روستا و توسعه، سال ۲۵، شماره ۹۹، پاییز ۱۴۰۱

DOI: 10.30490/RVT.2021.354322.1347

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی مناطق روستایی بهینه برای بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان مشهد)

فاطمه نیک‌روش[۱]، رسول افسری[۲]، علیرضا دربان آستانه[۳]، نسرین کاظمی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۴

چکیده

با توجه به وجود فضای مناسب و پتانسیل نواحی روستایی کشور، انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای تأمین انرژی مطرح شده است؛ بنابراین، هدف این مطالعه ادغام روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور پتانسیل‌سنجی مناطق بهینه در سطح محلی و روستایی است تا با ارائه روش تصمیم‌گیری در مطالعات فضایی انرژی‌های تجدیدپذیر بالاترین تفکیک فضایی ممکن در این زمینه فراهم شود. در این مطالعه، جهت وزن‌دهی به معیارها از روش بهترین- بدترین و برای به دست آوردن نقشه تناسب جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در روستاهای شهرستان مشهد از روش ترکیب خطی وزنی

۱- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه شهرسازی، پدافند غیرعامل، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران.

۳- نویسنده مسئول و استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (astaneali@ut.ac.ir)

۴- دانش‌آموخته دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده اهمیت معیارهای محیطی و اقتصادی و نیز توجه به نوع انرژی تجدیدپذیر برای مناطق روستایی است به‌طوری‌که از مجموع مساحت منطقه مورد مطالعه، ۵۴ درصد جهت تأسیس نیروگاه خورشیدی و ۲۵ درصد جهت تاسیس نیروگاه بادی در کلاس مناسب هستند. روستاها در منطقه مورد مطالعه به دو گروه روستاهای برخوردار از پتانسیل انرژی بادی و انرژی خورشیدی تقسیم‌بندی شدند. روستاهای گروه اول عمدتاً در حاشیه جنوب‌غربی و روستاهای گروه دوم در حاشیه جنوبی و مرکزی شهرستان مشهد توزیع شده‌اند. نتایج این مطالعه می‌تواند برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در تمام سطوح مدیریتی جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در آینده بسیار مفید باشد.

کلیدواژه‌ها: *انرژی‌های تجدیدپذیر، مناطق روستایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مشهد.*

مقدمه

هرچند انرژی‌های تجدیدپذیر همچون انرژی خورشیدی و بادی ایده جدیدی نمی‌باشند، اما گسترش پیامدهای نامطلوب محیطی مانند گرمایش زمین و انتشار آلاینده‌ها همراه با محرومیت اجتماعی برخی از افراد در دسترسی به منابع انرژی فسیلی به ویژه در مناطق دورافتاده همچون روستاها، بیش از هر زمان دیگری توجه تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران حوزه انرژی را به خود جلب کرد که هم‌زمان با بروز بحران‌های نفتی اوایل دهه ۱۹۷۰ افزایش یافت (Zhou et al., 2010 ; Shorabeh et al., 2022). ظرفیت تولید برق به وسیله انرژی تجدیدپذیر در سراسر جهان به سرعت در حال افزایش است به طوری که ظرفیت نیروگاه‌های نصب‌شده در جهان با نرخ رشد ۵۲۹/۷۷ درصد از ۴/۸۰۰ گیگاوات در سال ۱۹۹۵ به ۵۸۹/۶۷۵ گیگاوات در سال ۲۰۱۸ رسیده است. این افزایش رشد تا حد زیادی توسط سیاست‌های مناسب دولت در کشورهایی مانند چین، اتحادیه اروپا و ایالات متحده صورت گرفته است. تا سال ۲۰۲۱، کشورهای دارای رتبه برتر از نظر ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر شامل ایالات متحده، چین، هند، انگلستان، فرانسه و استرالیا بوده‌اند (Everest, 2021). براساس آخرین اطلاعات سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر، در تابستان ۱۳۹۹، کل ظرفیت نصب‌شده تجدیدپذیر به ۹۲۰ مگاوات رسیده است که از این تعداد، ۲۰۶ مگاوات در حال احداث است. از این ظرفیت، ۵۸ نیروگاه بزرگ مگاواتی و ۲۱۵۶ نیروگاه تولید پراکنده و کوچک هستند (http://www.satba.gov.ir). این موارد نشان می‌دهد که در ایران انرژی‌های تجدیدپذیر

می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش گازهای گلخانه‌ای داشته باشد که باید در دستور کار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار گیرد.

مشابه با دیگر کشورهای جهان، بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی ایران از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود؛ به ترتیب حدود ۹۴٪، ۶٪ و کمتر از ۱٪ برق کشور از طریق سوخت‌های فسیلی، نیروگاه‌های آبی و منابع انرژی تجدیدپذیر تأمین می‌شود (Korsavi et al., 2018). مصرف سوخت‌های فسیلی، کشور را با تولید سالیانه ۸۵۰ میلیون تن گاز گلخانه‌ای تبدیل به یکی از بزرگ‌ترین کشورهای تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای نموده است (Noorollahi et al., 2016). با توجه به این وضعیت، ایران با قرارگیری در کمربند خورشیدی جهانی از حدود ۳۰۰ روز و ۲۸۰۰ ساعت آفتابی (Shorabeh et al., 2019) برخوردار است، یعنی سالانه بین ۲۰۰۰–۱۸۰۰ کیلو وات ساعت/متر مربع تشعشع خورشیدی دریافت می‌کند. این رقم بالاتر از میانگین جهانی است. همچنین پتانسیل تولید برق بادی حدود ۶۵۰۰ کیلووات در بخش‌های شرقی و شمالی کشور تخمین زده شده است که در مسیر جریان‌های نیرومند باد قرار گرفته و پتانسیل زیادی برای نصب توربین‌های بادی دارند. درحال‌حاضر ظرفیت مزرعه‌های بادی نصب شده در ایران نزدیک به 75 مگاوات است که عمدتاً در سایت‌های شمالی یعنی در مزرعه بادی منجیل و رودبار قرار گرفته‌اند (Afsharzade et al., 2016).

پتانسیل مناطق مختلف در دریافت انرژی خورشیدی و بادی حاکی از عدم تجانس فضایی است که ضرورت مطالعات مکانیابی را آشکار می‌سازد. کاتسپراکاکیس و چریستکیس (Afsharzade et al., 2016) فقدان پتانسیل‌سنجی مناطق برای انرژی تجدیدپذیر در کنار ناخشنودی جوامع محلی و عدم وجود یا سطح پایین معافیت‌های زیست‌محیطی را از علل ناکامی پروژه‌های توسعه انرژی تجدیدپذیر می‌دانند، ازاین‌رو پتانسیل‌سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر با هدف پیشنهاد پروژه‌های که بیشترین ارزش افروده اقتصادی را در مکان داشته باشد ضروری است که می‌توان آن را در چارچوبی با بیان نواحی با کمترین و بیشترین مطلوبیت مورد بحث قرار داد (Bai et al., 2016). محققان استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی را برای ارزیابی پتانسیل انرژی تجدیدپذیر به‌منظور بهره‌گیری در توسعه روستایی مفید ارزیابی نموده‌اند (Benedek et al., 2018). بااین‌حال، مطالعات مرتبط عمدتاً به سطوح کلان و مکانیابی منطقه‌ای توجه داشته‌اند؛ بنابراین، نوآوری این پژوهش توجه به سطح محلی و خرد در شناسایی روستاهای بهینه برای دو نوع انرژی تجدیدپذیر یعنی خورشیدی و بادی است. همچنین در تلاش برای ارائه روشی برای سنجش پتانسیل انرژی تجدیدپذیر در مناطق

روستایی کشور است که قابلیت استفاده برای تصمیم‌گیران را داشته باشد. شناسایی روستاهای مستعد به تأمین تقاضای انرژی خانوار روستایی کمک خواهد نمود، زیرا عمدتاً تأمین انرژی در این مناطق با چالش‌های بسیاری روبه‌روست به طوری که هزینه انرژی خانوار روستایی در کشور بالاتر از خانوار شهری است. بنابراین، هدف روش ارائه شده ارائه راه‌حل‌های مبتنی بر پتانسیل‌سنجی انرژی تجدیدپذیر برای نواحی با سطوح اقتصادی و اجتماعی پایین و برخوردار از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی یا بادی است، زیرا تنوع انرژی‌های تجدیدپذیر و شرایط مکانی و جغرافیایی متفاوت مناطق روستایی ایران ایجاب می‌کند تا نوع انرژی متناسب با ویژگی‌های این مناطق در نظر گرفته شود. بدیهی است انتخاب بهینه انرژی تجدیدپذیر تابع شرایط محلی مناطق روستایی است و یک نوع انرژی را نمی‌توان برای تمام روستاهای کشور تجویز نمود. بنابراین، لازم است برحسب شرایط طبیعی، اقلیمی و پتانسیل‌های موجود در هر منطقه، نوع مناسب انرژی تجدیدپذیر با امکان بهره‌وری سهل‌تر و بازده بیشتر از انواع دیگر را انتخاب نمود (Sartipipour, 2012). انتخاب انرژی متناسب با شرایط هر مکان، سرمایه‌گذاری هدفمند و مشکل تأمین انرژی را با کارایی بالا حل می‌کند (Payam et al., 2018). از سویی، همان طور که بندک و همکاران (Benedek et al., 2018) اشاره نموده‌اند، اتخاذ رویکرد مکان‌محور در سطح محلی بالاترین رزولوشن فضایی را جهت توسعه انرژی تجدیدپذیر ارائه می‌دهد که بازدهی انتخاب استراتژیک مکان بهینه را برای تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری مکانی و توسعه روستایی مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر افزایش می‌دهد.

اکثر سکونتگاه‌های روستایی ایران نیز در مناطقی با تراکم پایین و نواحی دوردست واقع شده‌اند که تأمین انرژی را برای آنها دشوار ساخته است. علاوه‌براین، ناپایداری سیستم‌های انرژی در مناطق روستایی ایران ضرورت ادغام انرژی تجدیدپذیر را در برنامه توسعه روستایی مطرح می‌سازد. گرچه مناطق روستایی کشور دارای پتانسیل مناسبی برای توسعه انرژی تجدیدپذیرند، اما این امر با چالش‌های اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی، مدیریتی و زیرساختی روبه‌روست. براساس آمارهای وزارت نیرو، حدود ۵٫۵٪ از خانوارهای روستایی ساکن در روستاهای کمتر از ۲۰ خانوار، هنوز برق ندارند. متوسط هزینه سالانه انرژی برای خانوار روستایی و سهم آن در مجموع هزینه خانوار بالاتر از خانوارهای شهری است که این امر ضرورت بازطراحی سیستم‌های انرژی موجود را مطابق با رویکرد جهانی مطرح می‌سازد (Afsharzade et al., 2016). شواهد حاکی از آن است که تولید و مصرف انرژی تجدیدپذیر در ایران به نسبت پتانسیل آن وضعیت چندان مناسبی ندارد. قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی در ماده ۶۱، وزارت نیرو را موظف می‌کند که برای حمایت از گسترش استفاده از منابع

تجدیدپذیر انرژی و با هدف تسهیل و تجمیع امور، از طریق سازمان ذی‌ربط، نسبت به عقد قرارداد بلندمدت برای خرید تضمینی از تولیدکنندگان غیردولتی برق از منابع تجدیدپذیر اقدام نماید. سازمان انرژی‌های نو ایران نیز اقدامات گسترده‌ای برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر کشور انجام داده است که یکی از آنها، تأمین انرژی پایدار و قابل دسترس برای مناطق محروم و دورافتاده به منظور بهبود وضعیت زندگی و توسعه شرایط اجتماعی آنها از طریق سیستم‌های فتوولتائیک بوده است که در این مسیر برای بیشتر از ۱۰۰۰ خانوار روستایی برق‌رسانی صورت گرفته است (Payam et al., 2018).

نظر به اهمیت و تأثیر فرایند تصمیم‌گیری صحیح و دقیق مبتنی بر گزینه‌های مناسب با استفاده از معیارهای مختلف، ضرورت وجود تکنیکی کارآمد، کاملاً محسوس می‌باشد. براساس این رویکرد، تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی می‌تواند به عنوان فرایند ترکیب و تبدیل داده‌های مکانی (نقشه‌های معیار) و ارزش‌های مربوط به داوری افراد (اولویت تصمیم‌گیران) به منظور به دست آوردن اطلاعات ارزشمند برای تصمیم‌گیری، محسوب شود (Shorabeh et Qureshi et al., 2021 ; al., 2020). ادغام GIS[1] و MCDA[2] به تصمیم‌گیر کمک می‌کند توابع تحلیل تصمیم نظیر رتبه‌بندی گزینه‌ها را برای انتخاب پهنه مناسب و بهینه انجام دهد (Afsari et al., 2022; Shahpari Sani et al., 2022). کارایی ادغام GIS و MCDA برای مدل‌سازی مکانی جهت انتخاب مکان بهینه مزرعه انرژی‌های تجدیدپذیر در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است (Nadizadeh Shorabeh et al., 2017; Boloorani et al, 2021Jahangiri et al., 2019;).

در سال‌های اخیر مطالعاتی در مورد مکانیابی و بهینه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و در مقیاس‌های مکانی مختلف صورت گرفته است. هوفر و همکاران (Höfer et al., 2016) با ارائه رویکرد جامع تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی، مطالعه‌ای را براساس روش تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مکان‌سنجی بهینه مزرعه انرژی بادی در آخن انجام داده‌اند. نتایج این مطالعه حاکی از آن است هرچند در ۹/۴٪ از منطقه مورد مطالعه می‌توان مبادرت به توسعه انرژی بادی نمود، اما تنها ۱/۷۴٪ آن بسیار مناسب است.

1- Geographic Information System (GIS)
2- Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA)

القرنی و اواستی (Al Garni and Awasthi, 2017) به روشی مشابه با مطالعات هوفر و همکاران، پتانسیل ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی را در عربستان بررسی نموده‌اند. این مطالعه با بهره‌گیری از معیارهای تابش ورودی سطح، دمای هوا، شیب، فاصله از خطوط انتقال نیرو، فاصله از شهرها و فاصله از بزرگراه‌ها نشان می‌دهد که به دلیل قرارگیری این کشور در منطقه خشک، بیش از ۸۰٪ آن برای ایجاد پانل‌های خورشیدی مناسب می‌باشد.

علی و همکاران (Ali et al., 2019) از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای ارزیابی معیارهای مختلف فیزیولوژیکی، محیطی و اقتصادی در جنوب تایلند استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها جنوب تایلند را دارای پتانسیل بالایی برای انرژی‌های بادی و خورشیدی ارزیابی می‌کند به‌طوری‌که از مجموع مساحت قابل دسترس در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۳۸/۷۴۹ و ۶۹/۵۰۹ کیلومترمربع برای انرژی‌های بادی و خورشیدی در طبقه بسیار مناسب ارزیابی شدند.

فیروزجایی و همکاران (Firozjaei et al., 2019) در مطالعه‌ای با استفاده از AHP-OWA با در نظر گرفتن تابش ورودی سطح، شیب، پوشش‌گیاهی، فاصله از جاده و فاصله از شهرها به پتانسیل‌یابی مکان‌های مناسب احداث انرژی‌های خورشیدی در ایران پرداختند. مدل به کار گرفته شده در این پژوهش میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی گزینه‌های تصمیم‌گیران را در انتخاب گزینه نهایی لحاظ نموده است. نتایج نشان می‌دهد که در حالت خوشبینانه ۶۴٪ و در حالت بدبینانه تنها ۷٪ از ایران برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی مناسب می‌باشد.

کولاک و همکاران (Colak et al., 2020) به بررسی انتخاب مکان‌های بهینه جهت تأسیس نیروگاه‌های خورشیدی در استان ملطیه ترکیه پرداختند. در این مطالعه از مجموع ۱۱ معیار مکانی استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که مناطق مناسب بیشتر در شرق شهرستان ملطیه قرار دارند. همچنین ارزیابی نتایج نشان داد که ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند کارایی بالایی داشته باشد.

شورابه و همکاران (Shorabeh et al., 2021) در پژوهشی، به پتانسیل‌یابی مناطق مناسب جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در شرق ایران پرداختند. در این مطالعه از ۱۹ معیار مکانی در دو دسته محیطی و اقتصادی استفاده شد. نتایج نشان داد که ۵۴۶۵ کیلومترمربع از منطقه مورد مطالعه پتانسیل خیلی بالایی جهت ساخت مزرعه انرژی‌های تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی، بیومس و ژئوترمال) دارد.

بر اساس شواهد علمی موجود می‌توان نتیجه گرفت که با وجود پتانسیل ایران در تولید انرژی تجدیدپذیر، این پتانسیل در گستره کشور، تجانس فضایی ندارد بلکه اگر حالت بدبینانه را در نظر بگیریم، ضرورت مکانیابی بیش‌ازپیش آشکار می‌گردد، چراکه توسعه و استقرار فناوری‌های مرتبط برای تولید این نوع انرژی نیازمند سرمایه‌گذاری است؛ بنابراین، برای بیشینه‌سازی سرمایه‌گذاری و کاهش ریسک، ضرورت طرح رویکرد مکانیابی با تمرکز بر روستاهای بهینه محسوس است.

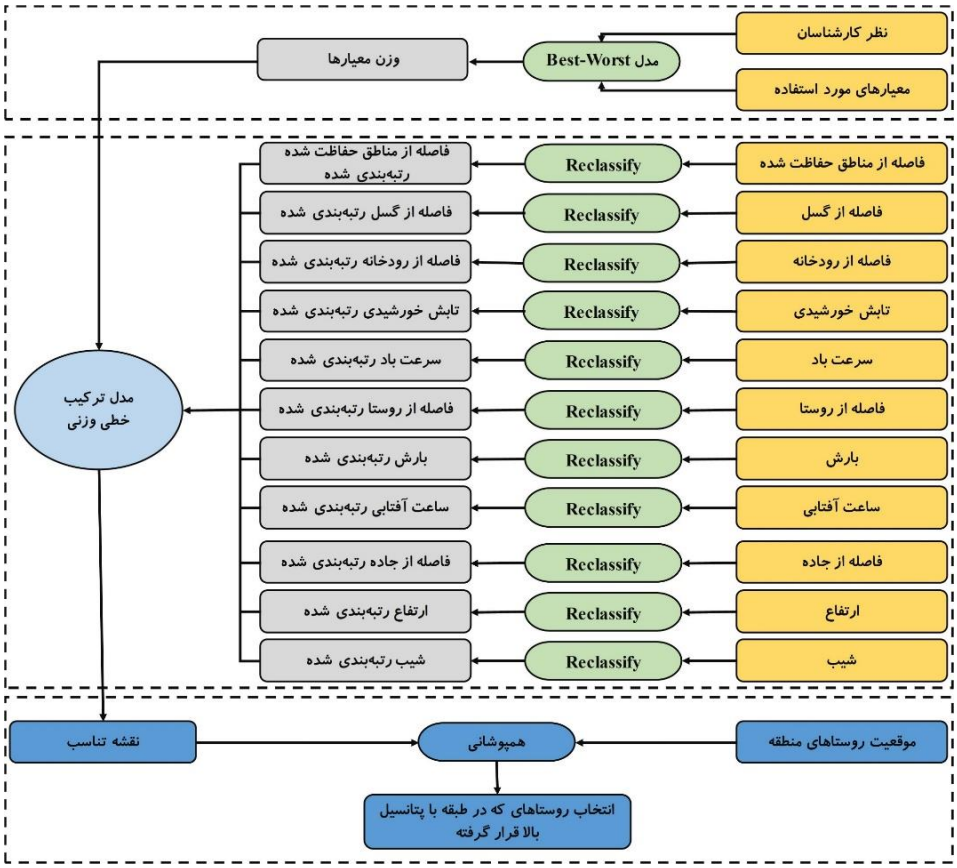
پیشینه تحقیق حاکی از مطالعاتی است که ابعاد مختلف زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر را در مناطق روستایی بررسی نموده‌اند. محققانی که بر بعد اقتصادی تمرکز داشته‌اند، تأثیرات اقتصادی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بر خانوار روستایی را مثبت ارزیابی نموده‌اند؛ برای مثال، هانگ و همکاران (Huang et al., 2020) ضمن تایید بهبود اقتصاد خانوارهای روستایی چین با سرمایه‌گذاری بر انرژی تجدیدپذیر، آن را گزینه‌ای برای گذار به سوی اقتصادی با انرژی پاک می‌دانند. مطالعه حاضر به دلیل رشد اقتصادی بی‌سابقه در چین، تغییرات اجتماعی گسترده و افزایش تقاضای انرژی در مناطق روستایی این کشور، در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تمرکز بر مناطق روستایی را ضروری می‌داند.

گروه دیگری از محققان با نگرش‌های اجتماعی به بررسی انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق روستایی پرداخته‌اند. بیرن و همکاران (Byrne et al., 1998) به بیش از ۲ میلیارد نفری اشاره می‌کنند که در کشورهای درحال‌توسعه در مناطق روستایی زندگی می‌کنند و فاقد برق یا دسترسی مناسب به انرژی می‌باشند. بلنکینسوپ و همکاران (Blenkinsopp et al., 2013) با طرح مسئله امنیت انرژی، نگرش‌های اجتماعی را چالشی برای موفقیت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌دانند. این مطالعه با بررسی نگرش‌های جوامع روستایی هند، آموزش جمعیت هدف را برای مقابله با نگرش‌های منفی یا تردید در استفاده از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر ضروری می‌داند.

مروری بر مطالعات گذشته در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد که هرکدام از مطالعات بر یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر تمرکز کرده‌اند، در حالی که در بسیاری از مناطق ممکن است شرایط و پتانسیل مناسب برای ایجاد دو یا چند نوع انرژی تجدیدپذیر وجود داشته باشد. با توجه به استفاده فراگیر از انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر جهان، ارزیابی پتانسیل مناطق برای ایجاد یک مکان بهینه جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار مهم است. به همین دلیل، مطالعات در این زمینه می‌توانند بسیار علمی، کاربردی و اقتصادی باشند. بنابراین، هدف از این مطالعه ارزیابی پتانسیل مکان‌های بهینه جهت تاسیس انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشیدی و بادی) در روستاهای حاشیه شهرستان مشهد بوده است.

روش‌شناسی تحقیق

روش تحقیق این مطالعه شامل چهار مرحله می‌باشد. در مرحله اول، با استفاده از تحلیل‌های مکانی مختلف، نقشه هریک از معیارها تهیه شد. در مرحله دوم، وزن هریک از معیارها بر اساس نظر کارشناسان و متخصصان و روش بهترین- بدترین تعیین شد. در مرحله سوم، با استفاده از روش MCDA مبتنی بر GIS با ادغام مجموعه معیارهای اقتصادی و محیطی و وزن هر کدام از معیارهاف نقشه پتانسیل انرژی‌های بادی و خورشیدی تهیه گردید. در نهایت، در مرحله چهارم، روستاهای با پتانسیل بالا در منطقه مشخص شدند. در شکل ۱ فلوچارت مراحل اصلی تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۱. فلوچارت روش تحقیق

روش بهترین- بدترین اولین بار توسط رضایی (Rezaei, 2015) ارائه شد. در این روش، بهترین و بدترین معیار توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسه زوجی بین هر یک از این دو معیار (بهترین و بدترین) و دیگر معیارها صورت می‌گیرد، سپس یک مسئله حداکثر-حداقل برای مشخص کردن وزن معیارهای مختلف فرموله و حل می‌شود. از مهم‌ترین مزایای این روش نسبت به سایر روش‌های وزن‌دهی، کاهش تعداد مقایسات زوجی می‌باشد که این باعث صرفه‌جویی در زمان و افزایش نتایج می‌شود. این روش نیز مانند روش AHP از یک مقیاس ۹ امتیازی برای بیان ترجیحات و قضاوت‌ها استفاده می‌کند بدین صورت که ابتدا از بین معیارهای مورد استفاده در پژوهش، بهترین (یا مهم‌ترین) و بدترین (یا کم‌اهمیت‌ترین) معیار تعیین می‌گردد. سپس ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها و ارجحیت تمامی معیارها نسبت به بدترین معیار بررسی می‌شود. به این منظور معادله زیر به کار رفت:

$$\min \max_{j} \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| . \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \right\}$$
$$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1 \qquad (۱)$$
$$w_j \geq 0. for\ all\ j$$

در معادله ۱، w وزن معیار، a_{Bj} اولویت معیار j نسبت به بدترین معیار، a_{jW} اولویت بهترین معیار نسبت به معیار j، w_B وزن بدترین معیار و w_W وزن بهترین معیار می‌باشد. مقدار نرخ سازگاری در روش بهترین- بدترین را می‌توان با استفاده از مقدار ξ (بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس) و مقدار شاخص سازگاری، از طریق معادله ۲ محاسبه کرد:

$$Consistency\ Ratio = \frac{\xi}{Consistency\ index} \qquad (۲)$$

مقادیر مربوط به شاخص سازگاری در جدول ۱ نشان داده شده است:

جدول ۱. مقادیر مربوط به شاخص سازگاری در ارتباط با اولویت بهترین معیار نسبت به بدترین معیار

a_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$CI\ (\max \xi)$	0.00	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

مأخذ: Nadizadeh Shorabeh et al., 2019

نرخ سازگاری در بازه بین ۰ تا ۱ قرار دارد. هر چه مقدار سازگاری به یک نزدیک‌تر باشد، مقایسات سازگاری و ثبات کمتری دارند و هر چه مقدار سازگاری به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده سازگاری و ثبات بیشتر در مقایسات است. در نهایت، برای ترکیب و تجمیع اوزان فردی، از میانگین هندسی و حسابی استفاده شد.

پس از آنکه نقشه معیارها با استفاده از روش فازی آماده شد، با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی، نقشه تناسب مکان‌های مناسب برای ساخت مزرعه انرژی‌های تجدیدپذیر تهیه گردید. روش ترکیب خطی وزنی یکی از پرکاربردترین و رایج‌ترین روش‌های MCDA می‌باشد که در مطالعات مختلف جهت تهیه نقشه تناسب به کار رفته است (Shorabeh et al., 2020; Aydi et al., 2016 ; Zoghi et al., 2017) این روش براساس میانگین وزنی عمل می‌کند به این صورت که در آن، وزن نسبی هر معیار مشخص‌شده توسط کارشناسان و روش وزن‌دهی (مثلاً AHP، ANP و غیره) در مقدار هر پیکسل ضرب می‌شود (Shahabi et al., 2014). پس از مشخص کردن مقدار نهایی برای هر پیکسل، پیکسل‌های دارای مقادیر بالاتر به‌عنوان مکان مناسب جهت هدف مورد نظر انتخاب می‌شود (Malczewski and Rinner, 2015). روش ترکیب خطی وزنی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$A_j = \sum_{j=1}^{n} w_j * x_j \qquad (۵)$$

در معادله بالا، w_j وزن نسبی هر معیار و x_j مقدار هر پیکسل می‌باشد.

در این مطالعه از مجموعه معیارهای محیطی و اقتصادی جهت انتخاب مکان مناسب جهت ساخت مزرعه انرژی‌های تجدیدپذیر (بادی و خورشیدی) استفاده شد. مشخصات داده‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول ۲ بیان شده است. این داده‌ها شامل نقشه‌های رستری و وکتوری است. مقیاس و رزولوشن مکانی اولیه نقشه‌های مختلف، متفاوت بوده که در نهایت پس از تبدیل تمام نقشه‌ها به رستر، رزولوشن مکانی به ۳۰ متر تبدیل شد.

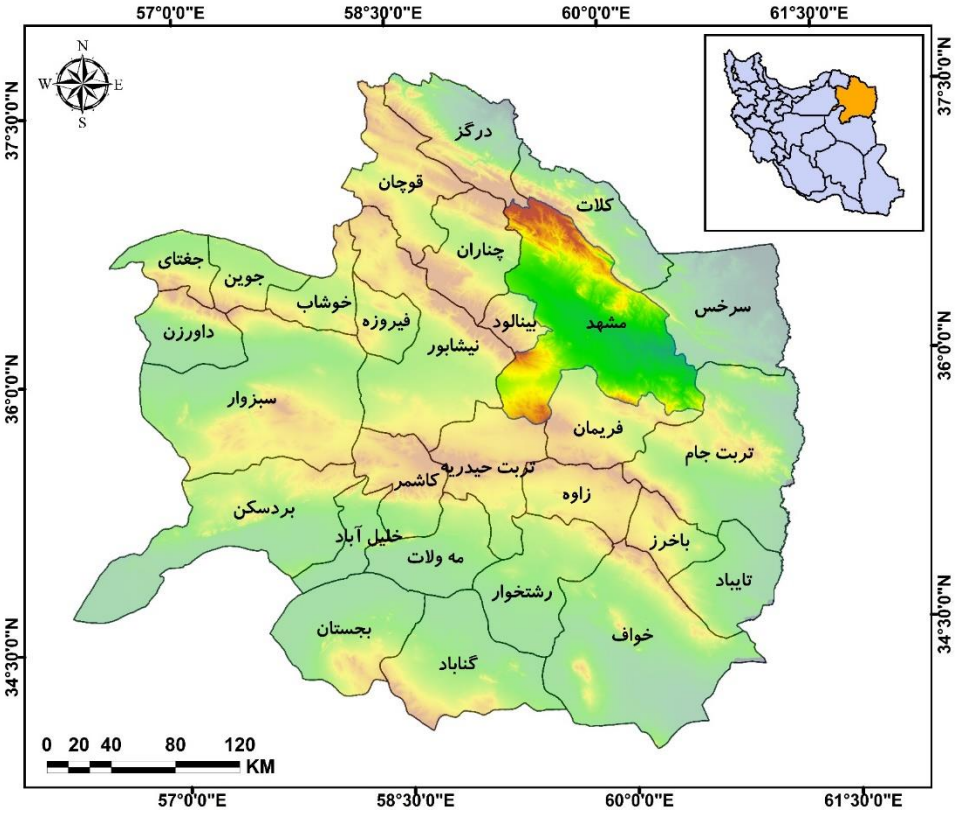
جدول ۲. مشخصات معیارهای مکانی استفاده‌شده جهت انتخاب مکان مناسب انرژی‌های خورشیدی و بادی

معیارها	فرمت	منبع
فاصله از جاده: فاصله از شبکه جاده به دلیل کاهش هزینه‌های ساخت و ساز و همچنین کاهش اثرات تخریب محیط طبیعی هر چقدر کم باشد درجه مناسب بودن افزایش می‌باشد. در مطالعات مختلف بیان شده است مناطق با فاصله بیشتر از جاده دارای ارزش کمتری نسبت به مناطق نزدیک‌ترند (Shorabeh et al., 2019).	وکتوری	http://www.ncc.org.ir/
فاصله از گسل: هر چقدر فاصله از گسل بیشتر باشد درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد (Davtalab and Alesheikh, 2018)، زیرا در صورت بروز لغزش یا رانش زمین می‌تواند خسارت زیادی به بار آورد..	وکتوری	https://gsi.ir/
فاصله از مناطق حفاظت شده: مناطق حفاظت شده شامل پارک‌های ملی، حیات وحش، محیط زیست پرندگان، اجسام آبی و غیره می‌باشد. در ادبیات تحقیق بیان شده است که مکان‌های انتخاب شده تا حد ممکن نباید در نزدیکی مناطق حفاظت‌شده باشد (Blaschke et al., 2013). مثلاً در صورت وجود توربین‌های بادی در مسیر حرکت یا مهاجرت پرندگان، احتمال برخورد آنها به لبه حمله توربین‌های بادی افزایش می‌یابد و به پره‌ها صدمه وارد می‌کند.	وکتوری	http://www.ncc.org.ir/
بارش: مناطق با بارش بالا از یک طرف نشان‌دهنده وجود ذرات معلق بالا در اتمسفر می‌باشد که هم در جذب و هم انعکاس تابش موج کوتاه نقش دارد و از طرف دیگر نشان دهنده میزان رطوبت بالاست. علاوه‌براین، مناطق دارای بارش بالا ممکن است از نظر اقتصادی هزینه‌بر باشند، زیرا باعث کثیف شدن پانل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی می‌شوند.	رستری	https://wapor.apps.fao.org/
فاصله از رودخانه: از آنجاکه نزدیکی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر به رودخانه‌ها می‌تواند باعث به خطر افتادن آنها در مواقع سیلابی شدن شود به همین دلیل هرچه نیروگاه‌ها از رودخانه‌ها دورتر باشند درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد (Zoghi et al., 2017).	وکتوری	http://www.ncc.org.ir/

معیارها	فرمت	منبع
تابش خورشیدی: از معیار تابش خالص جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی استفاده شده است. تابش خالص یکی از مهم‌ترین منابع انرژی محسوب می‌گردد که از خورشید در قالب انرژی الکترومغناطیسی دریافت می‌شود (Banos et al., 2011).	رستری	https://globalsolaratlas.info/map
ساعات آفتابی: از معیار میانگین ساعات آفتابی جهت انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه‌های خورشیدی استفاده شده است. ساعات آفتابی یکی از عوامل مهم اقلیمی است که تابش رسیده شده به هر منطقه را نشان می‌دهد. هر چقدر میزان ساعات آفتابی در منطقه‌ای بالا باشد از یک طرف نشان دهنده پتانسل بالای آن منطقه جهت ساخت نیروگاه‌های خورشیدی و از طرف دیگر نشان دهنده روزهای ابری کم در آن منطقه می‌باشد (Sánchez-Lozano et al., 2013).	وکتوری	http://www.irimo.ir/
فاصله از روستا: به دلیل دسترسی مناسب و به موقع هر چقدر میزان فاصله کمتر باشد درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد (Firozjaei et al., 2019).	وکتوری	http://www.ncc.org.ir/
سرعت باد: از معیار سرعت باد جهت انتخاب مکان مناسب برای ساخت نیروگاه‌های بادی استفاده شده است. سرعت باد معیاری می‌باشد که تقریباً در اکثر مطالعات قبلی به عنوان مهم‌ترین پارامتر در نظر گرفته شده است (Nasehi et al., 2016)، زیرا میزان عملکرد اقتصادی یک توربین بادی را تعیین می‌کند.	رستری	https://globalwindatlas.info/
ارتفاع و شیب: معیار شیب و ارتفاع یک عامل اقتصادی محسوب می‌شود. به طوری که هزینه احداث نیروگاه‌ها در شیب‌ها و ارتفاعات مختلف متفاوت می‌باشد. هر چقدر میزان شیب و ارتفاع بیشتر باشد هزینه ساخت و ساز و جابه‌جایی وسایل افزایش می‌یابد (Noorollahi et al., 2016).	رستری	https://earthexplorer.usgs.gov/

شهرستان مشهد در شمال شرق ایران و مرکز استان خراسان رضوی، در موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۲). شهر مشهد به عنوان دومین شهر بزرگ ایران،

جمعیتی بیش از ۳,۵ میلیون نفر دارد و دارای آب و هوای معتدل و متمایل به سرد و خشک است و تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب دارد. وزش بادها بیشتر در جهت جنوب شرقی به شمال غربی است. بیشترین درجه حرارت در تابستان ۳۵ درجه بالای صفر و کمترین آن در زمستان ۱۵درجه زیر صفر است. تعداد روزهای آفتابی نیز ۳۰۰ روز در طول سال می‌باشد (https://irimo.ir/).



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه

نتایج و بحث

وزن محاسبه‌شده با مدل بهترین- بدترین برای هریک از معیارها به صورت جدول ۳ نشان داده شده است. در بین معیارهای مؤثر برای انتخاب مکان مناسب برای ساخت نیروگاه انرژی‌های خورشیدی و بادی براساس نظرات کارشناسان، مهم‌ترین معیارهای محیطی به ترتیب تابش

خورشیدی (Shorabeh et al., 2019Firozjaei et al., 2019 ;) و سرعت باد (Höfer et al., 2016) می‌باشند. در بین معیارهای اقتصادی فاصله از جاده به عنوان مهم‌ترین معیار برای هر دو نوع انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته شده است.

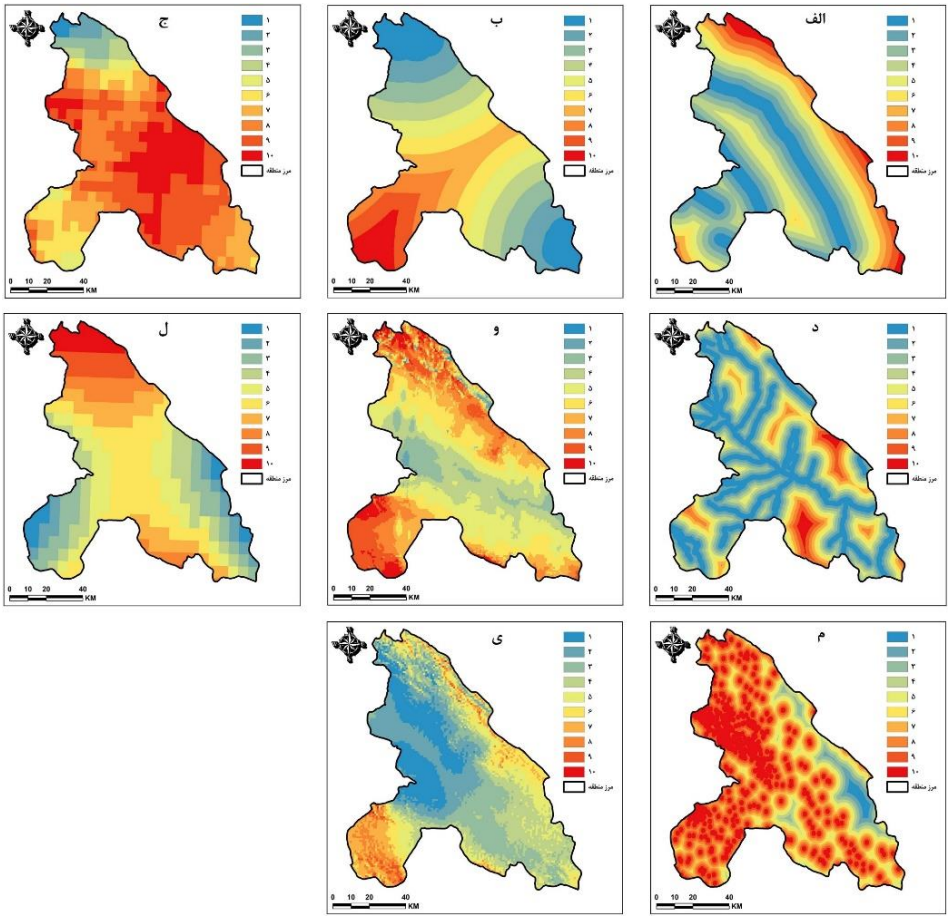
جدول ۳. وزن معیارهای مورد استفاده

معیار	وزن	زیرمعیار	وزن زیرمعیارهای انرژی خورشیدی	وزن زیرمعیارهای انرژی بادی
محیطی	۰/۵۵	فاصله از گسل	۰/۰۵	۰/۱۲
		فاصله از مناطق حفاظت شده	۰/۱۱	۰/۱۵
		بارش	۰/۰۹	۰/۱۴
		فاصله از رودخانه	۰/۱۳	۰/۱۷
		تابش خورشیدی	۰/۲۵	---
		ساعات آفتابی	۰/۱۶	---
		فاصله از روستا	۰/۲۱	۰/۱۹
		سرعت باد	---	۰/۲۳
اقتصادی	۰/۴۵	ارتفاع	۰/۲۰	۰/۲۸
		شیب	۰/۳۵	۰/۳۰
		فاصله از جاده	۰/۴۵	۰/۴۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش * ضریب سازگاری برای همه مقایسات زوجی کمتر از ۰/۱ بوده است.

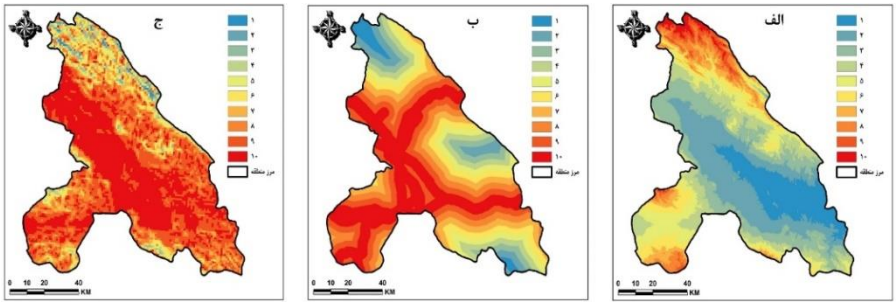
با توجه به نتایج به دست آمده نرخ سازگاری برای محاسبه وزن معیارها براساس نظرات کارشناسان کمتر از ۰/۱ می‌باشد و به عبارتی نشان‌دهنده قابل قبول بودن و سازگاری نظرات کارشناسان می‌باشد. نقشه معیارهای مورد استفاده برای ساخت مزرعه انرژی‌های خورشیدی و بادی در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. مقادیر معیارها بین ۱ تا ۱۰ است به صورتی که هر چقدر مقدار به سمت ۱۰ نزدیک‌تر باشد درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد و برعکس. در معیارها مناطق دارای مقادیر بالا متفاوت می‌باشد. این ویژگی معیارها نشان می‌دهد که هر منطقه از لحاظ ویژگی خاصی، دارای پتانسیل است. در نهایت، مناطقی به عنوان مناطق دارای پتانسیل بالا انتخاب می‌شوند

که در همه معیارها دارای بیشترین مقادیر باشند. نقشه معیار تابش خورشیدی نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از لحاظ تابش ورودی به سطح دارای پتانسل متفاوتی است به طوری که مناطق شمالی و جنوب غربی دارای پتانسیل بالا و مناطق غرب و جنوب غربی دارای پتانسیل پایینی می‌باشند. همچنین وضعیت منطقه مورد مطالعه از نظر سرعت باد نشان می‌دهد که در شرق منطقه مورد مطالعه پتانسیل بالایی وجود دارد. در غرب به دلیل ناهموار بودن منطقه باد سرعت پایینی دارد.



شکل ۳. نقشه معیارهای محیطی: الف) فاصله از گسل؛ ب) فاصله از مناطق حفاظت‌شده؛ ج) بارش؛ د) فاصله از رودخانه؛ ه) تابش خورشیدی؛ ل) ساعات آفتابی؛ م) فاصله از روستا؛ و) سرعت باد

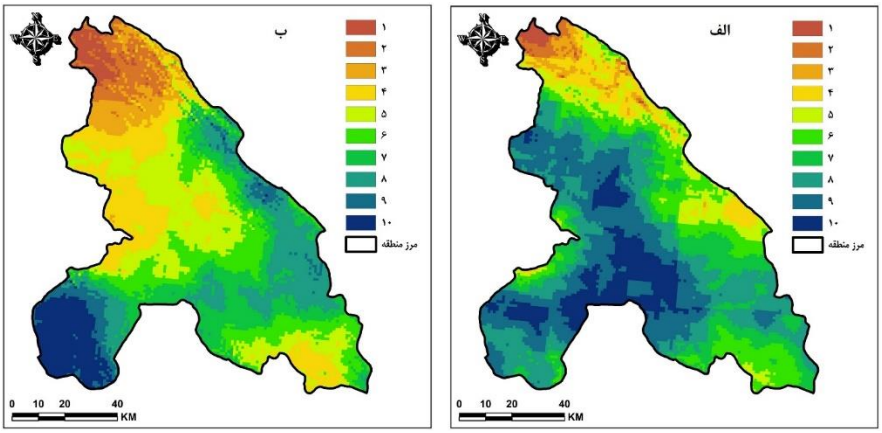
مأخذ: یافته‌های پژوهش



شکل۴ . نقشه معیارهای اقتصادی الف) ارتفاع؛ ب) فاصله از جاده؛ ج) شیب

مأخذ: یافته‌های پژوهش

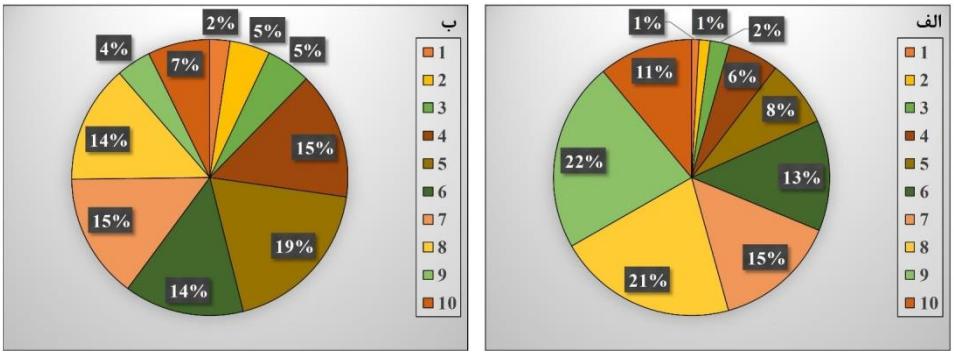
با تلفیق نقشه معیارها و محدودیت‌ها و وزن معیارها، نقشه تناسب برای انرژی‌های خورشیدی و بادی تهیه و در شکل ۵ نمایان شده است. نقشه پتانسیل در ۱۰ کلاس نشان داده شده است به صورتی که ۱ مبین کلاس بسیار نامناسب و ۱۰ نشان‌دهنده کلاس بسیار مناسب می‌باشد. رنگ آبی مناطق درجه مناسب بودن خیلی بالا را نشان می‌دهد. بررسی نقشه‌های پتانسیل انرژی خورشیدی و بادی نشان‌دهنده آن است که مکان‌های مناسب برای انرژی‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه متفاوت می‌باشد. این نشان می‌دهد که هر منطقه جهت سرمایه‌گذاری برای یک نوع انرژی خاصی پتانسیل دارد به‌طوری‌که مکان‌های مناسب برای انرژی خورشیدی بیشتر در مناطق جنوبی و مرکزی و برای انرژی بادی در مناطق جنوب غربی و شرق منطقه مورد مطالعه قرار دارند.



شکل ۵. نقشه تناسب: الف) انرژی خورشیدی؛ ب) انرژی بادی

مأخذ: یافته‌های پژوهش

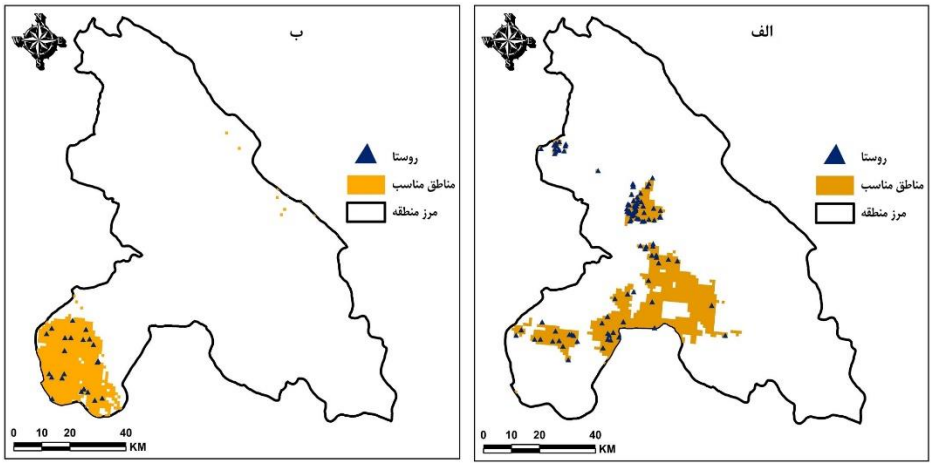
بررسی مساحت طبقات نشان می‌دهد از مجموع مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۰٪ در کلاس نامناسب (کلاس‌های ۱، ۲، ۳ و ۴)، ۳۶٪ در کلاس متوسط (کلاس‌های ۵، ۶ و ۷) و ۵۴٪ درصد در کلاس مناسب (کلاس‌های ۸، ۹ و ۱۰) جهت تأسیس نیروگاه‌های خورشیدی قرار دارند (شکل ۶الف). همچنین از مجموع مساحت منطقه مورد مطالعه ۲۷٪ در کلاس نامناسب (کلاس‌های ۱، ۲، ۳ و ۴)، ۴۸٪ در کلاس متوسط (کلاس‌های ۵، ۶ و ۷) و ۲۵٪ در کلاس مناسب (کلاس‌های ۸، ۹ و ۱۰) جهت تاسیس نیروگاه‌های بادی قرار دارند (شکل ۶ب).



شکل ۶. درصد مساحت کلاس‌ها: الف) نیروگاه خورشیدی ب) نیروگاه بادی

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بعد از استخراج کلاس‌های مناسب جهت توسعه انرژی‌های خورشیدی و بادی در منطقه مورد مطالعه، روستاهای این محدوده مشخص شدند (شکل ۷). نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه مناطق مناسب جهت برق‌رسانی به روستاها برای انرژی خورشیدی نسبت به انرژی بادی دارای پراکندگی مناسب و مساحت بیشتری می‌باشند؛ به عبارتی، تعداد روستاها جهت برق‌رسانی توسط انرژی‌های خورشیدی و بادی به ترتیب ۱۰۱ و ۲۲ روستا هستند.



شکل ۷. الف) موقعیت روستاها برای برق‌رسانی از طریق انرژی خورشیدی؛ ب) موقعیت روستاها برای برق‌رسانی از طریق انرژی بادی

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در حال حاضر سوخت‌های فسیلی اصلی‌ترین منابع تأمین انرژی در جهان است. این منابع از یک سو پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی دارد (Ayodele et al., 2018 ; Giamalaki and Tsoutsos, 2019; Shorabeh et al., 2019) و از سوی دیگر، محدود بودن آنها، بیم اتمام چنین سوخت‌هایی را پیش‌روی جهانیان قرار داده است. علاوه‌براین، پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش ۴۹ درصدی تقاضای جهانی انرژی در ۲۵ سال آتی است؛ برای مثال براوردها حاکی از افزایش مصرف جهانی نفت از ۸۶ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۰۷ به ۱۰۴ میلیون بشکه در سال ۲۰۳۰ است که سبب افزایش قیمت‌ها خواهد شد (Uyan, 2013Brink and Marx, 2013 ;). مجموعه این عوامل انرژی‌های تجدیدپذیر را تبدیل به جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی به ویژه در مناطق روستایی نموده است؛ زیرا پراکندگی روستاها اتصال آنها را به شبکه سراسری انرژی همچون برق دشوار و پرهزینه می‌سازد حال آنکه شواهد در کنار تأمین انرژی این مناطق از طریق منابع تجدیدپذیر، تأییدکننده دیگر منافع اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی همچون اشتغال‌زایی، دارمدزایی، کاهش آلودگی‌های محیطی و .. است (Huang et al., Afsharzade et al., 2016 ; 2020; Shamsuzzoha et al., 2012). بنابراین، در مناطق روستایی انرژی تجدیدپذیر فقط برای

تأمین انرژی نبوده بلکه سبب افزایش و ارتقای رقابت‌پذیری و بازده اقتصادی این مناطق می‌گردد. بااین‌حال، پذیرش و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تحت تأثیر ملاحظات مختلفی است که کاتسپراکاکیس و چریستکیس (Katsaprakakis and Christakis, 2016) و بایی و همکاران (Bai et al., 2016) پتانسیل‌سنجی این مناطق را با هدف پیشنهاد پروژه‌هایی که بیشترین ارزش افزوده اقتصادی را در مکان داشته باشند ضروری می‌دانند. بنابراین، مطالعه حاضر با در نظر گرفتن محدود بودن مطالعات پژوهشی در شناسایی مناطق بهینه روستایی، مکانیابی را برای شناسایی روستاهای بهینه در شهرستان مشهد انجام داده است که تفکیک فضایی مناسبی را بدین منظور ارائه می‌دهد.
مطالعه حاضر مکان‌یابی بهینه را برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی و بادی با ادغام سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در سطح منطقه‌ای و روستایی انجام داده است. نتایج نشان داد که برای توسعه انرژی‌های خورشیدی و بادی در بین معیارهای محیطی به ترتیب معیارهای تابش خورشیدی و سرعت باد و در بین معیارهای اقتصادی برای هر دو انرژی معیار فاصله از جاده دارای بیشترین اهمیت را دارند. نتایج بررسی‌ها در منطقه مورد مطالعه نشان داد که این منطقه پتانسیل بالایی جهت توسعه انرژی خورشیدی نسبت به انرژی بادی دارد به طوری که جهت توسعه انرژی‌های خورشیدی و بادی از مجموع مساحت منطقه به ترتیب ۱۱ و ۷ درصد دارای پتانسیل بالایی می‌باشند.

نتایج پتانسیل‌سنجی در سطح روستایی تأییدکننده نتایج مطالعه سرتیپی‌پور (Sartipipour, 2012)، پیام و همکاران (Payam et al., 2018) در تناسب نوع انرژی‌تجدیدپذیر با منطقه مورد مطالعه است. نتایج نشان داد روستاهای دارای بالاترین پتانسیل انرژی بادی در حاشیه جنوب‌غربی استان توزیع شده‌اند حال آنکه روستاهای دارای پتانسیل انرژی خورشیدی بیشتر در بخش جنوبی و مرکزی استان توزیع شده‌اند.

نتایج این تحقیق ضمن تأیید اهمیت مطالعات فضایی در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر به دلیل عدم توزیع یکنواخت منابع این انرژی‌ها در فضاهای جغرافیایی متفاوت، پیشنهادهای اجرایی و پژوهشی را برای مطالعات آتی فراهم می‌سازد. در بعد اجرایی، ضرورت توجه به مجموعه معیارهای جغرافیایی و اقتصادی در سطح محلی و نوع انرژی تجدیدپذیر برای افزایش بازده سرمایه‌گذاری توسعه و اجرای پروژه‌های تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری است. همچنین همان طور که پیشینه مطالعات نشان می‌دهد، پتانسیل‌سنجی یکی از ابعاد توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر است درحالی‌که پذیرش پروژه‌های مرتبط متأثر از عوامل و نگرش‌های اجتماعی در سطح محلی است؛ لذا پیشنهاد

می‌گردد مطالعات آتی نگرش‌های جامعه محلی در روستاهای بهینه و با بالاترین پتانسیل را بررسی کنند. علاوه‌براین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی نتایج حاصل از مدل ارائه‌شده در این مطالعه با مدل‌های اقتصادی تلفیق گردد. استفاده از روش‌های MCDA، که قابلیت لحاظ کردن درجات ریسک در تصمیم‌گیری را دارند، سبب افزایش اهمیت و کاربرد نتایج مدل پیشنهادی برای مدیران و تصمیم‌گیران در زمینه سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر خواهد شد.

منابع

1. Afsharzade, N., Papzan, A., Ashjaee, M., Delangizan, S., Van Passel, S. and Azadi, H. (2016). Renewable energy development in rural areas of Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65: 743-755.
2. Al Garni, H.Z. and 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.
3. Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J. and Gyawali, S. (2019). GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy*, 132: 1360-1372.
4. Aydi, A., Abichou, T., Nasr, I.H., Louati, M. and Zairi, M. (2016). Assessment of land suitability for olive mill wastewater disposal site selection by integrating fuzzy logic, AHP, and WLC in a GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1): 59.
5. Ayodele, T., Ogunjuyigbe, A., Odigie, O. and Munda, J. (2018). A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria. *Applied Energy*, 228: 1853-1869.
6. Bai, A., Durkó, E., Tar, K., Tóth, J.B., Lázár, I., Kapocska, L. and Pénzes, J. (2016). Social and economic possibilities for the energy utilization of fitomass in the valley of the river Hernád. *Renewable Energy*, 85: 777-789.
7. Banos, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F., Gil, C., Alcayde, A. and Gómez, J. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4): 1753-1766.
8. Benedek, J., Sebestyén, T.-T. and Bartók, B. (2018). Evaluation of renewable energy sources in peripheral areas and renewable energy-based rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90: 516-535.

9. Blaschke, T., Biberacher, M., Gadocha, S. and Schardinger, I. (2013). 'Energy landscapes': Meeting energy demands and human aspirations. *Biomass and Bioenergy*, 55: 3-16.
10. Blenkinsopp, T., Coles, S. and Kirwan, K. (2013). Renewable energy for rural communities in Maharashtra, India. *Energy Policy*, 60: 192-199.
11. Brink, J. and Marx, S. (2013). Harvesting of Hartbeespoort Dam micro-algal biomass through sand filtration and solar drying. *Fuel*, 106: 67-71.
12. Byrne, J., Shen, B. and Wallace, W. (1998). The economics of sustainable energy for rural development: A study of renewable energy in rural China. *Energy Policy*, 26(1): 45-54.
13. Colak, H.E., Memisoglu, T. and Gercek, Y. (2020). Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya province, Turkey. *Renewable Energy*, 149: 565-576.
14. Davtalab, M. and Alesheikh, A.A. (2018). Spatial optimization of biomass power plant site using fuzzy analytic network process. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(5): 1033-1046.
15. Everest, B. (2021). Willingness of farmers to establish a renewable energy (solar and wind) cooperative in NW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6): 1-10.
16. Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Mijani, N., Shorabeh, S.N., Firozjaei, H.K. and Toomanian, A. (2019). An integrated GIS-based ordered weighted averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. *Renewable Energy*, 136: 1130-1146.
17. Giamalaki, M. and Tsoutsos, T. (2019). Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach. *Renewable Energy*, 141: 64-75.
18. Höfer, T., Sunak, Y., Siddique, H. and Madlener, R. (2016). Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen. *Applied Energy*, 163: 222-243.
19. Huang, J., Li, W., Guo, L., Hu, X. and Hall, J.W. (2020). Renewable energy and household economy in rural China. *Renewable Energy*, 155: 669-676.
20. Shorabeh, S. N., Firozjaei, H. K., Firozjaei, M. K., Jelokhani-Niaraki, M., Homaee, M., and Nematollahi, O. (2022). The site selection of wind energy power plant using GIS-multi-criteria evaluation from economic perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168: 112778.
21. Jahangiri, M., Haghani, A., Mostafaeipour, A., Khosravi, A. and Raeisi, H.A. (2019). Assessment of solar-wind power plants in Afghanistan: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99: 169-190.

22. Katsaprakakis, D.A. and Christakis, D.G. (2016). The exploitation of electricity production projects from renewable energy sources for the social and economic development of remote communities. The case of Greece: An example to avoid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: 341-349.
23. Korsavi, S.S., Zomorodian, Z.S. and Tahsildoost, M. (2018). Energy and economic performance of rooftop PV panels in the hot and dry climate of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 174: 1204-1214.
24. Malczewski, J. and Rinner, C. (2015). Multicriteria decision analysis in geographic information science: New York: Springer.
25. Nadizadeh Shorabeh, S., Neysani Samani, N. and Jelokhani-Niaraki, M.R. J.N. (2017). Determination of optimum areas for the landfill with emphasis on the urban expansion trend based on the combination of the Analytical Hierarchy Process and the Ordered Weighted Averaging model. *Journal of Natural Environment*, 70(4): 949-969. (Persian)
26. Nadizadeh Shorabeh, S., Neisany Samany, N., and Abdali, Y. (2019). Mapping the potential of solar power plants based on the concept of risk Case study: Razavi Khorasan Province. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(111): 129-147. (Persian)
27. Nasehi, S., Karimi, S. and Jafari, H. (2016). Application of fuzzy GIS and ANP for wind power plant site selection in East Azerbaijan province of Iran. *Computational Research Progress in Applied Science and Engineering*, 2(3): 116-124.
28. Noorollahi, E., Fadai, D., Akbarpour Shirazi, M. and Ghodsipour, S.H. (2016). Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP): A case study of Iran. *Energies*, 9(8): 643.
29. Payam, F., Taheri, A. and Torabi, G. (2018). Challenge of fossil energy and importance of investment in renewable energies in Iran. *Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies*, 5(20): 140-160. (Persian)
30. Qureshi, S., Shorabeh, S. N., Samany, N.N., Minaei, F., Homaee, M., Nickravesh, F. and Arsanjani, J.J. (2021). A new integrated approach for municipal landfill siting based on urban physical growth prediction: A case study Mashhad Metropolis in Iran. *Remote Sensing*, 13(5): 949.
31. Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53: 49-57.
32. Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P.L. and García-Cascales, M.S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar

farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24: 544-556.
33. Sartipipour, M. (2012). The role and place of renewable energy in rural development. *Geography (Iranian Geographical Association Quarterly)*, 9(31): 125-148. (Persian)
34. Shahabi, H., Keihanfard, S., Ahmad, B.B. and Amiri, M.J.T. (2014). Evaluating Boolean, AHP and WLC methods for the selection of waste landfill sites using GIS and satellite images. *Environmental Earth Sciences*, 71(9): 4221-4233.
35. Shamsuzzoha, A., Grant, A. and Clarke, J. (2012). Implementation of renewable energy in Scottish rural area: A social study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1): 185-191.
36. Shorabeh, S.N., Argany, M., Rabiei, J., Firozjaei, H.K. and Nematollahi, O. (2021). Potential assessment of multi-renewable energy farms establishment using spatial multi-criteria decision analysis: A case study and mapping in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 295: 126318.
37. Shorabeh, S.N., Firozjaei, M.K., Nematollahi, O., Firozjaei, H.K. and Jelokhani-Niaraki, M. (2019). A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran. *Renewable Energy*, 143: 958-973.
38. Shorabeh, S.N., Varnaseri, A., Firozjaei, M.K., Nickravesh, F. and Samany, N.N. (2020). Spatial modeling of areas suitable for public libraries construction by integration of GIS and multi-attribute decision making: Case study Tehran, Iran. *Library and Information Science Research*, 42(2): 101-117.
39. Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28: 11-17.
40. Boloorani, A.D., Shorabeh, S.N., Samany, N.N., Mousivand, A., Kazemi, Y., Jaafarzadeh, N. and Rabiei, J. (2021). Vulnerability mapping and risk analysis of sand and dust storms in Ahvaz, IRAN. *Environmental Pollution*, 279: 116-129.
41. Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L. and Yang, H. (2010). Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems. *Applied Energy*, 87(2): 380-389.
42. Shahpari Sani, D., Heidari, M. T., Tahmasebi Mogaddam, H., Nadizadeh Shorabeh, S., Yousefvand, S., Karmpour, A., and Jokar Arsanjani, J. (2022). An Assessment of Social Resilience against Natural Hazards through Multi-

Criteria Decision Making in Geographical Setting: A Case Study of Sarpol-e Zahab, Iran. *Sustainability*, 14(14): 83-94.

43. Zoghi, M., Ehsani, A.H., Sadat, M., Javad Amiri, M. and Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68: 986-996.