

کاربرد منطق فازی و FTOPSIS جهت مکانیابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از GIS (مطالعه موردی استان تهران)

حسین یوسفی^۱، یونس نوراللهی^۲، مجید سلطان محمدی^۳، رضا ارجمندی^۴

تاریخ دریافت مقاله:

چکیده:

۹۱/۸/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله:

۹۱/۱۱/۲۷

با توجه به نیاز روز افزون جوامع بشری به انرژی الکتریکی، روش‌های مختلف و نوینی برای تولید این انرژی با حداقل آلودگی های زیست محیطی متداول شده است که انرژی خورشیدی یکی از این روش‌های نوین می باشد. جهت دریافت این منبع انرژی، نیروگاه‌هایی تاسیس و با افزایش این تاسیسات نیاز به یافتن مکانی مناسب جهت احداث نیروگاه اجتناب ناپذیر می باشد. از این رو، تهران به دلیل دارا بودن بیشترین سهم از توسعه شهری و جمعیتی انتخاب گردید. در این تحقیق از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره جهت انتخاب و اولویت‌بندی مکان‌های پیشنهادی و از GIS به عنوان ابزاری قوی جهت پردازش داده‌ها استفاده شده است تا اطلاعات مفید و مورد نیاز را برای مدیریت بهینه منابع و امکانات فراهم نماید. در این راستا، پس از انتخاب پارامترهای مورد نیاز جهت مکانیابی، از منطق فازی به عنوان روشی جهت ارزش دهی به مناطق و تولید نقشه‌ها استفاده گردید. در نتیجه، ۹ منطقه به عنوان بهترین مکانها برای احداث نیروگاه خورشیدی انتخاب شد که در مجموع 22 Km^2 مساحت داشته و ۰.۱۵ درصد از کل مساحت استان را به خود اختصاص می‌دهد در انتها، توسط روش Fuzzy TOPSIS گزینه‌های پیشنهادی اولویت‌بندی شده و بهترین مکان جهت احداث نیروگاه شناسایی گردید.

کلمات کلیدی:

مکان یابی، منطق فازی،

GIS, MCDM,

FTOPSIS

Hoseinyousefi@ut.ac.ir

(۱) استادیار گروه مهندسی انرژی های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

Noorollahi@ut.ac.ir

(۲) استادیار گروه مهندسی انرژی های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

(۳) کارشناسی ارشد مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات (نویسنده مسئول)

Majid_Soltanmohammadi@yahoo.com

Rezaarjmandi@yahoo.com

(۴) استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

مقدمه

پیش از شروع عصر فناوری، هدف از مکانیابی یک نیروگاه، یافتن محلی بود که برق مورد نظر را با کمترین هزینه تولید نماید و برای کاستن از پیچیدگی‌ها و طراحی سیستم انتقال نیرو، نیروگاه‌ها در بخش‌های صنعتی، شهرها، شهرک‌ها و یا در نزدیکی آنها واقع می‌شد. با رشد جوامع انسانی و در پی آن، افزایش مصرف برق، نیاز به زمین برای مستقر کردن نیروگاه‌های جدید و یا توسعه نیروگاه‌های موجود افزایش یافت. از طرف دیگر، محدودیت‌های ایجاد شده در اثر مقررارت منطقه بندی، باعث گردید تا اجازه ساخت و یا توسعه نیروگاه‌های موجود در مکان‌های اولیه صنعتی داده نشود (به عنوان نمونه: ممنوعیت استقرار صنایع بزرگ در شعاع ۱۲۰ کیلومتری شهر تهران و ۵۰ کیلومتری شهر اصفهان). از سوی دیگر، نیاز به تامین مداوم برق از طریق نیروگاه‌ها باعث شد تا این واحدها مجبور شوند در اطراف و حومه مناطق صنعتی تأسیس شوند. اما با مورد استفاده قرار گرفتن مکان‌های اولیه و مناسب برای ساخت نیروگاه، جستجو برای یافتن محل‌های جدید و مناسب پیچیده‌تر و مشکل‌تر شد و پارامترهای اقتصادی و فنی تحت تاثیر فشارهای اجتماعی و رقابت صنعتی قرار گرفتند. اما این مسأله که انرژی فسیلی رو به کاهش است و آلودگی زیست محیطی زیادی ایجاد می‌کند، باعث شد تا جامعه بشری رویکرد بهتری نسبت به این نوع انرژی داشته باشد. از این رو، جهت توسعه این انرژی نیاز به مکان‌های مناسب جهت استقرار این تاسیسات احساس می‌شود.

فناوری ساده، کاهش آلودگی هوا و محیط زیست و از همه مهمتر ذخیره شدن سوخت‌های فسیلی برای آینده از دلایل لزوم استفاده از انرژی خورشیدی در کشور هستند. با افزایش قیمت نفت در سال ۱۹۷۳، کشورهای پیشرفته صنعتی مجبور شدند به استفاده از انرژی‌های جانشین جدید تر بیندیشند. کشورهای صنعتی به این نتیجه رسیده‌اند که با بهینه سازی مصرف انرژی در صنایع و ساختمانها، مصرف انرژی را می‌توان ۳۰ تا ۴۰ درصد کاهش داد. پاک بودن این سیستم، توجه بسیاری از کشورها و دولت‌های جهان را به خود معطوف کرده تا آنجا که انگلستان اخیرا با الزامی کردن استفاده از صفحات خورشیدی در ساختمانهای در حال ساخت، گامی بلند و موثر در بهینه سازی مصرف انرژی برداشته است. در ایران نیز در کلیه محورهای کاربردهای انرژی‌های خورشیدی مطالعاتی صورت گرفته است، بخش‌هایی از این تحقیقات به صورت پایلوت و دستیابی به فناوری بوده و در بخش‌هایی به تولید انبوه و کاربردی فناوریها دست یافته ایم. در بخش نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی موفق به طراحی و ساخت پایلوت نیروگاه حرارتی خورشیدی در شیراز شده ایم.

در سال ۲۰۰۶ حدود ۱۸ درصد از انرژی مصرفی جهانی از راه انرژی‌های تجدید پذیر به دست آمد. سهم زیست توده به طور سنتی حدود ۱۳ درصد، (بیشتر جهت حرارت دهی) و ۳ درصد انرژی آبی بود. ۴/۲ درصد باقیمانده شامل نیروگاه‌های آبی کوچک، زیست توده مدرن، انرژی بادی، انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی و سوخت‌های زیستی می‌باشد که به سرعت در حال گسترش هستند. خوشبختانه طی ۲۰ سال اخیر نرخ رشد تقاضا برای انرژی خورشیدی به طور ثابت ۲۰ الی ۲۵ درصد در سال بوده و در طول این سالها قیمت تمام شده برق تولیدی و قیمت خود تجهیزات بکار رفته نیز کاهش یافته است. در حال حاضر، نیروگاه‌های خورشیدی عمدتاً فتوولتائیک می‌باشند. نرخ رشد ظرفیت نیروگاه‌های فتوولتائیک در جهان

در سال ۲۰۰۹ حتی سریعتر از برق بادی بوده و نسبت به سال قبل آن ۴۳/۶ درصد رشد داشته و از ۱۴۱۹۳/۳ مگاوات در سال ۲۰۰۸ به ۲۰۳۸۱ مگاوات در سال ۲۰۰۹ بالغ گشته است.

پیشینه تحقیق

شناخت و استفاده از انرژی خورشیدی به ماقبل تاریخ بازمی گردد ولی کاربرد انرژی خورشیدی برای اهداف خاص در قرن هجدهم آغاز شد. در سال ۱۷۷۴ ژوزف پریستلی^۱ انرژی خورشیدی را بر روی اکسید جیوه متمرکز نمود و از آن اکسیژن را به دست آورد. یک قرن بعد، یک پلانن آب شیرین کن در صحرای شمال شیلی ساخته شد که ۴۸۰۰ متر مربع زمین را اشغال نموده و صفحات شیشه ای آب را تقطیر و ۲۵ مترمکعب آب شیرین را روزانه تولید می کرد.

تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی مکانیکی در نمایشگاه پاریس در سال ۱۸۷۸ نمایش داده شد که در آنجا انرژی خورشیدی بر روی یک مولد بخار متمرکز شده و یک موتور بخاری را جهت راه اندازی یک ماشین چاپ به کار می انداخت. در ادامه، در سال ۱۹۰۱ یک ماشین بخار ۴ اسب ساخته شد و در سال ۱۹۱۱ ماشین بخاری به قدرت ۵۰ اسب جهت آبیاری از رودخانه نیل مورد استفاده قرار گرفت. در ۱۹۲۵، Herington اولین اقدامات را جهت تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته و همچنین ذخیره انرژی انجام داد و در سال ۱۹۸۰، اولین نیروگاه حرارتی خورشیدی ساخته شد.

از آن زمان تا کنون مقالات و پژوهش های بسیاری در داخل و خارج از کشور در راستای مکانیابی نیروگاه خورشیدی به انجام رسیده است که به چندی از آنها اشاره خواهیم داشت:

غلامرضا روشن، دکتر فرامرز خوش اخلاق و رضا برنا در پژوهشی با نام مکانیابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی، با استفاده از آمار ۳۳ ساله فراسنج های تابش، ابرناکی و باد به امکان سنجی استقرار نیروگاه خورشیدی در مناطق خشک ایران اقدام کرده اند.

سید محمد علی اشرف در پژوهشی امکان سنجی و مکانیابی نیروگاه های فتوولتائیک و بادی را در محدوده شرکت برق منطقه ای باختر به انجام رسانیده است.

Nazli Yonca Aydin در پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده فنی خاورمیانه به ایجاد روشی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی مناطق پیشنهادی، تاسیس نیروگاه بادی، خورشیدی و هیبریدی باد و خورشید با استفاده از سیستم تصمیم گیری چند معیاره فازی می پردازد.

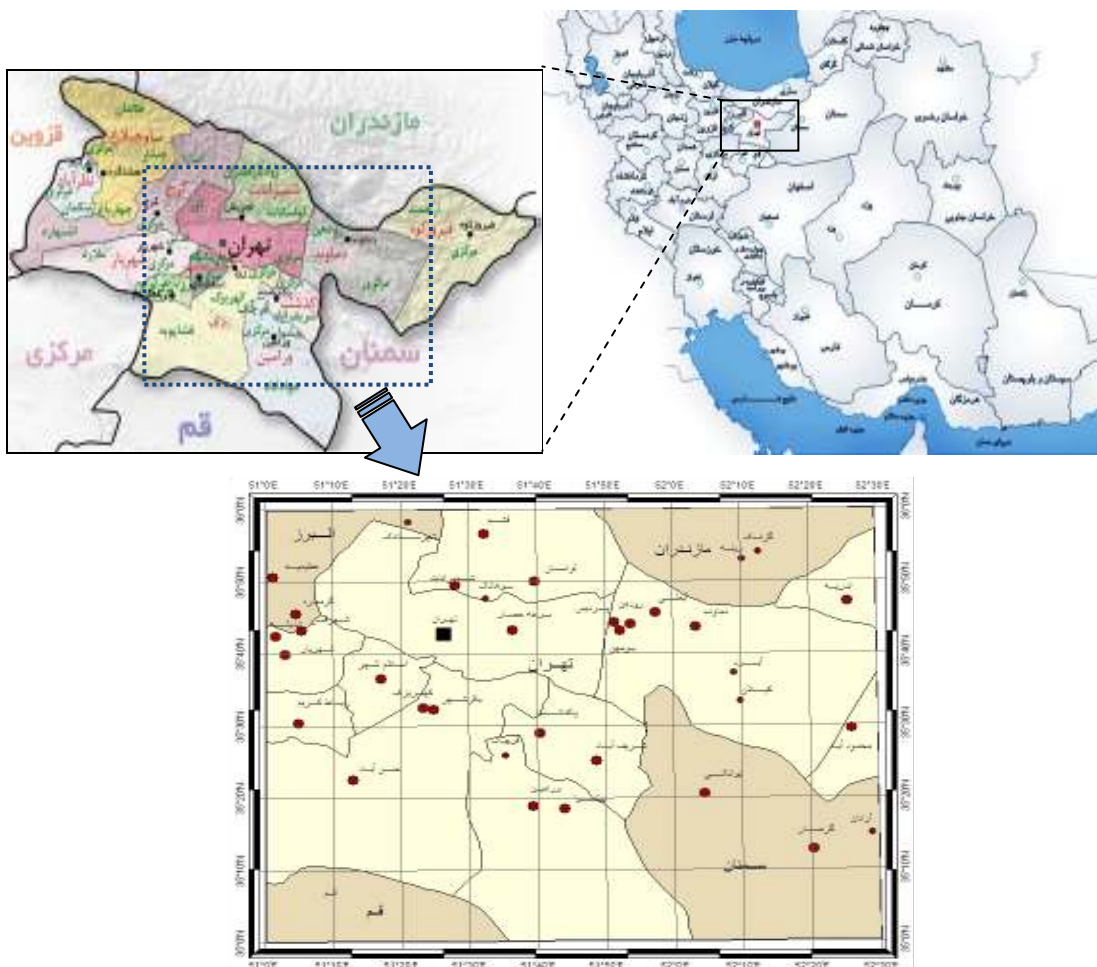
Jason R. Janke در تحقیقی در ایالت کلرادو آمریکا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیم گیری چند معیاره فازی به بررسی منابع باد و خورشید پرداخته است.

G.Tapsoba و E.W. Ramde, Y. Azoumah, A. Rungundu در پژوهشی مکانیابی نیروگاه های حرارتی خورشیدی را در غرب آفریقا انجام داده اند.

۱) priestly

محدوده مورد مطالعه

استان تهران به مرکزیت شهر تهران با وسعتی حدود ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربع بین ۳۴ تا ۳۶.۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است. استان تهران با بیش از ۱۳ میلیون نفر جمعیت، ۱۹ درصد جمعیت کل کشور را در خود جای داده است. از این میزان، ۱۲.۲۵۲ هزار نفر در مناطق شهری و ۱.۱۶۱ هزار نفر در مناطق روستایی آن ساکن هستند. محدوده منطقه‌ای که در تحقیق مورد بررسی قرار خواهد گرفت به طور کلی شامل تهران و قسمت‌هایی از استانهای البرز (کرج)، مازندران، سمنان و قم می‌باشد.



شکل (۱) منطقه مورد مطالعه

تجزیه و تحلیل و تلفیق داده ها

در بسیاری از مسائل برنامه ریزی و مدیریت فضایی مترتب بر جهان واقعی، تصمیم‌گیری چند معیاره فضایی (MCDM) مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد استفاده قرار می‌گیرد. GIS و MCDM، به عنوان دو حوزه تحقیقی و مطالعاتی متمایز از هم می‌توانند از مزایا و قابلیت‌های همدیگر منتفع شوند. زیرا از یک طرف، فنون مبتنی بر GIS نقش مهمی را در تحلیل مسائل مبتنی بر MCDM بازی کرده و قابلیت‌های منحصر بفردی را در اتومات کردن، مدیریت و تحلیل دامنه متنوعی از داده‌های فضایی مطرح در تصمیم‌گیری به دست می‌دهند. از طرف دیگر، MCDM دامنه وسیعی از روش‌شناسی‌های مرتبط با آن نظیر تصمیم‌گیری چند هدفی (MODM)^۱ و تصمیم‌گیری چند صفتی (MADM)^۲ و مجموعه ارزشمندی از فنون و روش‌ها را برای نشان دادن الویت‌های تصمیم‌گیران و ترکیب آنها در مطالعات موردی مبتنی بر GIS به دست داده، در تبیین دامنه وسیعی از موقعیت‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳]. از جمله روش‌های تصمیم‌گیری چند هدفی مورد استفاده می‌توان به روش فازی و TOPSIS اشاره داشت.

۱. منطق فازی

مجموعه‌های فازی در ریاضیات جدید به مجموعه‌هایی اطلاق می‌شود که عضویت بعضی یا تمام اعضا کاملاً روشن و مشخص نیست و عناصر آن به طور نسبی متعلق به آن مجموعه هستند [۳]. در مجموعه‌های فازی برخلاف مجموعه‌های قطعی، عناصر به دو دسته عضو و غیر عضو تقسیم نمی‌شوند، بلکه بر اساس آنچه ما تعریف می‌کنیم، میزان عضویت عناصر مختلف در مجموعه‌های فازی بین صفر و یک متغیر است [۱۰]. معمولاً برای تعیین تابع عضویت از روش‌های زیر استفاده می‌شود:

۱. استفاده از دانش خبرگان

۲. استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده.

روشهای متداولی برای نمایش توابع عضویت وجود دارند که عبارتند از:

الف. نمایش ترسیمی.

ب. نمایش به صورت جدول و لیست.

ج. نمایش عددی: این روش در مواقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مجموعه مرجع نامحدود باشد. یک عدد فازی ممکن است به صورت خطی، مثلثی و یا دوزنقه‌ای بیان شود.

با استفاده از علم مدیریت فازی، روش‌های علم مدیریت کلاسیک در محیط فازی به کار گرفته می‌شوند و می‌توان آن

۱) Multiple Objective Decision Making

۲) Multiple Attribute Decision Making

را در وظایف متعدد مدیریتی از جمله تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار داد [۸]. مجموعه‌های فازی به طبقه‌ای از عناصر و پدیده‌ها گفته می‌شود که محدوده مشخص و دقیقی که تعلق و یا عدم تعلق پدیده‌ها را به طبقه نشان دهند، ندارند و در این وضعیت، عارضه‌ها تا اندازه‌ای به مجموعه‌های چندگانه تعلق دارند. منطق فازی یکی از کاراترین و بهترین وجوه ارتقا یافته منطق بولی است که در راستای بکارگیری مفهوم حقیقت نسبی مطرح شده است. نکته اصلی در سامانه‌های فازی به این موضوع بر می‌گردد که ارزش‌های مربوط به حقیقت یا ارزش‌های عضویت به واسطه ارزشی در دامنه [۰،۱] نمایش داده می‌شوند. عملیات منطقی صورت گرفته بر روی مجموعه‌های فازی شامل بسط جبر متعارف بولی هستند و به طور کلی شامل ۵ عملگر می‌باشند:

✓ عملگر اشتراک فازی (Fuzzy AND)

✓ عملگر اجتماع فازی (Fuzzy OR)

✓ عملگر ضرب فازی (Fuzzy Algebraic Product)

✓ عملگر جمع فازی (Fuzzy Algebraic Sum)

✓ عملگر فازی گاما (Fuzzy Gamma Operation)

۲. مدل Fuzzy TOPSIS

در روش کلاسیک، برای تعیین وزن معیارها و رتبه بندی گزینه‌ها از مقادیر دقیق و معین استفاده می‌شود. در بسیاری مواقع، تفکرات انسان با عدم قطعیت همراه است و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری تاثیرگذار است. همان طور که بیان شد، در این گونه موارد بهتر است از روش‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده شود که روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی یکی از این روش‌هاست. چن^۱ و هوانگ^۲ مراحل استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی را با m گزینه و n معیار بدین صورت ارائه نموده‌اند [۹]:

مرحله ۱: تشکیل ماتریس تصمیم

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

مرحله ۲: تعیین ماتریس وزن معیارها

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_n] \quad (2)$$

۱) chen

۲) hwang

مرحله ۳: بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم فازی

اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشند، برای درایه‌های مثبت از رابطه (۳) و برای درایه‌های منفی از رابطه (۴) و اگر اعداد فازی به صورت ذوزنقه‌ای باشند، برای درایه‌های مثبت از رابطه (۵) و برای درایه‌های منفی از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$\tilde{r}_{ij}^+ = \left[\frac{a_{ij}^+}{c_{ij}^+}, \frac{b_{ij}^+}{c_{ij}^+}, \frac{c_{ij}^+}{c_{ij}^+} \right] \quad (۳)$$

$$\tilde{r}_{ij}^- = \left[\frac{a_{ij}^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_{ij}^-}{b_{ij}^-}, \frac{a_{ij}^-}{a_{ij}^-} \right] \quad (۴)$$

$$\tilde{r}_{ij}^+ = \left[\frac{a_{ij}^+}{d_{ij}^+}, \frac{b_{ij}^+}{d_{ij}^+}, \frac{c_{ij}^+}{d_{ij}^+}, \frac{d_{ij}^+}{d_{ij}^+} \right] \quad (۵)$$

$$\tilde{r}_{ij}^- = \left[\frac{a_{ij}^-}{d_{ij}^-}, \frac{a_{ij}^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_{ij}^-}{b_{ij}^-}, \frac{a_{ij}^-}{a_{ij}^-} \right] \quad (۶)$$

مرحله ۴: تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن دار

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \quad (۷)$$

مرحله ۵: یافتن حل ایده آل فازی (FPIS, A*) و حل ضد ایده آل فازی (FNIS, A~)

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\} \quad (۸)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} \quad (۹)$$

مرحله ۶: محاسبه فاصله از حل ایده آل فازی و ضد ایده آل فازی

اگر اعداد فازی به صورت مثلثی باشند، فاصله بین دو عدد فازی برابر است با:

$$d_v = \sqrt{\frac{1}{3} \left[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2 \right]} \quad (۱۰)$$

اگر اعداد فازی به صورت ذوزنقه‌ای باشند، فاصله بین دو عدد فازی برابر است با:

$$d_v = \sqrt{\frac{1}{4} \left[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2 + (d_1 - d_2)^2 \right]} \quad (۱۱)$$

مرحله ۷: محاسبه شاخص شباهت

$$CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (12)$$

مرحله ۸: رتبه بندی گزینه‌ها

نتایج مطالعات مکانیابی، وابستگی شدیدی به شناسایی درست معیارهای آن دارد و عدم توجه به هر معیار نتایج مطالعات را مخدوش می‌سازد. معیارهای مکانیابی معمولاً در چهار قالب دسته بندی می‌گردد، اما جهت دقت در مطالعات، معیارهای مکانیابی در این پایان‌نامه در پنج دسته طبقه بندی شده است:

- ✓ معیارهای فیزیکی
- ✓ معیارهای زیست محیطی (بیولوژیکی)
- ✓ معیارهای اقتصادی و اجتماعی
- ✓ معیارهای فنی و ایمنی
- ✓ زیرساخت‌ها

جدول ۱) معیارهای مکانیابی

| کلاس | زیر کلاس | معیار | اطلاعات مورد نیاز در لایه اطلاعاتی | دلیل اهمیت معیار |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|--|--|
| عوامل فیزیکی | شکل زمین | ارتفاع | ارتفاع از سطح دریا | کاهش هزینه‌ها و امکان احداث نیروگاه‌های بزرگتر |
| | | شیب | درصد شیب زمین | |
| عوامل فیزیکی | زمین شناسی و خاک شناسی | پایداری زمین (زمین شناسی) | تیپ سنگ شناسی و خاک شناسی منطقه | تامین امنیت و کاهش هزینه‌های بازسازی و تعمیر |
| | | گسل و معدن | اطلاعات محل گسلها و معادن منطقه | |
| | | شترار | محل مناطق شنی و تپه‌های شنی | |
| عوامل بیولوژیکی | پوشش گیاهی و کاربری زمین | چنگل | محل و اطلاعات توصیفی مناطق جنگلی، | افزایش میزان دریافت انرژی خورشیدی |
| | | باغ | | |
| | محدوده آبی | زمین زراعی | باغات و زمین‌های زراعی | |
| | | دریاچه و تالاب | اطلاعات توصیفی منابع آبی و شناسایی نقاط سیل خیز، رودخانه‌های اصلی و دائمی، محل باتلاق‌ها و مرداب‌های منطقه | تامین امنیت سازه‌های نیروگاهی |
| محدوده محیطی | مناطق حفاظت شده | مراکز پر جمعیت | اطلاعات توصیفی مناطق ۴ گانه | حفاظت از محیط زیست طبیعی |
| | | مراکز کم جمعیت | محل و اطلاعات توصیفی شهرها و روستاها و مناطق مسکونی | افزایش امنیت و جلوگیری از مشکلات زیبا شناختی |
| عوامل اقتصادی، اجتماعی | راه‌های ارتباطی | آزادراه و بزرگراه | اطلاعات توصیفی | سهولت در دسترسی به محل و کاهش هزینه‌های حمل تجهیزات |
| | | راه‌های محلی | جاده‌های اصلی، فرعی و خطوط راه آهن | |
| | | راه آهن | | |
| عوامل فنی و ایمنی | انتقال نیرو دریافت نیرو | خطوط انتقال نیرو | اطلاعات توصیفی محل خطوط انتقال نیرو | کاهش هزینه‌های انتقال نیرو و افزایش راندمان دریافت انرژی |
| | | میزان تابش دریافتی | میزان انرژی دریافتی از خورشید | |
| زیرساخت‌ها | تاسیسات | فرودگاه‌ها | محل و اطلاعات توصیفی فرودگاه | تامین امنیت سازه و افزایش |
| | | آب بندها و سد‌ها | آب بند، سد، پالایشگاه | |

| | | | |
|----------------------|---|---------------|-----|
| راندمان دریافت انرژی | شهرکهای صنعتی و کارخانجات منطقه مورد مطالعه | پالایشگاه ها | خاص |
| | | تاسیسات صنعتی | |

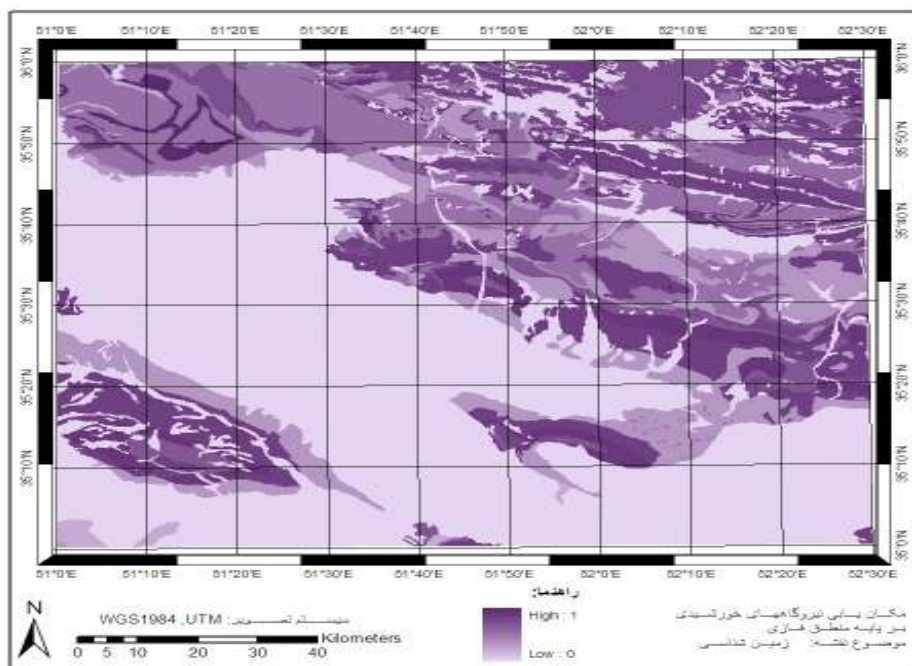
به منظور تهیه نقشه‌های فازی باید به گونه ای عمل نماییم که به ازای هر فاصله ارزشی متناسب با آن فاصله نسبت به هر پارامتر داده شود. این ارزش دهی توسط نمایش عددی در منطق فازی داده شده است. در بعضی از فاکتورها نظیر فاصله از فرودگاه‌ها، هر چه از آنها بیشتر فاصله بگیریم، امتیاز بالاتری گرفته است، ولی در بعضی دیگر مانند فاصله از خطوط انتقال نیرو، اگر فاصله بافر کشیده شده از حداکثر مجاز بیشتر شود، به ازای افزایش آن، امتیاز آن رو به کاهش می‌گذارد. این فواصل در قالب مقادیر فازی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲) پارامترهای مکانیابی نیروگاه خورشیدی برای تهیه نقشه‌های فازی

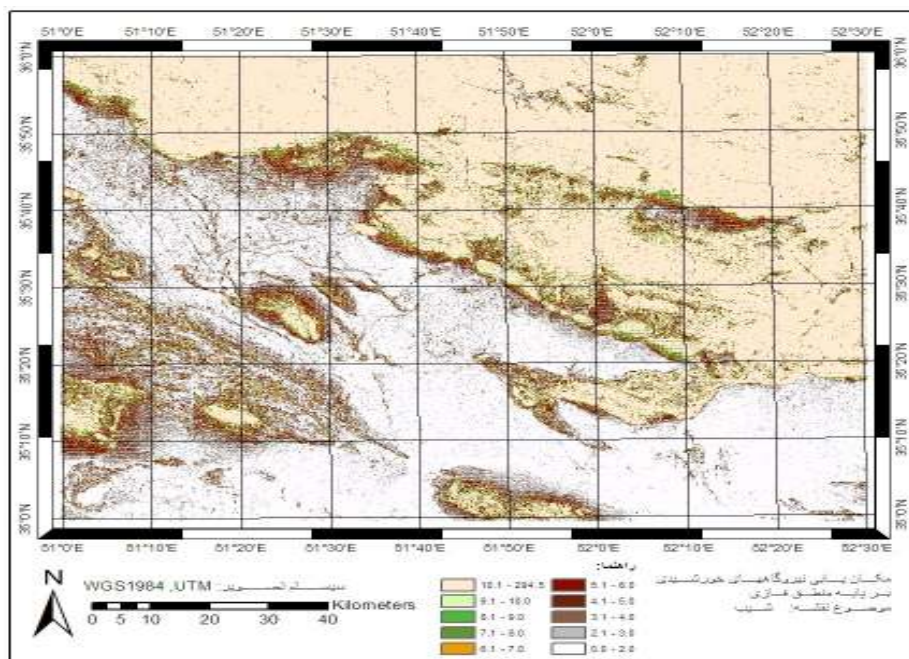
| پارامتر | زیر کلاس | نوع نمودار | a | b | c | d | منابع |
|-----------------|---------------------|------------|-----------------------|---------------------|-------|-------|-----------|
| کاربری اراضی | جنگل، باغات و مزارع | خطی(صعودی) | ۵۰۰ m | ۲ Km | | | [۱۶] |
| پتانسیل خورشیدی | انرژی دریافتی | خطی(صعودی) | ۴.۵kwh/m ^۲ | ۵kwh/m ^۲ | | | [۱۶،۲] |
| شیب | شیب | خطی(نزولی) | ٪۳ | ٪۱۰ | | | [۷،۲] |
| گسل و معدن | گسل و معدن | خطی(صعودی) | ۱ Km | ۶ Km | | | [۲،۱۳] |
| مراکز جمعیتی | کوچک | دوزنقه ای | ۵۰۰ m | ۱.۵ Km | ۲ Km | ۷ Km | [۲،۱۶] |
| | بزرگ | دوزنقه ای | ۲ Km | ۶ Km | ۱۰ Km | ۲۰ Km | [۲،۱۶] |
| منابع آبی | رودخانه | دوزنقه ای | ۵۰۰ m | ۲ Km | ۱۰ Km | ۲۰ Km | [۲،۴] |
| | دریاچه | دوزنقه ای | ۱ Km | ۵ Km | ۱۰ Km | ۲۰ Km | [۲،۴] |
| خطوط نیرو | خطوط نیرو | دوزنقه ای | ۲۵۰ m | ۵۰۰ m | ۱۰ Km | ۴۰ Km | [۲،۱۳،۱۶] |
| خطوط مواصلاتی | آزادراه | دوزنقه ای | ۲ Km | ۴ Km | ۶ Km | ۱۱ Km | [۲،۴،۱۶] |
| | بزرگراه | دوزنقه ای | ۱ Km | ۳ Km | ۵ Km | ۱۰ Km | [۲،۴،۱۶] |
| | راه آسفالتی | مثلی | ۵۰۰ m | ۱ Km | ۶ Km | | [۲،۴،۱۶] |
| | راه آهن | خطی(صعودی) | ۲۵۰ m | ۱ Km | | | [۲،۴،۱۶] |
| زیرساختها | فرودگاه نظامی | خطی(صعودی) | ۱۵ Km | ۱۸ Km | | | [۲،۴،۱۶] |
| | فرودگاه مسافری | خطی(صعودی) | ۳ Km | ۸ Km | | | [۲،۴،۱۶] |
| | سد و آب بند | خطی(صعودی) | ۵ Km | ۱۰ Km | | | [۲،۴،۱۶] |
| | صنایع | دوزنقه ای | ۱ Km | ۶ Km | ۱۰ Km | ۳۰ Km | [۲،۴،۱۶] |

تجزیه و تحلیل داده ها و تهیه نقشه های فاکتور

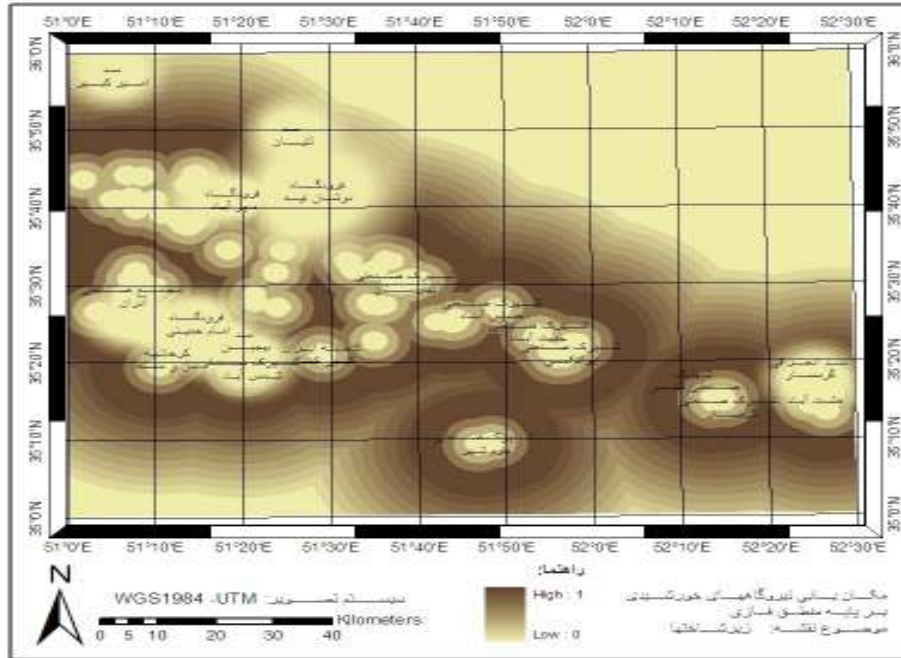
به طوری که مشاهده می‌شود مدل منطق فازی روشی جهت اولویت بندی انتخاب‌ها با ارزش دهی یکسلهای مختلف در داده‌های رستری با ارزشی بین صفر و یک می‌باشد. درجه عضویت بیانگر اهمیت نسبی هر فاکتور می‌باشد و هیچ محدودیتی در انتخاب میزان درجه عضویت برای هر فاکتور وجود ندارد [۱۰].



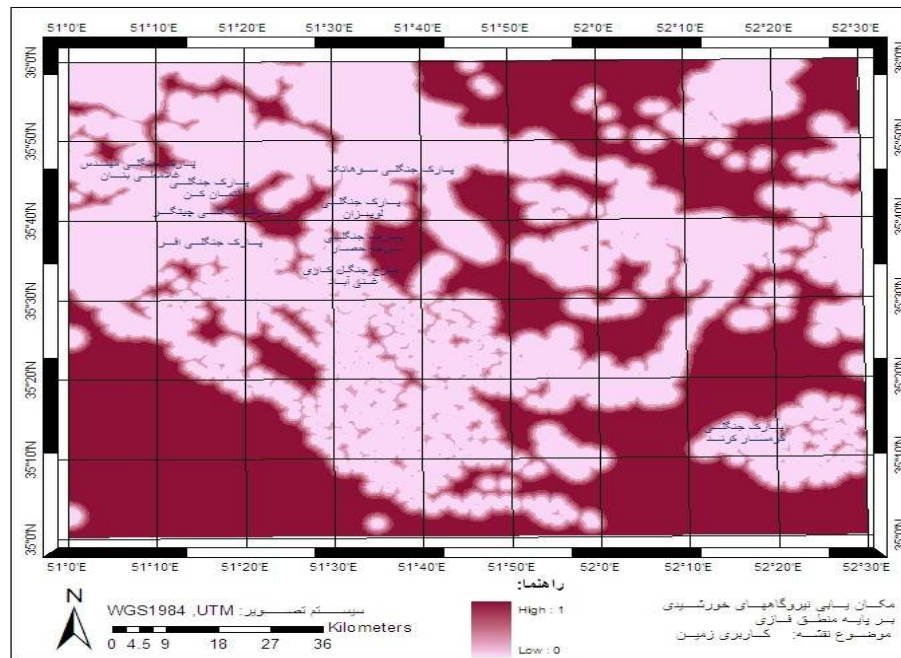
شکل ۲) نقشه فازی زمین شناسی



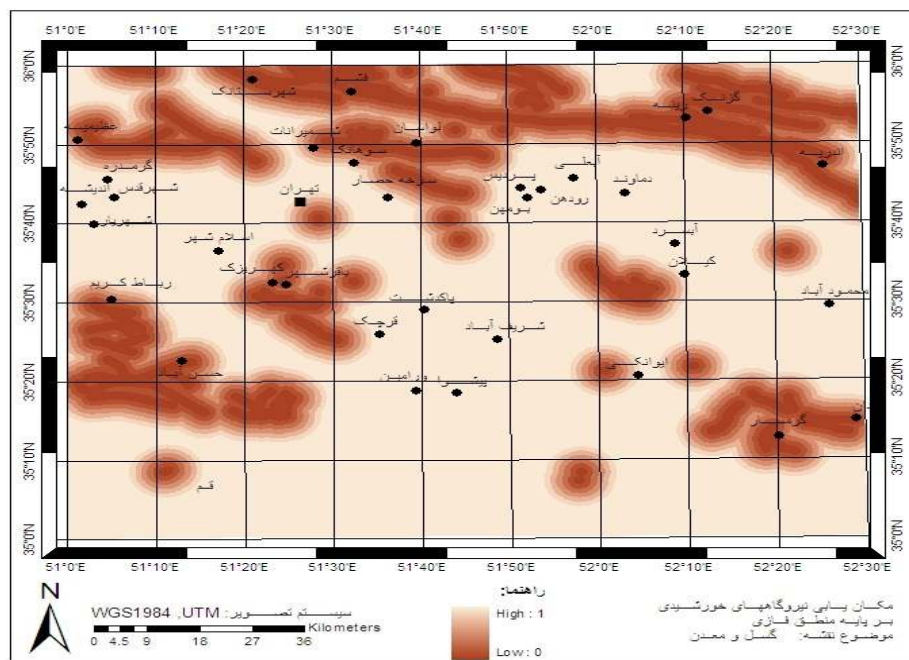
شکل ۳) نقشه فازی شیب



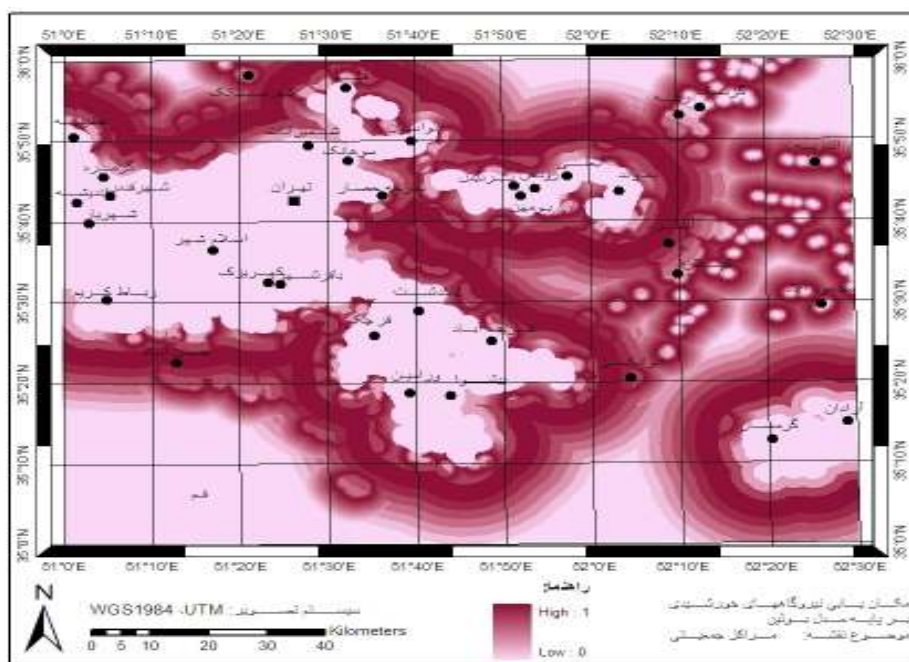
شکل ۴) نقشه فازی فاصله از زیرساختها



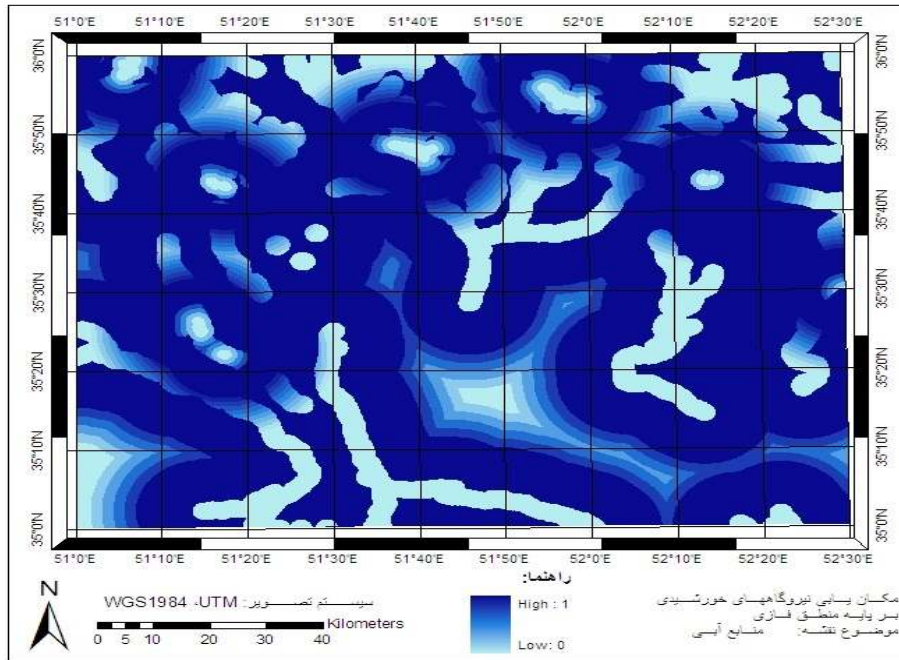
شکل ۵) نقشه فازی کاربری اراضی



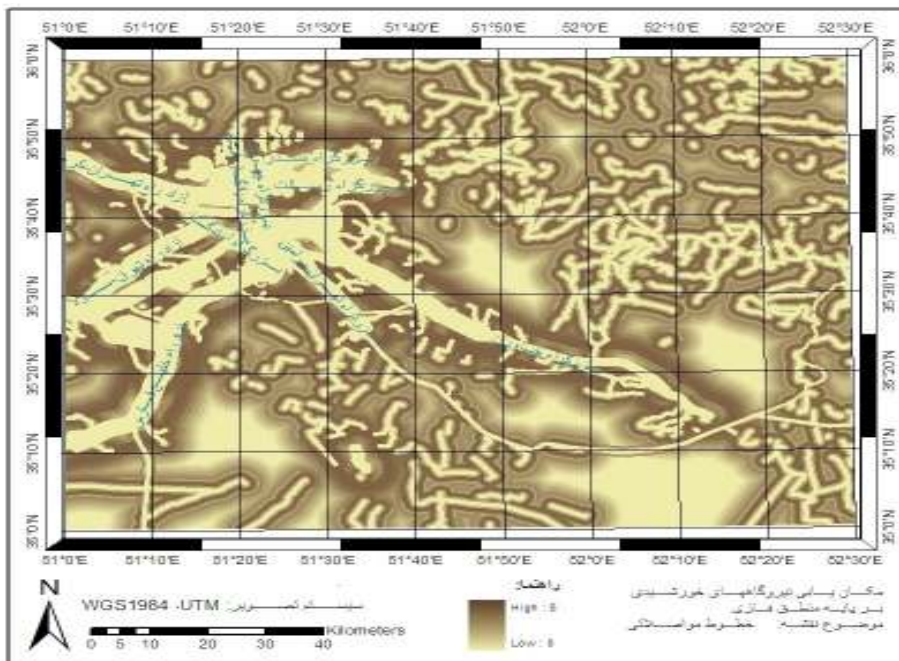
شکل ۶) نقشه فازی فاصله از گسلها و معادن



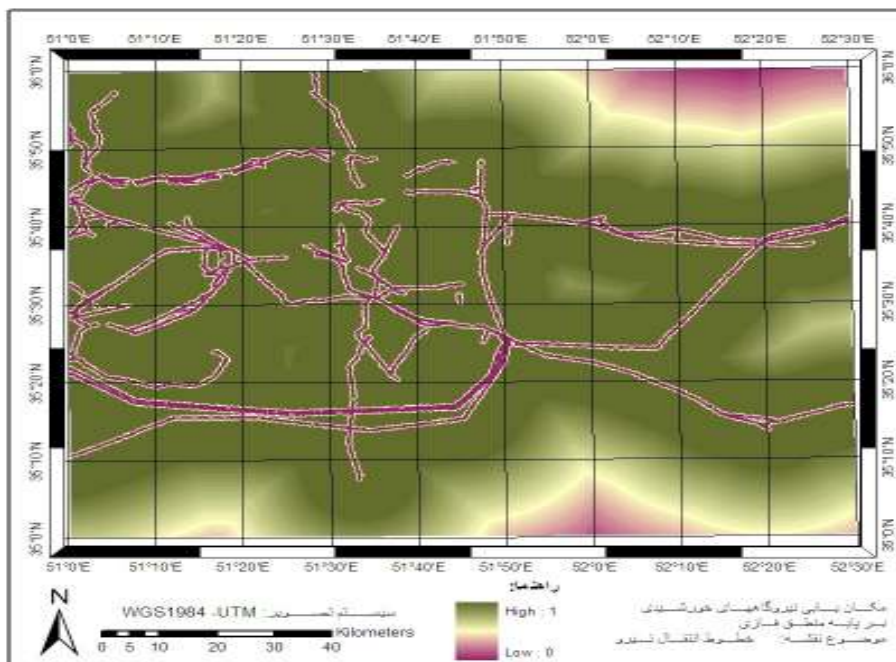
شکل ۷) نقشه فازی فاصله از مراکز جمعیتی



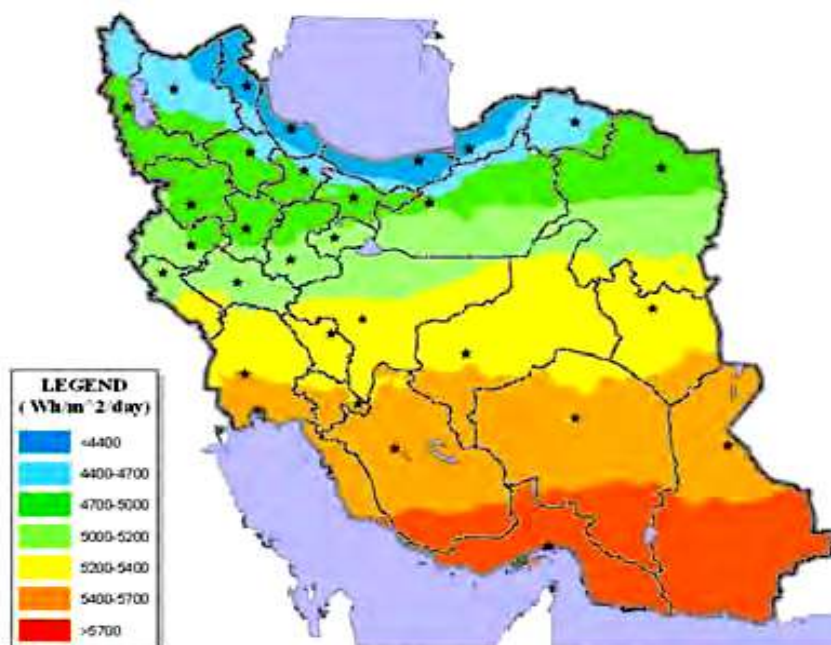
شکل ۸) نقشه فازی فاصله از آبراهه ها



شکل ۹) نقشه فازی فاصله از خطوط مواصلاتی



شکل ۱۰ نقشه فازی فاصله از خطوط انتقال نیرو



شکل ۱۱ نقشه فازی پتانسیل انرژی خورشیدی

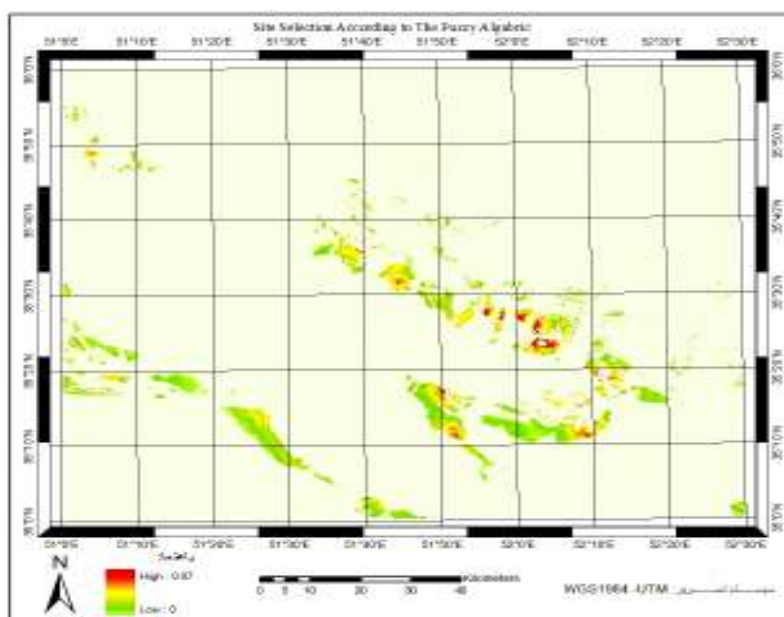
✓ لایه خطوط نیرو و تابش دریافتی از مهمترین لایه‌های تاثیرگذار در مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد. به همین علت، از عملگر sum که ارزش لایه‌ها را افزایش داده و به سمت ۱ سوق می‌دهد، استفاده گردیده است.

✓ در تلفیق لایه‌های فیزیکی و بیولوژیکی از عملگر گاما با لاندای ۰.۹ و ۰.۵ استفاده گردید تا علاوه بر اثر افزایشی عملگر Sum، مناطقی که از لحاظ پارامترهای مرتبط از ارزش پایینی برخوردار هستند، به دلیل وجود عملگر Product کوچک شده و در نقشه منظور گردد.

✓ در نهایت، لایه‌های خروجی مراحل قبل با عملگر Product تلفیق شده تا مکان‌هایی که از لحاظ تمام معیارهای ارائه شده ارزش متوسط و رو به بالا دارند در نقشه نهایی ارزش بالاتری را به دست آورند.

تلفیق نقشه های فاکتور و تهیه نقشه فازی

در این مرحله، نتایج حاصل از شبکه استنتاجی طراحی شده را در شکل ۱۳ ملاحظه می‌کنید که مناطق مناسب به تفکیک ارزش هر منطقه در نقشه مشخص شده است.

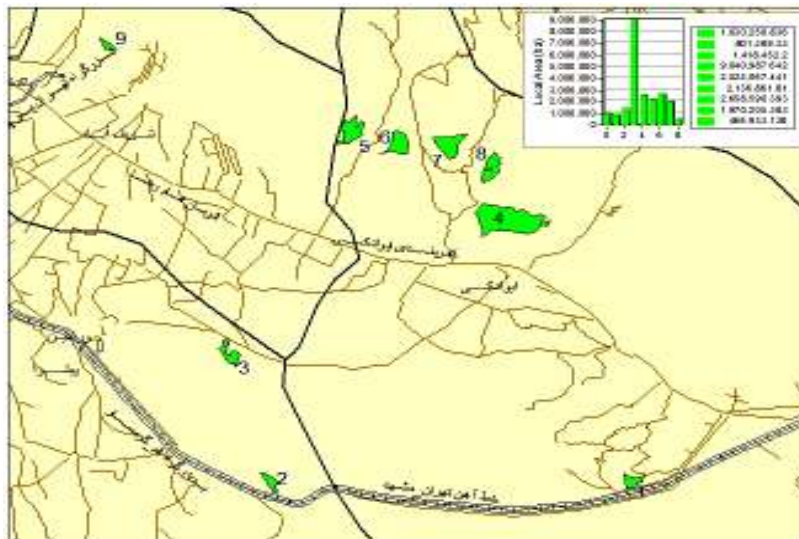


شکل ۱۳) نقشه نهایی مکانهای مناسب حاصل از منطق فازی

با توجه به آمار و اطلاعات نیروگاه‌های احداث شده در نقاط مختلف دنیا، جهت احداث یک نیروگاه حرارتی خورشیدی از نوع سهموی خطی به ازای تولید هر مگاوات/ساعت انرژی الکتریکی به طور متوسط به ۶۶۰۰ مترمربع زمین نیاز است. افزایش توان نیروگاه‌های خورشیدی یکی از ساده ترین راههای کاهش هزینه های تولید برق خورشیدی است [۱۵].

مطالعات نشان می دهد که با دو برابر شدن حجم تولیدی یک نیروگاه، هزینه تولید الکتریسیته به ازای هر کیلووات ساعت ۱۲ تا ۱۴ درصد کاهش می یابد [۱۵].

پس با در نظر گرفتن یک نیروگاه با ظرفیت متوسط ۳۰ مگاوات، مساحت مورد نیاز حدود ۲۰ هکتار برآورد می شود و همچنین با توجه به در نظر گرفتن توسعه آتی این نیروگاه، این میزان به ۴۰ هکتار نیز افزایش می یابد. با توجه به توضیحات داده شده، مناطقی که ارزش کمتر از ۰.۵ و مساحتی کمتر از ۴۰۰ هزار مترمربع دارند، جهت محدود کردن مناطق پیشنهادی و ارزیابی درست از مناطق با ارزش تر از نقشه حذف شده است. لذا با در نظر گرفتن معیار مساحت زمین مورد نیاز، نقشه مناطق مناسب در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

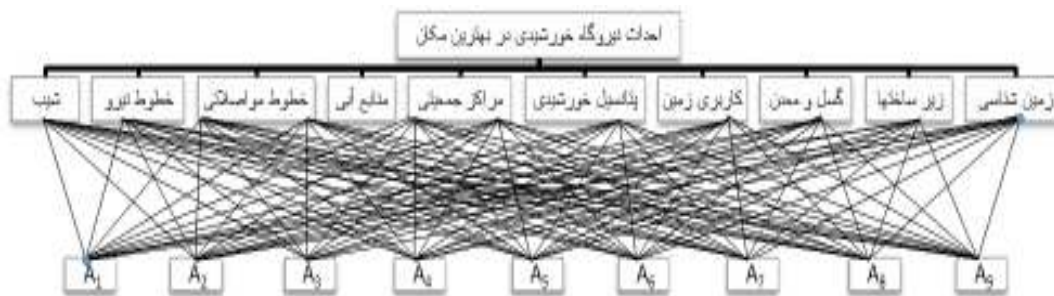


شکل ۱۴ نقشه نهایی مکانهای پیشنهادی و موقعیت آنها روی زمین به تفکیک مساحت هر منطقه

روش شباهت به گزینه آلفازی (FTOPSIS)

برای احداث نیروگاه خورشیدی ۹ گزینه (A_1, A_2, \dots, A_9) پیشنهاد شده است که بر اساس ۱۰ معیار، شکل ۱۵ آنها را اولویت بندی کرده و بهترین آنها انتخاب شده است.

C_1 : شیب زمین، C_2 : دوری از خطوط انتقال نیرو، C_3 : دوری از خطوط مواصلاتی C_4 : دوری از منابع آبی، C_5 : دوری از مراکز جمعیتی، C_6 : پتانسیل خورشیدی، C_7 : دوری از پوشش گیاهی، C_8 : دوری از گسل و معدن، C_9 : دوری از زیرساخت‌ها، C_{10} : زمین شناسی

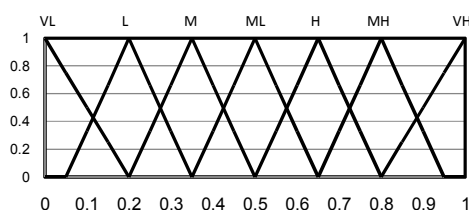


شکل ۱۵) نمودار سلسله مراتبی نحوه اولویت بندی مکان مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی

مرحله ۱: ارزیابی اهمیت معیارها

به منظور تعیین محل مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی، ابتدا با استفاده از متغیرهای زبانی مندرج در جدول ۳ گزینه‌های مختلف، از نظر معیارهای مختلف، جهت ارزیابی اهمیت معیارها مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

جدول ۳) متغیر زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها



| متغیر زبانی | عدد فازی متناظر |
|-----------------|------------------------|
| خیلی کم (VL) | (۰, ۰, ۰, ۲) |
| کم (L) | (۰, ۰, ۵, ۰, ۲, ۰, ۳۵) |
| متوسط_کم (ML) | (۰, ۲, ۰, ۳۵, ۰, ۵) |
| متوسط (M) | (۰, ۳۵, ۰, ۵, ۰, ۶۵) |
| متوسط_زیاد (MH) | (۰, ۵, ۰, ۶۵, ۰, ۸) |
| زیاد (H) | (۰, ۶۵, ۰, ۸, ۰, ۹۵) |
| خیلی زیاد (VH) | (۰, ۸, ۱, ۱) |

اهمیت معیارها طبق جدول فوق به صورت زیر ارزیابی شده‌اند.

جدول ۴) اهمیت معیارها

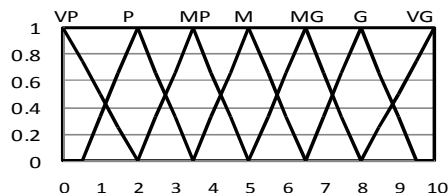
| معیار | وزن معیار | عدد فازی | معیار | وزن معیار | عدد فازی |
|----------------|-----------|----------------------|-----------------|-----------|------------------------|
| C _۱ | H | (۰, ۶۵, ۰, ۸, ۰, ۹۵) | C _۶ | VH | (۰, ۸, ۱, ۱) |
| C _۲ | VH | (۰, ۸, ۱, ۱) | C _۷ | VL | (۰, ۰, ۰, ۲) |
| C _۳ | H | (۰, ۶۵, ۰, ۸, ۰, ۹۵) | C _۸ | L | (۰, ۰, ۵, ۰, ۲, ۰, ۳۵) |
| C _۴ | ML | (۰, ۲, ۰, ۳۵, ۰, ۵) | C _۹ | L | (۰, ۰, ۵, ۰, ۲, ۰, ۳۵) |
| C _۵ | M | (۰, ۳۵, ۰, ۵, ۰, ۶۵) | C _{۱۰} | H | (۰, ۶۵, ۰, ۸, ۰, ۹۵) |

مرحله ۲: رتبه بندی گزینه‌ها

برای تصمیم‌گیری از متغیرهای زبانی جدول ۵ برای رتبه بندی گزینه‌ها استفاده شده است:

جدول ۵) متغیر زبانی برای رتبه بندی گزینه‌ها

| | |
|-----------------|-----------------|
| متغیر زبانی | عدد فازی متناظر |
| خیلی ضعیف (VP) | (۰,۰,۲) |
| ضعیف (P) | (۰,۵,۲,۳,۵) |
| متوسط_ضعیف (MP) | (۲,۳,۵,۵) |
| متوسط (F) | (۳,۵,۵,۶,۵) |
| متوسط_خوب (MG) | (۵,۶,۵,۸) |
| خوب (G) | (۶,۵,۸,۹,۵) |
| خیلی خوب (VG) | (۸,۱۰,۱۰) |



بدین منظور، با استفاده از اعداد فازی تعریف شده، نظرات کیفی تصمیم گیرندگان به اعداد فازی تبدیل شده و با به دست آوردن برآیند نظر تصمیم گیرندگان، ماتریس تصمیم فازی طبق جدول ۶ به صورت زیر محاسبه شده است:

جدول ۶) ماتریس تصمیم

| | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ | A ₇ | A ₈ | A ₉ |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| C ₁ | VG | VG | F | F | MG | F | MG | MP | G |
| عدد متناظر | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۵,۶,۵,۸) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۵,۶,۵,۸) | (۲,۳,۵,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) |
| C ₂ | MG | F | VG | G | VG | VG | VG | VG | VG |
| عدد متناظر | (۵,۶,۵,۸) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۸,۱۰,۱۰) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) |
| C ₃ | G | G | G | G | G | G | G | G | MG |
| عدد متناظر | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۵,۶,۵,۸) |
| C ₄ | VG | VG | VG | G | VG | VG | VG | VG | VG |
| عدد متناظر | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) |
| C ₅ | P | VG | G | F | VG | VG | MG | G | MP |
| عدد متناظر | (۰,۵,۲,۳,۵) | (۸,۱۰,۱۰) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۵,۶,۵,۸) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۲,۳,۵,۵) |
| C ₆ | MG | F | MP | MP | P | P | P | P | MP |
| عدد متناظر | (۵,۶,۵,۸) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۲,۳,۵,۵) | (۲,۳,۵,۵) | (۰,۵,۲,۳,۵) | (۰,۵,۲,۳,۵) | (۰,۵,۲,۳,۵) | (۰,۵,۲,۳,۵) | (۲,۳,۵,۵) |
| C ₇ | G | G | MG | VG | G | G | G | VG | VG |
| عدد متناظر | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۵,۶,۵,۸) | (۸,۱۰,۱۰) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) |
| C ₈ | VG | VG | VG | G | VG | VG | VG | VG | VG |
| عدد متناظر | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۶,۵,۸,۹,۵) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) |
| C ₉ | VG | VG | VG | VG | VG | VG | VG | VG | VG |
| عدد متناظر | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) | (۸,۱۰,۱۰) |
| C ₁₀ | VP | MG | F | MG | F | F | F | F | G |
| عدد متناظر | (۰,۰,۲) | (۵,۶,۵,۸) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۵,۶,۵,۸) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۳,۵,۵,۶,۵) | (۸,۱۰,۱۰) |

مرحله ۳: بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم

معیارهای اول تا سوم جنبه منفی دارند، بنابراین، برای بی مقیاس کردن آنها از رابطه (۴) استفاده می‌شود. معیارهای چهار تا ده دارای جنبه مثبت هستند و برای بی مقیاس کردن آنها رابطه (۳) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۷) ماتریس تصمیم بی مقیاس شده

| | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ | A ₇ | A ₈ | A ₉ |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| C ₁ | (۰,۰,۵,۰,۵,۰,۲۵) | (۰,۵,۰,۵,۰,۲۵) | (۰,۰,۱۶,۰,۱۰,۱۳۳) | (۰,۰,۱۶,۰,۱۰,۱۳۳) | (۰,۰,۶۲,۰,۱۰,۱۳۳) | (۰,۰,۱۶,۰,۱۰,۱۳۳) | (۰,۰,۶۲,۰,۱۰,۱۳۳) | (۰,۰,۱۰,۱۳۳,۰,۲۵) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) |
| C ₂ | (۰,۰,۶۲,۰,۱۰,۱۳۳) | (۰,۰,۱۰,۱۳۳,۰,۲۵) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) |
| C ₃ | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) | (۰,۰,۵۲,۰,۶۲,۰,۱۳۳) |
| C ₄ | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) |
| C ₅ | (۰,۰,۵,۰,۲,۰,۳۵) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۳۵,۰,۵,۰,۶۵) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۵,۰,۲,۰,۳۵) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۵,۰,۲,۰,۳۵) |
| C ₆ | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۳۵,۰,۵,۰,۶۵) | (۰,۰,۲,۰,۳۵,۰,۵) | (۰,۰,۲,۰,۳۵,۰,۵) | (۰,۰,۵,۰,۲,۰,۳۵) | (۰,۰,۵,۰,۲,۰,۳۵) | (۰,۰,۵,۰,۲,۰,۳۵) | (۰,۰,۵,۰,۲,۰,۳۵) | (۰,۰,۲,۰,۳۵,۰,۵) |
| C ₇ | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۸,۱,۱) |
| C ₈ | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) |
| C ₉ | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) | (۰,۰,۸,۱,۱) |
| C ₁₀ | (۰,۰,۰,۲) | (۰,۰,۵,۰,۶,۰,۸) | (۰,۰,۳۵,۰,۵,۰,۶۵) | (۰,۰,۵,۰,۶,۰,۸) | (۰,۰,۳۵,۰,۵,۰,۶۵) | (۰,۰,۳۵,۰,۵,۰,۶۵) | (۰,۰,۳۵,۰,۵,۰,۶۵) | (۰,۰,۳۵,۰,۵,۰,۶۵) | (۰,۰,۶۵,۰,۸,۰,۹۵) |

مرحله ۴: تشکیل ماتریس تصمیم فازی بی مقیاس شده وزن دار

ماتریس تصمیم‌فازی بی‌مقیاس شده وزن‌دار تشکیل و در جدول ۸ درج شده است.

جدول ۸) ماتریس تصمیم بی مقیاس شده وزن دار

| | A _۱ | A _۲ | A _۳ | A _۴ | A _۵ | A _۶ | A _۷ | A _۸ | A _۹ |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| C _۱ | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) |
| C _۲ | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) |
| C _۳ | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) |
| C _۴ | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) |
| C _۵ | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) |
| C _۶ | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) |
| C _۷ | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) |
| C _۸ | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) |
| C _۹ | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) | (۰.۳۳۵, ۰.۴۰۳۳۷۵) |

مرحله ۵: تعیین حل ایده آل و ضد ایده آل فازی

حل ایده آل و ضد ایده آل فازی به صورت زیر محاسبه شده است.

$$A^* = [((0.2375, 0.2375, 0.2375), (0.5, 0.5, 0.5)), (1, 1, 1), (0.2375, 0.2375, 0.2375), (0.5, 0.5, 0.5), (0.65, 0.65, 0.65), (1, 1, 1), (0.2, 0.2, 0.2), (0.35, 0.35, 0.35), (0.35, 0.35, 0.35), (0.8, 0.8, 0.8)]]$$

$$A^- = [((0.3325, 0.3325, 0.3325), (0.5, 0.5, 0.5)), (0.3325, 0.3325, 0.3325), (0.13, 0.13, 0.13), (0.175, 0.175, 0.175), (0.4, 0.4, 0.4), (0.3, 0.3, 0.3), (0.3325, 0.3325, 0.3325), (0.175, 0.175, 0.175), (0.5, 0.5, 0.5)]]$$

مرحله ۶: محاسبه فاصله هر گزینه از حل ایده آل و ضد ایده آل فازی

فاصله گزینه اول از حل ایده آل فازی از معیار اول به صورت زیر محاسبه می شود:

$$S_{11}^+ = \sqrt{\frac{1}{3} [(0.0325 - 0.02375)^2 + (0.04 - 0.02375)^2 + (0.02375 - 0.02375)^2]} = 0.00011$$

بقیه گزینه ها نیز به همین منوال محاسبه شده و نتیجه به صورت زیر به دست آمده است:

فاصله گزینه اول از حل ایده آل فازی برابر است با:

$$A_1: 0.00011 + 0.1778 + 0.88 + 0.345 + 0.046 + 0.0531 + 0.09 + 0.267 + 0.395 + 0.455 = 1.3929$$

بقیه گزینه ها نیز محاسبه شده و نتیجه به صورت زیر به دست آمده است:

$$A_2: 1.3932, A_3: 0.9244, A_4: 1.705, A_5: 1.551, A_6: 1.7822, A_7: 1.4939, A_8: 2.0188, A_9: 1.9172$$

فاصله گزینه اول از حل ضد ایده آل فازی از معیار اول به صورت زیر محاسبه می شود:

$$S_{11}^- = \sqrt{\frac{1}{3} [(0.0325 - 0.0325)^2 + (0.04 - 0.0325)^2 + (0.02375 - 0.0325)^2]} = 0.0047$$

بقیه گزینه ها نیز به همین منوال محاسبه شده و نتیجه به صورت زیر به دست آمده است:

فاصله گزینه اول از حل ضد ایده آل فازی برابر است با:

$$A_1: 0.047 + 0.0778 + 0.013 + 0.006 + 0.062 + 0.2339 + 0.5454 + 0.013 + 0.329 + 0.399 = 1.0232$$

بقیه گزینه ها نیز محاسبه شده و نتیجه به صورت زیر به دست آمده است:

$$A_2: 1.0246, A_3: 1.01, A_4: 0.5567, A_5: 0.7072, A_6: 0.5189, A_7: 0.7118, A_8: 0.3208, A_9: 0.4694$$

مرحله ۷: محاسبه شاخص شباهت

شاخص شباهت برای گزینه اول به صورت زیر محاسبه می شود:

$$CC_1 = 1.0232 / (1.3929 + 1.0232) = 0.4259$$

محاسبات مشابهی برای سایر گزینه ها انجام گرفته که نتایج آن در جدول ۹ درج شده است.

جدول ۹) شاخص شباهت برای گزینه های پیشنهادی

| شاخص شباهت | شاخص شباهت | شاخص شباهت | شاخص شباهت | شاخص شباهت |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0.2461 (سنگ آب) A_7 | 0.1371 (حسین آباد) A_2 | 0.4234 (کاروانسرای عباسی) A_1 | 0.4238 (قیه ناصریه) A_2 | 0.1967 (حصار امیر) A_9 |
| 0.3255 (کوروس یا لا) A_8 | 0.3132 (چند آب) A_5 | 0.4234 (کاروانسرای عباسی) A_1 | 0.4238 (قیه ناصریه) A_2 | 0.1967 (حصار امیر) A_9 |
| 0.4694 (حصار امیر) A_9 | 0.4075 (سنگ آب) A_6 | 0.4234 (کاروانسرای عباسی) A_1 | 0.4238 (قیه ناصریه) A_2 | 0.1967 (حصار امیر) A_9 |

مرحله ۸: اولویت بندی گزینه ها

با توجه به این محاسبات، ترتیب اولویت گزینه ها به صورت زیر است:

$$A_7 > A_1 > A_6 > A_3 > A_5 > A_2 > A_8 > A_9 > A_4$$

نتیجه گیری

با توسعه اقتصادی و رشد جمعیت، تقاضای کشور براساس استفاده گسترده از سوخت های فسیلی با شیب تندی رو به افزایش است. توجه به استفاده از انرژی های نو از جمله انرژی خورشیدی برای تامین بخشی از انرژی الکتریکی و حرارتی مورد نیاز شهرها و روستاهای کشور جهت نیل به اهداف توسعه پایدار و تنوع بخشی سبد انرژی کشور و کاهش مصرف سوخت فسیلی ضروری است. از این رو، مکانیابی این نیروگاه ها به عنوان بخشی از مراحل احداث نیروگاه های خورشیدی جهت تسریع در امر پیشرفت تولید برق خورشیدی در دستور کار این تحقیق قرار گرفت.

در این تحقیق، با استفاده از منطق فازی و به کمک نرم افزار ArcGIS ۹.۳ نقشه هایی به منظور یافتن مکانهای مناسب

جهت احداث نیروگاه خورشیدی تهیه گردید، بدین صورت که به مناطق مناسب ارزیابی بین ۰ تا ۱ داده شد و نقشه‌های تولید شده توسط یک سیستم استنتاجی با عملگرهای مختلف منطق فازی تلفیق گشته و در نهایت هر پیکسل در نقشه خروجی دارای ارزش متفاوتی گشته است. جهت محدود کردن مناطق پیشنهادی و رسیدن به مناطق با ارزش تر، مناطق دارای ارزش کمتر از ۰.۷ را حذف کرده و دو پارامتر حداقل مساحت مورد نیاز جهت احداث نیروگاه و قابلیت توسعه سایت را در انتخاب مکانهای مناسب دخیل کرده‌ایم. نتیجه این کار، انتخاب ۹ منطقه به عنوان بهترین مکانها برای احداث نیروگاه خورشیدی بود که در مجموع حدود ۲۲ کیلومترمربع مساحت داشته و ۰.۱۵ درصد از کل مساحت منطقه را تشکیل می‌دهد.

در آخرین گام، توسط روش FUZZY TOPSIS، یکی از روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه، اقدام به اولویت بندی مناطق پیشنهادی شده است که مناطق قیه ناصریه A_2 ، کاروانسرای عباسی A_1 و سنگ آب A_3 به ترتیب به عنوان بهترین مناطق شناخته شدند.



شکل ۱۶) نقشه اولویت مکان‌های پیشنهادی

مراجع

- [۱] احمدی، حسن. (۱۳۸۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

- [۲] اشرف، سید محمد علی. نوراللهی، یونس. زمانی، محسن. (۱۳۹۰)، پتانسیل سنجی انرژی باد برق منطقه ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴. شماره ۱
- [۳] اصغرپور، محمدجواد. (۱۳۸۹)، تصمیم گیری های چند معیاره. چاپ هشتم. انتشارات دانشگاه تهران
- [۴] بهشتی فر، سارا. سعدی مسگری، محمد. ولدان زوج، محمد جواد. کریمی، محمد. (۱۳۸۸)، استفاده از منطق فازی در محیط GIS به منظور مکان یابی نیروگاههای گازی، نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری، دوره ۴۴. شماره ۴. از صفحه ۵۸۳ تا ۵۹۸
- [۵] تی تی دژ، امید. (۱۳۸۹)، خود آموز ArcGIS ۹.۳ و مفاهیم پایه GIS. چاپ سوم. انتشارات موسسه علم معمار
- [۶] حق پرست کاشانی، آرش. صالح ایزد خواست، پژمان. لاری، حمیدرضا. (۱۳۸۸)، تدوین اطلس جامع GIS انرژی خورشیدی ایران بر اساس مدل تایش سنجی NRI، پژوهشگاه نیرو. پژوهشکده انرژی و محیط زیست، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق ۰۹-F-REN-۰۱۷۵
- [۷] صمدی، رضا. یوسفی، حسین. (۱۳۸۵)، انتخاب بهینه محل احداث نیروگاههای حرارتی با لحاظ نمودن پارامترهای فنی، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در استان فارس، سازمان بهره‌وری انرژی ایران، گروه محیط زیست
- [۸] عادل، آذر. فرجی، حجت. (۱۳۸۹)، علم مدیریت فازی. چاپ چهارم. انتشارات موسسه کتاب مهربان نشر
- [۹] عطایی، محمد. (۱۳۸۹)، تصمیم گیری چند معیاره فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود
- [۱۰] کوره پزان، امین. (۱۳۸۴)، تئوری مجموعه های فازی و کاربردهای آن در مسائل مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر
- [۱۱] مالچفسکی، یاچک. ترجمه. پرهیزکار، اکبر. غفاری، عطا. (۱۳۸۵)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاره. انتشارات سمت
- [۱۲] Abbaspour, M., Atabi, F., (۲۰۰۵) Climate Policy and Sustainable Development Opportunities for Iranian – German Cooperation: Case Study Solar Thermal Energy in Iran, Center for Environment and Energy Research and Studies
- [۱۳] Janke, Jason. R., (۲۰۱۰) Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado, journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene, Renewable Energy ۳۵.۲۲۲۸-۲۲۳۴
- [۱۴] Ramde, E.W., Azoumah, Y., Rungundu, A., and Tapsoba, G., (۲۰۱۱) Solar Thermal power Plant in West Africa: Site selection and potential assessment, Journees Scientifiques du viE, ۴-۸
- [۱۵] www.solarpaces.org
- [۱۶] Yonca Aydin, Nazli., (۲۰۰۹) GIS-Based Site Selection Approach for WIND and SOLAR

Energy System: A Case study from western Turkey, A Theses submitted to the graduate school of natural and applied sciences of mmidle east technical universit