

تعیین پهنه‌های مستعد توسعه مزارع خورشیدی در استان البرز با استفاده از تکنیک

DEMATEL-ANP

مرضیه علیخانی^۱، شراره پوراابراهیم^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

*۲. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: sh_pourebrahim@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۴

چکیده

با توجه به تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش گازهای گلخانه‌ای، توجه به تعیین پهنه‌های مناسب و تعیین الزامات محیط زیستی در توسعه آمایش محور ضرورت غیرقابل انکار است. این پژوهش سعی در تعیین شاخص‌های اثرگذار در مکانیابی توسعه مزارع خورشیدی با استفاده از روش ترکیبی DANP و تعیین پهنه‌های مناسب دارد. با استفاده از مرور منابع ۹۲ معیار ارزیابی شناسایی و بر اساس پرتکرارترین معیارها ۱۰ زیرمعیار انتخاب شدند و از بین آن‌ها زیرمعیارهای اثرگذار مانند تابش خورشیدی، گرد و غبار، رطوبت نسبی، ارتفاع و شیب بدست آمد. تلفیق لایه‌های اثرگذار با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی و لایه‌های محدودیت با روش بولین انجام شد. مکان‌های مناسب برای استقرار مزارع خورشیدی در استان البرز شناسایی شد و با توجه به پتانسیل بالای انرژی خورشیدی در استان البرز، وجود موانع مختلف از قبیل گسل، کاربری اراضی مناسب کشاورزی و مرتعداری، وجود منابع آبی فراوان و ... به عنوان محدودیت در توسعه مزارع خورشیدی لحاظ شد. نتایج نشان داد که مناطق غرب و جنوب غربی استان البرز شامل شهرستان‌های اشتهارد، ساوجبلاغ و نظرآباد بیشترین تناسب را دارند. بر اساس نتایج این پژوهش، ۱/۲۳۵ درصد از اراضی استان از مطلوبیت خیلی کم، ۸/۷۳۰ درصد مطلوبیت کم، ۳/۶۳۹ درصد مطلوبیت متوسط، ۱۰/۲۲۸ درصد مطلوبیت زیاد برخوردار است. شهرستان اشتهارد به عنوان یکی از گزینه‌های بسیار مناسب جهت این فعالیت پیشنهاد می‌شود. نتایج حاصله در برنامه‌ریزی‌های آتی آمایشی جهت سیاست‌گذاری مطلوب در استان قابل توجه خواهد بود.

کلمات کلیدی

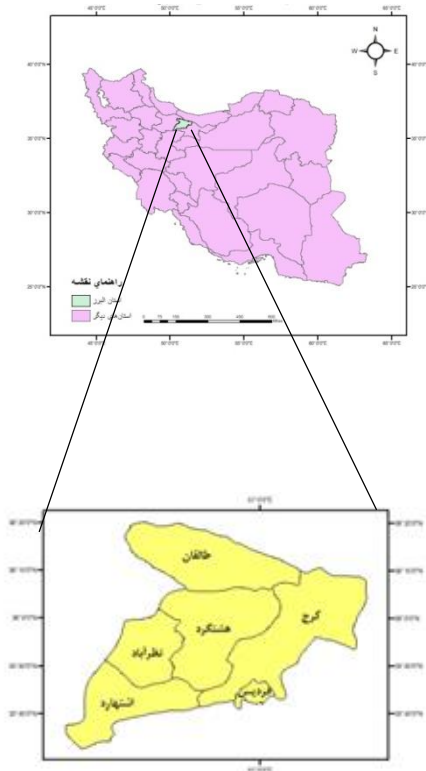
"تناسب سنجی"، "مزارع خورشیدی"، "استان البرز"، "تکنیک DEMATEL-ANP"

۱- مقدمه

دسترس‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر (Mohanty et al., 2017) به دلیل عدم تولید گازهای گلخانه‌ای، حفظ منابع طبیعی و احیای اراضی، افزایش استقلال منطقه‌ای، سرعت در توزیع برق، کاهش هزینه‌ها و خطوط انتقال نیرو مورد توجه قرار دارد (Bahrami et al., 2013). به طوری که طبق گزارش سازمان آژانس بین‌المللی انرژی، رشد ۲۰ تا ۲۵٪ استفاده از انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است (Dawson et al., 2012). قاره آسیا و آفریقا بهترین مناطق جهت استفاده از این انرژی هستند (افراخته و همکاران، ۱۳۹۳). ایران یکی از کشورهای بزرگ دنیا در تولید گازهای گلخانه‌ای با تولید سالانه ۸۵۰ میلیون تن است و به همین دلیل انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی تاثیر زیادی در کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد که باید مورد توجه قرار گیرد (Noorollahi et al., 2016). ایران به دلیل قرارگیری در کمربند گرم دنیا (سادات و همکاران، ۱۳۹۴) از لحاظ میزان دریافت انرژی خورشیدی و متوسط ساعت آفتابی سالانه بیش از ۲۹۰۰ ساعت، از جمله کشورهای مناسب برای استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد

انرژی به‌عنوان یک زیر ساخت در افزایش بهره‌وری (بهشتی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹) مستلزم استفاده حداکثر از منابع، فناوری تولید بهینه انرژی و استفاده از فناوری‌های پاک است (Assari et al., 2018). تمام کشورها درصدد کاستن از مصرف انرژی و یافتن منابع نوین جهت تامین نیازهایشان می‌باشند (Mousavi, 2017). برای دستیابی به اهداف آمایش سرزمین، مصرف انرژی باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که انرژی موردنیاز زندگی شهری از منابع تجدیدپذیر از پروژه‌های اجرایی در خود شهر تأمین شود، شهری که کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد می‌کند، سازگار با اقلیم باشد و بیشترین سهم را از منابع برای نسل‌های آینده قائل باشد. امروزه با توجه به افزایش مصرف انرژی و همچنین محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های ناشی از مصرف آن‌ها، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از اهمیت زیادی برخوردار است. انواع انرژی‌های تجدید پذیر، از جمله انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی ژئوترمال، انرژی آبی، انرژی جزر و مد، در نقاط مختلف جهان، بسته به پتانسیل آن‌ها استفاده می‌شوند (طحانی و همکاران، ۱۳۹۶). انرژی خورشیدی یکی از در

مازندران، از جنوب شرقی به استان تهران، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان قزوین و از شرق به استان تهران محدود است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، استان البرز دارای ۶ شهرستان، ۱۷ شهر، ۲۹ دهستان و ۳۳۲ آبادی دارای سکنه می‌باشد (سالنامه آماری استان البرز، ۱۳۹۵). استان البرز بین خط الراس چین‌خوردگی البرز و حاشیه غربی دشت کویر قرار دارد و به این ترتیب آب و هوای استان عمدتاً متأثر از عامل ارتفاع است. متوسط تابش افقی کلی خورشیدی استان به ۱۹۳۸ کیلووات ساعت در سال می‌رسد که رقم خوبی برای برنامه‌ریزی جهت احداث مزارع خورشیدی می‌باشد (Global Solar Atlas, 2021).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران

• تکنیک DANP

روش DANP^۱ یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندصفتی است که با استفاده از ماتریس ارتباطات^۲ DEMATEL، سوپرماتریس^۳ ANP را تشکیل داده و وزن معیارها و زیرمعیارها را محاسبه می‌کند. در واقع روش DANP، ترکیبی از روش DEMATEL و ANP است. در روش‌های سنتی و کلاسیک برای حل مدل ترکیب DEMATEL و ANP این کار صورت می‌گرفت که با استفاده از روش DEMATEL،

(سلطان محمدی، ۱۳۹۱). توجه به خصوصیات زیستی در کنار صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌های حاصل از نصب و نگهداری و بهره‌برداری، اولویت‌بندی مناطق جهت توسعه مزارع خورشیدی را توجیه‌پذیر می‌کند (Gastli et al., 2010). تعیین مکان مناسب برای مزارع خورشیدی، نیازمند شناسایی دقیق معیارهای اجتماعی، اقتصادی، اکولوژیکی است که باید به صورت مکانی در نظر گرفته شود. تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند در تعیین مکان‌های بهینه کمک‌کننده باشد (منصوری، ۱۳۸۹). سند ملی آمایش سرزمین نیز بر افزایش سهم انرژی تجدیدپذیر در تولید و تامین بهینه انرژی هر منطقه از کشور متناسب با ظرفیت هر منطقه و تولید انرژی خورشیدی در پهنه‌های مستعد تاکید کرده است (دبیرخانه شورای عالی آمایش سرزمین، ۱۳۹۹). از جمله برنامه اجرایی آمایش استان البرز در زمینه انرژی می‌توان به برنامه تامین انرژی و برنامه توسعه انرژی‌های نوین و تجدیدپذیر اشاره کرد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان البرز، ۱۳۹۸).

انتخاب استان البرز جهت احداث مزارع از چند جهت اهمیت دارد: اول اینکه یکی از راهبردهای کلان توسعه استان در مطالعات آمایش سرزمین ارتقای راهکاری نوین تولید انرژی و گسترش انرژی‌های پاک با توجه به قابلیت استان است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان البرز، ۱۳۹۸) و همچنین بهره‌گیری و تولید الکتریسیته از منابع تجدیدپذیر خورشیدی در راس برنامه‌های استان البرز قرار گرفته است (مرکز خدمات سرمایه‌گذاری استان البرز، ۱۳۹۴). دوم تولید انرژی برق در استان البرز با وجود تعداد زیادی از صنایع مخصوصاً در قسمت جنوب و جنوب غربی و نیاز آن‌ها به برق مورد توجه قرار گرفته است و طبق گزارشات آمایش استان مازاد تولید برق استان روند کاهشی محسوسی داشته است. سوم از جمله طرح‌ها و پروژه‌های اولویت‌دار آمایش استان احداث مزارع خورشیدی می‌باشد. استان البرز به دلیل تراکم جمعیتی بالا با افزایش مصرف برق و کمبود ظرفیت تولید برق مواجه می‌باشد. از طرفی به دلیل وجود شرایط اقلیمی مناسب و تعداد روزهای آفتابی زیاد و اقلیم گرم و خشک و نیز وجود برخی زمین‌های کم بازده در جنوب استان و خصوصاً دو شهرستان اشتهارد و نظرآباد و همچنین مطابق توصیه‌های موجود در اسناد آمایش سرزمین استان مزارع خورشیدی را می‌توان راه حلی جهت تامین منابع انرژی استان و استان‌های همجوار تهران و قزوین دانست. از این رو مطالعه برای پهنه‌بندی مناطق مستعد جهت توسعه مزارع خورشیدی ضروری است.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

استان البرز با وسعتی بالغ بر ۵۱۷۰۰۰ هکتار (معادل ۰/۳ درصد مساحت کشور) بین ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان

¹ Decision Making Trial And Evaluation Laboratory - Analytical Network Process

² Decision Making Trial And Evaluation Laboratory

³ Analytical Network Process

ستون‌های ماتریس روابط کامل معیار وزیر معیارها را به تفکیک مطابق با روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$T = [t_{ij}] , i, j \in \{1, 2, \dots, n\} , d = [d_i] n \times 1 = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right] n \times 1 ,$$

$$r = [r_j] n \times 1 = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right] n \times 1 \quad (3)$$

شاخص d_i مجموع سطر i ام و r_j مجموع ستون j ام را نشان می‌دهد. شاخص $d_i + r_j$ حاصل جمع سطر i ام و ستون j ام می‌باشد. این شاخص نشان‌دهنده تعامل بیشتر معیار i با سایر عوامل و در نتیجه اهمیت بیشتر معیار i ام می‌باشد. شاخص $d_i - r_j$ نشان دهنده تأثیرگذاری و یا تأثیرپذیری معیار i می‌باشد. به طور کلی، اگر $d_i - r_j$ مثبت باشد ($i=j$)، معیار i ام یکی از معیارهای تأثیرگذار است. چنانچه $d_i - r_j$ منفی باشد ($i=j$)، معیار i ام یکی از معیارهای تأثیرپذیر است. به همین شکل مقادیر شاخص D و R را محاسبه می‌کنیم.

گام پنجم- نرمال‌سازی ماتریس روابط کامل معیار (T_D^∞) :
ماتریس T_D^∞ از میانگین T_C^{ij} بدست می‌آید.
گام ششم- نرمال‌سازی ماتریس روابط کل زیرمعیارها (T_C^∞) : برای نرمال‌سازی T_C ، مجموع هر سطر T_C^{ij} محاسبه و سپس در هر T_C^{ij} ، هر عنصر بر مجموع عناصر سطر مربوط به خود تقسیم می‌شود.

گام هفتم- ایجاد سوپرماتریس ناموزون W : در این گام ترانهاده ماتریس روابط کامل نرمال شد T_C^∞ محاسبه شده و ماتریس W حاصل می‌شود.

گام هشتم- ایجاد سوپرماتریس موزون: به منظور تشکیل سوپرماتریس موزون، ماتریس روابط کامل نرمال T_D^∞ ترانسپوز شده و در سوپر ماتریس ناموزون ضرب می‌شود.

گام نهم- به توان رساندن سوپرماتریس موزون: سوپرماتریس موزون را از طریق بتوان رسانیدن به یک عدد بزرگ Z محدود شود، تا زمانی که سوپرماتریس همگرا شود و همه عناصر سوپرماتریس در سطر همانند هم شوند و به تثبیت برسند. خروجی این گام همان اوزان مؤثر DANP خواهد بود (تقی تبار ملک‌شاه، ۱۳۹۳).
$$\lim_{Z \rightarrow \infty} (W^\infty)^Z \quad (4)$$

• مواد پژوهش

گام‌های این مطالعه شامل (۱) تعیین هدف (۲) شناسایی معیارها (۳) غربالسازی معیارها (۴) اولویت‌بندی و وزن‌دهی زیرمعیارها با استفاده از روش DANP (۵) نقشه‌سازی لایه‌ها در محیط ArcGIS (۶) پهنه‌بندی مزارع خورشیدی است. شکل ۲ فلوجارت انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

ماتریس ارتباطات کل محاسبه و سپس از آن مقدار آستانه گرفته و از روی مقدار آستانه و ماتریس ارتباطات کل، روابط بین معیارها و زیرمعیارها استخراج و به روش ANP داده می‌شد و سپس دوباره مقایسات زوجی انجام شده و وزن معیارها و زیر معیارها محاسبه می‌گشت. اما در روش DANP دیگر از ماتریس ارتباطات کل مقدار آستانه گرفته نمی‌شود و با همان اعداد تأثیرگذاری کل، سوپرماتریس اولیه تشکیل شده و سپس موزون شده و به توان بی‌نهایت می‌رسد، تا وزن نهایی معیارها و زیر معیارها محاسبه شود (فرزانه و همکاران، ۱۳۹۸). ANP راه حل قابل اعتمادتری نسبت به AHP ارائه می‌دهد (Ayağ and Büyüközkan and Samanlıoğlu, 2010). به همین دلایل، ترکیب ANP و DEMATEL نتایج موفق‌تری را در دستیابی به تصمیمات استراتژیک فراهم می‌کند (Büyüközkan and Güteryüz 2016). از این تکنیک برای شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر در مکانیابی بنادر خشک (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳)، انتخاب مکان بهینه آرامستان‌ها (طاهری و همکاران، ۱۳۹۳)، انتخاب مکان مزارع بادی (Gigović et al., 2014; Yeh et al., 2014)، پهنه‌بندی و اولویت‌بندی مخاطرات تنوع‌زیستی (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۸) استفاده شده است.

گام اول- محاسبه ماتریس روابط مستقیم: ارزیابی روابط بین معیارها (تأثیر یک معیار بر معیار دیگر) بر اساس نظرات خبرگان تحقیق با استفاده از محدوده رتبه‌بندی ۰ تا ۴ از عدم تأثیرگذاری، تا تأثیر بسیار زیاد می‌باشد. این ماتریس توسط خبرگان به صورت مقایسات زوجی جمع‌آوری می‌شود. نتیجه یک ماتریس با n ردیف و ستون می‌باشد.

گام دوم- نرمال کردن ماتریس روابط مستقیم: ماتریس روابط مستقیم D با استفاده از رابطه زیر نرمال شده و ماتریس N به دست می‌آید.

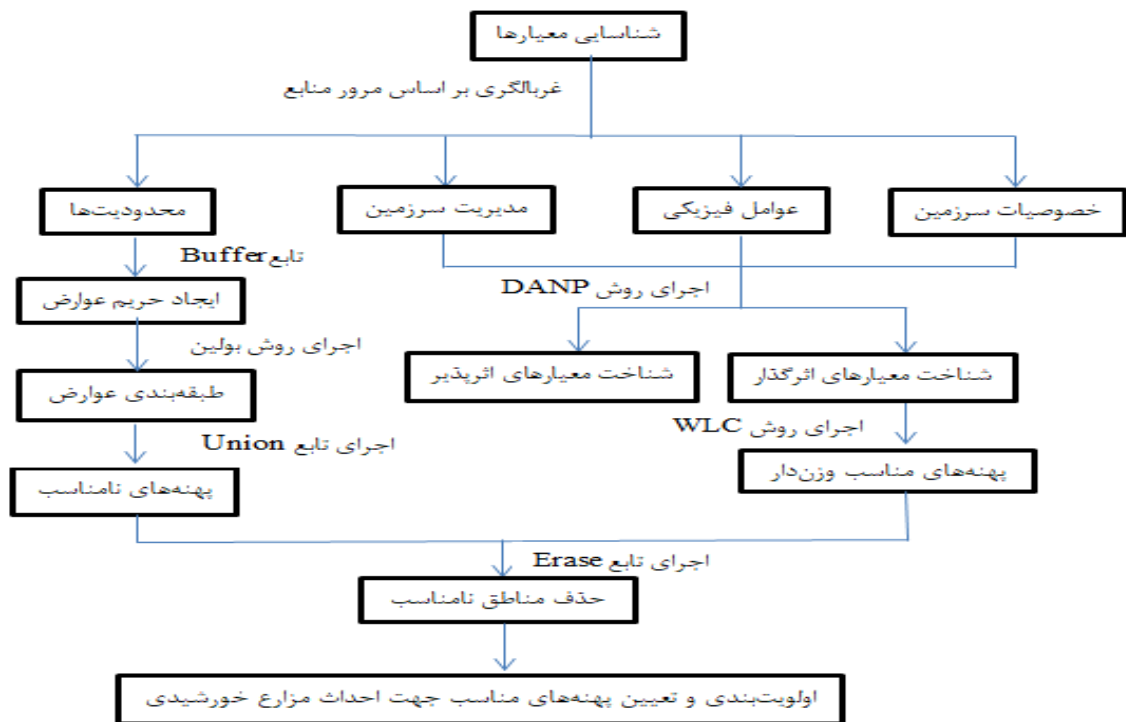
$$N = VD$$

$$V = \min \left\{ 1 / \max_i \sum_{j=1}^n d_c^{ij}, 1 / \max_j \sum_{i=1}^n d_c^{ij} \right\}, i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

گام سوم- محاسبه ماتریس روابط کل زیرمعیارها (T_C) : ابتدا ماتریس نرمال شده روابط مستقیم باید از ماتریس واحد (I) کم شود. در نهایت از طریق رابطه زیر ماتریس روابط کل بدست می‌آید.

$$T_C = N + N^2 + \dots + N^h = N(I - N)^{-1} - 1, \text{ When } \lim_{h \rightarrow \infty} N^h \quad (2)$$

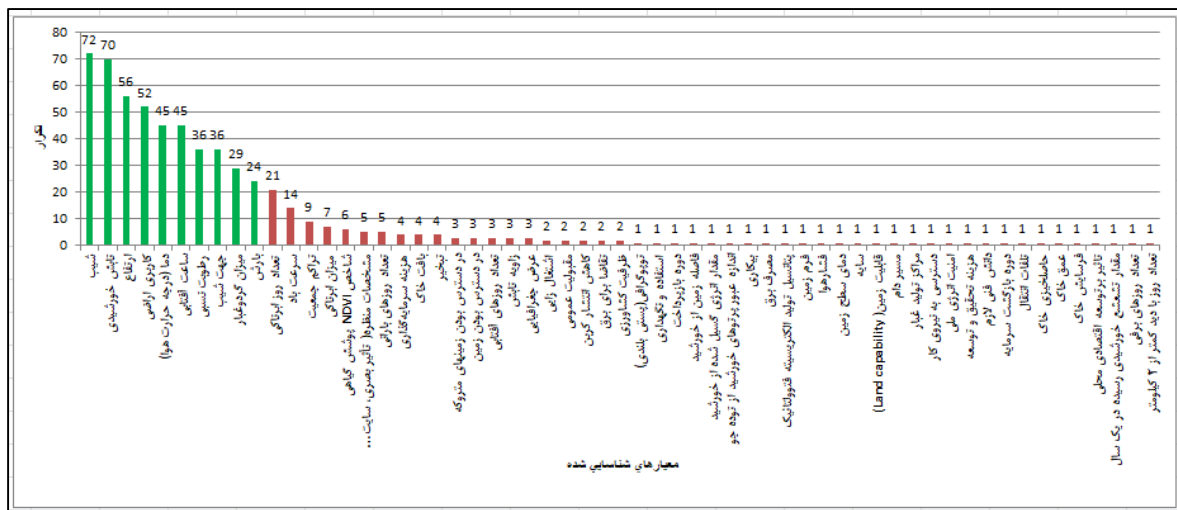
گام چهارم: تعیین علت و معلول برای معیار و زیر معیارها: ابتدا باید ماتریس TD را از ماتریس روابط کامل زیر معیارها T_C استخراج نمود. بنابراین هر درایه ماتریس از میانگین درایه‌های موجود در T_C^{ij} ها محاسبه می‌شود. در ادامه مجموع سطرها و



شکل ۲- فلوجارت مراحل پژوهش

و محیط‌زیستی مرتبط به مسئله که امکان فراهم‌آوری، آماده‌سازی آن‌ها وجود داشت انتخاب شد. معیارهای اصلی شامل مدیریت سرزمین (کاربری سرزمین)، عوامل فیزیکی (شیب، جهت، ارتفاع) و خصوصیات سرزمین (دما، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی، گرد و غبار، بارش) می‌باشند. در جدول شماره ۱ نیز زیرمعیارهای غربال شده به همراه تعدادی از منابع را مشاهده می‌کنید.

جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات ابتدا به شناسایی و غربالسازی معیارها پرداخته شد. شاخص‌های مکانیابی مزارع خورشیدی بر مبنای مطالعات داخلی و خارجی انجام شده و شناسایی شدند غربالگری معیارها بر حسب پرتکرارترین استفاده از معیار به انجام رسید و در مجموع ده زیرمعیار تعیین شد. با مطالعه ۱۰۰ منبع داخلی و خارجی بر اساس پرتکرارترین معیارها حدود ۷۷ درصد از زیرمعیارها انتخاب گردید. در شکل ۳ معیارهای شناسایی شده حاصل از مرور منابع مشاهده می‌کنید. شاخص‌های فنی، اجتماعی



شکل ۳- معیارهای شناسایی شده حاصل از مرور منابع

جدول ۱- معیار و زیرمعیارهای غربال شده

معیار	زیرمعیار	منبع
مدیریت سرزمین (A)	کاربری سرزمین (a1)	(منصوری و شیعه، ۱۳۹۱)؛ (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۱)؛ (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷)؛ (رضایی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ (Tunc et al., 2019)؛ (Guaita-Pradas et al., 2019)؛ (Shao et al., 2020)؛ (Colak et al., 2020)؛
عوامل فیزیکی (B)	شیب (b1)	(منصوری و شیعه، ۱۳۹۱)؛ (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۱)؛ (عطایی، ۱۳۹۴)؛ (سادات و همکاران، ۱۳۹۴)؛ (بختیاری، ۱۳۹۸)؛ (Khemiri et al., 2018)؛ (Hassaan et al., 2020)؛ (Ruiz et al., 2020)؛ (Colak et al., 2020)؛ (al-Shammari et al., 2021)؛
	جهت (b2)	(حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۱)؛ (سادات و همکاران، ۱۳۹۴)؛ (بختیاری، ۱۳۹۸)؛ (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷)؛ (رضایی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ (Doorga et al., 2019)؛ (Doljak et al., 2017)؛ (Colak et al., 2020)؛ (al-Shammari et al., 2021)؛
	ارتفاع (b3)	(حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۱)؛ (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲)؛ (عطایی، ۱۳۹۴)؛ (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ (بختیاری، ۱۳۹۸)؛ (Giamalaki et al., 2019)؛ (Piiirisaar, 2019)؛ (Guaita-Pradas et al., 2019)؛ (Shao et al., 2020)؛ (al-Shammari et al., 2021)؛
خصوصیات سرزمین (C)	دما (c1)	(احمدی و اصغری پوردشت بزرگ، ۱۳۹۱)؛ (بهراملوئیان و همکاران، ۱۳۹۳)؛ (عطایی، ۱۳۹۴)؛ (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ (رضایی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ (Piyatadsananon, 2016)؛ (Doljak et al., 2017)؛ (Doorga et al., 2019)؛ (Ruiz et al., 2020)؛
	ساعت آفتابی (c2)	(حیدری، ۱۳۸۶)؛ (احمدی و اصغری پوردشت بزرگ، ۱۳۹۱)؛ (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲)؛ (سادات و همکاران، ۱۳۹۴)؛ (بختیاری، ۱۳۹۸)؛ (Tunc et al., 2019)؛ (Doorga et al., 2019)؛ (Shao et al., 2020)؛ (Hassaan et al., 2020)؛
	رطوبت نسبی (c3)	(بهراملوئیان و همکاران، ۱۳۹۳)؛ (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ (رضایی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ (Doljak et al., 2017)؛ (Doorga et al., 2019)؛ (Ruiz et al., 2020)؛ (Hassaan et al., 2020)؛ (al-Shammari et al., 2021)؛
	تابش خورشیدی (c4)	(احمدی و اصغری پوردشت بزرگ، ۱۳۹۱)؛ (کرامتی و همکاران، ۱۳۹۳)؛ (Piyatadsananon, 2016)؛ (Azevêdo et al., 2018)؛ (Khemiri et al., 2018)؛ (Guaita-Pradas et al., 2019)؛ (Colak et al., 2020)؛ (al-Shammari et al., 2021)؛
	گرد و غبار (c5)	(حیدری، ۱۳۸۶)؛ (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲)؛ (بهراملوئیان و همکاران، ۱۳۹۳)؛ (سادات و همکاران، ۱۳۹۴)؛ (عطایی، ۱۳۹۴)؛ (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ (رضایی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ (al-Shammari et al., 2021)؛
	بارش (c6)	(احمدی و اصغری پوردشت بزرگ، ۱۳۹۱)؛ (کیانیان و همکاران، ۱۳۹۲)؛ (بهراملوئیان و همکاران، ۱۳۹۳)؛ (بختیاری، ۱۳۹۸)؛ (Piyatadsananon, 2016)؛ (Guaita-Pradas et al., 2019)؛

جهت نقشه‌سازی لایه‌ها در محیط ArcGIS، معیارهای اثرگذار حاصل از روش DANP به همراه وزن آن‌ها تعیین شدند و در محیط ArcGIS لایه‌های مربوطه ایجاد شد. لایه‌های مربوط به معیارهای تابش افقی کلی (GHI_c) برای کل ایران از سایت www.solargis.com دانلود شد. سایر لایه‌ها از مطالعات آمایش استان البرز ۱۳۹۴ دریافت گردید. جهت تلفیق معیارها از دو روش روی هم‌گذاری بولین برای محدودیت‌ها و ترکیب خطی-وزنی برای معیارهای اصلی استفاده شد. حریم لایه‌های محدودیت با استفاده از تابع Buffer اعمال شده و به کمک منطق بولین (صفر و یک) طبقه‌بندی شد و مناطق دارای محدودیت با استفاده از تابع Union روی هم‌گذاری شدند. به

به منظور بررسی روابط متقابل میان زیرمعیارها از پرسشنامه استفاده شد که ۳۲ متخصص و کارشناس به شکل کامل آن را تکمیل کرده بودند. یافته‌ها در نرم افزار Excell وارد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای سنجش پایایی پرسشنامه از فرمول شماره ۵ استفاده شد (Yang et al., 2017) که n تعداد معیار برابر با ۱۰ و ρ تعداد خبرگان برابر با ۳۲ است. نرخ ناسازگاری برابر با ۰،۰۱۶ گردید و چون کمتر از ۵ درصد می‌باشد پس ماتریس نهایی سازگار است و از نرخ پایایی خوبی برخوردار است.

$$\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{|g_c^{ij\rho} - g_c^{ij(\rho-1)}|}{g_c^{ij\rho}} * 100\% \quad (5)$$

علت وجود باغات و زمین‌های کشاورزی لایه کاربری اراضی به عنوان محدودیت اعمال گردید و سایر طبقات کاربری اراضی به همراه لایه‌های وزن دار تلفیق شدند. با حذف مناطق نامناسب با تابع Erase پهنه‌های مناسب جهت احداث مزارع خورشیدی اولویت‌بندی شد.

۳- نتایج

• **تعیین اثرات معیارها و زیرمعیارها**
با استفاده از رابطه ۳ در گام چهارم زیرمعیارهای اثرگذار و اثرپذیر مشخص شدند. طبق جدول ۲ از میان ده زیر معیار، زیرمعیارهای شیب، ارتفاع، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و گرد و غبار از معیارهای اثرگذار بر مکانیابی مزارع خورشیدی می‌باشند.

جدول ۲- تعیین زیرمعیارهای اثرگذار و اثرپذیر

نوع اثر	D-R	D+R	R	D	کد	زیر معیارها
-	۰	۰/۵۲۵	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	a1	کاربری اراضی
تاثیرگذار	۰/۰۱۰	۱/۸۵۰	۰/۹۲۰	۰/۹۳۰	b1	شیب
تاثیرپذیر	-۰/۱۴۴	۲/۱۴۱	۱/۱۴۲	۰/۹۹۹	b2	جهت
تاثیرگذار	۰/۱۳۴	۲/۳۱۷	۱/۰۹۱	۱/۲۲۵	b3	ارتفاع
تاثیرپذیر	-۰/۴۶۷	۳/۸۶۸	۲/۱۶۷	۱/۷۰۰	c1	دما
تاثیرپذیر	-۰/۵۵۱	۴/۵۹۳	۲/۵۷۲	۲/۰۲۱	c2	ساعت آفتابی
تاثیرگذار	۰/۰۹۰	۳/۲۶۵	۱/۵۸۷	۱/۶۷۷	c3	رطوبت نسبی
تاثیرگذار	۱/۰۵۷	۳/۶۷۷	۱/۳۱۰	۲/۳۶۷	c4	تابش خورشیدی
تاثیرگذار	۰/۲۳۷	۳/۰۷۳	۱/۴۱۸	۱/۶۵۵	c5	گرد و غبار
تاثیرپذیر	-۰/۳۶۵	۴/۳۵۸	۲/۳۶۲	۱/۹۹۷	c6	بارش

نتایج حاصله نشان می‌دهد که معیار مدیریت سرزمین تاثیرپذیر می‌باشند که در جدول ۳ ارائه شده است. جدول ۴ سوپرماتریس بوده و خصوصیات سرزمین و عوامل فیزیکی نیز تاثیرگذار موزون بدست آمده از این روش می‌باشد.

جدول ۳- تعیین معیارهای اثرگذار و اثرپذیر

نوع اثر	D-R	D+R	R	D	معیارها
تاثیرپذیر	-۰/۲۴۰	۱/۷۲۹	۰/۹۸۴	۰/۷۴۵	مدیریت سرزمین
تاثیرگذار	۰/۰۶۲	۱/۹۷۸	۰/۹۵۸	۱/۰۲۰	عوامل فیزیکی
تاثیرگذار	۰/۱۷۸	۱/۸۸۳	۰/۸۵۳	۱/۰۳۱	خصوصیات سرزمین

جدول ۴- سوپرماتریس موزون

کاربری اراضی	شیب	جهت	ارتفاع	دما	ساعت آفتابی	رطوبت نسبی	تابش خورشیدی	گرد و غبار	بارش
کاربری اراضی	۰/۰۸۷	۰/۰۸۷	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸
شیب	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰
جهت	۰/۰۵۴	۰/۰۵۴	۰/۰۵۴	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵
ارتفاع	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷
دما	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۱۳
ساعت آفتابی	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶	۰/۰۹۶	۰/۰۹۶	۰/۰۹۶	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶
رطوبت نسبی	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۸	۰/۱۶۸	۰/۱۶۸	۰/۱۶۸	۰/۱۶۸	۰/۱۶۹
تابش خورشیدی	۰/۱۷۰	۰/۱۷۰	۰/۱۷۰	۰/۱۷۱	۰/۱۷۱	۰/۱۷۱	۰/۱۷۱	۰/۱۷۱	۰/۱۷۲
گرد و غبار	۰/۱۵۵	۰/۱۵۵	۰/۱۵۵	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶
بارش	۰/۴۹۲	۰/۴۹۲	۰/۴۹۲	۰/۴۹۶	۰/۴۹۶	۰/۴۹۶	۰/۴۹۶	۰/۴۹۵	۰/۴۹۷

معیارهای اثرگذار به همراه لایه کاربری اراضی در طبقات مختلف به شرح جدول ۵ طبقه‌بندی شدند.

جدول ۵- طبقات لایه‌های اثرگذار

طبقات	معیارهای اثرگذار
طبقه ۰: ۳/۸۸۹-۴/۵۰۰ طبقه ۱: ۴/۵۰۰-۴/۷۴۱ طبقه ۲: ۴/۷۴۱-۴/۹۸۲ طبقه ۳: ۴/۹۸۲-۵/۲۲۳ طبقه ۴: ۵/۲۲۳-۵/۴۸۴	تابش خورشیدی ($\text{Kwh/m}^2/\text{day}$): تابش خورشیدی یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که در بین مکان‌های مورد نظر اندازه‌گیری و در مورد کفایت میزان تابش در طول سال آن بحث می‌شود. نیروگاه خورشیدی، در مکان‌هایی با شدت تابش بیشتر کارایی بالاتری دارند (Kiatreungwattana et al., 2013). حداقل مقدار تابش خورشیدی ۴/۵ کیلووات ساعت در روز است (Aydin et al., 2013؛ Hafeznia et al., 2017).
مناطق دارای گرد و غبار: صفر مناطق فاقد گرد و غبار: ۴	گرد و غبار (کیلو مترمربع): ذرات گرد و غبار یا هواویزها از ترکیبات مهم اتمسفر در نزدیکی سطح زمین می‌باشند. هواویزها باعث جذب تابش موثر و تابش برگشتی می‌شوند و افزایش آن‌ها باعث کاهش مقدار تابش کوتاه خورشید می‌شود (کاوایانی و علیجانی، ۱۳۸۸).
طبقه ۱: بالای ۱۸۰۰ طبقه ۲: ۱۵۶۹/۰۸۴-۱۸۰۰ طبقه ۳: ۱۳۳۸/۱۶۹-۱۵۶۹/۰۸۴ طبقه ۴: ۱۱۰۷/۲۵۳-۱۳۳۸/۱۶۹	ارتفاع (متر): افزایش یا کاهش ارتفاع سبب افزایش و کاهش جذب انرژی خورشیدی می‌شود از طرفی ارتفاع بالا به دلیل کوهستانی بودن منطقه مناسب احداث نیروگاه نمی‌باشد بدین جهت ارتفاع کمتر از ۱۸۰۰ متر به عنوان پهنه مناسب در نظر گرفته شده است (بختیاری، ۱۳۹۸).
طبقه ۱: بیشتر از ۱۲ طبقه ۲: ۸-۱۲ طبقه ۳: ۴-۸ طبقه ۴: ۰-۴	شیب (درصد): شیب زمین بر دریافت تابش خورشیدی تأثیر می‌گذارد. پتانسیل مناطق با افزایش شیب کاهش می‌یابد. علاوه بر این شیب بیش از ۴ درصد باعث سایه‌اندازی ردیف‌های صفحات روی هم می‌شود و بازدهی را کاهش می‌دهد (Al-Shammari et al., 2021).
طبقه ۲: اراضی بایر، مراتع ضعیف طبقه ۱: مراتع متوسط، اراضی دیم طبقه صفر: کشاورزی، مراتع غنی، مناطق شهری، باغ، تالاب	کاربری اراضی: با توجه به اثرات محیط‌زیستی و بیولوژیکی احداث مزارع، بهترین مکان جهت استقرار مزارع مناطق بایر، مراتع فقیر و اراضی بلااستفاده می‌باشند (پری بادی، ۱۳۹۸).

• نقشه محدودیت

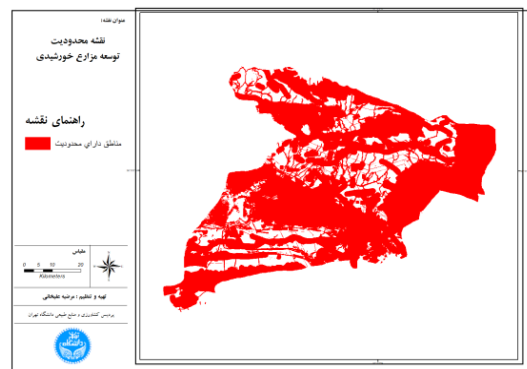
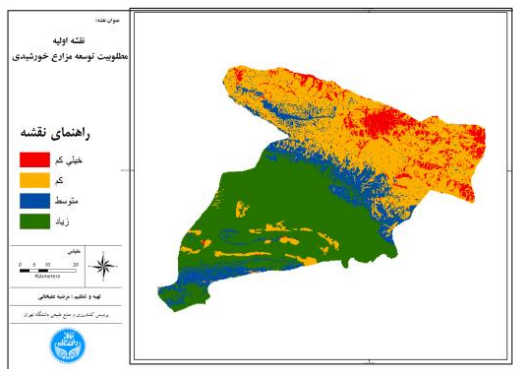
نقشه محدودیت، حاصل از روی هم‌گذاری بولین لایه‌ها نشان می‌دهد که حدود ۷۶/۱۶۷ درصد از مساحت استان البرز اگرچه از نظر تابش و ... مطلوب به نظر می‌رسد اما دارای محدودیت‌هایی به شرح جدول ۶ است.

جدول ۶- حدود معیارهای مورد استفاده برای حذف مناطق دارای محدودیت

منبع	حریم (متر)	لایه‌ها
تصویب آیین نامه اجرایی تبصره (۱) ماده (۱۷) اصلاحی قانون ایمنی راه‌ها و راه آهن مصوب ۱۳۷۹	۱۵۰	فاصله از جاده (از وسط جاده به دو طرف)
مصوبه شماره ۷۸۹۴۶/ت/۳۹۱۲۷/هـ مورخ ۹۰/۴/۱۵ هیات وزیران	۲۵۰	فاصله از مناطق انسان‌ساخت (مسکونی، صنعتی)
مصوبه شماره ۷۸۹۴۶/ت/۳۹۱۲۷/هـ مورخ ۹۰/۴/۱۵ هیات وزیران	۱۵۰	فاصله از مناطق ممنوعه
تصویب نامه شماره ۲۹۰۵۲ حریم خطوط هوایی انتقال و توزیع نیروی برق	۵۰	خطوط انتقال نیرو
قانون منع احداث بنا و ساختمان در طرفین خطوط لوله انتقال گاز مصوب ۱۳۵۰/۳/۳۱	۲۵۰	خطوط انتقال گاز
تصویب نامه شماره ۵۸۹۷۷/ت/۲۹۱۰۱ هـ مورخ ۸۲/۱۲/۱۸ هیأت محترم وزیران	۱۵۰	رودخانه، رود
مصوبه شماره ۷۸۹۴۶/ت/۳۹۱۲۷/هـ مورخ ۹۰/۴/۱۵ هیات وزیران	۵۰	چاه، چشمه و

	قنات	
آمایش استان البرز ۱۳۹۵	سیل	فاصله از محدوده دارای ریسک مخاطرات طبیعی
	گسل	۱۰۰۰
مصوبات هیئت وزیران ۱۹۰۶۲/ت/۴۷۴۹۱-هـ	فرودگاه	فاصله از زیرساخت
تصویب آیین نامه اجرایی تبصره (۱) ماده (۱۷) اصلاحی قانون ایمنی راه‌ها و راه آهن مصوب ۱۳۷۹	راه آهن	
ماده ۱۳۶ قانون مدنی مصوبه ۱۳۴۴/۴/۲۷	سد	

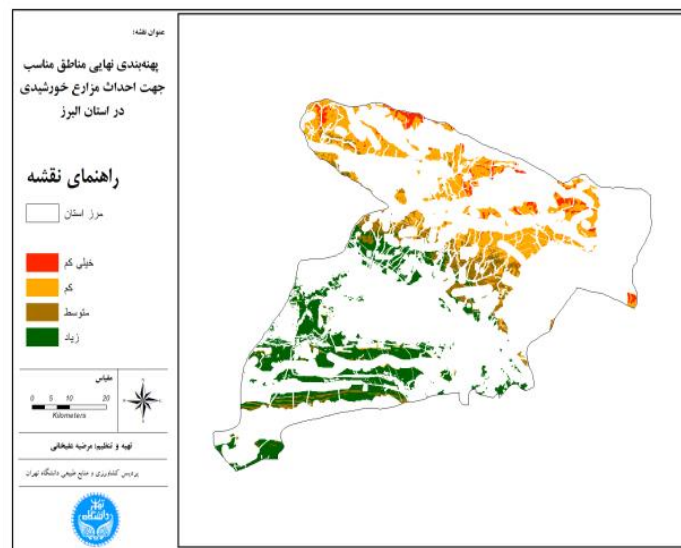
شکل ۴ نقشه محدودیت‌ها و شکل ۵ نتایج اولیه از روی هم‌گذاری وزن‌دار لایه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نقشه اولیه مطلوبیت توسعه مزارع خورشیدی

شکل ۴- نقشه محدودیت توسعه مزارع خورشیدی

شکل ۶ نتایج نهایی از روی هم‌گذاری لایه‌های محدودیت و مطلوبیت مکان‌های دارای توان برای توسعه مزارع خورشیدی را نشان می‌دهد.



شکل ۶- پهنه‌بندی نهایی مناطق مناسب جهت احداث مزارع خورشیدی در استان البرز

استان البرز بیشترین پهنه‌های مناسب برای مزارع خورشیدی به مساحت ۲۲۸۸۳ هکتار دارای مطلوبیت زیاد به شهرستان اشتهارد اختصاص یافت و سپس به ترتیب شهرستان ساوجبلاغ، نظرآباد، کرج، فردیس و طالقان می‌باشد. نواحی غرب و جنوب غربی

از کل پهنه‌های مناسب جهت توسعه مزارع خورشیدی در استان البرز، ۶۳۸۱ هکتار دارای مطلوبیت خیلی کم، ۴۵۰۹۷ هکتار دارای مطلوبیت کم، ۱۸۸۰۰ هکتار دارای مطلوبیت متوسط و ۵۲۸۳۵ هکتار دارای مطلوبیت زیاد مشخص شدند. در بین شهرستان‌های

مزارع خورشیدی با روش AHP و ANP صورت گرفته شده است را مشاهده می‌کنید.

منابع	روش
(احمدی و اصغری پوردشت بزرگ، ۱۳۹۱)، (کرامتی و همکاران، ۱۳۹۳)؛ (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵)؛ (بختیاری، ۱۳۹۸)؛ (Uyan, 2013)؛ (Khemiri et al., 2018)؛ (Giamalaki et al., 2019)	AHP
(ناصحی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ (فلاح و همکاران، ۱۳۹۴)؛ (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱)، (اسدی و پورحسین، ۱۳۹۷)	ANP

عوامل محیط‌زیستی به دلیل ماهیت خاصشان یعنی ارتباط متقابل با یکدیگر و با دیگر عوامل غیر محیط‌زیستی مرتبط با خود با چارچوب بسیاری از روش‌های متداول مکان‌یابی سازگار نمی‌شوند. بنابراین ANP ابزاری کاربردی برای حل ساختارهای تصمیم‌گیری پیچیده با استفاده از سوپرماتریس ارتباط است. این روش یکی از مناسب‌ترین روش‌های ارزیابی در فرآیند مکانیابی محیط‌زیستی است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ امیری، ۱۳۹۴). از طرفی دیگر از آنجا که این مدل قادر به نشان دادن تأثیرپذیری و تأثیرگذاری معیارها نیست بایستی بتوان روابط علی معیارها را در شرایط محیط زیستی نشان داد که تکنیک DEMATEL می‌تواند این روابط را نشان دهد. نتایج حاصله نشان‌دهنده قابلیت تکنیک DANP برای نشان دادن روابط - ساختار و هم چنین وزن، وابستگی و بازخورد معیارها است که با مطالعات Hsu et al., 2013) همخوان است. از جمله پروژه‌های اولویت‌دار آمایش استان احداث مزارع خورشیدی در شهرستان اشتهارد، نظرآباد، هشتگرد و شهر گرمدره می‌باشد که با نتایج بدست آمده در این مطالعه همخوانی دارد. در تدوین برنامه‌های توسعه نواحی برنامه آمایش برای شهرستان طالقان نیز طرح توسعه پنل‌های خورشیدی مطرح شده که با توجه به نتایج این تحقیق شهرستان طالقان از پتانسیل خوبی برای احداث مزارع خورشیدی برخوردار نمی‌باشد. از جمله قلمروهای اولویت‌دار توسعه در آمایش استان توسعه زیرساخت‌های تولید انرژی نو در قسمت مرکز و جنوب استان البرز است که با توجه به نتایج بدست آمده، مرکز استان به علت وجود کاربری اراضی مانند باغات و کشاورزی برای مزارع خورشیدی مناسب نیست ولی قسمت جنوبی استان دارای پتانسیل خوبی می‌باشد.

شرایط مساعدی را برای احداث نیروگاه خورشیدی دارند درحالی‌که در قسمت‌های شمالی و شرق استان به واسطه وجود منطقه حفاظت‌شده، ارتفاع زیاد، تابش کم و عوامل محدودکننده دیگر عملاً شرایط نامساعد بوده است. جدول شماره ۷ نتایج حاصل شده را نشان می‌دهد.

جدول ۷- مطلوبیت شهرستان‌های استان البرز بر حسب هکتار جهت احداث مزارع خورشیدی

شهرستان	مطلوبیت خیلی کم	مطلوبیت کم	مطلوبیت متوسط	مطلوبیت زیاد
اشتهارد	۶	۱۸۶	۲۹۹۳	۲۲۸۸۳
نظرآباد	-	۲۵۴	۲۱۰	۱۲۹۵۹
فردیس	-	-	-	۱۱۳۷
کرج	۲۳۲۲	۱۱۴۶۵	۲۶۷۵	۲۴۸۰
ساوجبلاغ	۲۶۶	۱۰۲۶۲	۱۰۶۸۶	۱۳۳۲۲
طالقان	۳۷۸۷	۲۲۹۳۰	۲۲۳۶	۵۴

۴- نتیجه‌گیری

مطالعاتی که در زمینه مکانیابی خورشیدی صورت گرفته است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: احمدی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعات خود از معیارهای اقلیمی مانند تابش، ساعت آفتابی، بارش، تبخیر، دما استفاده کردند. کرامتی و همکاران (۱۳۹۳) از معیارهای اقلیمی و اقتصادی مانند تابش، ابرناکی، سرعت باد و دسترسی به شبکه انتقال استفاده نمودند. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان از معیارهای اقتصادی-اجتماعی و اقلیمی بهره بردند. در این مطالعه نیز انواع معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی با مرور جامع ۱۰۰ منبع شناسایی گردید و پس از غربالگری پرتکرارترین معیارها برای بررسی روابط متقابل در اختیار کارشناسان قرار گرفت. زیرمعیارهای اثرگذار بر مکانیابی مزارع خورشیدی مانند تابش خورشیدی، گرد و غبار، رطوبت نسبی، ارتفاع، شیب، با مطالعات رضایی و همکاران، ۱۳۹۷ مطابقت دارد. در بین آن‌ها تابش خورشیدی دارای بیشترین اهمیت در مکانیابی مزارع خورشیدی می‌باشد که این نتیجه با مطالعات chen et al., 2014؛ Suh et al., 2016؛ Hassaan et al., 2020؛ Gašparović et al., 2019؛ et al., 2018؛ Khemiri همخوانی دارد. در این مطالعه از زیرمعیارهای اثرگذار حاصل از روش DANP جهت مکانیابی مزارع خورشیدی استفاده شد. در جدول شماره ۸ نیز تحقیقاتی که در زمینه مکانیابی

منابع

- احمدی، هدی، اسماء اصغری پور دشت بزرگ. ۱۳۹۱. تاثیر پارامترهای اقلیمی در مکانیابی نیروگاه خورشیدی در محیط GIS و AHP در ایلام. اولین همایش ملی جغرافیا مخاطرات محیطی و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ۹ اسفند: ۱-۶، ۲.
- اسدی، میثم، کاظم پورحسین. ۱۳۹۷. مکانیابی نیروگاه بادی و خورشیدی با روش تلفیقی TOPSIS با ANP منطقه مطالعاتی: استان آذربایجان شرقی. دوازدهمین همایش بین المللی انرژی، انجمن انرژی ایران، تهران، ۲۹ تا ۳۰ خرداد: ۱-۱۰.
- افرخته، حسن؛ فرشته احمدآبادی، حسن احمدآبادی. ۱۳۹۳. بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در مناطق روستایی در دهستان عشق آباد نیشابور. پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، دوره چهل و ششم، شماره ۱ (بهار): ۱۵-۳۰.
- امیری، حامد. ۱۳۹۴. تعیین اولویت‌های مکانی جهت توسعه صنایع تبدیلی کشاورزی در استان فارس با استفاده از روش تلفیقی ANP, VIKOR, DEMATEL. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- بختیاری، امیرحسین. ۱۳۹۸. مکانیابی مناطق مناسب برای نیروگاه‌های خورشیدی با تاکید بر عوامل محیطی با استفاده از مدل AHP در قزوین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- بهراملوئیان، سعیده، یوسفعلی عابدینی، حبیب اله عصاره، مجتبی صالحی. ۱۳۹۳. بررسی پتانسیل انرژی خورشیدی در استان زنجان. چهارمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، دبیرخانه دائمی کنفرانس، تهران، ۲۹ تا ۳۰ بهمن: ۱-۲۴.
- بهشتی‌فر، سارا؛ محمد سعدی مسگری، محمدجواد ولدان زوج، محمد کریمی. ۱۳۸۹. استفاده از منطق فازی در محیط GIS به منظور مکانیابی نیروگاه‌های گازی. نشریه مهندسی عمران و نقشه‌برداری (دانشکده فنی)، دوره چهل و چهارم، شماره ۴ (زمستان): ۵۸۳-۵۹۵.
- پری بادی، وحید. ۱۳۹۸. امکان‌سنجی و اولویت‌بندی مکانی سایت‌های مناسب نیروگاه خورشیدی در شمال استان اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- تقی‌تبار ملک‌شاه، مه‌ری. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های تولید سبز با استفاده از ترکیب مدل‌های DANP، PROMETHEE. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم اقتصادی و اداری.
- حسین زاده، مریم، میرمسعود خیرخواه زرکش، عظیم صابری. ۱۳۹۱. تحلیل تناسب مکانی به منظور احداث نیروگاه‌های خورشیدی در استان خوزستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به روش ANP. دومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، منطقه ویژه اقتصاد انرژی پارس جنوبی، تهران، ۲۱ تا ۲۲ اسفند: ۱-۱۱.
- حیدری، مصطفی. ۱۳۸۶. مکانیابی ساخت نیروگاه خورشیدی در ایران. ماهنامه نفت و انرژی، دوره دوم، شماره ۱۷: ۳۸-۴۹.
- حیدری، علی؛ حسین صفری، فاطمه نریمانی. ۱۳۹۳. شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر در مکانیابی بنادر خشک به منظور ارتقای عملکرد رقابتی خدمات بندری با استفاده از روش ANP-DEMATEL. نشریه مدیریت صنعتی، دوره ششم، شماره ۱ (بهار): ۳۵-۵۴.
- دبیرخانه شورای عالی آمایش سرزمین، ۱۳۹۹، سند ملی آمایش سرزمین.
- رحیمی، محمد؛ فاطمه پازند، علی اصغر عبدالهی. ۱۳۹۶. پتانسیل‌سنجی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل AHP و منطق فازی. نشریه جغرافیا و توسعه، دوره پانزدهم، شماره ۴۹ (زمستان): ۲۳-۳۶.
- رحیمی، میلاد، زهرا نوری، مهدی یاری و حیدرعلی نوری. ۱۳۹۵. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی انرژی خورشیدی در استان خوزستان با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره. سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط زیست، موسسه آموزش عالی مهر اروند مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، تهران، ۱۵ اسفند: ۱-۷.
- رضایی، محمد، فرهاد حسینی، علیرضا شریفی. ۱۳۹۷. پتانسیل‌سنجی جهت احداث نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک با استفاده از قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در شهر بم. دومین همایش ملی مستندنگاری میراث طبیعی و فرهنگی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ۹ اسفند: ۱-۱۵.
- رضایی، محمد؛ فرهاد حسینی، علیرضا شریفی. ۱۳۹۸. پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک در ایران با بهره‌گیری از روش فازی. نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره نهم، شماره ۳ (اسفند): ۱۵۹-۱۷۱.

- سادات، مهدیس، محمود ذوقی، سپیده کریمی، امیرهوشنگ احسانی. ۱۳۹۴. مکانیابی احداث نیروگاه خورشیدی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی در استان اصفهان. همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور، تهران، ۲۵ تا ۲۷ اردیبهشت: ۸-۱.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان البرز. ۱۳۹۸. چکیده مطالعات آمایش استان البرز. سازمان برنامه و بودجه کشور، تهران، ۳۰۷ص.
- سلطان محمدی، مجید. ۱۳۹۱. استفاده از تصمیم‌گیری‌های چند معیاره جهت مکانیابی مناطق مستعد استقرار نیروگاه خورشیدی توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.
- طاهری، مرضیه؛ رحیم علی عباسپور، سید کاظم علوی پناه. ۱۳۹۳. استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر تلفیق روش‌های DEMATEL و ANP در انتخاب مکان بهینه آرامستان‌ها در اصفهان. نشریه محیط‌شناسی، دوره چهارم، شماره ۲(تابستان): ۴۶۳-۴۸۰.
- طحانی، مجتبی، روشنگر فهیمی، مرتضی طحانی. ۱۳۹۶. کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در منابع ذخیره آب با رویکرد آمایشی. دومین همایش ملی رویکردهای نوین آمایش سرزمین در ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۱۰ و ۱۱ بهمن: ۸۸۴-۸۹۶.
- عطایی، یگانه. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی تناسب اراضی جهت احداث نیروگاه خورشیدی در قم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، دانشکده کشاورزی.
- فرزانه، مژده؛ اردلان فیلی، علی انوری، عباس ثابت. ۱۳۹۸. شناسایی و رتبه‌بندی عوامل موثر بر مسئولیت اجتماعی سازمان‌ها با رویکرد DANP. مطالعات کاربردی در علوم مدیریت و توسعه، سال چهارم، شماره ۶(بهمن): ۳۹-۵۳.
- فلاح، مهدی، منوچهر فرج زاده، عبادرضا اسلامی، افسانه سلطانی‌فر. ۱۳۹۴. مکانیابی نیروگاه خورشیدی استان مازندران با تلفیق فرآیند تحلیل شبکه‌ای ANP و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دبیرخانه دائمی کنگره بین‌المللی عمران، تهران، ۸ تا ۱۰ دی: ۸-۱.
- کاویانی، محمدرضا؛ بهلول علیجانی. ۱۳۸۸. مبانی آب و هواشناسی. سازمان سمت، تهران، ۵۸۲ ص.
- کرامتی، محمدعلی، مهدی حصارى و رضا کریمی مهرآبادی. ۱۳۹۳. مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از روش AHP. اولین کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی انرژی خورشیدی، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، تهران، ۲۹ تا ۳۰ اردیبهشت: ۲۹۳-۳۰۷.
- کیانیان، محمدکیا، حسن حاجی محمدی، فهیمه رسولی، سیما کاووسی. ۱۳۹۲. پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان همدان با استفاده از GIS. سومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، دبیرخانه کنفرانس، تهران، ۱۱ تا ۱۲ اسفند: ۱۰-۱.
- گزارش شناسایی سایت‌های پر پتانسیل و ارزیابی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و ارزیابی تلفیقی، اولویت‌بندی و تعیین سهم انرژی‌های پاک. ۱۴۰۰. سازمان انرژی تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)، استان البرز، ۸۳ص.
- مرکز آمار ایران، کرج، سالنامه آماری استان البرز ۱۳۹۵.
- مرکز خدمات سرمایه‌گذاری استان البرز. ۱۳۹۴. پتانسیل‌های استان البرز در زمینه نیروگاه‌های خورشیدی. قابل مشاهده در: [http://www.investinalborz.ir/]. تاریخ مشاهده ۱۳۹۹/۸/۲۸.
- مطالعات آمایش سرزمین استان البرز. شرکت مشاور شرق آیند. ۱۳۹۴. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی البرز.
- منصوری، منصور. ۱۳۸۹. ساماندهی محیط کالبدی محله خیام ایلام با تأکید بر مشارکت مردم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان.
- منصوری، نرگس، اسماعیل شیعه. ۱۳۹۱. امکان‌سنجی احداث نیروگاه فتوولتائیک به منظور تامین برق شهری در گرمسار. نشریه مطالعات مدیریت شهری، دوره چهارم، شماره ۱۰(تابستان): ۷۹-۹۰.
- ناصحی، سعیده؛ گیتی نوری، شهرزاد فریادی. ۱۳۹۶. مکانیابی نیروگاه خورشیدی با منطق فازی و ANP در استان هرمزگان. نشریه فناوری‌های نوین در سیستم‌های انرژی، شماره ۱(بهار): ۹-۱.
- نوروزی، المیرا؛ شراره پورابراهیم، حمید گشتاسب، علی جهانی. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی مخاطرات تنوع زیستی در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی بخش جنوبی (تحت مدیریت استان البرز) با استفاده از تکنیک DANP. نشریه محیط زیست جانوری، دوره یازدهم، شماره ۱(بهار): ۹۷-۱۰۴.
- Al-Shammari, S., Ko, W., Al Ammar, E. A., Alotaibi, M. A., & Choi, H. J. (2021). Optimal Decision-Making in Photovoltaic System Selection in Saudi Arabia: Energies, 14(2), 357.

- Aragonés-Beltrán, P., Chaparro-González, F., Ferrando, J. P., & García-Melón, M. (2008). Selection of photovoltaic solar power plant investment projects-an approach: International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering, 2, 128-136.
- Assari, M. R., Tabrizi, H. B., & Savadkooy, M. (2018). Numerical and experimental study of inlet-outlet locations effect in horizontal storage tank of solar water heater. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 25, 181-190.
- Ayağ, Z., & Samanlıoğlu, F. (2010). Analytic Network Process (ANP) for solar power plant location problem.
- Aydin, N. Y., Kentel, E., & Duzgun, H. S. (2013). GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. Energy conversion and management, 70, 90-106.
- Azevêdo, V., Paes, M. D., & Tiba, C. (2018, November). Geographic information systems and economic methods for the evaluation of solar farms sites: Case study in northeast of Brazil. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2033, No. 1, p. 190001). AIP Publishing LLC.
- Bahrami, M., & Abbaszadeh, P. (2013). An overview of renewable energies in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24, 198-208.
- Büyüközkan, G., & Güleriyüz, S. (2016). An integrated DEMATEL-ANP approach for renewable energy resources selection in Turkey. International journal of production economics, 182, 435-448.
- Chen, C. R., Huang, C. C., & Tsuei, H. J. (2014). A hybrid MCDM model for improving GIS-based solar farms site selection: International Journal of Photoenergy, 2014.
- Colak, H. E., Memisoglu, T., & Gercek, Y. (2020). Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey. Renewable energy, 149, 565-576.
- Dawson, L., & Schlyter, P. (2012). Less is more: Strategic scale site suitability for concentrated solar thermal power in Western Australia. Energy Policy, 47, 91-101.
- Doljak, D., & Stanojević, G. (2017). Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. Energy, 127, 291-300.
- Doorga, J. R., Rughooputh, S. D., & Boojhawon, R. (2019). Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius. Renewable
- Gašparović, I., & Gašparović, M. (2019). Determining optimal solar power plant locations based on remote sensing and GIS methods: A case study from Croatia. Remote Sensing, 11(12), 1481.
- Gastli, A., & Charabi, Y. (2010). Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(2), 790-797.
- Giamalaki, M., & Tsoutsos, T. (2019). Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach. Renewable Energy, 141, 64-75.
- Gigović, L., Pamučar, D., Božanić, D., & Ljubojević, S. (2017). Application of the GIS-DANP-MABAC multi-criteria model for selecting the location of wind farms: A case study of Vojvodina, Serbia. Renewable energy, 103, 501-521.
- Global Solar Atlas. (n.d.). Available at: [<https://globalsolaratlas.info/map>]. Accessed: 12.09.2021.
- Guaita-Pradas, I., Marques-Perez, I., Gallego, A., & Segura, B. (2019). Analyzing territory for the sustainable development of solar photovoltaic power using GIS databases. Environmental monitoring and assessment, 191(12), 1-17.
- Hafeznia, H., Yousefi, H., & Astaraei, F. R. (2017). A novel framework for the potential assessment of utility-scale photovoltaic solar energy, application to eastern Iran. Energy Conversion and Management, 151, 240-258.

- Hassaan, M. A., Hassan, A., & Al-Dashti, H. (2020). GIS-based suitability analysis for siting solar power plants in Kuwait. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.
- Hsu, C. C., Liou, J. J., & Chuang, Y. C. (2013). Integrating DANP and modified grey relation theory for the selection of an outsourcing provider. *Expert Systems with Applications*, 40(6), 2297-2304.
- Khemiri, W., Yaagoubi, R., & Miky, Y. (2018, December). Optimal placement of solar photovoltaic farms using analytical hierarchical process and geographic information system in Mekkah, Saudi Arabia. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2056, No. 1, p. 020025). AIP Publishing LLC.
- Kiatreungwattana, K., Mosey, G., Jones-Johnson, S., Dufficy, C., Bourg, J., Conroy, A., ... & Brown, K. (2013). Best Practices for Siting Solar Photovoltaics on Municipal Solid Waste Landfills. A Study Prepared in Partnership with the Environmental Protection Agency for the RE-Powering America's Land Initiative: Siting Renewable Energy on Potentially Contaminated Land and Mine Sites (No. NREL/TP-7A30-52615). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Mohanty, S., Patra, P. K., Sahoo, S. S., & Mohanty, A. (2017). Forecasting of solar energy with application for a growing economy like India: Survey and implication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 539-553.
- Mousavi, N., Mohebbi, M., & Teimouri, M. (2017). Identifying The Most Applicable Renewable Energy Systems Of Iran. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 6(30), 51-59.
- Noorollahi, E., Fadai, D., Akbarpour Shirazi, M., & Ghodsipour, S. H. (2016). Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)—a case study of Iran. *Energies*, 9(8), 643.
- Piazena, H. (1996). The effect of altitude upon the solar UV-B and UV-A irradiance in the tropical Chilean Andes. *Solar energy*, 57(2), 133-140.
- Piirisaar, I. (2019). A multi-criteria GIS analysis for siting of utility-scale photovoltaic solar plants in county Kilkenny, Ireland. Master Thesis in Geographical Information Science.
- Piyatadsananon, P. (2016). Spatial factors consideration in site selection of ground-mounted PV power 0 plants. *Energy Procedia*, 100, 78-85.
- Ruiz, H. S., Sunarso, A., Ibrahim-Bathis, K., Murti, S. A., & Budiarto, I. (2020). GIS-AHP Multi Criteria Decision Analysis for the optimal location of solar energy plants at Indonesia. *Energy Reports*, 6, 3249-3263.
- Saaty, T. L. (1996). Decision making with dependence and feedback: The analytic network process (Vol. 4922, No. 2). Pittsburgh: RWS publications.
- Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy*, 157, 377-403.
- Suh, J., & Brownson, J. R. (2016). Solar farm suitability using geographic information system fuzzy sets and analytic hierarchy processes: Case study of Ulleung Island, Korea. *Energies*, 9(8), 648.
- Taghitabar Malekshah, M. (2015). Evaluation of green production methods using a combination of PROMETHEE, DANP models. Master Thesis, University of Mazandaran, Faculty of Economics and Administrative Sciences.
- Tunc, A., Tuncay, G., Alacakanat, Z., & Sevimli, F. S. (2019). GIS BASED SOLAR POWER PLANTS SITE SELECTION USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) IN ISTANBUL, TURKEY. *International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.

- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.
- Yang, M. H., Su, C. H., & Wang, W. C. (2017). The use of a DANP with VIKOR approach for establishing the model of e-learning service quality. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(8), 5927-5937.
- Yeh, T. M., & Huang, Y. L. (2014). Factors in determining wind farm location: Integrating GQM, fuzzy DEMATEL, and ANP. *Renewable Energy*, 66, 159-169.

Suitability Analysis for Solar Farms in Alborz Province Using DEMATEL-ANP Technique

Marziyeh Alikhani¹, Sharareh Pourebrahim^{2*}

1. MSc. Student, Faculty of Natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2*. Associate Professor, Faculty of Natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

*Email Address: sh_pourebrahim@ut.ac.ir

Abstract

Based on the impacts of renewable energy in reducing greenhouse gases, determining the suitable zones and the environmental requirements is an undeniable necessity. The aim of this study is to determine the effective indicators for solar farms suitability assessment using the combined DEMATEL-ANP (DANP), GIS technique. Using a set of literatures, 92 criteria were identified and 10 sub-criteria were selected based on the most frequent criteria. The effective sub-criteria such as solar radiation, dust, relative humidity, aspect and slope were obtained using DANP technique. Those criteria overlaid using the weighted linear combination method. The restricted areas were overlaid using Boolean method. The final map was suitable areas for solar farms zones in Alborz province. The results shows although there is a high potential for solar energy in Alborz province, but some limitations such as faults, agricultural and rangelands, water bodies, man-made areas will reduce the suitability for solar farms. According to the results of this study, the western and southwestern areas in Alborz province, including Eshtehard, Savojbolagh and Nazarabad, have more suitability. Based on the results 1.235 %of Alborz province have very low suitability, 8.730% low, 3.639 %moderate, and 10.228 %high suitability. Eshtehard township is suggested as one of the most suitable areas for this land use. The results obtained in this study will be significant for future land use plans and road maps toward integrated policy-making approaches.

Introduction

Energy as an infrastructure in increasing productivity (Beheshtifar et al., 2010) requires maximum use of resources, technology of optimal energy production and the use of clean technologies (Assari et al., 2018). Solar energy is one of the most accessible sources of renewable energy (Mohanty et al., 2017). Solar energy is considered because of the lack of greenhouse gas emissions, conservation of natural resources and land reclamation, increasing regional independence, speed in electricity distribution, reducing costs and power transmission lines (Bahrami et al., 2013). Iran is one of the suitable countries for using solar energy due to its location in the warm belt of the world (Sadat et al., 2015) in terms of solar energy intake and average annual sundial of more than 2900 hours per year (Sultan Mohammadi, 2012). Alborz province is facing increasing electricity consumption and lack of electricity generation capacity due to high population density. On the other hand, due to the favorable climatic conditions and the number of sunny days and hot and dry climate, as well as the existence of some low-yield lands in the south of the province, especially the two cities of Eshtehard and Nazarabad, and also according to the recommendations in the province land management documents, solar farms can be Hilli to supply energy resources to the province and neighboring provinces of Tehran and Qazvin. Therefore, the study is necessary to zoning areas prone to the development of solar farms.

Methodology

The steps of this study include 1) Objective determination 2) Criteria identification 3) Criteria screening 4) Sub-criteria prioritization and weighting using DANP method 5) Layer mapping in ArcGIS environment 6) Identification of Suitable Areas for Solar Farms. In order to analyze the data, the criteria were first identified and Screened. Location indicators of solar farms were performed based on internal and external studies and were identified. Screening of criteria was performed according to the most frequent use of the criteria and a total of ten

sub-criteria were determined. By studying 100 internal and external sources based on the most frequent criteria, about 77% of the sub-criteria were selected. The technical, social and environmental indicators related to the problem that could be provided and prepared were selected. The main criteria include land management (land use), physical factors (slope, aspect, elevation) and land characteristics (temperature, sunshine hours, relative humidity, solar radiation, dust, rainfall). A questionnaire was used to assess the interrelationships between the sub-criteria, which was completed by 32 specialists and experts. In order to map the layers in ArcGIS environment, the effective criteria obtained by DANP method along with their weight were determined and the relevant layers were created in ArcGIS environment. Layers related to Global Horizontal Irradiance (GHI) criteria for the whole of Iran were downloaded from www.solargis.com. Other layers were obtained from Alborz province land use planning studies in 2015. To combine the criteria, two methods of Boolean superposition for constraints and weighted linear combination for the main criteria were used. The constraints of the constraint layers were applied using the Buffer function and classified using Boolean logic (zeros and ones), and the constrained areas were co-opted using the Union function. Due to the existence of gardens and agricultural lands, the land use layer was applied as a restriction and other land use classes were combined with weighted layers. By eliminating unsuitable areas with the Erase function, suitable zones for the construction of solar farms were prioritized. The constraint map, obtained from the overlap of boolean layers, shows that about 76.167% of the area of Alborz province, although it seems desirable in terms of radiation, etc., but has limitations as described in Table 6.

Conclusion

Of the total areas suitable for the development of solar farms in Alborz province, 6381 hectares had very low suitability, 45097 hectares had low suitability, 18800 hectares had medium suitability and 52835 hectares had high suitability. Among the cities of Alborz province, the most suitable areas for solar farms with an area of 22883 hectares were allocated to Eshtehard city and then Savojbolagh, Nazarabad, Karaj, Ferdis and Taleghan cities, respectively. The western and southwestern regions have suitable conditions for the construction of solar farms, while in the northern and eastern parts of the province due to the existence of a protected area, high elevation, low radiation and other limiting factors have been practically unsuitable. Environmental factors are not compatible with the framework of many common location methods due to their special nature, ie their interrelationship with each other and other related non-environmental factors. ANP is therefore a practical tool for solving complex decision-making structures using the communication supermatrix. This method is one of the most appropriate assessment methods in the process of environmental location (Hosseinzadeh et al., 2012; Amiri, 2015). On the other hand, since this model is not able to show the effectiveness of the criteria, it should be possible to show the causal relationships of the criteria in environmental conditions that the DEMATEL technique can show these relationships. The results indicate the ability of DANP technique to show the relationships-structure as well as the weight, dependence and feedback of the criteria, which is consistent with the studies of Hsu et al., (2013). Among the priority planning projects of the province is the construction of solar farms in Eshtehard, Nazarabad, Hashtgerd and Garmadreh, which is consistent with the results obtained in this study. In the development of development plans for Taleghan city, a plan for the development of solar panels has been proposed, which according to the results of this research, Taleghan city does not have a good potential for the construction of solar farms. One of the priority areas for development in the planning of the province is the development of new energy production infrastructure in the center and south of Alborz province that The potential is good.

Keywords

Suitability assessment; Solar farms; Alborz province; DEMATEL-ANP Technique.