

مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با تلفیق روش‌های بهترین - بدترین، دنپ، کوپراس و تاپسیس مطالعه‌ی موردی استان فارس

حسن کریمی پور^{۱*}، علی اصغر آل شیخ^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

hassan.karimipour@gmail.com

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

alesheikh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۹، تاریخ تصویب آبان ۱۳۹۹)

چکیده

مصرف منابع تجدید ناپذیر از جمله نفت، گاز و زغال سنگ هر روز رو به افزایش است. ولی زمانی خواهد رسید که این منابع به پایان می‌رسند. نیروگاه‌های خورشیدی که انرژی خورشید را به برق تبدیل می‌کنند در آینده با مزایای قاطعی که در برابر نیروگاه فسیلی و اتمی دارند، مشکل برق و تا حدی مشکل کم‌آبی را به‌خصوص در دوران تمام شدن نفت و گاز حل خواهند کرد. یکی از مهم‌ترین مسائل احداث نیروگاه‌های خورشیدی تعیین مکان‌هایی است که از پتانسیل بالایی برای دریافت انرژی خورشیدی برخوردار هستند. مکان‌یابی نیروگاه‌ها، به دلیل نیاز به شرایط خاص به‌خصوص شرایط زیست‌محیطی، اهمیت زیادی برای برنامه‌ریزان دارد.

این پژوهش به منظور مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی مشارکتی در استان فارس صورت گرفته است. در ابتدا مطالعاتی درباره منطقه و وضع موجود نیروگاه‌های خورشیدی انجام گرفته و بعد از آن با استفاده از منابع و نظر کارشناسان امر، ۱۰ معیار موثر از جمله معیارهای اقلیمی، ژئومورفولوژی و اقتصادی در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی انتخاب شده است. لایه‌های اطلاعاتی متناسب با معیارها در محیط GIS آماده و پس از آن از روش‌های بهترین - بدترین و دنپ برای وزن دهی معیارهای انتخابی استفاده شده است. پس از وزن دهی به معیارها، پهنه بندی منطقه صورت گرفته و ۸ مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی در استان فارس پیشنهاد شده است. در مرحله آخر با استفاده از روش‌های کوپراس و تاپسیس مکان‌های پیشنهادی رتبه بندی شده و برای نتایج نهایی از ادغام این دو روش با تکنیک میانگین رتبه استفاده شده است. در نهایت مکان شماره ۸ واقع در شهرستان زرین دشت استان فارس به عنوان بهترین مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی انتخاب شده است.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی، GIS، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، بهترین - بدترین، دنپ، کوپراس و تاپسیس

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

انرژی را می توان یکی از عوامل اصلی و دخیل در رشد اقتصادی جوامع پیشرفته دانست. استفاده تجاری از انرژی شرط اساسی توسعه است، اما تولید و مصرف تجاری انرژی معضلاتی از قبیل تغییرات شرایط اقلیمی، اثرات گلخانه ای، گرمایش جهانی، بارش باران های اسیدی، پراکنش هوای سرطان زا، دود و سایر عوامل آلاینده در محیط زیست را با خود همراه دارد. حجم عظیم انرژی مصرفی انسان به وسیله سوخت های فسیلی تامین می شود که احتراق این سوخت ها باعث ورود حجم عظیمی از اکسیدهای سولفور و نیتروژن، منواکسید کربن و دی اکسید کربن به هوا می گردد. خورشید و باد از منابع مهم انرژی هستند که به تکنولوژی پیشرفته و پر خرج نیاز نداشته و بعلاوه استفاده از آن ها، خطر و اثرات نامطلوب زیست محیطی از خود باقی نمی گذارند [۱].

همچنان که جمعیت جهان به رشد خود ادامه می دهد، میزان مصرف انرژی افزایش یافته و اگر تولید انرژی در مسیر جدیدی از عرصه و حتی الامکان مصرف مؤثر قرار نگیرد، اثرات و عواقب جبران ناپذیری را منجر خواهد شد [۲]. در کشور ایران به دلیل رشد جمعیت، بالا رفتن سرانه مصرف انرژی الکتریکی، توسعه بخش های صنعتی، کشاورزی و ...، میزان تقاضای مصرف این نوع انرژی پیوسته در حال افزایش بوده است [۳].

میزان تابش این انرژی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین بیشترین مقدار را دارا است. کشور ایران نیز در نواحی پرتابش واقع است [۴].

تکنولوژی خورشیدی به دو دسته نیروگاهی و غیر نیروگاهی تقسیم می شود. نیروگاه های خورشیدی، نیروگاه هایی هستند که منبع انرژی آن ها خورشید پاک و رایگان است. خورشید یک رآکتور هسته ای طبیعی بسیار عظیم است که ماده در آن جا بر اثر هم پوشی هسته ای به انرژی تبدیل می شود [۵]. محل نیروگاه های خورشیدی یکی از فاکتورهای تاثیرگذار در میزان راندمان کاری آن ها می باشد، که به علت پرهزینه بودن عملیات نصب، نگهداری و بهره برداری، بررسی اولویت مناطق از نظر شرایط محیطی، صنعتی، هواشناسی و اجتماعی مورد توجه قرار می گیرد [۶].

تصمیم گیری چند معیاری مکانی مجموعه ای از روش ها و فنون است که با بررسی بیش از یک معیار مکانی به اجرای تصمیم گیری پرداخته و به دنبال بهترین راه حل می باشد. به پیشنهاد سیمون ساختار فرآیند تصمیم گیری را می توان در سه مرحله اصلی بنیاد نهاد که عبارت اند از آگاهی (آیا فرصتی برای تغییر وجود دارد؟)، طراحی (گزینه های کدام اند؟) و انتخاب (بهترین گزینه کدام است؟). در هر مرحله از فرآیند تصمیم گیری فضایی ممکن است ناگزیر به بازگشت به مرحله قبلی باشیم [۷].

در سال های اخیر پژوهش های زیادی در زمینه مکان یابی نیروگاه های خورشیدی انجام شده است.

AL Garni و همکاران در سال ۲۰۱۷ میلادی پژوهشی تحت عنوان «مکان یابی نیروگاه های خورشیدی با استفاده از روش مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی در عربستان سعودی» انجام دادند. جنبه های مختلفی از جمله عوامل اقتصادی و فنی را باهدف تضمین حداکثر دسترسی به توان درحالی که هزینه پروژه را به حداقل می رساند، را در نظر گرفتند. نقشه مکانی نشان داده که ۱۶٪ (۳۰۰۰۰ کیلومترمربع) از مناطق مورد مطالعه امیدوارکننده و مناسب برای احداث نیروگاه های خورشیدی است [۸].

تقوایی و صبحی در سال ۱۳۹۶ خورشیدی، در پژوهشی به پهنه بندی و مکان یابی نیروگاه های خورشیدی در استان اصفهان با استفاده از روش تاپسیس پرداخته اند. نتایج نشان داد که حدود ۱۷ درصد از مساحت استان در وضعیت بسیار مطلوب از لحاظ استقرار پنل های خورشیدی قرار دارد. در این پژوهش با استفاده از GIS و از طریق هم پوشانی وزنی، پهنه های مناسب اقلیمی مکان یابی شدند. سپس با استفاده از روش تاپسیس بهینه ترین مکان انتخاب شده است. بهترین مکان ها به ترتیب شهرستان های نائین، میمه، گلپایگان و شهرضا تشخیص داده شده اند [۹].

ارتن و همکاران در سال ۲۰۱۷ میلادی، برای انتخاب مکان بهینه نیروگاه خورشیدی در منطقه آناتولی مرکزی ترکیه از GIS و روش های AHP, ELECTRE, TOPSIS و VIKOR استفاده کرده اند. ابتدا معیارهای مناسب برای انتخاب مکان نیروگاه مورد تحلیل قرار گرفته و سپس نتایج برای ۵ شهر در منطقه آناتولی مرکزی ارزیابی شده است [۱۰].

هدف این پژوهش مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در استان فارس با استفاده از تلفیق روش‌های بهترین-بدترین (BMW)^۱، دنپ (DANP)^۲، کوپراس (COPRAS)^۳ و تاپسیس (TOPSIS)^۴ است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مکان‌یابی

مکان‌یابی فعالیتی است که قابلیت‌ها و توانایی‌های یک منطقه را از لحاظ زمین مناسب و کافی برای کاربردی خاص، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. شاخص‌های مورد استفاده در مکان‌یابی نسبت به نوع کاربری متفاوت هستند، اما همه آن‌ها در جهت انتخاب مکان مناسب همسو می‌شوند. استفاده از این شاخص‌ها نیاز به داشتن اطلاعات صحیح و کامل از مکان دارد و دستیابی به اطلاعات نیازمند تحقیقات گسترده و جامعی است که پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده و ارزیابی آن‌ها، امکان تصمیم‌گیری وجود دارد [۱۵].

۲-۲- نیروگاه خورشیدی

تأسیساتی که با استفاده از آن، انرژی حرارتی و تابش خورشیدی به الکتریسیته تبدیل می‌شود، نیروگاه خورشیدی نامیده می‌شود. معمولاً این سیستم‌ها از یک سری آینه‌های قابل تنظیم (هلیوستات)^۵ و یا متمرکز کننده‌هایی با درجات حرارتی بالا و یک دریافت‌کننده مرکزی، منابع ذخیره و مبدل‌های حرارتی، توربو ژنراتور تشکیل شده‌اند [۱۶].

۲-۳- تصمیم‌گیری

تصمیم‌گیری درواقع طریقه عمل در مسیری خاص به صورت آگاهانه جهت نیل به اهداف و مطلوب تعریف شده است. تا بدین طریق گزینه‌ای مناسب در میان انواع گزینه‌ها انتخاب شود. در مطالعات جغرافیایی، فرایند تصمیم‌گیری به صورت نظام‌مند و سلسله‌مراتبی با تعریف

پیری صحراگرد و همکاران در سال ۱۳۹۷ خورشیدی در مقاله‌ای تحت عنوان «مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در منطقه خشک سیستان» به بررسی عوامل مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی و هم‌چنین مناطق مستعد برای احداث این نیروگاه پرداختند. در این پژوهش معیارهای ساعت آفتابی، درجه حرارت و ارتفاع به دلیل وزن بیشتر، به عنوان مهم‌ترین معیارهای شناخته شد. روش استفاده‌شده در این پژوهش، مقایسه زوجی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی می‌باشد [۱۱].

Colak و همکاران در سال ۲۰۱۸ میلادی، در پژوهشی به انتخاب بهترین مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی در استان مالاتیا ترکیه پرداختند. معیارهایی که در این پژوهش استفاده شد عبارت‌اند از: پتانسیل انرژی خورشیدی، جاده‌ها، خطوط انتقال انرژی، مراکز ترانسفورماتور، شیب، محل سدها و رودخانه‌ها، خطوط لوله گاز طبیعی، خطوط گسل، پوشش زمین و مناطق مسکونی. آن‌ها با استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله‌مراتبی، مکان بهینه برای احداث نیروگاه خورشیدی را بدست آوردند [۱۲].

طیار و همکاران در سال ۱۳۹۸ خورشیدی، در مطالعه‌ای به ارزیابی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ با بهره‌گیری از GIS و روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس برای استان کربلا در کشور عراق پرداخته‌اند. در این مطالعه پس از تعیین معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری مکان‌های نیروگاه‌های خورشیدی اعم از شدت تابش، دما، شیب زمین و ... اهمیت هر معیار با استفاده از نظریات خبرگان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شد. در نهایت با استفاده از روش‌های تاپسیس و هم‌پوشانی وزن دار، دسته‌بندی مناطق مختلف ناحیه شدنی از نظر میزان پتانسیل احداث نیروگاه‌های خورشیدی صورت گرفت [۱۳].

وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ میلادی، در پژوهش خود از رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب مکان نیروگاه خورشیدی در ویتنام بهره‌برده‌اند. در این پژوهش از ترکیب دو روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها برای انتخاب مکان نیروگاه خورشیدی و از روش تاپسیس برای رتبه‌بندی مکان‌های انتخاب شده، استفاده کرده‌اند [۱۴].

^۱ Best-Worst-Method

^۲ DEMATEL-based ANP

^۳ Complex Proportional Assessment

^۴ Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

^۵ Heliostat

مسئله آغاز و سپس با تعیین الزامات، تبیین اهداف، شناسایی گزینه‌ها، تعریف شاخص‌ها، انتخاب ابزار تصمیم‌گیری و ارزیابی جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها به اتمام می‌رسد. در این فرایند روش‌ها و مدل‌های متفاوتی برای تصمیم‌گیری به کار گرفته می‌شود که یکی از بارزترین آن‌ها استفاده از مسائل مبتنی بر تصمیم‌گیری‌های چند معیاره شامل مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه و چند شاخصه است [۱۷].

در دنیای واقعی بیشتر تصمیمات توسط یک نفر اتخاذ نمی‌گردد بلکه توسط گروهی از افراد اتخاذ می‌شود که بر روی موضوعی خاص به توافق می‌رسند. تصمیم‌گیری گروهی سازوکاری برای تلفیق آراء و نظرهای متنوع است که به تصمیمات مقبول‌تری منتج می‌گردد [۱۸].

۲-۴- تصمیم‌گیری چند معیاره

تصمیم‌گیری چند معیاره یک چهارچوب نوید بخش برای ارزیابی مسائل چندبعدی، متناقض و ناسازگار است. این روش به مجموعه‌ای از تکنیک‌های تصمیم‌گیری که در برگیرنده مجموعه عوامل کمی و کیفی است، اطلاق می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیقات مختلف، محققین به این نتیجه رسیده‌اند که تک هدفه بودن در انجام فعالیت‌های مختلف هدفی قابل قبول نمی‌باشد. بنابراین محققان امروزه به دنبال روش‌های چند معیاره برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده‌اند. روش تصمیم‌گیری چند معیاره پتانسیل زیادی به منظور کاهش دادن هزینه، زمان و بالا بردن دقت در تصمیم‌گیری‌ها را دارا می‌باشد [۱۹].

معیار در تصمیم‌گیری ممکن است به دو صورت شاخص یا هدف ارائه شود. بر این اساس مسائل چند معیاره به دو دسته چند شاخصه (MADM)^۱ و چند هدفه (MODM)^۲ تقسیم می‌شوند. در حالت چند شاخصه با مسائلی سروکار داریم که تصمیم‌گیرنده می‌خواهد با توجه به عوامل چندگانه، از بین چندین گزینه یکی را انتخاب و یا گزینه‌ها را رتبه‌بندی کند. مانند انتخاب شغل از بین موقعیت‌های موجود با توجه به میزان حقوق و مزایا، محیط کار، فاصله از منزل و رضایت شغلی. حالت چند هدفه برای مسائلی به کار گرفته می‌شود که

تصمیم‌گیرنده می‌خواهد با توجه به اهداف چندگانه میزان هر فعالیت را مشخص کند. مثلاً در یک سیستم تولیدی با توجه به محدودیت‌ها، از هر کالا چه میزان تولید شود تا نیروی کار، زمان تولید و مواد اولیه مصرفی کمینه شده درحالی‌که سود حاصله، میزان تولید و کیفیت کالا بیشینه شود [۲۰].

۲-۵- روش بهترین - بدترین

تکنیک بهترین - بدترین یکی از جدیدترین و کارا ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاری است که در سال ۲۰۱۵ توسط دکتر جعفر رضایی معرفی گردید و به منظور وزن دهی معیارهای تصمیم‌گیری به کار می‌رود. در این روش، ابتدا بهترین (مهم‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) معیارها توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود، سپس مقایسه زوجی بین هرکدام از این دو شاخص، با دیگر شاخص‌ها صورت می‌گیرد. آنگاه مسئله تبدیل به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی می‌شود که وزن شاخص‌ها به صورتی به دست آید که تفاوت‌های مطلق اوزان حداقل گردد. تعداد مقایسات زوجی کمتر و دستیابی به مقایسات زوجی سازگارتر از برتری‌های این متد نسبت به سایر تکنیک‌های چند معیار است [۲۱]. مراحل این روش به صورت زیر است:

ابتدا معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری انتخاب می‌شوند. سپس انتخاب بهترین و بدترین معیار انجام می‌گیرد. در مرحله بعد برتری بهترین معیار نسبت به سایر معیارها و هم چنین برتری هر معیار نسبت به بدترین معیار با اعداد صحیح ۱ تا ۹ مطابق جدول (۱) سنجیده می‌شود. بردار برتری بهترین معیار نسبت به سایر معیارها و برتری سایرین به بدترین از رابطه (۱) بدست می‌آید. که در آن a_{Bj} برتری بهترین معیار به معیار j ام و a_{wj} برتری معیار j ام بر بدترین است.

$$A_B = (a_{b1} \cdot a_{b2} \cdot \dots \cdot a_{bn}) \cdot A_w \quad (1)$$

$$= (a_{1w} \cdot a_{2w} \cdot \dots \cdot a_{nw})^T$$

^۱ Multiple Attribute Decision Making

^۲ Multiple Objective Decision Making

جدول ۱- اعداد متناظر با انواع ترجیحات در مقایسه های زوجی

ترجیحات بینابین	کاملاً مرجح	ترجیح خیلی قوی	ترجیح قوی	کمی مرجح	ترجیح یکسان	ترجیحات
۲،۴،۶،۸	۹	۷	۵	۳	۱	مقدار عددی

$$w_b/w_j = a_{Bj} \cdot w_j/w_w = a_{jw} \quad (2)$$

min ξ ;

S.t.

$$\left| \frac{w_b}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi; \quad \text{برای تمامی } j \text{ ها} \quad (3)$$

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi; \quad \text{برای تمامی } j \text{ ها}$$

$$\sum_j w_j = 1; \quad \text{برای تمامی } j \text{ ها}$$

$$w_j \geq 0;$$

$$\text{نرخ سازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}} \quad (4)$$

در این مرحله اوزان بهینه بدست می آیند. وزن بهینه برای معیارها وزنی است که برای هر زوج w_b/w_j و w_j/w_w روابط (۲ و ۳) برقرار باشد. w_j وزن معیار j ام است. ξ متغیری است که از آن برای محاسبه نرخ سازگاری در مرحله بعد استفاده می شود و مقدار بهینه ی آن یعنی ξ^* طی تکرارهای متوالی به همراه وزن معیارها حساب می شود.

نرخ سازگاری از رابطه (۴) محاسبه می شود. شاخص سازگاری استفاده شده در این رابطه از جدول (۲) بدست آمده که a_{BW} همان و وزن مقایسه بهتری نسبت به بدترین معیار است. نرخ ناسازگاری عددی در بازه ۰ تا ۱ است و هرچه به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده ی ثبات بالاتر مقایسات است.

جدول ۲- میزان شاخص سازگاری به ازای وزن داده شده در مقایسه بهترین با بدترین معیار

a_{BW}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

کامل TC^1 که از دیمتل به دست می آید برای وزن معیارها محاسبه می شود. مراحل روش دنیپ به شرح زیر است:

۱- محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم (رابطه ۵). هر درایه d_c^{ij} میزان اثرگذاری معیار i ام بر معیار j ام را با طیف ۵ تایی ۰ (بی تاثیر) تا ۴ (بسیار تأثیر گذار)، مقداردهی می شود.

$$D = \begin{bmatrix} d_c^{11} & \dots & d_c^{1j} & \dots & d_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_c^{i1} & \dots & d_c^{ij} & \dots & d_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_c^{n1} & \dots & d_c^{nj} & \dots & d_c^{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

۲- ماتریس ارتباط مستقیم D با استفاده از رابطه (۶) نرمال شده و ماتریس N بدست می آید.

$$N=VD; V=\min \left\{ \frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^n d_{ij}}, \frac{1}{\max_j \sum_{i=1}^n d_{ij}} \right\}; i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

۲-۶- روش دنیپ

فرایند تحلیل شبکه ای یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره است که در آن شبکه جایگزین ساختار سلسله مراتبی شده است و از روابط دوطرفه بین خوشه ها و نیز رابطه درونی خوشه ها پشتیبانی می کند. روش دیمتل نیز بر پایه مقایسه زوجی است که با بهره مندی از قضاوت خبرگان و به کارگیری اصول فرضیه گراف ها، روابط علی - معلولی بین معیارها را به یک ساختار ملموس تبدیل می کند [۲۲]. در نمودار علی دیمتل، محورهای افقی و عمودی به ترتیب شدت برتری (اهمیت) و علت (بالای محور افقی) یا معلول (زیر محور افقی) بودن هر معیار را نشان می دهند [۲۳]. از آنجا که روش دیمتل روابط علت و معلولی بین عوامل را مشخص می نماید لذا می توان این روش را با روش تحلیل شبکه ترکیب کرد. در روش شبکه سطح وابستگی معیارها دوطرفه است که در روش دیمتل چنین نیست و به دنیای واقعی نزدیک تر است [۲۴]. پس برای رفع این نقص موجود در شبکه، از ماتریس ارتباط

^۱ Total Communication matrix

۳- زمانی که ماتریس D نرمال گشته و ماتریس N حاصل شد، ماتریس ارتباطات کامل از طریق روابط (۷ و ۸) بدست خواهد آمد. در این رابطه I بیانگر ماتریس واحد است. ماتریس ارتباط کامل می تواند به وسیله معیارها شمرده شود که با T_C نشان داده می شود.

$$T = N + N^2 + \dots + N^n = N(I - N)^{-1} \text{ when } h \rightarrow \infty \quad (7)$$

$$T_C = \begin{bmatrix} T_C^{11} & T_C^{1j} & T_C^{1n} \\ T_C^{i1} & T_C^{ij} & T_C^{in} \\ T_C^{n1} & T_C^{nj} & T_C^{nn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

۴- در این مرحله مجموعه سطرها و ستونهای ماتریس ارتباط کامل به صورت جداگانه مطابق با رابطه (۹) محاسبه می گردد.

$$T = [t_{ij}] \cdot R = [r_i]_{n \times 1} = [\sum_{j=1}^n t_{ij}]_{n \times q} \cdot C = [c_j]_{q \times n} = [\sum_{i=1}^n t_{ij}]_{q \times n} \quad (9)$$

شاخص r_i مجموع سطر i ام و c_j مجموع ستون j ام است و شاخص $r_i + c_j$ بیانگر میزان اهمیت و تعامل معیار i ام و به طور مشابه شاخص $r_i - c_j$ نشان دهنده تأثیرگذاری و یا تأثیرپذیری معیار i ام است. چنانچه $r_i - c_j$ مثبت باشد، معیار جزو دسته معیارهای تأثیرگذار و اگر منفی باشد جزء گروه معیارهای تأثیرپذیر است. نقش روابط شبکه بر پایه دو شاخص مذکور رسم می شود. با توجه به این می توان تصمیم گرفت که چگونه ابعاد و معیار را می توان بهبود داد.

۵- ماتریس T_D از میانگین T_C^{ij} بدست می آید. این ماتریس مطابق با رابطه (۱۰) نرمال خواهد شد، ماتریس ارتباط کامل نرمال شده T_D به صورت T_D^α نشان داده می شود (رابطه ۱۱).

$$T_D = \begin{bmatrix} t_{11}^{D11} & t_{1j}^{D1j} & t_{1m}^{D1m} \\ t_{i1}^{Di1} & t_{ij}^{Dij} & t_{im}^{Dim} \\ t_{m1}^{Dm1} & t_{mj}^{Dmj} & t_{mm}^{Dmm} \end{bmatrix} \rightarrow d_1 = \sum_{j=1}^m t_{1j}^{D1j} \rightarrow d_i = \sum_{j=1}^m t_{ij}^{Dij} \cdot d_1 = \sum_{j=1}^m t_{ij}^{Dij} \cdot i = 1 \dots m \rightarrow d_m = \quad (10)$$

$$T_D^\alpha = \begin{bmatrix} t_{11}^{D11}/d_1 & t_{1j}^{D1j}/d_1 & t_{1m}^{D1m}/d_1 \\ t_{i1}^{Di1}/d_i & t_{ij}^{Dij}/d_i & t_{im}^{Dim}/d_i \\ t_{m1}^{Dm1}/d_m & t_{mj}^{Dmj}/d_m & t_{mm}^{Dmm}/d_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha qq} & t_D^{\alpha qj} & t_D^{\alpha qn} \\ t_D^{\alpha iq} & t_D^{\alpha ij} & t_D^{\alpha in} \\ t_D^{\alpha nq} & t_D^{\alpha nj} & t_D^{\alpha nn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

سایر $T_C^{\alpha nm}$ ها نیز همانند آن محاسبه می گردند.

$$d_{ci}^{11} = \sum_{j=1}^{m_1} t_{cij}^{11} \cdot i = 1.2 \dots m_1 \quad (13)$$

۶- نرمال سازی T_C با مجموع درجات تأثیرگذاری و تأثیرپذیری معیارها و ابعاد جهت اکتساب T_C^α به صورت زیر انجام می گیرد:

$$T_C^\alpha = \begin{bmatrix} T_C^{\alpha qq} & T_C^{\alpha qj} & T_C^{\alpha qn} \\ T_C^{\alpha iq} & T_C^{\alpha ij} & T_C^{\alpha in} \\ T_C^{\alpha nq} & T_C^{\alpha nj} & T_C^{\alpha nn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$T_C^{\alpha_{11}} = \begin{bmatrix} t_{c_{11}}^{11}/d_{c_1}^{11} & \dots & t_{c_{1j}}^{11}/d_{c_1}^{11} & \dots & t_{c_{1m_1}}^{11}/d_{c_1}^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{c_{i1}}^{11}/d_{c_i}^{11} & \dots & t_{c_{ij}}^{11}/d_{c_i}^{11} & \dots & t_{c_{im_1}}^{11}/d_{c_i}^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{c_{m_11}}^{11}/d_{c_{m_1}}^{11} & \dots & t_{c_{m_1j}}^{11}/d_{c_{m_1}}^{11} & \dots & t_{c_{m_1m_1}}^{11}/d_{c_{m_1}}^{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{c_{11}}^{\alpha_{11}} & \dots & t_{c_{1j}}^{\alpha_{11}} & \dots & t_{c_{1m_1}}^{\alpha_{11}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{c_{i1}}^{\alpha_{11}} & \dots & t_{c_{ij}}^{\alpha_{11}} & \dots & t_{c_{im_1}}^{\alpha_{11}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{c_{m_11}}^{\alpha_{11}} & \dots & t_{c_{m_1j}}^{\alpha_{11}} & \dots & t_{c_{m_1m_1}}^{\alpha_{11}} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$W = (T_C^\alpha)' = \begin{bmatrix} w^{11} & w^{i1} & w^{n1} \\ w^{1j} & w^{ij} & w^{nj} \\ w^{1n} & w^{in} & w^{nn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

۸- تشکیل سوپر ماتریس موزون: به منظور تشکیل سوپر ماتریس موزون، ماتریس ارتباط کامل نرمال T_D^α ترانهاده شده و در سوپر ماتریس ناموزون ضرب می‌شود.

$$w^\alpha = T_C^\alpha w = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha_{11}} \times w^{11} & \dots & t_D^{\alpha_{i1}} \times w^{i1} & \dots & t_D^{\alpha_{n1}} \times w^{n1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha_{1j}} \times w^{1j} & \dots & t_D^{\alpha_{ij}} \times w^{ij} & \dots & t_D^{\alpha_{nj}} \times w^{nj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha_{1n}} \times w^{1n} & \dots & t_D^{\alpha_{in}} \times w^{in} & \dots & t_D^{\alpha_{nn}} \times w^{nn} \end{bmatrix} \quad (16)$$

۲- تشکیل ماتریس وزن دار که مانند رابطه (۱۸) مقادیر هر گزینه بر وزن آن‌ها ضرب شده و بر مجموع مقادیر تقسیم می‌گردند.
در این فرمول q_i وزن هر معیار و X_{ij} مقدار هر گزینه به ازای هر معیار است [۲۷].

$$d_{ij} = \frac{q_i}{\sum_{j=1}^n X_{ij}} X_{ij} \quad (18)$$

۳- تعیین معیارهای مثبت (سود) و منفی (هزینه) و محاسبه جبر جبری ارزش نهایی آن‌ها مطابق رابطه ی (۱۹) [۲۷]:

$$S_j^+ = \sum_{zi} = {}^+d_{ij} \quad S_j^- = \sum_{zi} = {}^-d_{ij} \quad (19)$$

۴- در مرحله پایانی برای محاسبه ارزش نهایی هر گزینه از رابطه (۲۰) استفاده می‌کنیم. مقدار Q_i نشان‌دهنده میزان ارزش و اهمیت هر یک از گزینه‌ها برحسب معیارها است مقدار ارزش بالا نشانگر اهمیت و مطلوبیت بیشتر گزینه خواهد بود.

۷- تشکیل سوپر ماتریس ناموزون W : در این مرحله ترانهاده ماتریس ارتباط کامل نرمال شد T_C^α محاسبه شده و ماتریس W حاصل می‌شود. چنانچه برای مثال، ماتریسی نظیر ماتریس W^{11} خالی و یا صفر باشد به این معنی است که ماتریس مربوط مستقل می‌باشد.

۸- محدود کردن سوپر ماتریس موزون: سوپر ماتریس موزون را از طریق بتوان رساندن به یک عدد بزرگ Z محدود می‌نماییم تا جایی که سوپر ماتریس هم‌گرا شود و به ثبات برسد. خروجی این مرحله اوزان مؤثر DANP خواهد بود.

$$\lim_{Z \rightarrow \infty} (w^\alpha)^Z \quad (17)$$

۷-۲- روش کوپراس

کوپراس یکی از روش‌های کاربردی و قدرتمند تصمیم‌گیری است و جهت اولویت‌بندی و رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف با استفاده از وزن معیارها بکار می‌رود [۲۵]. این روش برای ارزیابی ارزش هر دو معیار کمینه و بیشینه مورد استفاده قرار می‌گیرد و تأثیر معیارهای کمینه و بیشینه روی ارزیابی نتایج به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شود [۲۶]. مراحل انجام روش کوپراس به شرح زیر است:

۱- تعیین وزن معیارها به یکی از روش‌های معمول مثل تحلیل سلسله مراتبی و سپس تشکیل ماتریس تصمیم.

- مقدار ایده آل منفی در شاخص های با جنبه مثبت کمترین مقدار می باشد و برعکس.
- محاسبه فاصله مقادیر ایده آل مثبت و منفی از گزینه ها:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad .i = 1.2. \dots .m \quad (23)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad .i = 1.2. \dots .m \quad (24)$$

- محاسبه نزدیکی نسبی مقدار هر گزینه (Ai). به مقدار ایده آل:
- باتوجه به رابطه (۲۵) گزینه ای که کمترین فاصله را از ایده آل داشته باشد بهترین رتبه را کسب خواهد نمود لذا تمام گزینه ها بر حسب فاصله از ایده آل به صورت صعودی مرتب می شوند.

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)} \quad .i = 1.2. \dots .m \quad (25)$$

۹-۲- معیارهای موثر در مکان یابی نیروگاه خورشیدی

در این پژوهش با توجه به منابع اطلاعاتی و هم چنین نظرات کارشناسان مربوطه، ۱۰ معیار مهم برای مکان یابی نیروگاه های خورشیدی انتخاب شده است (شکل (۳)).

پس از انتخاب معیارهای موثر، لایه های اطلاعاتی متناسب با آن ها تهیه شده است. برای معیارهای اقلیمی از داده های ساعات آفتابی، روزهای ابری، رطوبت نسبی، روزهای غبارآلود، تعداد روزهای همراه با بارش برف و بارندگی، ۱۲ ایستگاه سینپنوتیک و کلیماتولوژی منطقه که از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده و مربوط به ۱۰ سال آخر منتهی به سال ۱۳۹۷ خورشیدی است، استفاده شده است. برای تهیه لایه های اطلاعاتی اقلیمی، ابتدا ایستگاه ها به همراه مشخصات و مقادیر معیارها وارد فایل اکسل شده و برای به دست آوردن اطلاعات کل استان از روش درون یابی استفاده شده است. برای آماده سازی لایه های ورودی، کلاسه بندی نقشه های فاکتور با توجه به ارزش آن معیار از لحاظ سود یا هزینه بودن و نیز با استفاده از مطالعه منابع گوناگون انجام شده است (جدول (۲)).

$$Q_i = S_j^+ + \frac{S_{min} \sum_{j=1}^n S_j X}{S_j^- \sum_{j=1}^n \frac{S_{min}}{S_j^-}} = S_j^+ + \frac{S_{min} \sum_{j=1}^n S_j X}{S_j^- \sum_{j=1}^n \frac{S_{min}}{S_j^-}} \quad (20)$$

۸-۲- روش تاپسیس

این روش در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون ارائه گردید. در این روش m گزینه به وسیله n شاخص مورد بررسی قرار می گیرد. هر مساله به صورت یک سیستم هندسی شامل m نقطه در فضا n بعدی لحاظ می شود. هدف این روش، بیشینه کردن فاصله گزینه موردنظر از مقدار ایده آل منفی و کمینه کردن فاصله همان گزینه تا مقدار ایده آل مثبت به صورت هم زمان می باشد [۲۹]. واقعیت های زیربنایی این روش به قرار زیر است:

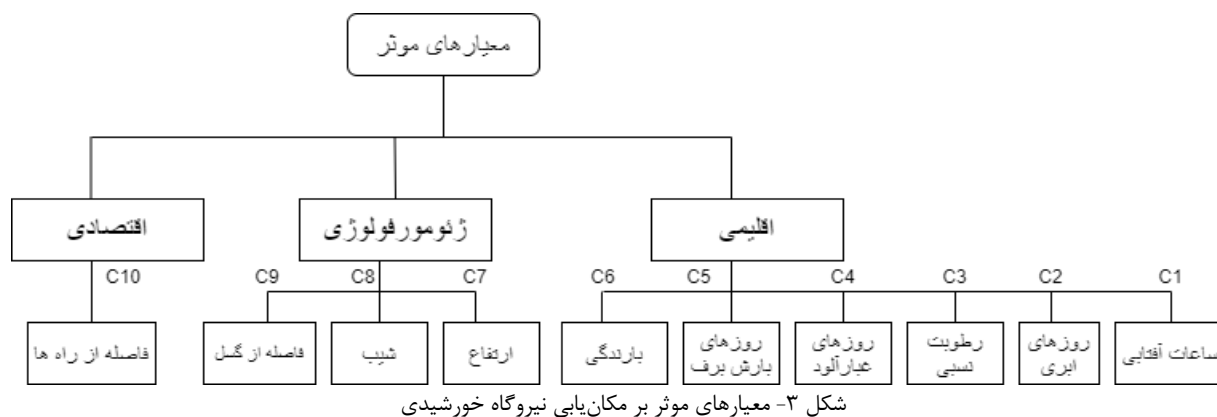
- الف- مطلوبیت هر شاخص باید به طور یکنواخت افزایشی یا کاهششی باشد (هر چه x_{ij} بیشتر مطلوبیت بیشتر و یا برعکس) که بدان صورت بهترین ارزش موجود از یک شاخص نشان دهنده ایده آل آن بوده و بدترین ارزش موجود آن شاخص مشخص کننده ایده آل منفی برای آن خواهد بود.
- ب- فاصله یک گزینه از ایده آل (یا از ایده آل منفی) ممکن است به صورت فاصله اقلیدسی (از توان دوم) و یا به صورت مجموع قدر مطلق از فواصل خطی (معروف به فواصل بلوکی) محاسبه گردد، که این امر بستگی به نرخ تبادل و جایگزینی در بین شاخص ها دارد.
- مراحل این روش به صورت زیر است:
- بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم گیری با استفاده از روش نرمال سازی اقلیدسی:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (21)$$

- محاسبه ماتریس بی مقیاس موزون:

$$v_{ij} = w_j n_{ij} \quad (22)$$

- محاسبه مقادیر ایده آل مثبت (A_i^+) و مقادیر ایده آل منفی (A_i^-).
- مقدار ایده آل مثبت در شاخص های با جنبه مثبت، بیشترین مقدار می باشد و برعکس.



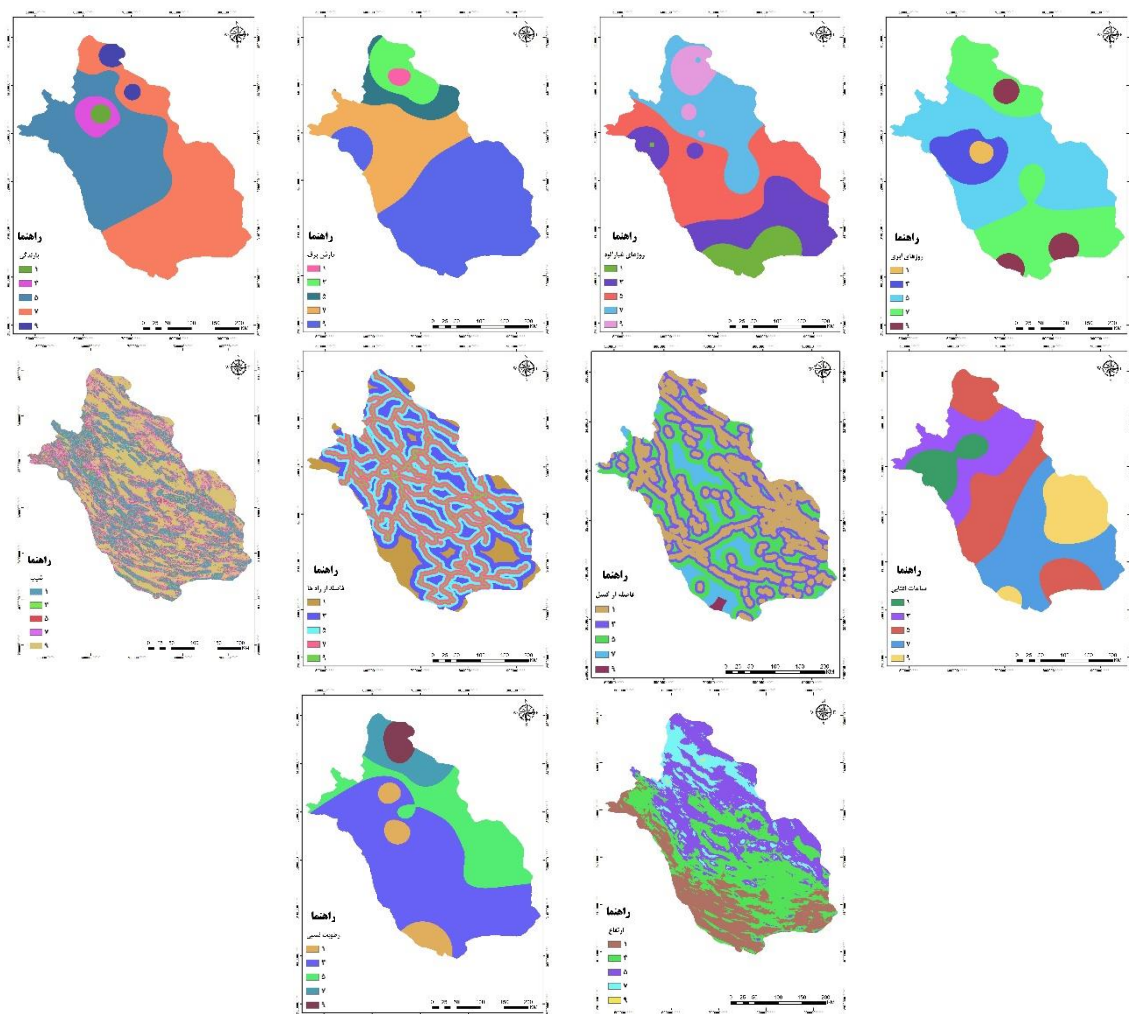
لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در ۵ دسته کلاسه بندی شده‌اند و به هر دسته متناسب با ارزش آن اعداد ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ تخصیص داده شده است. در جدول (۳) وزن متناسب با هر کلاس لایه‌های اطلاعاتی را مشاهده می‌کنید. نقشه‌های فاکتور کلاسه بندی شده در شکل (۴) آورده شده است.

جدول ۲- دسته بندی معیارها بر اساس سود و هزینه

معیارهای سود	معیارهای هزینه
ساعات آفتابی ارتفاع فاصله از گسل	بارندگی روزهای غبار آلود روزهای ابری رطوبت نسبی روزهای همراه با بارش برف فاصله از راه‌ها شیب

جدول ۳- وزن هر کلاس نقشه‌های فاکتور

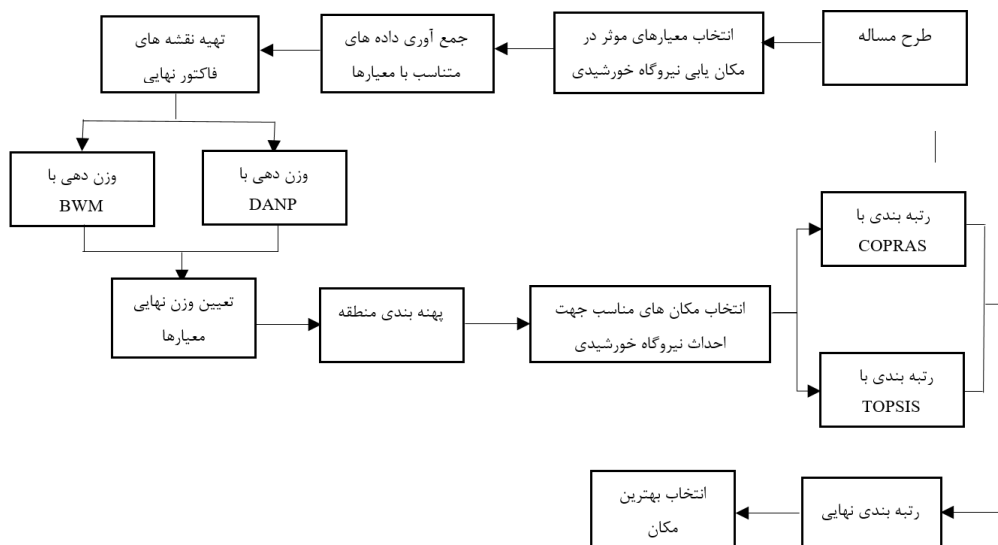
وزن اعمال شده	۱	۳	۵	۷	۹
مجموع ساعات آفتابی (در سال)	< ۳۲۸۰	۳۲۸۰ - ۳۳۳۰	۳۳۳۰ - ۳۳۸۰	۳۳۸۰ - ۳۴۳۰	> ۳۴۳۰
میزان بارش باران (mm)	< ۴۱۰	۴۱۰ - ۴۴۰	۴۴۰ - ۴۷۰	۴۷۰ - ۵۰۰	> ۵۰۰
تعداد روزهایی همراه با بارش برف	< ۹/۵	۹/۵ - ۷/۳	۷/۳ - ۴/۶	۴/۶ - ۲/۱	> ۲/۱
تعداد روزهایی غبار آلود (در سال)	< ۷۱	۷۱ - ۵۴	۵۴ - ۳۷	۳۷ - ۲۰	> ۲۰
تعداد روزهایی ابری (در سال)	< ۳۳	۳۳ - ۳۰	۳۰ - ۲۷	۲۷ - ۲۴	> ۲۴
رطوبت نسبی (درصد)	< ۴۰	۴۰ - ۳۸	۳۸ - ۳۶	۳۶ - ۳۴	> ۳۴
ارتفاع (m)	< ۸۷۰	۸۷۰ - ۱۶۲۵	۱۶۲۵ - ۲۳۷۵	۲۳۷۵ - ۳۱۰۰	> ۳۱۰۰
شیب (درصد)	< ۲۰	۲۰ - ۱۵	۱۵ - ۱۰	۱۰ - ۵	> ۵
فاصله از راه‌ها (km)	< ۳۰	۳۰ - ۱۰	۱۰ - ۵	۵ - ۱	> ۱
فاصله از گسل (km)	< ۵	۵ - ۱۰	۱۰ - ۲۰	۲۰ - ۴۰	> ۴۰



شکل ۴- نقشه های فاکتور کلاسه بندی شده

۳- پیاده سازی و نتایج تحقیق

روند جامع پیاده سازی پژوهش در شکل (۵) آورده شده و در ادامه به توضیح مراحل مختلف آن پرداخته شده است.

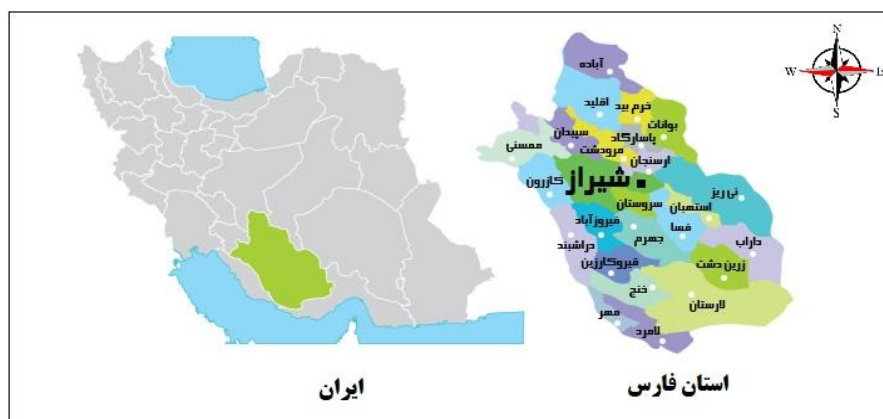


شکل ۵- روند جامع پژوهش

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین مدارهای ۲۷ درجه و ۰۲ دقیقه و ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. آب و هوای استان فارس در نقاط مختلف این استان به سه

گونه کوهستانی، معتدل و گرم تقسیم می‌شود. این استان با مساحتی حدود ۱۲۳/۹۴۶ کیلومتر مربع حدود ۷/۵ درصد وسعت کشور، چهارمین استان بزرگ و با جمعیتی معادل ۴/۸۵۱/۲۷۴ تن، بر طبق برآورد جمعیتی سال ۱۳۹۵ خورشیدی مرکز آمار ایران، چهارمین استان پرجمعیت ایران به شمار می‌رود (شکل ۶).



شکل ۶- استان فارس

تعداد ۵ نیروگاه خورشیدی در استان فارس به بهره برداری رسیده است (جدول ۴).

طبق آمار سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) تا آبان ماه سال ۱۳۹۷ خورشیدی،

جدول ۴- فهرست نیروگاه‌های خورشیدی استان فارس

نام شرکت	محل احداث	سال بهره برداری	ظرفیت نصب شده (مگا وات)
بهناد انرژی پارس لیان	سروستان	۱۳۹۶	۴/۶
نیکا انرژی منطقه آزاد چابهار	شیراز	۱۳۹۶	۱۰
مهد تجارت گستران عطار	آباده	۱۳۹۶	۲
تامین انرژی برق ایرانیان	اقلید	۱۳۹۷	۱۰
تامین انرژی برق ایرانیان	حسین آباد - آباده	۱۳۹۷	۱۰

معیار، پرسشنامه دوم به منظور مقایسه بهترین و بدترین معیار با سایر معیارها، برای کارشناسان ارسال گردید. نتایج تلفیق نظر کارشناسان که به صورت میانگین حسابی به دست آمده، در قالب جدول (۵) آمده است. با توجه به روابط ذکر شده و برنامه نویسی در محیط نرم افزار LINGO، وزن معیارها با استفاده از روش بهترین - بدترین مطابق جدول (۶) می باشد.

۳-۲- تعیین وزن معیارها باروش بهترین - بدترین

با توجه به تعیین معیارها و اینکه برای روش بهترین - بدترین نیاز به تعیین بهترین و بدترین معیار هست، به همین دلیل پرسشنامه‌ای به کارشناسان ساتبا (۱۰ نفر) ارسال و طبق نظر کارشناسان معیار ساعات آفتابی (C_1) به عنوان بهترین و معیار فاصله از راه‌ها (C_{10}) به عنوان بدترین معیار شناخته شد. بعد از تعیین بهترین و بدترین

جدول ۵- مقایسه بهترین و بدترین معیار با سایر معیارها از لحاظ اهمیت

معیارها	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
وزن اهمیت بهترین معیار (C_1) نسبت به هر معیار	۱	۲/۶	۳/۱	۲/۳	۲/۵	۳	۴/۳	۵/۷	۷/۳	۹
وزن اهمیت هر معیار نسبت به معیار بدترین (C_{10})	۹	۴/۹	۳/۷	۵	۵/۱	۴/۲	۲/۸	۲	۱/۳	۱

جدول ۶- وزن معیارها با استفاده از روش بهترین - بدترین

معیارها	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
وزن معیار (W_i)	۰/۲۵۳	۰/۱۱۸	۰/۰۹۵	۰/۱۳۴	۰/۱۲۴	۰/۱	۰/۰۶۲	۰/۰۴۸	۰/۰۳۴	۰/۰۲۶

۳-۳- تعیین وزن معیارها با روش دنپ

این روش ترکیبی از دو روش دیمتل و تحلیل شبکه می باشد. در بخش اول که مربوط به روش دیمتل است، تأثیر گذاری کل یا همان ماتریس ارتباطات کامل محاسبه شده است. برای محاسبه ماتریس ارتباطات کامل نیاز به ماتریس تصمیم گیری برای روش دنپ هست. ماتریس

تصمیم گیری بر اساس نظرات کارشناسان تشکیل شده است. در این پرسشنامه از کارشناسان خواسته شده تا تأثیر گذاری و تأثیر پذیری معیارها را بررسی کنند. برای تلفیق نتایج پرسشنامه از میانگین حسابی استفاده شده است. جدول (۷)، ماتریس تصمیم روش دنپ را نشان می دهد.

جدول ۷- ماتریس تصمیم روش دنپ

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
C_1	۰	۳/۴	۲/۳	۲/۲	۳/۳	۳/۵	۱/۸	۰/۹	۰/۱	۰/۱
C_2	۳/۳	۰	۲/۸	۱/۷	۲/۹	۳/۴	۱/۲	۰/۶	۰/۱	۰/۱
C_3	۱/۷	۲/۱	۰	۱/۴	۱/۸	۲/۵	۱/۶	۰/۷	۰	۰
C_4	۲/۳	۱/۳	۱/۲	۰	۱/۳	۱/۵	۱	۰/۶	۰	۰
C_5	۳/۵	۳/۱	۲/۵	۲/۳	۰	۲	۱/۳	۰/۳	۰	۰/۱
C_6	۳/۴	۲/۹	۲/۳	۲/۴	۲/۷	۰	۱/۴	۰/۶	۰	۰
C_7	۲/۳	۱/۹	۲	۲	۲/۲	۲/۱	۰	۱/۳	۰/۱	۰/۳
C_8	۰/۶	۰/۱	۰/۶	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۱/۲	۰	۰/۱	۰/۷
C_9	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۳
C_{10}	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۳	۰/۴	۰

برای نرمال سازی ماتریس تصمیم و تشکیل ماتریس ارتباط کامل، جمع هر سطر و ستون و ماکزیمم آنها را که برابر است با ۱۷/۶ محاسبه شده است. سپس با تقسیم تمام درایه های ماتریس تصمیم بر این مقدار شروع به نرمال سازی کرده تا ماتریس ارتباط کامل TC بدست آید. در

مرحله بعد با نرمال سازی ماتریس ارتباط کامل و معکوس کردن ماتریس ساخته شده، سوپر ماتریس تشکیل شده است. بعد از تشکیل سوپر ماتریس آن را به توان رسانده تا درایه ها همگرا شود. نتیجه وزن دهی به روش دنپ در جدول (۸) آمده است.

جدول ۸- وزن معیارها با استفاده از روش دنپ

معیارها (C_i)	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
وزن معیارها (W_i)	۰/۱۶	۰/۱۴۴	۰/۱۳۱	۰/۱۱۷	۰/۱۴	۰/۱۴۷	۰/۰۹۲	۰/۰۴۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹

۳-۴- وزن نهایی معیارها

هر دو روش مزایا و معایبی دارند به همین دلیل برای اینکه وزن ها متعادل شوند از تلفیق دو روش با استفاده از

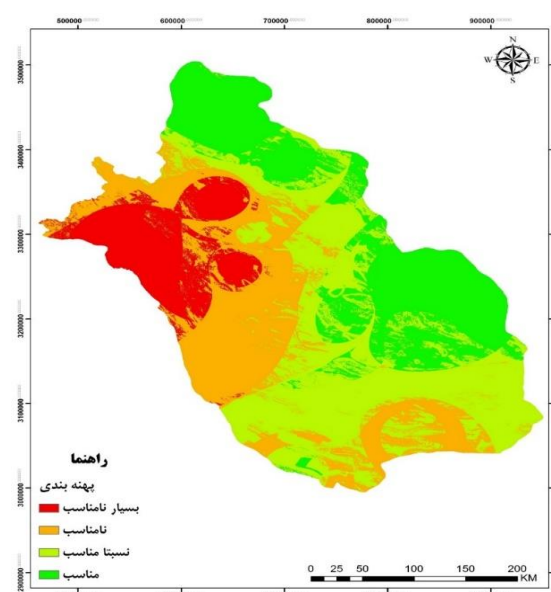
میانگین حسابی، برای وزن نهایی استفاده شده است. فرض بر این گرفته شده که هر دو روش شرایط و وزن یکسانی دارند. در جدول (۹) نتایج نهایی وزن معیارها نشان داده شده است.

جدول ۹- وزن نهایی معیارها

معیارها (C_i)	ساعات آفتابی C_1	روزهای ابری C_2	رطوبت نسبی C_3	روزهای غبارآلود C_4	بارش برف C_5	بارندگی C_6	ارتفاع C_7	شیب C_8	فاصله از گسل C_9	فاصله از راهها C_{10}
وزن معیارها (W_i)	۰/۲۰۶	۰/۱۳۱	۰/۱۱۳	۰/۱۲۵	۰/۱۳۲	۰/۱۲۳	۰/۰۷۷	۰/۰۴۸	۰/۰۲	۰/۰۱۷

۳-۴- تلفیق لایه‌ها و پهنه بندی منطقه

برای تلفیق لایه‌ها و به دست آوردن پهنه بندی منطقه، روش همپوشانی شاخص به کار گرفته شده است. در این روش ابتدا هر لایه در وزن خود که در مرحله قبل به دست آمده ضرب شده و بعد از آن تمام لایه‌های وزن‌دهی شده با یکدیگر جمع شده‌اند. در انتها بر مجموع وزن‌ها تقسیم شده‌اند. تمام لایه‌ها با یکدیگر تلفیق شده و نهایتاً پهنه بندی منطقه در ۴ کلاس بسیار نامناسب، نامناسب، نسبتاً مناسب و مناسب انجام شده، که نقشه نهایی در شکل (۵) نمایش داده شده است.



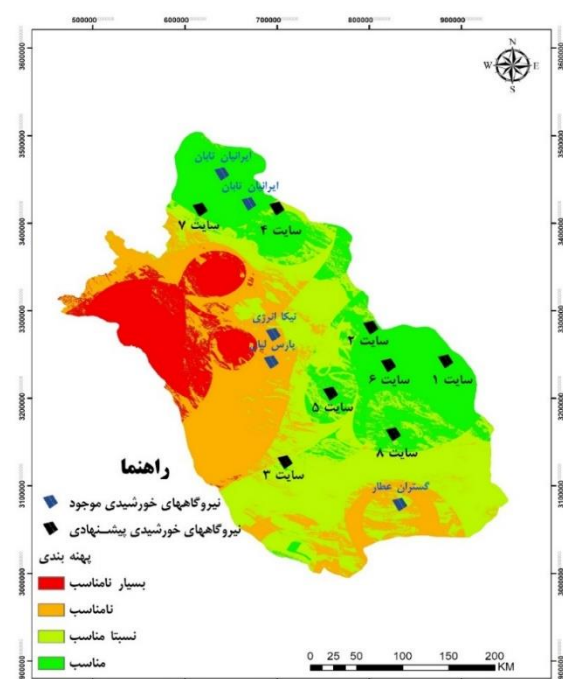
شکل ۵- پهنه بندی منطقه از لحاظ مناسب بودن برای احداث نیروگاه خورشیدی

۳-۶- انتخاب مکان‌هایی برای احداث نیروگاه خورشیدی

با بررسی وضعیت موجود بیان شد که ۵ نیروگاه خورشیدی در استان فارس به مرحله بهره برداری رسیده است. با توجه به وضعیت منطقه و نیاز به احداث نیروگاه‌های خورشیدی بیشتر، ۸ مکان جدید برای احداث نیروگاه با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهاد شده است. این ۸ مکان جدید با توجه به ضوابط و معیارهای زیر انتخاب شده است. اولین معیار برای انتخاب این ۸ ایستگاه، پهنه بندی منطقه می‌باشد که در ۴ کلاس بسیار نامناسب، نامناسب، نسبتاً مناسب و مناسب تقسیم شده است. دومین معیار، فاصله از نیروگاه‌های موجود می‌باشد

که البته با توجه به اینکه این نیروگاه‌ها در مناطق مختلف پهنه بندی هستند با وزن کمتری این معیار در نظر گرفته شده است. معیار بعدی، کاربری اراضی می‌باشد که ابتدا نقشه کاربری اراضی کلاسه بندی شده و مناطقی که مناسب احداث نیروگاه خورشیدی هستند انتخاب شده است. آخرین معیار برای انتخاب مکان‌های جدید، مساحت نیروگاه می‌باشد. حداقل فضای مناسب یک نیروگاه خورشیدی با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات، ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ متر مربع می‌باشد که برای احداث نیروگاه جدید به این مسئله نیز توجه شده است.

در شکل (۶)، ۶ نیروگاه‌های موجود و ۸ نیروگاه جدید پیشنهادی به نمایش درآمده است.



شکل ۶- وضعیت نیروگاه‌های خورشیدی موجود و نیروگاه‌های خورشیدی پیشنهادی

۳-۷- رتبه بندی مکان‌های پیشنهادی

در این پژوهش، دو روش کوپراس و تاپسیس برای رتبه بندی مکان‌های پیشنهادی به کار گرفته شده است. ابتدا بر اساس هر روش به رتبه بندی مکان‌ها پرداخته و در نهایت نتایج آنها با یکدیگر تلفیق شده است. هر دو روش به ماتریس تصمیمی مطابق جدول (۹) به عنوان ورودی نیاز دارند. در این ماتریس، هر درایه ارزشی است که هر مکان از معیار مورد نظر بر اساس کلاسه‌بندی اولیه آن معیار گرفته است.

جدول ۹- ماتریس تصمیم روش های رتبه بندی پژوهش

وزن W_i	۰/۲۰۶	۰/۱۳۱	۰/۱۱۳	۰/۱۲۵	۰/۱۳۲	۰/۱۲۳	۰/۰۷۷	۰/۰۴۸	۰/۰۲	۰/۰۱۷
معیارها C_i	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
مکان های پیشنهادی										
سایت ۱	۹	۵	۵	۵	۹	۷	۵	۷	۱	۵
سایت ۲	۹	۵	۷	۵	۹	۷	۷	۹	۳	۵
سایت ۳	۷	۷	۳	۵	۹	۷	۱	۹	۷	۷
سایت ۴	۳	۷	۷	۷	۳	۷	۵	۷	۱	۹
سایت ۵	۷	۷	۳	۷	۹	۵	۳	۹	۵	۹
سایت ۶	۹	۵	۵	۵	۹	۷	۳	۹	۱	۷
سایت ۷	۵	۷	۷	۹	۳	۵	۷	۹	۳	۳
سایت ۸	۹	۵	۵	۳	۹	۷	۳	۹	۵	۹

محاسبه شده است. جدول (۱۱) مقادیر N و Q و همینطور رتبه مکان های پیشنهادی با استفاده از روش کوپراس را نشان می دهد.

جدول ۱۱- رتبه بندی مکان های پیشنهادی به روش کوپراس

رتبه	مکان های پیشنهادی	Q	N
۱	سایت ۲	۰/۱۳۶	۱۰۰
۲	سایت ۸	۰/۱۳۳	۹۸/۰۷۶
۳	سایت ۱	۰/۱۳۲	۹۶/۹۵۱
۴	سایت ۶	۰/۱۲۵	۹۲/۰۹۷
۵	سایت ۵	۰/۱۲۰	۸۸/۲۶۰
۶	سایت ۷	۰/۱۱۹	۸۷/۷۸۸
۷	سایت ۳	۰/۱۱۸	۸۶/۸۸۹
۸	سایت ۴	۰/۱۰۶	۷۸/۱۴۵

۳-۷-۲- رتبه بندی مکان های پیشنهادی با روش تاپسیس

در این روش ابتدا ماتریس تصمیم را به روش نرم اقلیدسی (رابطه (۲۱)) نرمالیزه وزن دار کرده و راه حل ایده آل مثبت و ایده آل منفی تعیین شده است. در ادامه جدایی (فاصله) به ازاء راه حل مثبت و منفی و نزدیکی نسبی از راه حل ایده آل برای هر گزینه محاسبه و در نهایت گزینه ها رتبه بندی شده است. جدول (۱۲) فاصله گزینه ها از ایده آل مثبت و ایده آل منفی را نشان می دهد.

۳-۷-۱- رتبه بندی مکان های پیشنهادی با روش کوپراس

در ابتدا ماتریس تصمیم ورودی که در جدول (۹) آمده است نرمال سازی شده و در مرحله بعد برای ماتریس نرمال سازی شده وزن معیار مربوطه ضرب شده است. سپس با توجه به جدول (۲) که معیارهای سود و هزینه را نشان می داد، مقادیر s_j^+ (سود) و s_j^- (هزینه) را برای هر مکان پیشنهادی به دست آمده است. این مقادیر در جدول (۱۰) آورده شده است.

جدول ۱۰- مقادیر s_j^+ و s_j^- مکان های پیشنهادی

مکان های پیشنهادی	s_j^+	s_j^-
سایت ۱	۰/۰۴۴	۰/۰۸۴
سایت ۲	۰/۰۵۰	۰/۰۸۶
سایت ۳	۰/۰۳۲	۰/۰۸۶
سایت ۴	۰/۰۲۲	۰/۰۸۸
سایت ۵	۰/۰۳۵	۰/۰۸۷
سایت ۶	۰/۰۳۹	۰/۰۸۶
سایت ۷	۰/۰۳۵	۰/۰۸۸
سایت ۸	۰/۰۴۲	۰/۰۸۱

بعد از محاسبه s_j^+ و s_j^- مقدار Q یعنی اهمیت نسبی هر گزینه را به دست آورده و بعد از آن درجه مطلوبیت هر گزینه که با N نشان می دهند و به صورت درصد هست،

جدول ۱۲- فاصله گزینه‌ها از ایده‌آل مثبت و منفی

مکان‌های پیشنهادی	فاصله از ایده‌آل مثبت (d^+)	فاصله از ایده‌آل منفی (d^-)
سایت ۱	۰/۰۴۵	۰/۰۷۲
سایت ۲	۰/۰۵۰	۰/۰۷۵
سایت ۳	۰/۰۵۹	۰/۰۵۷
سایت ۴	۰/۰۷۵	۰/۰۴۴
سایت ۵	۰/۰۵۷	۰/۰۵۴
سایت ۶	۰/۰۵۰	۰/۰۶۹
سایت ۷	۰/۰۶۷	۰/۰۵۵
سایت ۸	۰/۰۴۷	۰/۰۷۷

در جدول (۱۳)، شاخص تاپسیس (CL) که همان نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه‌حل ایده‌آل و همچنین رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس روش تاپسیس را نشان داده شده است.

جدول ۱۳- رتبه‌بندی مکان‌های پیشنهادی به روش تاپسیس

رتبه	مکان‌های پیشنهادی	شاخص تاپسیس (CL)	مطلوبیت نسبی (N)
۱	سایت ۸	۰/۶۲۰	۱۰۰
۲	سایت ۱	۰/۶۱۱	۹۸/۶۳۳
۳	سایت ۲	۰/۵۹۸	۹۶/۵۰۳
۴	سایت ۶	۰/۵۷۹	۹۳/۳۷۸
۵	سایت ۳	۰/۴۹۴	۷۹/۷۳۷
۶	سایت ۵	۰/۴۸۴	۷۸/۱۰۵
۷	سایت ۷	۰/۴۴۸	۷۳/۳۶۴
۸	سایت ۴	۰/۳۷۱	۵۹/۹۴۹

۳-۷-۳- رتبه بندی نهایی مکان های پیشنهادی

برای رتبه بندی نهایی از روش میانگین رتبه ها استفاده شده است (جدول (۱۴)).

جدول ۱۴- رتبه بندی نهایی مکان های پیشنهادی

مکان‌های پیشنهادی	رتبه بندی روش کوپراس	رتبه بندی روش تاپسیس	میانگین رتبه ها	رتبه‌بندی نهایی
سایت ۱	۳	۲	۲/۵	۳
سایت ۲	۱	۳	۲	۲
سایت ۳	۷	۵	۶	۶
سایت ۴	۸	۸	۸	۸
سایت ۵	۵	۶	۵/۵	۵
سایت ۶	۴	۴	۴	۴
سایت ۷	۶	۷	۶/۵	۷
سایت ۸	۲	۱	۱/۵	۱

با توجه به جدول (۱۴)، سایت شماره ۸ رتبه اول را کسب کرده و بهترین مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی در استان فارس است. این سایت در شهرستان زرین دشت استان فارس قرار دارد. با توجه به مساحت حدود ۱۵ هکتاری که برای این سایت در نظر گرفته شده‌است، می توان نیروگاهی با توان ۱۰ مگاوات که از جمله نیروگاه های با توان بالا به حساب می آید، در این مکان احداث نمود.

۴- نتیجه گیری

هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مزایا و معایبی دارد که با توجه به مورد پژوهش می‌توان از آنها استفاده کرد. به طور کلی از این روش ها برای وزن‌دهی یا رتبه‌بندی استفاده می‌شود. البته روش هایی هم هستند که هم برای وزن‌دهی و هم برای رتبه‌بندی مناسب می-باشند. در این پژوهش به صورت مجزا از روش‌های وزن-دهی و بعد از آن رتبه‌بندی استفاده شد که این امر می-تواند به تحلیل بهتر نتایج کمک زیادی کند.

در این پژوهش معیارهای متفاوتی استفاده شده که خیلی از آنها هیچ‌گونه ارتباطی با هم نداشتند. پایه و اساس روش دنپ بر ارتباط و تعامل معیارها صورت گرفته‌است. به عنوان مثال یکی از معیارها ساعت آفتابی و معیار دیگر فاصله از راه‌ها بود. این دو معیار بر اساس نظر کارشناسان هیچ‌گونه ارتباطی با هم ندارند و طبق پرسشنامه تکمیل شده برای این روش توسط کارشناسان عملا میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری این دو معیار بر یکدیگر صفر بوده است. این امر باعث می شود که وزن معیارها که با توجه به تعامل و تاثیرگذاری آنها داده می-شود بسیار دو از واقعیت باشد. در حالیکه هر کدام از آنها می‌تواند اهمیت ویژه‌ای از هر لحاظ برای آن کاربری داشته باشد. با توجه به این مسائل روش دنپ برای مسائلی که معیارهایی از نوع متفاوت دارند پیشنهاد نمی‌شود.

استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری گروهی به جای تصمیم‌گیری فردی تاثیر زیادی بر افزایش دقت و کیفیت نتایج دارد. با توجه به نظرات کارشناسان و تکمیل پرسشنامه‌ها می‌توان متوجه شد که اگر فقط از یک کارشناس استفاده می‌شد نتایج به کلی عوض و فقط نظر شخصی آن کارشناس در نتایج تاثیرگذار بود و به تبع آن دقت نتایج افت می‌کرد.

نتایج نشان می‌دهد که مهم‌ترین معیار برای احداث نیروگاه خورشیدی در استان فارس، معیارهای اقلیمی علی‌الخصوص ساعات آفتابی می‌باشد. در واقع با استفاده از پارامترهای اقلیمی می‌توان پتانسیل انرژی خورشیدی دریافتی که پایه و اساس نیروگاه خورشیدی است، را بدست آورد. با مشاهده پهنه‌بندی منطقه، استان فارس و علی‌الخصوص قسمت شرقی این استان با توجه به شرایط ویژه توپوگرافی و پارامترهای اقلیمی پتانسیل بالایی برای دریافت انرژی خورشیدی و به تبع آن احداث نیروگاه خورشیدی دارند. شهرستان‌های نیریز و زرین‌دشت بهترین مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی هستند. از نوآوری‌های این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده از روش جدید بهترین - بدترین در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی.

- ارائه راه‌حلی جهت تشکیل ماتریس تصمیم ورودی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، برای رتبه‌بندی پژوهش‌های مکان‌یابی.

- صرفاً به پهنه‌بندی منطقه اکتفا نشده و سایت‌هایی برای احداث نیروگاه خورشیدی پیشنهاد و رتبه‌بندی این سایت‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره صورت گرفت.

- پیشنهادات این پژوهش برای مطالعات بعدی عبارتند از:

- ارزیابی خطاها در تصمیم‌گیری و داده‌ها.

- استفاده از معیارهای جهت شیب، فاصله از خطوط انتقال نیرو و فاصله از مراکز جمعیتی.

- اجرای مشارکت و تصمیم‌گیری در محیط اینترنت.

- استفاده از تکنیک‌های دیگر برای تلفیق روش‌های وزن‌دهی.

مراجع

- [1] Esfandyari, A. and Rangzan, K. and Saberi, A. and Fattahi, M. (2011). "Potential measurement of solar power plant construction by surveying Climatic parameters in Khuzestan province using GIS", National Geomatics Conference, Tehran, No.18.
- [2] Melachrinoudis, E. and Min, H. and Messac, A. (2000). "The relocation of a manufacturing/distribution facility from supply chain perspectives: A physical programming approach. Multi-Criteria Applications", No.10, pp.15-39.
- [3] Ghodsipour, S. (2005). "Analysis Hierarchical Process", M.S. thesis, Amirkabir University of Technology, Tehran.
- [4] Kasmaei, M. (1993). "Climatic zoning of Iran", Building and Housing Research Center Publications, 1th ed, Tehran, Iran.
- [5] Williams, D. R. (2013). "Sun Fact Sheet", NASA Goddard Space Flight Center, Retrieved 12 August 2013.
- [6] Gastli, A. and Charabi, Y. (2010). "Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps", Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 14, pp. 790-797.
- [7] Malczewski, J. (1999). "GIS and multicriteria decision analysis", Newyork, USA.
- [8] Al Garni. and Hassan, Z. and Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. Applied Energy, Vol. 206, P. 1225-1240.
- [9] Taghvaie, M. and Sabohi, E. (2017). "Zoning and location of solar power plants in Isfahan province", Journal of Urban Research and Planning, No.28.
- [10] Erten, MS. and Akkas, OP. and Cam, E. and Inance, N. (2017). Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in the Central Anatolian Region of Turkey. International Journal of Photoenergy, Article ID. 7452715.
- [11] Piri Sahragard, H. and Amiri, M. and Tonakiyan, S. (2018). "Location of solar power plant location using multi-criteria decision making methods In the arid region of Sistan", Desert Management, No.12, pp.61-74.
- [12] Colak, H. and Memisoglu, T. and Gercek, Y. (2018). "Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province", Turkey, Renewable Energy, Vol. 149, pp. 565-576.
- [13] Taiar, A. and Rezvan, M. and Hashemi, H. (2019). "Evaluation of suitable locations for large-scale solar power plants using GIS, Hierarchical Analysis Process (AHP) and TOPSIS (Case Study: Karbala Province, Iraq)", Energy engineering and management, No.4, pp.60-73.

- [14] Wang, CN. and Nguyen, VT. and Thai, HT. and Duong. DH. (2018). "Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Approaches for Solar Power Plant Location Selection in Viet Nam", *Energies* 2018, No.11, 1504.
- [15] Pourmohammadi, M. (2003). "Land use planning", Samt Publications, Tehran, Iran.
- [16] Haj saghati, A. "Principles and application of solar energy", Iran University of Science and Technology Publications, 5th ed, Tehran, Iran, 2014.
- [17] Taherpour, M. (2012). "Application of multi-criteria decision making methods in geography", Samt Publications, Tehran, Iran.
- [18] Khorshid, S. and Lucas, C. and Taslimi, M.S. (2008). "A systemic approach to group decision-making efficiency", *Management Research*, No.1, pp.7-40.
- [19] Nabi Bidhendi, GH. and Karami, SH. and Amiri, M.J. (2015). "Application of multi-criteria decision making methods in the environment", Kiajur Publications, 2th ed, Tehran, Iran.
- [20] Ataei, M. (2014). "Multi-criteria Decision Making", Iran University of Science and Technology Publications, 5th ed, Tehran, Iran.
- [21] Rezaei, J. (2015). "Best-worst multi-criteria decision-making method", *Omega Journal*, No. 53, pp. 49-57.
- [22] Hung Su, CH. and Lin Tzeng, H. and Hshiong Tzeng, G. (2013). "Bulding a Evaluation Of Performance Model For The Cloud ELearning Service Using Hybrid MCDM", *Institute of Logistics and Shipping Management*, Kainan University.
- [23] Yang, J.L. and Tzeng, G.H. (2011). "An Integrated MCDM technique combined with DEMATEL for a novel cluster-weighted with ANP method", *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1417.
- [24] Etraj, P. and Jayaprakash, J. (2017). "An Integrated DEMATEL and AHP approach Multi Criteria Green Supplier Selection Process for Public Procurement", *International Journal of Engineering and Technology*.
- [25] Zavadskas, E.K. and Kaklauskas, A. and Peldschus, F. and Turskis, Z. (2008). "Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method. *Baltic Journal of Road Bridge Engineering*".
- [26] Valentinas, P. (2011). "The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS", *Inzinerine Ekonomika Engineering Economics*, No.22, pp.134-146.
- [27] Chatterjee, P. and Athawale, V.M. and Chakraborty, S. (2011). "Material's selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods", *Mater Des*.
- [28] Patlitzianas, K.D. and Pappa, A. and Psarras, J. (2008). "An information decision support system towards the formulation of a modern energy companies' environment", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No.12 pp.790– 806.
- [29] Hwang, C. L. and Yoon, K. (1981). "Multiple attribute decision making—Methods and applications", Heidelberg: Springer-Verlag