

جغرافیا و توسعه شماره ۴۹ زمستان ۱۳۹۶

وصول مقاله : ۱۳۹۵/۰۹/۲۹

تأیید نهایی : ۱۳۹۶/۰۱/۱۹

صفحات : ۲۳-۳۶

پتانسیل سنجی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل AHP و منطق فازی

دکتر محمد رحیمی^{۱*}، فاطمه پازند^۲، دکتر علی اصغر عبداللهی^۳

چکیده

انرژی خورشیدی از جمله انرژی‌های پاک و تجدیدپذیری است که در همه جای جهان قابل بهره‌برداری است. این انرژی به لحاظ قدرت بازدهی و اقتصادی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. بسیاری از نقاط ایران برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و تولید انرژی پاک دارای پتانسیل است. با توجه به اینکه محل قرار گرفتن نیروگاه خورشیدی تأثیر بسزایی در میزان تولید و بازدهی آن دارد، تعیین مناطق مناسب برای احداث آن نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. در این مقاله پتانسیل شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان به منظور احداث نیروگاه خورشیدی مورد سنجش قرار گرفته است. معیارهای اصلی این پتانسیل‌سنجی شامل ساعت‌های آفتابی، درجه حرارت منطقه، ابرناکی، بارندگی، گرد و غبار و ارتفاع است. پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی است. جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات، با روش درون‌یابی (IDW) و فازی سازی لایه‌ها با استفاده از فرمول نویسی منطق فازی در محیط GIS صورت گرفته است. همچنین برای تعیین میزان اهمیت متغیرها، از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. با تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده فازی، نقشه مناطق هم‌پتانسیل برای احداث نیروگاه خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان به دست آمد که در نهایت نتایج نشان می‌دهد، شهرهای سراوان و نیک شهر برای احداث نیروگاه خورشیدی کاملاً مناسب، خاش و قسمت‌هایی از شهرستان ایرانشهر به‌عنوان مناطق مناسب و نسبتاً مناسب؛ زابل، زاهدان، چابهار، کنارک و قسمتی از شهرستان ایرانشهر نسبتاً نامناسب و کاملاً نامناسب هستند.

کلیدواژه‌ها: پتانسیل سنجی، نیروگاه خورشیدی، منطق فازی، AHP، استان سیستان و بلوچستان.

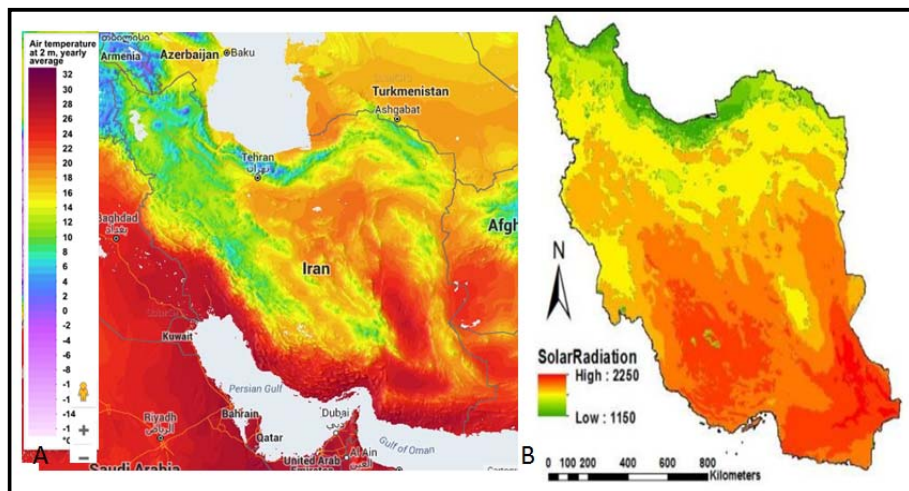
مقدمه

انرژی یک عنصر کلیدی مورد نیاز برای توسعه پایدار و رفاه جامعه است (Amer et al, 2011: 421). امروزه بیش از ۸۰ درصد از تقاضای جهانی برای انرژی‌های اولیه سوخت‌های فسیلی (زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی) است. در جهان از منابع اصلی کل انرژی، مصرف مشتقات نفت خام ۳۱ درصد، زغال سنگ با ۲۸ درصد و گاز طبیعی با ۲۲٪ است. با این حال، ذخایر نفت جهانی به‌طور یکنواخت توزیع نشده و این عدم تعادل به ناچار در آینده به درگیری‌های سیاسی و اقتصادی منجر خواهد شد (Kaiser, 2013: 490). پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی در ۲۵ سال آینده انرژی ۴۹٪ افزایش یابد. همچنین انتظار می‌رود مصرف جهانی نفت از ۸۶ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۰۷، به ۱۰۴ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۳۰ رشد کند (Brink & Marx, 2013: 68). استفاده از سوخت‌های فسیلی تأثیر فوق‌العاده‌ای بر اقتصاد جهان، محیط زیست و آب و هوای جهانی دارد. از طرفی در سال‌های اخیر، قیمت نفت و دیگر سوخت‌های فسیلی به سرعت در افزایش است و بسیاری از کشورهای جهان سیاست‌های جدید و چالش بزرگی برای کاهش هزینه‌های انرژی و تأثیر آلودگی حاصل از آن را توسعه داده‌اند (Traube et al, 2013: 3059). کاهش سوخت‌های فسیلی و افزایش آگاهی در مورد آلودگی محیط زیست باعث شده تا دولت‌ها در قرن ۲۱ به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر روی آورند (Lee AHI et al, 2012, 1273). منابع انرژی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: سوخت‌های فسیلی، منابع تجدیدپذیر و منابع هسته‌ای. منابع انرژی تجدیدپذیر منابعی هستند که می‌توانند مورد استفاده برای تولید انرژی پی در پی قرار بگیرند؛ به عنوان مثال انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زیست توده، انرژی زمین گرمایی و... (Panwar et al, 2011: 1514). منابع

انرژی تجدیدپذیر، منابعی پاک و تأثیرات زیست محیطی بسیار پایین‌تری نسبت به سایر منابع انرژی دارند. سایر منابع انرژی محدود هستند و روزی به اتمام می‌رسند، در صورتی که منابع انرژی تجدیدپذیر نه پایانی دارند و نه محدودیتی و علاوه بر این رایگان و هدیه طبیعت هستند (Urmee et al, 2009: 354). برق خورشیدی به عنوان یکی از منابع تجدیدپذیر و جدید در جهان، به سرعت رو به رشد است. برق خورشیدی مزایای متعددی نسبت به اشکال دیگر انرژی دارد؛ از قبیل مزایای زیست‌محیطی، مشوق‌های دولتی، مکان انعطاف‌پذیر و ماژولار (Mevlut, 2013: 11). انرژی خورشیدی به دلیل عدم تولید CO₂ و سایر مواد زائد موجب حفظ منابع طبیعی و احیای اراضی، کاهش خطوط انتقال نیرو، افزایش استقلال منطقه‌ای در تأمین انرژی و افزایش سرعت برق‌دهی به مناطق شده و از هزینه کمتری برخوردار می‌باشد (Zohoori, 2012: 851).

محل نیروگاه‌های خورشیدی، به علت پرهزینه بودن عملیات نصب، بهره‌برداری و نگهداری، یکی از فاکتورهای تأثیرگذار در میزان راندمان کاری آنهاست (Bahrami et al, 2013: 202; Gastli et al, 2010: 792). بررسی اولویت مناطق به لحاظ شرایط محیطی، هواشناسی و... مورد توجه قرار می‌گیرد (Yun-na, 2013: 76).

کشور ایران با توجه به پتانسیل تابشی و همچنین درجه حرارت دما در اکثر مناطق، دارای پتانسیل بهره‌برداری از انرژی پاک خورشیدی در جهت رسیدن به اهداف توسعه پایدار است. استان سیستان و بلوچستان از استان‌های پهناور ایران محسوب می‌شود. هدف از این پژوهش، پتانسیل سنجی استان سیستان و بلوچستان به لحاظ اقلیمی به منظور یافتن منطقه یا مناطق مستعد و دارای پتانسیل بالا برای احداث نیروگاه خورشیدی است.



شکل ۱: (A) درجه حرارت؛ (B) پتانسیل تابشی در ایران

تهیه و ترسیم: هوشنگی و همکاران، ۱۳۹۳

پیشینه تحقیق

در زمینه پتانسیل‌سنجی برای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی، مطالعات بسیاری صورت گرفته است؛ از قبیل:

خوش‌اخلاق و همکاران در پژوهشی با عنوان "مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی" (۱۳۸۷)، با پارامترهای تابش، ابرناکی و باد در جهت امکان‌سنجی استقرار نیروگاه خورشیدی در مناطق خشک ایران اقدام شده است.

معینی و همکاران در پژوهشی با عنوان "برآورد تابش خورشیدی در شهر یزد" (۱۳۸۹)، در این پژوهش عوامل متعددی در پهنه‌بندی و برآورد انرژی خورشیدی مؤثر معرفی شدند؛ از قبیل ساعت‌های آفتابی، عرض جغرافیایی، دما، ارتفاع، ضریب گذردهی جو و رطوبت نسبی.

موسوی‌بایگی و همکاران در پژوهشی با عنوان "شناسایی مناطق با کمترین میزان ابرناکی به منظور پهنه‌بندی نواحی پرتابش کشور" (۱۳۹۰) پارامترهای فشار سطحی هوا، میزان ابرناکی و دمای خاک در جهت پهنه‌بندی و برآورد انرژی خورشیدی انتخاب شده‌اند.

اسفندیاری و همکاران در پژوهشی با عنوان "پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS" (۱۳۹۰)، در جهت یافتن مناطق مستعد برای احداث نیروگاه خورشیدی در استان خوزستان از پارامترهای ساعت‌های آفتابی و پارامترهای مؤثر بر آن شامل ابرناکی، روزهای گرد و خاک، رطوبت نسبی، ارتفاع و بارش سالانه در محیط GIS استفاده کرد. صادقی و همکاران در پژوهشی با عنوان "اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی بادی) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره" (۱۳۹۲)، به بررسی عوامل مؤثر بر انرژی خورشیدی و بادی پرداخته‌اند و با استفاده از GIS و تکنیک‌های MADM مناسب‌ترین مکان‌ها در استان کرمان را در جهت احداث نیروگاه بادی و خورشیدی تعیین کردند. در این تحقیق از پارامترهای ساعت‌های آفتابی، گرد و غبار، ارتفاع و درجه حرارت منطقه استفاده شده است.

صاف‌تر باشد، این انرژی بیشتر و هر چه ابرناکی بیشتر باشد، این وضعیت وارونه می‌شود (خوش/خلاق و همکاران، ۱۳۸۷: ۷۶).

۴- بارندگی: 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. 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 را از اشکالات فنی گرفته که 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 نمی‌باشند (سفندیاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۵).

۵- گرد و غبار: از ترکیبات مهم جو، به‌ویژه در حوالی سطح زمین، ترکیبات غیرگازی و جامدی است که هواویز نامیده می‌شود. هواویزها ۱۵ درصد از انرژی موج کوتاه خورشید را جذب می‌کنند؛ بنابراین، مناطقی حائز اهمیت‌اند که کمترین روزهای غبار آلودگی را در سال داشته باشند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۱).

۶- ارتفاع: هر قدر ارتفاع منطقه‌ای از سطح دریا کمتر باشد، ضخامت جو بیشتر می‌شود. 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. پس هر قدر ارتفاع منطقه بیشتر باشد، ترکیبات جو رقیق‌تر و ضخامت جو کمتر است. ضخامت و ترکیبات جو علاوه بر ورود انرژی موج کوتاه خورشید، انرژی موج بلند زمین را هم کنترل می‌کنند (علیچانی، ۱۳۸۳: ۲۰)؛ بنابراین مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد، دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست می‌باشند.

هوشنگی و همکاران در پژوهشی با عنوان "بررسی منطقه‌ای پتانسیل تابش خورشیدی با ارزیابی و بهینه‌سازی روش‌های درون‌یابی در سطح کشور ایران" (۱۳۹۳)، پارمترهای مدل ارتفاعی و دما را برای پهنه‌بندی پتانسیل انرژی خورشیدی در کشور ایران انتخاب کرده‌اند. پرپینا کاستلو و همکاران در پژوهشی با عنوان "ارزیابی پتانسیل منطقه‌ای برای تولید انرژی خورشیدی در اتحادیه اروپا"، (۲۰۱۵)، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و پارامترهای تابش خورشیدی، شیب، کاربری اراضی، توزیع جمعیت مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی را شناسایی کرده است (Perpina Castillo, 2015).

مبانی نظری

معیارهای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی

با توجه به نمونه‌های مطرح شده در زمینه پتانسیل‌سنجی و مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی و همچنین اهمیت بازدهی بیشتر این نیروگاه‌ها و وابسته بودن بازدهی به دما و ساعات آفتابی و انرژی تابشی دریافتی زمین، در این تحقیق جهت فرایند پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در سطح استان سیستان و بلوچستان از پارامترهای ساعات آفتابی، درجه حرارت، ابرناکی، بارندگی، گرد و غبار و ارتفاع استفاده شده است.

۱- ساعات‌های آفتابی: مهمترین پارامتر اقلیمی است که نشان‌دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید است.

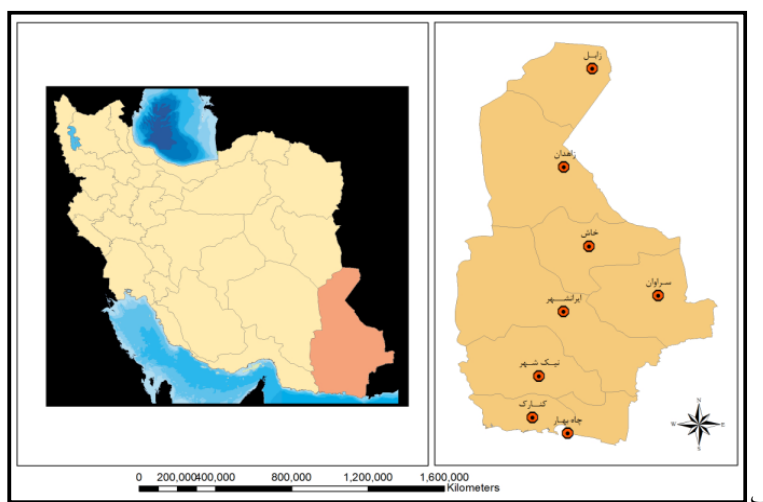
۲- درجه حرارت منطقه: با توجه به اینکه بازده پنل‌های خورشیدی به دمای محیط و شدت تابش خورشید بستگی دارد، این پارامتر نیز در تعیین مکان‌های مستعد مهم است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۱-۱۰۰).

۳- ابرناکی: ابرناکی رابطه بسیار نزدیکی با مقدار انرژی تابشی دریافتی دارد. به طوری که هر چه سطح آسمان

هوای بیابانی و ناحیه زاهدان در مرز بین اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی قرار گرفته است. مناطق سراوان، خاش، چابهار، آب و هوای نیمه بیابانی و ناحیه کوهستانی بم پشت در جنوب سراوان و امتداد آن به طرف مشرق تا کوه‌های بشاگرد، آب و هوای نیمه‌بیابانی معتدل دارند. اقلیم مشرق ارتفاعات و فلات‌های مرتفع و کم وسعت میان آن، نیمه‌بیابانی با زمستان‌های سرد است. در تابستان حداکثر حرارت شهرستان‌های ایرانشهر و زابل به ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. حداقل درجه حرارت زمستان در زاهدان و خاش معمولاً ۸- تا ۷- درجه سانتی‌گراد زیر صفر و هر چند سال یکبار تا ۱۸- درجه سانتی‌گراد نیز نزول می‌کند. زاهدان سردترین و ایرانشهر گرم‌ترین شهرهای استان است.

منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی، دومین استان پهناور کشور بعد از کرمان است که در جنوب شرقی ایران قرار دارد که وسعت آن ۱۸۷۰۵۲ کیلومتر مربع بوده و متجاوز از ۴/۱۱ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. جمعیت این استان بر اساس سرشماری رسمی سال ۱۳۹۰، ۲۵۳۴۳۲۷ نفر می‌باشد. استان سیستان و بلوچستان از لحاظ طبقه‌بندی اقلیمی در ناحیه اقلیمی بیابانی و خشک است. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان گفت مناطق ایرانشهر، زابل و باهوکلان، آب و



شکل ۲: موقعیت استان سیستان و بلوچستان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

کلیماتولوژی منطقه و ایستگاه‌های مجاور است. در جدول شماره ۱ اطلاعات هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های استان سیستان و بلوچستان قابل مشاهده است. این تحقیق به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات از تکنیک فازی‌سازی لایه‌ها و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تهیه نقشه پارامترهای اقلیمی در محیط GIS استفاده شده است. به این ترتیب که میزان

روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر از لحاظ هدف از نوع کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی است. داده‌های مورد استفاده در این بخش از نوع کمی می‌باشد که شامل نقشه توپوگرافی رقومی شده به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ از منطقه مورد مطالعه و آمار ماهانه و سالانه پارامترهای اقلیمی از ایستگاه سینوپتیک و

در اکستنشن Fuzzy overlay، نقشه مناطق هم‌پتانسیل که نشان‌دهنده مناطق دارای پتانسیل بالا برای احداث نیروگاه خورشیدی است، به دست آمد.

اهمیت متغیرها با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی AHP سنجیده شده و در لایه‌های فازی، وزن هر لایه تأثیر داده شد. سپس با تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده فازی با استفاده از دستور FuzzySum

جدول ۱: اطلاعات اقلیمی مربوط به ایستگاه‌های استان سیستان و بلوچستان^۱

ارتفاع	میانگین					طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه
	بارندگی	ابرنیکی	روزهای غبار آلود	درجه حرارت	ساعات آفتابی			
۱۳۷۰	۸۹,۳	۲۶,۷	۷۶,۳	۲۶,۸	۳۲۷۳,۱	۶۰ ۵۳ E	۲۹۲۸N	زاهدان
۴۸۹,۲	۵۷,۷	۱۹,۷	۱۶۷,۴	۲۹,۷	۳۱۷۴,۴	۶۱ ۲۹ E	۳۱۲ N	زابل
۵۹۱,۱	۱۱۱,۹	۱۷,۸	۶۷,۹	۳۴,۳	۳۳۰۱,۳	۶۰ ۴۲ E	۲۷ ۱۲ N	ایرانشهر
۵۱۰	۲۱۸,۸	۱۰,۴	۲۴	۳۴,۸	۳۴۹۳,۲	۶۰ ۱۲ E	۲۶ ۱۴ N	نیک‌شهر
۱۳۹۴	۱۵۱	۱۹,۴	۷۲,۴	۲۷,۶	۳۴۱۱,۲	۶۱ ۱۲ E	۲۸ ۱۳ N	خاش
۱۱۹۵	۱۰۷,۴	۱۲,۳	۵۸,۹	۲۹,۷	۳۴۲۰,۱	۲۶ ۲۰ E	۲۷ ۲۰ N	سراوان
۸	۱۱۸	۱۳,۹	۳۴,۲	۳۰	۳۱۲۰,۶	۶۰ ۳۷ E	۲۵ ۱۷ N	چابهار
۱۲	۹۷,۱	۱۲,۷	۱۶۱,۸	۳۲,۷	۳۱۳۷,۵	۶۰ ۲۲ E	۲۵ ۲۶ N	کنارک

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۵

فازی‌سازی لایه‌ها

در منطق فازی، میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه با مقداری در بازه یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می‌شود. درجه عضویت معمولاً با یک تابع عضویت بیان می‌شود که شکل تابع می‌تواند به صورت خطی، غیرخطی، پیوسته و یا ناپیوسته باشد (Bonham-Carter, 1991: 271). توابع خطی شامل توابع خطی افزایشی و خطی کاهشی است. در فازی‌سازی لایه‌ها با استفاده از مدل افزایشی خطی و مدل کاهشی خطی دو ارزش آستانه مینیمم (Tmin) و آستانه ماکسیمم (Tmax) در نظر گرفته شد و X ارزش هر پیکسل و ΔT میانگین آستانه مینیمم (Tmin) و آستانه ماکسیمم (Tmax) است.^۲

نظریه مجموعه‌های فازی و منطق فازی^۱ اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط پروفیسور لطفی عسگرزاده مطرح شد. منطق فازی در واقع نظریه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است. این نظریه به محقق این امکان را می‌دهد که بسیاری از مفاهیم و متغیرهای سیستم‌هایی که مبهم هستند، صورت‌بندی ریاضی کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری فراهم کند. طبق نظریه مجموعه فازی، عضویت جزئی یک مجموعه با دادن ضرایب بین صفر (عدم عضویت) و یک (عضویت کامل) به عوارض طبقه‌بندی شده، امکان‌پذیر است (جعفرکریمی، ۱۳۸۲).

1-<http://www.chaharmahalmet.ir/iranarchive.asp>

2-Fuzzy Logic

شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها براساس جمع‌بندی نظرات کارشناسان، تحلیل شده و وزن‌های نسبی هر شاخص محاسبه شده است. در تعیین وزن معیارها نرخ ناسازگاری (CR) بایستی کمتر از ۰/۱ باشد تا ناسازگاری در قضاوت‌ها قابل قبول و وزن‌های نسبی معیارها درست باشد. در محاسبه وزن‌های نسبی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های تحقیق پیش‌رو، مقایسه دودویی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها به نحوی است که نرخ ناسازگاری محاسبه شده توسط نرم‌افزار در تمام مقایسه‌ها کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته شد. شکل ۱ وزن‌های نسبی استاندارد شده، Inconsistency میزان نرخ ناسازگاری است که گویای قضاوت‌های درست از اولویت شاخص‌هاست (مهرگان، ۱۳۸۳: ۱۷۳).

یافته‌های تحقیق

به منظور افزایش در دقت و سرعت محاسبات فرایند وزن‌دهی معیارها با تکنیک تحلیل سلسله مراتبی^۲ از نرم‌افزار اکسپرت چویس^۳ استفاده شده است. در نرم‌افزار اکسپرت چویس پس از تعریف کردن معیارها اطلاعات مربوط به مقایسه‌های زوجی معیارها را بر اساس جدول توماس ال ساعتی وارد می‌کنیم. در جدول شماره (۲) میزان اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر آمده است و از این طریق وزن نسبی هر یک از معیارها سنجیده شد. شکل شماره (۱) وزن نسبی معیارها را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مقایسه زوجی معیارها

	ساعات آفتابی	درجه حرارت	ارتفاع	غبار آلودگی	ابرنیکی	
ساعات آفتابی	۰	۴	۵	۷	۸	۹
درجه حرارت		۰	۷	۸	۸	۹
ارتفاع			۰	۲	۳	۵
غبار آلودگی				۰	۲	۳
ابرنیکی					۰	۱
بارندگی	نرخ سازگاری: ۰,۰۸					۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۵

فرمول ۱: تابع خطی کاهشی

$$F(x) \begin{cases} x < T_{min} & \longrightarrow & \text{امتیاز (۰)} \\ T_{min} \leq x < T_{max} & \longrightarrow & \frac{x - T_{min}}{\Delta T} = \text{امتیاز} \\ x \geq T_{max} & \longrightarrow & \text{امتیاز (۱)} \end{cases}$$

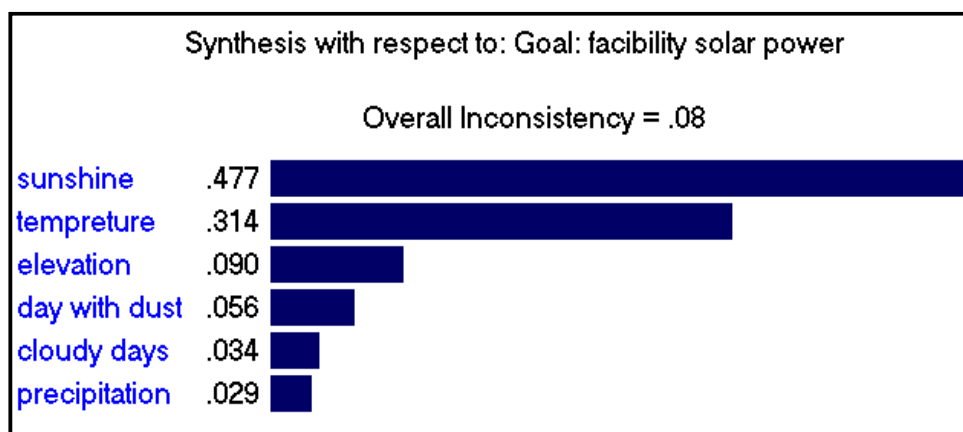
فرمول ۲: تابع خطی افزایشی

$$F(x) \begin{cases} x < T_{min} & \longrightarrow & \text{امتیاز (۰)} \\ T_{min} \leq x < T_{max} & \longrightarrow & \frac{x - T_{min}}{\Delta T} = \text{امتیاز} \\ x \geq T_{max} & \longrightarrow & \text{امتیاز (۱)} \end{cases}$$

(Zimmermann, 1996)

تحلیل سلسله مراتبی AHP

روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آنها آغاز می‌شود. در فرایند مکان‌یابی نیروگاه‌های تجدیدپذیر، هدف انتخاب محل مناسب برای احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر از بین چند گزینه است. معیارها عواملی هستند که باعث ایجاد تفاوت در گزینه‌ها می‌شوند. اعتبار هر مکان برحسب معیارها سنجیده می‌شود. برای این کار ابتدا میزان درجه اهمیت معیارها به صورت زوجی بر اساس جدول ساعتی^۱ تعیین شده و مقایسه می‌شوند. برای این منظور فرم نظرسنجی از کارشناسان طراحی و استخراج درجه اهمیت



شکل ۳: وزن نسبی معیارهای مکان‌یابی ایستگاه‌های خورشیدی

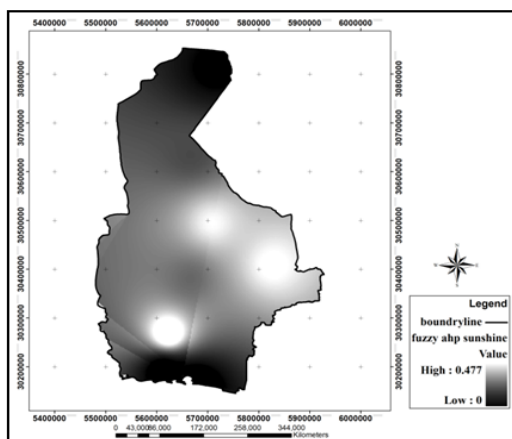
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

آفتابی منطقه حدود ۳۲۹۱،۴۲۵ ساعت در سال است که عدد خوبی برای بهره‌برداری از انرژی خورشید می‌باشد. فرمول فازی‌سازی این لایه در جدول شماره (۲) و وزن مربوط به پهنه‌بندی لایه ساعت‌های آفتابی در نمودار شماره (۱) و نقشه مربوط به آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

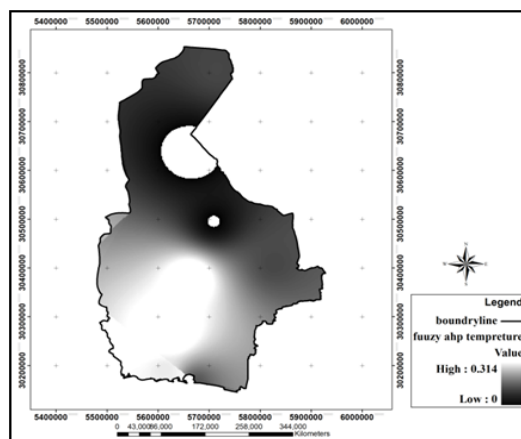
درجه حرارت: برای تهیه لایه درجه حرارت از میانگین درجه حرارت سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. متوسط درجه حرارت منطقه، حدود ۳۰،۷ سانتی‌گراد است که شکل شماره (۵) نیز گویای این واقعیت می‌باشد. فرمول فازی‌سازی این لایه در جدول شماره (۳) و وزن مربوط به لایه درجه حرارت در شکل شماره (۱) و نقشه مربوط به پهنه‌بندی آن در شکل (۵) نشان داده شده است.

مکان‌یابی ایستگاه‌های خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان با توجه به متغیرهای تعیین شده در تحقیق، بر اساس پارمترهای پتانسیل‌سنجی به این صورت است که داده‌های هر متغیر در محیط GIS، با استفاده از روش IDW درون‌یابی شده‌اند و نقشه‌های رستر با استفاده از توابع افزایشی خطی و کاهشی بر اساس نوع طبقه‌بندی داده‌ها در مرحله رستر، توسط روش فرمول‌نویسی فازی، تبدیل به لایه‌های فازی با ارزش ۰ تا ۱ شدند. فرمول‌های فازی‌سازی لایه‌ها در جدول (۳) ارائه شده است.

ساعات آفتابی، مجموع ساعات ماهانه یا سالانه یک منطقه است. این پارامتر خود تحت تأثیر چند عامل مؤثر بر تابش می‌باشد. برای تهیه لایه ساعات آفتابی از مجموع ساعات آفتابی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. متوسط واقعی ساعت‌های



شکل ۴: پهنه‌بندی ساعات آفتابی در استان



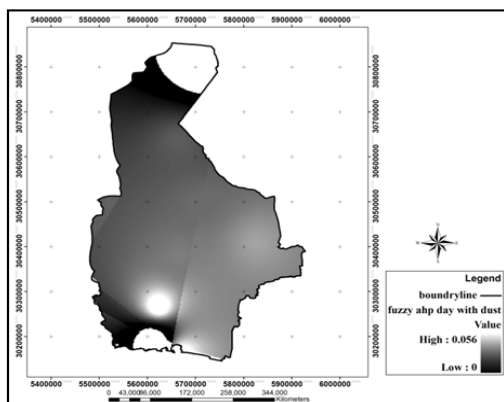
شکل ۵: پهنه‌بندی درجه حرارت در استان

تهیه و ترسیم: نگارنگان، ۱۳۹۵

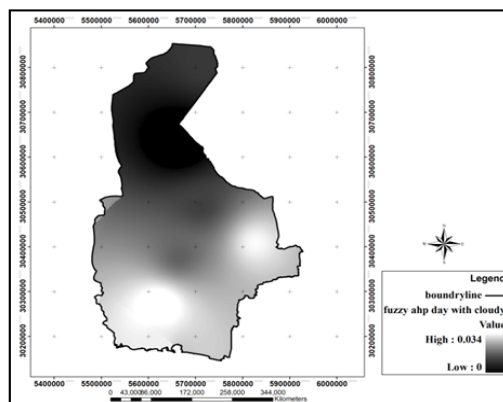
شماره (۱) و نقشه مربوط به پهنه‌بندی آن در شکل (۶) نشان داده شده است.

ابرناکتی: بر اساس جدول شماره (۱) نیک‌شهر با میانگین سالانه ۱۰/۴ روز ابری در سال دارای کمترین میزان ابرناکی و زاهدان با میانگین سالانه ۲۶/۷ روز ابری دارای بیشترین میزان ابرناکی استان می‌باشند. فرمول فازی‌سازی این لایه در جدول شماره (۳) و وزن مربوط به لایه در شکل شماره (۱) و نقشه مربوط به پهنه‌بندی آن در شکل (۷) نشان داده شده است.

روزهای غبار آلود: با توجه به اینکه میزان غبار آلودگی هوا در میزان انرژی تابشی دریافتی سلول‌های خورشیدی تأثیر مستقیمی دارد مناطقی حائز اهمیت‌اند که کمترین روزهای غبار آلودگی را در سال داشته باشند. برای تهیه این لایه، اطلاعاتی از تعداد روزهای گرد و خاکی در سال استفاده شد. با توجه به جدول شماره (۱) نیک‌شهر کمترین میزان گرد و غبار در استان را دارد. فرمول فازی‌سازی این لایه در جدول شماره (۳) و وزن مربوط به لایه در شکل



شکل ۶: پهنه‌بندی میانگین روزهای گرد و غباری



شکل ۷: پهنه‌بندی میانگین روزهای ابری

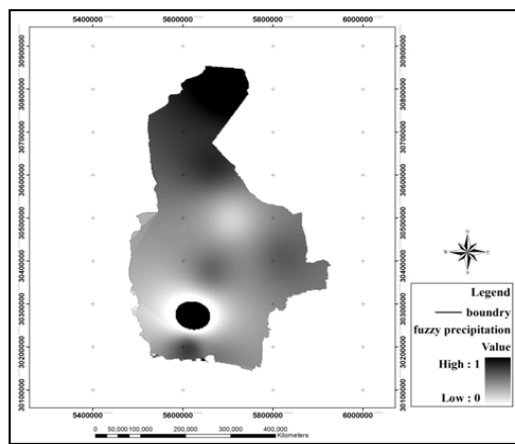
تهیه و ترسیم: نگارنگان، ۱۳۹۵

کمترین و ایستگاه نیک‌شهر با ۲۱۸/۸ میلیمتر در سال بیشترین بارش را دارا می‌باشد. فرمول فازی‌سازی

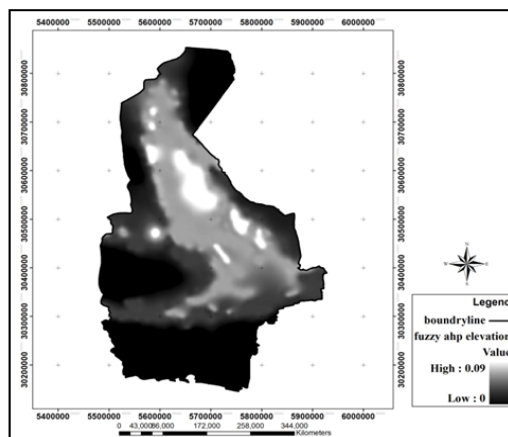
بارندگی: متوسط بارش منطقه ۱۱۸/۹ میلیمتر در سال است که ایستگاه زابل با ۵۷/۷ میلیمتر در سال

متوسط ارتفاع منطقه سیستان و بلوچستان از سطح آزاد دریا ۶۹۶/۱۶۲۵ متر است. فرمول فازی سازی این لایه در جدول شماره (۳) و وزن مربوط به لایه در شکل شماره (۱) و نقشه پهنه بندی مربوط به آن در شکل (۹) نشان داده شده است.

این لایه در جدول شماره (۳) و وزن مربوط به لایه در شکل شماره (۱) و نقشه پهنه بندی مربوط به آن در شکل (۸) نشان داده شده است. ارتفاع: مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست می باشد.



شکل ۸: پهنه بندی میانگین باران در استان



شکل ۹: پهنه بندی ارتفاع در استان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

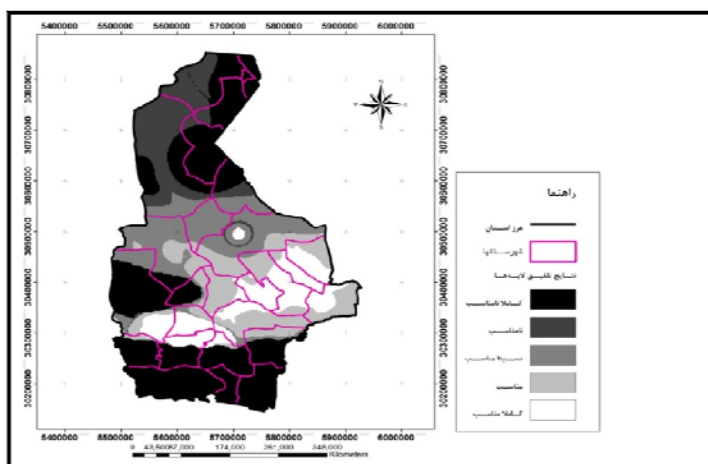
جدول ۳: فرمول های فازی سازی معیارها

فرمول	مدل	معیار	ردیف
$\text{con} ([IDW-AFTABI] < 3162.002144, [IDW-AFTABI] \geq 3162.002144 \ \& \ [IDW-AFTABI] < 3410.374865, (([IDW-AFTABI] - 3162.002144) / 248.372721), [IDW-AFTABI] \geq 3410.374865, 1)$	خطی افزایشی	ساعت های آفتابی	۱
$\text{con} ([idW-dama] < 27.68915601, [idW-dama] \geq 27.68915601 \ \& \ [idW-dama] < 33.02228844, (([idW-dama] - 27.68915601) / 5.33313243), [idW-dama] \geq 33.02228844, 1)$	خطی افزایشی	درجه حرارت	۲
$\text{con} ([idw-ghobar] < 39.94192845, [idw-ghobar] \geq 39.94192845 \ \& \ [idw-ghobar] < 135.5312548, ((135.5312548 - [idw-ghobar]) / 95.58932635), [idw-ghobar] \geq 135.5312548, 1)$	خطی کاهشی	روزهای غبار آلود	۳
$\text{con} ([idw-abri2] < 12.2110119, [idw-abri2] \geq 12.2110119 \ \& \ [idw-abri2] < 23.0770855, ((23.0770855 - [idw-abri2]) / 10.8660736), [idw-abri2] \geq 23.0770855, 0)$	خطی کاهشی	ابرنامی	۴
$\text{con} ([idw-barandegi] < 75.60285612, [idw-barandegi] \geq 75.60285612 \ \& \ [idw-barandegi] < 183.0007164, ((183.0007164 - [idw-barandegi]) / 107.39786028), [idw-barandegi] \geq 183.0007164, 1)$	خطی کاهشی	بارندگی	۵
$\text{con} ([TopoToR_cont1] < 572.5140789, [TopoToR_cont1] \geq 572.5140789 \ \& \ [TopoToR_cont1] < 2351.781292, (([TopoToR_cont1] - 572.5140789) / 1779.2672131), [TopoToR_cont1] \geq 2351.781292, 1)$	خطی افزایشی	ارتفاع	۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۵

انرژی خورشیدی و احداث نیروگاه‌های خورشیدی تفکیک شده‌اند. نقشه مربوط در شکل (۷) آورده شده است.

در انتها با استفاده از عملگر فازی SUM همه لایه‌ها تلفیق شدند. نتیجه حاصل شده، نقشه مناطق پتانسیلی استان سیستان و بلوچستان است که در آن مناطق با پتانسیل‌های متفاوت به‌منظور بهره‌برداری از



شکل ۱۰: مناطق مستعد احداث نیروگاه انرژی خورشیدی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۴: شهرستان‌های مورد نظر در هر پهنه برحسب اکثریت نسبی وسعت و مساحت طبقات

شهرستان	درصد	اندازه پیکسل	مساحت (هکتار)	طبقه
نیک‌شهر، سراوان، سیب‌سوران، زابلی، لاشار	۱۴،۱۸	۲۰	۲،۵۸	کاملاً مناسب
ایرانشهر، بم‌پشت، سرباز	۱۷،۹	۲۰	۳،۲۹	مناسب
خاش، بزمان، نوک‌آباد، میرجاوه	۱۷،۵۷	۲۰	۳،۲	نسبتاً مناسب
نیمروز، نصرت‌آباد	۱۲،۹۵	۲۰	۲،۳	نامناسب
هیرمند، زابل، زهک، هامون، زاهدان، بمپور، دلگان، چابهار، کنارک، قصرقند، راسک	۳۷،۴	۲۰	۶،۸	کاملاً نامناسب
	۱۰۰	۲۰	۱۸،۱۷	جمع کل

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۵

نتیجه

مناطق مستعد و دارای پتانسیل بالا به لحاظ اقلیمی است. ایران، از جمله کشورهای است که منابع تجدیدپذیر انرژی در آن به‌وفور یافت می‌شود. داشتن نواحی بیابانی با شدت تابش بالای انرژی خورشیدی، فرصتی ارزشمند مهیا کرده است تا به کمک یک برنامه‌ریزی دقیق بتوانیم سهم تولید برق از منابع تجدیدپذیر را در کشور به مرور افزایش دهیم. تحقیق حاضر با سایر تحقیقاتی که در زمینه پتانسیل‌سنجی

انرژی خورشیدی از جمله انرژی‌های پاک، قابل دسترس، هدیه طبیعت و ارزان‌ترین انرژی جهان به شمار می‌آید که استفاده از آن نه تنها آثار سوء زیست محیطی ندارد؛ بلکه حامی محیط زیست است و از جمله اقدامات در جهت رسیدن به اهداف زیست محیطی توسعه پایدار است. از این رو، یکی از مطالعات اولیه در زمینه بهره‌برداری از این انرژی، شناسایی

منابع

- انرژی‌های تجدیدپذیر صورت گرفته متفاوت است؛ به این صورت که در تعیین معیارها تلاش شده تا مناسب‌ترین و تأثیرگذارترین معیارها در استان سیستان و بلوچستان با توجه به ویژگی‌های اقلیمی در سرتاسر استان انتخاب شوند و همچنین در روند تجزیه و تحلیل در تحقیق حاضر، از منطق فازی استفاده شده است. تحقیق حاضر در جهت دستیابی به هدف تعیین مکان‌های بهینه جهت در استان سیستان و بلوچستان، ابتدا آماره‌های اقلیمی در ۳۰ سال اخیر را ثبت کرده و با استفاده از نرم‌افزار GIS و فرایند درون‌یابی، لایه‌های رستر تهیه شدند، سپس با استفاده از توابع خطی منطق فازی به صورت خطی افزایشی و خطی کاهش‌ی هر یک از لایه‌ها فازی‌سازی شدند. برای سنجش میزان ارجحیت هر یک از شاخص‌ها با استفاده از تکنیک AHP، ابتدا به نظرسنجی کارشناسان و سایر پژوهش‌هایی که در این زمینه فعالیت داشته‌اند رجوع شد و با تعیین میزان اهمیت شاخص‌ها و ورود اطلاعات مذکور در نرم‌افزار اکسپرت چویس، وزن نسبی هر یک از شاخص‌ها به دست آمد و در نهایت با تأثیر وزن شاخص‌ها در هر لایه و تلفیق لایه‌های فازی وزن‌دار با استفاده از عملگر فازی اس. یو. ام^۱ نقشه نهایی پتانسیل‌سنجی استان سیستان و بلوچستان به منظور احداث نیروگاه خورشیدی تهیه شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده این واقعیت است که شهرهای نیک‌شهر، سراوان، سیب‌سوران، زابلی، لاشار برای احداث نیروگاه خورشیدی کاملاً مناسب؛ ایرانشهر، بم‌پشت، سرباز مناسب؛ خاش، بزمان، نوک‌آباد، میرجاوه نسبتاً مناسب؛ نیمروز، نصرت‌آباد نامناسب و هیرمند، زابل، زهک، هامون، زاهدان، بمپور، دلگان، چابهار، کنارک، قصرقند، راسک کاملاً نامناسب می‌باشند.
- اسفندیاری، علی؛ کاظم رنگزی؛ عظیم صابری؛ مهدی فتاحی‌مقدم (۱۳۹۰). پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS، همایش ملی ژئوماتیک ۹۰، سازمان نقشه برداری کشور. تهران. ایران.
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ غلامرضا روشن؛ رضا برنا (۱۳۸۷). مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی پرتال جامع علوم انسانی، دوره هفدهم، شماره ۶۷، صفحات ۸۰-۷۵.
- جعفرکریمی، اشکان (۱۳۸۲). مکان‌یابی مراکز آموزشی (دبستان) با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد شهرسازی. دانشکده هنرهای زیبا. دانشگاه تهران.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۳). آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.
- صادقی، زین‌العابدین؛ زهرا دل‌باشی اصفهانی؛ حمیدرضا حری (۱۳۹۲). اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی، سال یکم، شماره ۲، صفحات ۱۱۰-۹۳.
- معینی، سام؛ شهرام جوادی؛ محسن کوكبی؛ محسن دهقان منشادی (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه، نشریه انرژی ایران، سال ۱۳، شماره ۲، تهران، صفحات ۱۰-۱.
- موسوی‌بایگی، محمد؛ بتول اشرف (۱۳۹۰). شناسایی مناطق با کمترین میزان ابرناکی به منظور پهنه‌بندی نواحی پرتابش کشور، نشریه آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، سال ۲۵، شماره ۳، مشهد، صفحات ۶۷۵-۶۶۵.

- M Dogan, M Ulu, GG Gennarakis, TJM Zouros (2013). Experimental energy resolution of a paracentric hemispherical deflector analyzer for different entry positions and bias: *Journal Review of Scientific Instruments*, Volum 48.
- Lee AHI, Lin CY, Kang HY, Lee WH (2012). An integrated performance evaluation model for the photovoltaics industry, *Energies* 2012; 5:1271-91.
- Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: a review, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 15(3), PP:1513-24.
- Traube J, Lu F, Maksimovic D, Mossoba J, Kromer M, Faill P, et al. (2013), Mitigation of solar irradiance intermittency in photovoltaic power systems with integrated electric-vehicle charging functionality. *IEEE Transactions on Power Electro-nics*, vol 28(6), PP: 3058-67.
- Urmee T, Harries D, Schlapfer A. (2009), Issues related to rural electrification using renewable energy indeveloping countries of Asia and Pacific. *Renewable Energy*, Vol 34(2), PP: 354-7.
- Yun-na W., Y. Yi-sheng, F. Tian-tian, K. Li-na, L. Wei & F. Luo-jie (2013). Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on Ideal Matter-Element Model. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 50, PP: 76-84.
- Zohoori M (2012). Exploiting Renewable Energy Sources in Iran. *Interdisciplinary J of Contemporary Research in Business*, 4, PP:849-862.
- Zimmermann, H.J (1996). *Fuzzy set theory and its applications*, third ed. Kluwer Academic Publishers, Boston: MA.
- مهرگان، محمدرضا (۱۳۸۳). پژوهش عملیاتی پیشرفته، انتشارات کتاب دانشگاهی. چاپ اول.
- هوشنگی، نوید؛ علی‌اصغر آل‌شیخ؛ حسین هلالی (۱۳۹۳). بررسی منطقه‌ای پتانسیل تابش خورشیدی با ارزیابی و بهینه‌سازی روش‌های درون‌یابی در سطح کشور ایران، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای. سال چهارم. شماره ۶. صفحات ۱۶-۱.
- Amer M, Daim TU (2011). Selection of renewable energy technologies for a developing county: a case of Pakistan. *Energy for Sustainable Development*, 2011; 15:420-35.
- Bahrami M. and P. Abbaszadeh (2013). An overview of renewable energies in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, PP: 198-208.
- Bonham- Carter, G. F (1991). *Geographic Information System for Geoscientists, Modeling with GIS*, Pergamon, Ontario. PP: 291-300.
- Brink J, Marx S (2013). Harvesting of Hartbeespoort Dam micro-algal biomass through sand filtration and solar drying, *Fuel* 2013; 106: 67-71.
- Fuselli D, Angelis FD, Boaro M, Squartini S, Wei Q, Liu D, et al (2013). Action dependent heuristic dynamic programming for home energy resources scheduling. *Electrical Power and Energy Systems* 2013, 48:148-60.
- Gastli A. and Y. Charabi (2010), Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, PP: 790-797.
- Kaiser P, Unde RB, Kern C, Jess A (2013). Production of liquid hydrocarbons with CO₂ as carbon source based on reverse water-gas shift & Fischer-Tropsch synthesis, *Chemie Ingenieur Technik* 2013, 85(4):489-99.

