شناسایی مکان‌های بهینه برای نیروگاه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه در شهرستان بیرجند

حسین یوسفی[1*]، حامد حافظ‌نیا[2]، فاطمه راضی‌آستارایی[1]

۱. استادیار، گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران
۲. کارشناسی‌ارشد، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

دریافت: ۹۵/۱۱/۲ پذیرش:۹۶/۱/۲۷

چکیده

استان خراسان جنوبی از مناطق کمتر توسعه‌یافته ایران است. انتقال حامل‌های انرژی به این استان به دلیل فاصله زیاد با مرکز کشور و قرارگیری در انتهای شبکه‌های انتقال انرژی ناپایدار و پر هزینه است. با در نظر گرفتن این موارد خراسان جنوبی از مناطق مطلوب جهت استفاده از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر شناخته می‌شود. انرژی خورشیدی در میان انرژی‌های نو با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی استان از اولویت بالاتری برخوردار است. بدین منظور در این تحقیق مکان‌های بهینه برای استقرار نیروگاه فتوولتائیک در سطح شهرستان بیرجند شناسایی می‌شود.

در گام نخست مجموعه‌ای از عوامل و معیارهای مؤثر در فرایند مکان‌گزینی نیروگاه فتوولتائیک شناسایی و تدوین شد. نواحی نامناسب از سطح شهرستان پس از آماده‌سازی و پردازش داده‌های جغرافیایی و نقشه‌ها حذف شد. این بخش با استفاده از مدل منطقی بولین انجام پذیرفت. دیگر اراضی براساس معیارهای فنی، اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی با به کارگیری توابع مختلف عضویت فازی ارزش‌گذاری و نقشه‌های فازی تولید شد. جهت شناسایی مکان‌های مناسب برای تأسیسات فتوولتائیک متصل به شبکه، نقشه‌های فازی توسط عملگر فازی گاما تلفیق شدند، سپس پیکسل‌های نقشه نهایی با توجه به ارزش فازی در پنج گروه طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که ٪۰/۵ از اراضی شهرستان بیرجند برای استقرار نیروگاه‌های فتوولتائیک بهینه است.

واژگان کلیدی: مکان بهینه، نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، بیرجند

*نویسنده مسئول مقاله: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

مقدمه

امروزه با توجه به محدودیت منابع فسیلی و افزایش روزافزون تقاضای انرژی و ملاحظات زیست‌محیطی بهره‌برداری از منابع انرژی تجدیدپذیر اجتناب‌ناپذیر شده است. نیروگاه خورشیدی یکی از فناوری‌های نوین در زمینه تولید انرژی الکتریکی با کمینه آلودگی زیست‌محیطی است و نظر به این‌که ایران از پتانسیل مناسبی در زمینه انرژی خورشیدی برخوردار است، استفاده از این منبع انرژی پاک و نامحدود ضروری به نظر می‌رسد. با ورود ایران به عرصه استفاده از سیستم‌های خورشیدی در بخش نیروگاهی یافتن مکانی مناسب برای استقرار و نصب این سیستم‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

برنامه‌ریزی و انتخاب مکان مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی سبب افزایش میزان برق تولیدی و بهبود راندمان عملکردی این نیروگاه‌ها خواهد شد، زیرا راندمان نیروگاه‌های خورشیدی برخلاف نیروگاه‌های فسیلی به شدت به عوامل جغرافیایی و مکانی وابسته است که از جمله آن می‌توان به پارامترهایی چون میزان تابش دریافتی از خورشید، تعداد ساعات آفتابی در سال، میزان گرد و غبار موجود در هوا و... اشاره کرد. با لحاظ شدن معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی در فرآیند مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی علاوه‌بر کاهش انتشار گازهای آلوده‌کننده و تخریب محیط‌زیست منطقه سبب توجیه بهتر اقتصادی طرح نیز می‌شود که می‌تواند به افزایش مقبولیت اجتماعی و اقتصادی سیستم‌های انرژی نوین منجر شود.

انواع مختلفی از نیروگاه‌های خورشیدی در دنیا وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به دو گروه کلی نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی و غیرحرارتی تقسیم کرد (سانا، ۱۳۹۵). در نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی انرژی دریافتی به طور غیرمستقیم و از طریق سیال واسطه به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. نیروگاه‌های غیرحرارتی که به آن نیروگاه‌های فتوولتائیک نیز گفته می‌شود انرژی خورشیدی را به طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. این نیروگاه از فناوری پنل‌های خورشیدی بهره می‌برد. فناوری پنل‌های خورشیدی به سه گروه مونوکریستال، پلی‌کریستال و فیلم نازک[1] تقسیم‌بندی می‌شوند (کلگیرو[2]، ۲۰۱۳).

از معیارهای مختلفی برای امکان‌سنجی و مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی استفاده می‌شود. در تحقیقی با استفاده از آمار ۳۳ ساله فراسنج‌های تابش، ابرناکی و باد به امکان‌سنجی استقرار نیروگاه خورشیدی در مناطق خشک ایران اقدام شده است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۸۷). در تحقیقی دیگر به مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با تأکید بر عوامل و پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته شده است. از

1. Thin film
2. Kalogirou

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

آن‌جایی که در این پژوهش ساعات آفتابی به عنوان مهم‌ترین پارامتر در بهره‌برداری از انرژی خورشیدی شناخته شده، پارامترهای مؤثر بر ساعات آفتابی شامل ابرناکی، روزهای گرد و خاک، رطوبت نسبی، ارتفاع و بارش سالانه مورد بررسی قرار گرفته است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۰).

جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی روش‌های مختلفی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به کار گرفته می‌شود. ارائه مشخصات مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در استان اصفهان و با استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره و منطق فازی انجام شده است (ذوقی و همکاران، ۲۰۱۵). در مقاله «مدلی پیشنهادی و دوستدار محیط‌زیست جهت مکان‌گزینی نیروگاه‌های تأمین انرژی شهری با استفاده از پایگاه داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و محیط‌زیست و به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی[1]» که در ژورنال انرژی کاربردی[2] چاپ شده است به بررسی فرآیند مکان‌یابی انواع نیروگاه‌های تولید برق در کشور کره جنوبی پرداخته‌اند. در این مقاله با در نظر گرفتن توزیع جغرافیایی تقاضای انرژی، پارامترهای مکانی، شاخص‌های فنی و پتانسیل‌سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر مدلی جهت انتخاب مکان مناسب برای احداث نیروگاه پیشنهاد می‌شود (یو و یی[3]، ۲۰۱۴).

عدم امکان تولید مستمر و مداوم انرژی یکی از مشکلات به کارگیری انرژی تجدیدپذیر است. این مشکل زمانی بیشتر می‌شود که تنها از یک منبع انرژی تجدیدپذیر استفاده شود. بدین جهت هیبرید کردن سیستم‌های انرژی سبب می‌شود تا بتوان بر این معضل تا حد خوبی فائق آمد. مکان‌یابی نیروگاه‌های هیبرید بادی و خورشیدی از موضوعات مورد علاقه پژوهشگران است. در این‌گونه مطالعات ابتدا محل‌های دارای اولویت برای سیستم بادی و خورشیدی به صورت جداگانه در سیستم اطلاعات جغرافیایی تعیین، در نهایت این مکان‌ها با یکدیگر تلفیق و بهترین محل برای نصب سیستم هیبرید خورشیدی- بادی تعیین می‌شود (آیدین[4] و همکاران، ۲۰۱۳).

در فرآیندهای مکان‌یابی نیروگاه‌ها معمولاً از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. به دلیل آن‌که مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نقش اساسی در فرآیند مکان‌یابی دارند، انتخاب مدل تصمیم‌گیری مناسب از اهمیت زیادی برخوردار است (وو[5] و همکاران، ۲۰۱۴). برخی مشکلات در مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره وجود دارد که سبب کاهش

1. Artificial Neural Network (ANN)
2. Applied Energy
3. Yeo and Yee
4. Aydin
5. Wu

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

کیفیت فرآیند مکان‌یابی نیروگاه می‌شود که به شرح زیر است. ۱- اطلاعات کیفی به شکل معقول و مناسبی وارد فرآیند مکان‌گزینی نیروگاه نمی‌شوند؛ ۲- بسیار سخت است که فرضیه استقلال مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به کار گرفته شده در فرآیند مکان‌گزینی ارضا شوند (وو و همکاران، ۲۰۱۴). در فرایند کسب نظرات متخصصان اغلب از مفاهیم زبانی استفاده می‌شود. استفاده از مفاهیم زبانی به جای متغیرهای عددی برای نشان دادن ترجیحات مناسب‌تر است (زو[1]، ۲۰۰۴). یکی از روش‌های تبدیل مفاهیم زبانی به مقادیر عددی عملگر زبانی شوکه[2] است. این عملگر زبانی در سال ۱۹۵۴ میلادی و توسط فردی به همین نام ابداع شد (شوکه، ۱۹۵۴). در مقاله‌ای که جهت انتخاب مکان مناسب برای یک نیروگاه حرارتی خورشیدی در کشور چین نگارش شده از عملگر زبانی شوکه استفاده شده است (وو و همکاران، ۲۰۱۴).

با وجود فواید نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر برخی مشکلات در مقبولیت اجتماعی این نوع از سیستم‌های انرژی وجود دارد. آلودگی بصری نیروگاه‌های بزرگ فتوولتائیک یکی از معضلات است که معمولاً مردم عادی به آن نگاه منفی دارند. در مقاله «مکان‌یابی نیروگاه‌های جدید فتوولتائیک براساس شاخص دیده شدن (آلودگی بصری)» که در ژورنال انرژی تجدیدپذیر[3] منتشر شد برای نخستین بار شاخص آلودگی بصری را به مجموعه شاخص‌های مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی وارد شد. مطالعه موردی این مقاله مربوط به منطقه La Roja در شمال کشور اسپانیاست. هدف این مقاله ارائه روشی جدید جهت رتبه‌بندی مکان‌های مطلوب برای احداث نیروگاه فتوولتائیک براساس کمترین آلودگی بصری است. در این مقاله از منطق فازی برای تنزل فاصله دید استفاده شده است. تابع تنزل فاصله دید برای یک جسم ۱۰ متری محاسبه شده که این امکان را می‌دهد تا بیشینه تعداد ساعتی که یک نیروگاه فتوولتائیک در طول روز در دید یک فرد قرار می‌گیرد را محاسبه کرد (فرناندز- خیمنز[4] و همکاران، ۲۰۱۵).

استقرار نیروگاه‌های خورشیدی به عنوان زیرساخت‌های یک کشور باید از اصول آمایش سرزمین پیروی کند. آمایش سرزمین، تنظیم کنش متقابل بین عوامل انسانی و عوامل محیطی به منظور ایجاد سازمان سرزمینی مبتنی‌بر بهره‌گیری بهینه از استعدادهای انسانی و محیطی است (مرکز ملی آمایش سرزمین، ۱۳۸۵). در این مقاله مکان‌های بهینه جهت استقرار نیروگاه‌های فتوولتائیک خورشیدی در سطح شهرستان بیرجند با رویکرد توسعه پایدار شناسایی می‌شود تا علاوه‌بر پهنه‌بندی اراضی شهرستان جهت احداث نیروگاه که از ارزیابی نظام‌مند عوامل طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، فنی و ایمنی حاصل شود. نیازهای آتی انرژی منطقه تأمین شده و به پایداری و

1. Xu
2. Choquet
3. Renewable Energy
4. Fernandez-Jimenez

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

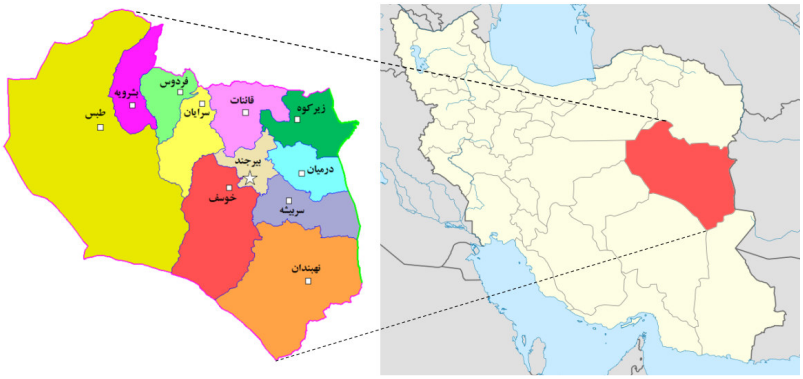
افزایش توان سرزمینی نیز از طریق بهره‌گیری تکنولوژی تجدیدپذیر کمک شود. از نوآوری‌های این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تاکنون مطالعاتی تخصصی و جامع جهت انتخاب مکان بهینه نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک در استان صورت نگرفته است. در این پژوهش تلاش می‌شود تا مکان‌های مناسب برای استقرار نیروگاه فتوولتاییک در سطح شهرستان بیرجند مشخص شود.
- انتخاب ترکیبی بهینه و جامع از شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک که با شرایط بومی منطقه سازگار از دیگر نتایج این تحقیق است.
- این تحقیق با به کارگیری دو مدل بولین و فازی اقدام به مکان‌گزینی این نوع نیروگاه‌ها می‌کند. تهیه و پردازش مجموعه‌ای گسترده از داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی (۲۷ مورد) از جنبه‌های نوین این مطالعه است که سبب افزایش دقت و صحت خروجی‌ها می‌شود.

۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند در استان خراسان جنوبی ایران واقع شده است. این شهرستان از شمال به شهرستان‌های قاینات و زیرکوه، از شرق به شهرستان‌های درمیان و سربیشه، از جنوب به شهرستان خوسف و از غرب به شهرستان سرایان محدود است. شهر بیرجند مرکز این شهرستان بوده که مرکز استان خراسان جنوبی است. این شهرستان پرجمعیت‌ترین شهرستان خراسان جنوبی و براساس سرشماری سال ۱۳۹۰ جمعیت آن ۲۵۹،۵۰۶ نفر بوده که ۱۸۴۶۴۷ نفر در نقاط شهری و ۷۴۸۵۹ نفر در نقاط روستایی آن ساکن است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). اکنون شهرستان بیرجند دارای یک بخش به نام بخش مرکزی و دارای ۶ دهستان، یک نقطه شهری و حدود ۳۸۰ روستاست. این شهرستان در ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۱۴۹۱ متری از سطح دریا قرار گرفته است (فرمانداری شهرستان بیرجند، ۱۳۹۵). شهرستان بیرجند به عنوان یکی از مناطق برخوردار از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی شناخته می‌شود (علمداری و همکاران، ۲۰۱۳).

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی (شهرستان بیرجند) در استان خراسان جنوبی

۲. اقلیم منطقه مطالعاتی

آب و هوای شهرستان بیرجند نیمه بیابانی و دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک است. با توجه به آب و هوای آن میزان بارش کم بوده و بیشترین میزان بارش از ماه آذر تا اردیبهشت رخ می‌دهد. ایستگاه هواشناسی بیرجند در سال ۱۳۳۴ خورشیدی (۱۹۵۵ میلادی) راه‌اندازی شد. براساس اطلاعات این ایستگاه میانگین سالیانه بیشترین و کمترین درجه حرارت این شهر برابر با ۲۴ و ۸ درجه سانتی‌گراد است. شهر بیرجند به طور میانگین در ۷۶ روز از سال دارای دمای زیر صفر درجه و در ۱۴۲ روز از سال دارای دمای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. مجموع بارش سالیانه در شهر بیرجند به طور میانگین برابر با ۱۷۱ میلی‌متر در سال، همچنین میانگین سالیانه رطوبت نسبی ۳۶٪ و میانگین ۳۰ روز از سال آسمان کاملاً ابری است. هوای بیرجند به طور میانگین در ۱۲ روز از سال با طوفان و گرد و خاک شدید همراه است (اداره کل هواشناسی خراسان جنوبی، ۱۳۹۵).

۳. روش تحقیق

این تحقیق جهت شناسایی مکان‌های بهینه برای استقرار نیروگاه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه در شهرستان بیرجند انجام شده، از نظر هدف کاربردی و دارای ماهیت- روش توصیفی- تحلیلی است. در این مطالعه به توصیف الگوی پخش سایت‌های نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه برق پرداخته و متغیرهای فضایی مؤثر در فرآیند مکان‌یابی این نوع نیروگاه‌ها تحلیل می‌شود. داده‌های این تحقیق به روش کتابخانه‌ای- آرشیوی و با استفاده از منابع آماری، تصویری و متنی تهیه شده است.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

این مطالعه در چهار مرحله انجام شده است. در مرحله نخست داده‌ها و نقشه‌های رقومی تهیه شده از مراجع مختلف پایش و برای پردازش آماده می‌شود، سپس با توجه به معیارهای مکان‌گزینی نیروگاه فتوولتائیک در شهرستان بیرجند، نواحی غیرمجاز و نامناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی از سطح شهرستان بیرجند با استفاده از منطق بولین حذف می‌شود. در مرحله دوم مناطق باقی‌مانده با استفاده از منطق فازی و توابع عضویت فازی که به صورت خطی تعریف شده است ارزش‌گذاری می‌شود. خروجی این مرحله نقشه‌های فازی فاکتورها خواهد بود. در مرحله سوم نقشه‌های فازی فاکتورها با استفاده از عملگر فازی گاما تلفیق می‌شود. در مرحله آخر مکان‌های مناسب جهت استقرار نیروگاه فتوولتائیک در شهرستان بیرجند مشخص می‌شود.

۴. داده‌ها

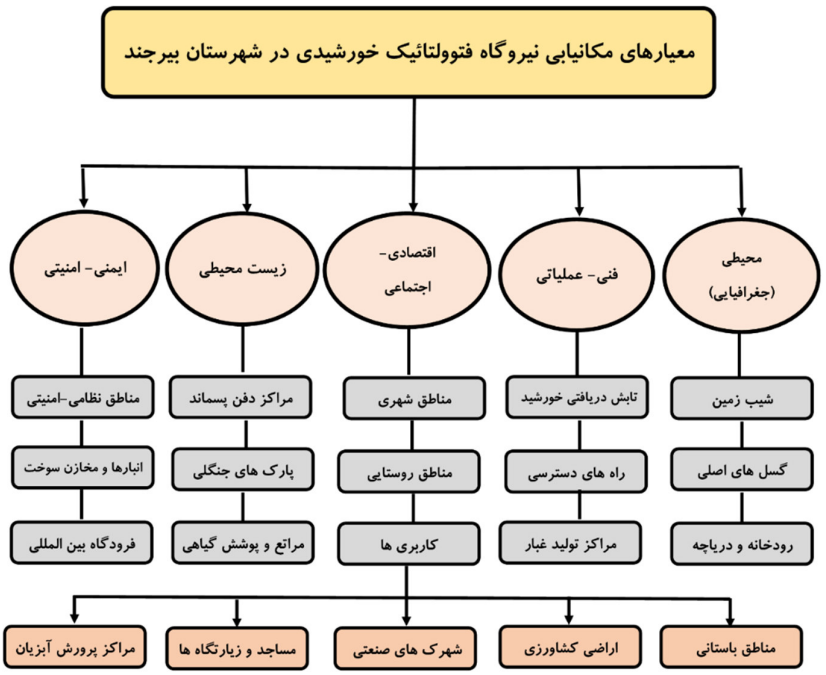
جهت شناسایی معیارهای مؤثر در فرایند مکان‌گزینی نیروگاه‌های فتوولتائیک خورشیدی (آمایش سرزمین)، معیارها و فاکتورهای مختلف به کار گرفته شده در پژوهش‌های داخلی و خارجی مورد بررسی قرار گرفت و از آن‌جایی که استاندارد تعریف شده‌ای از سوی نهادهای ذی‌ربط در داخل کشور برای مکان‌گزینی این نوع از نیروگاه‌های تجدیدپذیر وجود ندارد، سعی شد با مشورت استادان دانشگاه تهران، بررسی پژوهش‌های داخلی و خارجی پیشین و استانداردهای مختلفی که توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و سازمان حفاظت محیط‌زیست برای سایر تأسیسات و زیرساخت‌ها تدوین شده است مجموعه‌ای بهینه و جامع از معیارها برای مکان‌گزینی نیروگاه‌های فتوولتائیک خورشیدی تعریف و تدوین شود. معیارها (لایه‌های اطلاعاتی) که در این تحقیق مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد را می‌توان در پنج گروه محیطی (جغرافیایی)، فنی- عملیاتی، اقتصادی- اجتماعی، زیست‌محیطی و ایمنی- امنیتی طبقه‌بندی کرد. لایه‌های اطلاعاتی (معیارهای) مورد استفاده در این پایان‌نامه در شکل ۲ نمایش داده شده است.

با توجه به معیارهای تعریف و تعیین شده برای فرایند برنامه‌ریزی فضایی مکان استقرار نیروگاه‌های فتوولتائیک خورشیدی نیاز است تا اطلاعات، داده‌ها و نقشه‌های رقومی مرتبط با هر یک از معیارها از سازمان‌های مختلف داخلی و خارجی تقاضا و تهیه شود. برای تولید نقشه شیب منطقه مورد مطالعه ابتدا مدل رقومی ارتفاع[1] محدوده مورد نظر از وب سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شد (یواس‌جی‌اس[2]، ۲۰۱۶). برای این مطالعه از مدل جهانی رقومی

1. DEM
2. USGS

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

ارتفاع[1] مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای سنجنده استر[2] با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر بهره گرفته شد. نقشه پتانسیل تابش افقی جهانی[3] ایران از شرکت سولارجی‌آی‌اس[4] تهیه شد. داده‌های مورد نیاز برای سایر لایه‌های اطلاعاتی از سازمان نقشه‌برداری کل کشور به صورت نقشه‌های رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تقاضا و تهیه شد.



شکل ۲. لایه‌های اطلاعاتی فرآیند مکان‌گزینی نیروگاه فتوولتائیک در شهرستان بیرجند

۵. اجرای مدل بولین و تولید نقشه نهایی محدودیت‌ها

برخی عوامل فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی سبب می‌شود تا امکان احداث نیروگاه در همه مناطق محدوده مطالعاتی وجود نداشته باشد. به عبارت دیگر تمامی نواحی شهرستان بیرجند برای استقرار نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی مناسب نیست؛ بنابراین نیاز است تا مناطق

1. GDEM
2. ASTER
3. Global Horizontal Irradiance (GHI)
4. SolarGIS Co.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

نامطلوب از محدوده شهرستان بیرجند حذف شود. استفاده از منطق بولین در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی این امکان را فراهم می‌سازد تا انتخاب پهنه‌های سرزمین براساس معیارهای مطلق و قطعی صورت گیرد. با وجود سهولت این مدل، به دلیل محدود بودن دامنه معیارها فاقد انعطاف‌پذیری لازم جهت فرآیند مکان‌گزینی است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۱). این مدل جهت شناسایی و حذف مناطق نامناسب از سطح شهرستان به کار گرفته می‌شود. برای ارزیابی پهنه‌های باقی‌مانده از مدل فازی استفاده می‌شود. این مدل به دلایلی چون ارائه بازه گسترده‌تر جهت طبقه‌بندی مناطق، محدود نبودن انتخاب‌ها و امکان تغییر توابع عضویت فازی و بازه معیارها، قدرت تصمیم‌گیری بالاتری را فراهم می‌آورد (ایستمن[1]، ۲۰۱۰؛ مالچفسکی[2]، ۱۹۹۹). در مدل بولین مناطق نامطلوب ارزش صفر و سایر مناطق ارزش یک خواهند داشت. معیارهای به کار گرفته شده در مدل بولین و طبقه اطلاعاتی آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

از معیارهای جدول ۱ جهت شناسایی محدوده‌های مجاز در شهرستان بیرجند برای استقرار نیروگاه‌های فتوولتائیک استفاده که منجر به تولید نقشه‌های محدودیت شد (شکل ۳). این نقشه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به صورت لایه‌های رستری ذخیره شده است. پیکسل‌های با ارزش صفر در هر یک از این لایه‌های اطلاعاتی نشانگر مناطق نامطلوب و غیرمجاز است. برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مدل بولین از عملگر AND استفاده می‌شود. پیکسل‌های نقشه حاصل از این عملگر دارای ارزش یک یا صفر خواهد بود. پیکسل‌ها با ارزش صفر یعنی این نقطه دست‌کم در یکی از معیارهای لحاظ شده نامناسب تشخیص داده شده است و از نقشه نهایی حذف می‌شود؛ برعکس پیکسل‌ها با ارزش یک نشانگر این است که این نقاط از نظر همه معیارها برای احداث نیروگاه مناسب شناخته می‌شوند.

۶. مدل فازی و تهیه نقشه‌های فازی فاکتورها

پس از حذف مناطق نامناسب از محدوده مطالعاتی، جهت نیل به شناسایی مکان‌های بهینه برای استقرار نیروگاه فتوولتائیک به عنوان به هدف تحقیق ارزش‌گذاری پهنه‌های باقی‌مانده با استفاده از یک مدل ریاضی امری ضروری است. در این پژوهش از مدل فازی استفاده می‌شود که به پیکسل‌های لایه‌های اطلاعاتی که رستری هستند ارزشی بین صفر تا یک داده می‌شود. این روش برای تعیین اولویت پیکسل‌ها نسبت به یکدیگر به کار گرفته می‌شود تا مشخص شود که کدام پیکسل‌ها با توجه به معیار تعریف شده از اهمیت بیشتری برخوردار است. در واقع

1. Eastman
2. Malczewski

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

ارزش پیکسل‌ها درجه عضویت هر پیکسل را در مجموعه فازی نشان می‌دهد و هرچه این ارزش به عدد یک نزدیک‌تر باشد، آن پیکسل نسبت به آن معیار از اولویت بالاتری برخوردار است.

جهت ارزیابی اراضی باقی‌مانده شهرستان با مدل فازی نیاز است تا توابع عضویت این مدل با توجه به فلسفه هر معیار تعریف شود. توابع عضویت می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد. از توابع عضویت خطی می‌توان به توابع ثابت، خطی، مثلثی و ذوزنقه‌ای اشاره کرد. در این پژوهش از توابع عضویت خطی استفاده شده است. روابط ریاضی این توابع در جدول ۲ نمایش داده شده و چگونگی ارزش‌گذاری پیکسل‌های لایه‌های اطلاعاتی مختلف و تولید نقشه‌های فازی هر یک از فاکتورها در جدول ۳ آورده شده است.

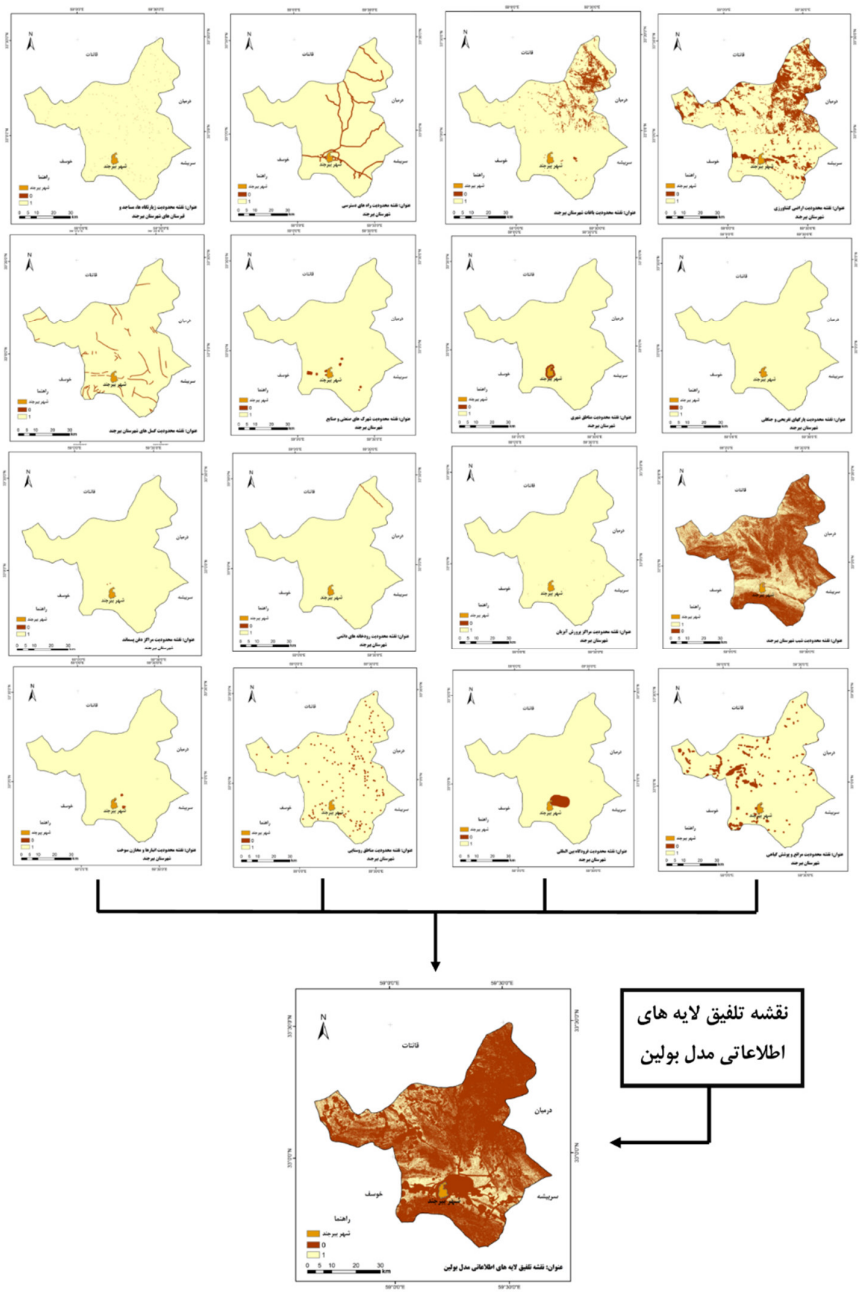
جدول ۱. دسته‌بندی معیارها و طبقات آن‌ها مبتنی بر مدل بولین

طبقات اطلاعاتی	لایه‌های اطلاعاتی	مناطق نامناسب (ارزش= صفر)	مناطق مناسب (ارزش= یک)
محیطی (جغرافیایی)	شیب	بیشتر از ۱۰٪	کمتر از ۱۰٪
	گسل‌های اصلی	کمتر از ۲۰۰ متر	بیشتر از ۲۰۰ متر
	رودخانه دائمی و دریاچه	کمتر از ۲۰۰ متر	بیشتر از ۲۰۰ متر
فنی – عملیاتی	تابش دریافتی خورشید (GHI)	کمتر از ۴/۵ ($kWh/m^2/day$)	بیشتر از ۴/۵ ($kWh/m^2/day$)
	راه‌های دسترسی	کمتر از ۳۰۰ متر	بیشتر از ۳۰۰ متر
	مراکز تولید غبار (معادن...)	کمتر از ۱۰۰۰ متر	بیشتر از ۱۰۰۰ متر
اقتصادی – اجتماعی	مناطق شهری	کمتر از ۱۰۰۰ متر	بیشتر از ۱۰۰۰ متر
	مناطق روستایی	کمتر از ۵۰۰ متر	بیشتر از ۵۰۰ متر
	شهرک‌های صنعتی و صنایع	کمتر از ۵۰۰ متر	بیشتر از ۵۰۰ متر
	زیارت‌گاه‌ها، مساجد و قبرستان‌ها	کمتر از ۱۰۰ متر	بیشتر از ۱۰۰ متر
	مناطق باستانی، تاریخی و میراث فرهنگی	کمتر از ۱۰۰۰ متر	بیشتر از ۱۰۰۰ متر
	اراضی کشاورزی و باغات	کمتر از ۱۰۰ متر	بیشتر از ۱۰۰ متر
	مراکز پرورش آبزیان	کمتر از ۱۰۰ متر	بیشتر از ۱۰۰ متر

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

زیست محیطی	مراکز دفن پسماند	کمتر از ۲۰۰ متر	بیشتر از ۲۰۰ متر
	پارک‌های جنگلی و تفریحی	کمتر از ۲۰۰ متر	بیشتر از ۲۰۰ متر
	مراتع و پوشش گیاهی	کمتر از ۵۰۰ متر	بیشتر از ۵۰۰ متر
ایمنی - امنیتی	مناطق نظامی- امنیتی	کمتر از ۱۰۰۰ متر	بیشتر از ۱۰۰۰ متر
	انبارها و مخازن سوخت	کمتر از ۵۰۰ متر	بیشتر از ۵۰۰ متر
	فرودگاه بین‌المللی	کمتر از ۳۰۰۰ متر	بیشتر از ۳۰۰۰ متر

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]



[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

شکل ۳. نقشه‌های مدل بولین معیارهای جدول ۱

جدول ۲ توابع عضویت فازی به کار گرفته شده در تحقیق (کلیر[1] و یوآن[2]، ۱۹۹۵)

خطی- صعودی	$\mathbf{linear}\ (a,b) = \begin{cases} 0 & \mathbf{x} \le \mathbf{a} \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 1 & \mathbf{x} \ge \mathbf{b} \end{cases}$
	$\mathbf{linear}\ (a,b) = \max\left[\min\left(\dfrac{\mathbf{x}-\mathbf{a}}{\mathbf{b}-\mathbf{a}}, \mathbf{1}\right), \mathbf{0}\right]$
خطی- نزولی	$\mathbf{linear}\ (a,b) = \begin{cases} 1 & \mathbf{x} \le \mathbf{a} \\ \dfrac{x-b}{a-b} & a < x < b \\ 0 & \mathbf{x} \ge \mathbf{b} \end{cases}$
	$\mathbf{linear}\ (a,b) = \max\left[\min\left(\dfrac{\mathbf{x}-\mathbf{b}}{\mathbf{a}-\mathbf{b}}, \mathbf{1}\right), \mathbf{0}\right]$
ذوزنقه‌ای	$\mathbf{Trapezoidal}\ (\mathbf{a},\mathbf{b},\mathbf{c},\mathbf{d}) = \begin{cases} 0 & \mathbf{x} \le \mathbf{a} \\ \dfrac{\mathbf{x}-\mathbf{a}}{\mathbf{b}-\mathbf{a}} & a < x < b \\ 1 & \mathbf{b} \le \mathbf{x} \le \mathbf{c} \\ \dfrac{\mathbf{d}-\mathbf{x}}{\mathbf{d}-\mathbf{c}} & \mathbf{c} < x < d \\ 0 & \mathbf{x} \ge d \end{cases}$
	$\mathbf{Trapezoidal}\ (a,b,c,d) = \max\left[\min\left(\dfrac{\mathbf{x}-\mathbf{a}}{\mathbf{b}-\mathbf{a}}, \mathbf{1}, \dfrac{\mathbf{d}-\mathbf{x}}{\mathbf{d}-\mathbf{c}}\right), \mathbf{0}\right]$

جدول ۳. معیارها و ارزش های تعیین شده برای پارامترهای توابع عضویت در تحقیق

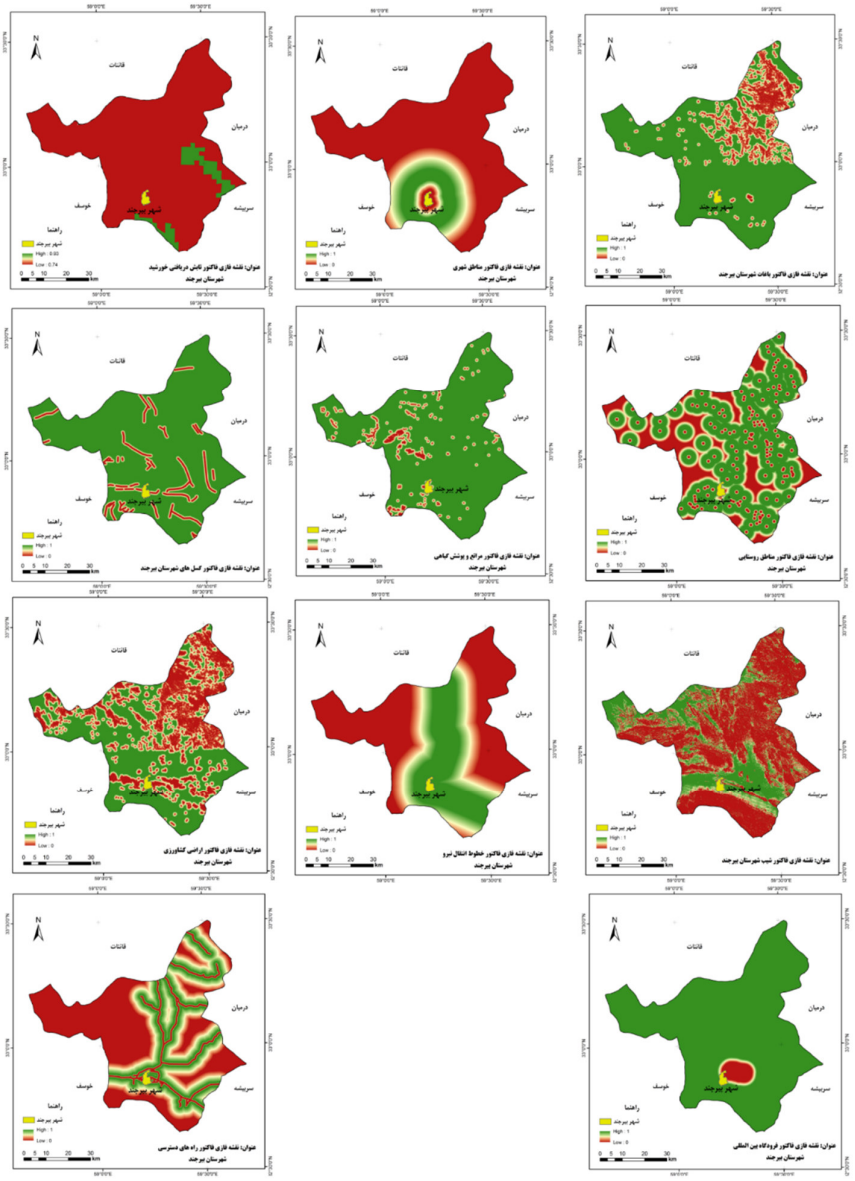
طبقات اطلاعاتی	لایه اطلاعاتی	ارزش های پارامترهای تابع عضویت فازی				نوع تابع عضویت
		d	c	b	a	
محیطی	شیب	۱۰٪	۳٪	-	-	خطی- نزولی

1. Klir
2. Yuan

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

	گسل‌های اصلی	-	-	۱۰۰۰ متر	۲۰۰ متر	خطی- صعودی
فنی - عملیاتی	خطوط انتقال نیرو	۱۵ کیلومتر	۵ کیلومتر	-	-	خطی- نزولی
	تابش دریافتی خورشید (GHI)	-	-	۶ ($kWh/m^2/day$)	۴/۵ ($kWh/m^2/day$)	خطی- صعودی
	راه‌های دسترسی	۶۰۰۰ متر	۱۰۰۰ متر	۵۰۰ متر	۳۰۰ متر	ذوزنقه‌ای
اقتصادی – اجتماعی	مناطق شهری	۲۰ کیلومتر	۱۰ کیلومتر	۵ کیلومتر	یک کیلومتر	ذوزنقه‌ای
	مناطق روستایی	۵ کیلومتر	۳ کیلومتر	یک کیلومتر	۵۰۰ متر	ذوزنقه‌ای
	اراضی کشاورزی و باغات	-	-	۳۰۰ متر	۱۰۰ متر	خطی- صعودی
	مراتع و پوشش گیاهی	-	-	یک کیلومتر	۵۰۰ متر	خطی- صعودی
ایمنی - امنیتی	فرودگاه بین‌المللی	-	-	۶ کیلومتر	۳ کیلومتر	خطی- صعودی

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]



شکل ۴ . نقشه‌های مدل فازی معیارهای جدول ۳

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

۷. تولید نقشه نهایی مکان‌های بهینه جهت استقرار نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی

چگونگی تلفیق این نقشه‌ها پس از تولید نقشه‌های فازی فاکتورها (شکل ۴) امری مهم تلقی می‌شود. در این پژوهش از عملگر فازی گاما جهت تلفیق نقشه‌ها استفاده می‌شود (رابطه ۱). این عملگر حاصل‌ضرب جمع و ضرب فازی است و در واقع اثر ترکیبی هر دو عملگر را در خود دارد. این عملگر جهت تلفیق نقشه‌های فازی در تحقیقات مختلف به کار گرفته شده است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۱؛ شهابی و همکاران، ۲۰۱۶؛ لی[1]، ۲۰۰۷؛ چی[2] و همکاران، ۲۰۰۲؛ مرادی و همکاران، ۱۳۸۹).

$$\mu_{\text{Combination}} = (1 - (\prod_{i=1}^{n}(1 - \mu_i)))^{\gamma} \times (\prod_{i=1}^{n}\mu_i)^{1-\gamma} \quad (۱)$$

مقدار ثابت در رابطه ریاضی عملگر فازی گاما نقش مهمی را در خروجی نقشه نهایی ایفا می‌کند. از آن‌جایی که مقدار ثابت، عددی بین صفر تا یک است، انتخاب صحیح و آگاهانه مقدار ثابت آن سبب ایجاد مقادیری در خروجی می‌شود که سازگاری قابل انعطاف میان اثر کاهشی ضرب و اثر افزایشی جمع فازی خواهد داشت. هرچه مقدار ثابت به عدد یک نزدیک‌تر شود، عملگر گاما اثر افزایشی بیشتری خواهد داشت، برعکس هرچه مقدار ثابت به صفر نزدیک‌تر شود، عملگر گاما اثر کاهشی بیشتری خواهد یافت (اجاق و همکاران، ۱۳۹۰). ریسک‌پذیری فرایند برنامه‌ریزی فضایی نیروگاه فتوولتائیک است که با افزایش مقدار ثابت بیشتر و با کاهش این مقدار، ریسک‌گریزی و قابلیت اطمینان افزایش می‌یابد. تلفیق نقشه‌های فاکتور با سه مقدار ثابت لاندا برابر با ۰/۲، ۰/۶ و ۰/۸ انجام شده است تا به خوبی اثر مقدار ثابت در نقشه نهایی نشان داده شود. این نقشه‌ها در شکل ۵ آورده شده است. با افزایش مقدار لاندا بر مساحت اراضی دارای مطلوبیت افزوده شده و مکان‌های مناسب بیشتری برای نصب تجهیزات نیروگاه فتوولتائیک شناسایی می‌شود. به این دلیل انتخاب ثابت ۰/۶ می‌تواند حد میانه مناسبی برای پهنه‌بندی اراضی شهرستان باشد. توجه به این نکته لازم است که سایر مراحل این تحقیق براساس نقشه خروجی با عملگر گاما و مقدار ثابت لاندا ۰/۶ پیگیری می‌شود. نقشه حاصل از تلفیق نقشه‌های فاکتور با ثابت لاندا ۰/۶ و نقشه محدودیت مدل بولین در شکل ۶ نمایش داده شده است.

1. Lee
2. Chi

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

۸. بحث و یافته‌های تحقیق

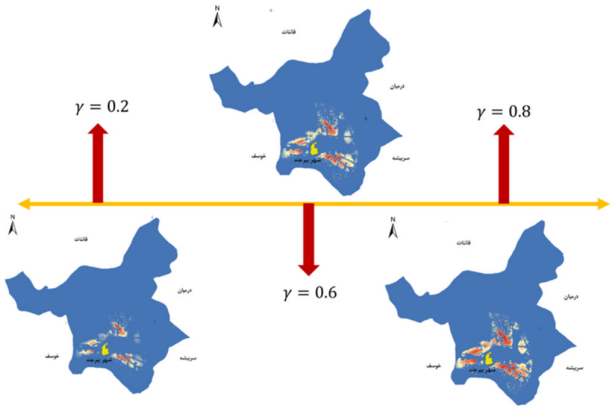
پهنه‌های مناسب پس از تلفیق نقشه‌های مدل بولین و نقشه‌های فاکتور فازی و با توجه به هدف پروژه در نقشه نهایی مشخص می‌شود. با توجه به این‌که این پهنه‌ها دارای ارزش فازی متفاوت از صفر تا یک است در نتیجه از اولویت یکسانی برخوردار نیست. این مناطق جهت مشخص کردن اولویت پهنه‌ها در محدوده شهرستان بیرجند در ۵ گروه طبقه‌بندی می‌شود تا درجه مطلوبیت آن‌ها مشخص گردد. نواحی که در نقشه نهایی ارزش فازی صفر دارد نواحی نامطلوب نامیده می‌شود، این مناطق یا در مدل بولین حذف شده و یا پس از تلفیق نقشه‌های فازی ارزش صفر پیدا کرده‌اند. مطلوبیت سایر مناطق در محدوده مطالعاتی طبق جدول ۴ تعیین می‌شود.

جدول ۴. طبقه‌بندی مطلوبیت پهنه‌ها در محدوده مطالعاتی

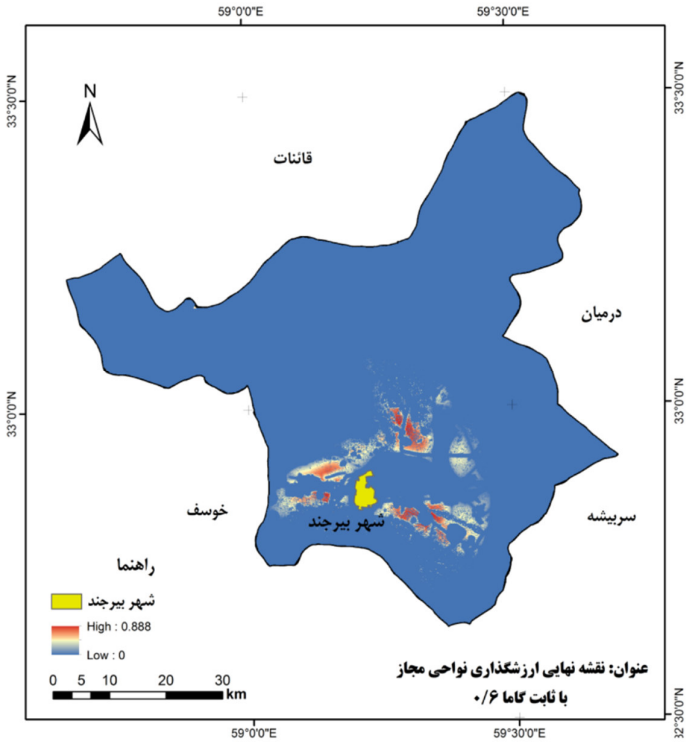
درجه مطلوبیت	نامطلوب	کم	متوسط	خوب	خیلی خوب
ارزش فازی	صفر	۰ — ۰/۳	۰/۳ تا ۰/۵	۰/۵ تا ۰/۷	بیشتر از ۰/۷

نقشه نهایی محدوده‌های مجاز که طبق جدول ۴ درجه مطلوبیت آن‌ها طبقه‌بندی شده در شکل ۷ آورده شده است. نتیجه طبقه‌بندی نشان می‌دهد که بخش اعظم سطح شهرستان برای استقرار نیروگاه فتوولتائیک نامطلوب است و زمین‌ها با درجه مطلوبیت خیلی خوب کمترین سهم را داراست. وسعت و سهم تقریبی هر یک از پهنه‌ها با درجه مطلوبیت مختلف در جدول ۵ آمده است. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که تنها ٪۱/۲۵ از اراضی شهرستان برای احداث نیروگاه مناسب است که در حدود ۵۱۰۰ هکتار مساحت دارد.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

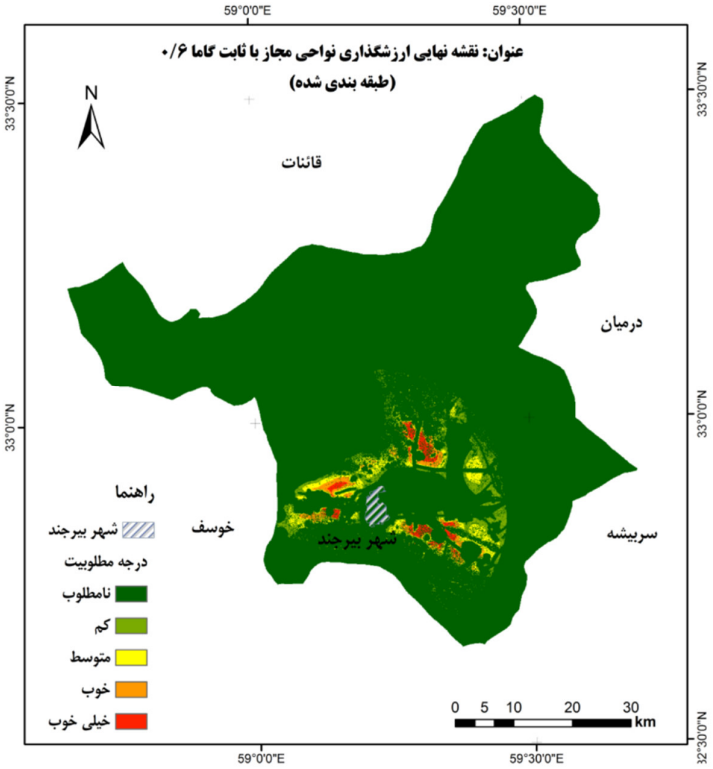


شکل ۵. نقشه نهایی ارزش‌گذاری نواحی مجاز با ثابت لاندای ۰/۲، ۰/۶ و ۰/۸



[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

شکل ۶ . نقشه نهایی نواحی مجاز با ثابت گاما ۰/۶



شکل ۷. نقشه نهایی نواحی مجاز با ثابت گاما ۰/۶

جدول ۵. وسعت و سهم تقریبی پهنه‌ها با درجه مطلوبیت مختلف

درجه مطلوبیت	مساحت (هکتار)	سهم از منطقه مطالعاتی (٪)
خیلی خوب	۲۰۰۵	۰/۵
خوب	۳۰۹۵	۰/۷۵
متوسط	۵۵۲۳	۱/۳
کم	۷۷۶۷	۱/۸
نامطلوب	۴۰۴۶۴۶	۹۵/۶۵
مجموع	۴۲۳۰۳۶	۱۰۰

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

۹. نتیجه‌گیری

گرم شدن کره زمین و پیامدهای خطرناک آن سبب شد تا کشورهای جهان توجه خود را به فناوری‌های تجدیدپذیر به خصوص انرژی خورشیدی معطوف کنند. خراسان جنوبی به عنوان یکی از مناطق برخوردار از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی در کشور شناخته می‌شود، اما بهره‌گیری از این نوع انرژی تجدیدپذیر نیازمند احداث نیروگاه‌های خورشیدی است. عملکرد و راندمان نیروگاه‌های فتوولتائیک کاملاً به شرایط مکانی- اقلیمی محل استقرار صفحات فتوولتائیک وابسته است. مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی امری ضروری و مهم به حساب می‌آید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اگر پهنه‌های مناسب برای استقرار نیروگاه فتوولتائیک در سطح شهرستان بیرجند، منطبق بر اصول آمایش سرزمین و معیارهای فنی تعیین شده باشند، تنها ٪۱/۲۵ از اراضی این شهرستان برای احداث نیروگاه مطلوب است. ٪۰/۵ از این میزان دارای درجه مطلوبیت خیلی خوب (بهینه) و ٪۰/۷۵ دارای درجه مطلوبیت خوب است.

اغلب مناطق مطلوب در نزدیکی شهر بیرجند واقع شده‌اند که از جنبه کاهش فاصله میان محل تولید و مصرف برق مناسب است. با کاهش فاصله میزان اتلافات شبکه انتقال و توزیع برق کاهش می‌یابد، همچنین این نزدیکی سبب کاهش هزینه‌های انتقال نیروی انسانی و تجهیزات نیروگاه می‌شود و بازگشت سرمایه را برای پروژه‌های تجدیدپذیر تسریع می‌بخشد. شیب کم پهنه‌های مطلوب هزینه‌های عمرانی نیروگاه خورشیدی را کاهش می‌دهد. از آن‌جایی که در مدل بولین این پژوهش به معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی- اجتماعی توجه لازم شده، تمام سایت‌های پیشنهادی برای نیروگاه‌های فتوولتائیک با درجه مطلوبیت خیلی خوب، زمین‌های فاقد کاربری و لم‌یزرع است. در انتها لازم به یاد است تهیه مجموعه‌ای جامع و کامل از داده‌های جغرافیایی و نقشه‌های رقومی دلیل دقت بالای مکان‌گزینی این تحقیق است که به درستی با مدل‌های بولین و فازی مورد تحلیل قرار گرفته است.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

۱۱. منابع

- اجاق، سروش. آل شیخ، علی اصغر. ملک، محمدرضا، «استفاده از منطق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی در تعیین مکان بهینه استقرار ایستگاه‌های امدادرسانی پس از وقوع بحران (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ تهران)»، *همایش ژئوماتیک*، اردیبهشت ۱۳۹۰.
- اسفندیاری، علی، رنگزن، کاظم، صابری، عظیم. فتاحی مقدم، مهدی، «پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS»، *همایش ملی ژئوماتیک*، اردیبهشت ۱۳۹۰.
- خوش اخلاق، فرامرز، روشن، غلامرضا، برنا، رضا، «مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی»، *فصل‌نامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، شماره ۶۷، ۱۳۸۷.
- رضا سلطانی، صبا، منوری، سید مسعود، ماهینی، عبدالرسول سلمان، آل‌شیخ، علی اصغر، «ارائه مدل بهینه توسعه یکپارچه شهری در استان تهران»، *نشریه محیط‌زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران*، دوره ۶۵، شماره ۳، ۱۳۹۱.
- سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، معاونت فنی و اجرایی، دفتر انرژی خورشیدی، ۱۳۹۵. قابل دسترس در: www.suna.org.ir.
- مرادی، حمیدرضا، پورقاسمی، حمیدرضا، محمدی، مجید، مهدوی‌فر، محمدرضا، «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوزه آب‌خیز هراز)»، *علوم محیطی*، سال هفتم، شماره چهارم، ۱۳۸۹.
- مرکز آمار ایران، «سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰»، ۱۳۹۰. قابل دسترس در: https://www.amar.org.ir
- مرکز ملی آمایش سرزمین، «شرح خدمات برنامه آمایش استان». سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵.
- تارنمای اداره کل هواشناسی خراسان جنوبی، سازمان هواشناسی کشور، وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۵. قابل دسترس در: http://skhmet.ir.
- تارنمای فرمانداری شهرستان بیرجند، استانداری خراسان جنوبی، ۱۳۹۵. قابل دسترس در: http://sk-birjand.ir
- یوسفی، حسین، نوراللهی، یونس، سلطان محمدی، مجید، ارجمندی، رضا، «کاربرد منطق فازی و FTOPSIS جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از GIS»، *نشریه انرژی ایران*، دوره ۱۵، شماره ۴، ۱۳۹۱.
- Ojagh, S., Alesheikh, A., Malek, M., ‘‘Application of fuzzy logic and Analytical Hierarchy Process in determining the location of

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

S.O.S stations after the occurrence of the crisis, case study: Tehran Region 10", Geomatics Conference, 2011. [in Persian فارسی]

- Esfandiari, A., Rangzan, K., Saberi, A., Fatahi Moghadam, M., "Potential assessment of solar power plants construction by investigating climatic parameters in Khuzestan Province using GIS", Geomatic Conference, 2011. [in Persian فارسی]
- Khoshakhlagh, F., Roshan, G., Borna, R., "Site selection of solar power plant with regard to climatic parameters", Sepehr quarterly journal, No. 67, 2008. [in Persian فارسی]
- Reza Soltani, S., Monavari, S. M., Mahini, A., Alesheikh, A., "An improved integrated model of urban development for Tehran province", Journal of natural environment (Iranian journal of natural resources), Vol. 65, No. 3, 2012. [in Persian فارسی]
- SUNA (Renewable Energy Organization of Iran), solar energy office, 2016. Available at http://www.suna.org.ir/en/home (last accessed November 2016). [in Persian فارسی]
- Morady, H., Pourghasemi, H., Mohammadi, M., Mahdavifar, M., "Landslide hazard zoning using gamma fuzzy operator: Case study of Haraz Watershed", Journal of environmental sciences, Vol. 7, No. 4, 2010. [in Persian فارسی]
- Statistical Center of Iran, The 2011 Census, 2011, Available at: http://www.amar.org.ir/english/ (last accessed December 2016). [in Persian فارسی]
- National center of land-use planning, "Description of the services of provincial land-use plan", Management and planning organization of Islamic Republic of Iran, 2006. [in Persian فارسی]
- Southern Khorasan meteorological organization, Iran meteorological organization, Ministry of roads and urban development, 2016. Available at: http://skhmet.ir. [in Persian فارسی]
- Governorship of the city of Birjand, Governorship of Southern Khorasan, 2016. Available at: http://sk-birjand.ir. [in Persian فارسی]
- Yousefi, H., Noorollahi, Y., Soltan Mohammadi, M., Arjmandi, R., "Application of fuzzy logic and FTOPSIS for site selection of solar power plant using GIS", Iranian journal of energy, Vol. 15, No. 4, 2012. [in Persian فارسی]

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

- Alamdari, P., Nematollahi, O., Alemrajabi, A. A., "Solar energy potentials in Iran: A review". *Renewable and sustainable energy reviews*, No. 21, pp. 778-788, 2013.
- Aydin, Nazli Yonca, Kentel, Elcin, Duzgun, H. Sebnem, "GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey". *Energy conversion & management*; No. 70, pp. 90-106, 2013.
- Chi, K. H., Park, N. W., Chung, C. J., "Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea", *Symposium geospatial theory, processing and applications*, Ottawa, 2002.
- Choquet, Gustave, "Theory of capacities". *Ann Inst Fourier*, No. 5, pp. 131–295, 1954.
- Eastman, J. R., *Applied remote sensing and GIS with Idrisi*, 2010. Translated and compiled by: Mahini, A. S., Kamyab, H., Tehran: Mehr mahdis Publications, p. 582.
- Fernandez-Jimenez, L. Alfredo, Mendoza-Villena, Montserrat, Zorzano-Santamaria, Pedro, Garcia-Garrido, Eduardo, Lara-Santillan, Pedro, Zorzano-Alba, Enrique, Falces, Alberto, "Site selection for new PV power plants based on their observability". *Renewable energy*, No. 78, pp. 7-15, 2015.
- Kalogirou, Soteris A., *Solar energy engineering: processes and systems*, Elsevier, 2013.
- Klir, George J., Yuan, B., *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. Prentice Hall PTR, 1995.
- Lee, S., "Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping", Environmental geology, No. 50, pp. 847-855, 2007.
- Malczewski, J., *GIS and multicriteria decision analysis,* 1999. Translated by: Parhizkar, A., Gilandeh, A. G., Tehran: Samt Publication, p. 597.
- Shahabi, H., Ahmad, B. A., Ahmad, B. B., Taheri Amiri, M. J., Keihanfard, S., Ebrahimi, S., "Assessment of WLC and fuzzy logic methods for site selection of water reservoirs in Malaysia", *Political journal of environmental Studies*, Vol. 25, No. 3, pp. 1223-1231, 2016.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]

- United States Geological Survey (USGS), ASTER GDEM. Available at: https://earthexplorer.usgs.gov/ (last accessed: December 2016).
- Wu, Yunna, Geng, Shuai, Zhang, Haobo, Gao, Min, "Decision framework of solar thermal power plant site selection based on linguistic Choquet operator". *Applied energy*, No. 136, pp. 303-311, 2014.
- Xu Z., "A method based on linguistic aggregation operators for group decision making with linguistic preference relations", *Information sciences*, No. 166, pp. 19–30, 2004.
- Yeo, In-Ae, Yee, Jurng-Jae., "A proposal for a site location planning model of environmentally friendly urban energy supply plants using an environment and energy geographical information system (E-GIS) database (DB) and an artificial neural network (ANN)", *Applied energy,* No. 119, pp. 99–117, 2014.
- Zoghi M, et al., "Optimization solar site selection...". *Renewable and sustainable energy reviews*, 2015, http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014 (in press).

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-27]