

## ارزیابی پتانسیل تأسیس نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری OWA و TOPSIS (مطالعه موردی: استان قزوین)

محمد طالعی<sup>۱\*</sup>، معین صفرپور<sup>۲</sup>، قاسم جوادی<sup>۳</sup>

- ۱- دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۲- کارشناس ارشد سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- عضو هیأت علمی، گروه مهندسی عمران- نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد

پذیرش: ۹۷/۸/۲۲

دریافت: ۹۷/۲/۵

### چکیده

با توسعه اقتصادی و افزایش جمعیت نیاز به انرژی در حال افزایش است و لزوم استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر احساس می‌گردد. استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک در ایران با وجود شرایط مناسب اقلیمی و تابش آفتاب در بیشتر مناطق و فصول سال زمینه مناسبی فراهم آورده است. هدف این پژوهش ارزیابی پتانسیل استان قزوین برای تأسیس نیروگاه خورشیدی است. در این راستا معیارهای مرتبط با مسئله شناسایی، میزان اهمیت معیارها به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین و عدم قطعیت موجود در معیارها به کمک تئوری فازی مدل‌سازی گردیده و به کمک مدل میانگین وزنی مرتب شده و تکنیک رتبه‌بندی براساس فاصله تا ایده‌آل نقشه پتانسیل‌سنجی منطقه تولید شده است. در نهایت نتایج حاصل از AHP-OWA با AHP- TOPSIS مقایسه و ارزیابی شده‌اند. با توجه به نتایج تحقیق منطقه تاکستان دارای پتانسیل خیلی خوب برای تأسیس نیروگاه خورشیدی است که با تصمیم‌گیری‌های صورت گرفته مبنی بر تأسیس نیروگاهی خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی در این منطقه هماهنگی دارد. این بدان معناست که نتایج حاصل از این مطالعه قابل قبول بوده و می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در اختیار تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان مربوطه قرار گیرد.



**کلیدواژگان:** تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی (SMCDM)، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تکنیک رتبه‌بندی براساس فاصله تا ایده‌آل (TOPSIS)، میانگین وزنی مرتب شده (OWA)، نیروگاه خورشیدی.

## ۱- مقدمه

انرژی در سراسر جهان به عنوان موتور محرک توسعه اقتصادی شناخته می‌شود و امروزه مشکل اصلی اغلب جوامع، تولید و مصرف آن است [۱]. با افزایش روز افزون جمعیت در سراسر جهان نیاز به انرژی افزایش یافته و منابع انرژی با سرعت و شتاب بیشتری رو به پایان یافتن می‌باشند. علاوه بر این مصرف منابع مختلف انرژی منجر به مشکلاتی ناشی از آلودگی منابع آب، خاک و هوا شده است؛ بنابراین استمرار استفاده از سوخت‌های فسیلی به دلیل تأثیر آن روی زیست بوم و متناهی بودن آنها عقلانی به نظر نمی‌رسد؛ بنابراین تمرکز در جهان روی منابع انرژی است که علاوه بر توسعه اقتصادی پایدار با محیط زیست هم سازگار باشند [۱]. نمایندگان ۱۹۵ کشور جهان در کنفرانس آب و هوا در پاریس در دسامبر ۲۰۱۵ به توافقی در خصوص شرایط اقلیمی کره زمین رسیدند و توافق‌نامه‌ای را امضا نمودند که در آن دلیل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش بیش از پیش زمین سوخت‌های فسیلی ذکر شده است و کشورها در آن متعهد شدند تا اقدامات پیشگیرانه‌ای انجام دهند [۲]. انرژی پایدار به معنی تأمین انرژی برای همه مردم عادلانه و حفاظت از محیط زیست برای نسل آتی است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر راهی برای رسیدن به این اهداف است.

انرژی خورشید یکی از ارزان‌ترین، پاک‌ترین و پایدارترین منابع انرژی تجدیدپذیر است. اگر فقط ۰/۱ درصد از انرژی خورشید رسیده به کره زمین را بتوان به انرژی الکتریکی با سطح بازدهی ۱۰٪ تبدیل نمود، ۳۰۰۰ گیگاوات انرژی تولید می‌شود که حدود ۴ برابر انرژی سالیانه تولید شده در کل جهان است [۳]. مقدار تابش رسیده به واحد سطح بر زمین در یک دوره زمانی خاص وابسته به فاکتورهای جهانی، محلی، مکانی، زمانی و آب و هوایی مانند طول و عرض جغرافیایی، ساعات تابش خورشید، رطوبت، بارش و دمای هواست. ایران جز کشورهای دارای منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیا به حساب می‌آید، اما به دلیل ارزان بودن و در دسترس بودن سوخت‌های فسیلی چندان توجهی به استفاده از آنها در کشور نشده است [۴].

اگر در این مسئله تقابلات میان معیارهای مختلف محیط زیستی، اجتماعی، حاکمیتی و اقتصادی در نظر گرفته نشوند منجر به نتایج و گزینه‌های تصمیم‌گیری متعارض خواهد شد [۵]. برای این مقصود روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۱</sup> (MCDM) می‌تواند به

1. Multiple-Criteria Decision Making (MCDM)

تصمیم‌گیران در انتخاب بهترین گزینه کمک نماید. فرایند کلی در این روش‌ها پیدا کردن بهترین گزینه پیشنهادی از میان مجموعه‌ای از راه‌حل‌های ممکن است. ایران بین عرض جغرافیایی  $25^{\circ}$  تا  $40^{\circ}$  شمالی واقع و موقعیت مطلوبی از جهت دریافت انرژی خورشیدی داراست. تابش خورشید در ایران سالانه حدود ۲۰۰۰ کیلووات بر متر مربع تخمین زده می‌شود که از متوسط جهانی بیشتر است. سالانه حدود ۲۸۰ روز آفتابی از بیش از ۹۰٪ مناطق ایران گزارش می‌شود، اما تاکنون منابع انرژی تجدیدپذیر به دلیل فراوانی منابع نفتی نادیده گرفته شده‌اند [۶]. طبق بررسی‌های انجام شده اگر همین شتاب در استخراج منابع نفتی ادامه یابد، ایران حدود ۴۳ سال دیگر نفت، ۱۶۷ سال دیگر گاز و ۴۱۷ سال دیگر زغال سنگ خواهد داشت؛ بنابراین در حوزه امنیت انرژی، تحقیق در زمینه منابع انرژی تجدیدپذیر اهمیت دارد.

#### ۱-۱- پیشینه تحقیق

کنگپول<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۳ به منظور تعیین مکان بهینه برای تأسیس نیروگاه خورشیدی در تایلند، معیارهای کمی و کیفی مرتبط را در نظر گرفتند و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی<sup>۲</sup> وزن هریک از آن‌ها را تعیین نمودند. دلیل استفاده از منطق فازی را هم عدم قطعیت و دانش کافی در خصوص مسئله ذکر کردند. در ادامه به کمک روش اولویت‌بندی مبتنی بر شباهت با راه‌حل ایده‌آل تاپسیس<sup>۳</sup> سایت‌های مورد نظر را رتبه‌بندی کردند [۷]. سانچز لوپز<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ بهترین مکان برای نیروگاه خورشیدی را در سواحل ماریکا<sup>۵</sup> در جنوب شرقی اسپانیا مشخص نمودند. در این تحقیق برای تعیین اورزان معیارها از AHP استفاده و به کمک روش تاپسیس و ELECTRE<sup>۶</sup> مناطق را براساس میزان پتانسیل ارزیابی کردند. در نهایت با مقایسه دو روش یاد شده مشخص شد که نتایج آن‌ها با وجود شباهت‌های بسیار کاملاً منطبق نیستند [۸]. نورالهی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی ایران اظهار داشتند که با انرژی خورشیدی می‌توان به میزان قابل توجهی نیاز انرژی را در کشور تأمین کرد. بدین منظور در یک چهارچوب دو مرحله‌ای در ابتدا نقشه مناطق نامناسب با تعریف قیودی کارشناسانه مشخص

1. Kengpol
2. Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy-AHP)
3. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
4. Sánchez-Lozano
5. Marica
6. Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE)



شد و در ادامه برای ارزیابی پتانسیل نواحی مختلف کشور ۱۱ معیار شامل میزان تابش خورشید، میانگین دمای سالیانه، فاصله از خطوط انتقال نیرو، فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از مناطق مسکونی، ارتفاع، شیب، کاربری، میانگین تعداد روزهای ابری در سال، میانگین رطوبت و میانگین تعداد روزهای گردوغبار در سال در نظر گرفته شده است. در ادامه به کمک روش AHP وزن معیارها و زیر معیارها تعیین شده و لایه‌ها به منظور تهیه نقشه میزان پتانسیل هم‌پوشانی داده شدند. در نهایت نتایج برای تمامی ۱۰۵۷ شهرستان ایران فراهم شده است که بر این اساس شهرستان‌های یزد، کرمان و فارس به ترتیب دارای بیشترین پتانسیل برای تأسیس نیروگاه خورشیدی ارزیابی شده‌اند [۹]. برمر<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۶ مسئله مکان‌گزینی صفحات خورشیدی در فضاهای شهری را نیازمند در نظر گرفتن جزئیات بیشتری دانستند. بدین منظور مدل سه بعدی شهر را برای دسترسی به میزان انتشار انرژی خورشیدی و میزان سایه‌ها تهیه کردند و با تحلیل‌های سه بعدی مکان‌های مناسب برای قرارگیری صفحات خورشیدی مشخص نمودند [۱۰].

در پژوهش صورت گرفته توسط ناصحی و همکاران پتانسیل‌سنجی استان هرمزگان جهت یافتن مناطق مستعد برای احداث نیروگاه خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار Super Decision انجام شده و نقشه‌های تولید شده توسط یک سیستم استنتاجی منطق فازی تلفیق شده و در نهایت نقشه نهایی به پنج طبقه تقسیم و مساحت هر طبقه محاسبه گردید [۱۱]. احمدی و همکاران به تعیین مکان مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی با توجه به معیار و گزینه‌های مختلف در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سلسله مراتبی در استان ایلام پرداخته‌اند و نقشه احداث نیروگاه خورشیدی را در چهار کلاس مختلف (ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب) به دست آورده‌اند [۱۲]. تقوایی و صبوحی با هدف پهنه‌بندی و مکان‌یابی نقاط مستعد استقرار پنل‌های خورشیدی در مقیاس منطقه‌ای، نقشه پهنه‌بندی دریافت انرژی خورشید تهیه شده توسط سازمان انرژی‌های نو در ایران را بررسی و استان اصفهان با پتانسیل ساعات آفتابی زیاد در طول سال را برای پژوهش انتخاب کردند. ایشان با بهره‌گیری از نرم‌افزار سیستم اطلاعات مکانی GIS<sup>۲</sup> لایه‌های مختلف را تهیه و با برهم‌گذاری نقشه‌ها مکان‌های مناسب را مشخص نموده و سپس از بین گزینه‌های مختلف با استفاده از روش تاپسیس بهینه‌ترین مکان را انتخاب کردند [۱۳]. در تحقیق صورت گرفته توسط یوسفی و همکاران نقشه مکان‌های بهینه جهت استقرار نیروگاه فتوولتائیک در محدوده شهرستان بیرجند به کمک روش‌های فازی تولید شده است

1. Bremer

2. Geospatial Information System (GIS)

[۱۴]، همچنین رضایی مقدم و هاتفی اردکانی در پژوهش دیگری در امتداد بزرگراه زنجان- تبریز به ارزیابی امکان تأمین انرژی برای سیستم‌های فتوولتائیک بر مبنای تابع تحلیل گر انرژی خورشیدی و کاربرد تحلیل های مکانی پرداخته‌اند [۱۵].

براساس تحقیقات گذشته در این مقاله از AHP برای تعیین وزن معیارها، توابع عضویت فازی برای نرمال‌سازی و مدیریت عدم قطعیت در نقشه فاکتورها و از روش‌های میانگین وزنی مرتب شده<sup>۱</sup> OWA و تاپسیس به منظور تلفیق لایه‌ها و ارزیابی پتانسیل مناطق مختلف به منظور تأسیس نیروگاه‌های خورشیدی در استان قزوین استفاده شده است. استان قزوین به دلیل نزدیکی به پایتخت و به عنوان یکی از استان‌های صنعتی کشور از پتانسیل خوبی برای استقرار واحدهای صنعتی برخوردار است و به طبع آن تأمین انرژی از مسائل مهم و حیاتی در این استان است. خوشبختانه میزان تابش خورشیدی در سطح استان قزوین میزان قابل توجهی است که شرایط لازم را برای استقرار و تأسیس نیروگاه‌های خورشیدی فراهم می‌آورد. براساس تصمیم‌گیری‌های بالادستی صورت گرفته تأسیس نیروگاهی خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی در منطقه تاکستان استان قزوین مورد تصویب قرار گرفته است، در همین راستا در این تحقیق تحلیل و بررسی این موضوع نیز مورد توجه قرار گرفته است.

از جمله نوآوری‌های این تحقیق مقایسه و ارزیابی نتایج دو روش AHP-OWA و AHP-TOPSIS در پتانسیل‌سنجی مناطق مختلف به منظور تأسیس نیروگاه‌های خورشیدی است. تولید سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری براساس دیدگاه‌های مختلف تصمیم‌گیری مبتنی بر استراتژی‌های مختلف جبران‌پذیری و ریسک تصمیم‌گیری خوش‌بینانه تا بدبینانه و تلفیق نتایج آن‌ها ضمن تضمین قابلیت اتکا به نتایج حاصل از مدل‌سازی از دیگر جنبه‌های نوآوری این مقاله است.

## ۲- مبانی نظری

### ۲-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یک روش MCDM در سال ۱۹۸۰ توسط پروفیسور ساعتی<sup>۲</sup> ارائه شد که برای تعیین اوزان معیارهای وابسته به مسئله تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۶]. اولین مرحله در این فرآیند تشکیل ساختار سلسله مراتبی است. پس از آن ماتریس مقایسات زوجی معیارها تشکیل می‌شود و در آخر به تعیین اوزان معیارها پرداخته

1. Ordered Weighted Averaging (OWA)

2. Saaty



می‌شود. در یک ساختار سلسله مراتبی شامل معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها مقدار ارزیابی نهایی از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۱۷]، که در آن مقدار گزینه،  $w_l$  وزن وابسته به معیار  $l$ -ام و  $w_{k(l)}$  وزن  $k$ -امین زیرمعیار وابسته به معیار  $l$ -ام است.

$$V(A_i) = \sum_{k=1}^n w_l w_{k(l)} v(a_{ik}) \quad (1)$$

## ۲-۲- فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاری به روش AHP-OWA

روش‌های ارزیابی چند معیاره در GIS معمولاً شامل مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی مکانی در قالب نقشه‌ها و لایه‌ها می‌شوند، اما مسئله‌ای که معمولاً در تصمیم‌گیری مکانی به وجود می‌آید چگونگی ترکیب نقشه‌های معیار با مجموعه‌ای از وزن‌ها و همچنین اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان است. میانگین وزنی مرتب شده OWA یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره است که امکان کنترل جبران‌پذیری و ریسک تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند. مسئله ارزیابی چند معیاره شامل مجموعه‌ای اولویت به عنوان وزن‌های معیار می‌شود:  $w_j \in [0, 1]$  برای  $j=1, 2, \dots, n$  با داشتن نقشه معیارها و وزن آن‌ها عملگر ترکیبی OWA به محل سلول  $i$  مجموعه‌ای از وزن‌های ترتیبی  $v_1, v_2, \dots, v_n$  را اختصاص می‌دهد به طوری که برای هر  $v_j \in [0, 1]$  و  $\sum_{j=1}^n v_j = 1$  است. عملگر ترکیبی OWA به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود [۱۸].

$$OWA = \sum_{j=1}^n \left( \frac{u_j v_j}{\sum_{j=1}^n u_j v_j} \right) z_{ij} \quad (2)$$

در آن  $z_{i1} \geq \dots \geq z_{in}$  با مرتب کردن مقادیر توصیفی  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$  به دست می‌آید و  $u_j$  همان وزن معیار است که براساس ترتیب  $z_{ij}$  مرتب‌سازی شده است. در این روش دو نوع وزن یعنی وزن‌های معیار و وزن‌های ترتیبی وجود دارد. وزن‌های معیار نشان دهنده اهمیت نسبی هر کدام از معیارهای ارزیابی هستند، اما وزن‌های ترتیبی براساس موقعیت مکانی سلول‌های لایه‌ها و نقشه‌ها اختصاص می‌یابند؛ بنابراین همه سلول‌های یک نقشه یک وزن معیار مشترک دارند، اما وزن ترتیبی آن‌ها متفاوت است.

با استفاده از کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی می‌توان اطلاعات کیفی را که کارشناسان از روابط میان عوامل مختلف درک می‌کنند را در تصمیم‌گیری وارد کرد. در چنین حالاتی

جنبه‌های کلیدی مسئله تصمیم‌گیری برحسب بعضی از کمیت‌های فازی مانند اکثر معیارها باید برآورده شوند، ۸۰٪ معیارها باید برآورده شوند و غیره می‌تواند بیان شود [۱۹]. مالچوفسکی<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۶ از تلفیق کمیت‌سنج مفهومی فازی و OWA برای ارزیابی چند معیاره تناسب کاربری اراضی در محیط GIS استفاده کرد [۱۸]. کمیت‌های فازی با تابع  $Q^{\alpha}$  ارائه می‌شوند که در رابطه (۳) قابل مشاهده است که با تغییر مشخصه  $\alpha$  می‌توان انواع مختلفی از کمیت‌سنج‌ها را به دست آورد.

$$Q(p) = p^{\alpha} \quad \alpha > 0 \quad (3)$$

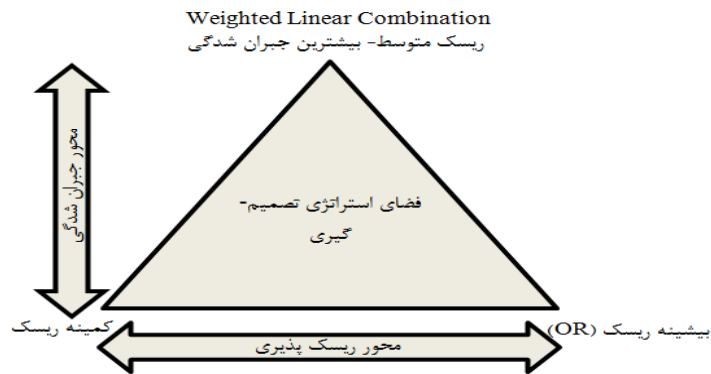
در جدول ۱ انواع کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی آورده شده است. بررسی‌های انجام شده روی عملگرهای Fuzzy OWA نشان داده است که با تغییر میزان  $\alpha$  می‌توان نقشه‌های متنوعی به دست آورد و آرا و اولویت‌های کارشناسان را برآورده ساخت. هر کمیت‌سنج مفهومی فازی مبین یک سناریو است که با تغییر مشخصه  $\alpha$  منجر به نتایج مختلفی می‌شود. در شکل ۲ فضای مثلث تصمیم‌گیری قابل ملاحظه است که سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری در آن واقع شده و هر یک مقادیر مختلفی در میزان جبران‌شدگی و ریسک را ارائه می‌دهند و تصمیم‌گیران با توجه به نگرش خود از آن‌ها استفاده می‌کنند.

---

1. Malczewski  
2. Quantifier

جدول ۱ مقادیر مختلف  $\alpha$  و کمیت مفهومی فازی معادل و میزان ریسک و جبران‌شدگی متناظر [۱۸]

مقدار $\alpha$	کمیت سنج (Q)	وزن‌های OWA	ریسک‌پذیری (ORness)	جبران‌شدگی (tradeoff)	عملگر منطقی معادل
$\alpha \rightarrow 0$	At least one	$v_1 = 1 ; v_j = 0$ برای سایر	۱	۰	OR (Max)
$\alpha = 1/n$	At least a few	$a^1$	a	a	-
$\alpha = 0.5$	A few	a	a	a	-
$\alpha = 1/n$	Half (identity)	برای همه $j \quad v_j = 1/n$	۰.۵	۱	WLC <sup>r</sup>
$\alpha = 2/n$	Most	a	a	a	-
$\alpha = 1 - 1/n$	Almost all	a	a	a	-
$\alpha \rightarrow \infty$	All	$v_n = 1 ; v_j = 0$ برای سایر	۰	۰	AND (MIN)



شکل ۲ مثلث استراتژی تصمیم‌گیری [۱۸]

۱.  $\alpha$  مقادیر عددی است که بر اساس نوع مسئله تصمیم‌گیری متفاوت خواهد بود.

## 2. Weighted Linear Combination (WLC)



با استفاده از کمیت‌سنج‌های فازی می‌توان به تولید وزن‌های ترتیبی پرداخت. این وزن‌ها به کمک رابطه (۴) محاسبه می‌شوند.

$$W_i = Q\left(\frac{i}{n}\right) - Q\left(\frac{i-1}{n}\right), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

با توجه به رابطه (۳) رابطه تعیین اوزان ترتیبی به رابطه (۵) تبدیل خواهد شد.

$$W_i = \left(\frac{i}{n}\right)^\alpha - \left(\frac{i-1}{n}\right)^\alpha, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

### ۳-۲- فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره به روش تاپسیس

روش تاپسیس در سال ۱۹۸۱ مطرح گردید [۲۰]. در این روش  $m$  گزینه به وسیله  $n$  شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند؛ بنابراین هر مسأله را می‌توان به عنوان یک سیستم هندسی شامل  $m$  نقطه در یک فضای  $n$  بعدی در نظر گرفت. این روش بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه حل ایده‌آل مثبت یعنی راه‌حلی که در میان معیارهای مثبت بیشترین و در میان معیارهای منفی کمترین بوده و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی یعنی راه‌حلی که در میان معیارهای منفی بیشترین و در میان معیارهای مثبت کمترین باشد، داشته باشد [۲۰].

مراحل حل مسئله به روش تاپسیس

الف- تشکیل ماتریس بی‌مقیاس

ماتریس نرمال تصمیم‌گیری به کمک نرم اقلیدسی به یک ماتریس بی‌مقیاس رابطه (۶) تبدیل می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{(\sum_{i=1}^m r_{ij}^2)^{1/2}} \quad (i = 1, \dots, m) \cdot (j = 1, \dots, n) \quad (6)$$

ب- تشکیل ماتریس بی‌مقیاس وزین

در این مرحله وزن هر یک از شاخص‌ها در هر یک از گزینه‌ها ضرب شده و ماتریس بی‌مقیاس وزین به صورت اعداد قطعی رابطه (۷) به دست می‌آید.



$$v = N_d W_{n \times n} \quad (7)$$

در معادله فوق  $V$  ماتریس بی‌مقیاس و  $W$  ماتریس قطری از وزن‌های به دست آمده برای شاخص‌ها است.

ج- تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی (رابطه ۸)

$$\begin{aligned} A_i^+ &= \{(\max V_{ij} | j \in j_1) \cdot (\min V_{ij} | j \in j_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \\ A_i^- &= \{(\min V_{ij} | j \in j_1) \cdot (\max V_{ij} | j \in j_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \\ A_i^+ &= \{V_1^+ \cdot V_2^+ \cdot \dots \cdot V_n^+\} \quad \text{و} \\ A_i^- &= \{V_1^- \cdot V_2^- \cdot \dots \cdot V_n^-\} \end{aligned} \quad (8)$$

$j_1 = \{1, 2, \dots, n | \text{به ازاء شاخص‌های مثبت}\}$  و  
 $j_2 = \{1, 2, \dots, n | \text{به ازاء شاخص‌های منفی}\}$

د- محاسبه میزان دوری یا نزدیکی با استفاده از روشی مانند نرم اقلیدسی و به ازای راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی

ه- محاسبه شاخص نزدیکی نسبی

نزدیکی نسبی هر گزینه یا راه‌حل به راه‌حل ایده‌آل به صورت رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} d_i^+ &= \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ d_i^- &= \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \quad (9)$$

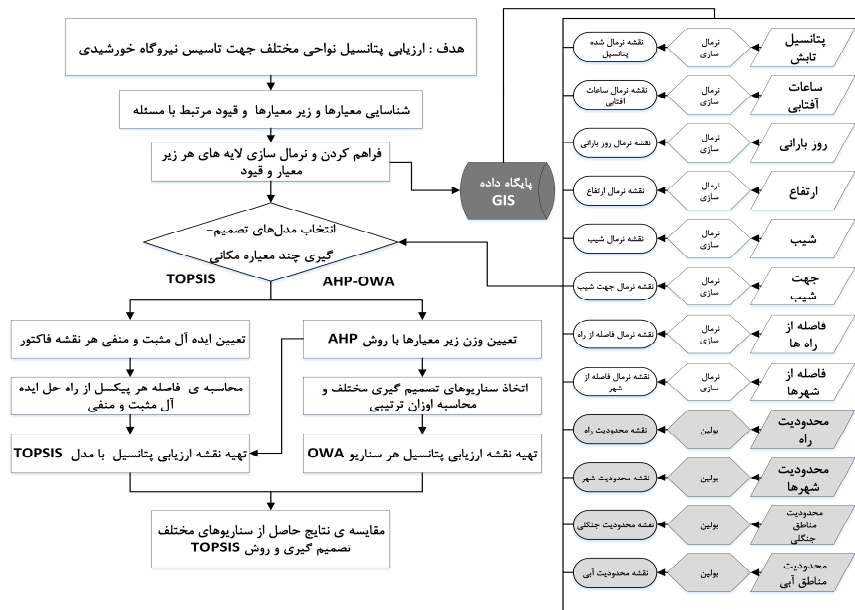
و- رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این مرحله می‌توان گزینه‌های موجود را رتبه‌بندی نمود. براساس رابطه (۱۰) مقدار CL بین صفر و یک است. هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد راه‌کار به پاسخ ایده‌آل نزدیک‌تر و راه‌کار بهتری است.

$$CL = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

### ۳- روش تحقیق

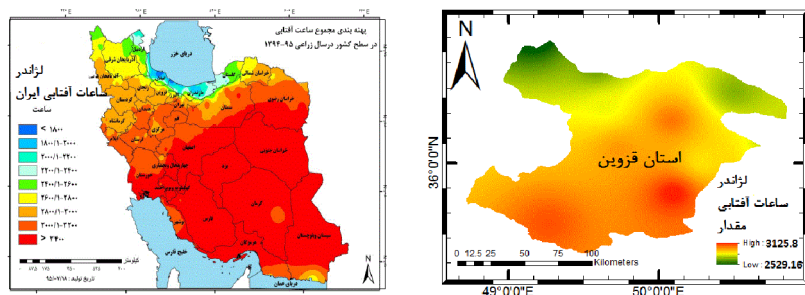
فرآیند بررسی و ارزیابی پتانسیل مناطق برای تأسیس نیروگاه خورشیدی، مراحل مختلفی دارد که در شکل ۳ مدل مفهومی فرایند پیشنهادی در این تحقیق قابل مشاهده است.



شکل ۳ مدل مفهومی فرایند پیشنهادی در این تحقیق به منظور ارزیابی پتانسیل نواحی مختلف برای تأسیس نیروگاه خورشیدی

#### ۳-۱- منطقه مورد مطالعه

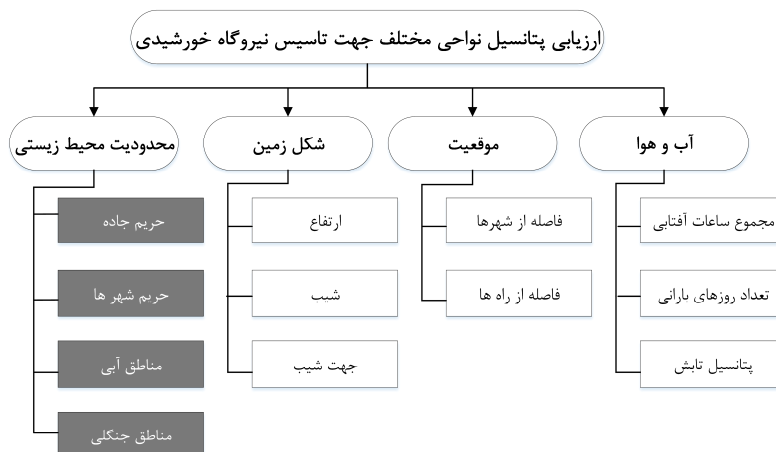
استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۶۲۳ کیلومتر مربع در حوزه مرکزی ایران جز استان های صنعتی کشور محسوب می شود و مقوله تأمین انرژی از مسائل مهم و حیاتی در این استان است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان قزوین و نقشه میزان ساعات آفتابی در سال ۱۳۹۵ در گستره کشور قابل مشاهده است. همان طور که مشاهده می شود استان قزوین بین استان های کشور به نسبت از میزان تابش خوبی برخوردار است و این امر دلیل روشنی بر منطقی بودن استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی در استان است.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان قزوین و نقشه میزان ساعات آفتابی در سال ۱۳۹۵

### ۲-۳- تعریف معیارهای ارزیابی

در این مقاله فاکتورهای ارزیابی بر مبنای مطالعات انجام شده و نظرات کارشناسی انتخاب شده‌اند. آن دسته از فاکتورهای فنی، اجتماعی و زیست‌محیطی انتخاب شدند که مرتبط با مسئله بودند و امکان فراهم‌آوری، آماده‌سازی و مدل‌سازی آنها وجود داشت. در شکل ۴ ساختار معیارها قابل ملاحظه است که شامل معیارهای اصلی آب و هوا، موقعیت، شکل زمین و محیط زیست هستند و هر یک از آنها چند زیرمعیار فرعی دارند.



شکل ۴ معیارها و زیرمعیارهای مسئله ارزیابی پتانسیل نواحی مختلف برای تأسیس نیروگاه خورشیدی

- ارتفاع: ارتفاع یکی از تأثیرگذارترین معیارها در انتخاب کاربری‌های صنعتی است. ارتفاع منطقه از سطح دریا نسبت معکوسی با ضخامت اتمسفر دارد. ضخامت و ترکیبات جو علاوه بر ورود انرژی موج کوتاه خورشید، انرژی موج بلند زمین را هم کنترل می‌کند؛ بنابراین مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست دارند [۲۱].
- شیب: یکی دیگر از معیارهای مهم و تأثیرگذار در انتخاب محل مناسب احداث نیروگاه خورشیدی یا مزارع فتوولتائیک شیب است، چرا که 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 [۲۲].
- جهت شیب: اهمیت جهت شیب از آنجا است که صفحات نیروگاه خورشیدی بهتر است در جهتی قرار گیرند که بیشترین انرژی را در طول روز از خورشید جذب نمایند. از آنجایی که قزوین در نیمکره شمالی قرار دارد، در جهت شیب به سمت جنوب در طول روز انرژی بیشتری از خورشید جذب می‌شود [۲۳].
- فاصله از شهر: در راستای هدف نیروگاه‌ها یعنی تولید الکتریسیته لازم مناطق مسکونی (و البته صنعتی)، نزدیک بودن آنها به مناطق مسکونی اهمیت دارد. این امر منجر به کاهش هزینه‌های انتقال نیرو و اتلاف انرژی (افت بار) می‌شود. از طرف دیگر طبق قوانین توسعه‌ای شهرها در استقرار نیروگاه‌های خورشیدی، باید حداقل فاصله‌ای در حدود ۵ کیلومتر از حریم شهرها برای احداث آنها اتخاذ شود.
- فاصله از شبکه راه‌ها: لایه راه‌ها از آن جهت دارای اهمیت است که باعث کاهش هزینه حمل و نقل تجهیزات خورشیدی و حمل و نقل کارکنان نیروگاه و هزینه‌های پشتیبانی می‌شود. بدین منظور در این تحقیق کمترین و بیشترین فاصله ۵ تا ۴۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است [۲۴].
- مجموع ساعات آفتابی: ساعات آفتابی مؤثرترین فاکتور در مسئله مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی است [۲۵].
- پتانسیل تابش خورشید: مقدار انرژی دریافتی در واحد سطح است که به فاکتورهای مختلفی از جمله طول و عرض جغرافیایی، شاخص آفتاب، رطوبت، میزان تبخیر، زاویه تابش خورشید و... بستگی دارد. میزان متوسط تابش خورشید برای تأسیس نیروگاه خورشیدی در حدود ۱۳۰۰ کیلو وات بر متر مربع در سال در نظر گرفته شده است [۲۶].
- تعداد روزهای بارانی و برفی: بارش زیاد باعث افزایش رطوبت می‌شود که عامل مهمی در جذب تابش‌های امواج کوتاه است. به عبارت دیگر بارش زیاد باعث ایجاد ذرات نسبتاً بزرگ آب



در اتمسفر می‌شود که نقش مهمی در جذب امواج کوتاه دارند و پتانسیل منطقه را برای جذب انرژی خورشید به منظور تأسیس نیروگاه خورشیدی کاهش می‌دهد.

• محدودیت‌ها: فاصله‌ای در حدود ۲۵۰ متر از جاده‌ها و فاصله‌ای در حدود ۵ کیلومتر از حریم شهرها مناطقی هستند که احداث نیروگاه‌ها در آنها با محدودیت مواجه است [۲۷ و ۲۸]. علاوه بر آن احداث نیروگاه‌ها در مناطق جنگلی و مناطق آبی هم با محدودیت‌هایی مواجه است؛ بنابراین لایه‌های مربوط به هریک از موارد مذکور به عنوان محدودیت وارد فرایند پتانسیل‌سنجی مناطق می‌شود و این مناطق از نقشه مناطق حذف می‌شوند.

#### ۴- نتایج و یافته‌های تحقیق

در این پژوهش استخراج و آماده‌سازی لایه‌های معیارها و زیرمعیارها به عنوان اولین مرحله از مراحل پیاده‌سازی مورد توجه قرار گرفت. برای تهیه لایه ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده Aster استفاده شده است. به کمک تحلیل‌های صورت گرفته با GIS، لایه‌های شیب و جهت شیب تهیه شدند. برای تهیه لایه ساعات آفتابی و مجموع روزهای بارانی از اطلاعات ساعات آفتابی و بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی استان قزوین در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ استفاده شد که مجموع ساعات آفتابی در ایستگاه‌ها به تفکیک ماه‌های سال و اطلاعات بارشی روزانه به تفکیک روزهای سال در اختیار قرار گرفت. به کمک ابزار درون‌یابی GIS لایه رستری این زیر معیارها تهیه شد. لایه فاصله از راه‌های اصلی نیز به عنوان یک لایه هزینه تهیه شد که با بیشتر شدن فاصله از راه‌های اصلی از میزان مطلوبیت این معیار کاسته می‌شود.

در این تحقیق برای آماده‌سازی لایه تابش خورشید از مدل r.sun استفاده شد که یک مدل موقعیتی برای تعیین میزان انرژی خورشید است. این مدل میزان انرژی خورشیدی رسیده به مساحتی از سطح زمین را با توجه به طول و عرض جغرافیایی، طول روز و زاویه میل خورشید در روزهای مشخص شده محاسبه و لایه‌ای رستری تهیه می‌کند. شکل ۵ معیارهای برگزیده در این تحقیق به منظور پتانسیل‌سنجی نواحی مختلف برای تأسیس نیروگاه خورشیدی و وضعیت هر کدام در منطقه را نشان می‌دهد.

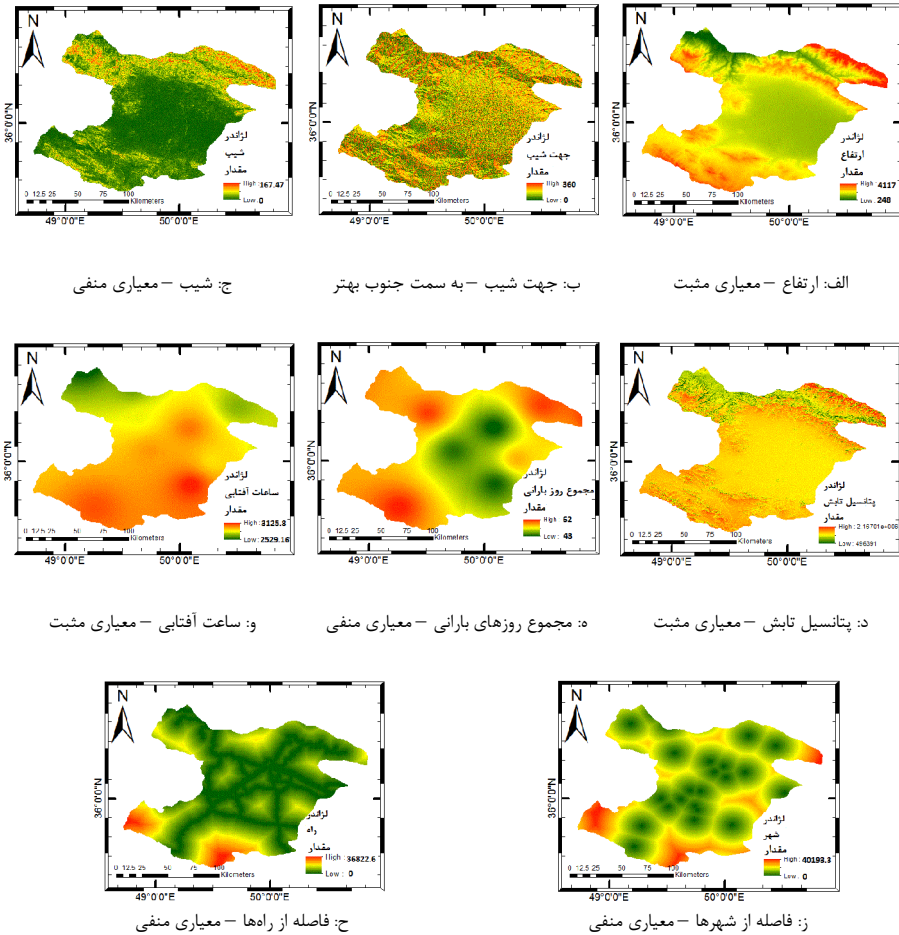
در ادامه لایه‌های مربوط به زیر معیارها به کمک توابع عضویت فازی نرمال‌سازی شد. در جدول ۲ توابع فازی مربوط به هر زیر معیار مشخص شده است. به منظور تعیین اوزان معیارهای وابسته به مسئله تصمیم‌گیری از روش AHP استفاده شد. در این پژوهش برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها از نظرات کارشناسان حوزه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر با ارائه پرسشنامه استفاده شده است. در جدول ۲ وزن مربوط به هر زیر معیار قابل ملاحظه است.

در مرحله بعد تلفیق معیارها به کمک روش AHP-OWA انجام شد. در این روش مسئله حائز اهمیت محاسبه اوزان ترتیبی است. در محاسبه اوزان ترتیبی، استراتژی‌های مختلف تصمیم‌گیری دخیل هستند و به عبارت دیگر استراتژی‌های مختلف در تصمیم‌گیری منجر به محاسبه اوزان ترتیبی مختلفی خواهد شد که به نتایج مختلفی در امر تصمیم‌گیری منجر خواهد شد. استراتژی‌های مختلف تصمیم‌گیری در فضای مثلث تصمیم قرار می‌گیرد که در شکل ۲ ارائه شده است. استراتژی بدبینانه معادل عملگر منطقی AND خواهد بود که طبق جدول ۳ کمیت مفهومی فازی معادل آن برآورده شدن تمام معیارها است و منجر به تصمیم‌گیری با ریسک پایین خواهد شد. استراتژی خوش‌بینانه معادل عملگر منطقی OR است و کمیت مفهومی فازی معادل آن برآورده شدن حداقل یکی از معیارها است که تصمیم‌گیری با ریسک بالا را به همراه خواهد داشت. حالت میانه هم WLC خواهد بود که از لحاظ ریسک حالت میانه است. برای اتخاذ سایر استراتژی‌های تصمیم‌گیری، با مشخص شدن کمیت‌سنج مفهومی فازی مد نظر، مقدار  $\alpha$  متناظر از جدول ۳ مشخص می‌شود و به کمک رابطه ۴ محاسبه اوزان ترتیبی صورت می‌پذیرد.

جدول ۲ زیر معیارهای مسئله ارزیابی پتانسیل جهت تأسیس نیروگاه خورشیدی و توابع فازی برای استانداردسازی هر یک

مقدار وزن	نوع نمودار تابع عضویت	تابع فازی				زیرمعیارها
		a	b	c	d	
۰/۳۱۶		$8 \times 10^5$			$15 \times 10^5$	پتانسیل تابش خورشیدی
۰/۲۳۳		۲۱۰۰			۳۱۰۰	مجموع ساعات آفتابی (ساعت)
۰/۱۱۴		۴۰	-	-	۶۰	تعداد روزهای بارانی (روز)
۰/۰۵۹		٪۳	٪۱۰	٪۲۰	٪۱۰۰	شیب
۰/۰۹۷		۰	۱۲۰	۲۴۰	۳۶۰	جهت شیب
۰/۰۴۸		۳۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	ارتفاع
۰/۰۶۶		۵	-	-	۴۰	فاصله از شهرها (کیلومتر)
۰/۰۶۷		۵	-	-	۴۰	فاصله از راهها (کیلومتر)





شکل ۵ معیارهای برگزیده در مسئله ارزیابی پتانسیل نواحی مختلف جهت تأسیس نیروگاه خورشیدی

در ادامه ارزیابی پتانسیل منطقه به کمک روش رتبه‌بندی AHP-TOPSIS نیز صورت پذیرفت. در این مرحله از اوزان محاسبه شده معیارها در مرحله قبل استفاده شد و پس از نرمال‌سازی هر نقشه فاکتور، این بار به روش رتبه‌بندی تاپسیس اقدام به تهیه نقشه ارزیابی پتانسیل شد. بدین منظور هر پیکسل به عنوان یک گزینه تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد و در هر نقشه معیار، مقدار ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی استخراج گردید. در ادامه با محاسبه فاصله هر پیکسل تا راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی و محاسبه شاخص شباهت به ایده‌آل مثبت، میزان مطلوبیت و در واقع پتانسیل هر پیکسل مشخص شد. در شکل ۶ نقشه‌های

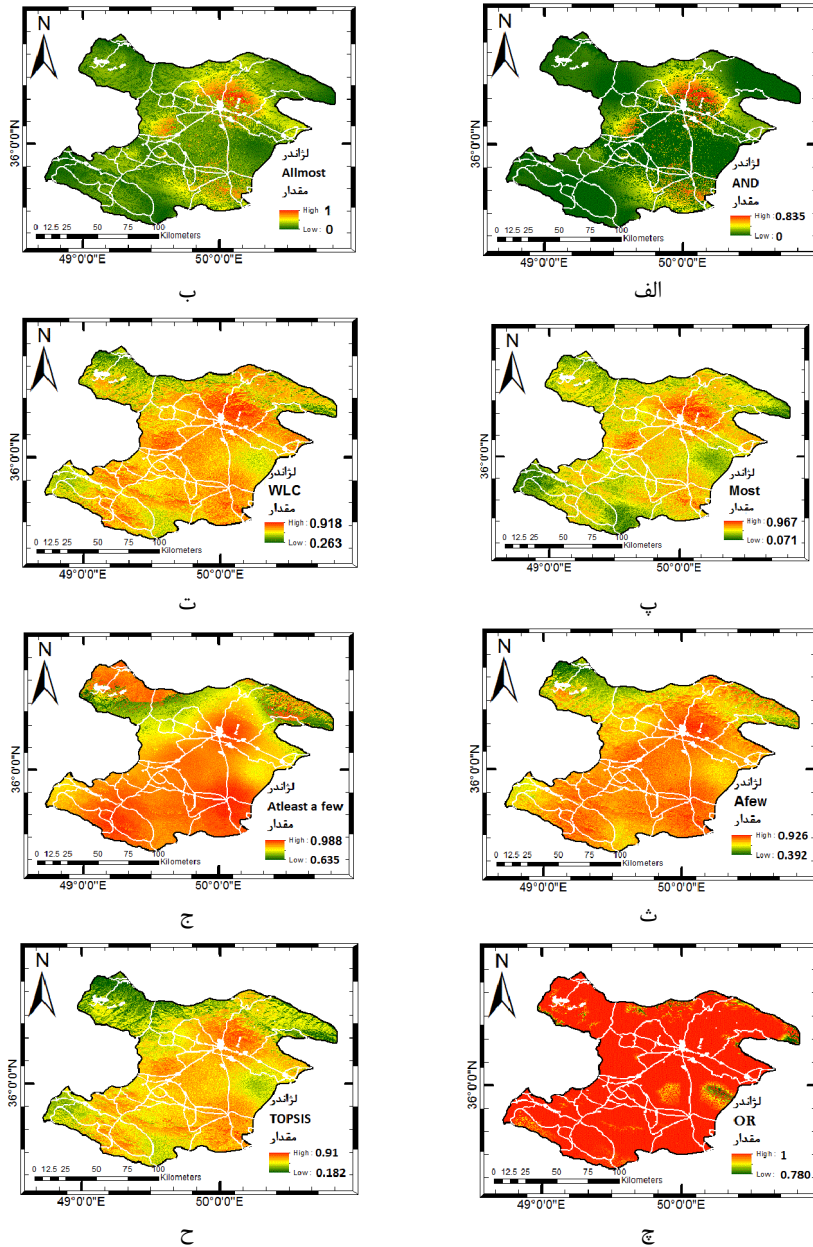
پتانسیل‌سنجی استان قزوین به منظور تأسیس نیروگاه خورشیدی با استراتژی‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۳ کمیت‌سنج مفهومی فازی، مقدار  $\alpha$  معادل و وزن‌های ترتیبی محاسبه شده از رابطه ۴

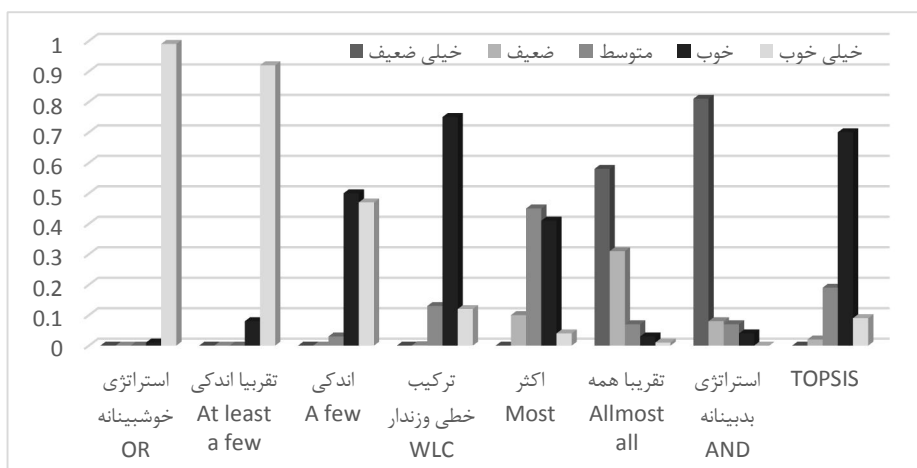
Tradeoff	ORness	اوزان ترتیبی								مقدار A	کمیت‌سنج مفهومی فازی
۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۰۰۱	At least one (OR)
۰/۳۱۳۵	۰/۹۱۹۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۱۵۱	۰/۰۱۷۶	۰/۰۲۱۱	۰/۰۲۶۵	۰/۰۳۶	۰/۰۵۸۳	۰/۸۱۲۳	۰/۲	At least a few
۰/۷۲۸۱	۰/۶۸۰۷	۰/۰۶۴۶	۰/۰۶۹۴	۰/۰۷۵۵	۰/۰۸۳۵	۰/۰۹۴۷	۰/۱۱۲۴	۰/۱۴۶۴	۰/۳۵۳۶	۰/۵	A few
۱	۰/۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۱	Half (WLC)
۰/۷۸۳۵	۰/۳۱۲۵	۰/۳۳۴۴	۰/۲۰۳۱	۰/۱۷۱۹	۰/۱۴۰۶	۰/۱۰۹۴	۰/۰۷۸۱	۰/۰۴۶۹	۰/۰۱۵۶	۲	Most
۰/۲۷۲۵	۰/۰۴۷۱	۰/۷۳۶۹	۰/۲۰۶۸	۰/۰۴۷۲	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۱۰	All most all
۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰۰	All (AND)

همان‌طور که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود، نتایج حاصل از کلاسه‌بندی مناطق از لحاظ میزان پتانسیل ارائه شده است. هر چه از استراتژی خوش‌بینانه OR به سمت استراتژی بدبینانه AND پیش می‌رویم، از مساحت مناطق دارای پتانسیل بالا کاسته می‌شود و در حقیقت تعداد معیارهایی که باید در هر استراتژی برآورده شوند تا منطقه دارای پتانسیل بیشتری ارزیابی شود، به ترتیب افزایش خواهند یافت؛ به عبارت دیگر در استراتژی خوش‌بینانه OR برای هر واحد زمین<sup>۱</sup> (پیکسل) تنها مقادیر یک معیار در نظر گرفته می‌شوند که بیشترین مقادیر را دارد و تعداد معیارها در استراتژی‌ها به ترتیب افزایش می‌یابند تا اینکه در استراتژی بدبینانه AND باید تمامی معیارها برای یک واحد زمین از مقادیر بالایی برخوردار باشند تا پتانسیل آن مقدار بالایی برآورد گردد.

1. Land Unit



شکل ۶ نقشه ارزیابی پتانسیل تأسیس نیروگاه خورشیدی حاصل از استراتژی‌های تصمیم‌گیری مختلف: الف- AHP-OWA (AND)، ب- AHP-OWA (almost)، پ- AHP-OWA (most)، ت- AHP-OWA (WLC)، ث- AHP-OWA (A few)، ج- AHP-OWA (at least a few)، ح- AHP-TOPSIS، چ- AHP-OWA (OR)

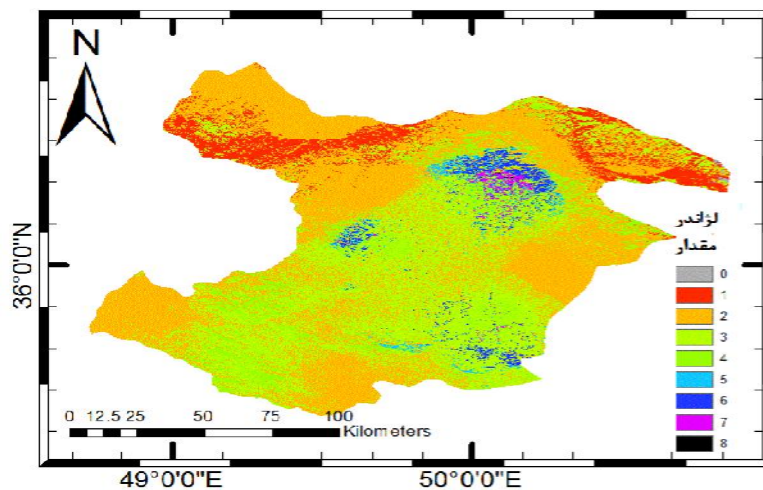


شکل ۷ نتایج کلاسه‌بندی مناطق (٪) از لحاظ میزان پتانسیل محاسبه شده بر مبنای استراتژی‌ها و مدل‌های مختلف تصمیم‌گیری

با مقایسه نقشه‌های حاصل از استراتژی‌های مختلف تصمیم‌گیری مشخص می‌شود که در استراتژی خوش‌بینانه و بدبینانه مناطق بسیاری به ترتیب با پتانسیل خیلی خوب و خیلی ضعیف ارزیابی شده‌اند. این امر نشان دهنده نامناسب بودن این دو استراتژی است، زیرا در استراتژی خوش‌بینانه مناطقی که حتی در یک معیار کم اهمیت از مقادیر بالایی برخوردار بوده‌اند، دارای پتانسیل خیلی خوب ارزیابی شده‌اند و پتانسیل مناطقی که حتی در یک معیار کم اهمیت مقادیر نسبتاً کمی داشته‌اند در استراتژی بدبینانه خیلی ضعیف ارزیابی شده‌اند. سایر استراتژی‌های تصمیم‌گیری هم حالات میانه بین این دو عملگر از لحاظ ریسک هستند. استراتژی تصمیم‌گیری WLC دارای ریسک متوسط و جبران‌شدگی کامل بین معیارها است و همان‌طور که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود پتانسیل مناطق برای تأسیس نیروگاه خورشیدی حاصل از این استراتژی در سطح استان قزوین با درجه رنگی سبز تا قرمز به نمایش درآمده است، مناطق سبزتر پتانسیل کمینه و مناطق قرمز رنگ پتانسیل بیشینه دارند و مناطق سفید رنگ که در واقع از نقشه حذف شده‌اند مناطق دارای محدودیت هستند. در این استراتژی مناطق شمالی شهر قزوین بیشترین پتانسیل را دارند و حدود ۳۰ کیلومتر مربع پتانسیل ضعیف، ۲۰۰۰ کیلومتر مربع پتانسیل متوسط، ۱۱۶۰۰ کیلومتر مربع پتانسیل خوب و ۱۹۰۰ کیلومتر مربع از مساحت استان پتانسیل بسیار خوب دارند.

در شکل ۶ نتیجه پتانسیل‌سنجی مناطق مختلف برای تأسیس نیروگاه خورشیدی به کمک روش رتبه‌بندی تاپسیس در سطح استان قزوین قابل مشاهده است. حدود ۳۳۳ کیلومترمربع از سطح استان با پتانسیل ضعیف، ۲۹۸۰ کیلومتر مربع دارای پتانسیل متوسط، ۱۰۸۶۰ کیلومتر مربع دارای پتانسیل خوب و ۱۴۰۰ کیلومتر مربع دارای پتانسیل بسیار خوب ارزیابی شده‌اند. با مقایسه نقشه حاصل از روش تاپسیس و استراتژی تصمیم‌گیری WLC در روش OWA مشخص می‌شود که نتایج حاصل از این دو روش، نسبت به سایر استراتژی‌ها بسیار به یکدیگر نزدیک هستند. اما با وجود تمامی شباهت‌ها در روش تاپسیس مساحت مناطق با پتانسیل ضعیف و متوسط افزایش و در مقابل مساحت مناطق با پتانسیل خوب و بسیار خوب نسبت به روش WLC کاهش یافته است.

در شکل ۸ نقشه تعداد تکرار هر پیکسل در مناطق ارزیابی شده با پتانسیل بالا در ۷ سناریوی ذکر شده روش OWA و روش تاپسیس مشاهده می‌شود. ارزش صفر بدین معنی است که آن پیکسل در هیچ یک از ۸ روش ذکر شده جزو مناطق با پتانسیل بالا ارزیابی نشده است و در مقابل ارزش ۸ به معنی قرار گرفتن آن پیکسل در مناطق با پتانسیل بالا در همه روش‌های مذکور است. با توجه به شکل ۸ می‌توان نتیجه گرفت که مناطقی که مقادیر ۶ تا ۸ را به خود اختصاص داده‌اند، در اکثر نقشه‌های پتانسیل‌سنجی برای تأسیس نیروگاه خورشیدی مقادیر مطلوبی داشته‌اند. همچنین سه منطقه در شمال شرقی، غرب و جنوب شرقی استان قزوین در وضعیت مطلوبی قرار گرفته‌اند.



شکل ۸ نقشه تعداد تکرار هر پیکسل در مناطق ارزیابی شده با پتانسیل بالا با توجه به ۸ سناریوی مختلف تصمیم‌گیری در روش OWA و روش تاپسیس



## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

انرژی در سراسر جهان به عنوان موتور محرک توسعه اقتصادی شناخته می‌شود و دسترسی به آن مشکل اصلی اغلب جوامع است. با توجه به محدودیت منابع سوخت فسیلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی آن در حال حاضر تمرکز در جهان بر روی استفاده از آن دسته از منابع انرژی است که علاوه بر توسعه اقتصادی پایدار با محیط زیست هم سازگار باشند. انرژی‌های تجدیدپذیر منبع تأمین انرژی بسیار با ارزشی به حساب می‌آیند که انرژی خورشیدی در دسترس‌ترین آنها است. میزان انرژی دریافتی خورشیدی در سراسر کشور بسیار بیشتر از کشور آلمان، به عنوان یکی از پیشروترین کشورها در زمینه نیروگاه‌های خورشیدی است و می‌توان بخش اعظمی از انرژی مورد نیاز کشور را از این راه فراهم نمود.

هدف این پژوهش ارزیابی پتانسیل مناطق مختلف استان قزوین برای تأسیس نیروگاه خورشیدی براساس فرآیند تصمیم‌گیری‌های چند معیاره مکانی است. بدین منظور شاخص‌های آب و هوایی، شکل زمین، موقعیتی و زیست محیطی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این راستا، معیارهای مرتبط با مسئله شناسایی، میزان اهمیت معیارها به کمک روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین و عدم قطعیت موجود در معیارها به کمک تئوری فازی مدل‌سازی گردید. در ادامه به کمک مدل میانگین وزنی مرتب شده و تکنیک رتبه‌بندی تاپسیس، نقشه پتانسیل‌سنجی منطقه جهت تأسیس نیروگاه خورشیدی فراهم شد و نتایج حاصل از دو روش OWA و تاپسیس مقایسه و ارزیابی شد. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق منطقه تاکستان به عنوان منطقه‌ای با پتانسیل خیلی خوب جهت تأسیس نیروگاه خورشیدی شناخته شده است.

در سال ۱۳۹۴ طبق تصمیم‌گیری‌های صورت گرفته در استان قزوین، تصمیم به تأسیس نیروگاهی خورشیدی با ظرفیت ۱۰۰ مگاوات در منطقه تاکستان گرفته شد که در غرب استان قزوین واقع شده است. این در حالی است که تا پیش از این نیروگاه خورشیدی در استان وجود نداشته است. با توجه به نتایج این تحقیق که منطقه تاکستان را دارای پتانسیل خیلی خوبی برای تأسیس نیروگاه خورشیدی در استراتژی‌های مختلف تصمیم‌گیری معرفی می‌کند، تصویب طرح مذکور جهت احداث نیروگاه خورشیدی در این منطقه می‌تواند به نوعی تصدیق‌کننده نتایج مدل‌سازی پیشنهادی در این تحقیق باشد.

با توجه به اهمیت معیارهای آب و هوایی نسبت به سایر معیارها باید در تحقیقات آتی مطالعه دقیق‌تری در انتخاب زیرمعیارهای معیار آب و هوایی انجام پذیرفته و داده‌هایی نظیر

رطوبت و تعداد روزهای گرد و غبار در نظر گرفته شوند. همچنین باید این داده‌ها در سری‌های زمانی طولانی‌تری نسبت به دو سال مورد نظر در این مقاله تهیه و مورد ارزیابی قرار گیرد.

## ۶- منابع

- Aydin, N.Y. (2009). GIS-Based Site Selection Approach for Wind and Solar Energy Systems: A Case Study from Western Turkey, MSc Thesis, Middle East Technical University, Inonu Bulvari, Ankara.
- United Nations (2015). Adoption of Paris Agreement, in Proceedings of the Conference of the Parties, Twenty-Frist Session, Paris, France, November.
- Thirugnanasambandam, M., Iniyan, S., Goic, R. (2010). a Review of Solar Thermal Technologies, Renewable and sustainable energy reviews, 14(1), pp. 312-322. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.014>.
- Sadeghi, M., Karimi, M. (2017). GIS-Based Solar and Wind Turbine Site Selection Using Multi-Criteria Analysis: Case Study of Tehran, Iran, the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W4, pp.469-476. Tehran's Joint ISPRS Conferences of GI Research, SMPR and EOEC, pp. 7-10 October, Tehran, Iran. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-469-201>.
- Amjad, H., Malik, S. (2017). Solar Energy Site Selection in Sindh Using Multi Criteria Decision Analysis and Geospatial Techniques, Journal of GeoSpace Science, 2(1), pp. 31-41.
- Alamdari, P., Nematollahi, O., Alemrajabi, A.A. (2013). Solar Energy Potentials in Iran: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, pp. 778-788.
- Kengpol, A., Rontlaong, P., Tuominen, M. (2013). A Decision Support System for Selection of Solar Power Plant Locations by Applying Fuzzy AHP and TOPSIS: An Empirical Study, Journal of Software Engineering and Applications, 6(09), pp. 470.
- Sánchez-Lozano, J.M., Antunes, C.H., García-Cascales, M.S., Dias, L.C. (2014). GIS-Based Photovoltaic Solar Farms Site Selection Using ELECTRE-TRI:



- Evaluating the Case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain, *Renewable Energy*, 66, pp. 478-494.
- 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), p.643.
  - Bremer, M., Mayr, A., Wichmann, V., Schmidtner, K., Rutzinger, M. (2016). a New Multi-Scale 3D-GIS-Approach for The Assessment and Dissemination of Solar Income of Digital City Models, *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, pp. 144-154.
  - Nasehi, S., Noori, G., Faryadi, S. (2017). Locate Solar Power Plant with Fuzzy Logic and AHP (Case Study of Hormozgan Province). *Journal of New Technologies in Energy Systems*, 3(1), pp. 1-9.
  - Ahmadi, H., Morshedi, J., Azimi, F. (2016). Site Selection of Solar Power Plant Using Climatic Data and Geospatial Information System (Case Study: ILAM Province), *RS & GIS Techniques for Natural Resources*, 7(1), pp. 41-57.
  - Taghvaei, M., Saboohi, E. (2017). Zoning and Locating Solar Power Plant in Esfahan Province, *Journal of Urban Research and Planning*, 8(28), pp. 61-82.
  - Yousefi H., Hafezniya, H., Razi, F. (2017). Identifying optimal sites for grid-connected photovoltaic power plants in Birjand County. *Journal of Spatial Planning*, 21(2), pp. 219-242.
  - Rezaei Moghaddam, M.H., Hatefi Ardekani, M. (2016). Assessment of energy supply for photovoltaic systems based on solar energy analyst function (area: highway Zanjan – Tabriz), *Journal of Spatial Planning*, 20(3), pp. 131-155.
  - Saaty T.L. (1980). *An Analytical Hierarchy Process*, New York: MacGrave- Hill.
  - Pourkhabbaz H.R. (2017). Ecological Modeling of Urban Development Using Compensatory Decision Making Models of AHP and Buckley's Fuzzy AHP Case study: The Arak Fringe. *Journal of Spatial Planning*, 21(1), pp. 133-165.
  - Malczewski, J. (2006). Ordered Weighted Averaging with Fuzzy Quantifiers: GIS-Based Multicriteria Evaluation for Land-Use Suitability Analysis,



International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8(4), pp. 270-277.

- Yager, Ronald R. (1996). Quantifier Guided Aggregation Using OWA Operators, International Journal of Intelligent Systems, 11(1), pp.49-73.
- Hwang, C.L., Masud, A.S.M. (2012). Multiple Objective Decision Making—Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey, Springer Science & Business Media, p. 164.
- 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), pp. 133-140.
- 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, pp. 11-17
- Cavallaro, F., Zavadskas, E.K., Streimikiene, D., 2018, Concentrated Solar Power Hybridized Systems. Ranking Based on an Intuitionistic Fuzzy Multi-Criteria Algorithm, Journal of Cleaner Production, 179, p.407.
- Zoghi, M., Ehsani, A.H., Sadat, M., Javad Amiri, M., Karimi, S., 2017, Optimization Solar Site Selection by Fuzzy Logic Model and Weighted Linear Combination Method in Arid and Semi-Arid Region: A Case Study of Isfahan-IRAN, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68(P2), pp. 986-996.
- Sánchez-Lozano, J.M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P.L., García-Cascales, M.S., 2013, Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in South-Eastern Spain, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24, pp. 544-556.
- Quaschnig, V., 2004, Technical and Economical System Comparison of Photovoltaic and Concentrating Solar Thermal Power Systems Depending on Annual Global Irradiation, Solar Energy, 77(2), pp. 171-178.
- Sabziparvar, A.A., Shetaee, H., 2007, Estimation of Global Solar Radiation in Arid and Semi-Arid Climates of East and West Iran, Energy, 32(5), pp. 649-655.



- Goodbody, C., Walsh, E., McDonnell, K.P., Owende, P., 2013, Regional Integration of Renewable Energy Systems in Ireland–The Role of Hybrid Energy Systems for Small Communities, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 44(1), pp. 713-720.

## Potential Evaluation for Establishment of Solar Power Plants Using Multi-Criteria Decision Making OWA and TOPSIS Methods (Case Study: Qazvin-Iran)

**Taleai, M.**

Associate Professor (Corresponding Author), Faculty of Geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

taleai@kntu.ac.ir

**Safarpour, M.**

M.Sc.in Geographic Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

m.safarpour@email.kntu.ac.ir

**Javadi, Gh.**

Accademic member, Faculty of Engineering, Bojnord University, Bojnord, Iran.

ghJavadi@ub.ac.ir

### Abstract:

With economic development and population growth, the global need for energy is increasing steadily. Fossil fuels are the most commonly used fuel in the world, but their resources are limited. Therefore, for sustainable development, the need to use renewable energy sources is felt more than ever. Solar energy recognized as the most important and most affordable one. In Iran, the availability of suitable climate and sunlight in many areas and seasons has provided a good basis for using this kind of energy. The purpose of this research is to utilize a MCDM approach for evaluating the potential of different regions in Qazvin province for the establishment of a solar power station. In this regard, several evaluation criteria were identified and their importance was determined by the AHP method and then their uncertainty is modeled using fuzzy theory. Then, a potential map was developed using OWA and TOPSIS methods. Finally, the result of utilizing



AHP-OWA method is compared with AHP-TOPSIS. Comparison of the weights of indicators shows the weather factors as important ones. In addition, according to the research findings, the Takestan region was recognized as a good area for establishing a solar power plant. Based on previous studies, construction of a 100MW solar power station in this area has been confirmed. This means that the proposed method is acceptable to be used by decision-makers as an effective tool.

**Keywords:** Solar Power Station; Analytic Hierarchy Process (AHP); Ordered Weighted Averaging (OWA); Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS); Spatial Multi-Criteria Decision Making (SMCDM).