

فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی

سال اول / شماره ۱ / زمستان ۹۴ / صفحات ۳۷-۷

پهنه‌بندی و اولویت‌بندی انرژی خورشیدی به منظور احداث نیروگاه در استان یزد با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری

محمد جواد مرزبان

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد

javadmarzban99@yahoo.com (نویسنده مسئول)

سید علی المدرسی

دکتری ژئومورفولوژی، استادیار گروه سنجش از دور و GIS، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد

alialmodaresi@iauyazd.ac.ir

سروک قادری

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد

sarok.ghaderi@gmail.com

محمد کامانگر

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه هرمزگان

mohamad.kamangar63@gmail.com

انرژی خورشیدی به عنوان منبع اصلی تمامی ذخایر انرژی نقش تعیین‌کننده‌ای در هر جامعه دارد. ماهیت چندمعیاره بودن تصمیم‌گیری، انتخاب فناوری مناسب، فقدان اطلاعات کامل و به روز و کم تجربه بودن تصمیم‌گیران موجب پیچیدگی موضوع و ایجاد چالش درانتخاب روش تصمیم‌گیری و نهایتاً انتخاب مکان مناسب برای اجرای پروژه می‌گردد. در این پژوهش، مؤثرترین معیارهای ساخت نیروگاه خورشیدی را که دسترسی به آن‌ها میسر بود در نظر گرفتیم سپس با استفاده از نظر کارشناسان، این معیارها را با سه دیدگاه تصمیم‌گیری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی فرهنگی وزن‌دهی کردیم. منطق بولین، روش هم‌پوشانی شاخص، منطق فازی و روش AHP به عنوان روش‌های تصمیم‌گیری با استفاده از سه لایه اصلی جمعیت، نزدیکی به خطوط انتقال نیرو و نزدیکی به راه که بیش از ۷۵ درصد از وزن را به خود اختصاص داده بودند، ارزیابی شدند. در نهایت، روش منطق فازی را یکی از بهترین قاعده‌های تصمیم‌گیری معرفی کردیم که بیشترین درصد انطباق را به خود اختصاص داده بود.

کلمات کلیدی: نیروگاه خورشیدی - حرارتی، اولویت‌بندی، تحلیل چند معیاره مکانی، تصمیم‌گیری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۸

۱. مقدمه

استفاده تجاری از انرژی شرط اساسی توسعه است و کشورهایی که بهره کمتری از آن دارند در زمره کشورهای فقیر محسوب می‌شوند. اما تولید و مصرف تجاری انرژی معضلاتی از قبیل تغییر شرایط اقلیمی، آثار گلخانه‌ای، گرمایش جهانی، بارش باران‌های اسیدی، پراکنش مواد سرطان‌زا، دود و سایر عوامل آلاینده در محیط زیست را با خود به همراه دارد. افزایش تقاضا برای انرژی مستلزم استراتژی متوازن و درازمدتی است مشتمل بر منابع متفاوت و راه‌حل‌های خاص منطق‌هایی نظیر بهره‌گیری بیشتر از منابع انرژی جایگزین، فناوری تولید بهینه انرژی، و تشویق بخش خصوصی به استفاده از فناوری‌های پاک. بخش اعظم انرژی مصرفی در جهان به وسیله سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود.

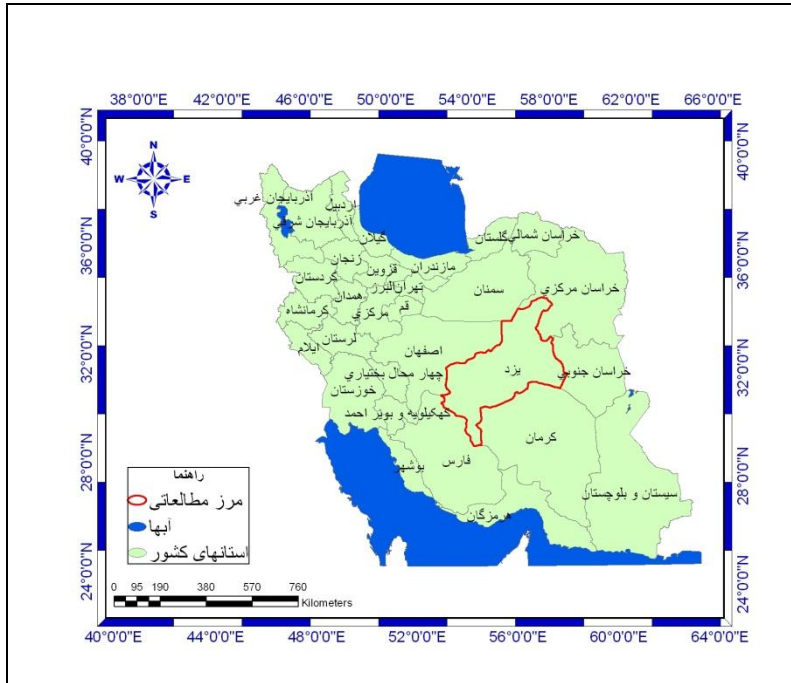
تصمیم‌گیری طریقه عمل در مسیری خاص به صورت آگاهانه جهت نیل به اهداف و مطلوب تعریف شده است (طاهرپور، ۱۳۹۱). برای اعمال تصمیم‌گیری نیازمند داده و اطلاعات هستیم، بیش از ۲۱ درصد داده‌ها و اطلاعات دارای ماهیت مکانی می‌باشند (مالچفسکی، ۱۹۹۹). فرایند تصمیم‌گیری‌های مکانی در سال‌های اخیر پیچیده‌تر شده است. این تصمیم‌گیری‌ها ناشی از در نظر گرفتن تمام ابعاد مرتبط با موضوع و سعی در پیش‌بینی پیامدها و نتایج تصمیم‌هاست. برای پاسخگویی و رفع این پیچیدگی‌ها، کارشناسان ابزارهای گوناگونی مطرح کرده‌اند تا بتوانند تمام ابعاد مسئله را بررسی کنند. سامانه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی جزء این ابزارها هستند؛ به عبارت دیگر، برنامه‌ریزی‌های مکانی جهت اجرا به صورت جامع و کامل مطالعه می‌شوند. در این مطالعه، با مروری بر تئوری مسائل روش‌های تصمیم‌گیری مکانی و معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی، به اجرای روش‌های گوناگون برای معرفی اولیه مکان‌های مناسب پرداخته‌ایم.

تحقیقات داخلی و خارجی در این زمینه بدین قرارند:

- اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان، با استفاده از GIS، پرداختند.

- خوش اخلاق (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای به امکان‌سنجی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق خشک پرداخته است.
- حیدری (۱۳۸۸) در پژوهشی با تحلیل پارامترهای اقلیمی در محیط GIS، مناسب‌ترین مناطق در ایران را برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی مشخص کرده است.
- بهادری نژاد (۱۳۸۴) ضریب صافی متوسط ماهانه هوا را بر اساس رطوبت نسبی، دما، میزان بارندگی و میزان ساعات آفتابی برای شهرهای مختلف ایران ارائه کرد و نشان داد که ضریب صافی هوا پارامتر مهمی در محاسبه میزان تابش خورشیدی است.
- کریون و همکارانش^۱ (۲۰۰۸) طی تحقیقی، ضمن بررسی سیستم‌های تصمیم‌گیری، به مکان‌یابی احداث پنل‌های خورشیدی در کشور اسپانیا پرداختند و در تحقیق خود از روش AHP استفاده کردند.
- چاریبی و همکاران (۲۰۱۱) طی مقاله‌ای به مکان‌یابی مناطق مساعد جهت احداث نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش چند معیاره فازی در کشور عمان پرداختند.
- بارسلمو و همکاران (۲۰۰۱) در شمال آفریقا بهترین مکان‌ها را برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی مشخص کردند.
- جیسن جرک (۲۰۱۰) مناطق مستعد استفاده از انرژی خورشیدی برای ساخت نیروگاه را در منطقه کلرادوی آمریکا مشخص کرد.
- استان یزد، با قرار گرفتن در بخش مرکزی فلات ایران، در برگیرنده نامناسب‌ترین عوامل طبیعی چیره بر فلات مرکزی ایران است. کویرهای بزرگ لوت و دشت کویر تا دریاچه نمک قم، و کویر نمک هرات و مروست تا کویر نمک ابرکوه و باتلاق گاوخونی استان یزد را فرا گرفته‌اند (شکل ۱). بارش اندک همراه با تبخیر شدید، دور بودن از دریا، نزدیکی به کویر خشک و پهناور نمک، رطوبت نسبی کم همراه با گرمای بسیار، از جمله عواملی است که استان یزد را به گونه خشک‌ترین استان ایران در

آورده است. گذشته از آن، در این منطقه درجه حرارت نوسان شدیدی دارد. این منطقه از نظر جغرافیایی بین ۲۹ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه پهناي شمالی، و ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه درازای خاوری از نصف النهار مبدأ واقع شده است.



شکل ۱. تصویر موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

۲. معیارهای ارزیابی

در تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، بعد از شناسایی مسئله تصمیم‌گیری، مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی در کانون توجه قرار می‌گیرند. اصطلاح معیار، واژه‌ای کلی است که مفاهیم مربوط به صفت و هدف را دربرمی‌گیرد. بنابراین، معیار یک اساس برای ارزیابی و اندازه‌گیری تصمیم است. معیارهای ارزیابی باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- ۱- به اندازه کافی معرف طبیعت چند معیاره یک مسئله تصمیم‌گیری بوده جامع و قابل اندازه‌گیری باشند.
- ۲- کامل، عملیاتی و حتی الامکان در حالت کمینه باشند.

۳- بتوان آنها را به صورت یک نقشه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان داد.

۴- قابلیت تبدیل به واحدهای قابل مقایسه و متناسب با هم را داشته باشند.

معیارها بر دو نوع‌اند:

- فاکتورها

- محدودیت‌ها

یک فاکتور فعالیت تحت بررسی را کاهش یا افزایش می‌دهد؛ و محدودیت به محدود کردن گزینه‌های تحت بررسی اطلاق می‌شود. در این فصل، نحوه تهیه و استخراج لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از نقشه‌های پایه و تصاویر ماهواره‌ای، و روش‌های به کار رفته در این مطالعه تشریح می‌گردد.

معیارها و عوامل تأثیرگذار بر مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی متعددند. اساس معیارها و عوامل در نظر گرفته شده در این تحقیق مطالعات پژوهشگران مختلف و سؤال از متخصصان اداره برق منطقه‌ای مرکز استان یزد است که به‌طور کلی شامل ۱۰ لایه اطلاعاتی است:

- ۱- ساعات آفتابی، ۲- تعداد روزهای ابری، ۳- میزان رطوبت نسبی، ۴- شیب،
- ۵- فاصله از مناطق جمعیتی، ۶- فاصله از راه‌ها، ۷- فاصله از خطوط انتقال نیرو،
- ۸- کاربری اراضی، ۹- لایه محدودیت‌ها، ۱۰- لایه تابش کلی رسیده به سطح زمین.

۲-۱. لایه ساعات آفتابی

اطلاعات درست درباره تابش خورشیدی نخستین و مهم‌ترین نیاز در طراحی‌های کاربردی انرژی خورشیدی است. برای تهیه لایه ساعات آفتابی از مجموع ساعات آفتابی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد (جدول ۱). متوسط واقعی ساعات آفتابی منطقه حدود ۳۱۰۰ ساعت در سال است که عدد خوبی برای بهره‌برداری از انرژی خورشید است؛ لیست ایستگاه‌های مورد استفاده برای درون‌یابی و تخمین ساعت آفتاب در زیر آورده شده است.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های استان یزد

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال تأسیس	ارتفاع از سطح دریا (m)	ساعات آفتابی	رطوبت (درصد)	روزهای ابری
یزد	۵۴/۱۷	۳۱/۵۴	۱۹۶۱	۱۲۳۷/۲	۳۲۹۱	۲۸	۴۹
طبس	۵۶/۵۵	۳۳/۳۶	۱۹۶۱	۷۱۱	۳۲۸۵/۲	۲۹	۴۴
رباط	۵۵/۳۳	۳۳/۰۲	۱۹۹۲	۱۱۸۸	۳۲۳۷	۳۰	۵۸
میبد	۵۲/۵۸	۳۲/۱۳	۲۰۰۰	۱۱۰۸	۳۲۶۲/۲	۳۴	۵۳
مهریز	۵۴/۲۶	۳۱/۳۵	۲۰۰۰	۱۵۲۰	۳۲۷۳/۹	۳۲	۳۶
مروست	۵۴/۱۲	۳۰/۲۴	۱۹۹۶	۱۵۴۷	۳۳۴۹/۳	۲۸	۴۱
هرات	۵۴/۰۴	۳۰/۰۵	۲۰۰۰	۱۶۰۰	۳۲۶۸/۱	۲۷	۳۷
گاریز	۵۴/۰۶	۳۱/۱۸	۲۰۰۰	۲۱۰۰	۳۰۳۸/۶	۳۱	۳۷
بافق	۵۵/۲۶	۳۱/۳۶	۱۹۹۲	۹۹۱.۴	۳۳۰۴/۲	۲۹	۳۹
عقدا	۵۳/۳۷	۳۲/۲۶	۲۰۰۰	۱۱۵۰	۳۱۰۷	۲۸	۵۴
ابرکوه	۵۳/۱۷	۳۱/۰۸	۲۰۰۰	۱۵۲۳.۸	۳۲۲۶/۳	۲۷	۳۱

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور

۲-۲. لایه تعداد روزهای ابری

ابرها باعث کاهش تابش خورشید و در نهایت کاهش تابش مؤثر می‌شوند، و به طور متوسط ۲۱ درصد انرژی طول موج کوتاه خورشید را برمی‌گردانند. در مواقعی که هوا آفتابی است و هیچ ابری در آسمان وجود ندارد، قسمت اعظم انرژی خورشید به زمین می‌رسد (علیچانی، ۱۳۸۳) از این‌رو، مهم‌ترین عامل کنترل انرژی تابشی خورشید ابرناکی آسمان است.

بیشترین روزهای ابری با تعداد ۵۸ روز در ایستگاه رباط، و کمترین روزهای ابری در سال در ایستگاه ابرکوه با تعداد ۳۱ روز ابری در سال، و ایستگاه یزد در مرکز استان با ۴۹ روز ابری در سال برآورد شده است.

۲-۳. لایه رطوبت نسبی

هوای خشک در طبیعت وجود ندارد و حتی در هوای ظاهراً خشک بیابان‌ها هم مقداری رطوبت موجود است. در شرایط معمولی، میزان بخار آب جو در ماه‌های گرم از ۱/۳ درصد و در ماه‌های سرد از ۰/۴ درصد تجاوز نمی‌کند. حالت غالب رطوبت در جو بخار آب است. بخار آب جو در بیلان انرژی جو و زمین نقش عمده‌ای دارد. مثلاً انرژی موج کوتاه خورشیدی را باز می‌تاباند و انرژی موج بلند زمینی را جذب می‌کند (علیچانی، ۱۳۸۳). بنابراین، مناطق با رطوبت نسبی بالا به دلیل بازتاباندن انرژی موج کوتاه خورشید مستعد احداث نیروگاه‌های خورشیدی نیستند. بیشترین رطوبت نسبی در استان متعلق به ایستگاه میبد است با میانگین سالانه ۳۴ درصد، و کمترین رطوبت متعلق به ایستگاه‌های هرات و ابرکوه است به میزان ۲۷ درصد.

۲-۴. لایه شیب زمین

شیب میزان تغییر ارتفاع در جهت نزول شیب را اندازه‌گیری می‌کند. توابع شیب در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی براساس ارتفاع نقاط در مدل رقومی زمین و فاصله آنها از هم، شیب را برای هر یک از سلول‌ها محاسبه می‌نمایند. محاسبه شیب می‌تواند برحسب درجه یا درصد باشد. ارزش هر سلول در نقشه شیب معادل شیب توان آن خواهد بود. با استفاده از تابع طبقه‌بندی می‌توان از نقشه شیب، نقشه طبقات شیب تهیه نمود (مخدوم و درویش صفت، ۱۳۷۵). شیب بر اثر اختلاف ارتفاع بین نقاط مختلف زمین به وجود می‌آید و در تحلیل زمین پایه استفاده می‌شود. برای محاسبه شیب از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$tgG = \sqrt{\left(\frac{\delta Z}{\delta X}\right)^2 + \left(\frac{\delta Z}{\delta Y}\right)^2} \quad (1)$$

تغییرات ارتفاع در جهت محور X ها: $\delta Z / \delta X$

تغییرات ارتفاع در جهت محور Y ها: $\delta Z / \delta Y$

همچنین شیب را می‌توان با استفاده از نزول شیب به یکی از هشت همسایه نزدیک‌تر محاسبه کرد. (روش D8):

$$S_{D8} = \max_{i=1,8} \frac{Z_0 - Z_i}{h\phi(i)} \quad (2)$$

$\phi(i)$ برای همسایه‌های اصلی (شمال، جنوب، شرق و غرب) است که

$$\phi(i) = \sqrt{2}, \quad i = 2, 4, 6, 8$$

برای همسایه‌های مورب است که فاصله اضافی نسبت به سلول‌های اصلی در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق بعد از اینکه مدل رقومی ارتفاع با استفاده از خطوط تراز نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در نرم‌افزار Arc GIS 10 تهیه شد، وزندهی به طبقات مختلف شیب براساس مقیاس‌های مختلف طبقه‌بندی شده است.

۲-۵. مراکز جمعیتی

مصرف‌کننده‌های عمده انرژی الکتریکی مشتمل‌اند بر شهرها، روستاها، شهرک‌های صنعتی و صنایع. برای نزدیک بودن محل احداث نیروگاه منبع تولید انرژی الکتریکی به نقاط مصرفی، توجه به پراکنندگی مکانی مصرف‌کننده‌ها ضروری است. برای آماده‌سازی این لایه، از شیب فایل‌های نقطه‌ای استفاده شده است که از اداره جهاد کشاورزی و اداره مسکن و شهرسازی استان تهیه شده است و با استفاده از تابع Buffer در نرم‌افزار ArcGIS 10 برای مشخص شدن حریم و با استفاده از الگوریتم عکس فاصله از مراکز مصرفی، ارزش‌گذاری صورت گرفت. علاوه بر آثار ذکر شده در رابطه با احداث نیروگاه خورشیدی در حاشیه شهرها، آثار دیگری نیز می‌توان در نظر گرفت؛ بدین صورت که هر چه زمین‌های مورد نظر برای احداث مناطق مسکونی پرجمعیت مانند شهرها نزدیک‌تر باشد، هزینه اختصاص زمین بیشتر می‌شود، و در نتیجه، هزینه پروژه احداث بیشتر خواهد شد. همین‌طور آثار اجتماعی ناشی از این پروژه‌ها از قبیل عدم پذیرش اجتماعی توسط ساکنان بیشتر خواهد بود؛ بنابراین حریم مناطق مسکونی جزء محدودیت‌ها نیز خواهند بود.

۲-۶. لایه راه‌های اصلی

- شبکه حمل‌ونقل مشتمل است بر شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای اعم از بزرگراه، جاده بین‌شهری، شوسه و راه‌آهن. نقشه شبکه حمل‌ونقل در احداث نیروگاه خورشیدی از چند جنبه مختلف اهمیت دارد:
- نزدیکی نیروگاه به راه‌ها موجب می‌شود که هزینه‌های حمل‌ونقل تجهیزات نیروگاه، رفت‌وآمد پرسنل و پشتیبانی از نیروگاه کاهش یابد.
 - با استفاده از نقشه‌ها، تمام خطوط حمل‌ونقل در نرم‌افزار Arc GIS 10 رقومی گردید، اما به لحاظ اینکه ممکن است نقشه راه‌های موجود به‌روز نباشد و بعد از چاپ نقشه‌های موجود قطعات جدیدی به شبکه حمل‌ونقل اضافه شده باشد، در نتیجه از تصاویر گوگل ارث برای تهیه نقشه رستری حمل‌ونقل استفاده گردید.
 - جاده‌ها دارای حریم‌اند و احداث هرگونه تأسیسات در آن حریم‌ها ممنوع است. بنابراین ابتدا در نرم‌افزار با استفاده از تابع Buffer برای تمام خطوط جاده‌ای حریم ۲۰۰ متری از هر دو طرف جاده تعیین شد، سپس با توجه به عامل دسترسی و کاهش هزینه احداث، ارزش‌گذاری عکس فاصله از جاده‌ها در نظر گرفته شد.

۲-۷. لایه خطوط انتقال نیرو

بعد از تولید برق توسط نیروگاه‌های خورشیدی، مرحله انتقال آن به مصرف‌کنندگان می‌رسد. برق تولیدی هر نیروگاه برای توزیع در شبکه نیاز به خطوط انتقال نیرو دارد. فاصله نیروگاه از خطوط برق شبکه‌های بالای ۱۳۲ کیلوولتی یا یک نقطه بار که بتواند خروجی نیروگاه را قبول کند بسیار اهمیت دارد. زیرا افزایش این خطوط علاوه بر بالا بردن هزینه پروژه، باعث تلفات برق تولید شده در شبکه نیز می‌گردد (چارابی و گستلی، ۲۰۱۰). این لایه از خطوط برداشت شده اداره برق منطقه‌ای استان یزد تهیه شد.

۲-۸. لایه کاربری اراضی

با توجه به اینکه احداث نیروگاه‌های خورشیدی در کاربری‌های متفاوت هزینه‌های متفاوتی ایجاد می‌کند و در تمام کاربری‌ها امکان احداث وجود ندارد، هدف از طبقه‌بندی در این تحقیق تهیه نقشه کاربری زمین است.

نقشه کاربری زمین بیانگر چگونگی استفاده از یک قطعه زمین است (همانند زمین‌های کشاورزی، مسکونی و نواحی جنگلی). داشتن اطلاعات صحیح از کاربری اراضی برای هر نوع فعالیت و برنامه‌ریزی در سطح کشور ضروری است، و سنجش از دور در این زمینه نقش اساسی دارد. هنگام طبقه‌بندی هر یک از پیکسل‌های تصویر با نشانه‌های طبیعی یا نمونه‌های جمع‌آوری شده در مراحل قبل مقایسه می‌شود و هر گروه از پیکسل‌ها به یکی از طبقات نمونه‌گیری شده و مشاهدات نسبت داده می‌شوند. نمونه‌های آموزشی به کمک نقشه‌های کاربری مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ میدانی به دست آمدند. نتیجه نهایی یک تصویر تک بانندی است که در طبقات مختلف از یکدیگر قابل تفکیک‌اند، خود عملیات طبقه‌بندی نیز به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. پس از حاصل شدن نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه براساس مقیاس‌های مختلف، کاربری‌های مختلف وزن‌دهی شدند.

۲-۹. لایه محدودیت‌ها

محدودیت‌ها عبارت‌اند از موانعی که به وسیله انسان یا طبیعت تحمیل می‌شوند و مانع امکان انتخاب شدن گزینه‌هایی می‌شوند که نمی‌توانند محدودیت‌ها را ارضا کنند و ناچار جزء گزینه‌های غیرقابل اجرا محسوب می‌شوند.

این گونه محدودیت‌ها از نوع منطقی و غیرقابل جبران هستند که در نهایت بایستی از نقشه خروجی کم شوند. در جدول (۲) محدودیت‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق مشخص شده‌اند.

جدول ۲. عوامل محدودیت در نظر گرفته شده جهت احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی

عامل	معیار برای تهیه نقشه محدودیت
ارتفاع	ارتفاع بالای ۱۸۰۰ متری
جاده	حریم ۲۰۰ متری (از هر دو طرف)
رودخانه	حریم ۳۰۰ متری (از هر دو طرف)
مناطق حفاظت شده	حریم ۲۰۰۰ متری
گسل	حریم ۲۰۰۰ متری (گسل‌های فعال)
محدوده شهر یزد	حریم ۸۰۰۰ متری
محدوده شهرهای استان	حریم ۵۰۰۰ متری
محدوده روستای استان	حریم ۳۰۰۰ متری

مأخذ: کمانگر، م. ۱۳۹۲

۲-۱۰. لایه تابش کلی رسیده به سطح زمین

میزان تابش کلی خورشیدی (GSR)^۱ مهم‌ترین پارامتر برای طراحی و توسعه سیستم‌های مختلف انرژی خورشیدی است (تایریس ۱۹۹۷). در کشورهای در حال توسعه، اندازه‌گیری مستقیم GSR معمولاً در سایت‌های اندکی انجام می‌شود، زیرا در این کشورها تعداد ایستگاه‌های هواشناسی محدود است (چان ۲۰۰۴). داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از ناسا (NASA)^۲ به دست آمده است. داده‌های اخذ شده میانگین ۲۲ سال آماری از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۵ میلادی است که با استفاده از فناوری سنجش از دور به دست آمده است و مربوط به پروژه (SSE)^۳ ناساست. طبقه‌بندی داده‌های به دست آمده در جدول (۳) آمده است.

1 . Global Solar Radiation

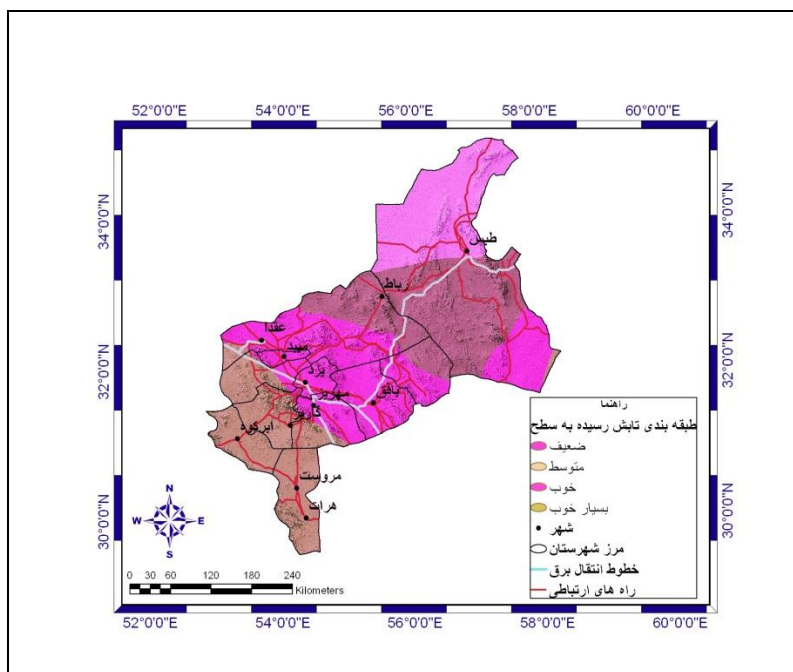
2 . <http://eosweb.larc.nasa.gov>

3 . Surface meteorology and Solar Energy

جدول ۳. نحوه طبقه‌بندی انرژی تابشی خورشید در منطقه مورد مطالعه

مقیاس زبانی	درجه عضویت	میزان انرژی تابشی خورشید بر حسب $\frac{kw}{m^2/day}$
خیلی خوب	۴	$5/40 <$
خوب	۳	$5/20 - 5/40$
متوسط	۲	$5 - 5/20$
ضعیف	۱	$4/80 - 5$

مأخذ: کمانگر، م. ۱۳۹۲



شکل ۲. تصویر نقشه طبقه‌بندی شده تابش رسیده به سطح افق در استان یزد

این داده‌ها ماهیت نقطه‌ای دارند و ساختارشان برای انجام تحلیل‌های مورد نیاز به هیچ عنوان کارآمد نیست و باید درون‌یابی شده و تبدیل به سطوح پیوسته شوند، تا بتوان تجزیه و تحلیل‌های لازم را روی آنها انجام داد. برای درون‌یابی روش‌های مختلفی وجود دارد که با توجه به خصوصیات روش کریجینگ، از این روش برای درون‌یابی داده‌ها استفاده شد. همچون دیگر روش‌های تحلیل مکانی، مانند روش درون‌یابی وزنی معکوس فاصله (IDW)^۱، روش درون‌یابی کریجینگ نیز از ارزش‌های معلوم برای مشخص کردن ارزش‌های نامعلوم استفاده می‌کند و ارزش‌های نزدیک‌تر به منطقه نامعلوم اثر بیشتری در برآورد نقاط نامعلوم دارد. عمل درون‌یابی برای لایه مورد استفاده در این تحقیق در نرم‌افزار ArcGIS10 انجام شد. پس از انجام درون‌یابی سطوح پیوسته تابش نرمال برای انجام تجزیه و تحلیل به ساختار رستر تبدیل گردید. سپس برای پهنه‌بندی تابشی، نقشه تهیه شده به سطوح پیوسته با فاصله‌های تابشی مشخص طبقه‌بندی شد (شکل ۲).

در این تحقیق از سیستم تصویر لامبرت ایران استفاده شده است. پارامترهای این سیستم مختصات که در راهنمای نقشه‌ها نیز آورده شده است توسط سازمان نقشه برداری ایران به گونه‌ای طراحی شده است که خطاها و اعوجاجات آن در کل سطح ایران کمینه است؛ به دلیل اینکه بیشتر نقشه‌ها در مقیاس 1:250000 تهیه شده بود با در نظر گرفتن دقت حدود سه و نیم میلیمتر در مقیاس نقشه ابعاد هر پیکسل 100 در 100 متر در نظر گرفته شده است.

۳. وزن‌دهی به معیارها

هدف از وزن‌دهی بیان اهمیت هر معیار نسبت به معیارهای دیگر است. وزن معیارها با توجه به میانگین نظر کارشناسان و متخصصان در اختیار چندین نفر قرار گرفت که هر کدام در رشته‌ای مرتبط متخصص بودند (جدول ۴). سپس میانگین نظرهایشان وارد نرم‌افزار شد و وزن نهایی هر معیار به دست آمد. ملاحظه می‌شود که برای احداث نیروگاه خورشیدی در استان یزد با توجه به شرایط آن، بیشترین وزن و درجه اهمیت در هر سه دیدگاه تصمیم‌گیری (دیدگاه تصمیم‌گیری اقتصادی،

1. Inverse Distance Weighted

زیست محیطی و اجتماعی - فرهنگی) متعلق به معیار جمعیت است. در سایر معیارها تفاوت‌هایی در دیدگاه‌های تصمیم‌گیری بود. دیدگاه‌های تصمیم‌گیری اقتصادی جمعیت، کاربری اراضی و شیب زمین معیارهای اصلی و از دیدگاه اجتماعی فرهنگی، جمعیت و نزدیکی به خطوط انتقال نیرو مهم‌ترین معیارها در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی محسوب می‌شوند. در مجموع، سه معیار مهم در تصمیم‌گیری شناسایی شدند: جمعیت، نزدیکی به خطوط انتقال نیرو و نزدیکی به راه ارتباطی. این سه معیار در مجموع ۷۵ درصد اهمیت را به خود اختصاص می‌دهند. وزن‌ها معمولاً استاندارد می‌شوند، این عمل به شکلی صورت می‌پذیرد که مجموع آنها برابر با یک می‌شود.

جدول ۴. میانگین نظرهای تصمیم‌گیران در ارجحیت معیارهای مکان‌یابی

	رطوبت نسبی	ساعات آفتابی	جمعیت	روزهای ابری	راه‌های اصلی	کاربری اراضی	شیب	نزدیکی به خطوط انتقال نیرو
نزدیکی به خطوط انتقال نیرو	۶	۷	۳	۷	۳	۴	۲	۱
رطوبت نسبی	۵	۵	۴	۶	۲	۲	۱	۰/۵
ساعات آفتابی	۳	۳	۵	۳	۳	۱	۰/۵	۲
جمعیت	۶	۶	۳	۵	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۳۳
روزهای ابری	۲	۲	۸	۱	۰/۲	۰/۳۳	۱/۶۶	۰/۱۴۲
راه‌های اصلی	۸	۸	۱	۰/۱۲۵	۰/۳۳	۰/۲	۰/۳۳	۰/۲۵
کاربری اراضی	۳	۱	۰/۱۲۵	۰/۵	۰/۱۶۶	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۴۲
شیب	۱	۰/۳۳	۰/۱۲۵	۰/۵	۰/۱۶۶	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۶۶
نزدیکی به خطوط انتقال نیرو	۱	۰/۳۳	۰/۱۲۵	۰/۵	۰/۱۶۶	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۶۶

مأخذ: محاسبات مؤلفان

تجربه ثابت کرده است هرگاه نرخ سازگاری کمتر ۰/۱ باشد، پاسخ‌های به‌دست آمده قابل قبول‌اند. و چنانچه این نرخ بیش از ۰/۱ باشد مقایسه‌ها باید دوباره انجام شود. برای محاسبه نرخ سازگاری از دو پارامتر شاخص سازگاری (C. I) و شاخص تصادفی (R. I) استفاده می‌شود.

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (۳)$$

C. I: شاخص سازگاری

λ : مقدار ویژه در ماتریس مقایسه A

n: تعداد عوامل در ماتریس مقایسه

$$CR = \frac{C.I}{R.I} \begin{cases} \geq 0.1 & \text{ناسازگار} \\ < 0.1 & \text{سازگار} \end{cases} \quad (۴)$$

R.I: شاخص تصادفی

C. R: نرخ سازگاری

پس از محاسبه نرخ ناسازگاری که برابر با پنج صدم به دست آمد، وزن نهایی هر لایه محاسبه شد که در جدول (۵) آمده است.

جدول ۵. وزن هر معیار در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی - حرارتی

نزدیکی به خطوط انتقال نیرو	ساعات کاربری	نزدیکی به راه	شیب	رطوبت نسبی	روزهای ابری	جمعیت
۰/۱۸	۰/۰۲۹	۰/۰۶۳	۰/۱۵۱	۰/۱۰۸	۰/۰۳۰	۰/۴۰۹

مأخذ: محاسبات مؤلفین

نرخ ناسازگاری $Ln = ۰/۰۵۰$

۴. تلفیق لایه‌ها

۴-۱. روش هم‌پوشانی شاخص‌ها

مدل هم‌پوشانی شاخص از جمله روش‌های حسابی روی هم‌گذاری لایه‌هاست که بر پایه میانگین‌گیری وزنی از لایه‌های اطلاعاتی قرار دارد. انجام مدل هم‌پوشانی شاخص به دو روش امکان‌پذیر است:

۱. مدل Binary Evidence Map

۲. مدل Multi Class Map

در هر دو روش ابتدا به تمامی فاکتورهای مؤثر، براساس اهمیت نسبی و با توجه به نظرهای کارشناسی، وزنی اختصاص داده می‌شود. این وزن‌ها به صورت اعداد صحیح یا اعداد حقیقی در یک بازه مشخص تعیین می‌شوند.

در روش اول، نقشه‌های ورودی معیارها، همانند روش بولین به صورت باینری هستند. در این روش، هر نقشه معیار یک عامل وزنی منفرد دارد و برای ترکیب با نقشه‌های دیگر فقط در عامل وزنی خودش ضرب می‌شود. اهمیت کلاس‌های مختلف موجود در یک نقشه معیار در روش اول یکسان در نظر گرفته می‌شود. محدوده وزنی در این مدل بستگی به نظر محقق دارد.

ارزش هر پیکسل در نقشه نهایی با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{\sum_i^n w_{class}(mapi)}{\sum_i^n w_i} \quad (5)$$

S = ارزش هر پیکسل در نقشه نهایی

W = وزن نقشه معیار i ام

$Class(mapi)$ = وزن هر واحد در نقشه معیار

روش دوم هم‌پوشانی شاخص انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به روش اول دارد. در این روش، علاوه بر این که به هر یک از نقشه‌های ورودی وزنی اختصاص می‌یابد، به هر یک از کلاس‌ها و واحدهای مکانی موجود در هر نقشه معیار نیز، براساس اهمیت نسبی و نظرهای کارشناسی وزنی

منتسب می‌شود. به عبارتی، کلاس‌های مختلف موجود بر یک نقشه واحد، وزن‌های متفاوت دارند. ارزش هر پیکسل در نقشه نهایی این روش با استفاده از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{\sum_i^n s_{ij} \cdot w_i}{\sum_i^n w_i} \quad (6)$$

S = ارزش هر پیکسل در نقشه نهایی

W = وزن نقشه معیار i ام

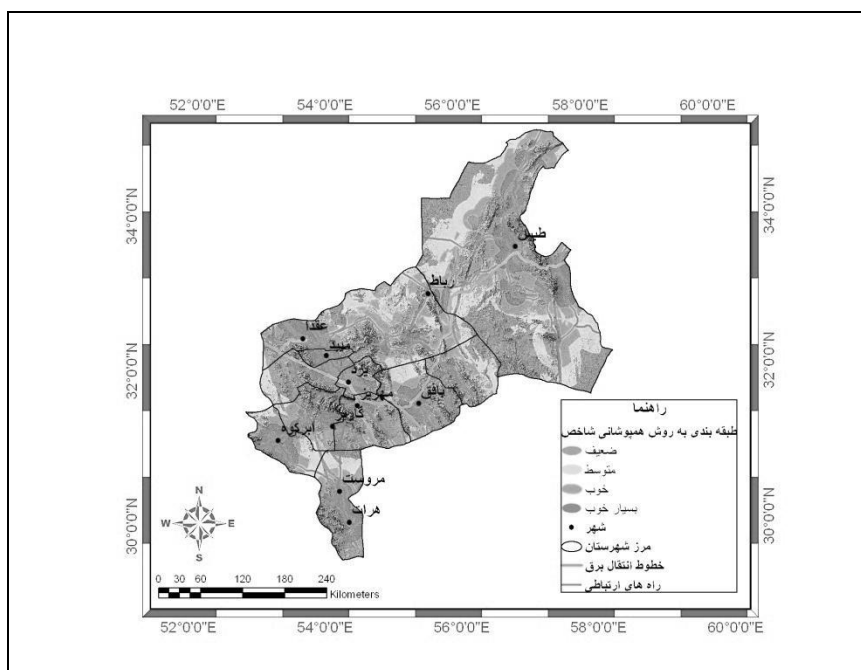
s_{ij} = وزن هر واحد j ام در نقشه i ام

این مدل به ما اجازه می‌دهد تا ترکیبات انعطاف‌پذیری از نقشه‌های مورد نظر داشته باشیم، و از طرف دیگر، به دلیل ماهیت خطی، اجرای آن نیز زمان کوتاهی می‌طلبد. نتایج نهایی این روش در جدول (۶) آمده است.

جدول ۶. مساحت مناطق تشخیص داده شده با روش هم‌پوشانی جهت احداث نیروگاه خورشیدی

مناطق بسیار خوب	مناطق خوب	مناطق متوسط	مناطق ضعیف و غیر قابل احداث
۲۱۸۴۶/۶۲ km ²	۲۷۵۶۲/۶۵ km ²	۲۴۷۲۷/۲۸ km ²	۵۳۷۳۵/۰۰ km ²

مأخذ: نتایج تحقیق



شکل ۳. تصویر نقشه طبقه‌بندی شده با حذف مناطق ممنوعه با روش هم‌پوشانی شاخص جهت احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی در استان یزد

۴-۱-۱. قاعده تصمیم‌گیری فازی

منطق فازی بیانگر قانون ساده‌ای است بر مبنای " IF x And y THEN z "

اپراتورهای مدل منطق فازی:

۱- Fuzzy OR: این عملگر اجتماع مجموعه‌هاست. بدین صورت که حداکثر درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند و از دقت بالایی در مکان‌یابی برخوردار است.

۲- Fuzzy AND: عملگر اشتراک مجموعه‌هاست. بدین صورت که حداقل درجه عضویت را استخراج می‌کند؛ یعنی میان کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده در نقشه نهایی منظور می‌کند. در Fuzzy AND هیچ ریسکی اجازه ورود به تحلیل را ندارد.

۳- اپراتور ضرب فازی: در این اپراتور، تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی است، این اپراتور باعث می‌شود که در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده به سمت صفر میل کنند. در نتیجه، تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد، به همین دلیل، این اپراتور حساسیت بالایی در مکان‌یابی اعمال می‌کند.

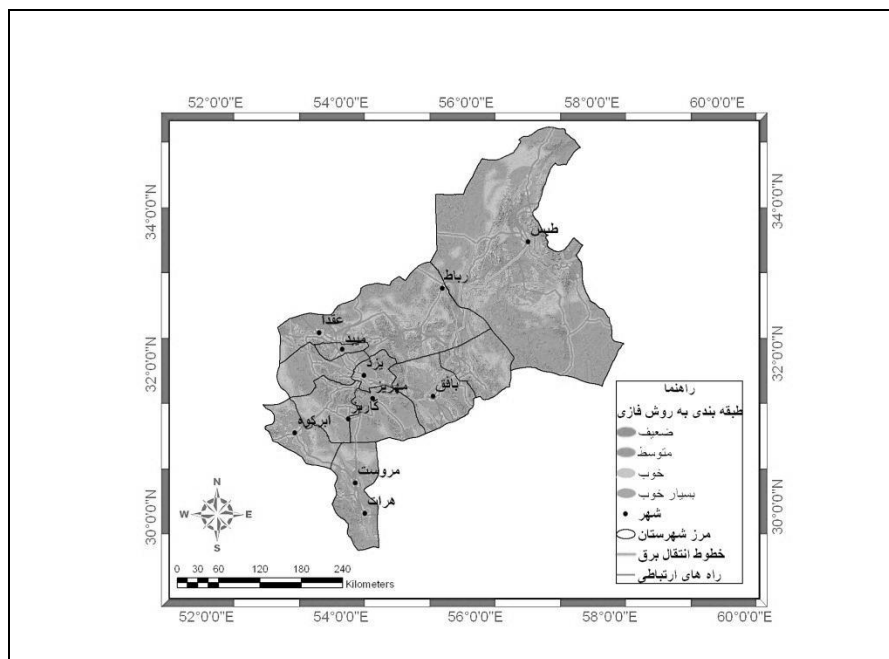
۴- اپراتور جمع جبری فازی: در این اپراتور متمم ضرب متمم مجموعه‌ها محاسبه می‌شود. به همین دلیل، در نقشه خروجی، برخلاف اپراتور ضرب فازی، ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه، تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرند. به همین دلیل، این اپراتور حساسیت بسیار کمتری در مکان‌یابی دارد.

برای مثال، اگر مجموعه‌ای از گزینه‌ها به وسیله عبارات زبانی مانند خوب، متوسط و ضعیف تعریف شوند و هر کدام از این‌ها در عباراتی از یک مجموعه فازی مناسب تعریف شوند، پس استفاده از یک عملگر اجتماع مناسب می‌تواند ارزیابی گزینه‌ها را به‌طور صحیح انجام دهد. انتخاب مکان بهینه برای نیروگاه خورشیدی - حرارتی نیاز به داشتن یک ارزیابی دقیق از مزایا و معایب منطقه مورد مطالعه با توجه به معیارهای موجود دارد؛ زیرا مکان‌یابی نیروگاه فرایند پیچیده‌ای است که ممکن است منجر به نتایج پیش‌بینی نشده‌ای شود. پس از اعمال توابع فازی در لایه‌ها و سپس وزن معیارها، ترکیب لایه‌های اطلاعاتی صورت گرفت. جدول (۷) نشان‌دهنده مساحت مناطق استان یزد با ترتیب اهمیت برای احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی است.

جدول ۷. مساحت مناطق طبقه‌بندی شده استان یزد برای احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی با استفاده از منطق فازی

مناطق بسیار خوب	مناطق خوب	مناطق متوسط	مناطق ضعیف و غیر قابل احداث
۲۷۲۹۹/۵۰ km ²	۲۲۰۳۲/۶۳ km ²	۲۶۴۱۹/۲۴ km ²	۵۲۱۲۰/۱۹ km ²

مأخذ: نتایج تحقیق



شکل ۴. تصویر نقشه طبقه‌بندی شده نهایی پس از حذف مناطق ممنوعه
با استفاده از قاعده فازی جهت احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی در استان یزد

۴-۱-۲. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

تحلیل سلسله مراتبی AHP روشی است که امکان تصمیم‌گیری صحیح با حضور معیارهای کیفی و

کمی و ترکیبی را فراهم می‌کند. پیاده‌سازی AHP در یک تصمیم‌گیری شامل ۳ فاز است:

۱- انجام مقایسه‌های زوجی

۲- محاسبه وزن‌ها

۳- سازگاری سیستم

در مرحله نخست، برای دست‌یابی به هدف مطالعه، معیارها و زیرمعیارهای لازم تدوین شد که قبلاً به صورت جدول ارائه شده است. در مرحله دوم، معیارها و زیرمعیارهای به دست آمده وزن‌دهی شدند. برای تعیین ضریب اهمیت (وزن)، معیارها و زیرمعیارها دو به دو با هم مقایسه شدند، سپس این ضرایب اهمیت در ماتریس مقایسه‌های دودویی معیارها قرار گرفتند. با استفاده از روش تقریبی

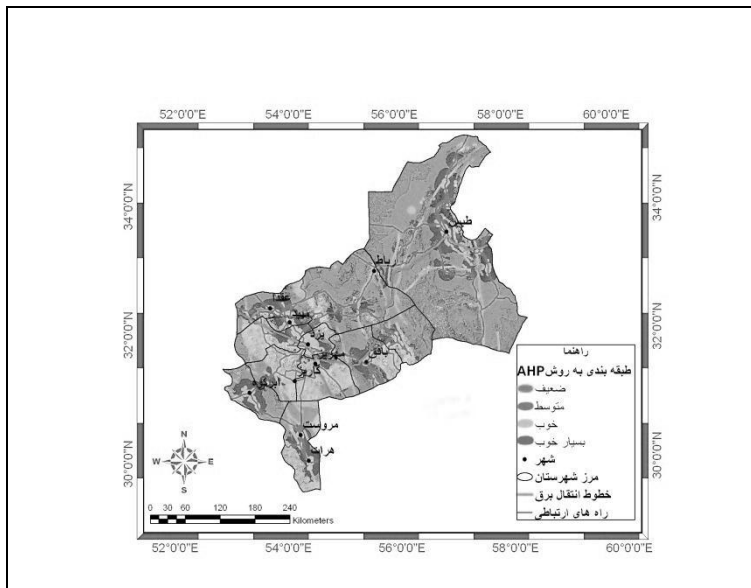
میانگین هندسی، ضرایب اهمیت معیارها که «برابر است با تقسیم میانگین هندسی هر معیار به جمع میانگین‌ها» به دست آمد (زبردست، ۱۳۸۴).

برای وزندهی به معیارها از جدول (۸) با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شده است. برای فضایی کردن اطلاعات در محیط Arc GIS ابتدا برای هر کدام از زیرمعیارها لایه جداگانه‌ای تعریف شد، سپس لایه‌های به دست آمده از زیرمعیارها براساس ضریب اهمیت (وزن) ترکیب شدند و لایه مشترکی برای هر کدام از معیارها به دست آمد (شکل ۵).

جدول ۸. مساحت مناطق طبقه‌بندی شده استان یزد برای احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی با استفاده از روش AHP

مناطق بسیار خوب	مناطق خوب	مناطق متوسط	مناطق ضعیف و غیرقابل احداث
۲۰۱۳۰/۹۲ km ²	۵۱۴۸۹/۹۲ km ²	۱۷۲۵۶/۲۷ km ²	۳۸۹۹۴/۰۰ km ²

مأخذ: نتایج تحقیق



شکل ۵. تصویر نقشه طبقه‌بندی شده نهایی پس از حذف مناطق ممنوعه با استفاده از روش AHP

جهت احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی در استان یزد

۴-۱-۳. مدل منطقی بولین (Boolean Logic)

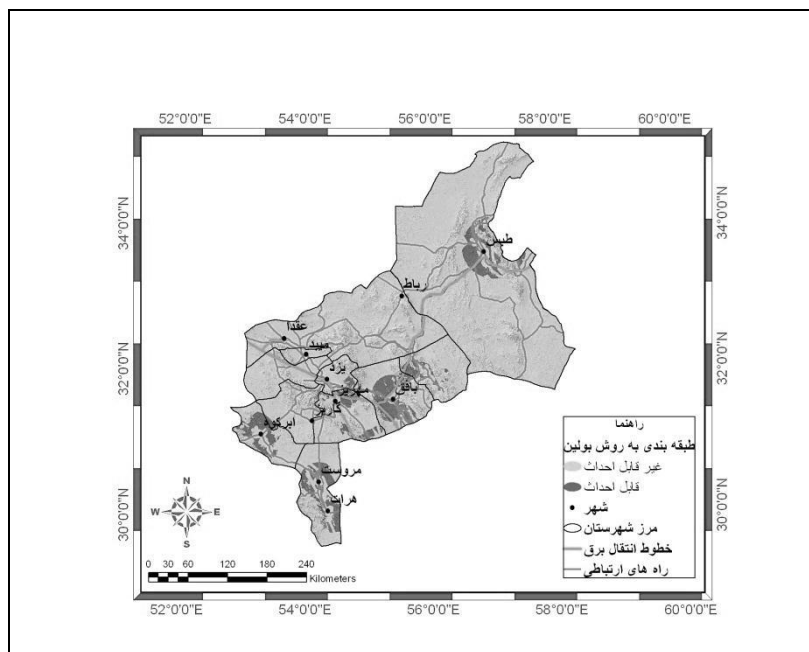
پس از تشکیل لایه‌ها براساس بولین، لایه‌های حاصل با استفاده از عملگر AND به صورت ضرب لایه‌ها در لایه‌های رستری و Intersect (اشتراک) در لایه‌های وکتوری با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در جدول (۹) مساحت مناطق قابل احداث و غیرقابل احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی در استان یزد به روش بولین نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، چون در روش بولین فقط از اشتراک لایه‌ها برای مکان‌یابی بهینه استفاده می‌شود، بیشتر منطقه مورد مطالعه ما قابلیت احداث را از دست می‌دهد.

جدول ۹. مساحت مناطق مناسب و نامناسب استان یزد برای احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی با استفاده از روش بولین

مناطق ضعیف و غیر قابل احداث	مناطق بسیار خوب
۱۱۷۷۱۷/۵۹ km ²	۱۰۱۵۳/۹۶ km ²

مأخذ: نتایج تحقیق

در این روش، مناطق کمتری از کل استان برای احداث نیروگاه مناسب دانسته شده است. نقشه مناطق مناسب و نامناسب حاصل از روش بولین در شکل زیر آمده است (شکل ۶).



شکل ۶ تصویر نقشه‌نمایی روش بولین برای مشخص کردن اهمیت مناطق جهت احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی در استان یزد

۵. ارزیابی و مقایسه روش‌ها

پس از انجام روش‌های مورد نظر برای یافتن نقاط بهینه برای احداث نیروگاه خورشیدی، لازم است با ارزیابی نتایج نهایی هر روش آنها را مقایسه کنیم. نتایج حاصل از روش‌های به کار رفته در برخی موارد مشابه‌اند و در برخی موارد نیز همبستگی پایینی میان آنها وجود دارد. بدین صورت که بیشترین همبستگی مربوط به روش‌های AHP با فازی، و AHP با هم‌پوشانی شاخص با همبستگی ۹۰ درصد؛ و از طرفی کمترین همبستگی بین روش‌های بولین با AHP و بولین با فازی طی مقایسه سلول‌های رستری در نقشه مورد نظر با همبستگی ۳۵ درصد است که نتیجه می‌گیریم روش بولین به دلیل اشتراک‌گیری، کمترین انطباق را از سلول‌های رستری معیارهای ایده‌آل در نقشه نهایی به ما می‌دهد. جدول (۱۰) همبستگی میان روش‌های استفاده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰. همبستگی قواعد تصمیم‌گیری در مشخص نمودن مناطق جهت احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی در استان یزد

AHP	فازی	همپوشانی شاخص	بولین	قاعده تصمیم‌گیری
۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۴۲	۱	بولین
۰/۹۰	۰/۸۲	۱	۰/۴۲	همپوشانی شاخص
۰/۹۰	۱	۰/۸۲	۰/۳۵	فازی
۱	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۳۵	AHP

مأخذ: محاسبات مؤلفان

۵-۱. نتیجه ارزیابی نهایی روش‌ها

با توجه به عدم انطباق قابل قبول بین روش‌ها و اطمینان از صحت و دقت هر روش، لازم است که نتیجه هر روش ارزیابی شود. بنابراین، نتیجه به‌دست آمده از هر روش براساس سه فاکتور اصلی - یعنی مراکز مصرفی، نزدیکی به راه و نزدیکی به خطوط انتقال نیرو - که بیش از ۷۵ درصد وزن‌ها را شامل می‌شوند، ارزیابی شد. بدین صورت که مقدار و درصد انطباق نتایج به‌دست آمده با این سه لایه محاسبه شد و نتیجه این انطباق در جدول‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است.

جدول ۱۱. مقدار انطباق تعداد سلول‌های رستری نتایج به دست آمده با گزینه‌های ایده‌آل سه معیار اصلی

مجموع	نزدیکی به خطوط انتقال نیرو	نزدیکی به مراکز مصرفی	نزدیکی به راه‌های اصلی	قاعده تصمیم‌گیری
۲۱۴۵۷۳۱	۷۳۴۷۲۷	۵۷۵۷۶۶	۸۳۵۲۳۸	بولین
۵۳۲۶۲۳۵	۱۵۲۹۲۹۱	۱۷۳۶۵۳۱	۲۰۶۰۴۱۳	هم‌پوشانی شاخص
۵۵۱۱۵۰۹	۱۹۰۱۸۴۱	۱۲۱۶۷۷۵	۲۳۹۲۸۹۳	فازی
۴۹۹۶۰۹۱	۱۴۰۴۴۳۵	۱۶۷۶۰۷۶	۱۹۱۵۵۸۰	AHP

مأخذ: محاسبات مؤلفان

جدول ۱۲. درصد انطباق قواعد تصمیم‌گیری مختلف با گزینه‌های ایده‌آل سه معیار اصلی

مجموع	نزدیکی به خطوط انتقال نیرو	نزدیکی به مراکز مصرفی	نزدیکی به راه‌های اصلی	قاعده تصمیم‌گیری
۱۲/۴۰	۱۶/۷۰	۱۱/۳۴	۱۰/۶۸	بولین
۳۰/۷۹	۳۴/۷۷	۳۴/۲۰	۲۶/۳۵	هم‌پوشانی شاخص
۳۱/۸۷	۴۳/۲۴	۲۳/۹۶	۳۰/۶۰	فازی
۲۸/۸۹	۳۱/۹۳	۳۳/۰۱	۲۴/۵۰	AHP

مأخذ: محاسبات مؤلفین

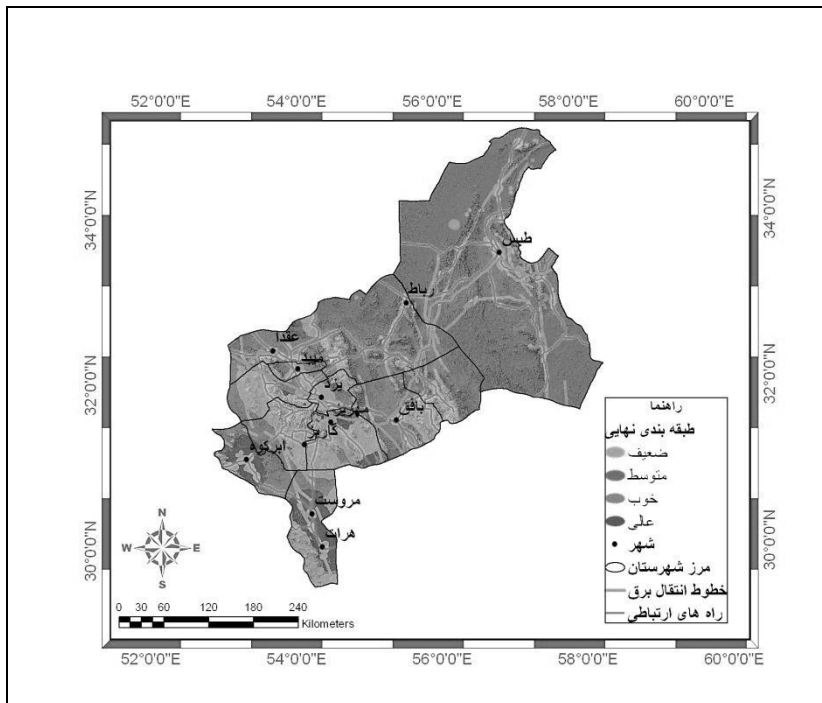
با وجود اختلاف در نتایج برخی روش‌ها و با توجه به درصد انطباق قواعد تصمیم‌گیری مطابق با جدول ۱۲، می‌توان نتیجه روش منطق فازی را بهترین قاعده تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی - حرارتی در استان یزد معرفی کرد.

۶. نتیجه‌گیری

۶-۱. طبقه‌بندی نهایی با استفاده از اطلس تابشی

با توجه به ارزیابی روش‌های صورت گرفته برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی - حرارتی از بین چهار روش، در نهایت با اضافه کردن لایه اطلس تابشی خورشید به نقشه‌ای که از روش منطق فازی حاصل شده بود طبقه‌بندی نهایی صورت گرفت (شکل ۷) و مساحت مناطق اولویت‌دار مشخص شد (جدول ۱۳).

با توجه به آمار و اطلاعات نیروگاه‌های احداث شده در نقاط مختلف دنیا، برای احداث یک نیروگاه خورشیدی - حرارتی از نوع سهموی، خطی به ازای تولید هر مگاوات ساعت انرژی الکتریکی، به طور متوسط به ۶۶۰۰ مترمربع زمین نیاز است.



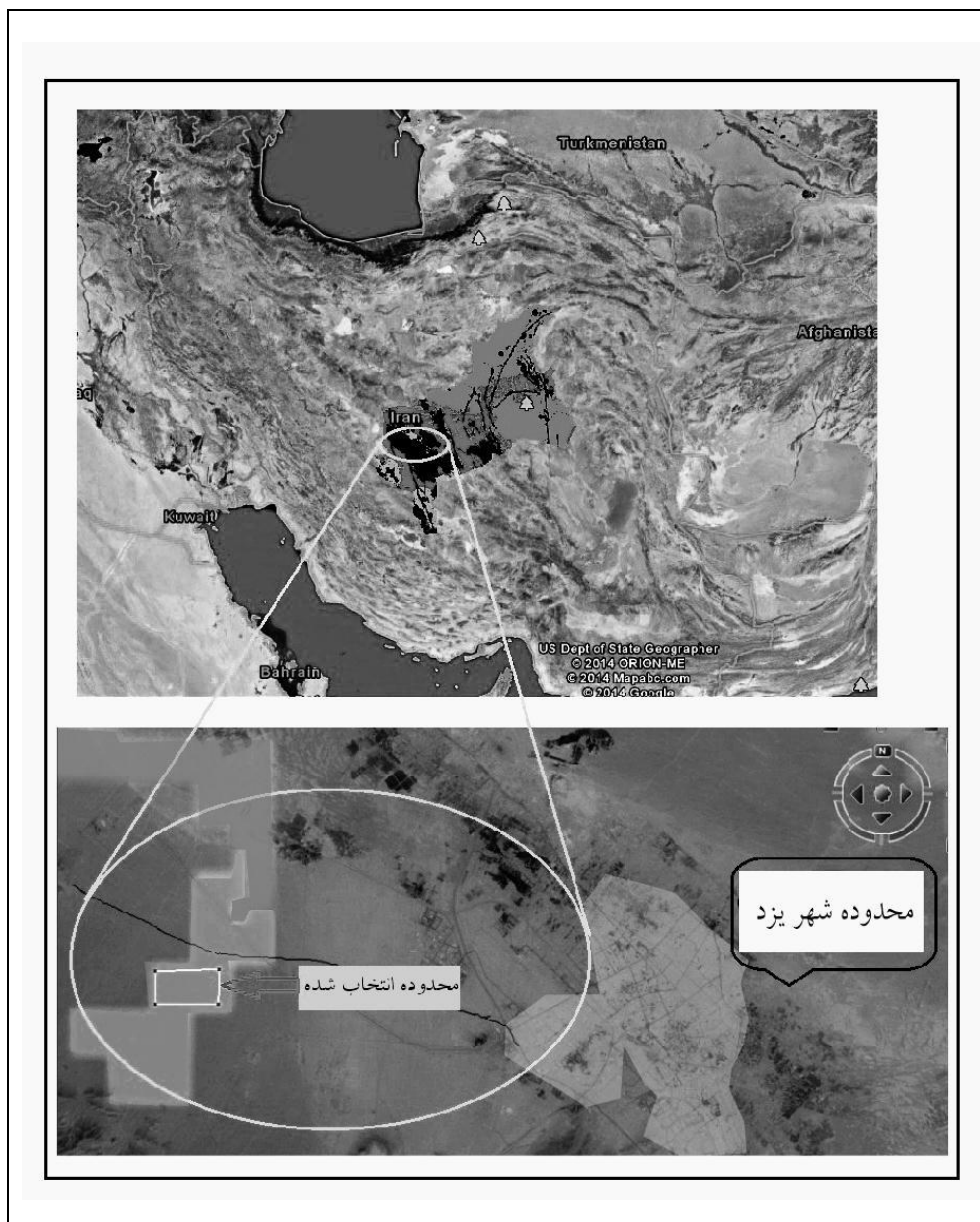
شکل ۷. تصویر نقشه نهایی اولویت‌بندی مناطق جهت احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی در استان یزد

جدول ۱۳. مساحت مناطق طبقه‌بندی شده نهایی استان یزد برای احداث نیروگاه خورشیدی - حرارتی

مناطق بسیار خوب	مناطق خوب	مناطق متوسط	مناطق ضعیف و غیرقابل احداث
۴۹۳۷/۸۸ km ²	۳۵۸۵۹/۷۶ km ²	۴۸۳۵۶/۱۵ km ²	۳۸۷۱۷/۷۶ km ²

مأخذ: نتایج تحقیق

در نهایت، جهت مشاهده درستی روش انجام کار، با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث، نقشه تهیه شده صحت‌سنجی شد.



شکل ۸. مشاهده نقشه نهایی بر روی نرم افزار گوگل ارث

محدوده مورد نظر شامل مساحتی حدود ۵ کیلومتر مربع است. این محدوده به این سه معیار نزدیک است: مراکز مصرفی، خطوط انتقال نیرو، و راه‌های ارتباطی. علاوه بر این، نزدیکی به شهرک صنعتی مزیتی بر این امر است. فاصله با شهر یزد (مرکز جمعیتی) حدود ۱۳ کیلومتر و کاربری اراضی این منطقه از نوع زمین بایر و فاقد پوشش گیاهی است.

منابع

- اسفندیاری، ع.؛ رنگزن، ک.؛ صابری، ع. و م. فتاحی مقدم (۱۳۹۰)، "پتانسیل سنجی احداث نیروگاه خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با سامانه اطلاعات جغرافیایی"، همایش ملی ژئوماتیک.
- اصغری‌پور، م. (۱۳۸۱)، تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران.
- جی لاند، پیتر (۱۹۸۶)، مهندسی گرما خورشیدی، ترجمه ح. پناهنده، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- حاج سقطی، ا. (۱۳۹۰)، اصول و کاربرد انرژی خورشیدی، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت.
- حلی‌ساز، ا.؛ آذرنیوند، ح.؛ اکرمی، م.؛ مهدوی، م. و ع. مهرابی (۱۳۹۰)، "بررسی روش شناختی مقیاس در مطالعات محیطی"، پژوهش‌های محیط زیست، شماره ۳، صص ۳۵-۴۸.
- حیدری، م. (۱۳۸۸)، "مکان‌یابی ساخت نیروگاه‌های خورشیدی در ایران"، نشریه نفت و انرژی، شماره ۴۹، صص ۲۷-۳۴.
- زبردست، ا. و ع. محمدی (۱۳۸۴)، "مکان‌یابی مراکز امداد رسانی (در شرایط وقوع زلزله) با استفاده از GIS و روش ارزیابی چند معیاری"، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۲۱.
- علیجانی، ب. و م. کاویانی (۱۳۸۶)، مابنی آب و هواشناسی، تهران: سمت.
- کمانگر، م. (۱۳۹۲)، اجرای تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی برای احداث نیروگاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان.
- مالچفسکی، ی. (۱۹۹۹)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاره، ترجمه ا. پرهیزکار؛ غفاری، ع و گیلانده، تهران، سمت.
- هاشمی، م. و م. کرونلی (۱۳۹۱)، خورشید انرژی پاک، تهران: انتشارات کیان رایانه سبز.

- Amador. Dominguez, J.j (2005) "*Application of Geographical Information Systems to Rural Electrification with Renewable Energy Sources*", *Renewable Energy*, Vol.30, pp. 1897-1912.
- Ashjaee, Roomina; Ghafouri, M.M.A(2006) "*Estimating Solar Radiation on Tilted Surfaces with Various Orientations*", a study case in Karaj (Iran),*Theoretical and Applied Climatology*,Vol.84, pp. 235-241.
- Broesamle, Mannstein & H.H.C, Schillings (2001) "Assessment of Solar Electricity Potentials in North Africa Based on Satellite Data And A Geographic Information System", *Solar Energy*, Vol. 85, pp. 839–848.
- Beheshtifar, Sara (2010), "Using Fuzzy Logic in GIS Space for Positioning of Gas Plants", *Journal of Civil Engineering of Mapping*, faculty of engineering. Vol.44, pp. 583-595.
- Bravo, Casals & X.J.I, Pascua (2007) "GIS Approach to the Definition of Capacity and Generation Ceilings of Renewable Energy Technologies", *Energy Policy*, vol.35, pp. 4879–4892.
- Breyer, knies & Gerhard, Christian (2009), "Global Energy Supply Potential of Concentrating Solar Power", *Solarpaces*, Vol. 9, pp.15-18.
- Charabi, Gastli (2011), "A.Y, PV Site Suitability Analysis, Using GIS-based Spatial Fuzzy Multi-criteria Evaluation", *Renewable Energy*, Vol. 36, pp. 2554-2561.
- Chen, R.; Ersi, K.; Yang, J.; S. Lu. and Zhao, W. (2004), "Validation of Five Global Radiation Models with Measured Daily Data in China", *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, pp. 1759-1769.
- Dawson, Schlyter & Peter, Lucas (2012), *Less is more: Strategic Scale Site Suitability for Concentrated Solar Thermal Power in Western Australia*, Vol.47, pp. 91-101
- Fluri, T.P (2009), "The Potential of Concentrating Solar Power in South Africa", *Energy Policy*, Vol. 37, pp. 5075-5080.
- Janke,Jason (2010) "Multicriteria GIS Modeling of Wind and Solar Farms in Colorado", *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 2228-2234.
- NASA Surface meteorology and Solar Energy: Available Tables, <http://eosweb.larc.nasa.gov>.
- Tiris, M; Tiris , C. & Y., Erdalli (1997), "Water Heating System by Solar Energy", *Marmara research centre, Institute of Energy systems and environmental research*, NATO-TU-COA TING, Gebze, Turkey.