نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۷، شماره۲، تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۳۴-۵۰

مکان‌یابی استقرار نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: شهرستان چابهار)

فرانک رضایی[۱]، مریم ایلانلو[۲]*

کارشناسی ارشد، گروه حقوق محیط زیست، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(Successfulgirlintheworldalways@gmail.com)
استادیار گروه جغرافیا، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران(نویسنده مسئول)
(m.ilanloo6101@iau.ir)

تاریخ دریافت:
۱۷ / ۱۱ / ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:
۲۱ / ۰۴ / ۱۴۰۴

کلمات کلیدی:
نیروگاه خورشیدی، مکان یابی، ترکیب خطی وزن دار، سیستم اطلاعات جغرافیایی، چابهار.

چکیده

مکان‌یابی استقرار نیروگاه خورشیدی تصمیمی بسیار پیچیده است و به دامنه وسیعی از معیارها وابسته است. بنابراین، می‌توان مکان یابی را فرایند تصمیم گیری چند معیاره ای دانست که برای اولویت بندی معیارهای مختلف و انتخاب بهترین گزینه از میان گزینه‌های ممکن، به کار می‌رود. هدف از این مطالعه، ارزیابی امکان استقرار نیروگاه خورشیدی در شهرستان چابهار با استفاده از فرآیند تصمیم گیری چندمعیاره در سیستم اطلاعات جغرافیایی است. ابتدا با بررسی منابع و کسب استانداردها، معیارهای استقرار نیروگاه خورشیدی مشخص گردید. این معیارها شامل شیب، فاصله از دریا، فاصله از رودخانه‌ها و مسیل‌ها، معیارهای ساعات آفتابی، کاربری اراضی، فاصله از جوامع انسانی، فاصله از راه‌های ارتباطی، دسترسی به تأسیسات زیربنائی، هستند سپس کلیه معیارها با فرمت مشابه به سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد و استانداردسازی شدند. در مرحله بعد از روش درجه بندی برای وزن دهی معیارها استفاده شد و در نهایت کلیه لایه‌ها با استفاده از روش ترکیب خطی وزن دار تلفیق شدند. در نهایت سه منطقه مناسب در اطراف شهر چابهار برای استقرار نیروگاه خورشیدی تعیین شد.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول
۲. دانشیار مهندسی برق قدرت ، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول aghasemi@jsu.ac.ir
۳. استادیار مهندسی برق قدرت ، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

مقدمه:

رشد سریع جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه فعالیت‌های صنعتی در دهه‌های اخیر موجب افزایش چشمگیر مصرف انرژی در جهان شده است. تکیه بر منابع انرژی تجدیدناپذیر نظیر سوخت‌های فسیلی، افزون بر آن‌که منجر به کاهش ذخایر طبیعی می‌شود، پیامدهای زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری از جمله آلودگی هوا، گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی را نیز به دنبال دارد. در این راستا، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی به عنوان راهکاری پایدار، کارآمد و دوستدار محیط زیست، بیش از پیش مورد توجه برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار گرفته است (Kalogirou et al., 2022).

انرژی خورشیدی یکی از در دسترس‌ترین و پاک‌ترین منابع انرژی محسوب می‌شود که در بیشتر نقاط جهان و به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک با تابش مستقیم خورشید، قابلیت بهره‌برداری بالا دارد. ایران با قرار گرفتن در کمربند خورشیدی جهان، از پتانسیل بالایی برای تولید انرژی خورشیدی برخوردار است. به طور خاص، استان سیستان و بلوچستان و به‌ویژه شهرستان چابهار با دارا بودن ساعات آفتابی بالا، دمای مناسب و شرایط اقلیمی پایدار، یکی از مناسب‌ترین مناطق کشور برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی محسوب می‌شود. با وجود مزایای فراوان انرژی خورشیدی، احداث نیروگاه‌های خورشیدی نیازمند مکان‌یابی دقیق و اصولی است؛ زیرا انتخاب مکان نامناسب می‌تواند منجر به کاهش بهره‌وری، افزایش هزینه‌های انتقال انرژی، یا حتی آسیب‌های زیست‌محیطی شود. در این راستا، استفاده از ابزارهای تحلیلی دقیق مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ترکیب با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، به‌عنوان رویکردی علمی و کاربردی در مکان‌یابی بهینه نیروگاه‌های خورشیدی مطرح شده است (Al Garni & Awasthi, 2018). این روش‌ها امکان در نظر گرفتن هم‌زمان معیارهای مختلف کمی و کیفی از جمله میزان تابش خورشیدی، شیب و جهت زمین، نزدیکی به شبکه برق، فاصله از راه‌های دسترسی، کاربری اراضی و عوامل زیست‌محیطی را فراهم می‌کنند (Rehman et al., 2023).

در مطالعات پیشین، از مدل‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند AHP، Fuzzy-AHP، ANP، TOPSIS و روش‌های مبتنی بر منطق فازی برای ارزیابی و وزن‌دهی به معیارهای مکانی استفاده شده است (Janke, 2020; Hasan et al., 2021). این مدل‌ها با کمک ابزارهای تحلیل فضایی در محیط GIS، قادرند مناطق بهینه را بر اساس ترکیب معیارهای مختلف شناسایی کنند. همچنین، پژوهش‌های اخیر بر استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کنار روش‌های کلاسیک برای ارتقای دقت مکان‌یابی تأکید داشته‌اند (Rehman et al., 2023). انتخاب ناکافی مکان برای یک نیروگاه می‌تواند کارایی کلی و طول عمر عملیاتی آن را کاهش دهد و همچنین به محیط زیست محیطی اطراف آسیب برساند. بنابراین، فرآیند شناسایی مکان‌های مناسب برای تأسیسات نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ باید استراتژی‌هایی را در بر گیرد که حفظ و احیای اکوسیستم‌های شکننده بیابانی را در اولویت قرار می‌دهند (Karban et al., 2024; Sturchio and Knapp, 2023). این رویکرد پیشرفت همزمان رشد انرژی و حفاظت از محیط زیست را به صورت هماهنگ تضمین می‌کند. در حال حاضر، مطالعات متعددی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDMs) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تعیین مکان بهینه برای تأسیسات برق نیروگاه‌های خورشیدی استفاده کرده‌اند (Demir et al., 2023; Lv and Tang, 2024; Rediske et al.). شاخص‌های ارزیابی اصلی را می‌توان به عنوان ساعات آفتابی، توپوگرافی، اقتصاد و محیط زیست خلاصه کرد (Demir et al., 2023; Doorga et al., 2019; Elkadeem et al., 2021; Li et al., 2024; Rekik and El Alimi, 2024). با این حال، در بیابان‌ها و سایر مناطق از نظر اکولوژیکی شکننده، تحقیقات قبلی در مورد تأثیر اکولوژیکی مزارع نیروگاه‌های خورشیدی هنوز کافی نیست. فهرست معیارها شامل عوامل ارزیابی مربوط به بازیابی اکولوژیکی نمی شود، بنابراین نیاز فوری به انجام نوآوری نظری و اکتشاف عملی در مناطق بیابانی شکننده وجود دارد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

جدول ۱: مقررات و محدودیت‌های مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی

نوع محدودیت/مقرره	توضیحات	منبع
فاصله از مناطق مسکونی	حداقل فاصله ۱۰۰۰ متر برای کاهش تأثیرات بصری و صوتی	(Elkadeem et al., 2021)
فاصله از خطوط انتقال برق	ترجیحاً کمتر از ۵ کیلومتر برای کاهش هزینه‌های اتصال به شبکه	(Doorga et al., 2019)
ممنوعیت در اراضی کشاورزی درجه یک و حفاظت‌شده	نصب نیروگاه بر روی اراضی حاصلخیز یا منابع طبیعی حفاظت‌شده ممنوع است	(Rediske et al., 2023)
فاصله از منابع آبی (رودخانه، دریاچه، تالاب)	حداقل فاصله ۵۰۰ متر برای جلوگیری از تأثیرات زیست‌محیطی	(Li et al., 2024)
فاصله از مناطق حفاظت‌شده محیط‌زیست و حیات‌وحش	نصب در شعاع ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از مناطق حفاظت‌شده ممنوع یا نیازمند ارزیابی اثرات زیست‌محیطی است	(Karban et al., 2024)
شیب زمین	حداکثر شیب مجاز بین ۵ تا ۱۰ درصد برای نصب بهینه پنل‌ها و کاهش هزینه‌های زیرساختی	(Al Garni & Awasthi, 2018)
جهت جغرافیایی زمین	اراضی با شیب به سمت جنوب (در نیم‌کره شمالی) ترجیح داده می‌شود	(Janke, 2020)
کاربری اراضی	اولویت با اراضی بایر، کم‌بار یا غیرقابل کشت	(Rehman et al., 2023)
فاصله از جاده‌های دسترسی	فاصله کمتر از ۳ کیلومتر برای تسهیل حمل‌ونقل و نگهداری	(Demir et al., 2023)
عدم تداخل با مسیرهای پروازی یا تجهیزات نظامی	اخذ مجوزهای قانونی از مراجع ذی‌ربط برای نصب در نزدیکی مناطق امنیتی	(Sturchio & Knapp, 2023)
بررسی خطر سیل و زلزله	انتخاب مناطق با حداقل خطر زمین‌لرزه و سیلاب	(Rekik & El Alimi, 2024)
رعایت فاصله از خطوط گاز، نفت و تأسیسات زیربنایی	حداقل فاصله‌های فنی و ایمنی مطابق با مقررات ملی	وزارت نیرو ایران، ۱۴۰۲

با توجه به اهمیت مکان‌یابی صحیح در موفقیت پروژه‌های انرژی خورشیدی، پژوهش حاضر با هدف شناسایی مناطق بهینه جهت استقرار نیروگاه خورشیدی در شهرستان چابهار انجام گرفته است. در این مطالعه، با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط GIS، تلاش شده است تا ضمن شناسایی و تحلیل معیارهای مؤثر در مکان‌یابی، مناطق مناسب جهت توسعه انرژی خورشیدی در این شهرستان اولویت‌بندی و معرفی شوند. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی در اختیار تصمیم‌گیران حوزه انرژی، مدیران شهری و سرمایه‌گذاران بخش خصوصی قرار گیرد و گامی مؤثر در جهت توسعه پایدار و افزایش سهم انرژی‌های پاک در سبد مصرف کشور باشد.

بر این اساس هدف از این پژوهش مکان‌یابی احداث نیروگاه‌های خورشیدی تا شهرستان چابهار با به کارگیری روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره فازی است.

سوالات تحقیق عبارتند از:

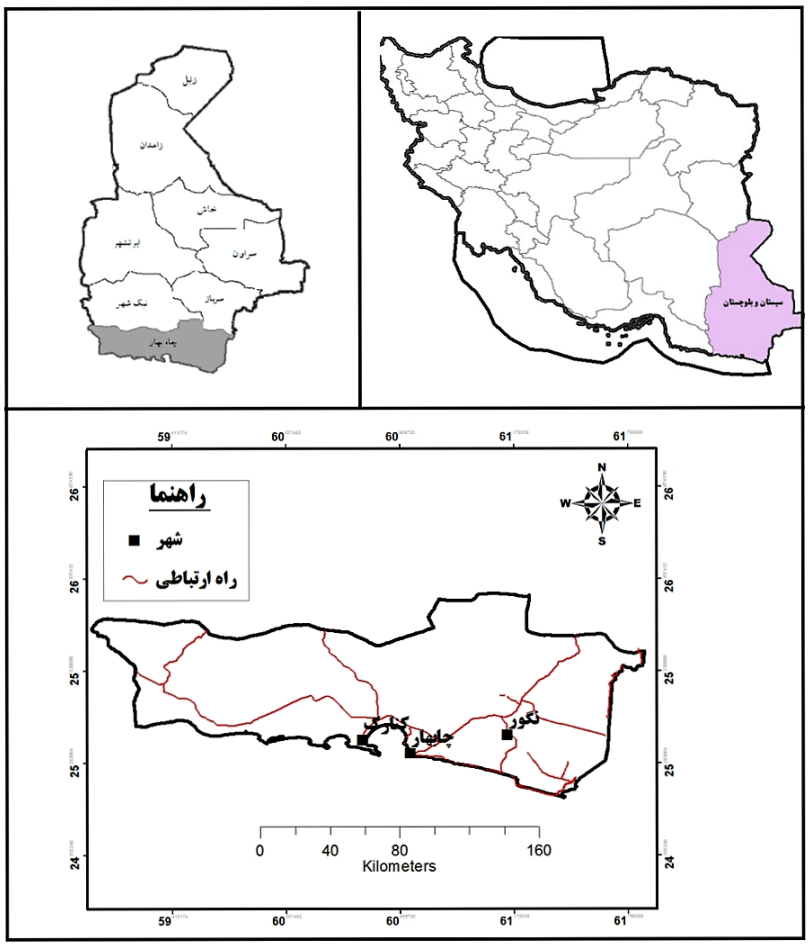
مناسب ترین مکان برای استقرار نیروگاه خورشیدی در شهرستان چابهار کجاست؟

کدام معیارها نقش تعیین کننده ای در انتخاب مکان استقرار نیروگاه خورشیدی دارند؟

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

موقعیت منطقه مورد مطالعه :

شهرستان چابهار از شمال به شهرستانهای ایرانشهر و نیکشهر، از جنوب به دریای عمان، از شرق به پاکستان و از غرب به استان‌های کرمان و هرمزگان محدود است. بندرچابهار با وسعتی بالغ بر ۱۱ کیلومترمربع درارتفاع ۴ مترازسطح دریا قرارگرفته است و در ۶۳ درجه و ۰۴ دقیقه طول شرقی و ۰۳ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. شکل ۱ موقعیت شهرستان چابهار و شهرستان‌های اطراف آن را مشخص می‌نماید (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق:

در این پژوهش روش تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت گام‌های ذیل می‌باشد:

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

جمع آوری اطلاعات که برای اینکار از طرح‌های اجرا شده در منطقه کمک گرفته شده است. در ابتدا کلیه داده‌های جمع آوری شده با فرمت مشابه وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شدند. برای مکان یابی استقرار نیروگاه خورشیدی در چابهار از دو دسته معیارها استفاده شده است.

معیارهای ژئومورفولوژی(شامل فاصله از دریا، فاصله از رودخانه و مسیل‌ها، مورفولوژی زمین و شیب)

سایر معیارها: (فاصله از راه‌های ارتباطی و دسترسی به تأسیسات زیر بنایی، ساعات آفتابی. گرد و خاک)

سپس نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه به روز شد.

مرحله بعد کلیه لایه‌ها با توجه به ماهیت آنها براساس توابع فازی، در دامنه ۳۰۰-۰ استاندارد شدند.

برای پردازش اطلاعات از تکنیک فازی استفاده شده است.

منطق فازی یک منطق چند ارزشی است که اجازه تعریف مقادیر میانه را بین ارزیابی‌های مرسوم نظیر درست/ غلط، بله/ خیر، بالا/ پایین و ... فراهم می‌سازد. تئوری فازی به اعضای یک مجموعه اجازه می‌دهد درجات مختلفی از عضویت را بپذیرند. صفر نشان دهنده عدم عضویت و ۲۵۵ نشان دهنده عضویت کامل یا ۱۰۰ درصد است. پارامترهای موجود در مسائل مکان یابی تا حدود زیادی ماهیت فازی دارند. برای مثال فاکتورهای مربوط به فاصله مناسب از عوارض موجود، مجموعه‌های فازی هستند و هر پیکسل با توجه به فاصله ای که از عارضه دارد، درجه عضویت متفاوتی را در این مجموعه داراست. زمانی که منطق فازی در مورد یک منطقه استفاده می‌شود، نتایج می‌توانند خوب، بد، یا اندکی خوب یا بد باشند. البته، بایستی توجه داشت که معیار مناطق حفاظت شده به عنوان محدودیت مطرح بوده، و در دامنه ۰ و ۱ استاندارد شده است. جدول ۲ نوع تابع فازی معیارهای استقرار استقرار نیروگاه خورشیدی در شهرستان چابهار را نشان می‌دهد.

جدول ۲: نوع تابع فازی معیارهای استقرار استقرار نیروگاه خورشیدی

نوع معیار	نوع تابع فازی
فاصله از آبهای سطحی	خطی افزایشی
فاصله از دریا	خطی افزایشی
فاصله از راه‌های ارتباطی	خطی متقارن
شیب	S شکل کاهشی
دسترسی به تأسیسات زیربنایی	S شکل کاهشی
ساعات آفتابی	-
کاربری زمین	-
گرد و خاک	S شکل کاهشی

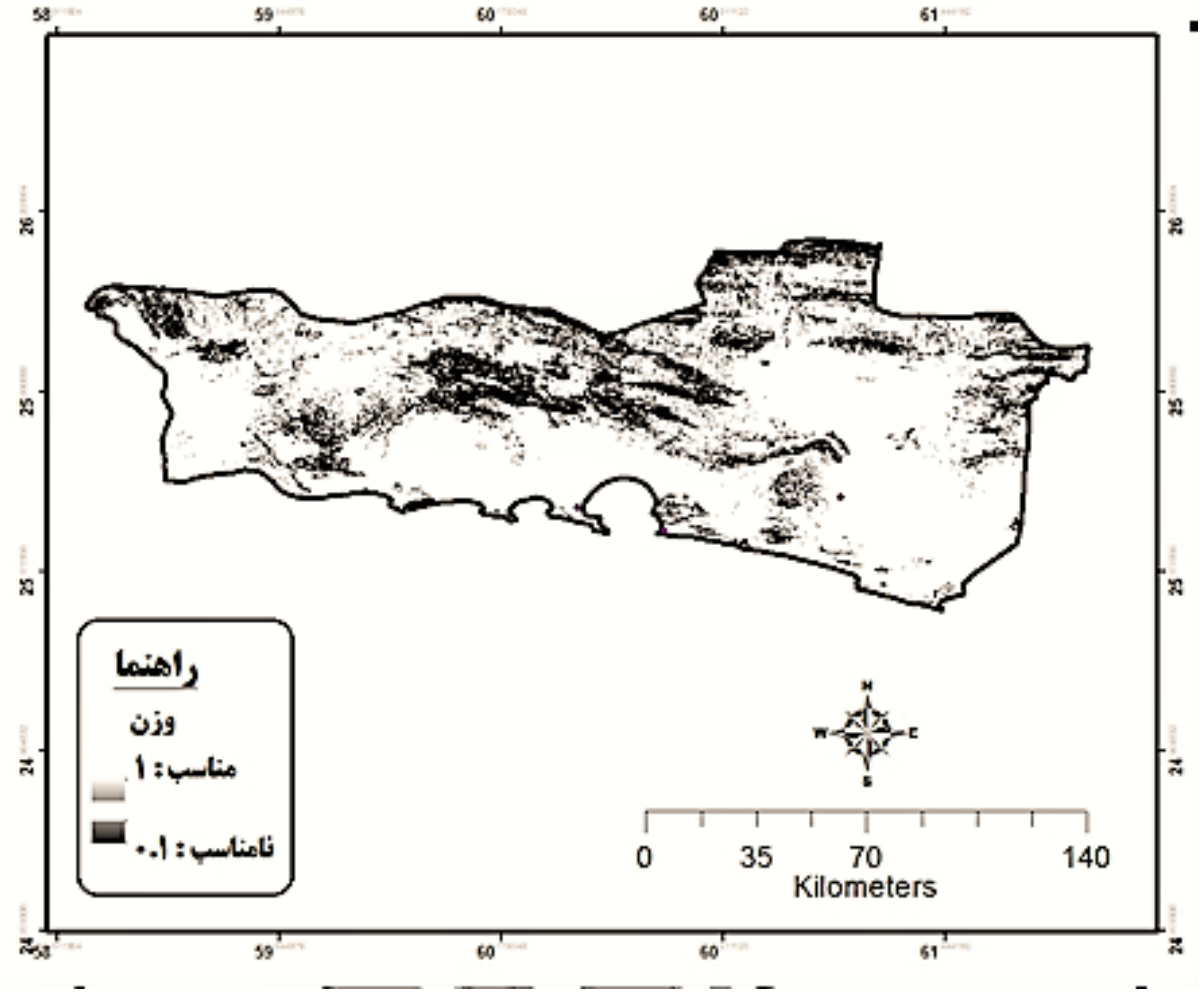
یافته‌ها

در ابتدا به تحلیل فاکتورهای مورد نیاز برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی پرداخته خواهد شد:

طبقات شیب:

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

از نظر توپوگرافی کوه‌های اطراف چابهار از ارتفاع نسبتا کوتاهی برخوردارند. به طورکلی کوه‌های موجود در محدوده مطالعاتی دارای جهت شرقی- غربی بوده و بام آنها اغلب مسطح است. با توجه به بررسی نقشه شیب منطقه می‌توان به بالا بودن سطوح مسطح تا نیمه مسطح در محدوده مطالعاتی اشاره نمود. این موضوع بیانگر اثر عوامل اقلیمی، هیدرولوژیکی بر روی ساختار لیتولوژیکی منطقه است. بیشترین مساحت شیب منطقه مربوط به سطوح کم شیب است که سطوح مذکور شیبهای کمتر از ۵ درصد را شامل می‌شوند. همانطور که نقشه شیب نشان می‌دهد بخش بسیار کمی از منطقه در سطوح ارتفاعی با شیب بالا (بیشتر از ۸ درصد) واقع شده است. که این مناطق منطبق بر ارتفاعات فرسوده منطقه مطالعاتی است. همچنین در محدوده مطالعاتی بیشترین سطوح دارای شیب در جهت جنوبی و کمترین سطوح دارای شیب در جهت شرقی هستند.در احداث نیروگاه خورشیدی مناطق کم شیب امتیاز بیشتری می‌گیرند(رئیسی، سفانیان ۱۳۸۹). (شکل ۲).

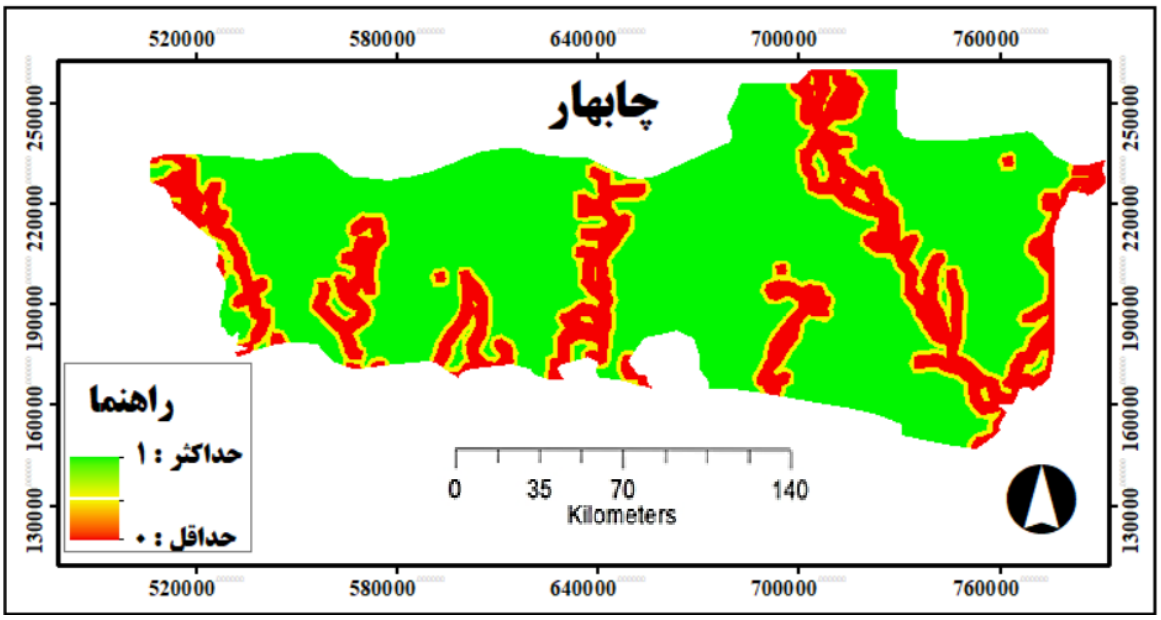


شکل ۲: نقشه فازی شیب در ارتباط با مکان گزینی نیروگاه خورشیدی

- فاصله از رودها ، مسیل‌ها، مانگروها:

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

در شهرستان چابهار رودخانه‌های طویل و پرآب وجود ندارد و شبکه آب‌های سطحی به چند رودخانه محلی و تعداد زیادی مسیل و آبگذر فرعی بزرگ و کوچک محدود می‌شود. نحوه جریان رودهای منطقه به میزان و شدت بارندگی‌های فصلی و حجم بسیار متفاوت آب در بارندگی‌های مختلف بستگی دارد. همچنین وقوع بارندگی‌های مهم در عرض چند روز از ویژگی‌های مهم رودخانه‌های این محدوده است و این پدیده منطقه را معرض خطر سیلاب قرار می‌دهد. در نتیجه هر چه فاصله بیشتر باشد، نیروگاه از موقعیت بهتری برخوردار است (شکل ۳).



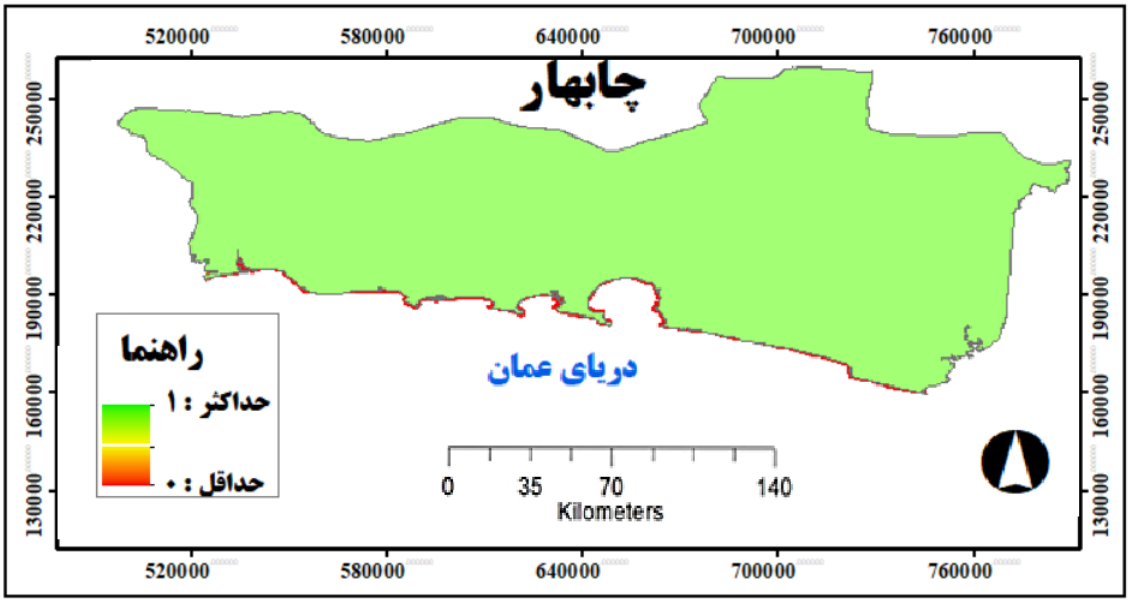
شکل ۳: نقشه فازی فاصله از رود در ارتباط با مکان گزینی نیروگاه خورشیدی

فاصله از دریا:

خصوصیات دریایی خلیج چابهار از لحاظ فیزیکی و بیولوژیکی کاملا با آب‌های سایر نقاط ایران متفاوت است. این تفاوت از نظام کشند و رسوبگذاری آغاز شده و به جریانات کلان و خرد دریایی و بیولوژی این آبها ختم می‌شود. ساخت و ساز در این خلیج، بدون مطالعات کامل و در نظر گرفتن تمهیدات لازم، بر محیط بسیار تاثیر گذار خواهد بود و عدم پیشبینی مخاطرات، ممکن است در آینده هزینه‌های زیادی را برای جبران خسارت به طرح تحمیل نماید؛ همانگونه که در حال حاضر به دلیل عدم ساخت اصولی اسکله کنارک، رفتار رسوبگذاری در این خلیج به کلی تحت تاثیر قرار گرفته است. خلیج چابهار نسبت به دریای عمان خلیجی بسیار کم عمق به حساب می‌آید. حداکثر عمق دریای عمان نزدیک به ۴ هزار متر است در صورتی که حداکثر عمق خلیج چابهار از ۱۴ متر تجاوز نمی کند و شیب ساحل این خلیج نسبت به دریای عمان بسیار کمتر است. شیب ساحل در غرب خلیج کمتر از شرق آن است و دلیل آن نیز رسوبگذاری بیشتر در این قسمت است که شرح آن در بخش رسوب گذاری آمده است. وسعت خلیج چابهار ۳۲۰ کیلومتر مربع با قطر ۲۱ کیلومتر، عمق متوسط آن متر و عمق بیشینه در دهانه ورودی ۲۴ متر و حداکثر عمق داخل خلیج ۱۳٫۵ است. با توجه به این امر مشخصه‌های فیزیکی شیمیایی دریا به شدت بر حسب زمان و مکان در تغییرند. بیشترین میزان شوری آب دریای عمان مربوط به عمق صفر با مقدار ۳۷ گرم بر لیتر و کمترین آن مربوط به عمق ۳ هزار متر با مقدار ۳۱ گرم بر لیتر است. همزمان با افزایش عمق از میزان شوری دریای عمان کاسته می‌شود، در فصل تابستان به دلیل گرم شدن هوا، وجود مانسون تابستانه، تبخیر شدید و کمبود بارندگی، میزان شوری

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

بیشتر از فصل زمستان می‌شود و این مقدار در فصل تابستان در خورها و خلیج‌ها بیشتر از مکان‌های دیگر قابل مشاهده است. بیشترین میزان شوری در ایستگاه‌های شهرستان چابهار مربوط به جنوب شرقی شهرستان یعنی گواتر به دلیل تاثیر بیشتر مونسون تابستانه در این منطقه است. هرچه نیروگاه خورشیدی به دریا نزدیکتر باشد به دلیل رطوبت بیشتر امتیاز کمتری دریافت می‌کند (شکل ۴).

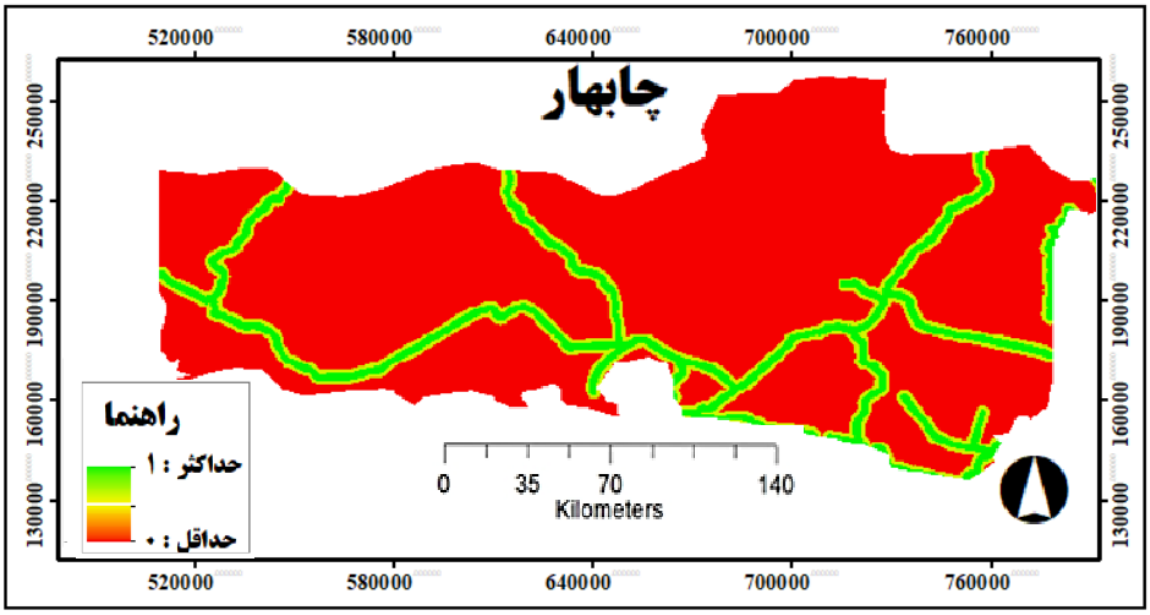


شکل۴: نقشه فازی فاصله از دریا در ارتباط با مکان گزینی نیروگاه خورشیدی

فاصله از جاده اصلی

ارتباط میان نیروگاه خورشیدی و با محیط بیرون خود صرفا از طریق جاده اصلی منطقه آزاد صورت‌پذیر است. در نتیجه هر چه فاصله کمتر و مجاورت با این جاده بیشتر باشد، نیروگاه خورشیدی از موقعیت بهتری برخوردار است (شکل ۵).

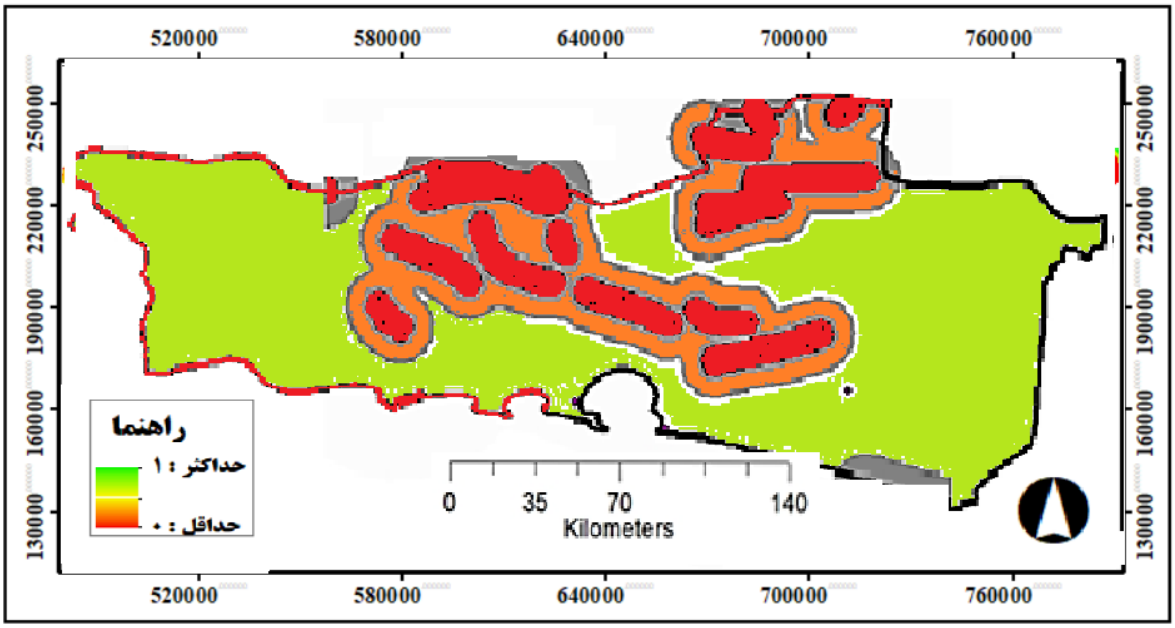
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]



شکل ۵: نقشه فازی فاصله از راه ارتباطی در ارتباط با مکان گزینی نیروگاه خورشیدی

ساعات آفتابی:

این معیار به طور مستقیم با ساعت کارکرد پنل‌های خورشیدی در ارتباط است و هر چه میزان آن بیشتر باشد نشان دهنده این است که پنل‌های خورشیدی نصب شده بیشتر در مقابل خورشید قرار گرفته‌اند. همچنین هر چه ساعات آفتابی یک منطقه بیشتر باشد موید آن است که منطقه روزهای ابری کمتری را تجربه کرده و از تناسب بیشتری برای نصب نیروگاه خورشیدی برخوردار است (شکل ۶).



شکل ۶: نقشه فازی فاصله از ساعات آفتابی در ارتباط با مکان گزینی نیروگاه خورشیدی

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

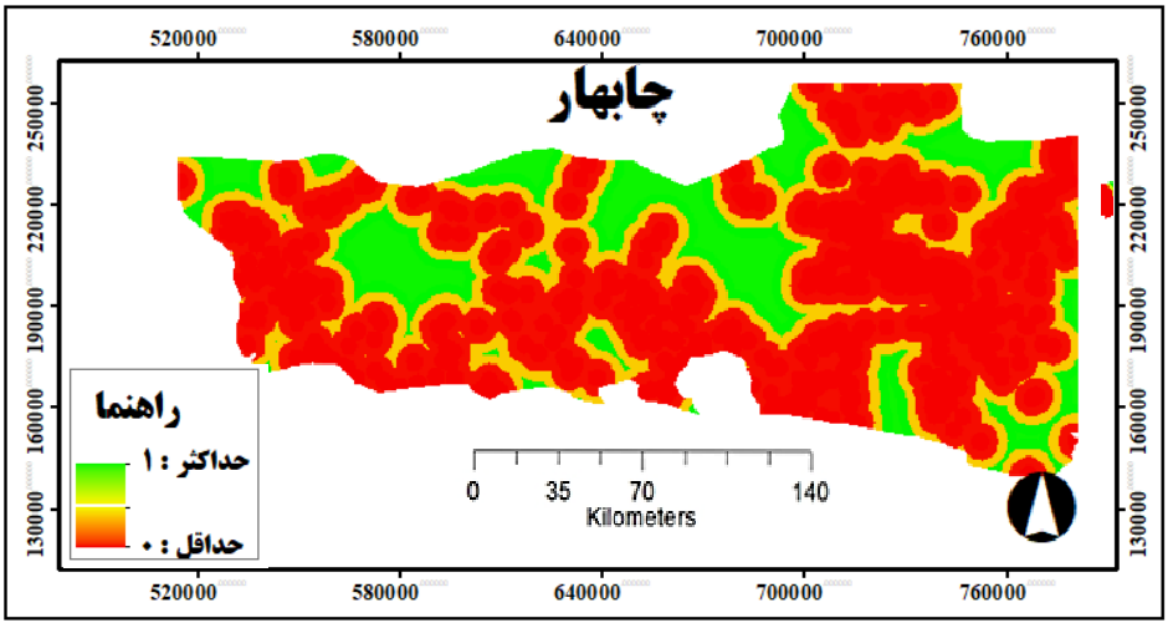
فاصله از مناطق مسکونی:

طبق قوانین و مقررات زیست محیطی، نیروگاه خورشیدی باید حداقل ۲۵۰۰ متر از حریم شهرها و روستاها دور باشند. با توجه به اینکه یکی از اهداف استقرار مزارع خورشیدی تأمین برق مورد نیاز ساکنان شهرهاست. این مزارع باید در نزدیکی نواحی شهری احداث شوند. از آنجا که عامل اقتصادی عاملی مهم و تأثیرگذار در کشورهای در حال توسعه است. باید به این نکته توجه داشت که هر چه فاصله از مزرعه خورشیدی به نواحی شهری کمتر باشد هزینه‌های اقتصادی برای نتقال انرژی و همچنین اتلاف انرژی کاهش می‌یابد.

دسترسی به تأسیسات زیر بنایی:

منابع تامین و توزیع برق، سیستم مخابرات، همجواری با نیروگاه خورشیدی ، آب و فاضلاب، بنادر(بندر شهید بهشتی، بندر شهید کلانتری) ، فرودگاه (نزدیکترین فرودگاه به محدوده مطالعاتی، فرودگاه کنارک است که در واقع جابجایی هوایی بار و مسافر به چابهار و مناطق اطراف آن، تنها از طریق این فرودگاه امکان‌پذیر است.) و راه آهن از مواردی است که در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی باید به آن توجه نمود.

وجود فرودگاه در نزدیکی سایت‌ها و هر صنعت دیگری به عنوان یک زیر ساخت مهم و راه ارتباطی سریع و موثر مزیت محسوب می‌گردد. هرچه فاصله تا فرودگاه نزدیکتر باشد، امتیاز سایت بالاتر خواهد رفت.

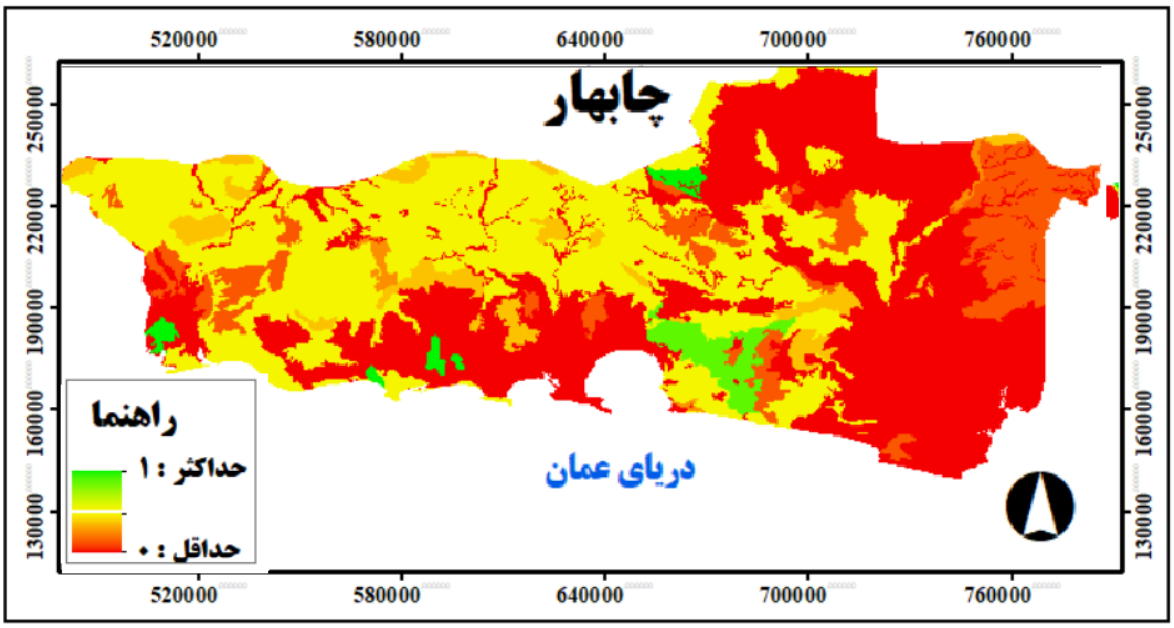


شکل ۷: نقشه فازی فاصله از مناطق مسکونی در ارتباط با مکان گزینی نیروگاه خورشیدی

کاربری اراضی:

وضعیت فیزیکی اراضی مثل وجود اراضی ماندابی، وجود و یا عدم وجود مسیل و یا خور، وجود اراضی سست و گلی، زمین‌های کشاورزی ، جنگل و مراتع امثال آن برای استقرار نیروگاه خورشیدی بسیار تعیین کننده است و می‌تواند اقتصاد پروژه را تحت تاثیر قرار دهد. به این ترتیب زمین‌هایی که با محدودیت‌های فوق روبرو نیستند، امتیاز بیشتری خواهند داشت (شکل ۷).

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]



شکل ۸: نقشه فازی کاربری اراضی در ارتباط با مکان گزینی نیروگاه خورشیدی

گرد و خاک:

در فرآیند مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از منطق فازی، یکی از معیارهای مهم زیست‌محیطی و عملکردی، گرد و غبار (گرد و خاک) است، زیرا افزایش ذرات معلق در هوا می‌تواند به‌شدت کارایی پنل‌های خورشیدی را کاهش دهد. برای مدل‌سازی این معیار در سیستم فازی، باید تابع عضویت مناسبی برای شدت گرد و خاک تعریف شود. بسته به رویکرد مدل‌سازی، اما اغلب از تابع فازی کاهشی استفاده می‌شود، چراکه:

گرد و خاک کمتر ⇒ مطلوب‌تر - گرد و خاک بیشتر ⇒ نامطلوب‌تر

پس از وزن دهی به هر معیار، سپس برای محاسبه نسبت‌ها، نمره اختصاص یافته به کم اهمیت ترین معیار به عنوان نقطه مرجع در نظر گرفته می‌شود. نمره هر معیار بر نمره کم اهمیت ترین معیار تقسیم شد. نهایتا نیز با تقسیم هر وزن بر مقدار کل، وزن‌ها استاندارد شدند. در نهایت، برای تلفیق نظر متخصصان از میانگین‌گیری استفاده شد(پرهیزگار و غفاری گیلانده ۱۳۸۵).

در پایان، با استفاده از روش WLC مطابق فرمول زیر وزن هر معیار در نقشه مربوطه ضرب شده و نقشه مناطق حفاظت شده نیز به عنوان محدودیت به نرم افزار معرفی شد.

$$Ai = \Sigma j\ WjXij$$

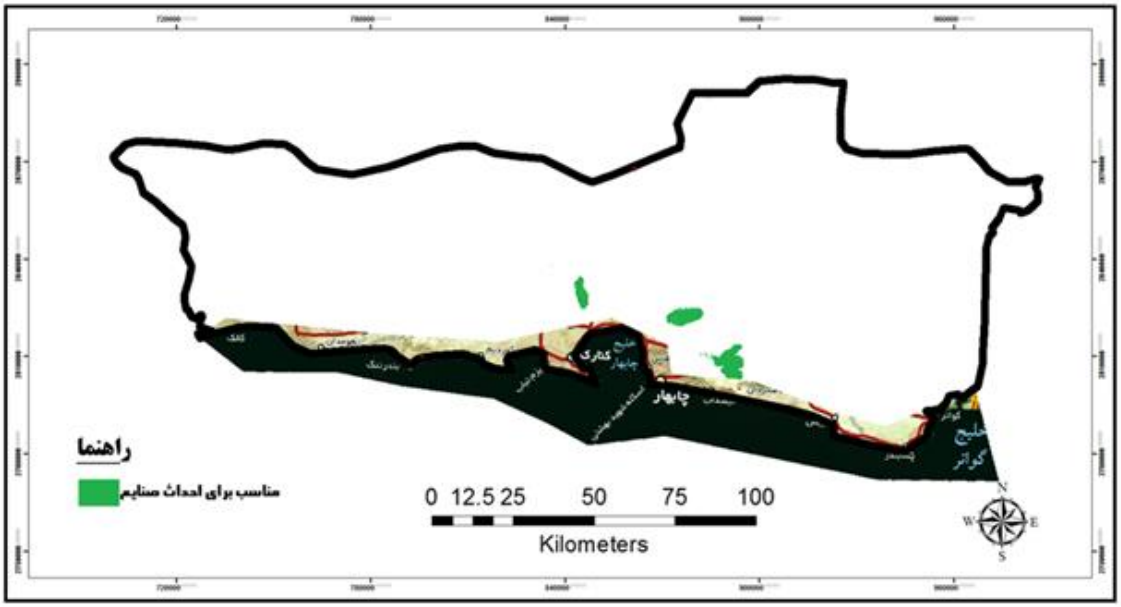
که در آن X_{ij} صفت معرف ارزش گزینه iام در ارتباط با صفت jام و w_j وزن استاندارد شده است. به گونه‌ای که $\sum W_j = 1$ است. وزن‌ها نشان دهنده اهمیت نسبی هر صفت است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

با استفاده از روش درجه بندی مشخص شد که از نظر متخصصان ساعات آفتابی مهم‌ترین و شیب کم‌اهمیت‌ترین معیار برای استقرار نیروگاه خورشیدی است.

جدول ۲: وزن نهایی معیارها بر اساس روش درجه بندی

نوع معیار	وزن نهایی
ساعات آفتابی	۰/۱۷۵
دسترسی به تأسیسات زیربنایی	۰/۱۶۳
گرد و خاک	۰/۱۵۱
کاربری زمین	۰/۱۴۲
فاصله از دریا	۰/۱۱۱
فاصله از راه‌های ارتباطی	۰/۱۰۳
فاصله از آب‌های سطحی	۰/۸۲
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۷۵
شیب	۰/۷۱



شکل ۷: نقشه مکان‌یابی احداث نیروگاه خورشیدی در چابهار

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش که با هدف مکان‌یابی بهینه نیروگاه‌های خورشیدی در شهرستان چابهار با استفاده از منطق فازی و روش درجه‌بندی معیارها انجام شده، نشان داد که مؤثرترین معیارها در مکان‌یابی به ترتیب عبارتند از: ساعات آفتابی (۰,۱۷۵)، دسترسی به

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

تأسیسات زیربنایی (۰,۱۶۳)، گرد و خاک (۰,۱۵۱) و کاربری زمین (۰,۱۴۲). این نتایج تأکید می‌کند که شرایط اقلیمی و زیرساختی نقش اساسی در تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی ایفا می‌کنند، در حالی که عواملی مانند شیب زمین، فاصله از مناطق مسکونی و منابع آبی اهمیت نسبتاً کمتری داشته‌اند.

بررسی و تحلیل نتایج با مطالعات پیشین حاکی از تطابق نسبی در الگوی وزن‌دهی معیارها است. برای مثال، در مطالعه Al Garni & Awasthi (۲۰۱۸) و نیز Janke (۲۰۲۰)، معیارهای تابش خورشیدی، زیرساخت‌ها و کاربری اراضی نیز به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی در مکان‌یابی بهینه معرفی شده‌اند. با این حال، یکی از تفاوت‌های شاخص این مطالعه با برخی پژوهش‌های مشابه، توجه ویژه به معیار گرد و خاک و جایگاه بالای آن در فرآیند وزن‌دهی است؛ موضوعی که در برخی مناطق ایران، به‌ویژه در نواحی شرقی و بیابانی مانند چابهار، اهمیت زیادی دارد و کمتر در پژوهش‌های سایر مناطق مورد توجه قرار گرفته است (Elkadeem et al., 2021; Rehman et al., 2023).

از سوی دیگر، برخلاف برخی مطالعات که شیب و فاصله از مناطق مسکونی را از عوامل اصلی تلقی کرده‌اند (مانند Doorga et al., 2019)، در این تحقیق این معیارها از وزن نسبتاً کمتری برخوردار بوده‌اند. این موضوع می‌تواند به دلیل توپوگرافی نسبتاً هموار منطقه چابهار و تراکم پایین جمعیتی آن باشد که محدودیت‌های این دو عامل را در مقایسه با مناطق کوهستانی یا متراکم کاهش داده است.

در مجموع، نتایج این تحقیق ضمن هم‌راستایی با اصول مکان‌یابی علمی نیروگاه‌های خورشیدی، ویژگی‌های خاص اقلیمی، جغرافیایی و محیطی منطقه چابهار را به خوبی منعکس می‌کند. توجه به گرد و خاک به‌عنوان یک متغیر اقلیمی بومی‌محور، همچنین استفاده از منطق فازی در مواجهه با عدم قطعیت داده‌ها، از نوآوری‌های این مطالعه در مقایسه با برخی مدل‌های قطعی مرسوم است. به‌کارگیری این روش می‌تواند به‌عنوان الگویی برای سایر مناطق بیابانی کشور نیز به‌کار گرفته شود.

ضرورت بکارگیری سیستم‌هایGIS در مکان یابی با توجه به حجم وسیع منابع و اثرات آن از قبیل اثرات زیست محیطی و مبالغ زیادی که جهت طراحی و اجرای طرح‌ها هزینه می‌شود، ایجاد این سیستم‌ها را در حال حاضر امری بدیهی ساخته است.از مواردی که بسیار لازم است در نظر گرفته و بکار گرفته شود، تکنولوژی RS بوده که مکمل کسب اطلاعات طراحی می‌باشد. لذا با بهره گیری مناسب و بهینه از RS وطراحی یک سیستم GIS مناسب و تغذیه اطلاعات کامل به سیستم GIS می‌توان یک پکیج مناسب طراحی نمود که قابل کار در شرایط و وضعیت‌های مختلف بوده و در طراحی‌های آتی نیز مورد استفاده قرار گیرد و نیز جهت استفاده‌های بعد از طراحی نیز بکار گرفته شود.

منابع:

۱. ایلدرمی علیرضا، دلال اوغلی علی، قربانی محمد، بهمنی نگار، ۱۳۹۴، مکان‌یابی مناطق مستعد و حفاظت شده جهت فعالیت‌های اکوتوریستی با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی: استان همدان)، **فصلنامه ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی**، سال پانزدهم، ی ۵۱

۲. حاجبی، شاهو. سلیمانی، غلامرضا. رحیم پور، محمد. ۱۳۹۴، مکان‌یابی شهرک‌های استقرار نیروگاه خورشیدی با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی: شهرک استقرار نیروگاه خورشیدی شهرستان دیواندره در استان کردستان)، **فصلنامه مدیریت استقرار نیروگاه خورشیدی دانشکده علوم انسانی**، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سال دهم، ۳۴، زمستان.

۳. رئیسی مرضیه، سفیانیان علیرضا، ۱۳۸۹، مکان یابی استقرار نیروگاه خورشیدی با استفاده از معیارهای جغرافیایی (مطالعه موردی: شعاع پنجاه کیلومتری شهر اصفهان) **فصلنامه تحقیقات جغرافیایی**- ش ۹۹.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

۴. رجبی، محمدرضا. منصوریان، علی. طالعی، محمد. ۱۳۹۰، مقایسهٔ روش‌های تصمیم گیری چند معیاره Fuzzy و AHP_OWA، AHP ، AHP_OWA برای مکان یابی مجتمع‌های مسکونی در شهر تبریز، **مجله محیط شناسی**، سال سی و هفتم، شمارهٔ ۵۷.

۵. زارعی، یاسر(۱۳۸۹): تحلیلی بر توزیع فضایی و مکان یابی خدمات شهری شهر نورآباد با استفاده از GIS پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ، ریزی شهری دانشگاه اصفهان، استاد راهنما: جمال محمدی.

۶. کرمی مهرداد، چوبچیان شهلا، کلانتری خلیل، ۱۳۹۱، برنامه ریزی فضایی به منطور مکان‌یابی بازارچه‌های نیروگاه خورشیدی دستی(مطالعه موردی استان خراسان جنوبی) ، **مجله مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای** سال چهارم، پانزدهم

۷. عاشری، امامعلی، ۱۳۹۴، ارزیابی توان طبیعی توسعه گردشگری ورزش‌های زمستانه مناطق روستایی حوضه آبریز زاب با استفاده از GIS و MCDM، **نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی**، سال پانزدهم، ۳۹ ، زمستان

۸. مقدم مهدی، ۱۳۹۱، مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در فضایی نابرابر، **دوفصلنامه علمی- تخصصی اقتصاد توسعه و برنامه ریزی.**

۹. محمدی ، جمال، پورقیومی، حسین، زارعی ، یاسر(۱۳۹۱) تحلیل مکانی- فضایی پارک‌های شهری شهر نورآباد با استفاده از GIS.**مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی**.

۱۰. محمدی، جمال،ضرابی، اصغر، احمدیان، مهدی ۱۳۹۱، اولویت سنجی مکانی توسعه فضاهای سبز و پارک‌های شهری با استفاده از AHP (نمونه موردی: شهر میاندوآب).**روش فصلنامه علمی - پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی** – سال چهارم، دوم، بهار

11. Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2018). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. Applied Energy, 206, 1225–1240. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024
12. Demir, M., Ceylan, H., & Aydin, N. Y. (2023). A comprehensive GIS-based multi-criteria decision-making approach for solar farm site selection. Renewable Energy, 205, 84–99. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.007
13. Doorga, J. R. S., Rughooputh, S. D. D. V., & Boojhawon, R. (2019). Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study from Mauritius. Renewable Energy, 133, 1201–1219. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.081
14. Elkadeem, M. R., Wang, Y., & Sharshir, S. W. (2021). Feasibility assessment of large-scale PV solar farms using GIS-based multi-criteria decision-making analysis: A case study in Egypt. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 47, 101478. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101478
15. Hasan, M. M., Mahlia, T. M. I., Nur, H., & Rahim, N. A. (2021). A review of sustainable solar photovoltaic development in Saudi Arabia: Current status and future roadmap. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137, 110681. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110681
16. Janke, J. R. (2020). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. Renewable Energy, 145, 401–413. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.064

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

17. Kalogirou, S. A., Karellas, S., Braimakis, K., & Stanciu, C. (2022). Recent advances in solar energy technologies and their applications: A review. Renewable Energy, 187, 94–114. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.071
18. Karban, R., Ghalambor, C. K., & Wang, T. (2024). Ecological recovery in solar development zones: A framework for integrating conservation into renewable energy planning. Environmental Management, 73(1), 45–59. https://doi.org/10.1007/s00267-023-01890-3
19. Li, J., Chen, X., Zhang, Y., & Gao, L. (2024). Evaluation and optimization of solar farm locations under ecological and economic constraints using GIS-MCDM. Journal of Cleaner Production, 427, 139970. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139970
20. Lv, X., & Tang, W. (2024). Integration of ecological security into solar site planning in arid regions: A new hybrid GIS-MCDM model. Energy Reports, 10, 421–436. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.023
21. Rediske, R. R., Jager, H. I., & Young, D. P. (2023). Balancing biodiversity conservation and renewable energy goals in desert environments. Ecological Applications, 33(2), e2692. https://doi.org/10.1002/eap.2692
22. Rekik, M., & El Alimi, A. M. (2024). GIS-based multi-criteria evaluation for solar farm site selection under environmental sustainability constraints. Sustainable Cities and Society, 101, 104469. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104469
23. Rehman, S., Baniyounes, A. M., Alharthi, M., & Shaaban, S. (2023). GIS-based MCDM approach for solar farm site selection: A review of current trends and future research directions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 177, 113121. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113121
24. Sturchio, N., & Knapp, B. O. (2023). Ecological implications of utility-scale solar installations in arid ecosystems: A review. Journal of Arid Environments, 208, 104909. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104909

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۷، شماره۲، تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۳۴-۵۰

Locating a Solar Power Plant Using Multi-Criteria Decision Making Methods (Case Study: Chabahar City)

Abstract:

The location of a solar power plant is a very complex decision and depends on a wide range of criteria. Therefore, location can be considered a multi-criteria decision-making process that is used to prioritize different criteria and select the best option from among the possible options. The aim of this study is to evaluate the feasibility of establishing a solar power plant in Chabahar City using the multi-criteria decision-making process in the geographic information system. First, by reviewing the sources and obtaining standards, the criteria for establishing a solar power plant were determined. These criteria include slope, distance from the sea, distance from rivers and streams, sunshine hours criteria, current land use, distance from human communities, distance from communication routes, access to infrastructure facilities, then all criteria were entered into the geographic information system in a similar format and standardized. In the next stage, the grading method was used to weight the criteria and finally all layers were combined using the weighted linear combination method. Finally, three suitable areas around the city of Chabahar for the establishment of the solar power plant were determined.

Keywords: solar power plant, location, weighted linear combination, geographic information system, Chabahar.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]

نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۷، شماره۲، تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۳۴-۵۰

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-23]