. (۱۳۸۵). مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از روش‌های تحلیل چندگانه (پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، مهندسی صنایع)، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ایران.
- منجزی، نرگس، افروس، علی، داود بهاروندی، مریم و مرادی مطلق، احسان. (۱۴۰۲). مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک‌های GIS (مطالعه موردی: شهرستان اندیمشک). *فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، ۹(۱)، ۲۳-۶۳. http://epprjournal.ir/article-1-1116-fa.html.
- مؤمن‌زاده، زهره، کلانتری، سعیده، تازه، مهدی و تقی‌زاده مهرجردی، روح ا... . (۱۳۹۹). پهنه‌بندی و مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از AHP و GIS در استان یزد. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۲(۱۲) (۱۰۳ پیاپی)، ۱۰۲-۱۲۵. https://doi.org/10.22034/jest.2020.37606.4373
- نادی‌زاده شورابه، سامان، نیسانی سامانی، نجمه و ابدالی، یعقوب. (۱۳۹۸). تهیه نقشه پتانسیل نیروگاه‌های خورشیدی مبتنی بر مفهوم ریسک مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. *اطلاعات جغرافیایی*، ۲۸(۱۱۱)، ۱۲۹-۱۴۷. https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.37512
- Abazarlou, S. (2012). Assessing the city's vulnerability with a passive defense approach with fuzzy logic, master's thesis in urban planning, Islamic Azad University of Tehran, Center, Tehran.https://ctb.iau.ir/fa/page/185. [In Persian]
- Ahmadi, H., Morshedi, J., & Azimi, F. (2015). Locating solar power plants using climatic data and spatial information system (case study: Ilam province), *remote sensing and geographic information system in natural resources*, 1 (7), 41-57. https://sid.ir/paper/189608/fa. [In Persian]
- Ahmadian, E., Sodagar, B., Bingham, Ch., Elnokaly, A., & Mills, G. (2021). Effect of urban built form and density on building energy performance in temperate climates, *Energy and Buildings*, 236(4), 110-130, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110762.
- 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(3), 1225-1240, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024.

- Alghoul, S.K., Rijabo, H.G., & Mashena, H,G. (2017). Energy consumption in buildings: A correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli. *Journal of Building Engineering*, 11, 82-96. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.04.003.
- Gašparović I., & Gašparović M. (2019). Determining Optimal Solar Power Plant Locations Based on Remote Sensing and GIS Methods: A Case Study from Croatia. *Remote Sensing*, 11(12),81-105. https://doi.org/10.3390/rs11121481.
- Gorji, M., Khoshnud motlag, S., Omrani, H., & Hashemi, M. (2016). Locating areas prone to solar power plants under the influence of climatic parameters using fuzzy hierarchical analysis (case study: Fars province), *remote sensing and geographic information system in natural resources (application of remote sensing and GIS in natural resources sciences)*, 8(1) (Series 26), 66-84. http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1396.8.1.5.8. [Persian]
- Hassaan, M. A., Hassan, A., & Al-Dashti, H. (2021).GIS-based suitability analysis for siting solar power plants in Kuwait, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3),51-70. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.11.004.
- Jamali, J. (2017). Locating solar power plants using the hierarchical analysis method in the spatial information system environment (case study: Isfahan province), master's thesis, field of mapping and GIS engineering, Institute of Civil and Development Higher Education, Hamadan. [In Persian]
- Kalaiselvan, M., Purushothaman, B.M., (2016). GIS Based Site Suitability Analysis for Establishing a Solar Power Park in Namakkal District, Tamil Nadu, *IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2(10), 2310-2349,
- Karami, M,, Sarvestan, R. (2022). Location of solar panels using climatic parameters and geographic information system (case study: Khuzestan province), *Environmental Science and Technology*, 24(2) (117 series), 169-180. https://doi.org/10.30495/JEST.2022.27496.3652. [In Persian]
- Khajavi Pour, A., Shahraki, M. R., & Hosseinzadeh Saljooghi, F. (2021). Solar PV Power Plant Site Selection Using GIS-FFDEA Based Approach with Application in Iran. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 8(1), 28-43. https://doi.org/10.30501/jree.2020.230490.1110
- Li, Y., Jing, K., Liu, F., & Zhao, F. (2021). A Quantitative Study of the Influence of Urban Form on Large-Scale Application of Rooftop Photovoltaics Using Simplified Method, *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 10(2), 63-75, DOI: 10.11648/j.ijrse.20211002.14.
- Maghsoudi, A., (2006). Locating solar power plants using multiple analysis methods, Master's thesis, Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran. [In Persian]
- Manjezi, N., Afroos, A., Davood baharvandi, M., & Moradi Mutlagh, E. (2023). Solar power plant location using hierarchical analysis process and GIS techniques (case study: Andimshek city), *Energy Planning and Policy Research*, 9(1), 23-63. http://epprjournal.ir/article-1-1116-fa.html. [In Persian]

- Momenzadeh, Z., Kalantari, S., Tazeh, M., & Taghizadeh Mehrjardi, R. (2019). Zoning and location of solar power plants using AHP and GIS in Yazd province, *Environmental Sciences and Technology*, 22(12) (103 consecutive), 102-125. http://epprjournal.ir/article-1-1116-fa.html. [In Persian]
- Nadi Zade, Sh., Nisani Samani, N., & Abdali, Y. (2018). Preparing the potential map of solar power plants based on the risk concept of a case study: Razavi Khorasan Province, *Geographic Information*, 28(111), 129-147. https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.37512. [In Persian]
- Nandini K. K., Jayalakshmi N. S. & Vinay Kumar J. (2024).A combined approach to evaluate power quality and grid dependency by solar photovoltaic based electric vehicle charging station using hybrid optimization, *Journal of Energy Storage*, 84(6),141-158, https://doi.org/10.1016/j.est.2024.110967.
- Piri Sahragard, H., Amiri, M., & Tanakian, S. (2017). Locating the establishment of a solar power plant using multi-criteria decision-making methods in the arid region of Sistan, *Desert Management*, 6(12), 61-74. https://doi.org/10.22034/jdmal.2019.34760. [In Persian]
- Rezaei, M., Hossein Ali, F., & Sharifi, A. (2018). Potential measurement of the construction of photovoltaic power plants in Iran using the fuzzy method. *Mapping Sciences and Techniques*, 9 (3): 159-171. http://jgst.issgeac.ir/article-1-842-fa.html. [In Persian]
- Sadeghi, Z., Dalalbashi Esfahani, Z., & Hari, H. (2012). Prioritizing factors affecting the location of renewable energy power plants (solar energy and wind energy) in Kerman province using geographic information system (GIS) and multi-criteria decision making techniques. *Journal of Energy Planning and Policy Research*, 0 (2), 110-93. http://epprjournal.ir/article-1-32-fa.html [In Persian].
- Sahin, G., Akkus, I., Koc, A., & van Sark, W .(2024). Multi-criteria solar power plant siting problem solution using a GIS-Taguchi loss function based interval type-2 fuzzy approach: The case of Kars Province/Turkey, *Heliyon*, 10 (10),215-240 https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30993.
- Sahragard, N., Aryanejad, H., & Kamangar M. (2015). Locating solar thermal power plant for sustainable energy supply using fuzzy logic. *Iranian energy magazine*. 19(1), 849-865.html URL: http://necjournals.ir/article1-849-fa . [In Persian]
- Shah Porun Rena, M.M., & Moniruzzaman, Md. (2024). Demarcation of suitable site for solar photovoltaic power plant installation in Bangladesh using geospatial techniques, *Next Energy*, 3, https://doi.org/10.1016/j.nxener.2024.100109.
- Shah Porun Rena, M.M., & Moniruzzaman, Md. (2023). A combined GIS, remote sensing and MCDM approach to find potential location for rainwater harvesting structure in northwestern part of Bangladesh, *HydroResearch*, 6, 235-256, https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.08.001.
- Subbian, L. (2023). GIS-Based suitability analysis for siting solar power plants in Salem district, Tamil Nadu, INDIA, *International Journal of Advance and Applied Research*, 2(22), 95-120, 95-110, https://doi.org/10.5281/zenodo.2023.7057099.
- Taghvaei, M. & Sabohi, E. (2016). Zoning and location of solar power plants in Isfahan province. *Scientific and research quarterly of research and urban planning*, 8(28), 61-82. https://doi.org/20.1001.1.22285229.1396.8.28.4.6. [In Persian]

- Tajmiri Rostami, F. & Farhadi, F. (2021). resilient supplier selection using a new multi-criteria decision-making method: measurement and ranking according to the compromise solution (Marcus). *Journal of Logistics Thought Scientific*, 20(79), 169-193. SID. https://sid.ir/paper/952862/fa [In Persian]
- Tavakoli, H., Khadem Al-Hosseini, A., Gandhamkar, A., & Azani, M. (2023). Feasibility of building a power plant connected to the photovoltaic grid of urban environment sustainability (case study: 22 district of Tehran), *Geographical Sciences (Applied Geography)*, 5 (19), 41-61. https://sanad.iau.ir/fa/Article/1120169. [In Persian]
- Wei, L. J., M.M. Islam, M. H., & Erdem C. (2024). Energy consumption, power generation and performance analysis of solar photovoltaic module based building roof, *Journal of Building Engineering*, 90, 340-361, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109361.
- Zanganeh, M., Haji Shamsaei, M., & Zanganeh, Y. (2024). measuring the feasibility of using solar power plants in cities in arid regions (case study: Sabzevar city, *Geographical Engineering of Territory*, 8(3), 25-42. https://doi.org/10.22034/JGET.2023.341989.14220. [In Persian]
- Zhang, N., Yu, Y., Wu, J., Du, E., Zhang, Sh., & Xiao, J. (2024). Optimal configuration of concentrating solar power generation in power system with high share of renewable energy resources, *Renewable Energy*, 220, 503-535, https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119535.

JISAUD
Journal of Interdisciplinary Studies in Architecture and Urbanism Development
Islamic Azad University, Tabriz Branch

Volume 3, Issue 2, Autumn & Winter 2024
DOI: 10.71882/jisaud.2024.1121630

Locating potential areas for solar power plant construction using the MARCOS-IHWP (Case study: Islamabad and Shiroudi neighborhoods of Tonekabon)

Farshad Rafipour[1], Maryam Khastoo*[2], Vahid Bighdeli rad[3]

(Receive Date: 04 June 2024 Revise Date: 26 June 2024 Accept Date: 30 October 2024)

Research Article

Abstract

Introduction: Energy is one of the main factors of the economic growth of countries and one of the conditions for the development of societies is the optimal use of energy. The need to use renewable energy has increased the demand for solar energy, and so, renewable energy sources are a suitable alternative to non-renewable fossil fuels, and have caused societies to move towards energy such as solar energy. Energy needs are different depending on the climate, energy technologies and urban form, therefore the location of the solar power plant is important.

Methodology: The type of research is applied and the research method is descriptive-analytical and the statistical research community of 30 experts and, 28 experts was selected as a statistical sample using Cochran's formula. Information collection methods include; Questionnaire, field observation and documentary studies and the information analysis method in the solar power plant location is the IHWP in GIS and in the ranking of final solar power plant construction, the MARCOS is in Excel

Results: The results of the research show that 26% of the city's area is in the very unsuitable area, 23% in the unsuitable area, 20% in the relatively suitable area, 20% in the suitable area and 11% in the completely suitable area, which is mostly in the central part of the city. Also, the neighborhood of Islamabad has more talent in building a solar power plant. Islamabad neighborhood with 72.88% in the central area and Shiroudi neighborhood with 27.11% more in the southern has a favorable area for the construction of a solar power plant. Identification code 54 in Shiroudi neighborhood is in the first ranking, identification code 26 and 27 (Islamabad neighborhood) is in the second ranking, identification code 57 (Shiroudi neighborhood) is in the third ranking, identification code 50 and 51 (Islamabad neighborhood) is in the fourth ranking, code Identification 1 and 2 (Islamabad neighborhood) are in the fifth ranking and identification code 10 (Shiroudi neighborhood) is in the sixth ranking.

Conclusion: In the discussion part of the article, the analysis of why the findings were obtained and their comparative comparison with other researches are discussed. The criteria identified in this research are confirmed with the criteria identified in previous researches, and in the current research, indicators such as building density and access to green and open spaces are mentioned, which have been mentioned in previous researches. Previous researches have referred to the zoning of potential points for the construction of a solar power plant and have not mentioned the sensitivity analysis based on the ranking of places. But in the present research, the MARCOS is used, which is a simple, efficient and stable method for ranking in dynamic conditions. Also, in the previous research, only the construction of a solar power plant was mentioned, while it may be necessary to install roof photovoltaic panels in some places, depending on the area and climate, and in some other places, there is a need to build a solar power plant, which in the current research, In the neighborhood of Shiroudi, it has been proposed to install a photovoltaic panel, and in the neighborhood of Islamabad, it has been proposed to build a solar power plant.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: location, solar power plant, Tonekabon, IHWP, MARCOS

[1] PhD student in urban planning, Islamic Azad University, Qazvin branch, Qazvin, Iran.
[2] Assistant Professor, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran. (Corresponding author). khastou@qiau.ac.ir
[3] Associate Professor, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran.