

## مطالعه امکان سنجی مقدماتی طرح اولیه پروژه نیروگاه خورشیدی (مطالعه موردی: شهراواز)

۱ نسرین مرادی مجد\*، ۲ علیرضا انتظاری

### چکیده

شهر اهواز، با وسعتی در حدود ۸۱۳۶ کیلومتر مربع با جمعیتی حدود ۱۳۳۸۱۲۶ نفر در جنوب غربی ایران در مرکز استان خوزستان واقع شده است. این شهر با میزان انرژی تابشی دریافتی در روز به طور متوسط ۱۹/۵۶ مگاژول در هر متر مربع، میزان کل ساعات آفتابی سالانه به طور متوسط ۳۰۸۸/۲ ساعت، ضریب صافی آسمان بالاتر از ۰/۶۴ و شفافیت هوا بیش از ۰/۰۷۶ پتانسیل بالایی را برای بکارگیری سیستم های انرژی خورشیدی دارا می باشد. در این تحقیق جهت امکانسنجی نیروگاه خورشیدی از روش های AHP فازی و TOPSIS فازی استفاده گردید. کلیه معیارها در ۵ بخش زمین شناسی، زیست محیطی، اقتصادی- اجتماعی، جغرافیایی و اقلیم به عنوان محیط های اصلی و ۱۴ زیرمعیار جهت امکانسنجی نیروگاه خورشیدی شهر اهواز انتخاب شدند. در نهایت نتایج حاصل از روش AHP فازی نشان داد که معیار اقلیم با وزن ۰/۹۸۳، معیار اقتصادی- اجتماعی با وزن ۰/۲۹۲، معیار زیست محیطی با وزن ۰/۰۶۴ درصد، معیار زمین شناسی با وزن ۰/۰۱۹ و معیار ژئومتری با وزن ۰/۰۰۷ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درجه اهمیت می باشد. در مجموع زیرمعیارهای دما، ساعات آفتابی، شدت تابش، جهت تابش، زاویه تابش، فاصله از راه ها، فاصله از خطوط اصلی انتقال نیرو، آلودگی سطحی، فاصله از شهر، فاصله از روستا، باد، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه ها، فاصله از گسل، فاصله از کانون زلزله، ارتفاع، فاصله از مناطق حفاظت شده و طول و عرض جغرافیایی و سازند زمین شناسی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین اهمیت می باشند. در تکنیک TOPSIS نیز نتایج به این صورت بود که معیار اقلیم با امتیاز ۱/۴۸۳ بیشترین امتیاز و سپس معیار اقتصادی- اجتماعی با امتیاز ۱/۳۰۰، معیار زیست محیطی با امتیاز ۱/۱۲۰، معیار زمین شناسی با امتیاز ۱/۰۸۸ و معیار جغرافیایی با امتیاز ۱/۰۲۸ رتبه های بعدی را بدست آوردند. در نتیجه نتایج حاصل از دو روش با یکدیگر مطابقت دارد که نشان دهنده صحت و دقت هر کدام از روش های یاد شده می باشد.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۶/۴/۲۸

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۷/۳/۲

کلمات کلیدی:

امکانسنجی،  
انرژی خورشیدی،  
فتوولتائیک،  
منطق فازی،  
اهواز

۱. دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، گرایش آب و هواشناسی کشاورزی، دانشکده علوم محیطی و جغرافیا،

moradymajd@yahoo.com

دانشگاه حکیم سبزواری (نویسنده مسئول)

entezari@hsu.ac.ir

۲. استادیار دانشکده علوم محیطی و جغرافیای گروه آب و هواشناسی دانشگاه حکیم سبزواری

## ۱. مقدمه

در تمامی ادوار بشریت از نور خورشید برای گرم کردن و روشنایی بهره برده می شد، بعد از تحریم نفتی اعراب در ۱۹۷۳ و افزایش قیمت نفت در جهان، علاقه مندی شدیدی نسبت به استفاده از انرژی های نو بویژه انرژی خورشیدی برای تولید برق به وجود آمد ( کاماچو<sup>۱</sup> و دیگران، ۲۰۰۷) و این امر منجر به ساخت انواع نیروگاه های خورشیدی در جهان گردید. اهمیت و ارزش منابع انرژی همواره کشورهای پیشرفته را در پی پیدا کردن منابع نامحدود و با صرفه اقتصادی ترقیب کرده است. رشد شدید فن آوری های نوین در کلیه سطوح صنایع نیاز انسان را به استفاده روز افزون از نیروی برق به عنوان یک انرژی پاک و بهینه را بر می شمارد ( اکبری، ۱۳۹۳). بهره گیری از انرژی های تجدیدپذیر یکی از راه های موثر برای مقابله با آلودگیهای زیست محیطی ناشی از فعالیت نیروگاه ها با سوخت فسیلی است. از جمله این نیروگاه ها، نیروگاه های خورشیدی هستند که در حال حاضر در صنعت برق کشور (در بخش انرژی های نو) مورد توجه قرار گرفته اند ( لاجوردی، ۱۳۹۶). استفاده از نیروگاه خورشیدی (فتوولتائیک) بدلیل نامحدود بودن انرژی و ایجاد تاسیسات در هر مکانی با هزینه کم و بدون محدودیت و عدم نیاز به شبکه توزیع برق از مزیت بالایی برخوردار می باشد (اکبری، ۱۳۹۳). از ویژگی های این انرژی که باعث استفاده روزافزون از آن گردیده می توان دسترسی آسان و گسترده، ارزان بودن، بدون آلودگی بودن و پایدار بودن این منبع انرژی را نام برد ( ذبیحی و دیگران، ۱۳۹۴).

تولید برق با انرژی خورشید به دو شیوه صورت می گیرد: تولید مستقیم برق از نور خورشید با استفاده از سلول های فوتوولتائیک (PV)<sup>۲</sup> و به صورت غیر مستقیم با جمع آوری و متمرکز کردن انرژی خورشیدی (CSP)<sup>۳</sup> و انتقال آن به صورت (HTF)<sup>۴</sup> و تولید بخار موردنیاز توربین ها توسط HTF (وترمارک<sup>۵</sup>، ۱۹۸۸). درمورد تعریف نیروگاه های خورشیدی باید گفت تأسیساتی که با استفاده از آنها

1. Camacho,
2. Photovoltaic
3. Concentrating Solar Power
4. Heat Transfer Fluid
5. Wettermark,

انرژی جذب شده حرارتی خورشید به الکتروسیسته تبدیل میشود نیروگاه حرارتی خورشیدی نامیده می‌شود. این تأسیسات بر اساس انواع متمرکز کننده‌های موجود و بر اساس اشکال هندسی آنان به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱- نیروگاه‌هایی که گیرنده آنها آینه‌های سهموی ناودانی هستند. (شلجمی باز) ۲- نیروگاه‌هایی که گیرنده آنها در یک برج قرار دارد و نور خورشید توسط آینه‌های بزرگی به نام هلیوستات<sup>۱</sup> به آن منعکس میشود. (دریافت کننده مرکزی) ۳- نیروگاه‌هایی که گیرنده آنها بشقابی سهموی (دیش) است (لاجوردی، ۱۳۹۶).

## ۲. مبانی نظری

شرایط اقلیمی مناسب در اهواز پتانسیل بسیار بالایی جهت تأسیس سیستم‌های تولید انرژی با استفاده از منابع انرژی خورشیدی بوجود آورده که با توجه به نامحدود بودن منابع و هزینه بر بودن اجرای پروژه‌ها، امکان‌سنجی جهت تأسیس و ذخیره‌سازی انرژی با کمترین هزینه مد نظر می‌باشد. استفاده از روش‌های نوین تولید انرژی الکتریکی در جهت برآورده کردن بخشی از انرژی مورد نیاز مصارف خانگی، صنعتی، پتروشیمی و پالایشگاه می‌تواند به رشد اقتصادی ایران کمک شایانی خواهد کرد. لذا در این تحقیق با استفاده از تکنیک‌های امکان‌سنجی به بررسی استقرار بهینه نیروگاه‌های خورشیدی و ذخیره‌سازی آن در شهرستان اهواز بصورت کاربردی با دو روش AHP فازی و TOPSIS فازی پرداخته شده است. به منظور دستیابی بدین هدف پس از بررسی پیشینه تحقیقاتی و بهره‌گیری از نظرات خبرگان با استفاده از ابزار پرسشنامه متشکل از ۴۵ نفر از کارکنان اداره محیط زیست، اداره منابع طبیعی و سازمان آب و برق استان خوزستان امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی بررسی شد. کلیه معیارها و زیرمعیار جهت امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی شهر اهواز مدنظر و رتبه‌بندی‌ها توسط AHP فازی و TOPSIS فازی صورت گرفته است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند کارایی اقدامات جهت استقرار نیروگاه‌های خورشیدی را در هدایت فرایند اجرا و غلبه بر موانع ارتقا دهد.

در مطالعات مشابه عباسپور و همکاران (۱۳۹۰) ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه‌های خورشیدی به وسیله نرم افزار RETScreen با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه‌ها در

---

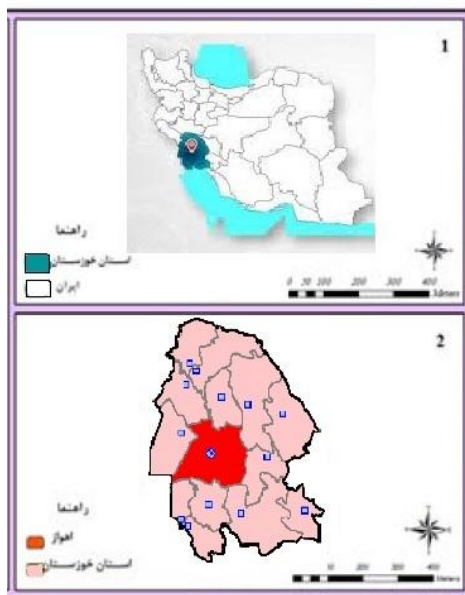
1. Heliostats

نیروگاه خورشیدی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی انجام دادند. در این تحقیق با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه ها و تعرفه های جدید قیمت برق و مسئله کاهش انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از نیروگاه فوتوولتائیک سه سناریو اصلی مطرح و با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج تحقیق نشان داد که بهره گیری از فناوری های نوین در خصوص باتری و پانل ها و اتخاذ سیاست های حمایتی از طرف دولت می تواند زمان بازگشت سرمایه را در حد مطلوب کاهش دهد. ساکی پور و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله ای امکان استفاده از انرژی خورشیدی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای را بررسی کردند. در این مقاله شهر اهواز به عنوان مطالعه موردی و خانوارهای ۴ الی ۵ نفری به عنوان جامعه هدف انتخاب شدند. آنالیزهای اقتصادی و محیط زیستی توسط نرم افزار RETScreen انجام شد و میزان کاهش صدور آلاینده ها و هزینه های ناشی از آن در صورت طرح جایگزینی آبگرمکنهای خورشیدی در خانوارهای ۴ الی ۵ نفری منطقه محاسبه گردید. اکبری (۱۳۹۳) مکان یابی بهینه نیروگاه های خورشیدی (فتوولتائیک) و توسعه تکنولوژی انرژی های تجدید پذیر در ایران را انجام داد. این تحقیق با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معیارهای موردنظر با استفاده از مدل بخش های مختلف منطقه از نظر قابلیت استقرار نیروگاه های فتوولتائیک اولویت بندی شدند. ذیحی لهارمی و همکاران (۱۳۹۴) به کنترل نیروگاههای خورشیدی سهموی خطی با کنترل کننده مدل پیشبین پرداختند. در این مقاله از روش منطق فازی برای نیل به این هدف بهره برده شد. نتایج شبیه سازی عملکرد مناسب منطق فازی را نشان می دهد. لاجوردی (۱۳۹۶) در تحقیقی با عنوان نیروگاههای خورشیدی، کاربرد انرژی پاک در تولید برق به بررسی نیروگاه های خورشیدی و انواع آنها، مکانیسم تولید انرژی از نور خورشید و همچنین معایب و مزایای استفاده از آنها پرداخته است.

### ۳. روش تحقیق

**منطقه مورد مطالعه:** شهر اهواز، مرکز شهرستان اهواز و استان خوزستان، وسیع ترین شهر استان می باشد. موقعیت این شهر از نظر جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه ی طول شرقی و در جلگه ای با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا قرار دارد (جوکار، ۱۳۹۰). این شهر با میزان انرژی تابشی دریافتی در روز به طور متوسط ۱۹/۵۶ مگاژول در هر متر مربع، میزان کل ساعات آفتابی سالانه به طور متوسط ۳۰۸۸/۲ ساعت، ضریب صافی آسمان بالاتر از ۰/۶۴ و شفافیت هوا بیش

از ۰/۰۷۶٪ پتانسیل بالایی را برای بکارگیری سیستم‌های انرژی خورشیدی دارا می‌باشد (ساکی پور و دیگران، ۱۳۹۰). در شکل ۱ موقعیت شهر اهواز در کشور نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت شهر اهواز در کشور

در این مطالعه پس از بررسی پیشینه و مروری بر ادبیات تحقیق جهت بررسی امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی، مصاحبه‌هایی با کارکنان اداره محیط زیست، اداره منابع طبیعی و سازمان آب و برق استان خوزستان صورت گرفت و فهرستی از عوامل پس از تکمیل کاربرگ‌ها و بررسی مستندات مشخص گردید. همچنین با تکمیل پرسشنامه‌های بسته از گروه خبرگان در محیط مهم‌ترین معیارها در منطقه تحت بررسی تکمیل گردید. با توجه به تعداد زیاد این افراد در این تحقیق برای تعیین تعداد نمونه لازم از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. به این منظور ابتدا تعداد پرسشنامه به‌عنوان پیش‌آزمون در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه تکمیل شد. سپس با احتساب ضریب اطمینان ۹۰٪ و خطای

۳ درصد، تعداد نمونه‌های لازم با استفاده از رابطه "کوکران" (آسافوآجایی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲) به صورت زیر محاسبه شد:

$$n = \frac{t^2 s^2}{s^2} = \frac{(90)^2 (0/231)^2}{0/03} = 48/0249 \approx 49 \quad (1)$$

که در این رابطه:  $s^2$  = واریانس، خطای مطالعه برحسب درصد =  $d$  و ضریب اطمینان =  $t$  می‌باشد. بدین منظور پرسشنامه‌ای تحت عنوان پرسشنامه ۵۰، مرکب از ۴۳ سوال تنظیم و بین ۵۰ نفر توزیع و تکمیل شد. تعدادی از پرسشنامه‌ها پس از مطالعه و بررسی دقیق به دلیل مخدوش بودن حذف شد و در نهایت تعداد ۴۵ عدد پرسشنامه جهت تحلیل نهائی نتایج مورد استفاده قرار گرفت.

**فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (AHP):** این روش نخستین بار توسط ساعتی<sup>۲</sup> (۱۹۸۰) معرفی گردید. AHP یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) می‌باشد (وایدیا<sup>۳</sup> و دیگران، ۲۰۰۶) در این روش با تجزیه مساله تصمیم‌گیری به معیارهای آن، مدل تصمیم‌گیری به صورت سلسله‌مراتبی ساخته می‌شود. اهمیت یا اولویت نسبی معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از مقایسات زوجی کیفی مشخص می‌گردد (کورتیلا<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰). در روش تحلیل سلسله مراتبی سنتی، مقایسات زوجی اجزا در هر سطح با توجه به سطح بالایی سلسله مراتب تصمیم‌گیری با استفاده از اعداد ۱ تا ۹ توسط تصمیم‌گیرنده انجام می‌گیرد (چن<sup>۵</sup> و دیگران، ۲۰۱۰). در روش تحلیل سلسله مراتبی سنتی قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان به صورت اعداد قطعی نمایش داده می‌شود. علیرغم مفهوم ساده و کاربرد وسیع، این رویکرد نمی‌تواند به درستی فرآیند تفکر انسانی را منعکس نماید و همچنین اعداد قطعی نمی‌توانند عدم قطعیت همراه با ادراک انسانی را به درستی در نظر بگیرند (کهرامن<sup>۶</sup>، ۲۰۰۸). برای غلبه بر این نقیصه، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و توسعه‌های بعدی آن برای حل مسائل سلسله مراتبی و انتخاب گزینه‌ها ارائه گردید. با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی (لطفی

1. Asafou-Ajaee
2. Saaty
3. Vaidya
4. Kurttila
5. Chen
6. Erensal

زاده، ۱۹۶۵) تصمیم‌گیرندگان قادر خواهند بود اطلاعات غیرقابل کمی‌شدن، اطلاعات غیرقابل دسترسی و اطلاعات ناقص را در مدل تصمیم‌گیری لحاظ نمایند. در نتیجه علیرغم دشواری‌های ریاضی، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ابزار مناسبی برای لحاظ نمودن عدم قطعیت‌ها و ابهامات موجود در مسائل دنیای واقعی می‌باشد (ارنسال<sup>۱</sup> و دیگران، ۲۰۰۶). در این پژوهش با استفاده از روش تحلیل گسترش یافته چانگ به‌عنوان یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین روش‌های حل مسائل تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده گردید. روش تحلیل گسترش یافته براساس اعداد فازی مثلثی عمل می‌نماید. مقیاس‌های فازی مورد استفاده در این روش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مقیاس‌های زبانی برای بیان درجه اهمیت

مقیاس‌های زبانی برای درجه اهمیت	اعداد مثلثی فازی	معکوس اعداد مثلثی فازی
عینا یکسان	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)
اهمیت برابر یا عدم ترجیح	(۱/۳،۱،۲/۳)	(۲/۳،۱،۱/۳)
نسبتاً مهم‌تر	(۳،۱/۲،۲)	(۱/۲،۲/۱،۳)
مهم‌تر	(۳/۵،۲،۲/۵)	(۲/۵،۲،۳/۵)
خیلی مهم‌تر	(۵،۲/۳،۲)	(۱/۲،۳/۱،۵/۲)
بی نهایت (کاملاً) مهم‌تر	(۵/۷،۳،۲/۷)	(۲/۷،۳/۱،۳/۵)

ماخذ ( کهرمان، ۲۰۰۸)

در روش تحلیل سلسله مراتبی گروهی برای تلفیق داده‌های بدست آمده از ماتریس مقایسات زوجی می‌توان از روش پیشنهادی چانگ و همکاران (۲۰۰۹) استفاده نمود در صورتی که  $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ ، وزن نسبی تلفیق شده‌ی معیار  $C_i$  نسبت به  $C_j$ ، حاصل از تلفیق نظر  $k$  خبره باشد. که در آن  $a_{ija}$  بیانگر قضاوت خبره‌ی  $k$ م در خصوص وزن نسبی معیار  $C_j$  نسبت به  $C_i$  می‌باشد.

1. Erensal

$$l_{ij} = \min \{ a_{ijd} | d=1,2,\dots,k \}$$

$$(\prod_{d=1}^k a_{ijd})^{1/k} = m_{ij} \quad (۲)$$

$$u_{ij} = \max \{ a_{ijd} \}, \quad d = 1,2, \dots, k \quad (۳)$$

پس از محاسبه ماتریس‌های تلفیقی، این داده‌ها برای اولویت‌بندی معیارها با روش تحلیل گسترش‌یافته مورد استفاده قرار گرفتند. در روش تحلیل گسترش‌یافته، برای هر یک از سطوحی ماتریس مقایسات زوجی، مقدار  $S_i$  که خود یک عدد مثلثی است، به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (۴)$$

که در آن  $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$  به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_{ij}, \sum_{j=1}^m m_{ij}, \sum_{j=1}^m u_{ij} \right) \quad (۵)$$

همچنین برای بدست آوردن  $\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$  از رابطه ۶ و ۷ استفاده می‌گردد.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m = \left( \sum_{i=1}^n l_{ij}, \sum_{i=1}^n m_{ij}, \sum_{i=1}^n u_{ij} \right) \quad (۶)$$

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_{ij}} \right) \quad (۷)$$

در روش تحلیل گسترش‌یافته، پس از محاسبه  $S_i$  باید درجه بزرگی آنها را نسبت به هم به دست آورد.

به طور کلی اگر دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی  $M_1$  بر  $M_2$  که با  $V(M_2 \geq M_1)$  نشان داده می‌شود و به صورت رابطه ۸ تعریف می‌شود.

$$= \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) V(M_2 \geq M_1)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۸)$$

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از  $k$  عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$V(M_1 \geq M_2, M_3, \dots, M_k) = V[(M_1 \geq M_2), (M_1 \geq M_3), \dots, (M_1 \geq M_k)] \quad (9)$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی به صورت رابطه ۱۰ عمل می‌شود.

$$w'(x_i) = \min V(M \geq M_j), \quad i=1,2,\dots,k \quad k \neq i \quad (10)$$

بنابراین، بردار وزن شاخص‌ها به صورت رابطه ۱۱ خواهد بود. که همان بردار ضرایب غیرنرمالیزه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی است.

$$w'(x_i) = (w'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (11)$$

به کمک رابطه ۱۲ نتایج غیرنرمالیزه به دست آمده از رابطه ۵ نرمال‌سازی می‌شود. نتایج نرمال‌سازی شده حاصل از رابطه ۱۲،  $W$  نامیده می‌شود.

$$W_i = \frac{w'_i}{\sum w'_i} \quad (12)$$

**تکنیک تاپسیس فازی:** تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است که  $m$  گزینه را با توجه به  $n$  معیار، رتبه‌بندی می‌کند. مبنای این روش، انتخاب گزینه‌ای است که کم‌ترین فاصله را از جواب ایده‌آل مطلوب و بیشترین فاصله را از جواب ایده‌آل نامطلوب دارد. در روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک، برای تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقادیر دقیق و معین استفاده می‌شود. در بسیاری از مواقع تفکرات انسان با عدم قطعیت همراه است و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری تاثیرگذار است. در این گونه موارد بهتر است از روش‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده شود. مروری بر تحقیقات انجام شده در این حوزه، حاکی از روش‌هایی متعدد برای استفاده از تکنیک تاپسیس، به صورت فازی است. با توجه به ساختار ترسیم شده در این پژوهش، از روش تاپسیس فازی به روش چن و هوانگ استفاده شده است (چن و دیگران، ۲۰۱۰) مراحل تکنیک تاپسیس فازی به صورت زیر می‌باشد:

گام اول: در ابتدا ماتریس تصمیم  $D$  (که ماتریسی  $m \times n$  است) با داده‌های فازی ایجاد می‌شود. ستون‌های این ماتریس شامل نظرات کارشناسان خبرگان بوده که برابر  $n$  ستون است. گزینه‌های ماتریس تصمیم شامل تمامی نهاده‌ها و ستاده‌ها است که شامل  $m$  سطر می‌باشد. داده‌های جدول

تاپسیس فازی با انتخاب عبارات کلامی مناسب برای سنجش گزینه ها با توجه به معیارها تعیین می گردد (جدول ۲).

جدول ۲. عبارات کلامی و اعداد فازی متناظر با آن برای رتبه بندی گزینه

عبارت کلامی	عدد فازی متناظر
خیلی ضعیف	(۰, ۰, ۲۰)
ضعیف	(۰, ۲۰, ۴۰)
متوسط	(۳۰, ۵۰, ۷۰)
خوب	(۶۰, ۸۰, ۱۰۰)
خیلی خوب	(۸۰, ۱۰۰, ۱۰۰)

حال اگر عدد فازی به صورت مثلثی باشد، روابط زیر برقرار است:

$$\tilde{w}_j = (\alpha_j, \beta_j, \chi_j) \quad \text{و} \quad W = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_j, \dots, \tilde{w}_r) \quad \text{و} \quad \tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (۱۳)$$

گام دوم: در این مرحله نرمال سازی یا بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم است. به این منظور باید مقدار حداکثر هر ستون  $X_j^*$  و مقدار حداقل هر ستون  $X_j^-$  را مشخص و با استفاده از روابط ذیل، مقادیر  $\Gamma_{ij}$  را که مقدار بی مقیاس شده  $X_{ij}$  می باشند، محاسبه نمود. زمانی که  $X_{ij}$ ها به صورت فازی هستند. عدد مثلثی  $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  را نیز فازی خواهند بود. حال اگر  $\tilde{x}_j^* = (a_j^*, b_j^*, c_j^*)$  و  $\tilde{x}_j^- = (a_j^-, b_j^-, c_j^-)$  به ترتیب بیشترین و کمترین امتیازها باشند، روابط ۱۴ و ۱۵ برقرار است.

$$\tilde{r}_{ij} = \tilde{x}_{ij} (/) \tilde{x}_j^* = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad (۱۴)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \tilde{x}_j^- (/) \tilde{x}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \quad (۱۵)$$

گام سوم: محاسبه ماتریس نرمالایز شده موزون است. در این مرحله باید برای شاخص های جدول تاپسیس فازی، وزن در نظر گرفت. به این منظور از خبرگان خواسته شد تا با توجه به جدول ۳ عبارت کلامی مناسب را برای اهمیت معیارها انتخاب نمایند.

جدول ۳. عبارات کلامی و اعداد فازی متناظر با آن برای تعیین ضرایب اهمیت هر معیار

متغیرهای کلامی	عدد فازی متناظر
خیلی کم	(۰, ۰, ۰, ۰/۲)
کم	(۰, ۰, ۰/۲, ۰, ۰/۴)
متوسط	(۰/۳, ۰, ۰/۵, ۰, ۰/۷)
زیاد	(۰/۶, ۰, ۰/۸, ۰, ۱)
خیلی زیاد	(۰/۸, ۰, ۱, ۰, ۱) <b>(0.8, 1, 1)</b>

عناصر ماتریس نرمالایز شده موزون برای اعداد فازی مثلثی با استفاده از رابطه ۱۶ قابل محاسبه است:

$$\begin{aligned}\tilde{v}_{ij} &= \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \cdot (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*} \cdot w_{j1}, \frac{b_{ij}}{c_j^*} \cdot w_{j2}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \cdot w_{j3} \right) \\ \check{v}_{ij} &= \check{r}_{ij} \cdot \check{w}_j = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \cdot (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) \\ &= \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}} \cdot w_{j1}, \frac{a_j^-}{b_{ij}} \cdot w_{j2}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \cdot w_{j3} \right)\end{aligned}\quad (16)$$

گام چهارم: یافتن حل ایده‌آل فازی  $(FPIS, A^*)$  و حل ضد ایده‌آل فازی  $(FNIS, A^-)$ ، حل ایده‌آل فازی و حل ضد ایده‌آل فازی به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$A^* = \{\check{v}_1^*, \check{v}_2^*, \dots, \check{v}_n^*\}$$

$$A^- = \{\check{v}_1^-, \check{v}_2^-, \dots, \check{v}_n^-\}$$

که  $\check{v}_i^*$  بهترین مقدار معیار  $i$  از بین تمام گزینه‌ها و  $\check{v}_i^-$  بدترین مقدار معیار  $i$  از بین تمام گزینه‌ها می‌باشد. این مقادیر از روابط ۱۷ و ۱۸ به دست می‌آید. گزینه‌هایی که در  $A^*$  و  $A^-$  قرار می‌گیرند نشان‌دهنده گزینه‌های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

$$\check{v}_j^* = \text{Max}\{\check{v}_{ij3}\} \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad (17)$$

8. Fuzzy Positive Ideal Solution (FPIS)

9. Fuzzy Negative Ideal Solution (FNIS)

$$\check{v}_j^- = \text{Min}\{\check{v}_{ij1}\} \quad i=1,2,\dots,m \quad , \quad j=1,2,\dots,n \quad (18)$$

گام پنجم: محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل فازی، فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل فازی از روابط ۱۹ و ۲۰ قابل محاسبه است. لازم به ذکر است که  $d(\check{v}_{ij}, \check{v}_j^*)$  و  $d(\check{v}_{ij}, \check{v}_j^-)$  اعداد قطعی هستند.

$$S_i^* = \sum_{j=1}^n d(\check{v}_{ij}, \check{v}_j^*) \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (19)$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n d(\check{v}_{ij}, \check{v}_j^-) \quad , \quad i=1,2,\dots,m \quad (20)$$

در این رابطه  $d$  بیانگر فاصله بین دو عدد فازی است. اگر  $(a_1, b_1, c_1)$  و  $(a_2, b_2, c_2)$  دو عدد فازی مثلثی باشد، فاصله دو عدد برابر است با:

$$d_v(\check{M}_1, \check{M}_2) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]} \quad (21)$$

محاسبه شاخص شباهت به گزینه ایده آل از رابطه ۲۲ به دست می‌آید.

$$CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad i=1,2,\dots,m \quad (22)$$

گام ششم: رتبه‌بندی گزینه‌ها، در این مرحله با توجه به میزان شاخص شباهت، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند به طوری که گزینه‌های با شاخص شباهت بیشتر در اولویت قرار دارند.

#### ۴. توصیف داده‌ها

**تحلیل اهمیت معیارها و زیرمعیارها در امکانسنجی نیروگاه خورشیدی:** معیار اقلیم با وزن ۰/۹۸۳، معیار اقتصادی-اجتماعی با وزن ۰/۲۹۲، معیار زیست محیطی با وزن ۰/۰۶۴ درصد، معیار زمین‌شناسی با وزن ۰/۰۱۹ و معیار جغرافیا با وزن ۰/۰۰۷ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درجه اهمیت می‌باشد.

در مقایسه زیرمعیارهای معیار اقلیم: در این تحقیق عناصر اقلیمی، در مقایسه با معیارهای دیگر اهمیت بالاتری بوده و در نتیجه وزن بیشتری را به خود اختصاص داده است. در این خصوص پارامترهای اقلیمی دما، باد، ساعات آفتابی، جهت تابش، شدت تابش، زاویه تابش و آلودگی سطحی از زیر معیارهای اقلیمی بوده که

برای امکان‌سنجی احداث نیروگاه فتوولتائیک انتخاب شده است. دما مهم‌ترین عامل در بین زیرمعیارهای اقلیم می‌باشد. هر چه دمای محیط بالاتر باشد کارایی نیروگاه پایین می‌آید و تاثیر بر روی میزان توان انرژی تولیدی دارد. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار دما وزن  $0/674$  را به خود اختصاص داده است. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار ساعات آفتابی وزن  $0/530$  را به خود اختصاص داده است. هر چه شدت تابش بیشتر شود انرژی الکتریکی بیشتری نیز تولید می‌شود و تاثیر بر روی میزان توان انرژی تولیدی دارد. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار شدت تابش وزن  $0/402$  را به خود اختصاص داده است. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار جهت تابش وزن  $0/345$  را به خود اختصاص داده است. هر چه زاویه تابش مستقیم تر باشد بازدهی سیستم بالاتر خواهد بود و تاثیر بر روی میزان توان انرژی تولیدی دارد. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار زاویه تابش وزن  $0/171$  را به خود اختصاص داده است. هر چه گرد و غبار و آلودگی سطحی بیشتر شود کارایی کم می‌شود و تاثیر بر روی میزان توان انرژی تولیدی دارد. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار آلودگی سطحی وزن  $0/116$  را به خود اختصاص داده است. همچنین با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار باد وزن  $0/067$  را به خود اختصاص داده است.

در مقایسه زیرمعیارهای اقتصادی-اجتماعی: یکی از معیارهای مورد بررسی پتانسیل سنجی و امکان‌سنجی نیروگاه‌های خورشیدی، معیار اقتصادی-اجتماعی هستند. این معیارها شامل زیر معیارهای حداقل فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از خطوط اصلی انتقال نیرو، حداقل فاصله از شهرها و روستاها است. هرچه قدر به راه‌های دسترسی نزدیکتر باشد جهت تجهیز و نگهداری نیروگاه هزینه کمتری صرف می‌شود و تاثیرات اقتصادی و زیست محیطی دارد. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار فاصله از راه‌ها وزن  $0/125$  را به خود اختصاص داده است. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار فاصله از خطوط اصلی انتقال نیرو وزن  $0/1$  را به خود اختصاص داده است. اهمیت فاصله از شهر جهت تامین برق و نیروی انسانی است و تاثیرات اقتصادی و زیست محیطی دارد. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار فاصله از شهر وزن  $0/089$  را به خود اختصاص داده است. اهمیت فاصله از روستا همچنین جهت تامین برق و نیروی انسانی است و تاثیرات اقتصادی و زیست محیطی دارد. با

توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار فاصله از روستا وزن  $0/078$  را به خود اختصاص داده است.

در مقایسه زیرمعیارهای زیست محیطی: معیار های زیست محیطی یکی از عوامل مهم در امکان سنجی نیروگاه فتوولتائیک به شمار می آیند. توجه به این مقوله یکی از اهداف پژوهشی در ایران و جهان است. معیار های زیست محیطی شامل: زیر معیار های فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه ها می باشد. کاهش خسارات زیست محیطی ناشی از احداث و بهره برداری نیروگاه با در نظر گرفتن این گروه از زیرمعیارها بوجود می آید و تاثیرات اقتصادی، زیست محیطی در بر خواهد داشت. زیر معیار کاربری اراضی، فاصله از رودخانه ها و فاصله از مناطق حفاظت شده به ترتیب با وزن  $0/037$ ،  $0/023$  و  $0/004$  دارای بیشترین و کمترین امتیاز از بین زیرمعیارهای زیست محیطی می باشند. در مقایسه زیرمعیارهای زمین شناسی: بررسی معیار های زمین شناسی جهت احداث نیروگاه برق فتوولتائیک از نظر اقتصادی اهمیت ویژه ای برخوردار است. زیر معیار های زمین شناسی عبارتند از: فاصله از کانون های زلزله ( لرزه خیزی )، فاصله از گسل ها و سازند زمین شناسی که برای تعیین مکان مناسب جهت احداث نیروگاه مورد توجه قرار می گیرد. زیرمعیارهای فاصله از گسل و فاصله از کانون زلزله به دلیل تامین امنیت سازه های نیروگاهی و تاثیر اقتصادی به ترتیب دارای وزن های  $0/012$ ،  $0/007$  و  $0/002$  می باشند.

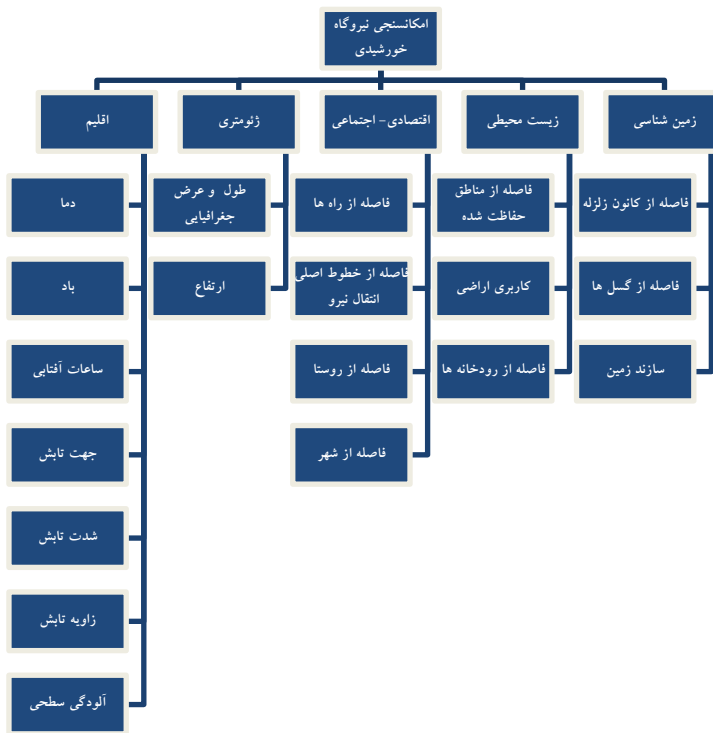
در مقایسه زیرمعیارهای ژئومتری: یکی از عوامل اصلی که باید در امکان سنجی احداث نیروگاه برقی فتوولتائیک مورد توجه قرار گیرد، معیارهای جغرافیایی می باشد. زیر معیارهای ژئومتری مورد بررسی، ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی است. هر چه ارتفاع بیشتر باشد کارایی بالاتر می رود و تاثیر بر میزان توان انرژی تولیدی دارد. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار ارتفاع وزن  $0/005$  را به خود اختصاص داده است. طول و عرض جغرافیایی هر چه به خط استوا نزدیک تر باشد کارایی بیشتر می شود و تاثیر بر میزان توان انرژی تولیدی دارد. با توجه به شرایط محیط و منطقه مورد مطالعه و نظرات خبرگان زیر معیار طول و عرض جغرافیایی وزن  $0/002$  را به خود اختصاص داده است.

در مجموع زیرمعیارهای دما، ساعات آفتابی، شدت تابش، جهت تابش، زاویه تابش، فاصله از راه ها، فاصله از خطوط اصلی انتقال نیرو، آلودگی سطحی، فاصله از شهر، فاصله از روستا، باد، کاربری اراضی، فاصله

از رودخانه‌ها، فاصله از گسل، فاصله از کانون زلزله، ارتفاع، فاصله از مناطق حفاظت شده و طول و عرض جغرافیایی و سازند زمین‌شناسی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین اهمیت می‌باشند.

## ۵. نتایج اجرای مدل

**نتایج ارزیابی به روش AHP فازی:** در این پژوهش جهت تعیین و تعریف معیارها با استفاده از تکنیک دلفی و تکمیل پرسشنامه این روش نسبت به نظرسنجی و شناسایی معیارهای مکانی موردنیاز در ارزیابی امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی پرداخته شد. کلیه معیارها در ۵ بخش زمین‌شناسی، زیست محیطی، اقتصادی-اجتماعی، ژئومتری و اقلیم به‌عنوان محیط‌های اصلی تعیین امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی شهر اهواز انتخاب شدند. در معیار زمین‌شناسی، فاصله از کانون زلزله، فاصله از گسل‌ها و سازند زمین‌شناسی از زیرمعیارهای این معیار شناسایی شدند. در معیار زیست محیطی، فاصله از مناطق حفاظت شده، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه‌ها از زیرمعیارهای این محیط‌شناسایی شدند. در معیار اقتصادی-اجتماعی، فاصله از راه‌ها، فاصله از خطوط اصلی انتقال نیرو، فاصله از شهر و فاصله از روستا از زیرمعیارهای این محیط‌شناسایی شدند. در معیار ژئومتری، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از زیرمعیارهای این محیط‌شناسایی شدند. در معیار اقلیم، دما، باد، ساعات آفتابی، جهت تابش، شدت تابش، زاویه تابش و آلودگی سطحی از زیرمعیارهای این محیط‌شناسایی شدند. در شکل ۲ نمودار ساختار سلسله‌مراتبی و عوامل موثر در امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی آورده شده است. ماحصل این مقایسات تعیین اوزان نهایی معیارهای اصلی جهت به‌کارگیری در سایر مراحل فرآیند می‌باشند (جدول ۵).



شکل ۲. ساختار سلسله مراتبی امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

جدول ۴. ماتریس تلفیق شده مقایسات زوجی شاخص‌های امکانسنجی نیروگاه خورشیدی

امکانسنجی نیروگاه خورشیدی	زمین شناسی	ژئومتری	اقلیم	اقتصادی- اجتماعی	زیست محیطی
زیست محیطی	(۱، ۱، ۵، ۲)	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۶۷)	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۶۷)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)
اقتصادی- اجتماعی	(۱، ۱، ۱، ۵، ۲)	(۰/۴، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۶۷)	(۰/۴، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۶۷)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)
اقلیم	(۱، ۱، ۲، ۲، ۱، ۵، ۲)	(۱/۵، ۲، ۲، ۱، ۲/۵)	(۱، ۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۵، ۲، ۲، ۲، ۲، ۵)	(۱، ۵، ۲، ۲، ۲، ۲، ۵)
ژئومتری	(۱، ۵، ۲، ۲، ۵)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۶۷)	(۱/۵، ۲، ۲، ۵)	(۱/۵، ۲، ۲، ۵)
زمین شناسی	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۶۷، ۰/۵)	(۰/۵، ۰/۶۶۷، ۱، ۰/۵)	(۰/۵، ۰/۶۶۷، ۱، ۰/۵)	(۰/۵، ۰/۶۶۷، ۱، ۰/۵)

جدول ۵. وزن‌های محلی، کلی و رتبه عوامل موثر در تعیین کاربری امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی

معیار اصلی	زیر معیار	امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی		
		وزن معیار اصلی	وزن محلی زیر معیار	وزن کلی زیر معیار
زیست محیطی	فاصله از مناطق حفاظت شده	۰/۰۶۴	۰/۰۴۷	۰/۰۰۴
	کاربری اراضی		۰/۲۸۸	۰/۰۳۷
	فاصله از رودخانه ها		۰/۱۴۵	۰/۰۲۳
اقتصادی-اجتماعی	فاصله از راه ها	۰/۲۹۲	۰/۵۸۴	۰/۱۲۵
	فاصله از خطوط اصلی انتقال نیرو		۰/۳۹۵	۰/۱۰۰
	فاصله از روستا		۰/۲۸۹	۰/۰۷۸
	فاصله از شهر		۰/۳۱۶	۰/۰۸۹
اقلیم	دما	۰/۹۸۳	۰/۶۶۴	۰/۶۷۴
	باد		۰/۰۸۶	۰/۰۶۷
	ساعات آفتابی		۰/۶۳۶	۰/۵۳۰
	جهت تابش		۰/۳۸۹	۰/۳۴۵
	شدت تابش		۰/۴۱۳	۰/۴۰۲
	زاویه تابش		۰/۲۱۶	۰/۱۷۱
	آلودگی سطحی		۰/۱۵۶	۰/۱۱۶
ژئومتری	طول و عرض جغرافیایی	۰/۰۰۷	۰/۰۳۴	۰/۰۰۲
	ارتفاع		۰/۰۸۴	۰/۰۰۵
زمین شناسی	فاصله از کانون زلزله	۰/۰۱۹	۰/۰۵۲	۰/۰۰۷
	سازند زمین شناسی		۰/۰۳۴	۰/۰۰۲
	فاصله از گسل		۰/۱۱۵	۰/۰۱۲

مأخذ: نتایج تحقیق

**نتایج ارزیابی به روش TOPSIS فازی:** در این پژوهش با استفاده از پرسشنامه TOPSIS ، ۵ معیار با ۱۴ زیرمعیار ذکر شده جهت امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی مقایسه و به هر بخش در مقابل هر فاکتور عددی تعلق گرفت. تعداد ۴۵ عدد پرسشنامه بین اعضای دلفی توزیع گشت و نتایج به صورت زیر ایجاد شد. در جدول ۷، D+، D- و CL آورده شده است. بنابراین با توجه به مقادیر CLها، می‌توان

رتبه‌بندی گزینه‌ها را به صورت جغرافیایی > زمین‌شناسی > زیست‌محیطی > اقتصادی-اجتماعی > اقلیم می‌باشد.

جدول ۶. ماتریس رتبه‌بندی با استفاده از روش TOPSIS در امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی

گزینه	CL	D-	D+	رتبه‌بندی
زیست‌محیطی	۱/۱۲۰	۰/۱۱۱	۰/۱۱۲	۳
اقتصادی-اجتماعی	۱/۳۰۰	۰/۰۸۹	۰/۱۰۶	۲
اقلیم	۱/۴۸۳	۰/۰۸۴	۰/۱۱۶	۱
ژئومتری	۱/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۵
زمین‌شناسی	۱/۰۸۸	۰/۱۰۶	۰/۰۹۰	۴

در تکنیک TOPSIS نیز نتایج به این صورت بود که معیار اقلیم با امتیاز ۱/۴۸۳ بیشترین امتیاز و بعد از آن به ترتیب معیار اقتصادی-اجتماعی با امتیاز ۱/۳۰۰، معیار زیست‌محیطی با امتیاز ۱/۱۲۰، معیار زمین‌شناسی با امتیاز ۱/۰۸۸ و معیار جغرافیایی با امتیاز ۱/۰۲۸ رتبه‌های بعدی را بدست آوردند. این بدین معناست که اقلیم نقش بیشتری در امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی نسبت به سایر بخش‌ها دارد. در نهایت نتیجه‌گیری می‌شود که نتایج حاصل از دو روش مورد استفاده با یکدیگر مطابقت دارد که نشان‌دهنده صحت و دقت هر کدام از روش‌های یاد شده می‌باشد.

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نیروگاه‌های خورشیدی، با مزایای بسیاری که در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی و اتمی دارند، در آینده می‌توانند به ویژه درسازگاری با محیط زیست، مشکل برق را به ویژه در هنگام به اتمام رسیدن ذخائر نفت و گاز حل کنند. یکی از مزایای این نیروگاه‌ها این است که برخلاف نیروگاه‌های فسیلی که قیمت برق تولیدی آن‌ها تابع قیمت نفت بوده و همیشه در حال تغییر و نوسان است، نیروگاه‌های خورشیدی نیاز به سوخت ندارند و این نوسان در آن‌ها وجود نداشته و می‌توان بهای برق مصرفی را برای مدت طولانی ثابت نگاه داشت. سایر مزایای این نیروگاه‌ها شامل: عدم احتیاج به آب زیاد، عدم آلودگی

محیط زیست، امکان تأمین شبکه های کوچک و ناحیه ای، استهلاک کم و عمر زیاد و عدم نیاز به حضور افراد متخصص می باشد.

در این تحقیق، معیارها جهت احداث نیروگاه های فتوولتائیک در سطح شهرستان شناسایی شدند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشانگر اولویت داشتن شرایط اقلیمی به خصوص دما برای احداث این نوع نیروگاه ها می باشد. میزان دقت اطلاعات تا حد زیادی تحت تأثیر دقت اطلاعات پایه ای و معیارهای انتخابی است که در مراحل مختلف تحقیق مورد استفاده قرار می گیرند. با تحقیقات انجام شده قابلیت تعمیم اطلاعات، ساخت مدل های جدید و آزمون روش های مختلف را دارا می باشند و بر اساس معیارهای مورد نظر AHP و TOPSIS فازی با استفاده از مدل بخش های مختلف منطقه از نظر قابلیت استقرار نیروگاه های فتوولتائیک اولویت بندی شدند. این موضوع به برنامه ریزان کمک زیادی می کند تا بتوانند بر اساس داده های مکانی بهتر تصمیم گیری نمایند. مسلم است هر چه از معیارهای بیشتر و دقیق تری استفاده شود، نتیجه بهتری را می توان انتظار داشت. به رغم انتقاداتی که بر این روش وارد می شود، این روش دارای مزایای بسیاری جهت امکان سنجی جهت استقرار تأسیسات انسانی، انواع فعالیت ها و ارزیابی های زیست محیطی است و به خوبی از طریق آن می توان مناطق مناسب و نامناسب را جهت استقرار انواع فعالیت ها که دارای بعد مکانی و فضایی هستند و همچنین مکان یابی تسهیلات در فضای پیوسته به کار برد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، گسترش معیارها و استفاده در تحقیقات بعدی مورد توجه قرار گیرد.

در مقایسه با سایر پژوهش ها همانطور که ساکی پور و همکاران (۱۳۹۰) در سناریو جایگزینی آبگرمکن های خورشیدی با آبگرمکن های گازی و عباسپور و همکاران (۱۳۹۰) در ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه های خورشیدی و لاجوردی (۱۳۹۶) در کاربرد انرژی پاک در تولید برق توسط نیروگاههای خورشیدی، بیان کردند استفاده از انرژی خورشیدی باعث صرفه جویی در گاز طبیعی شده و درآمد ملی کشور افزوده می شود و علاوه بر آن از انتشار CO<sub>2</sub> جلوگیری می شود. اکبری (۱۳۹۳) در پژوهش خود عامل اقلیم را تاثیرگذارترین عامل جهت مکانیابی نیروگاه خورشیدی می داند که در این تحقیق نیز این نتیجه حاصل شد. همچنین عامل محیط زیست وزن کمی دارد که در پژوهش حاضر وزن بالایی را به خود اختصاص داده و متفاوت با نتایج مشاهدات اکبری (۱۳۹۳) می باشد. ذبیحی لهرامی و همکاران (۱۳۹۴) استفاده از منطق فازی را باعث کاهش خطا و تلفات در

نیروگاه خورشیدی می داند که در تحقیق حاضر نیز با کمک AHP و TOPSIS فازی نتایج دقیق تری بدست آمد.

کاربرد انرژی های جایگزین در کشورهای آفتاب خیز منطقه مانند ایران می تواند در بلند مدت به راهکارهای حفاظت از محیط زیست بیانجامد. سیاست گذاری در زمینه حمایت از گسترش بهره برداری از صورت های در دسترس انرژی تجدیدپذیر با محوریت زیست بوم و زیرساخت های کشورهای خاورمیانه، گزینه ای است که باید به شکل مؤثری بر آن تکیه و تأکید گردد و راهکارهای لازم برای گسترش آن در منطقه خاورمیانه پشتیبانی گردد. در این رهگذر ایران نیز بعنوان عضوی از جامعه جهانی و نیز عضو معاهدات گوناگون زیست محیطی (از جمله کنوانسیون ساختاری سازمان ملل متحد در زمینه تغییرات اقلیمی) وظیفه تدوین و اجرای برنامه های استفاده بهینه از منابع انرژی و نیز جایگزینی انرژی های آلاینده محیط زیست با انرژی های منطبق با محیط زیست را برعهده دارد.

## منابع

- [۱] اکبری، علیرضا (۱۳۹۳)، مکان یابی بهینه نیروگاه های خورشیدی (فتوولتائیک) و توسعه تکنولوژی انرژی های تجدید پذیر در ایران، دومین همایش ملی رویکردی بر حسابداری، مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فومن و شفت، صص ۲۵-۱.
- [۲] جوکار، سعید (۱۳۹۰)، بررسی الگوهای مراکز خرید و مجتمع های تجاری در شهر اهواز، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [۳] ذبیحی لهارمی، محمد؛ رحمانی، زهرا و بهروز رضایی (۱۳۹۴)، کنترل نیروگاههای خورشیدی سهموی خطی با کنترل کننده مدل پیشبین، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۸، شماره ۲، صص ۱۲۲-۱۰۵.
- [۴] ساکی پور، مریم؛ کعبی نژادیان، عبدالرزاق؛ سخاوتجو، محمدصادق و سید علی اکبر جعفری موسوی (۱۳۹۰)، امکان استفاده از انرژی خورشیدی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در اهواز، فصلنامه علمی - پژوهشی علوم بهداشتی، سال سوم، شماره ۴، صص ۱-۱۱.
- [۵] عباسپور، مجید؛ حاجی سید میرزا حسینی، سید علیرضا و ترانه طاهری (۱۳۹۰)، ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه های خورشیدی به وسیله نرم افزار RETScreen با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه ها (مطالعه موردی: نیروگاه خورشیدی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی)، انسان و محیط زیست، شماره هجدهم، صص ۱۶-۹.
- [۶] لاجوردی، معصومه (۱۳۹۶)، نیروگاههای خورشیدی، کاربرد انرژی پاک در تولید برق، ماهنامه صنعت برق.

- [7] Asafou-Ajaee, J. (2002), *Environmental economy for non economists*, Mc GRAWHILL, p 127.
- [8] Camacho, E.F., Rubio, F.R., Berenguel, M. and Valenzuela, L.(2007), A survey on control schemes for distributed solar collector fields. Part I: Modeling and basic control approaches. *Sol. Energy* 81, 1240–1251.
- [9] Chen, M.K. and Wang, S.C. (2010), The use of a hybrid fuzzy-Delphi-AHP approach to develop global business intelligence for information service firms. *Expert Systems with Applications*, 37(11): p. 7394-7407.
- [10] Erensal, Y.C., Öncan, T. and Demircan, M.L. (2006), Determining key capabilities in technology management using fuzzy analytic hierarchy process: a case study of Turkey, *Information Sciences*, 2006. 176(18): p. 2755-277
- [11] Kahraman, C.(2008), *Fuzzy multi-criteria decision making*, theory and applications with recent developments, Vol. 16.
- [12] Kurttila, M. (2000), Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis a hybrid method and its application to a forest-certification, *Forest Policy and Economics*, 1(1): p. 41-52.
- [13] Saaty T.L. (1980), *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill. New York .
- [14] Vaidya O.S. and S. Kumar (2006), *Analytic hierarchy process: An overview of applications*, *European Journal of operational research*, 169(1): p. 1-29.
- [15] Wettermark G. (1988), *Performance of the SSPS solar power plants at Almería*, *J. Sol. Energy Eng.* 110, 235–246.

## پیوست ۱

پاسخگوی گرامی

با سلام و احترام

ضمن تشکر و قدردانی از مشارکت شما در این تحقیق بدین وسیله پرسشنامه با هدف امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی در شهر اهواز تقدیم می‌گردد. اطلاعات گردآوری شده برای مقاصد پژوهش استفاده و محرمانه تلقی خواهد شد. براین اساس از جنابعالی تقاضا می‌شود با اختصاص بخشی از وقت گرانبهای خود و پاسخ به پرسش‌های پرسشنامه در انجام این پژوهش همکاری فرمایید.

مشخصات:

نام و نام خانوادگی (در صورت تمایل):.....

جنسیت:.....

تحصیلات:.....

رشته تحصیلی:.....

جدول ۷. نمونه پرسشنامه ارائه شده جهت امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی

معیار اصلی	زیر معیار	شاخص امکان‌سنجی نیروگاه خورشیدی				
		تاثیر بسیار کم	تاثیر کم	تاثیر متوسط	تاثیر زیاد	تاثیر بسیار زیاد
زیست محیطی	فاصله از مناطق حفاظت شده					
	کاربری اراضی					
	فاصله از رودخانه‌ها					
اقتصادی- اجتماعی	فاصله از راه‌ها					
	فاصله از خطوط اصلی انتقال نیرو					
	فاصله از روستا					
	فاصله از شهر					
اقلیم	دما					
	باد					
	ساعات آفتابی					
	جهت تابش					
	شدت تابش					
	زاویه تابش					
ژئومتری	طول و عرض جغرافیایی					
	ارتفاع					
زمین‌شناسی	فاصله از کانون زلزله					
	سازند زمین‌شناسی					
	فاصله از گسل					