سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال هشتم / شماره اول) بهار ۱۳۹۶
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی تحت تاثیر پارامترهای اقلیمی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعهٔ موردی: استان فارس)

مصطفی گرجی[۱*]، سجاد خشنود مطلق[۲]، حسین عمرانی[۳]، مرتضی هاشمی[۴]

۱. کارشناس ارشد مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز
۴. کارشناس ارشد مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

توجه به منابع تجدیدپذیر انرژی که جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی تجدیدناپذیر هستند، سبب شده است که جوامع به سمت انرژی‌هایی نظیر انرژی خورشیدی سوق پیدا کنند. هدف از این پژوهش مکان‌یابی مناطق مستعد احداث نیروگاه‌های خورشیدی در استان فارس با توجه به پارامترهای اقلیمی می‌باشد. برای این پژوهش از پارامترهای بارندگی، دما، رطوبت‌نسبی، ساعات آفتابی، ارتفاع، گرد و خاک و جهت شیب استفاده گردید. بر اساس نقش و اهمیت این فاکتورها نقشه هر معیار در محیط GIS تهیه و در محیط IDRISI فازی گردید. نقشه مکانی مناطق مستعد با توجه به وزن‌های بدست آمده به روش Fuzzy-AHP تهیه و در چهار کلاس (عالی، خوب، متوسط و ضعیف) طبقه‌بندی گردید. نتایج مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی نشان داد که، نواحی واقع در شمال و شمال شرقی استان دارای بیشترین استعداد می‌باشند، که مساحتی بالغ بر ۶۰ درصد کل مساحت استان را شامل می‌شود و کمترین استعداد مربوط به نواحی جنوبی استان با مساحتی حدود ۰/۰۲۶ درصد می‌باشد. بیشترین مساحت استان از لحاظ پتانسیل نیروگاه خورشیدی در کلاس عالی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که مناطق مستعد احداث نیروگاه در مناطق دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک سرد می‌باشد، این نواحی شامل مناطقی است که، ایستگاه‌های آباده، اقلید، ایزدخواست، بوانات و صفاشهر در آن قرار دارند.

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
دریافت: ۱۸ خرداد ۱۳۹۵
پذیرش: ۲۰ بهمن ۱۳۹۵
دسترسی اینترنتی: ۱۰ خرداد ۱۳۹۶

واژه‌های کلیدی:
نیروگاه خورشیدی
پارامترهای هواشناسی
مکان‌یابی
تحلیل سلسله مراتبی فازی
استان فارس

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: m.gorji67@gmail.com

مقدمه

امروزه مضرات و محدودیت‌های سوخت‌های فسیلی و بالا رفتن مصرف انرژی، تمایل به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و به ویژه انرژی خورشیدی را افزایش داده است، به گونه‌ای که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ سرانه‌ی تولید انرژی جهانی ۱۰/۳ درصد افزایش یافته است (۲۷). پیش‌بینی شده این افزایش تولید انرژی در سال ۲۰۳۰ به بیش از ۶۰ درصد مقدار مصرفی در سال ۲۰۰۰ نیز برسد (۲۴). محل نیروگاه‌های خورشیدی یکی از فاکتورهای تأثیرگذار در میزان راندمان کاری آن‌ها است که به علت پرهزینه بودن عملیات نصب، بهره‌برداری و نگهداری بررسی اولویت مناطق از نظر شرایط محیطی، صنعتی، هواشناسی و اجتماعی مورد توجه قرار می‌گیرد (۲۶). مقادیر پتانسیل تابشی از جمله داده‌های تأثیرگذار در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی است و عموماً بیشترین وزن را در مکان‌یابی این نیروگاه‌ها به خود اختصاص می‌دهد (۲۳).

خوش‌اخلاق و همکاران (۵) در پژوهشی به امکان‌سنجی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی توسط روش‌های آماری با توجه به پارامترهای اقلیمی در مناطق خشک جنوب شرقی ایران پرداخت. نتایج آنان نشان داد که ایستگاه یزد به عنوان مناسب‌ترین مکان جغرافیایی جهت استقرار نیروگاه خورشیدی نسبت به ایستگاه‌های اطراف آن است.

یو و وانگ (۲۵) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS از منابع انرژی تجدیدپذیر محلی گوناگون، به بررسی منابع انرژی خورشیدی، باد و زیست‌توده در یک منطقه روستایی در جنوب غربی تایوان با استفاده از تجزیه و تحلیل مفاهیم فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و سیاسی به منظور ایجاد یک مدل ارزیابی برای توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر محلی پرداختند. نتایج تحقیق آنان می‌تواند به ایجاد یک چشم‌انداز برای توسعه سیستم‌های انرژی پایدار مبتنی بر منابع طبیعی محلی در دسترس و تسهیل انتقال انرژی ملی و سیاست‌های زیست‌محیطی کمک کند.

اسفندیاری و همکاران (۳) در تحقیقی تحت عنوان پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی توسط پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS، مناطق با پتانسیل مناسب را برای بهره‌برداری از انرژی خورشید پهنه‌بندی کردند. به طور کلی انتخاب مکان مناسب یا مکان‌یابی تأسیسات خاص در یک منطقه، یکی از مسائل متداول در تصمیم‌گیری است. این موضوع خصوصاً در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب نموده است. روش‌های کمی و کیفی زیادی برای حل آن‌ها پیشنهاد شده است. در این راستا، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به عنوان یکی از روش‌های مورد توجه محققین و کارشناسان برای رتبه‌بندی و مکان‌یابی در کاربردهای مختلفی بکار رفته است. در بین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process) بیش از همه در حل مسائل رتبه‌بندی مورد توجه قرار گرفته است.

طباطبایی و امیری (۶) به مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی بر اساس ارزیابی چندمعیاره مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در استان بوشهر پرداختند. آنان در این پژوهش از معیارهای اقلیمی، جغرافیایی، اقتصادی- اجتماعی، زیست‌محیطی و زمین‌شناسی استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد که ۲۴/۸ درصد از مساحت منطقه در مناطق شمال شرقی استان در کلاس کاملاً مناسب برای احداث نیروگاه‌های بادی هستند. همچنین از بین معیارهای به کار رفته توسط آنان، معیارهای اقلیمی و جغرافیایی دارای بیشترین اهمیت در ارزیابی بودند.

احمدی و همکاران (۱) به مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و سامانه اطلاعات مکانی در استان ایلام پرداختند. آنان در این پژوهش از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سلسله مراتبی (AHP) استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد که مناطق جنوبی و جنوب غربی محدوده مورد مطالعه دارای بهترین پتانسیل برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی هستند.

از آنجایی‌که روش AHP استاندارد برای مقایسهٔ زوجی معیارها، نیازمند ارائه نظرات کارشناسان به صورت صریح و با استفاده از اعداد دقیق است، به نظر می‌رسد کاربردهای اخیر

روش AHP استاندارد دارای مشکل عدم در نظر گرفتن عدم قطعیت و خطا در نظر کارشناسان است؛ بنابراین لازم است در روش AHP به نحوی عدم قطعیت ناشی از قضاوت انسانی در داده‌های ورودی منعکس شود (۱۴). برای حل این نقطه ضعف، استفاده از منطق فازی (Fuzzy) برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در حل مسائل مکان‌یابی پیشنهاد شده است. در این راستا، تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy-AHP) توسعه پیدا نمود. سیستم‌های فازی، سیستم‌های مبتنی بر دانش و قواعد است و از مشخصه‌های آن توانایی تقسیم‌بندی اطلاعات است و به علت بالا بودن قدرت تبیین بیشتر نسبت به یک عدد، در علوم مختلف از آن به منظور تعمیم اطلاعات استفاده می‌شود (۴).

فرجی‌سبکبار و همکاران (۱۰) به بررسی تناسب‌سنجی اراضی به منظور احداث مزارع فتوولتائیک به کمک تلفیق سیستم‌های جمع سادهٔ وزنی و استنتاج فازی در ایران پرداختند. نتایج آنان نشان داد که ۳۱ درصد از مساحت ایران در نواحی مرکزی و جنوبی، دارای پتانسیل بالایی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی است.

اسدی و همکاران (۲) به بررسی شناسایی مکان‌های مناسب احداث نیروگاه بادی در استان آذربایجان شرقی با روش فازی- سلسله مراتبی (FAHP) پرداختند. نتایج آنان نشان داد که ۲۶ درصد از مساحت منطقه دارای پتانسیلی بالا برای احداث نیروگاه‌های بادی هستند. همچنین از بین معیارهای به کار رفته در پژوهش، معیارهای اقلیمی و جغرافیایی دارای بیشترین اهمیت در ارزیابی بودند. از دیگر پژوهش‌های صورت گرفته با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی می‌توان به مطالعه چانگ و همکاران (۱۵) با استفاده از GIS و مدل تصمیم‌گیری چند معیاره Fuzzy-AHP در مکان‌یابی مناطق مناسب برای دفن زباله‌های شهری و کشاورز و همکاران (۱۱) در مکان‌یابی مناطق مناسب استحصال آب شرب در آبخوان بیرجند نام برد؛ بنابراین استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی می‌تواند برای پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد به دلیل انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی داده‌های مکانی در کنار سیستم اطلاعات جغرافیایی مناسب باشد.

هدف از این تحقیق مکان‌یابی مناطق مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی در استان فارس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی است.

روش تحقیق

منطقهٔ مورد مطالعه

استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین مدارهای ۲′ ۲۷° و ۴۲′ ۳۱° عرض شمالی و ۴۲′ ۵۰° و ۳۸′ ۵۵° طول شرقی قرار دارد. این استان از شمال با استان‌های اصفهان و یزد، از غرب با استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر، از جنوب با استان هرمزگان و از شرق با استان کرمان هم‌جوار است. استان فارس در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده است و دارای وسعتی بالغ بر ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع است. استان فارس بر اساس روش دومارتن، دارای دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. در این پژوهش از داده‌های ۱۸ ایستگاه هواشناسی استفاده گردید (شکل ۱).

شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

معیارهای اقلیمی

ساعات آفتابی مهم‌ترین پارامتر اقلیمی است که نشان‌دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید است. ساعات آفتابی مجموع ساعات ماهانه یا سالانه یک منطقه است. این پارامتر خود تحت تأثیر چند عامل مؤثر بر تابش است. یکی از این عوامل، مدت‌زمان تابش که خود معلول عرض جغرافیایی است که در پارامتر ساعات آفتابی به طور مستقیم اثرگذار است و دیگری میزان ابرناکی و غبار آلودگی شدید هوا که هر دو این عوامل با پارامتر ساعات آفتابی رابطه عکس دارند. برای تهیه لایه ساعات آفتابی از مجموع ساعات آفتابی سالانه ۱۸ ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه (شکل ۱) استفاده شد. متوسط واقعی ساعات آفتابی منطقه حدود ۳۳۵۳/۹ ساعت در سال است که عدد خوبی برای بهره‌برداری از انرژی خورشید است.

گرد و غبار از ترکیبات مهم جوی، بویژه در حوالی سطح زمین ترکیبات غیرگازی و جامدی است که هواویز نامیده می‌شود. هواویزها ۱۵ درصد انرژی موج کوتاه خورشید را جذب می‌کنند؛ بنابراین مناطقی حائز اهمیت‌اند که کمترین روزهای غبارآلودگی را در سال داشته باشند (۹). برای تهیه این لایه از تعداد روزهای گرد و غبار ایستگاه‌ها استفاده می‌شود.

رطوبت نسبی معمولاً وقتی از رطوبت نام برده می‌شود، منظور رطوبت نسبی است که عبارت است از نسبت مقدار بخار آب موجود در هوا به مقدار بخار آبی که اگر هوا در همان درجه حرارت می‌داشت به صورت اشباع بود. این نسبت همیشه به صورت درصد بیان می‌شود. رطوبت نسبی با تغییر درجه حرارت به طور معکوس کم و زیاد می‌شود (۹). بیشترین درصد رطوبت مربوط به ایستگاه تخت جمشید با ۴۹ درصد و کمترین آن با ۳۲ درصد مربوط به ایستگاه بوانات است. مناطق با رطوبت بالا به دلیل جذب انرژی موج کوتاه خورشید توسط بخار آب اتمسفر مستعد بهره‌برداری از انرژی خورشید نیستند. برای تهیه این لایه از میانگین رطوبت نسبی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌شود.

ارتفاع هرقدر ارتفاع مناطق از سطح دریا کمتر باشد، ضخامت جو بیشتر می‌گردد. جو ضخیم از غلظت بیشتر ترکیبات و عوامل جذبی یا انعکاسی حکایت دارد. از آنجایی که مواد درشت‌تر و غلیظ‌تر در طبقات پایین جمع می‌شوند، جو بالای کوه‌ها رقیق‌تر بوده و ضخامت جو هم کم‌تر است. ضخامت و ترکیبات جو علاوه بر ورود انرژی موج کوتاه خورشید، انرژی موج بلند زمین را نیز کنترل می‌کند (۷)؛ بنابراین مناطق مرتفع بدلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست می‌باشند.

بارندگی بارندگی را می‌توان مهم‌ترین عاملی دانست که به طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد. منظور از بارندگی کلیه نزولات جوی است که به سطح زمین وارد

می‌شود (۸)؛ بنابراین مناطق با بارش بالا در طول سال از یک طرف حکایت از بالا بودن رطوبت منطقه دارد که خود مهم‌ترین عامل جذب تابش موج کوتاه است و از طرف دیگر نشان‌دهنده وجود ذرات معلق بالا در اتمسفر آن نقطه است که هم در جذب و هم در انعکاس تابش موج کوتاه نقش دارد و هر دو این عوامل بیانگر بالا بودن شمار روزهای ابری در منطقه است. بارش باران اثرات نامطلوبی از جمله اشکالات فنی گرفته تا کثیف شدن سطح صفحات فتوولتاییک را سبب می‌شود اما مناطق با بارش بسیار کم به دلیل فقر پوشش گیاهی و هم زیادی غبار آلودگی آن مناطق مطلوب نیست (۵). متوسط بارش منطقه ۲۸۹/۴ میلی‌متر در سال می‌باشد که ایستگاه سپیدان با ۶۷۹/۳ میلی‌متر در سال بیشترین و ایستگاه آباده با ۱۳۴/۴ میلی‌متر کمترین بارش را دارا است. برای تهیه لایه بارش از مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد.

درجه حرارت منطقه یکی از اجزاء سیستم‌های فتوولتاییک، مبدل انرژی یعنی پنل خورشیدی است. برای اینکه این سیستم توان و انرژی موردنیاز را تأمین کند، بایستی به درستی طراحی شود. یکی از مواردی که در تعیین اندازه پنل مورد نیاز مؤثر است، بازده آن است. بازده پنل به دمای آن بستگی دارد و دمای پنل نیز ناشی از دمای محیط و شدت تابش خورشید است. همان طور که گفته شد توان خروجی پنل با تغییرات دمای سلول تغییر می‌کند، با توجه به روابط گفته شده در کتاب کزاک توان خروجی پنل با درجه حرارت رابطه عکس دارد. در این پژوهش از متوسط دمای سالانه ایستگاه‌های مورد نظر استفاده می‌شود.

جهت شیب جهت شیب نیز مانند سایر پارامترهای ذکر شده از عوامل مؤثر در انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه خورشیدی است، بدین گونه که هر چه دامنه به پهنه‌ای که برای ایجاد نیروگاه در نظر گرفته می‌شود آفتاب‌گیری بیشتری داشته باشد قاعدتاً مکان مناسب‌تر و ارجح‌تری است و از آنجایی که کشور ایران در نیمکره شمالی زمین واقع شده است، به ترتیب پهنه‌های رو به جنوب، شرق، غرب و شمال دارای اولویت می‌باشند.

تولید لایه‌های مورد نیاز در GIS

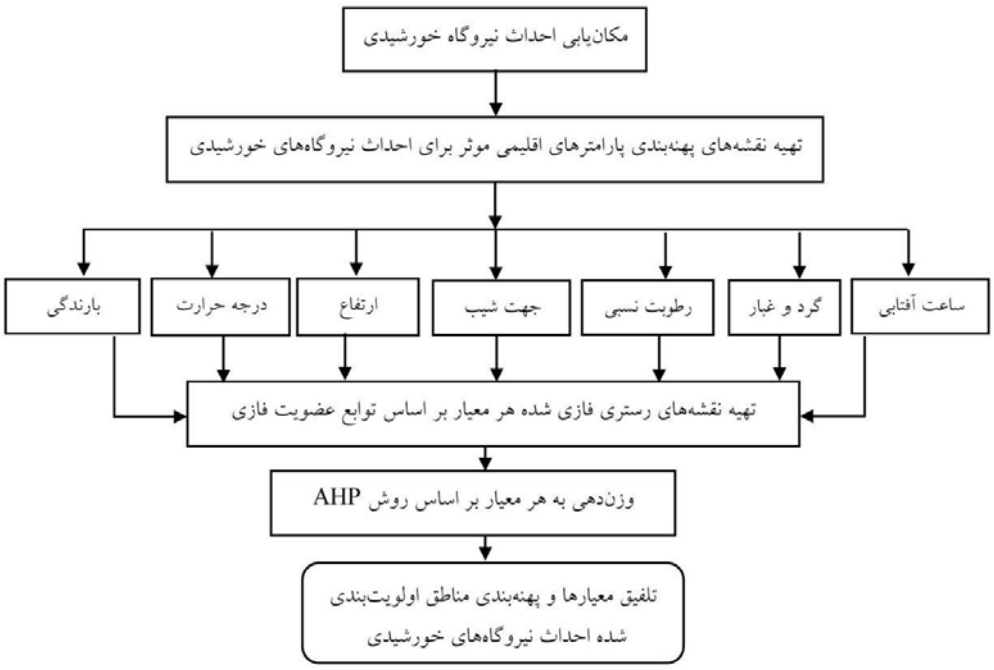
به منظور مکان‌یابی مناطق مستعد برای نیروگاه‌های خورشیدی ابتدا داده‌های مورد نیاز پارامترهای اقلیمی تهیه شوند. سپس از داده‌های جمع‌آوری شده به عنوان ورودی در محیط نرم‌افزار ArcGIS®10.1 برای تولید نقشه‌های پایه پارامترها استفاده می‌شوند. سپس لایه‌های میان‌یابی شده پارامترها تهیه می‌شود، برای این منظور باید از روش میان‌یابی مناسب برای پهنه‌بندی لایه معیارها استفاده کرد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy-AHP)

ایجاد لایه‌های فازی روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی اولین بار توسط توماس ساعتی معرفی شد (۲۳) و به سرعت به یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تبدیل گردید (۱۳). از آنجایی که در روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک، قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان به صورت اعداد قطعی نمایش داده می‌شود و این موضوع که اعداد قطعی نمی‌توانند عدم قطعیت همراه با ادراک انسانی را به درستی در نظر بگیرند (۱۶)، در این تحقیق، با توجه به شرایط فازی حاکم بر معیارهای مورد استفاده برای سنجش گزینه‌ها، از روش سلسله مراتبی فازی استفاده شده است. بایستی توجه داشت که منظور از شرایط فازی، وجود عدم قطعیت و دامنه تغییرات برای رتبه‌دهی به یک معیار است (۲۲). پس از پهنه‌بندی و تهیه لایه‌های رستری معیارها، این لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی، به لایه‌های فازی تبدیل شدند. برای این منظور از نرم‌افزار IDRISI استفاده می‌شود. چهار مجموعه توابع عضویت فازی در نرم‌افزار IDRISI ارائه شده است که شامل توابع سیگموئیدال (Sigmoid Function)، جی‌شکل (J-Shaped)، خطی (Linear) و تعریف شده توسط کاربر (User-defined) است. در صورتی که رابطه بین ارزش و عضویت فازی هیچ یک از توابع سیگموئیدال را دنبال نکند، تابع تعریف شده توسط کاربر قابل اجراتر است (۱۸). در این پژوهش از توابع سیگموئیدال به دلیل کاربرد معمول آن استفاده می‌شود. برای فازی کردن لایه‌های رستری معیارها توسط تابع سیگموئیدال ابتدا باید نوع معیار از نظر روند ارزش آن

(افزایشی، کاهشی، افزایشی- کاهشی) تعیین شوند که این امر با استفاده از تأثیر عینی که پارامترهای اقلیمی بر شدت و کیفیت تابش دارد، صورت می‌گیرد. با توجه به افزایشی، کاهش و یا افزایشی- کاهشی بودن هر یک از معیارها، تابع فازی مناسب برای فازی نمودن آن معیار انتخاب می‌شود (۱۹).

محاسبه وزن معیارها پس از فازی‌سازی لایه‌های معیارها، با جمع‌آوری نظرات کارشناسی، ارزش و اهمیت معیارها دو به دو نسبت به هم مشخص و ماتریس مقایسه زوجی معیارها تشکیل می‌شود. سپس لایه‌های فازی شده، در نرم‌افزار IDRISI توسط تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن‌دار شدند و وزن هر کدام از معیارها به دست آمد. یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است. وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر مقایسه می‌شود، احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد، بنابراین باید سنجه‌ای را یافت که میزان ناهماهنگی داوری‌ها را نمایان سازد (۲۰). سازوکارهایی که ساعتی برای بررسی سازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبهٔ ضریبی به نام ضریب ناسازگاری (Inconsistency Ratio) است. این معیار، باید از ۰/۱ کمتر باشد. استفاده از این ضریب به تجزیه و تحلیل تصمیم قبل از انتخاب نهایی مکان کمک می‌کند. در صورتی که معیار سازگاری از ۰/۱ بیشتر شود، نرم‌افزار کاربر را با اخطار ناسازگاری باخبر می‌سازد. به همین منظور ضریب ناسازگاری ساعتی که از تقسیم شاخص سازگاری به شاخص تصادفی بودن حاصل می‌شود، برآورد می‌شود. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است و در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (۱۷). در نهایت لایه‌های فازی ضمن تأثیر وزن‌هایشان با یکدیگر ترکیب شده و لایه اطلاعاتی نهایی استعداد منطقه حاصل می‌شود. وجه تمایز تحقیق حاضر، به کارگیری روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy-AHP) در مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه‌های خورشیدی، لحاظ نمودن کلیه فاکتورهای اقلیمی تأثیرگذار بر شدت و کیفیت تابش و تلفیق Fuzzy-AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. مراحل این پژوهش به صورت زیر است (شکل ۲).



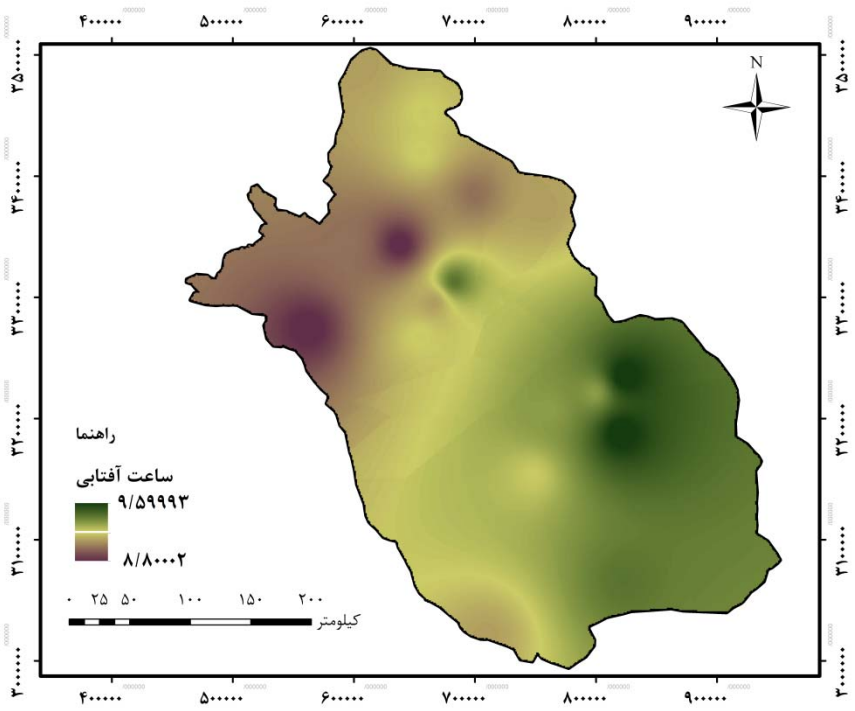
شکل ۲. فلوچارت مراحل مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

بحث و نتایج

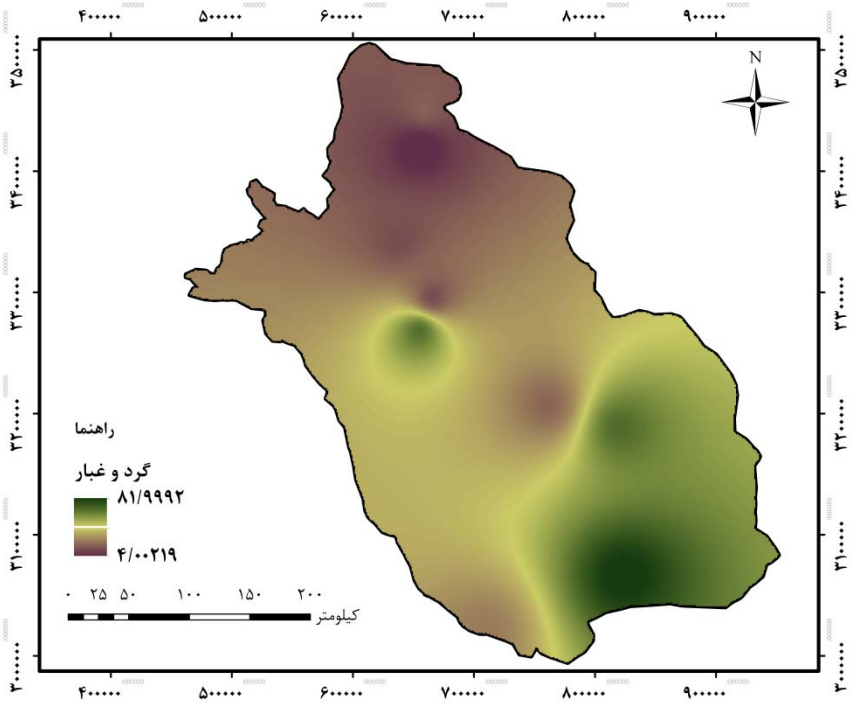
با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آمار، داده‌های نقطه‌ای معیارهای تصمیم‌گیری در سطح استان در محیط ArcGIS®10.1 مکان‌یابی شدند که مقدار (RMSe) به عنوان معیار ارزیابی روش‌های مختلف در پهنه‌بندی هر معیار مورد استفاده قرار گرفت و مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی انتخاب و معیارهای مورد نظر با استفاده از این روش میان‌یابی شدند. با توجه به مقادیر RMSe بدست آمده برای روش‌های موجود در محیط ArcGIS®10.1 برای هر معیار در مجموع، بهترین روش درون‌یابی، روش IDW انتخاب گردید. نتایج مقدار RMSe مربوط به روش‌های میان‌یابی مورد استفاده در جدول ۱ و لایه‌های درون‌یابی شده معیارها توسط روش IDW در شکل‌های ۳ تا ۹ نشان داده شده است.

جدول۱. مقدار RMSe بدست آمده برای گزینش بهترین روش میان‌یابی

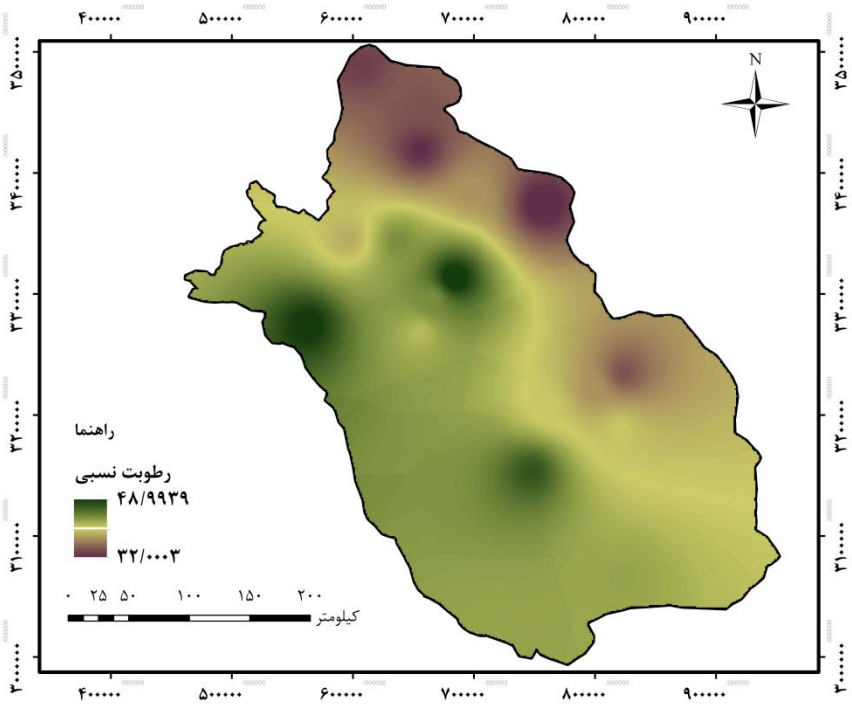
پارامتر	IDW	Kriging	LPI
ساعات آفتابی	۰/۰۱۱۳	۰/۱۷۶۲	۰/۱۲۵۷
گرد و غبار	۱۸/۷۷	۱۸/۶۴	۰/۲۰۹۸
رطوبت نسبی	۰	۰	۰/۰۰۱۵
جهت شیب	–	–	–
ارتفاع	۰	۱/۴۸۹	۰/۵۲
بارندگی	۵/۰۴۳	۸۳/۲۹	۴۷/۲۴
درجه حرارت	۰/۰۱۱۴	۰/۰۱	۰/۰۱



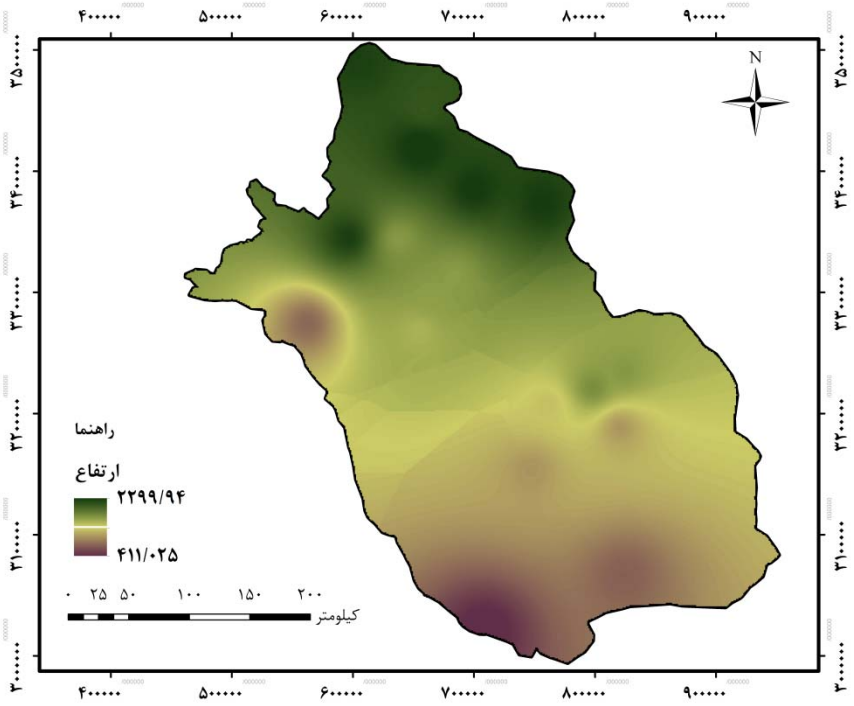
شکل۳. نقشه توزیع مکانی ساعت آفتابی



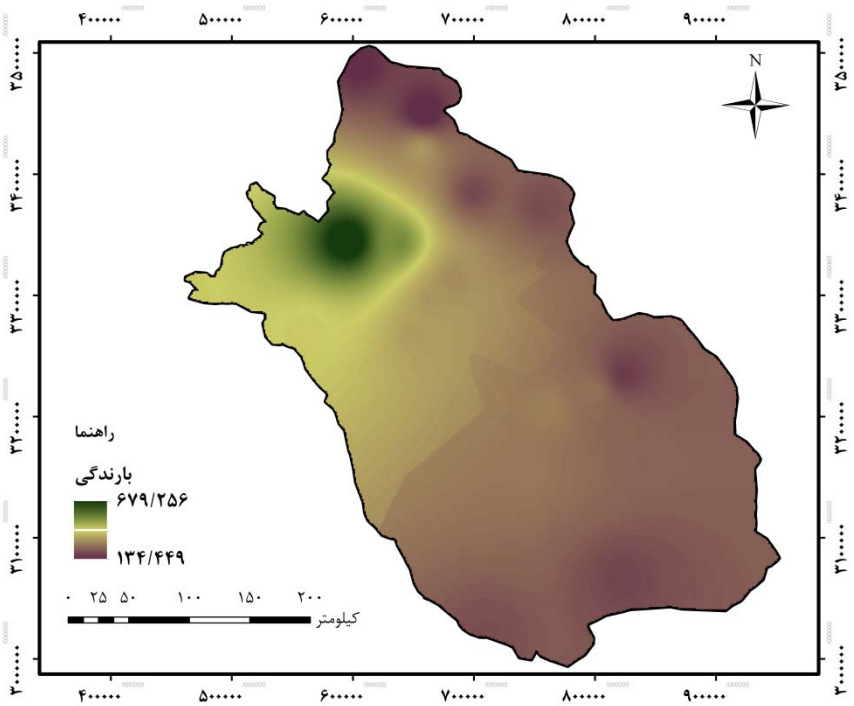
شکل۴. نقشه توزیع مکانی گرد و غبار



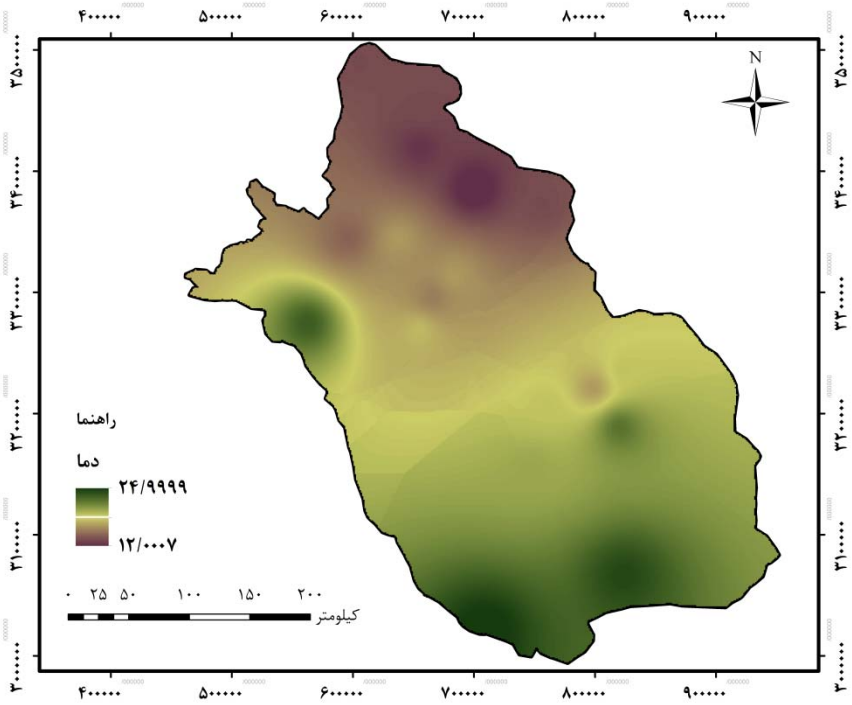
شکل۵. نقشه توزیع مکانی رطوبت نسبی



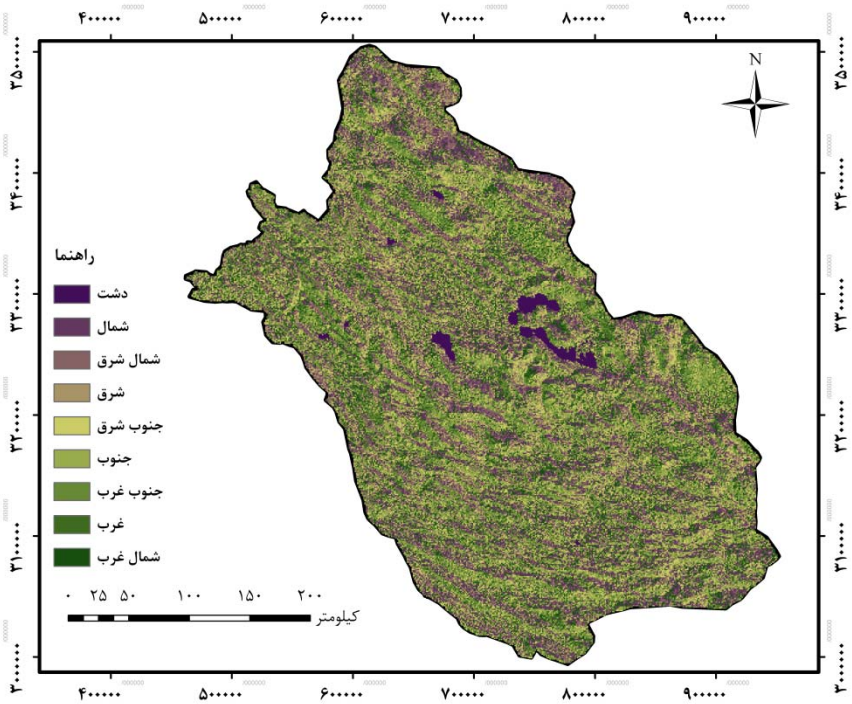
شکل۶. نقشه توزیع مکانی ارتفاع



شکل۷. نقشه توزیع مکانی بارندگی



شکل۸. نقشه توزیع مکانی دما



شکل۹. نقشه توزیع مکانی جهت شیب

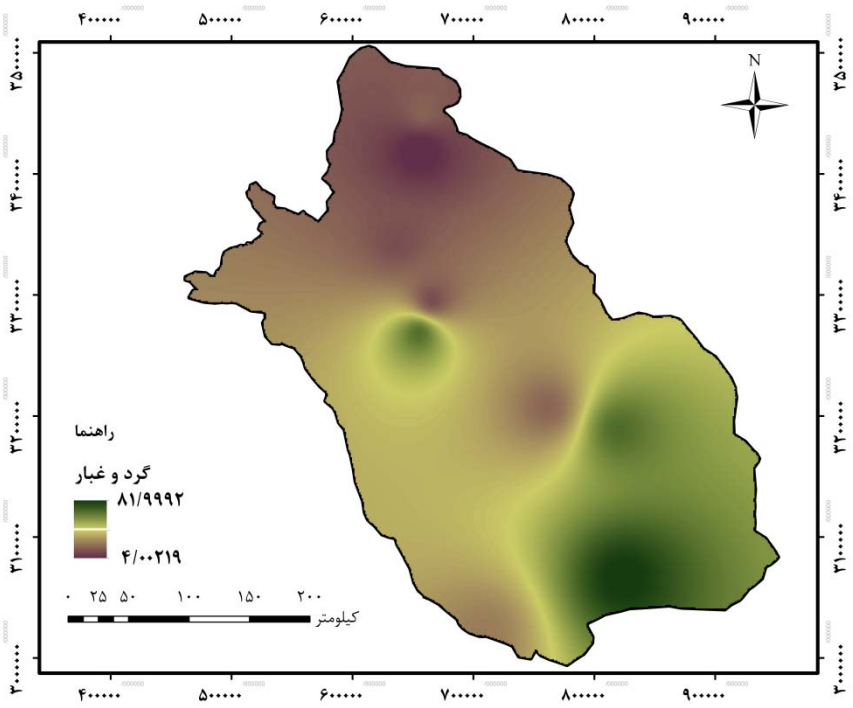
لایه‌های رستری میان‌یابی شده معیارها در محیط نرم‌افزار IDRISI با استفاده از تابع‌های عضویت فازی مناسب (توابع سیگموئیدال) فازی شدند. در واقع، معیارهای اقلیمی بر اساس تاثیر عینی معیارها بر کیفیت و کمیت تابش رسیده به پنل‌ها و همچنین نقاط کنترل آن‌ها با توجه به نظرات کارشناسان مختلف و تحقیقات پیشین، فازی سازی و استاندارد شدند (۱۲ و ۱۹).

تابع عضویت فازی و نقشه‌های فازی‌سازی شده مربوط به هر معیار در جدول ۲ و شکل‌های ۱۰ تا ۱۶ آمده است. لایه‌های نقشه‌ها با رویکرد فازی مربوط به معیارها استاندارد شدند. استانداردسازی لایه‌های معیارها در محدوده ۲۵۵-۰ صورت گرفت که صفر به عنوان کمینه و ۲۵۵ به عنوان بیشینه نرخ مناسب در هر معیار است. در این پژوهش هر چه مقدار ساعت آفتابی و ارتفاع بیشتر باشد، برای احداث نیروگاه خورشیدی بهتر است؛ بنابراین برای معیارهای ساعت آفتابی و ارتفاع تابع فازی افزایشی انتخاب شد. معیارهای گرد و غبار و رطوبت نسبی به دلیل اثر کاهشی دهندگی در تابش رسیده به پنل‌ها از تابع فازی کاهشی استفاده شد. درجه حرارت، جهت شیب و بارندگی به دلیل رفتار دوگانه در کارکرد پنل‌های خورشیدی از تابع فازی متقارن استفاده شد؛ به عبارت دیگر پنل‌های خورشیدی در یک محدوده دمایی (۱۶-۹ درجه سانتی‌گراد) دارای بیشترین راندمان هستند و در دماهای کمتر و بیشتر از آن راندمان آن کاهش می‌یابد (۲)؛ بنابراین برای دما از تابع فازی متقارن استفاده شد.

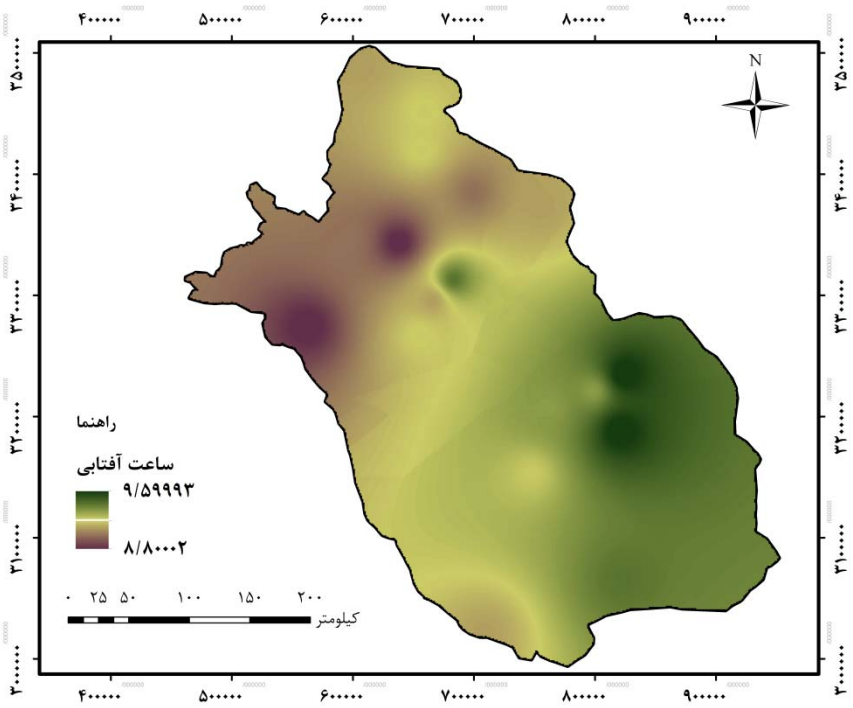
یکی دیگر از عوامل مؤثر در استانداردسازی نقشه‌های فازی، تعیین حد آستانه است که به آن‌ها نقاط کنترل می‌گویند. همچنین بارندگی تا محدوده خاص سبب کاهش گرد و غبار به دلیل افزایش رطوبت خاک و افزایش پوشش می‌شود و از یک آستانه بیشتر سبب افزایش آلوده شدن پنل‌ها و افزایش رطوبت هوا می‌شود (۴). بنابراین برای فازی‌سازی معیار بارندگی از تابع فازی متقارن استفاده شد.

جدول۲. توابع مناسب برای فازی کردن معیارها

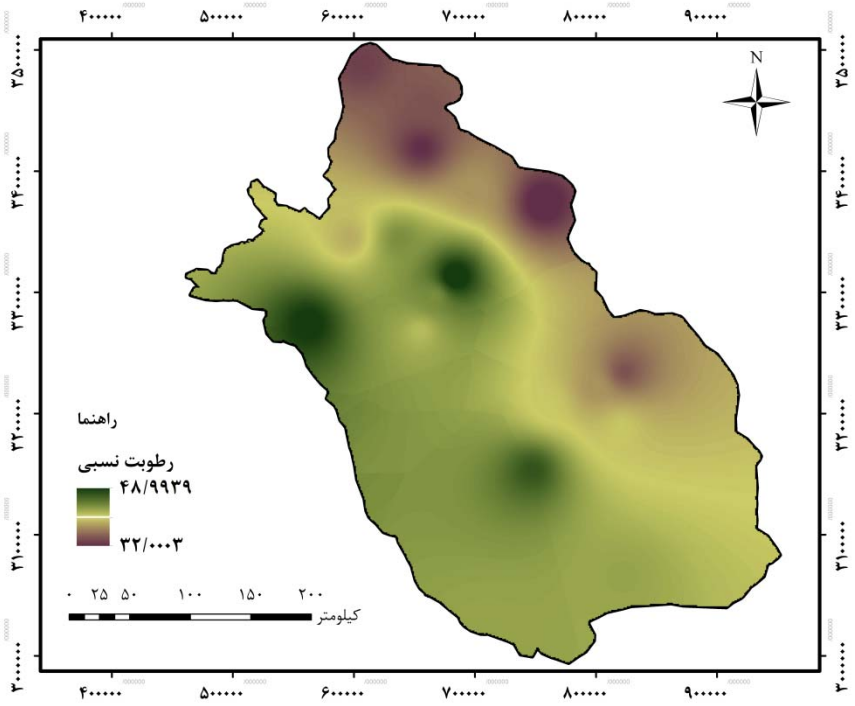
ردیف	پارامترها	نقاط کنترل		تابع عضویت فازی
		A یا C	B یا D	
۱	ساعت آفتابی (ساعت)	۰	۹/۵۹	یکنواخت افزایشی (Monotonically increasing)
۲	گرد و غبار (روز)	۰	۸۱/۹۹	یکنواخت کاهشی (Monotonically decreasing)
۳	رطوبت نسبی (درصد)	۰	۴۸/۹۹	یکنواخت کاهشی (Monotonically decreasing)
۴	ارتفاع (متر)	۰	۲۲۹۹/۹	یکنواخت افزایشی (Monotonically increasing)
۵	بارندگی (میلی‌متر)	۱۵۰	۶۷۹/۲۵	Symmetric (متقارن)
۶	درجه حرارت (درجه‌سانتیگراد)	۹	۱۶	Symmetric (متقارن)
۷	جهت شیب (درجه)	۵۰	۲۶۰	Symmetric (متقارن)



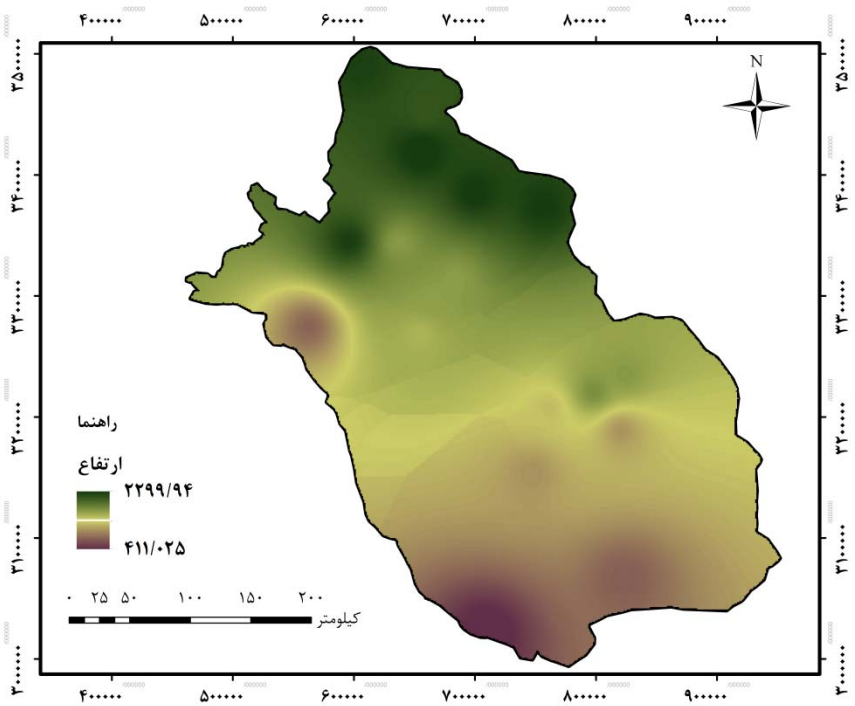
شکل ۱۰. نقشه فازی‌سازی شده معیار گرد و غبار



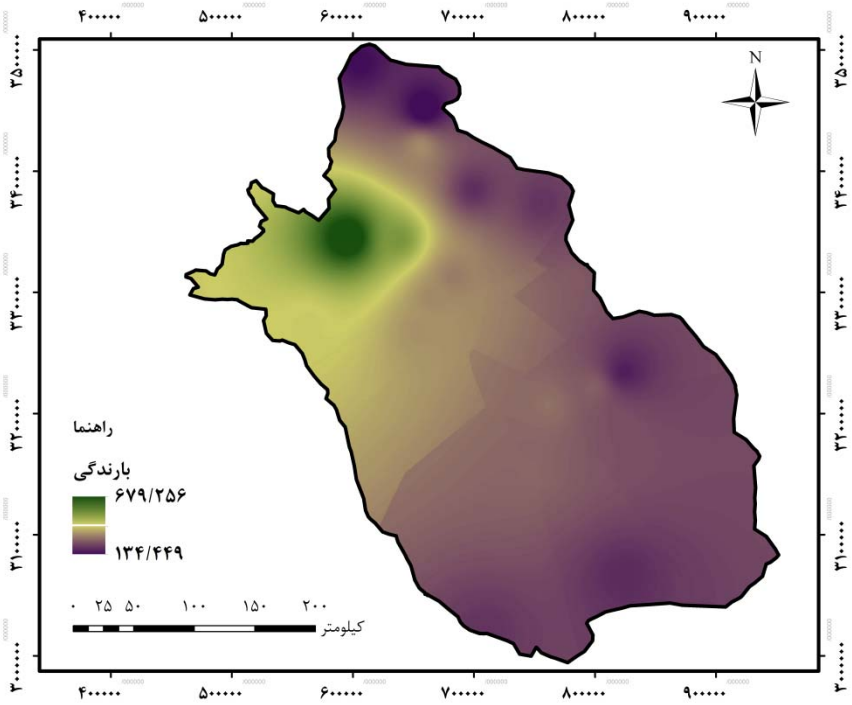
شکل ۱۱. نقشه فازی‌سازی شده معیار ساعت آفتابی



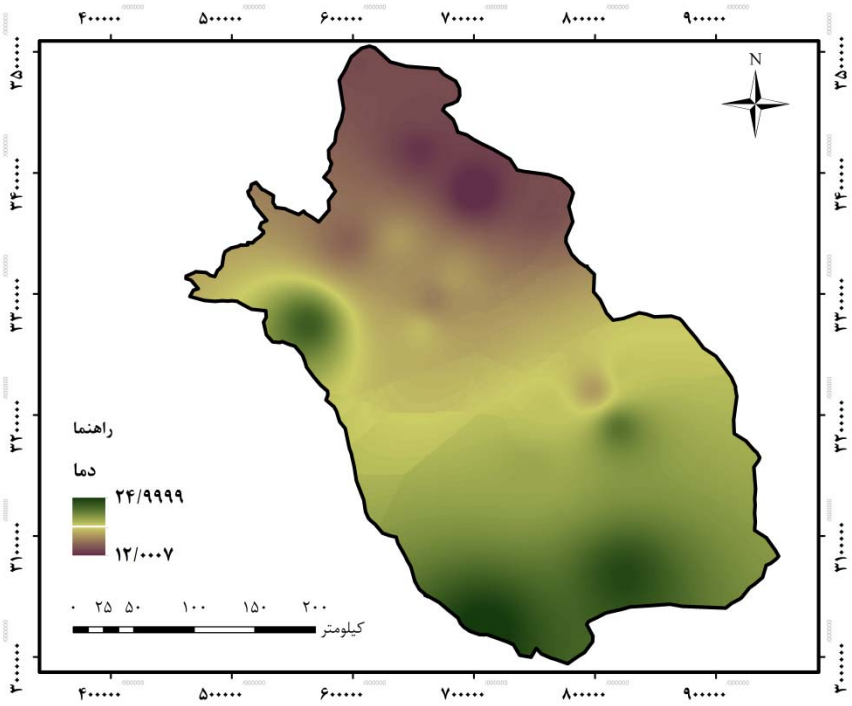
شکل۱۲. نقشه فازی‌سازی شده معیار رطوبت نسبی



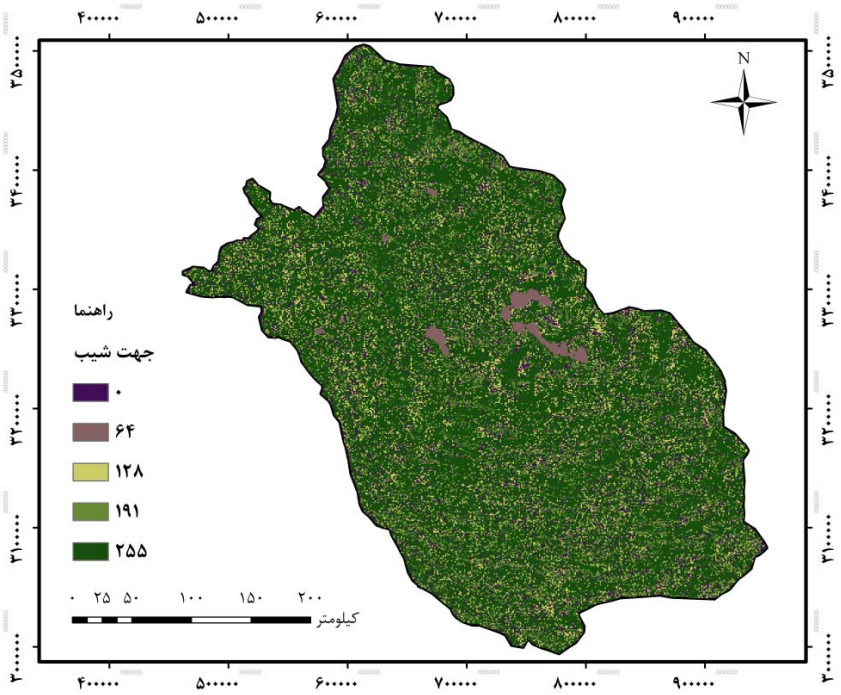
شکل۱۳. نقشه فازی‌سازی شده معیار ارتفاع



شکل۱۴. نقشه فازی‌سازی شده معیار بارندگی



شکل۱۵. نقشه فازی‌سازی شده معیار دما



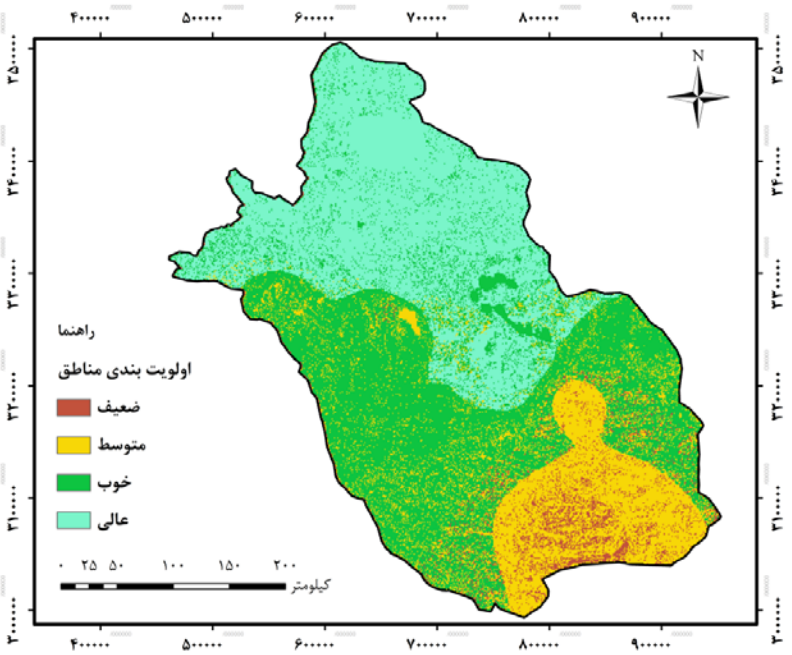
شکل۱۶. نقشه فازی‌سازی شده معیار جهت شیب

پس از فازی‌سازی لایه معیارها، با توجه به قضاوت‌های کارشناسی صورت گرفته، معیارها به صورت دودویی با هم مقایسه شدند و سپس وزن هر یک از معیارها بدست آمد (جدول ۳). بیشترین وزن بدست آمده معیارها، مربوط به معیار ساعت آفتابی (۰/۳۱۳۶) و کمترین وزن مربوط به معیار بارندگی (۰/۰۳۸۷) است و یا به عبارت دیگر معیار ساعت آفتابی و بارندگی به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را در مکان‌های مناسب برای نیروگاه خورشیدی دارد. نتایج به دست آمده از وزن معیارها برای پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی با نتایج اسفندیاری و همکاران (۳) و احمدی و همکاران (۱) در تعیین وزن معیارهای به کار رفته در مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه‌های خورشیدی هم‌خوانی دارد. در پژوهش‌های صورت گرفته نیز معیار ساعت آفتابی دارای بیشترین وزن نسبت به سایر معیارهای اقلیمی بودند. همچنین مقدار ضریب ناسازگاری بدست آمده برای وزن معیارهای تولید شده ۰/۰۷ بدست آمد که مقدار آن با توجه به دامنه ضریب ناسازگاری مورد قبول می‌باشد.

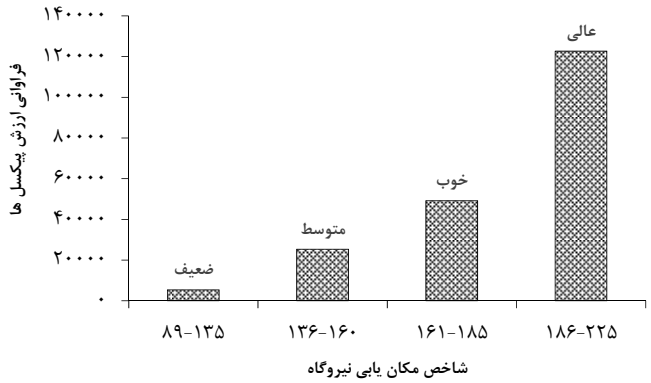
جدول۳. مقایسه زوجی معیارهای اقلیمی و وزن نهایی معیارها توسط روش سلسله مراتبی

	ساعت آفتابی	رطوبت نسبی	ارتفاع	درجه حرارت	گرد و غبار	باران	جهت شیب	وزن نهایی
ساعت آفتابی	۱							۰/۳۱۳۶
رطوبت نسبی	۱/۲	۱						۰/۱۵۰۵
ارتفاع	۱/۳	۱/۲	۱					۰/۱۰۹۶
درجه حرارت	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱				۰/۰۵۱
گرد و غبار	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۲	۱			۰/۱۹۹۲
باران	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱		۰/۰۳۸۷
جهت شیب	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۲	۲	۱	۰/۱۳۰۳
ضریب ناسازگاری								۰/۰۷

در نهایت با اعمال وزن‌های بدست آمده معیارها توسط روش Fuzzy-AHP، نقشه نهایی مکان‌های مستعد برای نیروگاه‌های خورشیدی در محیط نرم‌افزار IDRISI بدست آمد. برای اولویت‌بندی مناطق مناسب احداث نیروگاه‌های خورشیدی، نقشه نهایی بدست آمده را به چهار کلاس عالی، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم‌بندی می‌کنیم (شکل ۱۷). فراوانی تجمعی ارزش پیکسل‌های نشان می‌دهد که مناطقی که از نظر پارامترهای اقلیمی برای نیروگاه‌های خورشیدی در اولویت قرار دارند، حدود ۶۰ درصد از مساحت استان فارس را شامل می‌شود. همچنین با توجه به نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها (شکل ۱۸؛ جدول ۴)، فراوانی تجمعی پیکسل‌های با دامنه عالی نسبت به فراوانی تجمعی پیکسل‌های با دامنه ضعیف بیشتر است. این مناطق مستعد در شمال و شمال شرقی استان قرار داشته و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک سرد هستند که دارای میانگین بارندگی بین ۱۳۰ تا ۲۳۰ میلی‌متر و رطوبت نسبی ۳۳ درصد است. همچنین دامنه‌های جنوبی و شرقی، دارای کمترین روزهای گرد و غبار و از لحاظ ارتفاعی دارای بیشترین ارتفاع هستند. در مجموع ارزش معیارهای به کار رفته در پژوهش که بر میزان تابش دریافتی توسط پنل‌های خورشیدی مؤثر است، در این مناطق نسبت به سایر مناطق در استان مناسب‌تر است.



شکل۱۷. نقشه توزیع مکانی مناطق اولویت‌بندی شده احداث نیروگاه‌های خورشیدی



شکل۱۸. نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌های مربوط به نقشه ترکیبی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی

جدول۴. مشخصات نقشه مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی استان فارس

ردیف	کلاس	مساحت (km^2)	درصد
۱	عالی	۷۳۵۵۳	۰/۶۰
۲	خوب	۲۹۴۲۱	۰/۲۴
۳	متوسط	۱۶۴۲۶	۰/۱۳۴
۴	ضعیف	۳۱۸۷	۰/۰۲۶

نتایج بدست آمده در تعیین نواحی شمال و شمال شرقی استان فارس به عنوان بهترین مناطق برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی با نتایج فرجی‌سبکبار (۱۰) در تناسب‌سنجی اراضی به منظور احداث مزارع فتوولتائیک به کمک تلفیق سیستم‌های جمع سادهٔ وزنی و استنتاج فازی در ایران همخوانی دارد. در پژوهش صورت گرفته توسط فرجی‌سبکبار نیز مناطق شمال و شمال شرقی استان فارس نیز دارای پتانسیل بالای برای احداث نیروگاه خورشیدی بود. همچنین کم‌ترین استعداد برای نیروگاه خورشیدی مربوط به نواحی جنوبی استان است که دارای ارتفاع کمتر، رطوبت نسبی بیشتر و روزهای گرد و غبار بیشتر است. نتایج نشان داد که اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک سرد استان دارای پتانسیل بهتری برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی از نظر معیارهای اقلیمی می‌باشند. این نواحی شامل مناطقی است که، ایستگاه‌های آباده، اقلید، ایزدخواست، بوانات و صفاشهر در آن قرار دارند.

روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی (Fuzzy-AHP) با در نظر شرایط فازی و وجود عدم قطعیت برای وزن‌دهی به هر یک از معیارها نشان داد که برآورد دقیق‌تری دارد. همچنین شاخص ناسازگاری بدست آمده از روش Fuzzy-AHP می‌تواند در تعمیم دقیق‌تر وزن‌های اعمال شده بر هر معیار تحت تأثیر ارزیابی تصمیم‌گیرندگان از مزیت‌های این روش باشد که در این پژوهش ۰/۰۷ بدست آمد. در نتیجه مکان‌یابی صورت گرفته توسط روش Fuzzy-AHP تحت تأثیر قضاوت انسانی و کنترل عدم قطعیت وزن‌های بدست آمده از طریق شرایط فازی می‌تواند در شناسایی مناطق مستعد نسبت به روش‌های بدست آمده گذشته دقیق‌تر باشد. نتایج مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی نشان داد که نواحی واقع در شمال و شمال شرقی استان دارای بیشترین استعداد می‌باشند که مساحتی بالغ بر ۶۰ درصد کل مساحت استان را در بر می‌گیرد که شامل مناطق با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک سرد است.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ه.، ج. مرشدی و ف. عظیمی. ۱۳۹۵. مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و سامانه اطلاعات مکانی (مطالعه موردی: استان ایلام). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۱): ۴۱-۵۷.

۲. اسدی، م. و س. جهانبخش اصل. ۱۳۹۴. شناسایی مکان‌های مناسب احداث نیروگاه بادی در استان آذربایجان شرقی با روش فازی- سلسله مراتبی (FAHP). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۴): ۹۵-۱۰۹.

۳. اسفندیاری، ع.، ک. رنگزن، ع. صابری و م. فتاحی‌مقدم. ۱۳۹۰. پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS. همایش ملی ژئوماتیک. تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور. ۲۵ الی ۲۹ اردیبهشت ماه.

۴. خاشعی سیوکی، ع.، ب. قهرمان و م. کوچک‌زاده. ۱۳۹۰. ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مثال موردی: دشت نیشابور). مجله پژوهش آب ایران، ۵(۹): ۱۷۱-۱۸۰.

۵. خوش‌اخلاق، ف.، غ. ر. روشن و ر. برنا. ۱۳۸۷ . مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۱۷(۶۷): ۷۵-۸۰.

۶. طباطبایی، ط. و ف. امیری. ۱۳۹۴. مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی بر اساس ارزیابی چندمعیاره مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: استان بوشهر). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱): ۱-۱۶.

۷. علیجانی، ب. و م. ر. کاویانی. ۱۳۸۳. مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت، ۲۸۲ صفحه.

۸. علیزاده، ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ۶۲۰ صفحه.

۹. علیزاده، ا.، غ. ع. کمالی، ف. موسوی و م. موسوی‌بایگی. ۱۳۷۹. هوا و اقلیم‌شناسی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۸۹ صفحه.

۱۰. فرجی‌سبکبار، ح. ع.، ه. پاک‌طینت مهدی‌آبادی، ا. رحیمی‌کیان و غ. عشورنژاد. ۱۳۹۲. تناسب‌سنجی اراضی به منظور احداث مزارع فتوولتائیک به کمک تلفیق سیستم‌های جمع سادهٔ وزنی و استنتاج فازی در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۵(۴): ۴۵-۶۰.

۱۱. کشاورز، ا.، ع. خاشعی‌سیوکی و م. ح. نجفی. ۱۳۹۳. مکان‌یابی مناسب استحصال آب شرب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند). نشریه آب و فاضلاب، ۲۵(۳): ۱۳۵-۱۴۲.

12. Bennui A, Rattanamanee P, Puetpaiboon U, Phukpattaranont P, Chetpattananondh K. 2007. Site selection for large wind turbine using GIS. In: PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment - ICEE-2007, Phuket May 10-11, 2007 Prince of Songkla University, Faculty of Engineering Hat Yai, Songkhla, Thailand 90112.
13. Buckley JJ. 1985. Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy Sets and Systems, 17(3): 233-247.
14. Büyüközkan G, Kahraman C, Ruan D. 2004. A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection. International Journal of General Systems, 33(2-3): 259-280.
15. Chang N-B, Parvathinathan G, Breeden JB. 2008. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. Journal of Environmental Management, 87(1): 139-153.
16. Chen SJ, Hwang CL. 1992. Fuzzy Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications. Springer, Berlin. 540 pp.
17. Dey PK, Ramcharan EK. 2008. Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados. Journal of Environmental Management, 88(4): 1384-1395.
18. Eastman JR. 2003. IDRISI for Windows Users Guide Version Kilimanjaro. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, 328 pp.
19. Gilbert M. 2004. Renewable and Efficient Electric PowerSystems. Stanford University, A John Wiley & Sons, Interscience, 676 pp.
20. Kahraman C. 2008. Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments, Springer US. 590 pp.
21. Saaty TL. 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation (Decision Making Series), Mcgraw-Hill. 287 pp.
22. Saaty TL. 1994. Highlights and critical points in the theory and application of the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 74(3): 426-447.
23. Sánchez-Lozano JM, Teruel-Solano J, Soto-Elvira PL, García-Cascales MS. 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(1): 544-556.
24. Solangi K, Islam M, Saidur R, Rahim N, Fayaz H. 2011. A review on global solar energy policy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(4): 2149-2163.
25. Yue C-D, Wang S-S. 2006. GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan. Energy Policy, 34(6): 730-742.
26. Yun-na W, Yi-sheng Y, Tian-tian F, Li-na K, Wei L, Luo-jie F. 2013. Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on Ideal Matter-Element Model. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 50(1): 76-84.
27. Zohoori M. 2012. Exploiting Renewable Energy Sources in Iran. Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business, 4(1): 849-862.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 8/ Issue 1) spring 2017
Indexed by ISC, SID, Magiran and Noormags
http://girs.iaubushehr.ac.ir

Site selection suitable areas for solar power plants under the influence of climatic factors using FAHP method (Case study: Fars province)

M. Gorji [1*], S. Khoshnod [2], H. Omrani [3], M. Hashemi [4]

1. MSc. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2. PhD. Student of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
3. MSc. of Remote Sensing and Geographical Information System, University of Tabriz
4. MSc. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

ARTICLE INFO

Article history:
Received 7 June 2016
Accepted 8 February 2017
Available online 31 May 2017

Keywords:
Solar power plant
Climatic parameters
Site selection
Fuzzy-AHP
Fars province

ABSTRACT

Renewable resources which are good alternatives to non-renewable fossil fuels have caused communities to take an interest in energy sources such as solar energy. The purpose of this study is site selection suitable areas for the construction of solar power plants in Fars province based on meteorological and climatic parameters. In this research precipitation, temperature, relative humidity, sunshine hours, elevation, dust, aspect slope parameters was used. According to the importance and role of these factors, the statistics of parameters were analyzed and each criterion map was prepared in GIS software. All layers the IDRISI software was fuzzy. Finally, the location map of suitable areas was produced based on obtaining weights the method Fuzzy-AHP and results in four classes (excellent, good, medium and poor) were classified. The results of site selection solar power plants showed that the north and northeast parts of the province have more potential with an area more than 60% of the total area of the province while the southern parts of the province with an area totaling almost 0.026% of the whole area of the province have the least potential. The most area of the province in terms of potentiality for solar power plant is in an excellent category. In addition, climatic results indicated that the potential regions for constructing solar power plants are those with a dry and semi-arid climate where stations like Abadeh, Izadkhast, Bavanat, and Safashahr are located.

* Corresponding author e-mail address: m.gorji67@gmail.com