

ارزیابی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ با بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی (GIS)، روش‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و TOPSIS (مطالعه موردی: استان کربلا، کشور عراق)

احمد طیار^۱، محمدتقی رضوان^{۲*}، حامد هاشمی دزکی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم انسانی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

altaiar99@gmail.com

^۲ استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

rezvan@kashanu.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

hamed.hashemi@kashanu.ac.ir

چکیده: این مقاله به مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به‌عنوان یک ابزار ترکیبی مناسب می‌پردازد. در روش پیشنهادی با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و قیود مختلف همچون عوارض طبیعی و غیرطبیعی با GIS می‌توان فضای شدنی منطقه مورد مطالعه را تعیین کرد. پس از تعیین معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری مکان‌های نیروگاه‌های خورشیدی اعم از شدت تابش، دما، شیب زمین و...، اهمیت هر معیار با استفاده از نظریات خبرگان با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین می‌شود. در نهایت با استفاده از روش‌های TOPSIS و همپوشانی وزن‌دار مناسب بودن GIS، دسته‌بندی مناطق مختلف ناحیه شدنی از نظر میزان پتانسیل احداث نیروگاه خورشیدی صورت می‌گیرد. برای نشان دادن مزایای کاربردی روش پیشنهادی، استان کربلا به‌عنوان یک مطالعه موردی عملی انتخاب شده است. اگرچه کشور عراق پتانسیل بالایی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی دارد، مطالعات امکان‌سنجی فنی و اقتصادی و مکان‌یابی این نوع نیروگاه‌ها در این کشور انجام نشده است. از این رو، انتخاب مطالعه موردی این مقاله از دیدگاه عملیاتی و کاربردی حائز اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، نیروگاه‌های خورشیدی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، روش TOPSIS، روش همپوشانی وزن‌دار.

۱. مقدمه

تولید و مصرف انرژی نیز به‌عنوان بزرگ‌ترین عامل در گرمایش جهانی شناخته شده است که حدود دوسوم از گازهای گلخانه‌ای جهانی در فعالیت‌های انسانی را شامل می‌شود [۱]. این پدیده نه تنها باعث تغییر آب‌وهوا و همچنین به‌صورت تدریجی منجر به تغییرات در زمان وقوع فصل‌های سال می‌شود، بلکه آلودگی و اثرات منفی زیست‌محیطی را به دنبال دارد. در نتیجه، برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد^۱ (UNEP) و سازمان جهانی هواشناسی^۲ (WMO)، کارگروه بین‌دولتی را بر اساس تغییر آب‌وهوا^۳ (IPCC) با هدف تقویت سیاست‌های حمایتی جهانی ایجاد کردند. در اوایل قرن ۲۱، مراکز ایجاد انرژی تجدیدپذیر با تکیه بر استراتژی‌های توسعه پایدار ایجاد شد تا سیاست‌های مختلف اتحادیه اروپا را در زمینه انرژی اجرایی کند. منابع تجدیدپذیر، منابع انرژی پایدار و قابل اعتمادی هستند؛ زیرا از یک سو، بهترین جایگزین برای سوخت‌های فسیلی بوده و از سوی دیگر، یکی از راه‌های رسیدن به توسعه جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی در دنیای امروزی هستند [۲].

کشور عراق، شرایط ویژه‌تری نسبت به سایر کشورهای توسعه‌یافته یا در حال توسعه دارد که توجه ویژه‌ای به انرژی‌های تجدیدپذیر برای توسعه پایدار را در این کشور می‌طلبد. پس از نظام دیکتاتوری صدام، این کشور با چالش‌های مختلفی در زمینه تولید و تقاضای انرژی برق روبه‌رو شده است که یکی از این چالش‌ها، افزایش قدرت خرید افراد ناشی از رشد اقتصادی بوده و در نتیجه خانوارها از دستگاه‌های برقی بیشتری نسبت به دوره قبل از سقوط نظام دیکتاتوری استفاده کردند [۳].

با توجه به برخورداری از پتانسیل مطلوب و مناسب انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور عراق، توسعه منطقی این منابع ارزشمند و خدادادی موجه به نظر می‌رسد؛ زیرا از این طریق می‌توان در جهت اهداف توسعه پایدار گام برداشت. حداکثر تقاضای برق در کشور عراق ۱۶۴۱۶ مگاوات بوده که میزان ۲۲۰۱ مگاوات از این مقدار وارداتی و ۹۷۶۱ مگاوات تولیدی است و سهم عمده‌ای از آن، هنوز برآورد نشده است [۴]. استان کربلا کمبود ظرفیت تولید انرژی برق به دلیل عدم وجود زیرساخت‌های بخش نیروگاهی برق را با وجود افزایش مصرف برق تجربه می‌کند. همچنین این استان فاقد منابع نفتی بوده و با توجه به مشخصات مناسب انرژی‌های تجدیدپذیر، در صورت سرمایه‌گذاری در این حوزه، شرایط بهتری نسبت به توسعه

انرژی‌های تجدیدناپذیر یعنی سوخت‌های فسیلی خواهد داشت. لذا مطالعه برای توسعه و ایجاد زیرساخت‌های تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و به‌ویژه انرژی برق خورشیدی ضروری به نظر می‌رسد. ساختار سایر بخش‌های مقاله بدین شرح است: در بخش دوم، پیشینه پژوهش‌های مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در مطالعات داخلی ایران با توجه به همسایگی با کشور عراق و مطالعات خارجی در سایر نقاط دنیا مرور می‌شود. بر اساس مطالعه پیشینه پژوهش، محدودیت‌ها و معیارهای مختلف در نظر گرفته شده استخراج شده و برای این پژوهش مورد استفاده قرار خواهد گرفت. بخش سوم به روش‌شناسی این مطالعه پرداخته و ضمن ارائه الگوریتم انجام کار، توضیحات مختصری در زمینه GIS، روش‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، TOPSIS و همپوشانی وزن‌دار تحلیل مناسب بودن GIS ارائه شده است. در بخش چهارم، ضمن معرفی استان کربلا به‌عنوان مطالعه موردی، لایه‌های محدودیت و معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی نیز تشریح می‌شوند. در ضمن نتایج حاصل بخش‌بندی مناطق مختلف استان کربلا از نظر پتانسیل سنجی احداث نیروگاه خورشیدی در این فصل ارائه می‌شود. در نهایت بخش پنجم به نتیجه‌گیری می‌پردازد.

۲. پیشینه پژوهش

بیشتر مطالعات صورت گرفته برای مکان‌یابی نیروگاه‌ها یا مزارع خورشیدی بر پایه سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی بوده است. بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از GIS، مناطق یا نواحی شدنی بر اساس انواع عوارض طبیعی و غیرطبیعی تعیین شده و سپس با بهره‌گیری از یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، مکان‌های مناسب احداث نیروگاه‌های خورشیدی مشخص و اولویت‌بندی می‌شوند.

هر عارضه طبیعی یا غیرطبیعی را که مانع احداث یک مجموعه در یک مکان می‌شود، می‌توان محدودیت نامید. اما معیار، ویژگی یا مشخصه‌ای است که برای مکان‌یابی و ایجاد هر نوع تسهیل در منطقه‌ای به کار برده می‌شود (پتانسیل تابش خورشیدی، دسترسی به جاده‌ها و...) که توسط کارشناسان مرتبط در زمینه مورد مطالعه و یا با بررسی ادبیات زمینه مورد نظر تعیین می‌شود. رحیمی و همکاران [۵] برای احداث نیروگاه خورشیدی از روش فازی‌سازی لایه‌های جغرافیایی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^۴ و تهیه نقشه پارامترای اقلیمی در محیط GIS استفاده کرده‌اند. تقوایی و صبوحی [۶] در مطالعه خود برای اولویت‌بندی مکانی نیروگاه خورشیدی، ابتدا به کمک روش TOPSIS، معیارها را ارزیابی و وزن‌دهی کردند. سپس

1. United National Environmental Plan (UNEP)

2. World Climate Organization (WMO)

3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

4. Analytic Hierarchy Process (AHP)

زیرساخت‌ها تقسیم‌بندی شده‌اند. پس از وزندهی عوامل و تهیه نقشه‌های فازی، تلفیق نقشه‌ها با انتخاب عملگر مناسب فازی انجام شده که نتیجه حاصل نقشه نهایی مکان‌های مناسب است. اسفندیاری و همکاران [۱۳] ابتدا عوامل مؤثر بر احداث نیروگاه خورشیدی را بررسی و سپس نقشه‌های هر یک از عوامل در محیط نرم‌افزار GIS تهیه و در نهایت به روش همپوشانی وزن‌دار^۴ را با دیگر نقشه‌ها تلفیق کردند. صادقی و همکاران [۱۴] با استفاده از مدل ترکیب خطی وزن‌دار، در محیط GIS به مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی پرداختند. برای وزندهی معیارها از روش AHP استفاده کردند. نقشه مطلوبیت بعد از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به دست آمد که مناطق مناسب برای نیروگاه خورشیدی را تعیین می‌کند. فنگ و همکاران [۱۵] یک رویکرد یکپارچه مبتنی بر نظریه انتظار^۵ (پیش‌بینی) برای انتخاب مکان‌های پایدار نیروگاه‌های فتوولتائیک در کشور چین ارائه کردند. مرونی و همکاران [۱۶] با ترکیب GIS و AHP به انتخاب مکان‌های نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقیاس بزرگ برای مراکز شرقی پرداختند. همچنین مرونی و همکاران [۱۷]، با ترکیب GIS و AHP، مناطق مناسب مراکز شرقی برای میزبانی نیروگاه خورشیدی متمرکز^۶ در مقیاس بزرگ را بررسی کردند. این نیروگاه‌ها نیاز به سیستم‌های خنک‌کننده دارد، بنابراین مناطق مناسب به دو روش خنک‌کننده (خشک و مرطوب) ارزیابی شدند. وزن معیارها بر اساس مطالعه ادبیات و نظریات کارشناسان و با روش AHP به دست آورده شد. نتیجه این پژوهش شامل دو نقشه اولویت‌بندی مناطق برای نیروگاه‌های خورشیدی متمرکز و سیستم‌های خنک‌کننده است که کشور مراکش را به پنج دسته نامناسب، حاشیه مناسب، نسبتاً مناسب و بسیار مناسب تقسیم می‌کند. القرنی و الأواستی [۱۸] یک تجزیه و تحلیل چهارمرحله‌ای برای تسهیل تصمیم‌گیری انتخاب سایت مزرعه‌های خورشیدی ارائه کردند که این مراحل عبارت‌اند از: مرحله اول، روش AHP فازی برای وزندهی معیارها نسبت به یکدیگر؛ مرحله دوم، ارزیابی سایت‌های نامزد با استفاده از رویکرد پوشش مجموع وزنی در نرم‌افزار ArcGIS؛ مرحله سوم، حذف سایت‌های نامناسب از ترکیب تمام محدودیت‌ها؛ مرحله پایانی، رسیدن به تمام مکان‌های مناسب و اولویت‌بندی آنها برای فرایند انتخاب نیروگاه‌های خورشیدی بالقوه. عسکری و همکاران [۱۹] از روش منطق فازی و توابع عضویت فازی برای ایجاد لایه‌های معیار در محیط GIS و از روش AHP برای اندازه‌گیری معیارهای تکنولوژیکی و زیست‌محیطی

اطلاعات مورد نیاز از سازمان هواشناسی در بازه زمانی ۲۰ساله را استخراج کرده و برای آماده‌سازی لایه‌ها در نرم‌افزار GIS و تهیه نقشه اولویت‌بندی اقلیمی مورد استفاده قرار داده‌اند. لحمیان [۷] مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی را در چندین مرحله انجام داده که عبارت‌اند از: تشکیل ماتریس مقایسات زوجی معیارها با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)^۱، وزندهی لایه‌های اطلاعاتی بر اساس اولویت معیارها، همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی و در نهایت طبقه‌بندی لایه اطلاعاتی نهایی حاصل از روش TOPSIS و استفاده آن در محیط GIS برای طبقه‌بندی مناطق کاملاً مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب. احمدی و همکاران [۸] ۱۲ شاخص را به‌عنوان معیار و محدودیت بررسی کرده‌اند. میزان تأثیر هر یک با استفاده از روش AHP تعیین شده و در نهایت، با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف و اعمال محدودیت‌ها، محدوده مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی تعیین شد. گرجی و همکاران [۹] برای تدوین نقشه نهایی مکان‌های مناسب نیروگاه‌های خورشیدی، داده‌های اقلیمی را به‌عنوان ورودی نرم‌افزار GIS برای تولید نقشه‌های پایه (لایه‌های معیارها) استفاده کردند. سپس این لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی به لایه‌های فازی در محیط نرم‌افزار IDRISI تبدیل شدند. با تشکیل ماتریس مقایسات زوجی معیارها برای ارزش و اهمیت آنها، لایه‌های فازی شده توسط روش AHP، وزن‌دار شده و در نهایت با اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده معیارها، نقشه نهایی مکان‌های مناسب نیروگاه‌های خورشیدی به دست آمد. نوحه‌گر و همکاران [۱۰] ابتدا معیارهای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی را شناسایی و از سه دیدگاه اقتصادی، زیست‌محیطی و فرهنگی اجتماعی با استفاده از AHP رتبه‌بندی کردند. سپس تمام لایه‌های محدودیت را با استفاده از ابزار GIS و عملگرهای آن، از نقشه خروجی کم کرده و در نهایت با اعمال روش TOPSIS، اولویت‌بندی گزینه‌ها صورت گرفت. صادقی و همکاران [۱۱] از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره همچون AHP، TOPSIS، میانگین وزن‌دار ساده و روش‌های تلفیقی تصمیم‌گیری چند معیاره شامل روش میانگین رتبه‌ها، بردا^۲ و کپلند^۳ برای احداث نیروگاه خورشیدی استفاده کردند. همچنین نرم‌افزار GIS را برای شناسایی مناسب‌ترین مکان برای احداث نیروگاه بادی در استان کرمان بکار بردند. یوسفی و همکاران [۱۲] با بررسی نتایج مطالعات مکان‌یابی، مجموعه‌ای از عوامل را معرفی کردند که در پنج دسته فیزیکی، زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی، فنی و ایمنی و

4. Weighted Overlay
5. Prospect Theory
6. Concentrating Solar Power (CSP)

1. Analytic Network Process (ANP)
2. BORDA
3. COPLAND

وزن‌دهی کردند. سان و همکاران [۲۸] یک روش دومرحله‌ای ارائه کردند که در مرحله اول، پتانسیل جغرافیایی و فنی بهره‌برداری از منابع انرژی خورشیدی مناطق با کمک توابع تجزیه و تحلیل فضایی نرم‌افزار GIS سنجش شده است و در مرحله دوم، ارزیابی اقتصادی برای تولید انرژی برق از طریق فتوولتائیک انجام شده که سطح هزینه برای تولید انرژی برق بر اساس پتانسیل فنی منطقه مورد مطالعه را محاسبه می‌کند.

این مقاله به ارزیابی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ در استان کربلا، یکی از استان‌های مهم و پرجمعیت کشور عراق در خاورمیانه می‌پردازد. برای انجام این کار از GIS استفاده می‌شود تا یک پایگاه داده شامل مناطق شدنی و قابل قبول برای احداث نیروگاه برای ارزیابی فراهم شود و در نهایت، با استفاده از روش‌های MADM و امکانات GIS، اولویت‌بندی نواحی مختلف ناحیه شدنی صورت می‌گیرد.

۳. روش‌شناسی

در این بخش، ابتدا اهداف و پرسش‌های پژوهش معرفی شده و ضمن پرداختن به روش پژوهش، ابزارهای مورد استفاده به صورت مختصر معرفی می‌شوند.

۱.۳. اهداف

از آنجایی که استان کربلا دارای تابش بیشتر از میانگین جهانی انرژی تابشی خورشیدی است، این استان در کشور عراق برای اولویت‌بندی مکان‌های ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی انتخاب شده است. این پژوهش، دو هدف اصلی و فرعی را محقق می‌سازد. هدف اصلی عبارت است از اولویت‌بندی مناطق شدنی استان کربلا برای احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی در مقیاس بزرگ و افزایش کارایی نیروگاه‌های برق خورشیدی در کربلا. همچنین ایجاد یک پایگاه داده اولیه به وسیله سیستم اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) برای شروع و پشتیبانی در تصمیم‌گیری مکان‌یابی انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در استان کربلا، هدف فرعی پژوهش است.

۲.۳. پرسش‌های پژوهش

این مقاله به پاسخ‌دهی به دو پرسش می‌پردازد: ۱. آیا نقاط مختلف استان کربلا پتانسیل یکسانی برای تولید انرژی خورشیدی را دارند؟ به عبارت دیگر، آیا می‌توان مناطق مختلف استان کربلا را از دیدگاه تولید انرژی خورشیدی دسته‌بندی کرد؟ ۲. کجا می‌توان بیشترین میزان پتانسیل انرژی خورشیدی را با توجه به محدودیت‌ها و معیارها در استان کربلا به دست آورد؟

و همچنین تهیه نقشه نهایی برای تعیین مناسب بودن مناطق به‌عنوان مزارع خورشیدی استفاده کردند. علی و همکاران [۲۰] از GIS همراه با AHP برای شناسایی نقاط بالقوه نیروگاه‌های برق خورشیدی در مقیاس‌های بزرگ استفاده شده است. نتیجه روش آن‌ها، نقشه نهایی اولویت‌بندی مناطق مناسب در پنج دسته مناسب‌ترین، مناسب، نسبتاً مناسب، حداقل مناسب و حذف‌شده برای نیروگاه‌های فتوولتائیک و انرژی خورشیدی متمرکز است. یوشچنکو و همکاران [۲۱] با استفاده از GIS و تصمیم‌گیری چندمعیاره به مطالعه برآورد پتانسیل جغرافیایی و فنی تولید برق از طریق انرژی خورشیدی در مناطق روستایی غرب آفریقا پرداختند که دو فرصت تولید را برای سیستم‌های خورشیدی متصل به شبکه برق در مقیاس بزرگ (فتوولتائیک و انرژی خورشیدی متمرکز) و سیستم‌های غیرمتصل به شبکه برق فتوولتائیک را بررسی کردند. ذوقی و همکاران [۲۲] از روش AHP و روش ترکیب خطی وزنی^۱ برای تعیین وزن معیارها و ارزیابی پتانسیل و امکان‌پذیری نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق مختلف اصفهان استفاده کردند. تابش خورشیدی روزانه استفاده شده است. لی و همکاران [۲۳] یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب مناسب‌ترین مکان نیروگاه‌های فتوولتائیک ارائه کردند. از ANP فازی برای تحلیل شبکه ایجاد شده و تعیین وزن زیرمعیارها و از ویکور برای تعیین رتبه مکان‌های نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک بهره گرفتند. سامانلیگلو و آیاگ [۲۴] یک رویکرد ترکیبی برای ارزیابی مکان‌های نیروگاه‌های خورشیدی در ترکیه ارائه کردند که در آن، از AHP فازی برای تعیین اوزان معیارها و از پرامته II^۲ برای رتبه‌بندی مکان‌های نیروگاه‌های خورشیدی با توجه به معیارها استفاده کردند. مرونی و همکاران [۲۵] ظرفیت منطقه شرقی مراکش را برای احداث مزارع فتوولتائیک مورد بحث و بررسی قرار دادند و فقط معیار تابش خورشیدی به‌عنوان معیار در نظر گرفتند. سانچز و همکاران [۲۶] از GIS برای ارزیابی موقعیت بهینه نیروگاه خورشیدی استفاده کردند. در فرایند انتخاب بهترین گزینه‌ها، مجموعه‌ای از معیارها کمی و کیفی در نظر گرفتند و برای تعیین وزن این معیارها از روش AHP استفاده کردند. گزینه‌ها با استفاده از روش TOPSIS فازی ارزیابی شدند. زیوکیو و همکاران [۲۷] با استفاده از داده‌های ۱۷ ایستگاه هواشناسی، کشور زیمبابوه را در سه منطقه مناسب، در حد متوسط و نامناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی اولویت‌بندی کردند؛ بدین ترتیب که با استفاده از یک رابطه ریاضی، تابش خورشیدی سراسری در این کشور محاسبه و با استفاده از روش AHP، معیارهایی همچون تابش خورشیدی و کاربری اراضی

1. Weighted Linear Combination (WLC)
2. PROMETHEE II

۳.۳. روش پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی تحلیلی است. اطلاعات این پژوهش کمی بوده که برخی از آن‌ها، از نوع کتابخانه‌ای و برخی از نوع میدانی هستند. مبانی نظری پژوهش بر اساس مطالعات اسنادی کتابخانه‌ای انجام می‌شود.

این مقاله با بهره‌گیری از GIS، بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل یک مسئله مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی را فراهم می‌سازد. مکان استقرار نیروگاه‌های خورشیدی می‌تواند اقتصادی بودن آن‌ها را تحت الشعاع قرار دهد؛ لذا برای تعیین مکان‌های بالقوه استقرار نیروگاه خورشیدی، یافتن یک فضای شدنی از نظر محدودیت‌های عوارض طبیعی و غیرطبیعی، شرط اولیه خواهد بود. تعیین مکان‌های مناسب، منوط به لحاظ کردن معیارهای فنی اعم از شدت تابش خورشیدی، میانگین دما، شیب زمین، فاصله از جاده‌ها، فاصله از ترانسفورماتورها، فاصله از خطوط انتقال نیرو و فاصله از نقاط بار است. داده‌های GIS، از جمله داده‌های عوارض طبیعی و غیرطبیعی، نقاط بار، شیب زمین و داده‌های سالیانه از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه و همچنین شناسایی معیارهای تأثیرگذار بر احداث نیروگاه‌های خورشیدی از نوع کتابخانه‌ای است که در قالب نقشه‌های جغرافیایی از سازمان‌هایی که آن‌ها را در اختیار دارند دریافت می‌شوند. پس از شناسایی معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی، وزن‌دهی آن‌ها با نظریات متخصصان و اساتید دانشگاه در حوزه نیروگاه‌ها تعیین شد.

محدودیت‌هایی وجود دارد که یک منطقه را برای احداث نیروگاه خورشیدی غیرقابل قبول می‌کند. برای دستیابی به هدف مشخص کردن فضای شدنی برای احداث نیروگاه‌های مقیاس بزرگ، GIS ابزار بسیار مناسبی است؛ زیرا نه تنها می‌تواند اطلاعات را تحلیل کند، بلکه به کاربر این توانایی را می‌دهد تا یک پایگاه داده جامع ایجاد نماید که به‌عنوان نقطه شروع سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری عمل کند. علاوه بر تعیین مکان‌های شدنی، باید اولویت‌بندی مکان‌های شدنی برای احداث نیروگاه خورشیدی نیز مشخص شود. از این رو برای به‌دست‌آوردن ارزش (وزن) معیارهای مناسب بودن مکان‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها از AHP و برای ارزیابی گزینه‌ها از روش‌های TOPSIS و همپوشانی وزن‌دار تحلیل مناسب بودن GIS استفاده می‌شود. در جدول (۱)، ابزارهای گردآوری و تحلیل داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بیان شده است. همچنین شکل (۱) روندنمای نشان‌دهنده چگونگی ارتباط روش‌های مورد استفاده در این مقاله را نشان می‌دهد. پرسشنامه دربرگیرنده معیارهای اولویت‌بندی است. ۸۰ پرسشنامه

به‌صورت کتبی و ایمیلی برای ۸۰ نفر از خبرگان شامل کارشناسان، متخصصان و استادان دانشگاه در زمینه نیروگاه‌های خورشیدی ارسال شد. با پیگیری‌های انجام‌شده، هشت پرسشنامه تکمیل شده شامل تعیین وزن معیارهای مختلف مؤثر دریافت شد. در نهایت نیز وزن‌های نهایی معیارهای مناسب بودن مکان احداث نیروگاه‌های خورشیدی بر اساس جامعه و نمونه اشاره‌شده با استفاده از روش AHP انجام شد. از آنجایی که پرسشنامه باید توسط متخصصان در حوزه نیروگاه‌های خورشیدی تکمیل شود، انتخاب جامعه مورد بررسی و حجم نمونه اطمینان کافی را حاصل می‌کند. همچنین بر اساس اطلاعات ارائه‌شده در مراجع مشابه در این زمینه مانند [۲۶]، تکمیل پرسشنامه توسط سه خبره نیز کفایت می‌کند. همچنین اطلاعات مربوط به گزینه‌ها که در روش TOPSIS یا همپوشانی وزن‌دار استفاده شده، نیز بر اساس نقشه‌های جغرافیایی است.

جدول (۱): ابزار گردآوری و تحلیل داده‌های مورد استفاده

ردیف	نام ابزار	ابزار گردآوری	ابزار تحلیل داده
۱	پرسشنامه	✓	---
۲	استفاده از اطلاعات موجود شامل نقشه‌های GIS، قوانین و مقررات کشور عراق و ...	✓	---
۳	نرم‌افزار GIS	---	✓
۴	روش AHP	---	✓
۵	روش TOPSIS	---	✓
۶	روش همپوشانی وزن‌دار در GIS	---	✓

۴.۳. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)

سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی، سامانه‌ای کامپیوتری است که به تولید، پردازش، تحلیل و مدیریت داده‌ها و اطلاعات جغرافیایی می‌پردازد. به عبارت دیگر "GIS" یک سامانه کامپیوتری برای مدیریت و واکاوی اطلاعات جغرافیایی بوده که توانایی گردآوری، ذخیره، واکاوی و نمایش اطلاعات جغرافیایی را دارد [۲۹]. برای حل مسئله تعریف‌شده در این مقاله، از نسخه ArcGIS استفاده خواهد شد. دلیل این انتخاب، افزایش استفاده از آن در سال‌های اخیر است که به آن درجه بالایی از قابلیت اطمینان، ثبات و جافتاگذاری را می‌دهد.

۵.۳. روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) را اولین بار توماس ساعتی ابداع کرد [۳۰]. این روش بر مقایسات زوجی استوار است. از این روش، برای وزن‌دهی معیارهای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی استفاده می‌شود. در هر مقایسه می‌توان برتری یک معیار را نسبت به معیار دیگر با استفاده از گزینه‌های نمایش داده‌شده در جدول (۲) نشان داد.

۶.۳ روش TOPSIS

روش TOPSIS روشی برای رتبه‌بندی بر اساس شباهت با یک جواب ایدئال است. این روش را اولین بار وانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ابداع کردند [۳۱]. روش تاپسیس فاصله بهترین جواب و بدترین جواب را با در نظر گرفتن نزدیکی مینی بر جواب بهینه، به طور همزمان در نظر می‌گیرد. روش TOPSIS با کمک ماتریس تصمیم نرمال‌شده مطابق رابطه (۲) عملیاتی می‌شود.

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,n \& j=1,2,\dots,n \quad (2)$$

سپس ماتریس تصمیم وزن‌دار با کمک رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$V_{ij} = \bar{X}_{ij} \times W_j \quad (3)$$

ایدئال مثبت و ایدئال منفی نیز از رابطه‌های (۴) و (۵) تعیین می‌شود.

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_i^+\} = \{(Max_j v_{ij}, i \in I) (Min_j v_{ij}, i \in I')\} \quad (4)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_i^-\} = \{(Min_j v_{ij}, i \in I) (Max_j v_{ij}, i \in I')\} \quad (5)$$

با استفاده از فرمول فاصله اقلیدسی، فاصله هر گزینه از ایدئال مثبت بر اساس رابطه (۶) و فاصله ایدئال منفی بر اساس رابطه (۷) به دست می‌آید.

$$D_j^+ = \left[\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2 \right]^{0.5} \quad (6)$$

$$D_j^- = \left[\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2 \right]^{0.5} \quad (7)$$

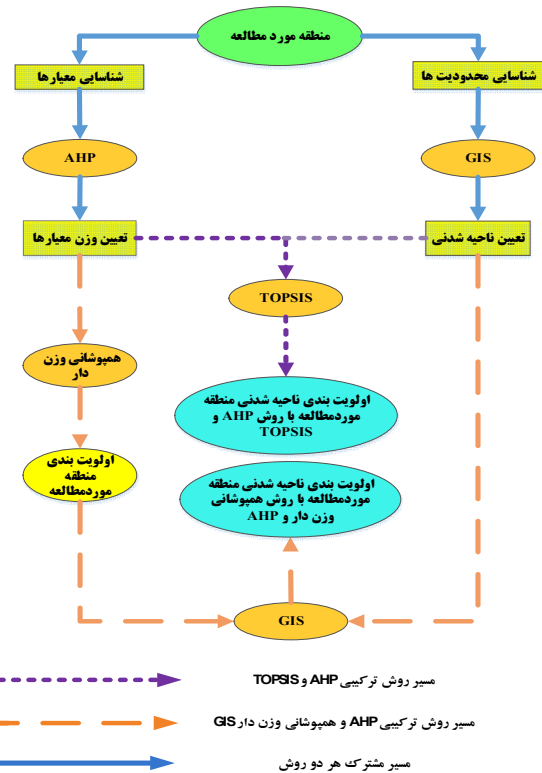
نزدیکی نسبی گزینه A_j به ایدئال نیز به صورت رابطه (۸) محاسبه می‌شود. ارزش‌های عددی به دست آمده از رابطه (۸) در بازه عددی بین صفر و یک است. رتبه اول به بزرگ‌ترین عدد تعلق می‌گیرد و همچنین تمام اعداد تا کوچک‌ترین عدد رتبه‌بندی می‌شوند.

$$CC_j^+ = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

۷.۳ روش همپوشانی وزن‌دار تحلیل مناسب بودن GIS

روش مناسب بودن GIS، روشی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی است که برای تعیین میزان توانایی یک منطقه برای برآورده کردن نیازهای ذی‌نفع استفاده می‌شود. یکی از روش‌های تحلیل مناسب بودن در GIS، روش همپوشانی وزن‌دار است. در این روش لایه‌ها می‌توانند بیش از دو لایه باشند که هر یک از لایه‌ها در یک بازه بین ۱ تا ۱۰۰٪، وزن‌دهی و سپس لایه‌ها با هم تجمیع می‌شوند [۳۲].

مراحل روش AHP بدین ترتیب است: فرض کنید n معیار و m تصمیم‌گیرنده وجود داشته باشد. C_{ij}^k بیانگر امتیاز معیار نسبت به معیار توسط تصمیم‌گیرنده است. با گرفتن میانگین هندسی از نظریات تصمیم‌گیرندگان، یک ماتریس مقایسات زوجی $n \times n$ بر اساس رابطه (۱) به دست می‌آید.



شکل (۱): روندنمای ارتباطی روش‌های مورد استفاده برای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ برای منطقه مورد مطالعه

$$C_{ij} = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m C_{ij}^k} \quad (1)$$

جمع هر ستون محاسبه شده و اعداد هر ستون به مجموع اعداد ستون مربوطه تقسیم می‌گردد تا اعداد نرمال شوند. مجموع هر سطر را محاسبه کرده و اعداد به دست آمده برای هر سطر، بر مجموع ستون این اعداد تقسیم می‌شوند. اعداد به دست آمده وزن معیارها را مشخص می‌کنند.

جدول (۲): مقیاس‌های عددی مقایسات زوجی

تعریف	امتیاز
اهمیت مساوی	۱
اهمیت اندکی بیشتر	۳
اهمیت بیشتر	۵
اهمیت خیلی بیشتر	۷
اهمیت مطلق	۹
ترجیحات بینابینی	۲، ۴، ۶ و ۸

۴. مطالعه موردی

مورد استفاده برای هر لایه موضوعی از معیارها به جز فاصله تا جاده‌های اصلی در شکل (۵) نشان داده شده است. نقشه جاده‌های اصلی استان کربلا در شکل (۲) قابل مشاهده است. نقشه میانگین دما با استفاده از اطلاعات ۵ ساله برای ۱۳ ایستگاه هواشناسی مدیریت کشاورزی در استان کربلا و استان‌های مجاور درونیابی و ترسیم شده است. چندین روش درونیابی شناخته‌شده از جمله اسپلین^۱ و کریجینگ وجود دارد [۳۷]. در این مطالعه از روش کریجینگ استفاده شده است؛ زیرا بر اساس نتایج مطالعات پیشین در عراق، درجه حرارت نقشه خروجی از این روش به واقعیت نزدیک‌تر است [۳۸].

شیب زمین: انحنای یک سطح نسبت به افق مطلق، به‌عنوان شیب زمین تعریف می‌شود [۷]. هزینه احداث نیروگاه‌های خورشیدی در شیب‌های مختلف متفاوت است. از آنجایی که زمین مسطح برای مزارع خورشیدی خورشیدی ضروری است [۱۸]، زمین‌های با درصد شیب کمتر هزینه‌های ساخت‌وساز را کاهش می‌دهند.

پتانسیل تابش خورشیدی: این معیار، مهم‌ترین معیار از معیارهای اقلیم‌شناسی بوده که نشان‌دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید (کیلووات ساعت بر مترمربع) است [۹]. تصاویر ماهواره‌ای، بیشترین کاربرد را برای به دست آوردن مقدار تابش خورشیدی دارد که پوشش فضایی و طولانی‌مدت را فراهم می‌کند. تابش خورشیدی به سه دسته تابش افقی کلی^۲، تابش افقی منتشر شده^۳ و تابش مستقیم عادی^۴ تقسیم می‌شود. برای سیستم نیروگاه‌های خورشیدی جمع‌کننده (عموماً حرارتی) از نوع تابش مستقیم عادی استفاده می‌شود؛ درحالی‌که برای نیروگاه‌های فتوولتائیک (عموماً برقی) از تابش افقی کلی، بهره گرفته می‌شود [۲۵].

میانگین دما: یک پنل خورشیدی معمولی ۶ تا ۲۰٪ از تابش خورشیدی را با توجه به نوع سلول‌های خورشیدی و شرایط آب‌وهوایی به برق تبدیل می‌کند. باقی مانده تابش خورشیدی نیز به گرما تبدیل می‌شود. این پدیده باعث کاهش کارایی پنل خواهد شد [۱۸]. بنابراین بازده تولید برق به واسطه پنل‌های خورشیدی به دمای آن‌ها بستگی دارد. همچنین دمای پنل نیز ناشی از دمای محیط و شدت تابش خورشید است. در نتیجه، رابطه عکسی بین کارایی پنل‌ها و درجه حرارت هر پنل وجود دارد [۹].

فاصله تا جاده‌های اصلی: نقشه راه‌ها و جاده‌ها در احداث

طبق آخرین سرشماری سازمان مرکزی آمار کشور عراق در سال ۲۰۱۸، جمعیت این کشور، ۳۸ میلیون و ۱۲۴ هزار نفر اعلام شده است [۳۳]. استان کربلا پتانسیل زیادی برای توسعه، نصب و راه‌اندازی انرژی‌های تجدیدپذیر دارد؛ زیرا دارای یکی از بالاترین سطوح تابش خورشیدی است و به‌طور متوسط سالانه در بازه زمانی (۱۹۹۹-۲۰۱۵) میلادی بیشتر مناطق خود بیش از ۱۹۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع تابش دارد [۳۴]. جمعیت استان کربلا سال ۱۹۹۷ میلادی به دلیل مهاجرت مردم از استان‌های نامن و آشوب کشور عراق افزایش یافته به‌طوری که به ۱/۷ برابر یعنی (۱۰۱۸۰۰۲ نفر) در سال ۲۰۰۹ رسیده است [۳۵]. همچنین رونق گردشگری زیارتی این استان بر اساس آمار عتبات عالیات در مقاطعی از سال، جمعیتش را به ۱۵ میلیون زائر می‌رساند [۳۶]. این استان به دلیل مناطق شهری، روستایی و زیارتی متعدد، قابلیت دسترسی به فضای استان را برای نصب و بهره‌برداری از مراکز انرژی تجدیدپذیر و به‌طور خاص نیروگاه‌های خورشیدی را محدود می‌کند. به همین دلیل مطالعه ارزیابی مکان‌های بهینه برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی را پراهمیت می‌کند.

۱.۴. لایه‌های محدودکننده انتخاب مناطق مناسب

در مسئله مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با مقیاس بزرگ در استان کربلا، مناطقی که امکان نصب و راه‌اندازی این نیروگاه‌ها به دلایل مختلف وجود ندارد، با به‌کارگیری محدودیت‌های مختلف جدول (۳) و با استفاده از GIS استخراج شدند. در شکل (۲)، می‌توان نقشه استان کربلا و لایه‌های مختلف موضوعی از محدودیت‌های اعمال‌شده را مشاهده کرد [۳۵]. با کاهش لایه‌های موضوعی، نرم‌افزار GIS که هر محدوده را از لایه اصلی پوشش‌دهنده کل منطقه مورد مطالعه مشخص می‌کند، مناطق شدنی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی تعیین می‌شود. شکل (۳) مناطق شدنی و نشدنی را نشان می‌دهد. مساحت کل ناحیه شدنی، ۲۲/۵۶٪ از کل مساحت استان کربلا بوده که ۱۱۳۹/۳۴ کیلومتر مربع مساحت دارد.

۲.۴. لایه‌های معیار

پس از آنکه منطقه مورد مطالعه به منطقه شدنی برای احداث نیروگاه حرارتی خورشیدی تقلیل یافت، لایه‌های موضوعی مشخص‌کننده معیارهای در نظر گرفته شده در GIS ثبت می‌شوند. معیارهای در نظر گرفته شده اقتباسی از مطالعات صورت گرفته هستند که در قالب نمودار سلسله‌مراتبی شکل (۴) نمایش داده می‌شوند. این معیارها در سه دسته فیزیکی، اقلیم‌شناسی و موقعیتی قرار می‌گیرند. نقشه‌های

1. Spline
2. Global Horizontal Irradiance
3. Diffuse Horizontal Irradiance
4. Direct Normal Irradiance

ارزیابی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ با بهره‌گیری از ... ۶۷

می‌یابد و به این ترتیب هزینه‌های انتقال انرژی نیز کاهش می‌یابد؛ بنابراین هرچه فاصله نیروگاه‌های خورشیدی به این ایستگاه‌های برق نزدیک‌تر باشد می‌توان از زیرساخت موجود این پست‌های برای اتصال نیروگاه استفاده کرد. تعداد ایستگاه‌های برق ۳۳/۱۱ کیلوولت در استان کرمان ۲۷ عدد هستند.

فاصله تا نقاط بار (پست‌های ۱۱/۰/۴۱۶ یا ۳۳/۰/۴۱۶ کیلوولت): منظور از نقاط بار در این مقاله، ایستگاه‌های برق ثابت یا سیار با سطح ولتاژ ۱۱/۰/۴۱۶ کیلوولت است. همچنین تعداد معدودی پست ۳۳/۰/۴۱۶ کیلوولت برای تأمین مصرف‌کنندگان فشار ضعیف نهایی در این استان موجود است. هرچه اتصال نیروگاه خورشیدی به نقاط مصرف و بار نهایی شبکه نزدیک‌تر باشد، تلفات انرژی الکتریکی کمتر خواهد شد. در واقع، تولید انرژی الکتریکی در کنار مصرف و با حداقل فاصله، معیار بسیار مهمی از نظر الکتریکی، قیود فنی شبکه برق، تلفات و کاهش هزینه تلفات انرژی است. به این معیار، در مقالات مرتبط با مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی توجه نشده است.

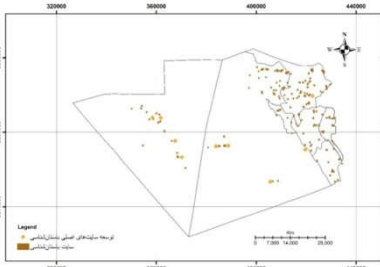
نیروگاه خورشیدی از چند جنبه مختلف دارای اهمیت است. نزدیکی نیروگاه‌ها به راه‌ها موجب می‌شود تا هزینه‌های حمل‌ونقل تجهیزات نیروگاه، رفت‌وآمد پرسنل و پشتیبانی از نیروگاه کاهش یابد [۷].

فاصله تا خطوط انتقال نیرو: برق تولیدی هر نیروگاه برای انتقال و توزیع در شبکه، نیاز به خطوط انتقال نیرو دارد. مقدار زیادی از تلفات برق در خطوط توزیع و انتقال برق رخ می‌دهد، بنابراین نصب و ایجاد پروژه‌های خورشیدی در نزدیکی خطوط انتقال باعث کاهش میزان تلفات برق و همچنین جلوگیری از نیاز به احداث زیرساخت‌های جدید و پرهزینه می‌شود [۱۸].

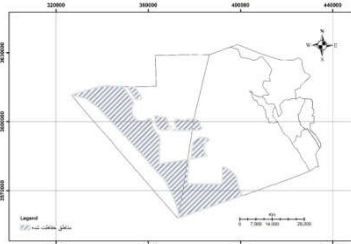
فاصله تا پست‌های برق فوق توزیع (ترانسفورماتورهای کاهنده ۳۳/۱۱ کیلوولت): ترانسفورماتورها برای افزایش یا کاهش ولتاژ متناوب در پروژه‌های برق مورد استفاده قرار می‌گیرند. دلیل استفاده از ترانسفورماتور در ابتدای خطوط، این است که همه هادی‌های الکتریکی دارای مقاومت الکتریکی هستند و این مقاومت می‌تواند موجب اتلاف انرژی در طول مسیر انتقال انرژی الکتریکی شود. با افزایش ولتاژ در خطوط انتقال به همان نسبت، جریان خطوط کاهش

جدول (۳): فهرست محدودیت‌ها و توضیحات آن‌ها

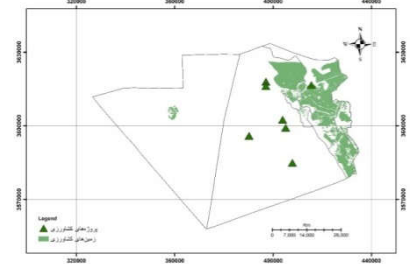
ردیف	محدودیت اصلی	زیرمحدودیت	ردیف	محدودیت اصلی	زیرمحدودیت	حريم (متر)
۱	جنگل‌ها، نخلستان‌ها و اراضی کشاورزی	۱-۱. پروژه‌های کشاورزی	۹	پمپ‌های گاز و بنزین		۵۰۰
		۲-۱. زمین‌های کشاورزی	۱۰	منابع آب و آب‌راه‌ها	۱-۱۰. چاه‌های آب	۵۰۰
۲	مناطق حفاظت‌شده				۲-۱۰. کانال‌های آب	۵۰۰
۳	باستان‌شناسی	۱-۳. توسعه سایت‌های اصلی باستان‌شناسی	۱۱	رود، دریاچه و سواحل آن	۳-۱۰. آب‌گذرها	۵۰۰
		۲-۳. سایت باستان‌شناسی	۱۲	دره‌ها	۱-۱۱. ساحل دریاچه	۵۰۰
				۲-۱۱. رود فرات	۵۰۰	
۴	گردشگری زیارتی و سیاحتی	۱-۴. سایت‌های فرهنگی	۱۳	زیرساخت‌های حمل‌ونقل	۳-۱۳. ریل راه‌آهن	۱۰۰
		۲-۴. سایت‌های گردشگری			۲-۱۳. فرودگاه فرات	۱۰۰
		۳-۴. حوزه گردشگری			۱-۱۴. مناطق ساخته‌شده	۳۰۰۰
		۴-۴. گردشگری مذهبی			۲-۱۴. مناطق شهری	۳۰۰۰
۵	مراکز فناوری اطلاعات و ارتباطات	۵-۴. استراحتگاه‌های زائرین	۱۴	مناطق شهری	۳-۱۴. شهرک‌ها	۳۰۰۰
		۱-۶. مناطق دفن زباله‌های جامد			۴-۱۴. دانشگاه	۱۰۰۰
۶	بازیافت	۲-۶. ایستگاه‌های تصفیه فاضلاب	۱۵	مناطق روستایی	۱-۱۵. روستای بیشتر از هزار نفر جمعیت	۱۰۰۰
۷	تأسیسات صنعتی				۲-۱۵. روستای کمتر از هزار نفر جمعیت	۱۰۰۰
۸	تأسیسات نفتی	۱-۸. پالایشگاه و انبار نفت	---	---	---	---
		۲-۸. خطوط لوله نفت	---	---	---	---



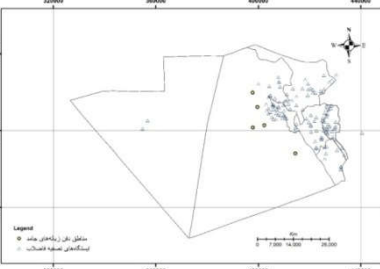
ج. باستان‌شناسی



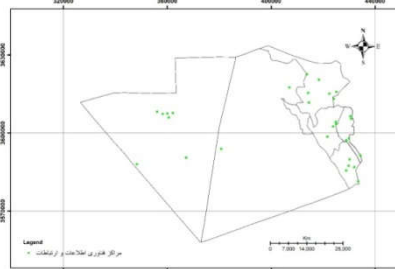
ب. مناطق حفاظت شده



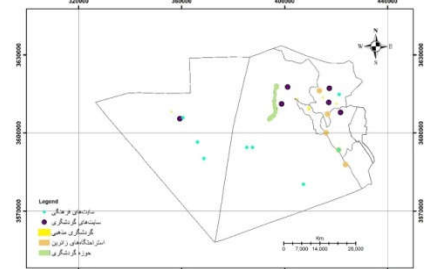
الف. پروژه‌ها و زمین‌های کشاورزی



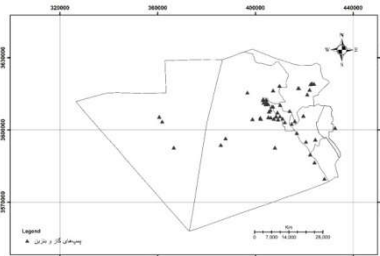
و. بازیافت



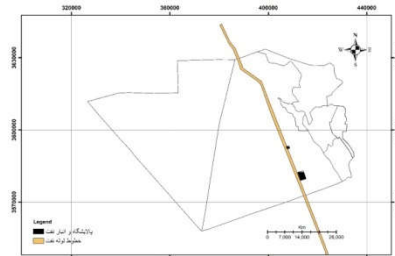
ه. مراکز فناوری اطلاعات و ارتباطات



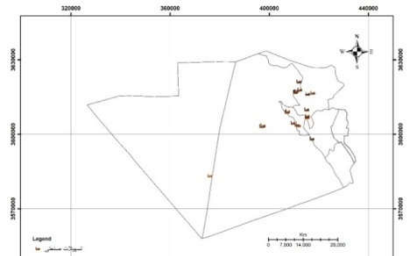
د. گردشگری زیارتی و سیاحتی



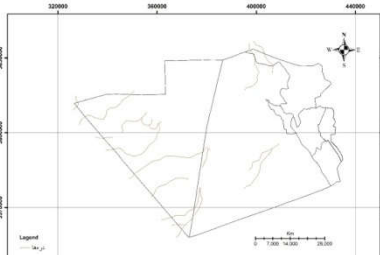
ط. پمپ‌های گاز و بنزین



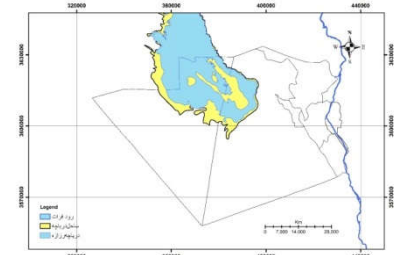
ح. تأسیسات نفتی



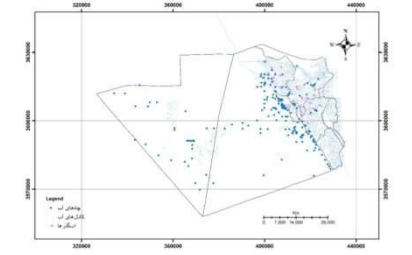
ز. تأسیسات صنعتی



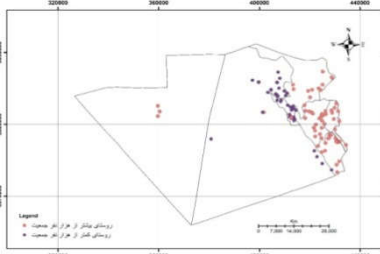
ل. دره‌ها



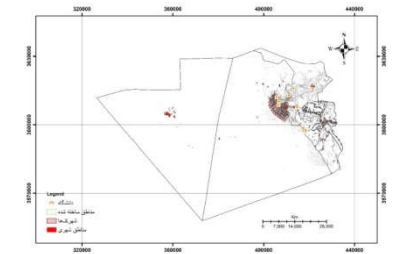
ک. رود، دریاچه و سواحل آن



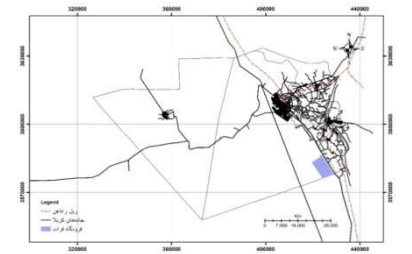
ی. منابع آب و آبراه‌ها



س. مناطق روستایی

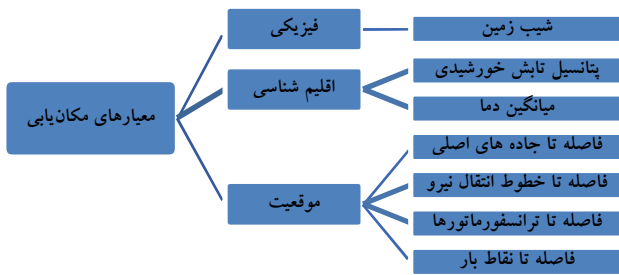


ن. مناطق شهری



م. زیرساخت‌های حمل و نقل

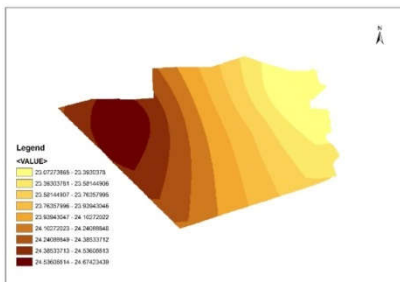
شکل (۲): نقشه‌های مورد استفاده برای هر یک از محدودیت‌ها



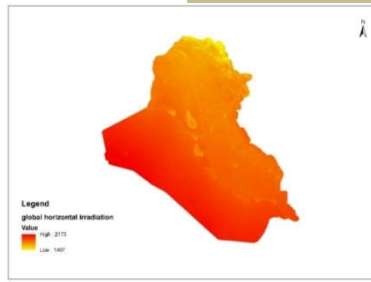
شکل (۴): ساختار سلسله‌مراتبی معیارهای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی



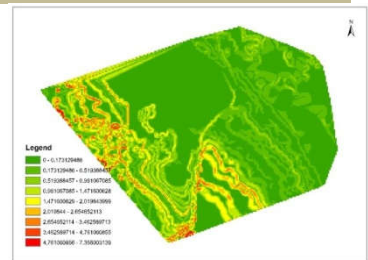
شکل (۳): نقشه مناطق شدنی و نشدنی استان کربلا



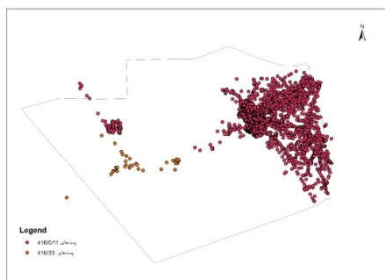
ج. نقشه میانگین دما استان کربلا



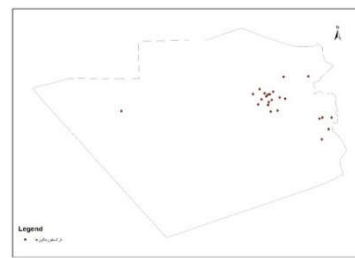
ب. نقشه میانگین سالانه تابش افقی جهانی کشور عراق



الف. نقشه شیب زمین استان کربلا



و. نقشه نقاط بار استان کربلا



ه. نقشه پست‌های برق فوق توزیع استان کربلا



د. نقشه خطوط انتقال نیرو استان کربلا

شکل (۵): نقشه‌های مورد استفاده برای معیارهای مناسب بودن

شکل (۶)، میانگین نظریات کارشناسان و متخصصان که با روش پرسشنامه‌ای، جمع‌آوری شده است.

۲.۳.۴. روش رتبه‌بندی گزینه‌ها

با اعمال محدودیت‌ها و رسیدن به ناحیه‌های شدنی و نشدنی باید ناحیه‌های نشدنی را برای ارزیابی و اولویت‌بندی نواحی خارج کرد. ناحیه شدنی به ۴۰ گزینه در مقیاس‌هایی بین ۶ هکتار و ۳۹ هزار هکتار تقسیم شده است که در شکل (۷) نشان داده شده است. به دلیل تفاوت زیاد در مساحت گزینه‌های شدنی از قطعه کردن ناحیه شدنی استفاده می‌شود.

از آنجایی که مساحت نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ (۱۰ مگاوات) بین ۱۰ تا ۱۵ هکتار است [۳۹]، پس از تقاطع ناحیه شدنی با ناحیه تولیدشده، ۸۸۷۸ گزینه به دست می‌آید. برای رسیدن به گزینه‌های قابل قبول (مناسب) برای نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ از ابزار انتخاب به جدا کردن گزینه‌های بالای ۱۰ هکتار استفاده می‌شود.

۳.۴. ارزیابی و اولویت‌بندی نواحی شدنی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ

برای ارزیابی گزینه‌ها، دو کار باید اجرایی شود: اول اینکه ارزش معیارها باید به دست بیاید و دوم اینکه مجموعه اطلاعات گزینه‌های مختلف مکانی برای معیارهای مختلف جمع‌آوری شود تا بتوان ارزیابی مناسبی برای گزینه‌های مختلف داشت.

۱.۳.۴. تعیین ارزش معیارها با استفاده از AHP

با استفاده از روش AHP ضریب اهمیت هریک از معیارهای مطالعه، تعیین شده که نتایج آن در روش TOPSIS و تحلیل مناسب بودن سیستم اطلاعات جغرافیایی به کار گرفته می‌شود. برای انجام این کار، معیارها خبرگان مطالعه به صورت زوجی مقایسه شده و میانگین نظریات آن‌ها، وزن هریک از معیارها را تعیین می‌کند. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای نظریات، ۰/۰۹ بوده که عدد قابل قبولی است. در



شکل (۸): نقشه گزینه‌ها با مساحت مساوی یا از بزرگ‌تر ۱۰ هکتار

با اجرای مراحل TOPSIS و تعیین فاصله نزدیکی نسبی به ایدئال، رتبه‌بندی گزینه‌ها در قالب جدول (۵) نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات جدول، از ۷۲۹۱ گزینه، ۲۸۵ گزینه با بیشترین نزدیکی به گزینه ایدئال (بالای ۰/۹)، در رتبه اول قرار گرفتند که برای این مجموعه، عبارت بیانی «بسیار عالی» استفاده شده است. برای مثالی دیگر، تعداد ۲۳۲۷ گزینه دارای فاصله نسبی تا ایدئال، ۰/۷ تا ۰/۷۹ است که آن‌ها دسته «خوب» بیان می‌شوند. شکل (۹) سهم هریک از دسته گزینه‌ها را در بین همه مجموعه دسته‌ها نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، ۴٪ گزینه‌ها (۲۸۵ گزینه) در دسته بسیار عالی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ قرار می‌گیرند. بیشتر گزینه‌ها (۳۲٪ گزینه‌ها) در دسته خوب قرار می‌گیرند. بر این اساس، می‌توان نقشه استان کرمان را برای گزینه‌های بین ۱۰ تا ۱۵ هکتار بر مبنای طیفی از بسیار عالی تا خیلی ضعیف تهیه کرد. این نقشه در شکل (۱۰) ارائه شده است.

۴.۳.۴ روش همپوشانی وزن‌دار از تحلیل مناسب بودن GIS

بر اساس این روش و انطباق مناطق شدنی با خروجی روش همپوشانی وزن‌دار، می‌توان نقشه شکل (۱۱) را در سه دسته نامناسب، مناسب و بسیار مناسب تهیه کرد. جدول (۶) مساحت نواحی را بر اساس دسته‌بندی اشاره‌شده ارائه می‌کند.

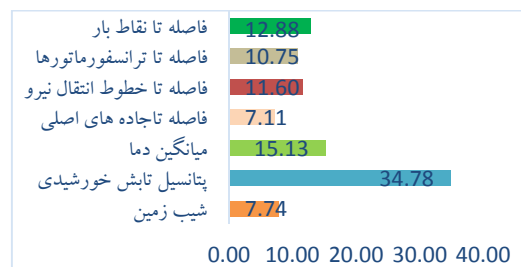
۴.۳.۵ مقایسه دو روش TOPSIS و همپوشانی وزن‌دار

نتایج انطباق ناحیه‌های اولویت‌بندی‌شده به روش TOPSIS با روش همپوشانی وزن‌دار نشان می‌دهد که ۲۴/۰۲ و ۷۵/۸۳ و ۰/۱۵٪ گزینه‌ها به ترتیب در ناحیه‌های بسیار مناسب، مناسب و نامناسب هستند. جزئیات تعداد گزینه‌های برحسب طبقه‌های روش TOPSIS و همپوشانی وزن‌دار در جدول (۷) ارائه شده است. در واقع این جدول، تقاطع دسته‌های روش‌های TOPSIS و همپوشانی وزن‌دار را تبیین می‌کند.

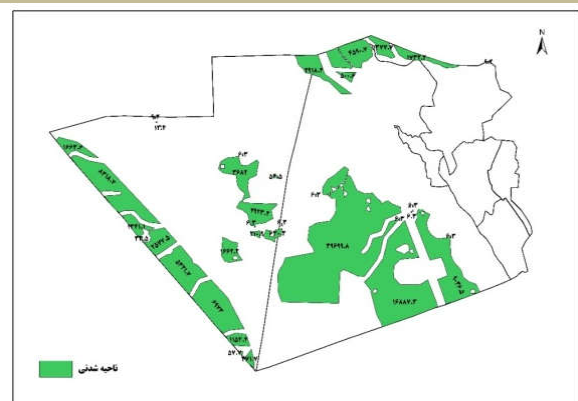
نتایج این انتخاب، ۷۲۹۱ گزینه در مساحت‌هایی بالای ۱۰ هکتار مطابق شکل (۸) نشان داده شده است. نتایج قطعه کردن ناحیه شدنی و انتخاب گزینه‌های بالای ۱۰ هکتار، نشان می‌دهد که ۰/۷۷٪ گزینه‌های در نظر گرفته‌نشده در مقیاسی کوچک‌تر از ۷ هکتار هستند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ۰/۸۶٪ گزینه‌ها در مساحت ۱۵ هکتاری هستند. برای اولویت‌بندی گزینه‌های بالای ۱۰ هکتار، از دو روش TOPSIS و همپوشانی وزن‌دار تحلیل مناسب بودن GIS استفاده می‌شود.

۳.۳.۴ اولویت‌بندی نواحی شدنی با استفاده از روش TOPSIS

گزینه‌های مناسب برای نیروگاه‌های خورشیدی، ۷۲۹۱ گزینه بوده که بر اساس هفت معیار اشاره‌شده و روش TOPSIS اولویت‌بندی گزینه‌ها صورت می‌گیرد. معیارها به دو دسته از نظر تحلیلی تقسیم می‌شوند: دسته اول شامل معیارهای شیب زمین، پتانسیل تابش خورشیدی و میانگین دما که با ابزار خلاصه ارزش‌ها به نقطه^۱ می‌توان آن‌ها را به دست آورد. دسته دوم عبارت‌اند از فاصله تا جاده‌های اصلی، خطوط انتقال نیرو، ترانسفورماتورها و نقاط بار که به وسیله ابزار تهیه جدول نزدیک^۲، نزدیک‌ترین فاصله بین گزینه‌ها و هریک از چهار معیار را به صورت جدول به دست آورده است. جدول (۴) خروجی این ابزارها را تبیین می‌کند.



شکل (۶): نمودار میانگین تحلیل نظریات کارشناسان



شکل (۷): نقشه گزینه‌ها از ناحیه شدنی در مساحت هکتاری

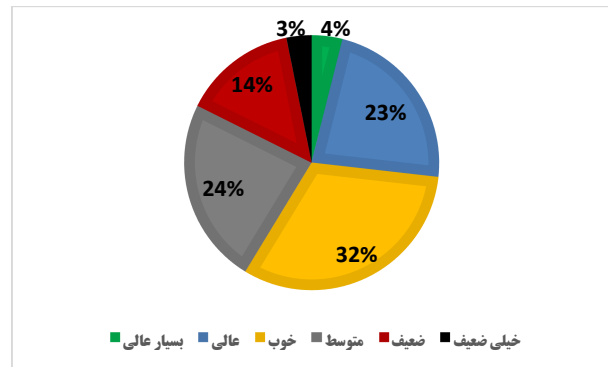
1. Extract Values to Point
2. Generate Near Table

همچنین از روش AHP برای تعیین وزن معیارهای در نظر گرفته‌شده و از روش‌های TOPSIS و همپوشانی وزن‌دار تحلیل مناسب بودن GIS به‌صورت جداگانه برای تعیین رتبه و اولویت‌بندی مناطق شدنی استان کربلا استفاده شد. در نهایت رتبه‌بندی روش‌های TOPSIS همپوشانی وزن‌دار تحلیل مناسب بودن GIS مورد مقایسه قرار گرفت.

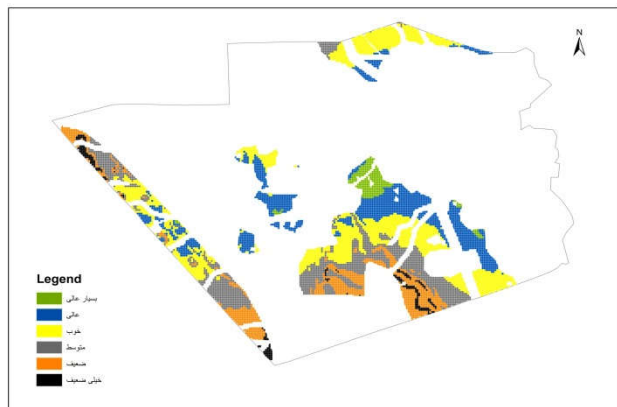
مساحت ناحیه شدنی استان کربلا، ۱۱۳۹/۳۴ کیلومترمربع است که ۲۲/۵۶٪ استان کربلاست. ناحیه شدنی دارای نواحی با مساحت‌های مختلف بوده که به‌دلیل مطالعه نیروگاه‌های با مقیاس بزرگ، قطعات کوچک‌تر از ۱۰ هکتار از ناحیه شدنی حذف شد و بدین ترتیب پهنه‌ای به مساحت ۱۰۷۵/۲۳ کیلومترمربع با تعداد ۷۲۹۱ ناحیه با مساحتی حدود ۱۰۷۵ کیلومترمربع برای اولویت‌بندی به دست آمد.

بر اساس روش TOPSIS ۷۲۹۱ ناحیه شدنی با مساحت بالای ۱۰ هکتار به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌کند: ۴۱/۷۵ کیلومترمربع (۲۸۵ گزینه)، بسیار عالی و ۲۴۴/۸۶ کیلومترمربع (۱۶۶۹ گزینه) دارای ظرفیت عالی، ۳۴۲/۵۳ کیلومترمربع (۲۳۲۷ گزینه) دارای ظرفیت بسیار خوب، ۲۵۶/۱۱ کیلومترمربع (۱۷۲۵ گزینه) دارای ظرفیت متوسط، ۱۵۵/۹۲ کیلومترمربع (۱۰۵۳ گزینه) دارای ظرفیت ضعیف، و ۳۴/۰۵ کیلومترمربع (۲۳۲ گزینه) دارای ظرفیت بسیار ضعیف مشخص شدند. همچنین همپوشانی وزن‌دار تحلیل مناسب بودن GIS، ۷۲۹۱ ناحیه شدنی با مساحت بالای ۱۰ هکتار برای ساخت نیروگاه خورشیدی بدین صورت دسته‌بندی می‌کند: ۲۵۷/۴۴ کیلومترمربع (۱۷۵۱ گزینه) بسیار مناسب، ۸۱۶/۳۹ کیلومترمربع (۵۵۲۹ گزینه) دارای ظرفیت مناسب، ۱/۳۹ کیلومترمربع (۱۱ گزینه) دارای ظرفیت نامناسب، شناسایی شدند.

می‌توان برای پژوهش‌های آتی، مقدار حریم در نظر گرفته شده برای عوارض طبیعی و غیرطبیعی را تغییر داده که نتیجه آن تغییر در محدوده ناحیه شدنی بوده و می‌تواند در اولویت‌بندی ناحیه شدنی تأثیرگذار باشد. همچنین پس از اولویت‌بندی نواحی شدنی و گزینه‌ها با روش ترکیبی AHP و TOPSIS می‌توان گزینه‌های ناحیه بسیار عالی را بر اساس عناصر سرمایه‌گذاری، هزینه‌های ثابت و متغیر بهره‌برداری و عملیات و همچنین درآمدی مقایسه کرد. این مقایسه تعیین می‌کند که چه گزینه یا گزینه‌هایی از ناحیه بسیار عالی می‌توانند به‌عنوان گزینه نهایی احداث نیروگاه خورشیدی انتخاب شوند. برای تعیین مکان یا مکان‌های دقیق نیروگاه‌های خورشیدی می‌توان یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی ارائه کرد و ضمن تحلیل مدل برای استان کربلا، نتایج آن را با نتایج روش ترکیبی AHP و TOPSIS مقایسه کرد.



شکل (۹): درصد گزینه‌ها بر اساس رتبه‌بندی



شکل (۱۰): نقشه اولویت‌بندی بر اساس عبارات بیانی معرفی شده روش

TOPSIS



شکل (۱۱): نقشه اولویت‌بندی بر اساس دسته‌های روش همپوشانی

وزن‌دار تحلیل مناسب بودن GIS

۵. نتیجه‌گیری

استان کربلا پتانسیل مناسبی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی برای تولید برق دارد. برای اولویت‌بندی مناطق استان کربلا، از روش ترکیبی استفاده شد. در این روش ترکیبی از GIS برای تعیین ناحیه شدنی بر اساس لایه‌های محدودیت‌های مختلف طبیعی و غیرطبیعی بهره گرفته شد.

جدول (۴): کمترین و بیشترین ارزش یا فاصله گزینه‌ها به معیار مورد نظر

ردیف	معیار	کمترین ارزش یا فاصله	بیشترین ارزش یا فاصله	واحد اندازه‌گیری
۱	شیب زمین	۰	۵/۹۰۰۴۲۳	درجه
۲	پتانسیل تابش خورشیدی	۱۸۸۹	۲۰۲۰	کیلو وات ساعت / مترمربع
۳	میانگین دما	۲۳/۱۳۱۷۵۶	۲۴/۶۱۱۶۱۲	درجه سانتی‌گراد
۴	فاصله تا جاده‌های اصلی	۱۰۲/۲۵۶۹۰۶	۲۹۶۱۸/۱۲۶۰۱۷	متر
۵	فاصله تا خطوط انتقال نیرو	۰	۲۹۰۴۹/۵۳۳۲۴۳	متر
۶	فاصله تا ترانسفورماتورها	۷۱۹۸/۱۲۷۸۱۲	۴۶۴۰۶/۶۹۱۰۶۶	متر
۷	فاصله تا نقاط بار	۹۸/۶۴۵	۳۰۸۷۵/۵۲۰۷۲۹	متر

جدول (۵): رتبه‌بندی گزینه‌ها

فاصله نزدیکی نسبی به ایدئال	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴-۰/۳-۰/۲
تعداد گزینه‌ها	۲۸۵	۱۶۶۹	۲۳۲۷	۱۷۲۵	۱۰۵۳	۲۳۲
رتبه‌بندی مجموعه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
عبارت بیانی	بسیار عالی	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف

جدول (۶): مساحت و درصد نقشه خروجی همپوشانی وزن‌دار

نوع ناحیه	مساحت ناحیه (کیلومتر مربع)	درصد از ناحیه شدنی	درصد از کل
نامناسب	۲۳۷/۹۶	۲۰/۸۹	۴/۷۲
مناسب	۸۷۵/۸۲	۷۶/۸۷	۱۷/۳۴
بسیار مناسب	۲۵/۵۶	۲/۲۴	۰/۱۵

جدول (۷): جزئیات تعداد گزینه‌های منطبق بر ناحیه‌های روش همپوشانی

مجموع	ناحیه‌های همپوشانی وزن‌دار			ناحیه‌های TOPSIS
	نامناسب	مناسب	بسیار مناسب	
۲۸۵	۰	۶۴	۲۲۱	بسیار عالی
۱۶۶۹	۲	۷۸۸	۸۷۹	عالی
۲۳۲۷	۱	۱۹۹۶	۳۳۰	خوب
۱۷۲۵	۲	۱۴۰۴	۳۱۹	متوسط
۱۰۵۳	۳	۱۰۴۸	۲	ضعیف
۲۳۲	۳	۲۲۹	۰	خیلی ضعیف
۷۲۹۱	۱۱	۵۵۲۹	۱۷۵۱	مجموع

سپاسگزاری

استان کربلا در واحد GIS که در جمع‌آوری بخش بزرگی از داده‌های جغرافیایی همکاری داشتند، صمیمانه تشکر می‌کنند.

نویسندگان از کارشناسان محترم استانداری استان کربلا در واحد GIS و جناب آقای ایمن الطیار و همچنین کارشناسان محترم مدیریت برق

مراجع

- [1] United Nations Environment, <https://www.unenvironment.org/explore-topics/energy/why-does-energy-matter>.
- [2] یوسفی، حسین، کسانیان، علیبخش، رنجبران، پریسا، کنولی، محمدهادی، «مروری بر معیارهای مکانی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در ایران»، مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره ۸، شماره ۲، صفحه ۳۸۲۵، ۱۳۹۵.
- [3] Asma, Y., "Inflation averages analysis in Iraq for the period (2000-2010)", Baghdad College of Economic Sciences, Vol. 36, pp. 43-68, 2013.
- [4] سایت وزارت کشاورزی و منابع طبیعی، <https://www.moelc.gov.iq/upload/upfile/ar/946.pdf>
- [5] رحیمی، محمد، پازند، فاطمه، عبدالهی، علی‌اصغر، «پتانسیل سنجی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل AHP و منطق فازی»، جغرافیا و توسعه، دوره ۱۵، شماره ۴۹، صفحه ۲۳-۳۶، ۱۳۹۶.
- [6] تقوایی، مسعود، صبوچی، عفت، «پهنه‌بندی و مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در استان اصفهان»، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۸، شماره ۲۸، صفحه ۸۲-۶۱، ۱۳۹۶.
- [7] لحمیان، رضا، «آمایش سرزمینی با توسعه استفاده از انرژی‌های پایدار در

مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی (مطالعه موردی: استان مازندران)، آمایش محیط، دوره ۹، شماره ۳۵، صفحه ۱۴۹-۱۷۰، ۱۳۹۵.

[۸] احمدی، هدی، مرشدی، جعفر، عظیمی، فریده، «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 (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، دوره ۷، شماره ۱، صفحه ۴۱-۵۷، ۱۳۹۵.

[۹] گرگی، مصطفی، خشنود مطلق، سجاده، عمران، حسین، هاشمی، مرتضی، «مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (مطالعه موردی: استان فارس)»، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، دوره ۸، شماره ۱، صفحه ۶۶-۸۴، ۱۳۹۵.

[۱۰] نوحه‌گر، احمد، کمانگر، محمد، کرمی، پیمان، احمدی‌دوست، بهروز، «مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی از طریق قاعده تصمیم‌گیری مکانی تاپسیس (مطالعه موردی: استان هرمزگان)»، آمایش محیط، دوره ۹، شماره ۲۳، صفحه ۲۴-۴۴، ۱۳۹۴.

[۱۱] صادقی، زین‌العابدین، دلال‌باشی، زهرا، حری، حمیدرضا، «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»، پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی، دوره ۱، شماره ۲، صفحه ۹۳-۱۱۰، ۱۳۹۲.

[۱۲] یوسفی، حسین، نوراللهی، یونس، سلطان‌محمدی، مجید، ارجمندی، رضا، «کاربرد منطق فازی و FTOPSIS جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان تهران)»، انرژی ایران، دوره ۱۵، شماره ۱۴، صفحه ۱-۲۵، ۱۳۹۱.

[۱۳] اسفندیاری، علی، رنگزن، کاظم، صابری، عظیم، فتاحی‌مقدم، مهدی، «پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS»، همایش ملی ژئوماتیک ۹۰، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران، ایران.

[۱۴] صادقی، آسیه، دانه‌کار، افشین، خراسانی، نعمت‌الله، نعیمی، بابک، «تحلیل مطلوبیت سرزمین جهت مکان‌یابی نیروگاه حرارتی با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاره محیط‌زیستی مطالعه نمونه: شهرستان چابهار»، جغرافیا و توسعه، دوره ۹، شماره ۲۳، صفحه ۱۲۳-۱۴۰، ۱۳۸۹.

[15] Fang, H., Li, J., Song, W., "Sustainable Site Selection for Photovoltaic Power Plant: An Integrated Approach based on Prospect Theory", Energy Conversion and Management, Vol. 174, pp. 755-768, 2018.

[16] Merrouni, A. A., Elalaoui, F. E., Mezrhab, A., Mezrhab, A., Ghennioui, A., "Large Scale PV Sites Selection by Combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco", Renewable energy, Vol. 119, pp. 863-873, 2018.

[17] Merrouni, A. A., Elalaoui, F. E., Ghennioui, A., Mezrhab, A., Mezrhab, A., "A GIS-AHP combination for the sites assessment of large-scale CSP plants with dry and wet cooling systems Case study: Eastern Morocco", Solar Energy, Vol. 166, pp. 2-12, 2018.

[18] Al Garni, H.Z., Awasthi, A., "A fuzzy AHP and GIS-based Approach to Prioritize Utility-Scale Solar PV Sites in Saudi Arabia In Systems, Man, and Cybernetics (SMC)", IEEE International Conference on .pp. 1244-1249, 2017.

[19] Asakereh, A., Soleymani, M., Sheikhdavoodi, M. J., "A GIS-

based Fuzzy-AHP Method for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in Khuzestan Province, Iran", Solar Energy, Vol. 155, pp. 342-353, 2017.

[20] Aly, A., Jensen, S. S., Pedersen, A. B., "Solar Power Potential of Tanzania: Identifying CSP and PV Hot Spots through a GIS Multicriteria Decision Making Analysis", Renewable Energy, Vol. 113, pp. 159-175, 2017.

[21] Yushchenko, A., De Bono, A., Chatenoux, B., Patel, M. K., Ray, N., "GIS-based Assessment of Photovoltaic (PV) and Concentrated Solar Power (CSP) Generation Potential in West Africa", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 81, pp. 2088-2103, 2018.

[22] Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., Javad Amiri, M., Karimi, S., "Optimization Solar Site Selection by Fuzzy Logic Model and Weighted Linear Combination Method in Arid and Semi-Arid Region: A Case Study Isfahan-IRAN", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 68, No. 2, pp. 986-996, 2017.

[23] Lee, A., Kang, H.Y., Liou, Y.J., "A Hybrid Multiple-Criteria Decision-Making Approach for Photovoltaic Solar Plant Location Selection", Sustainability, Vol. 9, No. 2, pp. 1-21, 2017.

[24] Samanlioglu, F., Ayağ, Z., "A fuzzy AHP-PROMETHEE II Approach for Evaluation of Solar Power Plant Location Alternatives in Turkey", Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, Vol. 33, No. 2, pp. 859-871, 2017.

[25] Merrouni, A. A., Mezrhab, A., Mezrhab, A., "PV Sites Suitability Analysis in the Eastern Region of Morocco", Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 18, pp. 6-15, 2016.

[26] Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales, M. S., Lamata, M. T., "Evaluation of Suitable Locations for the Installation of Solar Thermoelectric Power Plants", Computers & Industrial Engineering, Vol. 87, pp. 343-355, 2015.

[27] Ziuku, S., Seyitini, L., Mapurisa, B., Chikodzi, D., Van Kujik, K., "Potential of Concentrated Solar Power (CSP) in Zimbabwe", Energy for Sustainable Development, Vol. 23, pp. 220-227, 2014.

[28] Sun, Y. W., Hof, A., Wang, R., Liu, J., Lin, Y. J., Yang, D. W., "GIS-Based Approach for Potential Analysis of Solar PV Generation at the Regional Scale: A Case Study of Fujian Province", Energy Policy, Vol. 58, pp. 248-259, 2013.

[29] Campbell, J. E., Geographic Information System Basics, the Saylor Foundation, 2015.

[30] Saaty, T.L., "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures", Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15, No. 3, pp. 234-281, 1977.

[31] Hwang, C.L., Yoon, K., Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications: State of Art Survey, Springer-Verlag, New York, 1981.

[32] Berube, M., A GIS Multi-Criteria Evaluation for Identifying Priority Industrial Land in Five Connecticut Cities, 2014.

[33] Central Statistical Organization <http://cosit.gov.iq/ar>.

[34] Solar GIS, <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/iraq>.

[۳۵] اداره کل برنامه‌ریزی شهری، گزارش مجموعه اطلاعات دفتری- میانگین، شماره ۴۵، ۲۰۱۲.

[۳۶] تولیت آستان قدس حسینی، گزارش آماری سالانه زیارت اربعین امام حسین (ع)، شماره ۴۱۰، صفحه ۱۵-۱۶، ۲۰۱۷.

[37] Esri, <https://www.esri.com/en-us/home>.

[38] Khanjer, F. E., Jaheed, ch, N., "Create Maps for Temperature Distribution In Iraq Using Arc -GIS Techniques", International Journal of Advanced Biological Research, Vol. 7, No. 4, 2017.

[۳۹] سایت برق نیوز، <http://barghnews.com>