نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

Vol.12, No.4, Winter 2025

۱۳۵ -۱۵۸

مقاله پژوهشی

مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی (مطالعه موردی: استان هرمزگان)

ماجده داغ بلندان[۱]، شهلا پاسلار[۲*]، محسن دادرس[۳]

۱- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

چکیده

هدف از پژوهش حاضر پتانسیل‌سنجی استان هرمزگان به منظور احداث نیروگاه خورشیدی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (*GIS*)، تصمیم‌گیری چند معیاره (*MCDM*) و الگوریتم خوشه‌بندی (*Clustering*) به عنوان یک ابزار ترکیبی مناسب است. در این تحقیق، ابتدا عوامل مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی از جمله معیارهای اصلی اقلیم، منابع طبیعی و محیط زیست، زیرساخت و فیزیکی با استفاده از مطالعات پیشین و بهره‌گیری از روش دلفی (*Delphi*) شناسایی شده و سپس اهمیت هر معیار با استفاده از نظر خبرگان و روش بهترین- بدترین فازی مردد (*HFBWM*) تعیین شد. نقشه تمامی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از نرم افزار آرک جی آی اس تهیه و تدوین شد. با برهم‌نهی نقشه‌های وزن‌دهی شده، نقشه مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی ایجاد و دسته‌بندی مناطق صورت گرفت. در نهایت با بهره‌گیری از نرم‌افزار آرک جی آی اس پرو ،مناطق فوق العاده مناسب که ۵٪ از کل مناطق را شامل می‌شود، با استفاده از روش خوشه‌بندی *DBSCAN* و تکنیک *OPTICS* خوشه‌بندی شد. نتایج نشان داد ۱۱ سایت در شهرستان‌های بندرعباس، بستک، بندرلنگه، جاسک، حاجی‌آباد، رودان و قشم از مناطق فوق‌العاده مناسب به منظور احداث نیروگاه خورشیدی است.

کلیدواژه‌ها : نیروگاه خورشیدی، مکان‌یابی، بهترین-بدترین فازی مردد (*HFBWM*)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (*GIS*)، خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی (*DBSCAN*).

* نویسنده مکاتبه‌کننده: بندرعباس، بلوار دانشگاه، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس.

تلفن: ۰۷۶۳۳۶۶۵۵۰۰

Email: paslar@iauba.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

۱- مقدمه

امروزه با کاهش مصرف سوخت های فسیلی در جهان، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نقش پر رنگی در سبد انرژی جهان، بدست آورده است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و روش‌های سازگار با محیط‌زیست برای تولید برق یکی از اولویت‌های امروز کشورهای توسعه یافته به شمار می‌رود [۱]. خورشید یک منبع مهم انرژی است که بهره برداری از آن بسیار مقرون به صرفه، در دسترس و تجدیدپذیر است. تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی به منظور بهره وری بیشینه نیازمند شناسایی دقیق معیارهای مؤثر در مکان‌یابی از جمله معیارهای اقلیمی، زیرساختی، فیزیکی و منابع طبیعی و محیط‌زیستی است که اکثر آن‌ها ماهیت مکانی دارند. از این رو برای طرح‌های مکان‌یابی یا بررسی توان اکولوژیکی برای ترکیب لایه‌های مختلف در مسائل تصمیم‌گیری چند متغیره از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود [۲]. ایران با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه‌ی پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان است. با توجه به استانداردهای بین‌المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳/۵ کیلووات ساعت در مترمربع (۳۵۰۰ وات/ساعت) باشد، استفاده از مدل‌های انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. در بسیاری از قسمت‌های ایران انرژی تابشی خورشید بسیار بالاتر از این میانگین بین‌المللی است [۱، ۲ و ۳]. استان هرمزگان به علت آب و هوای خاص و وسعت زیاد، یکی از استان‌های مستعد کشور برای استقرار نیروگاه‌های خورشیدی است. در این استان از ۳۶۵ روز سال، ۳۶۲ روز آفتاب وجود دارد که ظرفیت مناسبی برای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی است؛ بطور متوسط روزانه ۸/۵ ساعت در هرمزگان آفتاب وجود دارد و شدت تابش نور خورشید ۱۹۶۷ کالری بر سانتی‌مترمربع است که این ظرفیت‌ها بکارگیری از این انرژی پاک را در هرمزگان مورد توجه قرار داده است [۱]. پژوهش‌های متعددی با هدف یافتن منابع انرژی تجدیدپذیر جایگزین، همگان را متوجه خورشید و استفاده از انرژی آن (با هزینه کمتر نسبت به سایر صورت‌های انرژی) نموده است. در ادامه به مرور پژوهش‌هایی مربوط به حوزه مکان‌یابی و مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی، پرداخته می‌شود: ناصحی و همکاران (۲۰۱۵) از روش‌های منطق فازی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (*ANP*[1]) و نرم‌افزار آرک جی آی اس[2] به منظور پتانسیل‌سنجی استان هرمزگان جهت احداث نیروگاه خورشیدی استفاده کرده‌اند. درنهایت مناطق شمال و شمال شرق هرمزگان به‌عنوان مکان بهینه تعیین گردیدند [۴]. کمانگر و همکاران (۲۰۱۴) از روش تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*)[3] به‌منظور وزن‌دهی معیارهای مکان‌یابی بهره بردند و درنهایت با استفاده از نرم‌افزار آرک جی آی اس با تلفیق لایه‌های مربوط به معیارها، شمال استان هرمزگان در طبقه بسیار مناسب جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی قرار گرفت [۵]. یوسفی و همکاران (۲۰۱۳) تحقیقی با عنوان کاربرد منطق فازی و تاپسیس فازی[4] جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار آرک جی آی اس در تهران انجام داده‌اند. در نهایت، ۹ منطقه به عنوان بهترین مکان‌ها برای احداث نیروگاه خورشیدی انتخاب و پس از اولویت‌بندی گزینه‌های پیشنهادی، بهترین مکان جهت احداث نیروگاه شناسایی گردید [۶]. احمدی و همکاران (۲۰۱۴) با توجه به معیارهای اقلیمی، توپوگرافی، محیط‌زیستی و انسان ساخت در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سلسله مراتبی در استان ایلام به مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد مناطق جنوبی و غربی استان ایلام بهترین مکان‌ها جهت احداث نیروگاه خورشیدی بوده‌اند [۷]. صحراگرد و همکاران (۲۰۱۷)

[1] *Analytic Network Process*
[2] *ArcGIS*
[3] *Analytic Hierarchy Process*
[4] *Fuzzy TOPSIS*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

در منطقه سیستان بر اساس نظر کارشناسان عوامل مؤثر انتخاب نمودند و سپس با استفاده از مقایسات زوجی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به وزن دهی معیارها پرداختند. نتایج نشان داد که به طور کلی حدود ۴۵ درصد از منطقه سیستان از پتانسیل زیادی برای احداث نیروگاه خورشیدی برخوردار است [۸]. تقوایی و صبوحی (۲۰۱۶) در پژوهشی پهنه‌های مناسب اقلیمی را با استفاده از همپوشانی وزنی تعیین نمودند و سپس با استفاده از روش تاپسیس بهینه‌ترین مکان را به منظور احداث نیروگاه خورشیدی در استان اصفهان انتخاب نمودند. بهترین مکان‌ها به ترتیب شهرستان‌های نایین، میمه، گلپایگان و شهرضا تشخیص داده شدند [۳]. فرانکو و اشتاینر[1] (۲۰۱۷) در تحقیقی با استفاده از یک روش فازی هیبریدی *c-mean*، به تجزیه و تحلیل احتمال ساخت نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق غیرمولد پرداختند. هدف از این پژوهش شناسایی زمین‌های متروکه ایده آل برای پروژه‌های مکان‌یابی تسهیلات انرژی بوده است [۹]. نادی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی از روش تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر ریسک و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای انتخاب سایت نیروگاه خورشیدی در چهار استان ایران استفاده نمودند و مناطق بالقوه را شناسایی کردند. نتایج نشان می‌دهد استان یزد که در شرایط آب و هوایی خشک قرار دارد، جهت احداث نیروگاه خورشیدی مناسب‌تر بوده است [۱۰]. ذوقی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به‌منظور انتخاب بهینه‌ی مکان نیروگاه خورشیدی، از منطق فازی و ترکیب خطی وزن دار (*WLC*)[2] و فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره (*MCDM*)[3] استفاده نمودند. مناطق بالقوه در اصفهان، برخوار، نایین، شاهین شهر و میمه به عنوان مناطق بالقوه شناسایی شدند [۱۱].

ایوا وگاپاروویچ[4] (۲۰۱۹) در مطالعه خود به تعیین مکان بهینه جهت احداث نیروگاه خورشیدی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و *AHP* در کشور کرواسی پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده، مؤثرترین معیارها در تعیین مکان بهینه احداث نیروگاه خورشیدی، پوشش زمین و فاصله از شبکه برق بوده است [۱۲]. وانگ و همکاران[5] (۲۰۱۸) برای یافتن بهترین مکان جهت احداث نیروگاه خورشیدی براساس معیارهای کمی و کیفی از ترکیب سه روش فرآیند سلسله مراتبی فازی (*FAHP*)[6]، روش تحلیل پوششی داده‌ها[7] و روش تاپسیس استفاده نمودند. شهر بینه[8] مکان بهینه برای ساخت نیروگاه خورشیدی معرفی شد [۱۳]. امجد و علیشاه[9] (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به شناسایی و ارزیابی مکان‌ها جهت توسعه نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی در کشور پاکستان جهت شناسایی مناطق با پتانسیل بالای جذب انرژی خورشیدی پرداختند. بلوچستان در کشور پاکستان مکان مناسب به منظور احداث نیروگاه خورشیدی نشان داده شد [۱۴]. سوورونن و همکاران[10] (۲۰۱۷) با استفاده از روش *MCDM* و میانگین وزنی مرتب شده (*OWA*)[11] با اجرا در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به بهینه سازی مکان‌های نیروگاه خورشیدی شمال کشور شیلی پرداختند [۱۵]. گوپتا و پوپالا[12] (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با عنوان ادغام روش *FAHP* و نرم‌افزار *ArcGIS* برای اولویت‌بندی مکان‌ها جهت نصب نیروگاه خورشیدی، به مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در هند پرداختند. چند معیار

[1] *Franco and Steiner*
[2] *Weighted Linear Combination*
[3] *Multiple-Criteria Decision-Making*
[4] *Gasparovic and Gasparovic*
[5] *Wang et al*
[6] *Fuzzy Analytical Hierarchy Process*
[7] *DEA*
[8] *Binh*
[9] *Amjad and Ali Shah*
[10] *Suuronen et al*
[11] *Ordered Weight Average*
[12] *Guptha and Puppala*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

مهم مانند تابش خورشید، در دسترس بودن زمین، در دسترس بودن آب، هزینه زمین، جمعیت، زیان انتقال و تعداد روزهای بارانی ارزیابی می‌شوند که تأثیر زیادی در تولید برق دارند [۱۶]. آزاده و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش خود به مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با ترکیب روش‌های *DEA* ، *AHP* و روش تحلیل مؤلفه‌ی اساسی (*PCA*)[1] اجرا کرده‌اند. روش ارائه شده برای ۲۵ شهر مختلف ایران با ۶ منطقه مختلف در هر شهر بررسی شده است [۱۷]. زاگوراس و همکاران[2] (۲۰۱۴) در پژوهشی با استفاده از روش خوشه‌بندی *k-mean*، داده‌ها را به منظور تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی در جزیره لانایی درهاوایی دسته‌بندی نمودند [۱۸].

بدلیل هزینه و آلودگی کم، نیروگاه‌های خورشیدی مستقل به عنوان منابع انرژی سبز پایدار و در حال توسعه به ویژه برای برق‌رسانی روستایی دیده می‌شوند [۱۹]. در مطالعات پیشین مرتبط با مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی، به تعداد محدودی از معیارها به عنوان عوامل مؤثر اشاره شده است. در حالی‌که در تحقیق حاضر، طیف گسترده‌ای از ۳۴ زیرمعیار در چهار گروه معیار برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یکی از چالش‌های اساسی در تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها، عدم قطعیت در نظرات خبرگان است که به کمک تکنیک‌های فازی قابل مدیریت است. با این حال، روش‌های فازی کلاسیک قادر به بیان دقیق تردیدهای متخصصان در مورد چندین مقدار برای یک متغیر نیستند. به همین دلیل، رویکردهای فازی مردد می‌توانند به‌طور مؤثرتری این عدم‌قطعیت‌ها را پوشش دهند [۲۰]. بنابراین در این پژوهش برای تعیین ارزش معیارها و زیر معیارهای تأثیر گذار از روش بهترین-بدترین فازی مردد استفاده شده است. همچنین با توجه به گستردگی نواحی و داده‌های تولید شده از برهم نهی لایه‌ها، می‌توان از روش‌های داده‌کاوی جهت تحلیل داده‌ها استفاده نمود. در پژوهش‌های گذشته روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی پیشنهاد شده است. اکثر روش‌های خوشه-بندی از جمله *DBSCAN*[3] نیاز به تعیین مقادیر پارامترهای ورودی دارند و در مجموعه داده‌های با حجم و ابعاد بالا، انتخاب دقیق این پارامترها بسیار دشوار خواهد بود. نتایج حاصل از الگوریتم *DBSCAN* با تنظیم دو پارامتر شعاع یک همسایگی و حداقل تعداد یک خوشه کنترل می‌شود. به منظور رفع این مشکل در پژوهش حاضر از الگوریتم نقاط ترتیب برای شناسایی ساختار خوشه‌بندی (*OPTICS*)[4] به منظور تعیین پارامترهای ورودی روش خوشه‌بندی *DBSCAN* استفاده شده است. تعیین صحیح پارامترهای ورودی تأثیر قابل توجهی در دقت و قابلیت اطمینان نتایج حاصل از این الگوریتم خواهد گذاشت. ادغام و استفاده همزمان از الگوریتم‌ها و روش‌های بهترین-بدترین فازی مردد (*HFBWM*[5])، *DBSCAN* و *OPTICS* را در کنار ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی جهت مکان‌یابی ساخت نیروگاه خورشیدی را می‌توان مهم‌ترین نوآوری این تحقیق برشمرد. مطالعات پیشین در زمینه مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی عمدتاً به تعداد محدودی از معیارها به‌عنوان عوامل مؤثر اشاره داشته‌اند. در این پژوهش، با هدف بهبود دقت و جامعیت فرآیند مکان‌یابی، ۴ معیار اصلی و ۳۴ زیرمعیار انتخاب و تحلیل شده است. یکی از چالش‌های اصلی در وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها، مدیریت عدم قطعیت موجود در نظرات خبرگان است. برای غلبه بر این چالش، روش‌های فازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، روش‌های فازی کلاسیک به‌درستی نمی‌توانند تردیدهای متخصصان را مدل‌سازی نمایند.

[1] *Principal Component Analysis*
[2] *Zagouras et al*
[3] *Density Based Spatial of Application with Noise*
[4] *Ordering Points to Identify the Clustering*
[5] *Hesitant fuzzy best-worst multi-criteria*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

به همین دلیل، از رویکردهای فازی مردد به‌عنوان روشی کارآمدتر برای پوشش این عدم قطعیت‌ها استفاده شده است. در این پژوهش، روش بهترین-بدترین فازی مردد (*HFBWM*) برای تعیین ارزش معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار به کار گرفته شده است. علاوه بر این، با توجه به حجم زیاد داده‌های مکانی و پیچیدگی حاصل از تلفیق لایه‌ها، استفاده از روش‌های داده‌کاوی برای تحلیل این داده‌ها ضروری است. در مطالعات قبلی، روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی مانند *DBSCAN* مطرح شده‌اند، اما این روش‌ها نیازمند تعیین دقیق پارامترهای ورودی هستند که در مجموعه داده‌های حجیم و پیچیده، یک چالش محسوب می‌شود. برای حل این مشکل، از الگوریتم *OPTICS* برای تعیین مقدار بهینه پارامترهای ورودی *DBSCAN* استفاده شده است. دقت و صحت نتایج این الگوریتم‌ها به تنظیم مناسب دو پارامتر کلیدی، شعاع همسایگی و حداقل تعداد نقاط خوشه، وابسته است. نوآوری اصلی این پژوهش، ارائه یک ساختار سلسله مراتبی از ادغام همزمان الگوریتم‌های *HFBWM*، *DBSCAN* و *OPTICS* به منظور افزایش دقت و قابلیت اطمینان نتایج حاصل فرآیند مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی است.

۲-روش شناسی

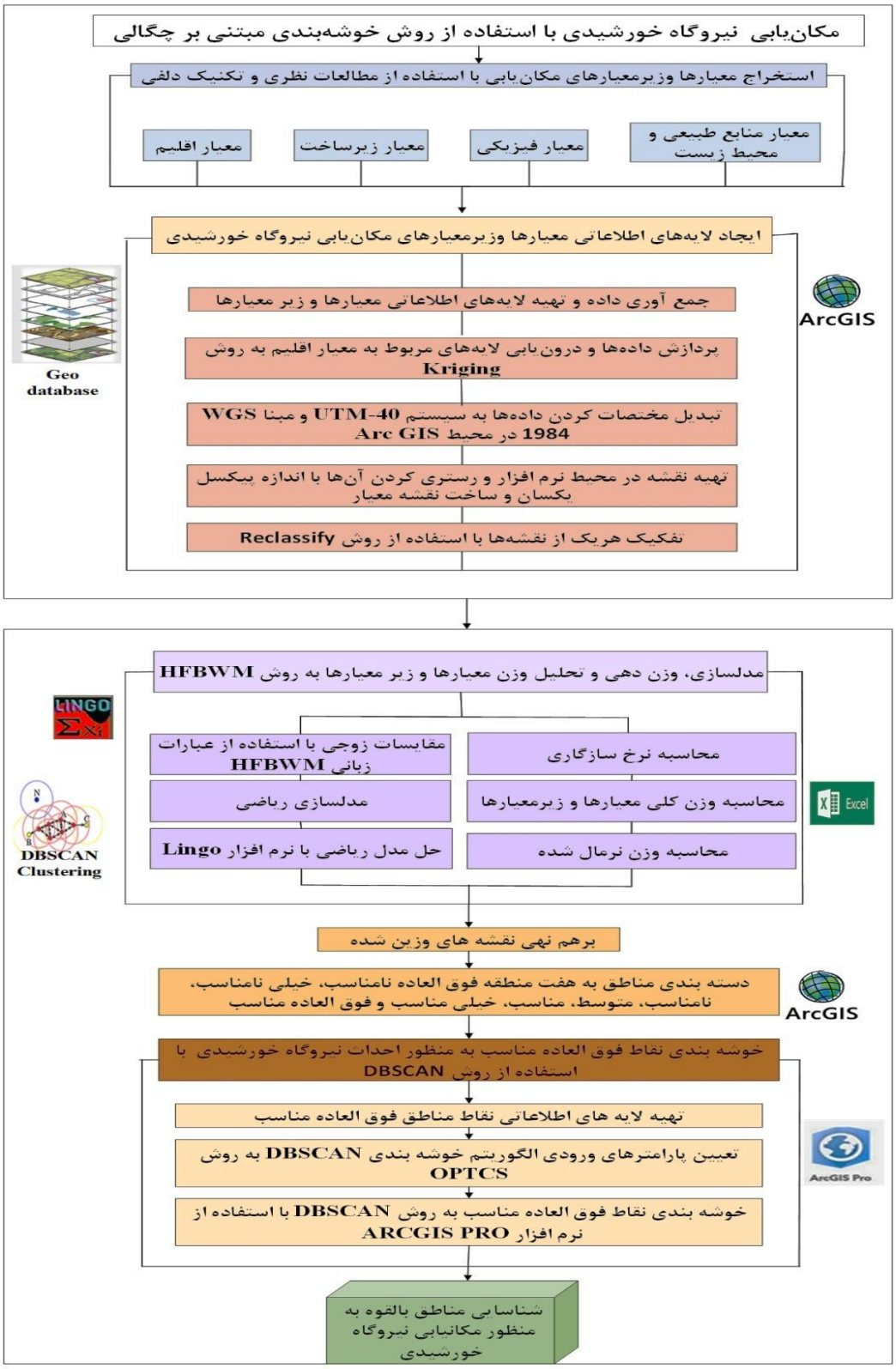
در این بخش با توجه به اهداف تعیین شده پژوهش، روش انجام تحقیق و ابزارهای تجزیه و تحلیل داده تشریح می‌گردد.

۲-۱-روش پژوهش

این تحقیق در پنج مرحله انجام گردید. در مرحله‌ی اول مطالعات کتابخانه‌ای از طریق شبکه اینترنت و پایگاه‌های داده علمی معتبر و مطالعات میدانی از طریق حضور در شرکت توزیع برق هرمزگان و جمع‌آوری اطلاعات مورد نظر انجام شد. در مرحله دوم باتوجه به مطالعات انجام شده چهار معیار اصلی شامل: اقلیم، زیرساخت، فیزیکی و منابع طبیعی و محیط‌زیست به منظور مکانیابی نیروگاه خورشیدی در استان هرمزگان در نظر گرفته شده است، که پس از ارائه پرسشنامه دلفی، برای هر معیار اصلی چندین زیر معیار در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است به منظور شناسایی معیارها و زیرمعیارها از روش دلفی استفاده شد. بدین منظور، معیارها/ زیرمعیارها در قالب پرسشنامه نظرسنجی متخصصان (پرسشنامه دلفی) در اختیار ۵ نفر از متخصصان قرار گرفت. از مصاحبه‌شوندگان درخواست شد درجه اهمیّت معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده را از طیف ۵ گزینه ای لیکرت انتخاب نمایند. در مرحله دوم داده‌های مرتبط با معیارها و زیرمعیارهای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی جمع‌آوری می‌گردند. این داده‌ها پس از تجزیه و تحلیل با استفاده از نرم‌افزار آرک جی آی اس به صورت نقشه، نمودار و جدول ارائه می‌شود. سپس در مرحله سوم پرسشنامه روش بهترین-بدترین[1] (*BWM*) طراحی شده و با استفاده از روش *HFBWM* مدلسازی، و با حل مدل در نرم‌افزار لینگو[2]معیارهای مکان‌یابی وزن دهی می‌شود. پس از وزن‌دهی معیارها در مرحله قبل، در مرحله چهارم با استفاده از نرم افزار آرک جی آی اس، نقاط مناسب جهت مکان‌یابی تسهیلات خورشیدی به صورت نقشه مشخص می‌شود. در مرحله پنجم، با استفاده از الگوریتم *DBSCAN* و تکنیک *OPTICS* در نرم‌افزار آرک جی آی اس پرو مکان‌های دارای پتانسیل بالای جذب انرژی خورشیدی در مناطق مختلف استان هرمزگان برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی خوشه‌بندی می‌شوند. فرآیند تحقیق مطابق با شکل (۱) است.

[1] *Best-Worst Method*
[2] *Lingo*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]



شکل۱: فرآیند تحقیق

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

۲-۲ -روش بهترین-بدترین فازی مردد

در این بخش، با الهام از روش بهترین-بدترین فازی مردد پیشنهاد شده در پژوهشی که لیائو و همکارانشان (۲۰۱۹) ارائه دادند، مراحل تعیین وزن معیارها به روش *HFBWM* تشریح می‌گردد.

گام اول: خبرگان $\{D_1 . D_2 . \dots . D_k . \dots . D_e\}$ می‌بایست مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیار را از مجموعه‌ی معیارها $\{C_1 . C_2 . \dots . C_j . \dots . C_n\}$ باتوجه به هدف تعیین شده، انتخاب کنند. بهترین و بدترین معیارهای انتخاب شده توسط هر خبره به ترتیب به صورت $c_B^{D_k}$ و $c_W^{D_k}$ نشان داده شده است.

گام دوم: از افراد خبره درخواست می‌شود که مقایسات زوجی را بین بهترین معیار $c_B^{D_k}$ و سایر معیارها براساس یک مجموعه اصطلاحات کلامی انجام دهند. اطلاعات مقایسه زوجی با عبارات بیانی مطابق جدول (۱) نشان داده می‌شود و سپس به روابط فازی مردد تبدیل می‌شود.

جدول۱: طیف امتیازدهی روش *HFBWM*

ترجیحات	عبارت
اهمیت یکسان	I_0
به همان اندازه خیلی مهم	I_1
نسبتاً مهم	I_2
نسبتاً مهم تر	I_3
خیلی مهم	I_4
خیلی مهم‌تر	I_5
خیلی خیلی مهم‌تر	I_6
مطلقاً مهم	I_7
مطلقاً مهم‌تر	I_8

گام سوم: در این مرحله بردار وزن فاصله‌ای معیارها و حداقل تفاوت مطلق (ξ^*) برای هر کارشناس بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود. سپس براساس رابطه (۲) و (۳) نرخ سازگاری محاسبه می‌شود:

رابطه(۱)

$$
\begin{aligned}
&Min\ \xi^+ \\
&\text{s.t.:} \left| w_B^{D_{k^-}} \Big/ w_j^{D_{k^-}} - U^-\left(env^{D_k}\left(h_S^{Bj}\right)\right) \right| \le \xi; \\
&\left| w_B^{D_{k^+}} \Big/ w_j^{D_{k^+}} - U^+\left(env^{D_k}\left(h_S^{Bj}\right)\right) \right| \le \xi; \\
&\left| w_j^{D_{k^-}} \Big/ w_W^{D_{k^-}} - U^-\left(env^{D_k}\left(h_S^{Bj}\right)\right) \right| \le \xi; \\
&\left| w_j^{D_{k^+}} \Big/ w_W^{D_{k^+}} - U^+\left(env^{D_k}\left(h_S^{Bj}\right)\right) \right| \le \xi; \\
&\sum_{\delta=1,\delta\neq j}^{n} w_\delta^{D_{k^+}} + w_j^{D_{k^-}} \ge 1; \\
&\sum_{\delta=1,\delta\neq j}^{n} w_\delta^{D_{k^-}} + w_j^{D_{k^+}} \ge 1; \\
&w_j^+ \ge w_j^- \ge 0, j = 1,2,\dots,n
\end{aligned}
$$

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

در رابطه (۱)، محدودیت های پنجم و ششم، محدودیت‌های بازه‌ی وزنی هستند و مقادیر حد بالا و حد پایین عبارت کلامی با روابط(۲) و (۳) نشان داده می شود.

رابطه(۲) $$U^{+}\left(env(h_s)\right) = U(h_s^{+}) = a^{\gamma}$$

رابطه(۳) $$U^{-}\left(env(h_s)\right) = U(h_s^{-}) = a^{\beta}$$

در رابطه (۲) و (۳)، β و γ به ترتیب حداقل h_s^- و حداکثر h_s^+ عبارت کلامی در h_s را نشان می‌دهند.

با حل مدل، می‌توان بازه بردار وزن بهینه معیار را مطابق با رابطه (۴) محاسبه کرد.

ξ^* را با توجه به نظر کارشناس به دست می‌آوریم. زمانی که $\xi^* = 0$ فرض می‌شود، مقایسات زوجی ثابت در نظر گرفته می‌شوند؛ از این رو، می‌توان ξ^* را به عنوان یک مقدار ثابت در نظر گرفت. نرخ سازگاری مقایسات زوجی را می‌توان با استفاده از روابط (۵) و (۶) محاسبه کرد. در رابطه(۵) زمانی که *CR* کمتر یا برابر با ۰/۱ باشد، *CR* قابل قبول تلقی می‌شود. اگر *CR* بزرگتر از ۰/۱ باشد قابل قبول نیست و می‌بایست نظرات خبرگان دوباره جمع‌آوری شود.

گام چهارم: در این مرحله بردار وزن نرمال شده معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روابط (۷) تا (۹) محاسبه می شود.

رابطه(۴) $$w^{D_k^*} = \left(\left[w_1^{D_k^{-*}} \;\; w_1^{D_k^{+*}}\right].\left[w_2^{D_k^{-*}} \;\; w_2^{D_k^{+*}}\right]. \ldots .\left[w_n^{D_k^{-*}} \;\; w_n^{D_k^{+*}}\right]\right)^{T}$$

رابطه(۵) $$CR = {}^{\xi^*}/_{CI}$$

رابطه(۶) $$CI = \xi^{max} = \frac{2*U^{+}\left(env(h_s^{BW})\right)+1-\sqrt{8*U^{+}\left(env(h_s^{BW})\right)-1}}{2}$$

رابطه(۷) $$w_j^* = IWGA\left(w_j^{D_1^*}.w_j^{D_2^*}. \ldots .w_j^{D_e^*}\right) = \left[\prod_{k=1}^{e}\left(w_j^{D_K^{-*}}\right)^{\lambda_k}.\prod_{k=1}^{e}\left(w_j^{D_K^{+*}}\right)^{\lambda_k}\right]$$

رابطه(۸) $$\overline{w}_j = \left(\prod_{k=1}^{e}(w_j^{D_K^{-*}})^{\lambda_k} + \prod_{k=1}^{e}(w_j^{D_K^{+*}})^{\lambda_k}\right)/2 \qquad j=1,2,\ldots,n$$

رابطه(۹) $$w_j^* = IWGA\left(w_j^{D_1^*}.w_j^{D_2^*}. \ldots .w_j^{D_e^*}\right) = \left[\prod_{k=1}^{e}\left(w_j^{D_K^{-*}}\right)^{\lambda_k}.\prod_{k=1}^{e}\left(w_j^{D_K^{+*}}\right)^{\lambda_k}\right]$$

در گام چهارم، اولویت معیارها با توجه به نظر همه متخصصان می‌تواند توسط اپراتور تجمع هندسی وزن دار(*IWGA*) ادغام شود.

در روابط (۷) ، (۸) و (۹)، λ_k اهمیت نسبی کارشناس D_k می‌باشد و مطابق با روابط (۱۰) و (۱۱) مقداری بین صفر و یک خواهد داشت.

رابطه(۱۰) $$\lambda_k \epsilon [0\ 1]$$

رابطه(۱۱) $$\sum_{k=1}^{e}\lambda_k = 1$$

وزن کلی هر معیار($\overline{w_j}$) را می‌توان با محاسبه میانگین مقادیر بازه یکپارچه به دست آورد. سرانجام می‌توان وزن نرمال شده هر معیار را با استفاده از گام چهارم بدست آورد تا حاصل جمع وزن برابر با ۱ شود.

۲-۳-روش خوشه بندی مبتنی بر چگالی(*DBSCAN*)

داده‌ها به گروه‌هایی که اعضای مشابه دارند گروه‌بندی می‌شوند و هر گروه خوشه نامیده می‌شود. بنابراین

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

خوشه‌ها، مجموعه داده‌های مشابه هستند که داده‌های هر خوشه با داده‌های خوشه‌های دیگر مشابه نیستند. یکی از انواع روش‌های خوشه‌بندی، خوشه‌بندی براساس خوشه‌های مبتنی بر چگالی است. خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی، روشی است که مناطق پرتراکم از نقاط داده را شناسایی کرده و آن‌ها را از مناطق کم‌تراکم جدا می‌کند. این روش به‌ویژه زمانی مفید است که خوشه‌ها شکل‌های نامنظم داشته باشند یا در داده‌ها نویز یا نقاط پرت وجود داشته باشد. الگوریتم‌های مبتنی بر چگالی قادر به کشف خوشه‌هایی با اشکال دلخواه هستند. این الگوریتم‌ها اشیاء را طبق توابع هدف چگالی خاص آن گروه‌بندی می‌کنند. چگالی معمولاً به عنوان تعداد اشیاء در یک ناحیه خاص از a اشیاء داده تعریف می‌شود. در این روش یک خوشه مشخص تا زمانی که تعداد اشیاء ناحیه در حال رشد باشد، همچنان ادامه دارد [۲۱]. یکی از مهم‌ترین الگوریتم‌ها در این زمینه الگوریتم *DBSCAN* است. الگوریتم‌های خوشه بندی مبتنی‌بر چگالی یکی از روش‌های اصلی برای خوشه‌بندی در داده‌کاوی هستند. *DBSCAN* الگوریتم پایه روش‌های خوشه‌بندی مبتنی‌بر چگالی است. روش این الگوریتم به این صورت است که هر داده متعلق به یک خوشه در دسترس چگالی سایر داده‌های همان خوشه است، ولی در دسترسی چگالی سایر داده‌های خوشه‌های دیگر نیست. (چگالی داده همسایگی به مرکز داده و شعاع همسایگی دلخواه ε است) مزیت این روش این است که تعداد خوشه‌ها به صورت خودکار مشخص می‌شود. در تشخیص نویز نیز بسیار کاراست. الگوریتم *DBSCAN* نیاز به تعیین دو پارامتر *Minpts* و *Eps* دارد. این دو پارامتر برای تعیین حداقل چگالی یک خوشه مورد استفاده قرار می‌گیرند. به منظور درک الگوریتم *DBSCAN* لازم است که ابتدا برخی از تعاریف مورد استفاده در این الگوریتم معرفی شوند [۲۲]. تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی مبتنی‌بر چگالی نیاز به دانش قبلی از تعداد خوشه‌هایی که باید تشکیل شوند ندارد، شکل خوشه‌ها محدود نیست و نقاط نویز را می‌توان شناسایی کرد [۲۳]. پارامترهای ورودی شعاع همسایگی (ε) و حداقل تعداد نقاط در خوشه (*MinPts*[1]) هستند. مجموعه داده‌ها به نقاط هسته، مرز و نویز تقسیم می‌شوند. یک نقطه تصادفی از مجموعه داده‌ها به عنوان نقطه برای پیمایش انتخاب می‌شود. هنگامی که چگالی هر دو نقطه قابل دستیابی باشد، به همان خوشه تعلق می‌گیرد. تعداد نهادهای موجود در همان خوشه باید بزرگتر از *MinPts* باشد. وقتی کمتر باشد به عنوان نقاط نویز طبقه‌بندی می‌شوند [۲۴]. در این پژوهش به منظور تعیین پارامترهای ورودی روش خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی از روش *OPTICS* استفاده می‌شود. الگوریتم *OPTICS* بر پایه *DBSCAN* برای شناسایی خوشه‌ها با چگالی‌های متغیر طراحی شده است. این الگوریتم دو پارامتر مهم ذخیره می‌کند: فاصله از مرکز (فاصله یک نقطه از *MinPts*امین همسایه‌اش، در صورتی که نقطه مرکزی باشد) و فاصله دسترسی‌پذیری (کمترین فاصله‌ای که یک نقطه از یک نقطه مرکزی به‌صورت مستقیم دسترسی‌پذیر است). الگوریتم *OPTICS* با استفاده از این فواصل، نقاط را مرتب می‌کند و خوشه‌ها را مشخص می‌سازد [۲۵]. به عنوان مثال فاصله مرکز یک شیء مانند p عبارت است از فاصله شیء p از *Minpts* امین همسایه‌اش به شرطی که pیک شیء مرکزی باشد. همچنین فاصله دسترسی‌پذیری شیء p از شیء o، کوچکترین فاصله‌ای است که در آن فاصله، شیء p دسترسی‌پذیر چگالی مستقیم از o باشد به شرطی که o یک شیء مرکزی باشد. با استفاده از این فاصله‌ها، *OPTICS* یک مرتب‌سازی که نشان‌دهنده ساختار خوشه‌بندی است بر روی داده‌ها می‌سازد. در این الگوریتم پارامتر *Eps* برای تشخیص گودی‌ها در نمودار دسترسی‌پذیری[2]که نشان‌دهنده خوشه‌ها هستند ضروری است. الگوریتم *OPTICS* به جای تولید

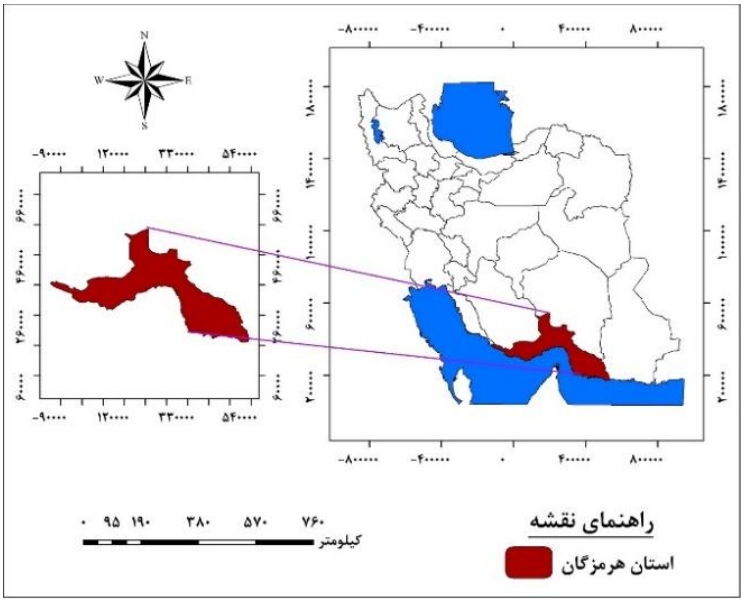
[1] *Minimum Points*
[2] *Reachability Plot*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

خوشه‌های با چگالی محلی مشابه، تنها خوشه‌هایی با چگالی محلی بیش از یک حد آستانه را تولید می‌کند. در پایگاه داده‌های با اندازه متوسط، *OPTICS* زمان اجرا تقریباً ۱٫۶ برابر *DBSCAN* را دارد [۲۲].

۳-محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه این پژوهش استان هرمزگان است. استان هرمزگان در حدفاصل بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده‌است. این استان حدود ۶ هزار کیلومتر مربع مساحت دارد که از این نظر هشتمین استان کشور است. هرمزگان از جهت شمال و شمال شرقی با استان کرمان، غرب و شمال غربی با استان‌های فارس و بوشهر از شرق با سیستان و بلوچستان همسایه بوده و جنوب آن را آب‌های گرم خلیج فارس و دریای عمان در نواری به طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر در برگرفته است. شکل(۲) موقعیت مکانی استان هرمزگان را نشان می دهد.

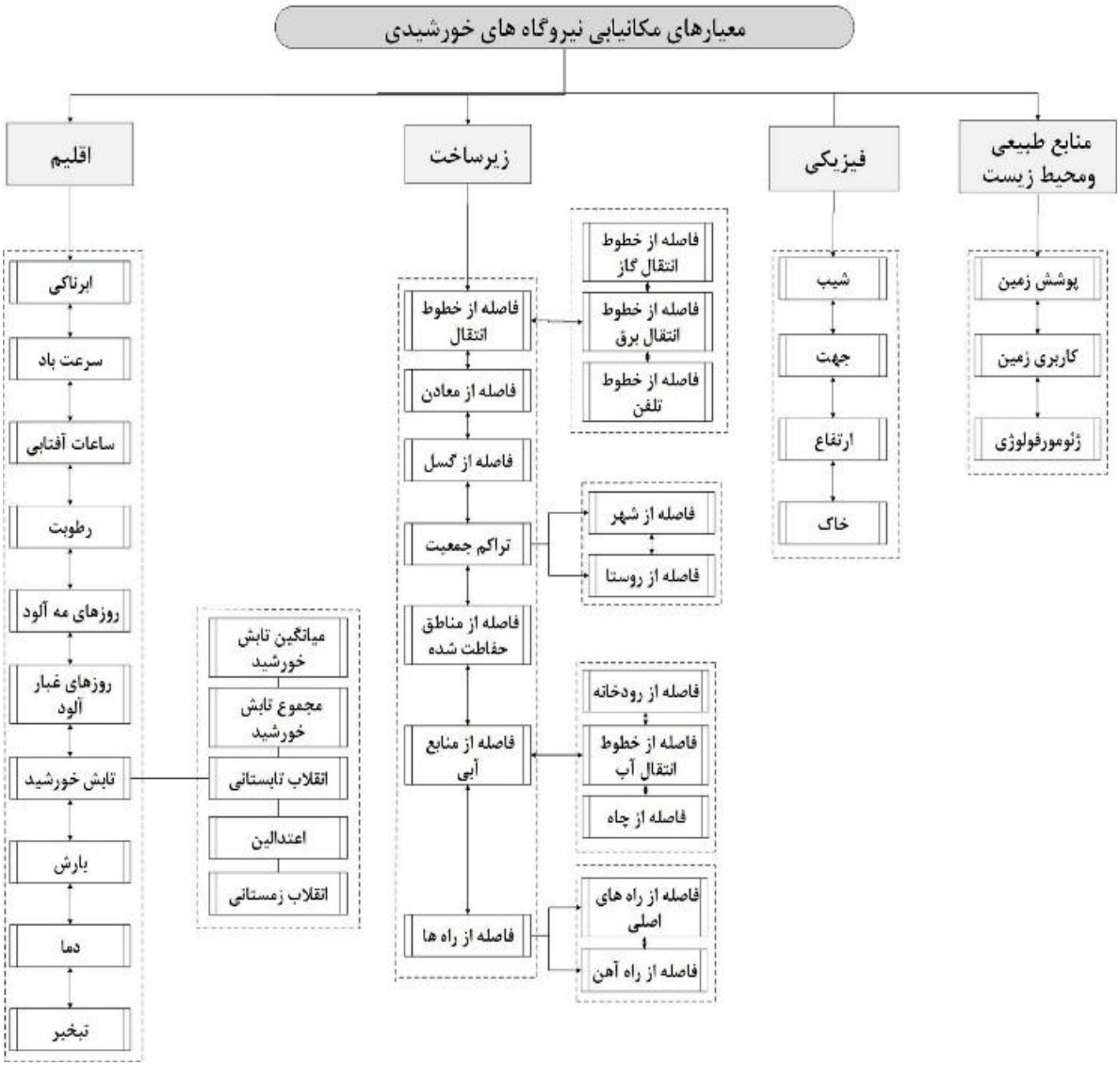


شکل۲: محدوده مورد مطالعه

۳-۱ -عوامل مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی

تعیین مکان مناسب به منظور احداث نیروگاه خورشیدی به درک کامل و نحوه انتخاب معیارهای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی بستگی دارد. پس از ارائه پرسشنامه دلفی و تکمیل پرسشنامه توسط متخصصان، معیارهای اقلیم، زیرساخت، فیزیکی و منابع طبیعی و محیط زیست انتخاب گردید. معیارهای انتخاب شده در پژوهش حاضر براساس مطالعات تحقیقاتی مختلف و نظرات کارشناسان مورد بررسی قرار گرفته است. تأثیر هر معیار و زیرمعیار بر تعیین مکان مناسب جهت احداث شهرک‌های صنعتی در قالب جدول (۱) ارائه شده است. در نهایت ۴ معیار اصلی و ۳۴ زیرمعیار مطابق با شکل (۳) طبقه‌بندی گردید.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]



شکل۳: عوامل مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی

۴-یافته‌های تحقیق

به‌منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان هرمزگان ترکیب روش تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره بهترین بدترین فازی مردد و ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفته است.

۴-۱ -وزن‌دهی معیارها با استفاده از *HFBWM*

با استفاده از روش *HFBWM* ارزش هریک از معیارها و زیرمعیارهای مورد مطالعه تعیین می‌شود. پس از تنظیم پرسشنامه *HFBWM* ابتدا کارشناسان مهم‌ترین و کم اهمیت‌ترین معیار را از مجموعه‌ی معیارها با توجه به هدف تعیین شده، انتخاب نمودند. سپس تمامی معیارها، زیرمعیارها و کلاس‌های زیرمعیارها توسط کارشناسان با استفاده از عبارت‌های زبانی مطابق با جدول (۱) امتیازدهی شد. پس از جمع‌آوری پاسخ کارشناسان، مدل ریاضی معیارها برای حل مدل با استفاده از نرم‌افزار لینگو کدنویسی و حل شد. ارزش هر یک از معیارهای اصلی، زیرمعیارها و کلاس هر یک از زیرمعیارها مطابق با جدول (۲) محاسبه شد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

جدول۲: عوامل مؤثر در تعیین منطقه مناسب به منظور احداث نیروگاه خورشیدی

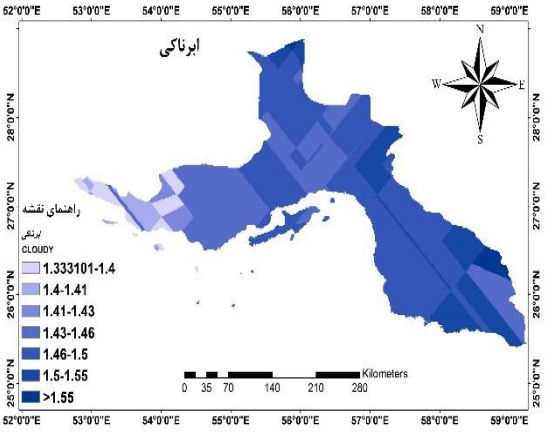
نام معیار	وزن معیارها	نام زیرمعیار	وزن زیرمعیار	نام زیرمعیار	وزن محلی زیرمعیارها	منبع
اقلیم	۰٫۵۳۸۱	ابرناکی	۰٫۰۶۷۵		۰٫۰۶۷۵	[۲۶]
		سرعت باد	۰٫۰۲۱۸		۰٫۰۲۱۸	[۱۶]
		ساعات آفتابی	۰٫۲۴۵۶		۰٫۲۴۵۶	[۲۵],[۲]
		رطوبت	۰٫۰۷۵۶		۰٫۰۷۵۶	[۱۱]
		روزهای همراه با مه	۰/۰۷۵۶		۰/۰۷۵۶	[۲۸]
		روزهای همراه با گرد و خاک	۰/۰۷۵۶		۰/۰۷۵۶	[۱۱]
		تابش خورشید	۰٫۲۰۴۷		۰٫۲۰۴۷	[۲۹], [۲۶]
		بارش	۰٫۰۸۶۷		۰٫۰۸۶۷	[۱۰]
		دما	۰٫۰۷۸۷		۰٫۰۷۸۷	[۲]
		تبخیر	۰٫۰۶۸۳		۰٫۰۶۸۳	
زیرساخت	۰٫۲۴۸۴	فاصله از خطوط انتقال	۰٫۳۱۰۶	فاصله از خطوط انتقال گاز	۰,۱۸۲۷	[۲۹]
				فاصله از خطوط انتقال نیرو	۰,۷۲۰۹	[۱۷]
				فاصله از خطوط مخابراتی	۰,۰۹۶۴	
		فاصله از منابع آبی	۰٫۱۳۹۶	فاصله از رودخانه‌های اصلی	۰٫۱۱۱۰	[۳۱],[۳۰]
				فاصله از خطوط انتقال آب	۰٫۷۲۲۴	
				فاصله از چاه	۰٫۱۶۶۷	[۲۷]
		فاصله از راه‌ها	۰٫۱۸۰۰	فاصله از راه‌های اصلی	۰٫۸۶۵۱	[۳۲]
				فاصله از مسیرهای ریلی	۰٫۱۳۴۹	
		فاصله از مناطق حفاظت شده	۰٫۰۵۹۹		۰٫۰۵۹۹	[۱۱]
		فاصله از معدن	۰٫۰۲۹۰		۰٫۰۲۹۰	
		فاصله از گسل	۰٫۱۲۰۸		۰٫۱۲۰۸	[۱۰]
		تراکم جمعیت	۰٫۱۶۰۸	فاصله از مناطق شهری	۰٫۷۷۶۴	[۳۱],[۲۹]
				فاصله از مناطق روستایی	۰٫۲۲۳۶	
فیزیکی	۰٫۱۴۳۷	شیب	۰٫۵۳۶۴		۰٫۵۳۶۴	[۱۰]
		جهت	۰٫۲۵۳۶		۰٫۲۵۳۶	[۳۲]
		ارتفاع	۰٫۱۴۷۲		۰٫۱۴۷۲	[۱]
		خاک	۰٫۰۶۲۸		۰٫۰۶۲۸	[۳۳]
منابع طبیعی و محیط زیست	۰٫۰۶۹۸	پوشش زمین	۰٫۲۳۴۸		۰٫۲۳۴۸	[۲۷]
		کاربری زمین	۰٫۶۷۱۶		۰٫۶۷۱۶	[۳۴]
		ژئومورفولوژی	۰٫۰۹۳۶		۰٫۰۹۳۶	[۳۶],[۳۵]

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

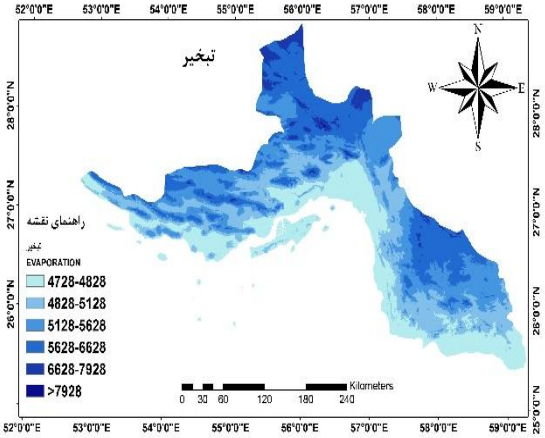
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

۴-۲ -ایجاد نقشه‌ی معیارها با استفاده از *GIS*

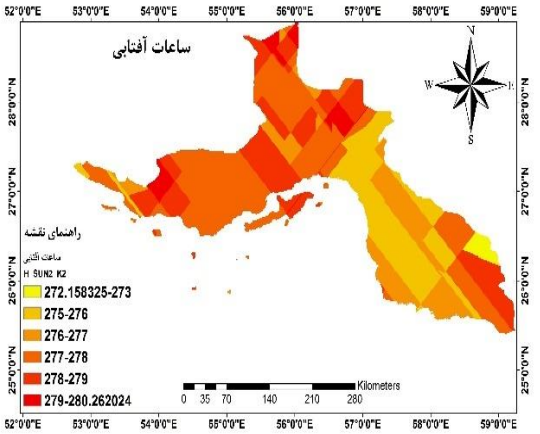
پس از تعیین معیارها و زیرمعیارها با توجه به اطلاعات پایه مربوط به منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های تمامی عوامل مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی مطابق با شکل(۴) ایجاد گردید. برای هر معیار، یک لایه نقشه تحت عنوان نقشه معیار با استفاده از نرم‌افزار *ArcGIS* ایجاد شده و تمامی لایه‌های اطلاعاتی بر اساس سیستم تصویر *UTM* زون ۴۰ شمالی و مبنای *WGS* ۱۹۸۴ نمایش داده شده‌اند. مقیاس تمامی نقشه‌ها ۱:۲۵۰۰۰۰ می‌باشد. پس از ایجاد نقشه‌های وزین شده در محیط نرم افزار *ArcGIS*، با برهم نهی لایه‌های زیرمعیارهای هر معیار، نقشه نهایی معیارهای اصلی مطابق با شکل(۵) تهیه و تدوین گردید. با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی معیارهای اقلیم، زیرساخت، فیزیکی و منابع‌طبیعی و محیط‌زیست، مناطق تعیین شده جهت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در استان هرمزگان به هفت کلاس؛ فوق‌العاده نامناسب، خیلی نامناسب، نامناسب، متوسط، مناسب، خیلی مناسب و فوق‌العاده مناسب مطابق با شکل (۶) طبقه‌بندی شد.



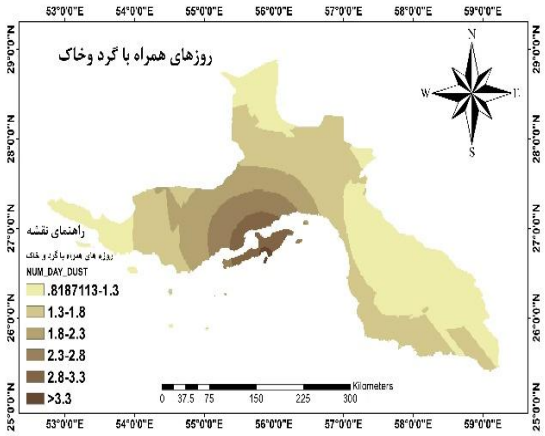
۴-۱- نقشه ابرناکی



۴-۲- نقشه تبخیر



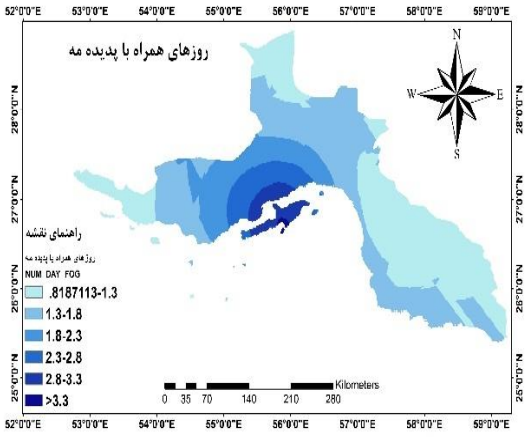
۴-۳- نقشه ساعات آفتابی



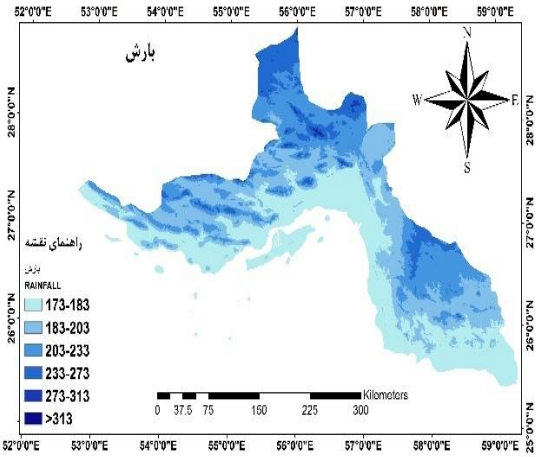
۴-۴- نقشه روزهای همراه با گرد و خاک

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

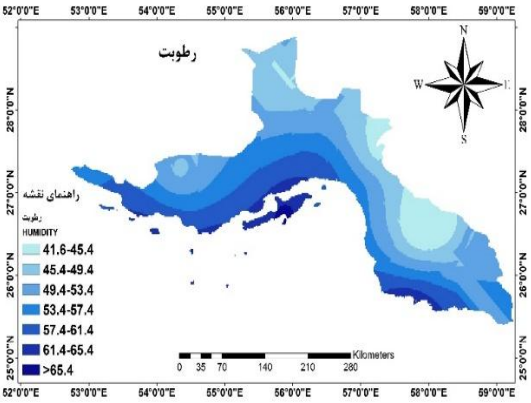
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]



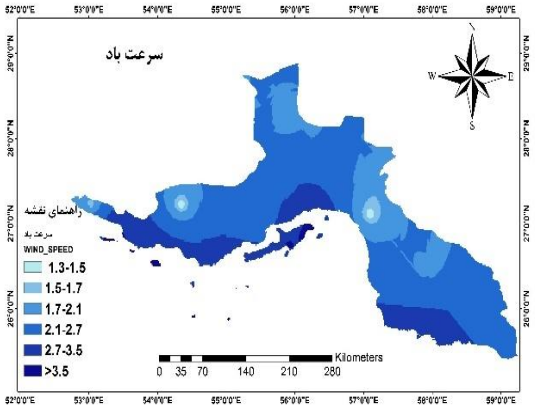
۴-۵- نقشه روزهای همراه با پدیده مه



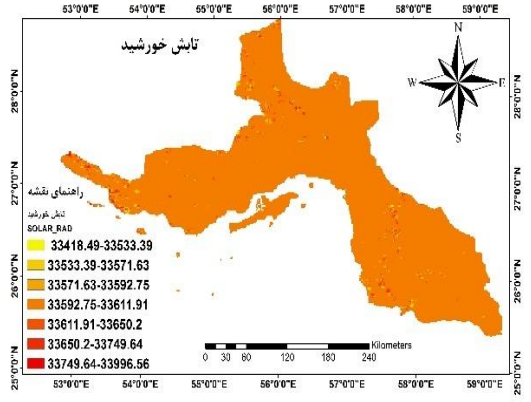
۴-۶- نقشه بارش



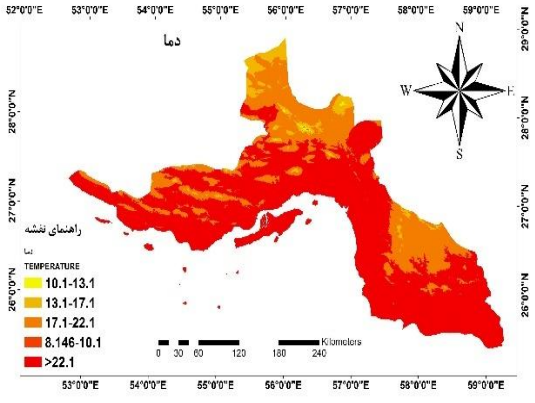
۴-۷- نقشه رطوبت



۴-۸- نقشه سرعت باد



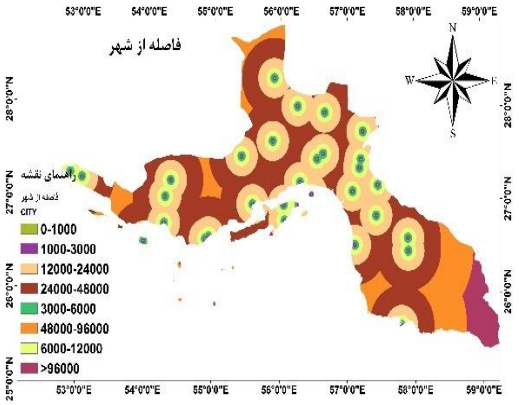
۴-۹- نقشه تابش خورشید



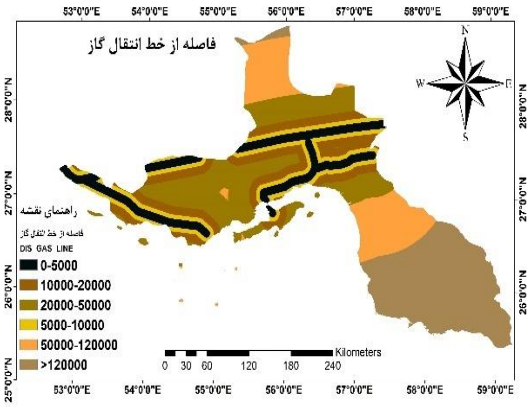
۴-۱۰- نقشه دما

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

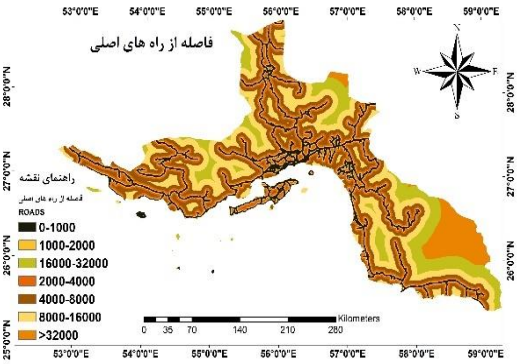
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]



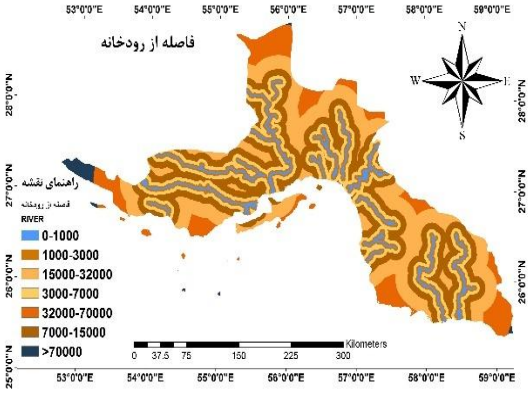
۴-۱۱- نقشه فاصله از شهر



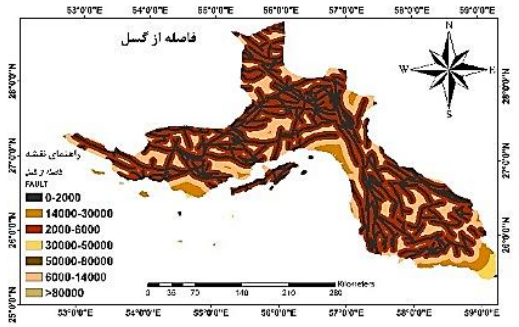
۴-۱۲- نقشه فاصله از خط انتقال گاز



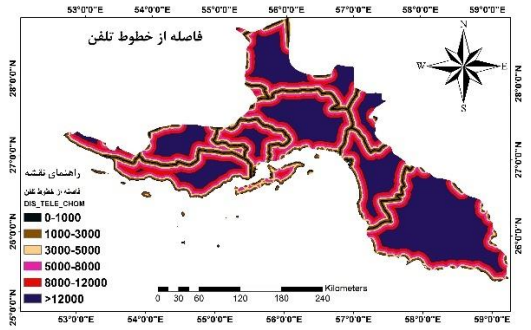
۴-۱۳- نقشه فاصله از راه‌های اصلی



۴-۱۴- نقشه فاصله از رودخانه



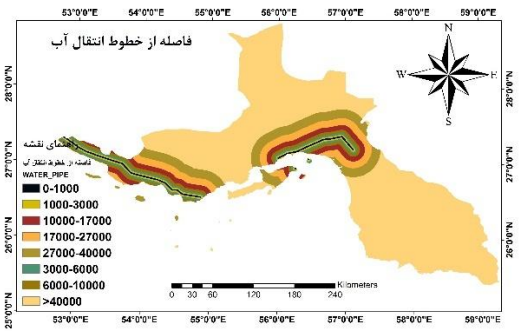
۴-۱۵- نقشه فاصله از گسل



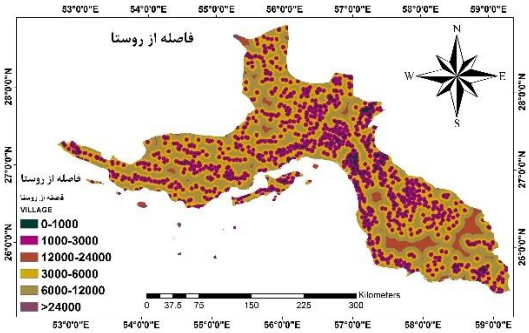
۴-۱۶- نقشه فاصله از خطوط تلفن

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

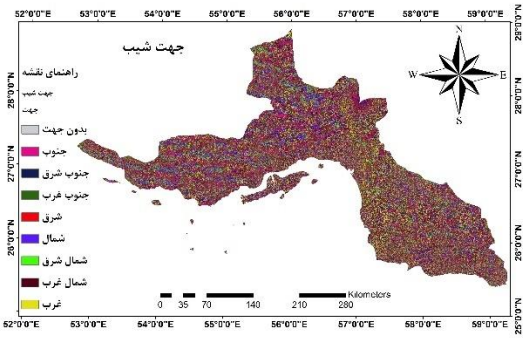
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]



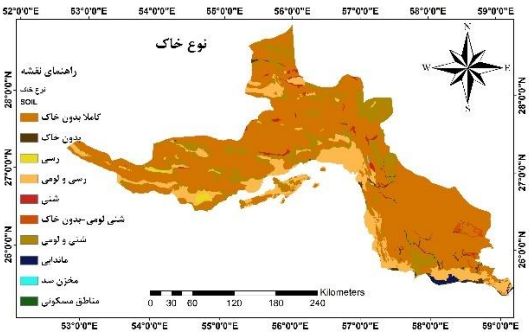
۴-۱۷- نقشه فاصله از خطوط انتقال آب



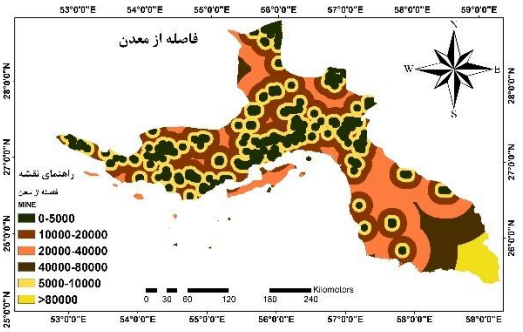
۴-۱۸- نقشه فاصله از روستا



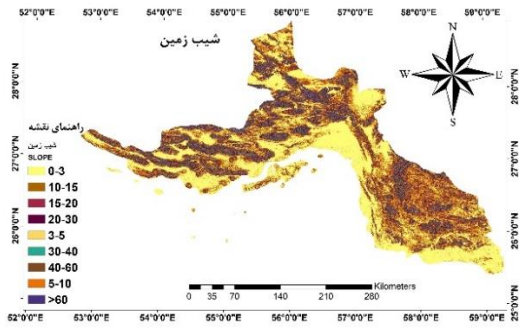
۴-۱۹- نقشه جهت شیب



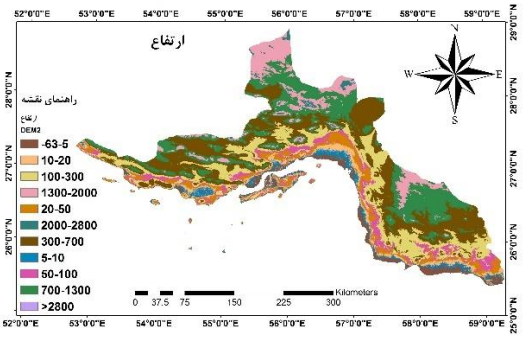
۴-۲۰- نقشه نوع خاک



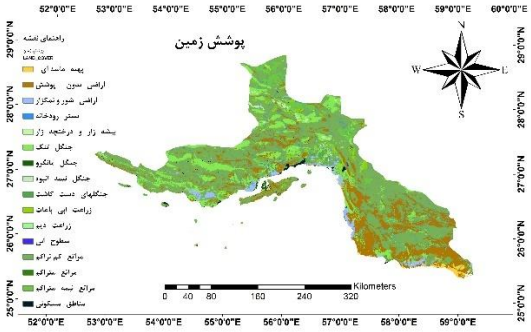
۴-۲۱- نقشه فاصله از معدن



۴-۲۲- نقشه شیب زمین



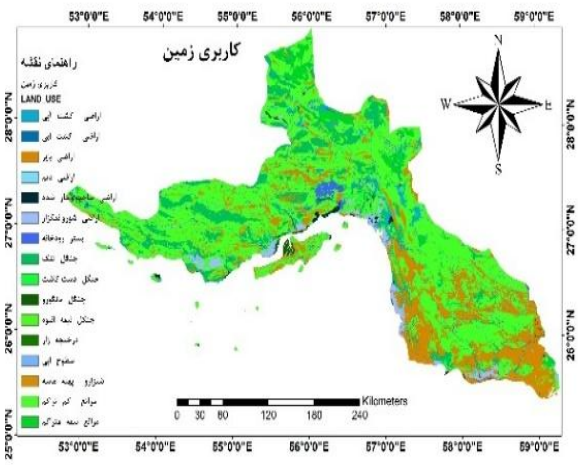
۴-۲۳- نقشه ارتفاع



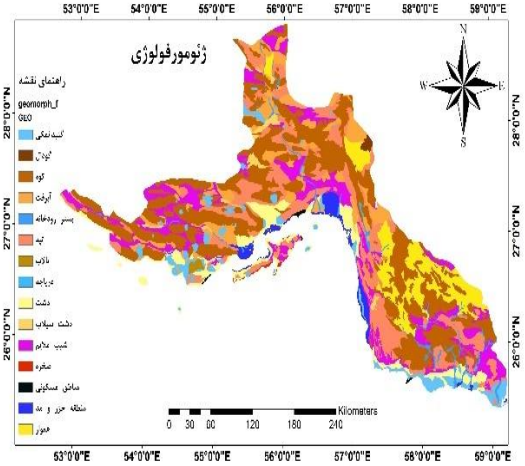
۴-۲۴- نقشه پوشش زمین

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

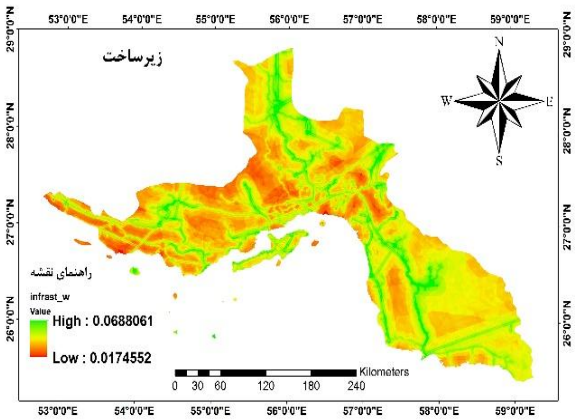


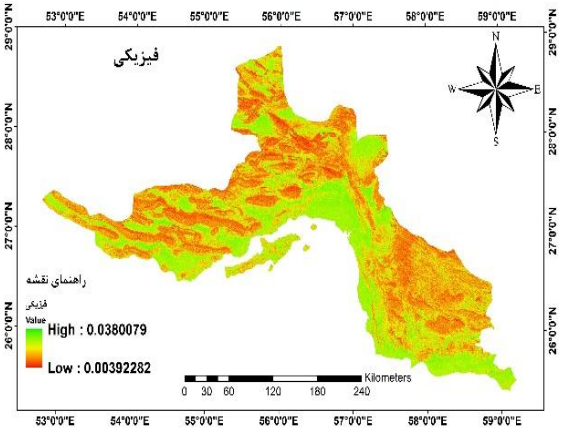
۴-۲۵- نقشه کاربری زمین

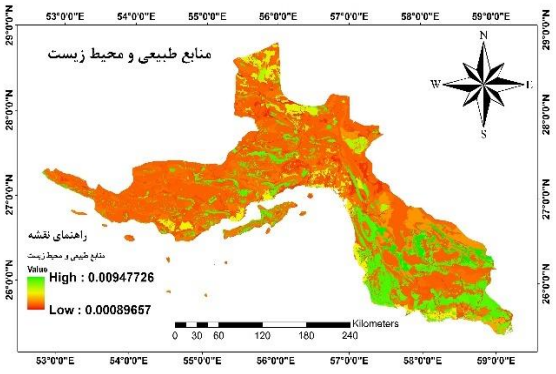


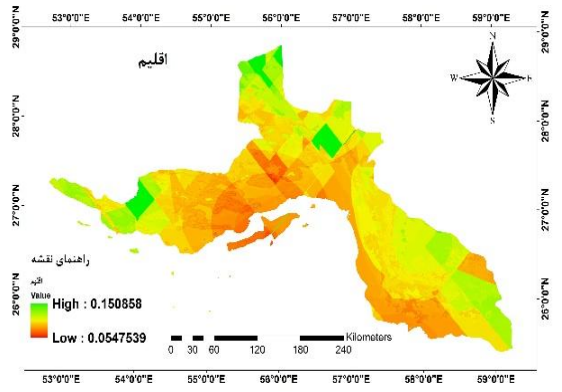
۴-۲۶- نقشه ژئومورفولوژی

شکل۴: نقشه‌های مورد استفاده برای زیرمعیارهای مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی





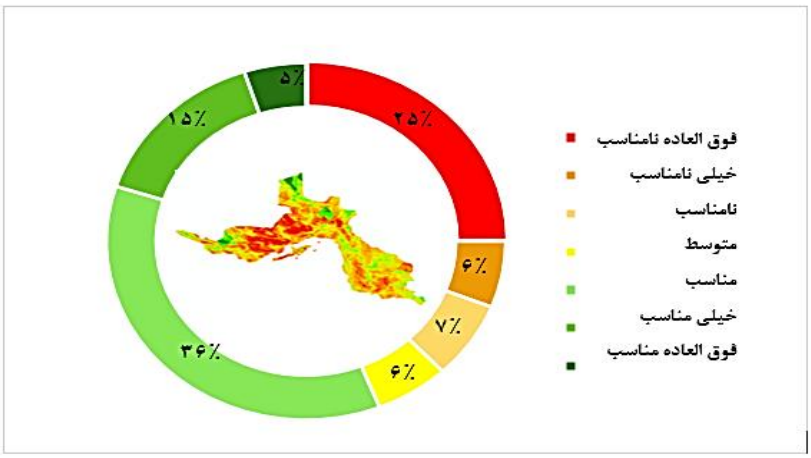




شکل۵: نقشه‌های معیارهای اصلی مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی استان هرمزگان

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]



شکل۶: مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی استان هرمزگان

۴-۳- خوشه‌بندی با استفاده از *DBSCAN*

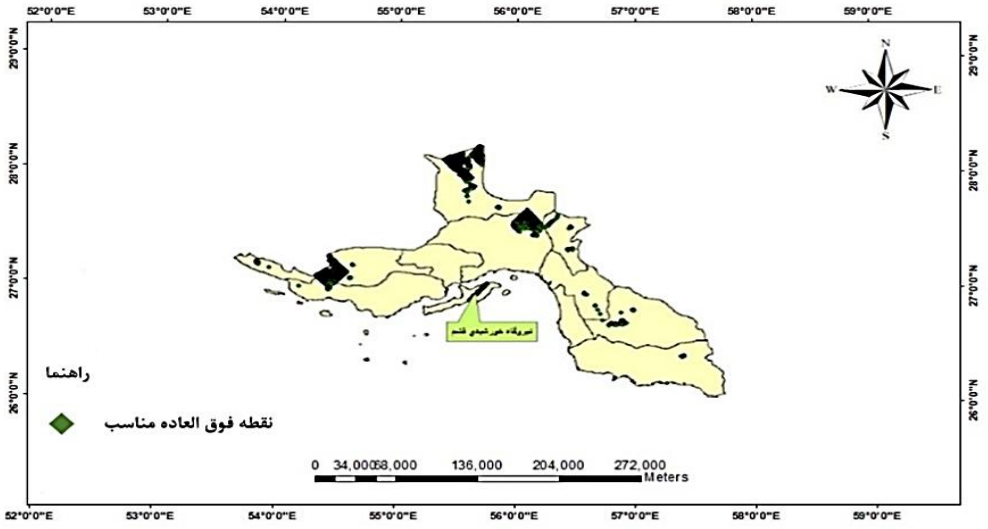
روش *DBSCAN* به دو پارامتر ورودی حداقل تعداد نقاط در هر خوشه و شعاع همسایگی نیاز دارد. با توجه به روش ارائه شده در پژوهش فائق ابراهیم و همکاران[1] (۲۰۲۱) به منظور تعیین مقدار پارامتر ورودی *Minpts* با توجه به تعداد معیارهای بررسی شده در این پژوهش مقادیر دوبرابر، سه برابر و پنج برابر تعداد بعد مجموعه داده یا تعداد معیارها (*dim*=۳۴) درنظر گرفته شد [۳۷]. ساندر و همکاران[2] (۱۹۹۸) در پژوهش خود پیشنهاد دادند که مقدار این پارامتر، دو برابر تعداد بُعد مجموعه داده یعنی *MinPts=2×dim* قرار داده شود [۳۸]. تعداد حداقل نقاط همسایگی، دو برابر بعد داده‌ها یعنی *Minpts*=۶۸ تعیین گردید. علاوه بر این تعداد نقاط همسایگی ۱۰۲ و ۱۷۰ که به ترتیب سه و پنج برابر بعد داده‌های جریان بودند، به منظور تعیین تعداد حداقل نقاط همسایگی مناسب، در این پژوهش نیز در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از حداقل نقاط همسایگی در نظر گرفته شده و اجرای الگوریتم *OPTICS* در نرم افزار آرک جی آی اس پرو[3] نمودار دسترسی پذیری[4] برای مقادیر بترتیب *Minpts*=۶۸، *Minpts*=۱۰۲ و *Minpts*= ۱۷۰ استخراج شد. با مقایسه مقادیر مختلف *Minpts*، مقدار ۱۰۲ تعادلی مناسب بین تعداد خوشه‌ها و درصد داده‌های نویز ایجاد کرده است. با توجه به مقادیر جدول (۳) در حالی که *Minpts*=۶۸ منجر به خوشه‌بندی بیش از حد جزئی و افزایش نویز شد، *Minpts*=۱۷۰ خوشه‌های کمتری با درصد نویز کمتر ایجاد کرد؛ اما ممکن است به ادغام بیش از حد خوشه‌ها منجر شده باشد. مقدار *Minpts*=۱۰۲ با ۱۱ خوشه و ۱٫۰۴ ٪ نویز، بهترین عملکرد را در ایجاد خوشه‌های معنادار و کاهش نویز داشته است. با تعیین پارامترهای ورودی، خوشه‌بندی مبتنی‌بر چگالی *DBSCAN* با پارامترهای ورودی *Minpts*=۱۰۲ و ε =۲۰۰۰ در محیط نرم‌افزار *ArcGIS Pro* اجرا می‌شود. پس از کلاس‌بندی نقشه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی و تهیه نقشه نقاط مناطق فوق‌العاده مناسب (مطابق شکل(۷))، نقاط حاصل با استفاده از روش خوشه‌بندی *DBSCAN* به ۱۱ خوشه با مساحت، چگالی و مختصات جغرافیایی متفاوت خوشه‌بندی شدند (مطابق شکل(۸)).

[1] *Faqe Ibrahim*
[2] *Sander et al*
[3] *ArcGIS Pro*
[4] *Reachability chart*

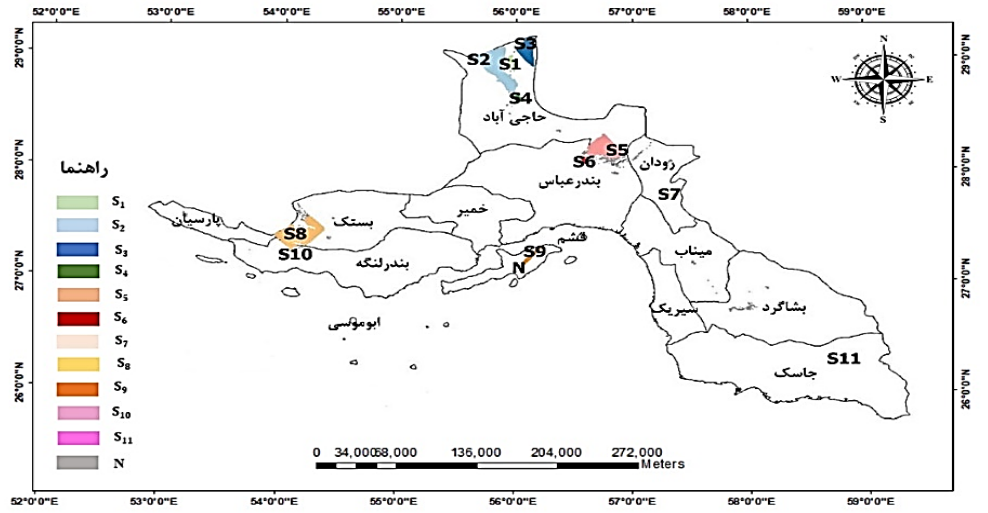
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

جدول۳: تأثیر پارامتر *Minpts* بر تعداد خوشه‌ها و درصد داده‌های نویز در الگوریتم خوشه‌بندی

Minpts	تعداد خوشه‌ها	درصد داده‌های نویز
۶۸	۱۳	٪۱٫۵۰
۱۰۲	۱۱	٪۱٫۰۴
۱۷۰	۹	٪۰٫۹۰



شکل۷: نقشه نقاط مناطق فوق‌العاده مناسب قبل از خوشه‌بندی



شکل۸: نقشه مناطق فوق‌العاده مناسب پس از خوشه‌بندی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

به ازای پارامترهای تعیین شده، تعداد خوشه‌های حاصل برابر ۱۱ و تعداد داده‌های نویز ۱۲۹۵ است که حدود ۱٫۰۴ درصد از کل داده‌ها را تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، تعداد داده‌های بزرگترین خوشه، خوشه شماره دو برابر ۵۳۶۴۴ بوده که حدود ۴۳٫۱۱ درصد از کل داده‌ها را شامل می‌شود و در شهرستان حاجی‌آباد قرار دارد. ویژگی خوشه‌های مشخص شده مطابق با جدول(۴) است.

جدول ۴: مشخصات خوشه‌ها به روش *DBSCAN*

شماره خوشه	تعداد نقاط عضو	درصد نقاط عضو	مساحت خوشه (هکتار)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۱۸۳۴۴	۱۴٫۹۰	۱۸۳۵۷	۵۵٫۹۷	۲۸٫۷۶
۲	۵۳۶۴۴	۴۳٫۵۷	۵۳۷۰۵	۵۵٫۷۱	۲۸٫۶۱
۳	۹۴۸	۰٫۷۷	۹۲۳	۵۵٫۸۳	۲۸٫۶۴
۴	۸۷۰	۰٫۷۱	۸۵۱	۵۵٫۹۱	۲۸٫۳۲
۵	۱۶۰۸۵	۱۳٫۰۷	۱۵۸۹۳	۵۶٫۶۷	۲۷٫۸۹
۶	۱۸۰	۰٫۱۵	۱۵۴	۵۶٫۴۷	۲۷٫۷۶
۷	۱۲۳	۰٫۱۰	۱۱۷	۵۷٫۲۰	۲۷٫۴۵
۸	۳۰۹۱۹	۲۵٫۱۲	۳۰۷۱۴	۵۴٫۰۳	۲۷٫۰۶
۹	۱۲۳۳	۱٫۰۰	۱۱۸۵	۵۶٫۰۴	۲۶٫۹۰
۱۰	۶۵۵	۰٫۵۳	۶۴۷	۵۴٫۰۰	۲۶٫۸۸
۱۱	۱۱۱	۰٫۰۹	۱۰۳	۵۸٫۷۰	۲۵٫۹۶
مجموع	۱۲۳۱۱۲	۱۰۰			

۵- نتیجه‌گیری

استان هرمزگان با ۳۶۲روز آفتابی در طول سال بهترین ظرفیت برای استفاده از انرژی پاک و بدون آلایندگی خورشید و تولید برق از این منبع انرژی دارد که این امر یکی از ظرفیت‌های بی‌نظیر این منطقه جنوبی در کشور و حتی جهان به شمار می‌رود. گرمای شدید هوا در بیشتر روزهای سال، بالا بودن میزان مصرف برق و همچنین افزایش مدت زمان مفید تولید برق خورشیدی درهرمزگان از متوسط کشوری و حتی جهانی از دلایل مهم برای حمایت و استقرار نیروگاه‌ها و سامانه‌های خورشیدی در این استان جنوبی است. با توجه به تحقیقات انجام شده در حال حاضر تنها یک نیروگاه خورشیدی در استان هرمزگان به بهره برداری رسیده است. این نیروگاه خورشیدی با ظرفیت ۱۰ مگاوات در قشم احداث شده است. در این پژوهش پتانسیل استان هرمزگان به منظور مکانیابی نیروگاه خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این مطالعه شناسایی مکان‌های بالقوه جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی در استان هرمزگان است. برای تحقق این هدف عوامل اقلیمی، زیرساختی، فیزیکی و منابع طبیعی و محیط زیست، شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفت. ارزش و اهمیت فاکتورهای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش تصمیم گیری بهترین-بدتری فازی مردد محاسبه شد. مجموعه‌های فازی مردد، افق جدیدی برای بحث روی مسائلی است که با شک و تردید در تصمیم‌گیری مواجه هستند. مزیت روش بهترین-بدترین نسبت به روش سلسله‌مراتبی که در مطالعات پیشین برای ارزیابی عوامل به کار گرفته شده، این است که روش بهترین-بدترین به تعداد کمتری مقایسه زوجی نیاز دارد و دستیابی به مقایسات زوجی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]
[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

سازگارتر را ممکن می‌سازد. نتایج مقایسات زوجی به روش بهترین-بدترین فازی مردد نشان داد که شاخص ساعات آفتابی و سرعت باد به ترتیب بیشترین و کمترین اهمیت را در میان زیرمعیارهای اقلیمی دارند. همچنین، در میان زیرمعیارهای زیرساختی، فاصله از خطوط انتقال بیشترین و فاصله از معدن کمترین ارزش را داراست. از میان زیرمعیارهای فیزیکی، شیب زمین و نوع خاک و در گروه منابع طبیعی و محیط‌زیستی، کاربری زمین و ژئومورفولوژی به ترتیب بیشترین و کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. جهت شناخت مناطق مستعد پس از ایجاد نقشه‌های مربوط به معیارهای اصلی (اقلیم، زیرساخت، فیزیکی و منابع طبیعی ومحیط زیست) در محیط نرم افزار سیستم های اطلاعات مکانی در نهایت با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف و وزن دهی لایه‌ها، نقشه نهایی که نشان دهنده مناطق با پتانسیل مناسب جهت بهره‌برداری از انرژی خورشید است در هفت دسته؛ فوق العاده نامناسب، خیلی نامناسب، نامناسب، متوسط، مناسب، خیلی مناسب و فوق العاده مناسب کلاس بندی و ایجاد شد. مناطق فوق العاده نامناسب، خیلی نامناسب و نامناسب ۳۷ درصد یا به عبارتی ۹۲۱۷کیلومتر مربع و مناطق فوق العاده مناسب، خیلی مناسب و مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی در استان هرمزگان ۵۶ درصد که معادل ۱۳۸۵۲ کیلومتر مربع از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه، از داده‌های خروجی حاصل از الگوریتم‌های داده‌کاوی استفاده گردید. داده‌کاوی با پایگاه داده‌های بزرگی که به تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی وضع می‌شوند، سروکار دارد. در این پژوهش مناطق فوق العاده مناسب با استفاده از روش خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی به خوشه‌هایی با تراکم متفاوت دسته‌بندی شد. برای تعیین اندازه دقیق سایت‌ها و پتانسیل آنها، خوشه‌ها با استفاده از روش خوشه‌بندی*DBSCAN* تشکیل شدند. الگوریتم‌های خوشه‌بندی مبتنی‌بر چگالی قادر به کشف خوشه‌هایی با اشکال دلخواه هستند. با بهره‌گیری از این روش سایت‌های بالقوه، شناسایی و گروه‌بندی شدند و پتانسیل‌سنجی سایت‌ها باتوجه به معیارهای مختلف تعیین شد. جهت احداث نیروگاه با ظرفیت ۵ کیلووات حدود ۶۰ متر مربع محدوده نیاز است. پس به منظور احداث نیروگاه ۱۰ مگاواتی با توجه به نظر کارشناسان صنعت برق، به محدوده‌ای در حدود تقریبا ۱۲هکتار نیاز داریم. با در نظر گرفتن درصد نقاط عضو در هر خوشه و مساحت آن‌ها تمامی سایت‌های کاندید شده بیش از فضای نیروگاهی است که در حال حاضر در قشم احداث شده است. بنابراین تمامی سایت‌ها قابلیت احداث نیروگاه خورشیدی با ظرفیتی بیش از ده مگاوات را خواهند داشت. چهار سایت با بیشترین ظرفیت تولید برق به ترتیب سایت دو با ظرفیت ۴۴۷۵۴ مگاوات تولید برق در شمال شهرستان حاجی آباد، سایت هشت با ظرفیت ۲۵۵۹۵مگاوات در غرب شهرستان بستک سایت یک با ظرفیت ۱۵۲۹۸مگاوات در شهرستان حاجی آباد و سایت پنج با ظرفیت ۱۳۲۴۴ مگاوات در شمال شرق بندرعباس می‌توان احداث نمود.

مراجع

[1] *M.Rezaei, A. Hossein and A. Sharifi, "Potential measurement of the construction of photovoltaic power plants in Iran using the fuzzy method", Scientific Journal of Surveying Sciences and Techniques, vol9, pages 159-171, 2018 (Persian).*

[2] *A. Lee, H. Kang, C. Lin and K. Shen, "An Integrated Decision-Making Model for the Location of a PV Solar Plant", mdpi, vol 7, pages 13522-13541, 2015.*

[3] *M. Tagvai, E. Sabohi, "Zoning and location of solar power plants in Isfahan province", Journal of Urban Planning and Research, vol 8, pages 61-82, 2016 (Persian).*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

[4] S. Nashi, G. Nouri, and Sh. Fariyadi, "Solar power plant location with fuzzy logic and ANP (case study of Hormozgan province)", Technical and Engineering Journal of New Technologies in Energy Systems, vol1, pages 1-9, 2015 (Persian).

[5] M. Kamangar, A. Nohagar, N. Sahragard, H. Arianjad and M. Badaghi, "Solar thermal power plant location for sustainable energy supply using fuzzy logic", Iranian Energy Magazine, Vol19, pages 137-152, 2014 (Persian).

[6] H. Yousefi, Y. Nooralhi, M. Sultan Mohammadi and R. Arjamandi, "Using Fuzzy Logic and FTOPSIS for Solar Power Plant Location Using GIS (Case Study of Tehran Province)", Iranian Energy Magazine, Volume 15, pages 1-25, 2013 (Persian).

[7] H. Ahmadi, J. Morshidi and F. Azimi, "Solar power plant location using climatic data and spatial information system (case study: Ilam province)", remote sensing and geographic information system in natural resources, vol7, pages 41-57, 2014 (Persian).

[8] H. Piri Sahragard, M. Amiri and S. Tanakian, "Solar power plant location using multi-criteria decision-making methods, in the dry region of Sistan", Journal No. 12, Autumn and Winter, pages 61-74, 2017 (Persian).

[9] D. Barros Franco, M. Steiner, "Clustering of solar energy facilities using a hybrid fuzzy c-means algorithm initialized by metaheuristics", Elsevier, vol 191, pages 445-457, 2017.

[10] Sh. Nadizadeh, S. Karimi Firozjaei, M. Nematollahi, O. Karimi Firozjaei, H. Jelokhani and M. Niaraki, "A risk-based multi criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran", Renewable Energy, vol143, pages 958-973, 2018.

[11] M. Zoghi, Ehsani, A. Sadat, M. Amiri, M. Karimi, Sepideh, "Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN", Elsevier, vol15, pages 7-14, 2015.

[12] I. Gasparovich, M. Gasparovich, "Determining Optimal Solar Power Plant Locations Based on Remote Sensing and GIS Methods: A Case Study from Croatia, Remote Sens", vol11, pages 1-18, 2019.

[13] W. Chia-Nan, T. Nguyen, V. Tuyet Nhi Thai, H. Hung Duong, "Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Approaches for Solar Power Plant Location Selection in Viet Nam", Energies, vol11, pages 1-18, 2018.

[14] F. Amjad, L. Ali Shah, "Identification and assessment of sites for solar farms development using GIS and density-based clustering technique- A case of Pakistan", Elsevier, Renewable Energy, vol 155, pages 761-769, 2020.

[15] A. Suuronen, Lensu, K. Anssi, M. Andrade-Alvear, R. Celis, N. Guajardo, M. Marcelo, P. Marcelo and K. Jussi, "Optimization of photovoltaic solar power plant locations in northern Chile, JY, Environmental Earth Sciences", vol 76, pages 1-21, 2017.

[16] G. Rajiv, P. Harish and K. Shalini, "Integrating Fuzzy AHP and GIS to Prioritize Sites for the Solar Plant Installation", International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, vol8, pages 21-53 2015.

[17] H. Al Garni and A. Anjali, "Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia", Elsevier, Applied Energy, vol206, pages 1225-1240, 2017.

[18] A. Azadeh, S. Ghaderi and A. Maghsoudi, "Location optimization of solar plants by an integrated hierarchical DEA PCA approach", Elsevier, Energy Policy, vol 36, pages 3993– 4004, 2008.

[19] A. Zagouras, P. Hugo and C. Coimbra, "Clustering the solar resource for grid management in island mode", Elsevier, Solar Energy, vol 110, pages 507–518,

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

2014.

[20] K. Harpreet, G. Surbhi and D. Arvind, "Selection of solar panel using entropy TOPSIS technique", Elsevier, Materials Today: Proceedings, vol 2, pages 27-34, 2023.

[21] A. Aktas and M. Kabak, "A Hybrid Hesitant Fuzzy Decision-Making Approach for Evaluating Solar Power Plant Location Sites", Springer, Arabian Journal for Science and Engineering, vol 44, pages7235–7247, 2018.

[22] R. Pradeep and S. Shubha, "A Survey of Clustering Techniques", International Journal of Computer Applications, vol7, pages 95-123, 2010.

[23] A. Zadeh De Balaei, A. Bagheri, H. Afshar, "presenting a density-based clustering algorithm with the ability to detect clusters with different densities in the spatial database", Iranian Electrical and Computer Engineering Quarterly, No 3, pages 171-187, 2016 (Persian).

*[24] R. Zarin, M. Azmat, S. Naqvi, Q. Saddique and S. Ullah, "Landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP, and WLC method based on multi-criteria decision analysis", Environ. Sci. Pollut. Res, **vol**28, pages 19726–19741, 2021.*

[25] S. Jahirabadkar, P. Kulkarni, "Algorithm to determine e-distance parameter in density-based clustering", Elsevier, Expert Systems with Applications 41, pages 2939–2946, 2014.

[26] H. Al Garni and A. Awasthi, "Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia", Elsevier, Applied Energy, pages 1234-1260, 2018.

[27] L. Jiamin, L. Yueshi, X. Bin and J. Jizong, "Coupling Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making and Clustering Algorithm for MSW Landfill Site Selection (Case Study: Lanzhou, China)", International Journal of Geo-Information, vol 10, pages127, 2021.

[28] H. Sheng, H. Zhanjun, W. Liang, Y. Li, X. Yongyang and C. Haifu, "A framework for extracting urban functional regions based on multiprototype word embeddings using points-of-interest data", Computers, Environment and Urban Systems, vol 80, pages 351-371, 2020.

[29] S. Gokhan, A. Koc and W. Sark, "Multi-criteria decision making for solar power - Wind power plant site selection using a GIS-intuitionistic fuzzy-based approach with an application in the Netherlands", Elsevier, Energy Strategy Reviews, vol 51, pages 1-15, 2024.

[30] G. Rediske, S. Mairesse, C. Julio, N. Gastaldo, R. Paula Donaduzzi and R. Carmen Brum, "Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review", Wiley & Sons, energy research, page 1-13, 2018.

[31] M. Tahri, M. Hakdaoui and M. Mohamed, "The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi Criteria Decision Making methods: Case study in southern Morocco", Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews 51, pages1354–1362, 2015.

[32] M. Razeghi, A. Hajinezhad, A. Naseri, Y. Noorollahi and F. Moosavian, "Multi-criteria decision-making for selecting a solar farm location to supply energy to reverse osmosis devices and produce freshwater using GIS in Iran", Elsevier, Solar Energy, pages 501–514, 2023.

[33] S. Sonal, N. Vijay and L. Sunil, "Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India", Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 73, pages 496–511, 2017.

[34] A. Ameri, A. Kermani, P. Zarafshan, Sh. Koravand and M. Khashechi, "Effect of Air Pollution on Photovoltaic Solar Panels Performance", Scientific Research Journal of Energy Engineering and Management, Pages 50 -57, 2017 (Persian).

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

[35] *H. Colak, T. Memisoglu and Y. Gercek, "Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey", Elsevier, Renewable Energy, vol 149, pages 565-576, 2019.*

[36] *O. Soydan, "Solar power plants site selection for sustainable ecological development in Nigde, Turkey", SN Applied Sciences, vol 3, pages 3-41, 2021.*

[37] *G. Ibrahim, A. Hamid, U. Darwesh and A. Rasul, "A GIS-Based Boolean Logic-Analytical Hierarchy Process for Solar Power Plant (Case study: Erbil Governorate – Iraq)", Environment Development and Sustainability, vol53, pages1-16, 2020.*

[38] *J. Sander, M. Ester, H. P. Kriegel, and X. Xu, "Density-based clustering in spatial databases: the algorithm gdbscan and its applications", Data Mining and Knowledge Discovery, vol 2, no 2, pages 169-194, 1998.*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.12, No.4, Winter 2025

Research Paper

Solar power plant location using geographic information system and density-based clustering algorithm (case study: Hormozgan province)

Majedeh Daghbolandan [1], Shahla Paslar [2*], Mohsen Dadras [3]

1- Master of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Bandar Abbas Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran
2- Assistant professor of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Bandar Abbas Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran
3- Assistant professor of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Bandar Abbas Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran

Abstract

The purpose of the current research is to measure the potential of Hormozgan province in order to build a solar power plant by using geographic information system (GIS), multi-criteria decision making (MCDM) and clustering algorithm as a suitable combination tool. In this research, first, the effective factors in the location of the solar power plant including the main criteria of climate, natural and environmental resources, infrastructure and physics were identified using the previous studies and the Delphi method, and then the importance of each criterion was determined by using the opinion of the experts and the best-worst fuzzy Hesitant method (HFBWM). The map of all criteria and sub-criteria was prepared and compiled using GIS software. By superimposing the weighted maps, a map of the areas which were susceptible to the construction of a solar power plant was created and the areas were classified. Finally, by using ARC GIS PRO software, the extremely suitable areas, which include 5% of all the areas, were clustered using DBSCAN clustering method and OPTICS technique. The results showed that 11 sites in the cities of Bandar Abbas, Bestak, Bandarlange, Jask, Hajiabad, Rodan and Qeshm are extremely suitable areas for the construction of solar power plants.

Key words : *Solar power plant, Site selection, best-worst fuzzy Hesitant (HFBWM), geographic information system (GIS), density-based clustering (DBSCAN).*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-05-21]

[DOI: 10.61882/jgit.12.4.135]

Correspondence Address*: Bandar Abbas, University Blvd., Faculty of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch*
Tel*: : +98 7633665500*
Email : *paslar@iauba.ac.ir*