

## Prioritization of Economic, Climatic and Security Indicators for Locating Solar Power Plants and Ranking the Centers of Selected Provinces of Iran Using Factor Analysis and MCDM Combined Methods

---


**■ W. Qelich**

*Faculty Member and Director of Training and Conferences Affairs at Monetary and Banking Research Institute, Central Bank of I.R. Iran*

**■ E. Soltanizade**

*Master of Industrial Engineering, South Tehran Azad University*

---

 10.22034/jtd.2024.2008695.1875

### ABSTRACT

Iran has the good solar energy absorption potentials because of its situation on world warm belt. This situation creates a good opportunity for using of solar power plants. This research early introduces the important criterions in three sections: economic, climate & security such as Income and expenses, air temperature, cloudy sky index, air pollution index, wind speed index, sunlight hour's index, sunlight angle index etc. Then by questionnaire tools and expert interviews and exploring statistical data from structural equation modeling, exploratory factor analysis & confirmatory factor analysis was prioritized the main factors. In the following, it uses AHP model for calculating of the weight of criteria and sub-criteria. Then the resulting weights are integrated with the weights obtained from structural equation modeling and the final weight was calculated. In the following, based on the main geographical directions of the country (N, S, E, W, C) and the subsidiary geographical directions of the country (NE, NW, SE, SW), a province was selected as a sample. The result of the research shows between 9 geographical directions of Iran, respectively SW, Center and SE of geographical directions of the country are the best locations for commissioning of solar power plants.

### Keywords:

Solar Energy, Locating, Factor Analysis, Iran.

## اولویت‌بندی شاخص‌های اقتصادی، اقلیمی و امنیتی مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی و رتبه‌بندی مراکز استان‌های منتخب ایران با استفاده از تحلیل عاملی و روش‌های ترکیبی MCDM

■ وهاب قلیچ -


استادیار و عضو هیئت علمی پژوهشکده پولی و بانکی

■ الهام سلطانی‌زاده<sup>۱</sup>

کارشناس ارشد مهندسی صنایع دانشگاه آزاد تهران جنوب

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۲۲ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۹

صفحات: ۲۰-۳

10.22034/jtd.2024.2008695.1875 

### چکیده

کشور ایران به علت قرارگیری بر روی کمربند گرم دنیا دارای یکی از بالاترین پتانسیل‌های جذب انرژی خورشیدی است که امکان استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی را فراهم می‌سازد. یکی از مهمترین مسائل در فرآیند استفاده از نیروی انرژی خورشیدی و احداث نیروگاه‌های خورشیدی موضوع مکان‌یابی است. در این مقاله شاخص‌های مهم مکان‌یابی در شاخه‌های اقتصادی، اقلیمی و امنیتی همچون شاخص هزینه و درآمدی، دمای هوا، شاخص میزان ابرناکی آسمان، شاخص آلودگی هوا، شاخص میزان سرعت وزش باد، شاخص میزان ساعات تابش نور خورشید، شاخص زاویه تابش نور خورشید و شاخص‌های دیگر معرفی و سپس با ابزار پرسشنامه و مصاحبه خبرگان و کاوش داده‌های آماری از مدلسازی معادلات ساختاری، تحلیل عاملی اکتشافی و تحلیل عاملی تأییدی عامل‌های اصلی اولویت‌بندی شدند. در ادامه جهت محاسبه وزن معیارها و زیرمعیار از روش AHP استفاده شده و سپس وزن‌های حاصله با وزن‌های حاصل از مدلسازی معادلات ساختاری ادغام گشته و وزن نهایی محاسبه گردید. در این مرحله از مدل جمعی وزنی WSM و مدل تولید وزنی WPM نیز استفاده شده است. در ادامه، براساس جهت‌های اصلی جغرافیایی کشور (شمال، جنوب، شرق و غرب، مرکز) و جهت‌های فرعی جغرافیایی کشور (شمال شرق، شمال غرب، جنوب شرق، جنوب غرب) هر یک، یک استان به‌عنوان نمونه، منتخب شدند. نتیجه مقاله نشان داد که از بین ۹ جهت بررسی‌شده، به ترتیب جهت‌های جنوب غربی، مرکز و جنوب شرقی کشور بهترین مناطق برای ایجاد و راه‌اندازی نیروگاه‌های خورشیدی هستند.

واژگان کلیدی: انرژی خورشیدی، مکان‌یابی، تحلیل عاملی، ایران.

– عهده دار مکاتبات

. آدرس پست الکترونیکی: W.qelich@gmail.com

<sup>۱</sup> آدرس پست الکترونیکی: Elham.soltanizade@gmail.com

## ۱- مقدمه

سوخت‌های فسیلی در ایران باشد. کشور ایران با وجود اینکه از سوخت‌های فسیلی غنی است، خوشبختانه یکی از کشورهای پر آفتاب دنیا نیز است. به عبارتی، در ایران وجود زمینه مناسب اقلیمی و تابش آفتاب در بیشتر مناطق و در بیشتر فصول سال، همچنین وجود پستی و بلندی‌ها در مسیر نهرهای آب، داشتن مناطق واجد پتانسیل بالای باد و قابلیت‌های تولید انرژی زمین گرمایی، زمینه لازم و مناسبی را برای استفاده و گسترش انرژی‌های نو و پاک فراهم آورده است. کشور ایران به علت قرارگیری بر روی کمربند گرم دنیا دارای یکی از بالاترین پتانسیل‌های جذب انرژی خورشیدی است.

یکی از مهمترین مسائل در فرآیند استفاده از نیروی انرژی خورشیدی و احداث نیروگاه‌های خورشیدی، موضوع مکان‌یابی است. مکان‌یابی اشتباه در ساخت نیروگاه افزون بر تحمیل هزینه‌های زیاد منفعت‌چندانی ببار خواهد آورد. از این رو، در این مقاله سعی می‌شود به این پرسش مهم پاسخ دهد که «کدام جهت از کشور از وضعیت مناسب‌تری برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی برخوردار هستند؟»

## ۲- ادبیات موضوع و سابقه تحقیق

کانان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه خود با روش تحلیل رابطه خاکستری و ویکور و مدنظر قرار دادن شاخص‌های اقتصادی، زیست‌محیطی، ریسک، فنی و اجتماعی به پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد نیروگاه‌های خورشیدی در شرق ایران پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که بیرجند، سریشه و خضری به ترتیب بهترین مکان برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در این منطقه هستند (Kannan et al, 2020).

جمیل و انیس<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) یک رویکرد برای شناسایی اندازه بهینه و محل SPV (فتوولتائیک<sup>۴</sup> خورشیدی) براساس MLDG (مکان‌های متعدد تولید پراکنده) در سیستم توزیع اولیه، با هدف کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ ارائه نموده‌اند (Jamil & Anees, 2016).

سزی سویک اونار<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۵) با اشاره به اینکه انرژی باد یک انرژی پاک، ایمن، مقرون به‌صرفه، فراوان، مورد پسند و مهم است، بیان می‌کنند که ارزیابی سرمایه‌گذاری بر روی انرژی باد نیاز به تعداد زیادی از معیارهای ملموس و ناملموس دارد که ممکن است با یکدیگر در تضاد باشند. در روش تصمیم‌گیری

انرژی منشأ کلیه فرایندهای طبیعی و انسانی است. رشد روزافزون مصرف انرژی الکتریکی و کم بودن تولید فعلی برق، احداث نیروگاه‌های جدید را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. در حال حاضر با دو چالش عمده جهت تأمین نیاز برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی روبه‌رو هستیم: اول، پایان‌پذیر بودن سوخت‌های فسیلی و مهمتر از آن اثرات آلودگی‌های محیط زیستی که استفاده از منابع فسیلی بر جای می‌گذارند.

امروزه اقبال به انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در سراسر جهان به سرعت رو به فزونی و گسترش است و غفلت از آن عوارض و نارسایی‌های اجتماعی اقتصادی و زیست محیطی فراوانی را برای کشورها به بار خواهد آورد. رویداد برخی از وقایع موجب ایجاد موج اقبال به سمت این نوع انرژی‌ها شده است. تغییرات آب و هوایی بر اساس انباشت گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش جمعیت جهان و نیاز روزافزون به مصرف برق، گشوده شدن چشم‌انداز نویدبخش درخصوص فناوری‌های تجدیدپذیر که توسط کارشناسان و متخصصان امر مورد تایید قرار گرفته است، همگی از جمله این رویدادها هستند (Nohegar et al, 2016).

انرژی‌های تجدیدپذیر اساساً با طبیعت سازگار بوده و آلودگی ندارند. ویژگی‌های دیگر این منابع از جمله پراکندگی و گستردگی آنها در تمام جهان، انرژی‌های تجدیدپذیر را به‌ویژه برای کشورهای در حال توسعه از جاذبه بیشتر برخوردار کرده است. از این رو، در برنامه‌ها و سیاست‌های بین‌المللی، در راستای توسعه پایدار جهانی نقش ویژه‌ای به انرژی‌های تجدیدپذیر تعلق گرفته است.

عامل دیگر که در دستیابی به توسعه پایدار اثرگذاری دارد، مباحث اقتصادی است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر همچون انرژی خورشیدی در بلندمدت صرفه اقتصادی برای کشورها خواهد داشت و از این کانال به توسعه پایدار کشورها کمک می‌رساند. کاهش هزینه‌های تولید برق از مسیر انرژی‌های تجدیدپذیر به انضمام کاهش هزینه‌های اصلاح و بهبود شرایط زیست محیطی ناشی از آلاینده‌های سوخت‌های فسیلی همگی حکایت از صرفه‌های اقتصادی در استفاده از این نوع انرژی‌های نو و جدید دارد. استفاده از انرژی‌های پایدار بخصوص انرژی خورشیدی می‌تواند یکی از بهترین گزینه‌ها برای جایگزینی

5 Sezi Cevik Onar

2 Kannan

3 Jamil &amp; Anees

4 Photovoltaics

ماژول‌های فتوولتائیک. استفاده از روش تحقیق خاص این مقاله برای بهبود عینیت وزن معیارها بوده است. به دلیل هزینه‌های فتوولتائیک انتخاب ماژول‌های فتوولتائیک از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در این چارچوب تصمیم، محققین نتیجه می‌گیرند که عملکرد نمرات در انتخاب ماژول‌های فتوولتائیک برای انرژی خورشیدی منجر به کمک به مدیران پروژه جهت تجزیه و تحلیل مزایا و معایب استفاده از ماژول‌های فتوولتائیک جایگزین شده و به کاهش احتمال اشتباه تصمیم‌گیری می‌انجامد ( Shengping & Shuai, 2015).

سلیمانی‌مقدم (۱۴۰۱) به بررسی امکان استفاده از انرژی تابش خورشیدی در روستاهای شهرستان جوین واقع در استان خراسان رضوی می‌پردازد. در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل تابش در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی تابش کل خورشیدی در سطح ۱۱۳ روستای فعال شهرستان جوین تولید شده است. با محاسبه و بررسی تابش کلی در سطح منطقه مورد مطالعه، دو روستای حکم آباد و قلعه نو دارای پتانسیل عالی در انرژی تابش خورشیدی شناسایی شدند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که روستاهای کم‌جمعیت و صعب‌العبور پتانسیل بیشتری برای استفاده از انرژی خورشیدی دارند ( Soleimani & Moghadam, 2022).

امامی و اسدزاده (۱۴۰۰) با پرداخت به مکان‌یابی بهینه انرژی خورشیدی و زمین‌گرایی دو عامل اصلی، مراکز جمعیتی-صنعتی و فواصل از این مراکز، را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و مناطق مناسب جهت بهره‌برداری و احداث نیروگاه‌ها را در پنج کلاس نامناسب، ضعیف، متوسط، مناسب و بسیار مناسب مشخص نمودند. نتایج نشان داد به ترتیب، تقریباً ۵۱٪ و ۳۰٪ انرژی خورشیدی و زمین‌گرایی در مناطق مناسب و بسیار مناسب واقع شده‌اند. همچنین نتایج توام این دو انرژی با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی و مراکز جمعیتی-صنعتی نشان داد که حدود ۵۹٪ از مناطق به‌صورت توام بیانگر مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین‌گرایی هستند ( Emami & Asadzadeh, 2021).

شهبازی و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله خود ابتدا به بررسی عوامل موثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی، بادی و کوچک مقیاس گازی پرداخته شده و نقشه‌های مربوط به معیارها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شده است؛ سپس با توجه

چندمعیاره برای مقابله با ابهام در فرآیندهای ارزیابی از یک رویکرد ارزش‌بازه شهودی فازی<sup>۶</sup> استفاده شده است. این روش از طریق تجمیع مقایسه دو به دو ماتریس‌ها و محاسبه نمره ارزیابی و درجه امکان ماتریس و تجزیه و تحلیل حساسیت آن استفاده می‌کند. مقایسه نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روش ارائه شده در آن شامل رتبه‌بندی سازگار در میان فناوری‌های جایگزین و تجزیه و تحلیل حساسیت بوده و این رتبه‌بندی به اندازه کافی از قدرت برخوردار بوده است ( et al, 2015). (Sezi Cevik, 2015).

عمران سنگال<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش تاپسیس فازی<sup>۸</sup> به رده‌بندی سیستم‌های عرضه انرژی تجدیدپذیر در ترکیه پرداخته‌اند. هدف از این مقاله آنست که سیستم‌های عرضه انرژی تجدیدپذیر در ترکیه را رتبه‌بندی نماید. با توجه به انتخاب سیستم‌های تامین انرژی تجدیدپذیر که شامل بسیاری از معیارهای متناقض است، روش تصمیم‌گیری تاپسیس فازی برای تجزیه و تحلیل استفاده شده است. در این مطالعه روش آن‌تروپی شانون<sup>۹</sup>، برای تعیین مقادیر وزن از معیارهای مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نتیجه، اولین معیار در رتبه‌بندی اولویت‌های منابع انرژی تجدیدپذیر در ترکیه، میزان انرژی تولید شده و به دنبال آن استفاده از زمین، عملیات و تعمیر و نگهداری هزینه‌ها، ظرفیت نصب شده، کارایی، دوره بازپرداخت، هزینه سرمایه‌گذاری، میزان ایجاد شغل و حجم انتشار CO<sub>2</sub> بیان شده است. بنابراین نتیجه تجزیه و تحلیل چندمعیاره نشان داد که قدرت‌های هیدرولیکی ایستگاه و سپس زمین‌گرایی نیروگاه‌ها، رگلاتور و نیروگاه بادی به ترتیب از لحاظ اهمیت دوم، سوم و چهارم انتخاب می‌شوند. این مقاله پیشنهاد می‌کند که دولت ترکیه باید به ترتیب اولویت در این سیستم‌ها سرمایه‌گذاری داشته باشد (Umran Sengul et al, 2015).

شپینگ لانگ<sup>۱۰</sup> و شایو گنج<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۵) به انتخاب ماژول‌های فتوولتائیک برای انرژی خورشیدی اشاره داشته‌اند. مشکل اطلاعات و عدم عینیت در فرآیند انتخاب از جمله مشکلات موضوع تحقیق بوده است. نقاط نوآوری این مقاله به شرح زیر است: اول، ارزیابی جامع سیستم شاخص از ماژول‌های فتوولتائیک در مدیریت مهندسی و ایجاد دیدگاه مدیریت زنجیره‌ای برای حل مشکل و دوم، فاصله ارزش عینی مجموعه فازی<sup>۱۲</sup> در روند انتخاب

10 Shengping Long  
11 Shuai Geng  
۱۲ IVIFS

6 IVIF  
7 Ümran Sengül  
۸ Fuzzy TOPSIS  
9 Shannon Entropy

تحلیل حساسیت وزن‌های بدست آمده از روش Fuzzy AHP نشان می‌دهد، معیارهای GHI و PVOUT اهمیت زیادی در تعیین مناطق مناسب برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی دارند (Neisani & Tahouni, 2019).

طیار و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیق خود با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و قیود مختلف همچون عوارض طبیعی و غیرطبیعی با GIS به تعیین معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری مکان‌های نیروگاه‌های خورشیدی اعم از شدت تابش، دما، شیب زمین و...، اهمیت هر معیار با استفاده از نظریات خبرگان و با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی اقدام می‌نمایند. در نهایت، با استفاده از روش‌های TOPSIS و همپوشانی وزن‌دار مناسب بودن GIS، دسته‌بندی مناطق مختلف ناحیه‌شدنی از نظر میزان پتانسیل احداث نیروگاه خورشیدی صورت می‌گیرد. برای نشان دادن مزایای کاربردی روش پیشنهادی، استان کرمان به‌عنوان یک مطالعه موردی عملی انتخاب شده است. اگرچه کشور عراق پتانسیل بالایی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی دارد، مطالعات امکان‌سنجی فنی و اقتصادی و مکان‌یابی این نوع نیروگاه‌ها در این کشور انجام نشده است. از این رو، انتخاب مطالعه موردی این مقاله از دیدگاه عملیاتی و کاربردی حائز اهمیت است (Tayyar et al, 2020).

در خصوص نوآوری مقاله حاضر باید اذعان داشت که جهت اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های مکان‌یابی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در ایران از روش‌های تحلیل عاملی استفاده شده و سپس جهت رده‌بندی مناطق مختلف کشور در جهت‌های اصلی جغرافیایی کشور (شمال، جنوب، شرق و غرب، مرکز) و جهت‌های فرعی جغرافیایی کشور (شمال شرق، شمال غرب، جنوب شرق، جنوب غرب) از روش‌های شاخصی چون مدل جمعی وزنی WSM و مدل ضربی وزنی WPM استفاده گردیده است.

همچنین به‌کارگیری روش‌های میزان فراوانی و شاخص‌ها در مطالعات مرتبط، مصاحبه با خبرگان و کارشناسان امر و کاوش داده‌های آماری موجود و قابل دسترس از دیگر مسیرهای حل مسئله خواهد بود. از این رو، بررسی‌های نگارنده نشان داده است مطالعه مشابه‌ای تاکنون در این موضوع خاص با این نوع روش‌های تحقیق گسترده، تاکنون به انجام نرسیده است و از این حیث این تحقیق دارای نوآوری در مطالعات این شاخه است.

### ۳- مبانی نظری و روش تحقیق

در برخی تحقیقات به دلایل مختلف با حجم زیادی از متغیرها روبرو هستیم. برای تحلیل دقیق‌تر و رسیدن به نتایج علمی‌تر و در

به اهمیت تلفیق اطلاعات فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای وزن‌دهی به لایه‌ها انتخاب و به کمک نرم‌افزار سوپر دسیژن اجرا شده است؛ در نهایت مدل زنجیره تامین شبکه توزیع برق با هدف بیشینه کردن سود تامین‌کننده و حداقل‌سازی انتشار آلاینده ارایه و برای استان زنجان به‌عنوان مطالعه موردی حل شده است. طبق نتایج مناطقی از شهرهای خدابنده، ایجرود، ماهنشان برای احداث نیروگاه بادی و مناطقی از خدابنده و ایجرود برای احداث نیروگاه خورشیدی و خدابنده، زنجان و ماهنشان برای احداث نیروگاه کوچک مقیاس گازی مناسب هستند (Shahbazi et al, 2020).

فلاح‌پور (۱۳۹۸) اذعان می‌دارد که با گسترش جمعیت جهان، افزایش مصرف انرژی و کم شدن منابع انرژی تجدیدناپذیر گران و آلوده‌کننده، نیاز به استفاده از انرژی‌های پاک و پایداری مانند انرژی خورشیدی، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. مکان‌یابی مناطق مستعد ساخت نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک در استان یزد با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی و همپوشانی نه لایه اطلاعاتی اصلی براساس نظرسنجی خبرگان صورت گرفت. این لایه‌ها عبارتند از: ساعت آفتابی، رطوبت، بارندگی، تبخیر، دما، ارتفاع، فاصله از راه دسترسی، گسل و فاصله از پست برق. آمار مربوط به ۱۱ ایستگاه سینوپتیک کل استان یزد تهیه و محاسبات آماری در بازه زمانی ۱۵ ساله (۱۳۹۵-۱۳۸۰) انجام شد. مناطق مستعد ساخت نیروگاه خورشیدی، تعیین گردید. این مناطق بخشی از شهرستان‌های یزد، بافق، اردکان، میبد، صدوق و خاتم است. پس از اعمال لایه حریم و در نظر گرفتن مناطق ممنوعه با انجام بازدید میدانی در آخر پنج درصد از مساحت استان یزد مناسب برای ساخت نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک تشخیص داده شد. این مناطق در جنوب و جنوب شرقی شهر یزد و قسمتی از شهر بافق قرار دارند (Fallahpour, 2020).

نیسانی و طاحونی (۱۳۹۸)، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک Fuzzy AHP که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، مکان‌های مناسب برای استقرار نیروگاه خورشیدی در استان آذربایجان شرقی شناسایی نموده‌اند. براساس نتایج این پژوهش، ۶/۶۰ درصد از اراضی استان از تناسب عالی، ۱۸/۳۱ درصد از تناسب خوب و ۲۷/۱۰ درصد از تناسب متوسط برای نصب نیروگاه خورشیدی برخوردارند، اما ۴۷/۹۹ درصد اراضی استان مطلوبیت لازم را برای نصب نیروگاه خورشیدی ندارند. در حالت کلی، مناطق غربی و جنوب غربی استان بیشترین تناسب و مناطق شمالی و شمال شرقی استان کمترین تناسب را از دیگر مناطق برای نصب نیروگاه خورشیدی دارند. همچنین

مسائل پیچیده با حالات خاصی از عدم قطعیت، معیارهای متناقض، داده‌ها و اطلاعات کمی یا کیفی با واحدهای متفاوت، حضور ذینفعان و دیدگاه‌های چندگانه، و محتوی سیستم‌های پیچیده بیوفیزیک و اجتماعی اقتصادی، مناسب به نظر می‌رسند. این دسته از روش‌ها خود به دو گروه عمده روش‌های "تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه"<sup>۱۴</sup> و "تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه"<sup>۱۵</sup> تقسیم می‌شوند. بطور کلی روش‌های MADM به دنبال ارزیابی یک مجموعه از گزینه‌ها با توجه به مجموعه‌ای از معیارهاست. استفاده از روش‌های MADM در حل مسائل تعیین سیستم‌های عرضه انرژی با توجه به محدودیت شمار زنجیره‌های تبدیل موجود برای منابع تجدیدپذیر انرژی و گسستگی آن، متداول است.

#### ۳-۴- فرایند سلسله مراتبی AHP

هدف تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی انتخاب بهترین گزینه براساس معیارهای مختلف از طریق مقایسه زوجی است. این تکنیک برای وزن‌دهی به معیارها نیز استفاده می‌شود.

#### ۳-۵- واسپاس WASPAS<sup>۱۶</sup>

این تکنیک از جدیدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) بوده و یکی از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بهترین گزینه است. این روش ترکیبی از دو مدل WSM (مدل مجموع وزنی) و WPM (مدل ضرب وزنی) است. دقت این روش در مقایسه با روش‌های کلاسیک بسیار بالاتر است. این روش دارای توانایی منحصر به فرد در مسائل بهینه‌سازی تکی و چندگانه است که شامل ریاضیات ساده و صحیح بوده و در دنیای واقعی کاملاً کاربرد دارد و می‌توان آن را به‌طور موفقیت‌آمیز در مورد مسائل تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار داد.

#### ۴- اولویت‌بندی شاخص‌ها

##### ۴-۱- تحلیل عاملی اکتشافی مرتبه اول

در این پژوهش به این دلیل که مدل و فرضیه‌های تحقیق از پیش و از مقالات پایه قابل استخراج نیست، تحلیل عاملی اکتشافی و نیز تحلیل عاملی تاییدی صورت می‌گیرد. در این تحلیل‌های عاملی به‌منظور بررسی فرضیه‌های پژوهش از مدلسازی معادلات ساختاری با استفاده از نرم افزارهای SPSS و AMOS استفاده شده است. نمونه آماری تحقیق ۳۰۰ نفر و از

عین حال عملیاتی‌تر، پژوهشگر به دنبال کاهش حجم متغیرها و تشکیل ساختار جدیدی برای آنها است و به این منظور از روش تحلیل عاملی استفاده می‌کند.

##### ۳-۱- تحلیل عاملی اکتشافی

تحلیل عاملی اکتشافی تکنیک آماری است که برای برآورد عامل‌ها یا متغیرهای پنهان (مکنون) از یک طرف و کاهش تعداد زیادی متغیر به تعداد کمتری عامل از طرف دیگر بکار می‌رود. یکی از روش‌های تحلیل عاملی اکتشافی تحت عنوان "تحلیل مولفه‌های اصلی" است و با این هدف بکار برده می‌شود که حتی‌المقدور از تعداد زیادی متغیر مشاهده شده، شمار معدودی عامل مستقل بیرون کشیده شود که هر یک از این عوامل از روی متغیرها و معنی آن‌ها تفسیر می‌شوند. در این تحلیل، تلاش داریم تا ساختار زیربنایی مجموعه نسبتاً بزرگی از متغیرها را کشف کنیم. پیش فرض اولیه محقق در این نوع تحلیل، آن است که هر متغیری ممکن است با هر عامل ارتباط داشته باشد. به عبارتی، محقق در این روش، هیچ تئوری اولیه‌ای ندارد و سعی می‌کند تا از بارهای عامل برای کشف ساختار عاملی داده‌ها استفاده کند.

##### ۳-۲- تحلیل عاملی تائیدی

برای آزمون کردن یک نظریه در مورد ساختار مجموعه‌ای از متغیرها در یک حوزه علمی خاص، بایستی از تحلیل عاملی تائیدی استفاده نمود. پیش فرض اساسی محقق، آن است که هر عاملی با زیرمجموعه خاصی از متغیرها ارتباط دارد. حداقل شرط لازم این است که محقق در مورد تعداد عامل‌های مدل قبل از انجام تحقیق، پیش فرض معینی داشته باشد. مهمترین هدف تحلیل عاملی تاییدی تعیین میزان توان مدل عامل از قبل تعریف شده با مجموعه‌ای از داده‌های مشاهده شده است. در این نوع تحلیل عاملی پیش فرض اساسی محقق این است که هر عاملی با زیرمجموعه خاصی از شاخص‌ها ارتباط دارد. حداقل شرط لازم برای تحلیل عاملی تاییدی این است که محقق قبل از هر چیزی تعداد عامل‌های مدل را فرض کند؛ اما در عین حال معمولاً این محقق انتظارات خود را مبنی بر این که کدام عامل‌ها بار خواهند شد دخیل می‌کند

##### ۳-۳- روش MCDM<sup>۱۳</sup>

"تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه" (MCDM) شاخه‌ای از مدل‌های کلی‌تر تحقیق در عملیات به شمار می‌رود که در حل

۱۵ Multi-Attribute Decision Making (MADM)

۱۶ Weighted Aggregated Sum Product Assessment,

۱۳ Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

۱۴ Multi-Objective Decision Making (MODM)

تقارن آن بزرگتر از یک است را با توجه به جدول شماره ۱ برای تغییر متغیر انتخاب می‌کنیم. اگر پس از تغییر متغیر متقارن نشد، مجبور به حذف خواهیم شد.

بین متخصصان و کارشناسان این حوزه انتخاب شده‌اند. تحلیل عاملی نسبت به عدم تقارن (انحراف یک منحنی چگالی احتمال از حالت تقارن) حساس است؛ لذا سئوالاتی را که قدرمطلق عدم

جدول ۱: بررسی عدم تقارن

| Kurtosis   |           | Skewness   |               | Std. Deviation | Mean      | Sum       | Maximum   | Minimum   | N         |           |
|------------|-----------|------------|---------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Std. Error | Statistic | Std. Error | Statistic     | Statistic      | Statistic | Statistic | Statistic | Statistic | Statistic | Statistic |
| .281       | .024      | .141       | <b>-789</b>   | 1.04366        | 3.8800    | 1164.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q1        |
| .281       | .436      | .141       | <b>-913</b>   | .96551         | 4.0300    | 1209.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q2        |
| .281       | .670      | .141       | <b>-885</b>   | .96665         | 3.9067    | 1172.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q3        |
| .281       | -.360     | .141       | <b>-661</b>   | 1.01683        | 3.9467    | 1184.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q4        |
| .281       | -.037     | .141       | <b>1.251</b>  | 1.38698        | 1.8733    | 562.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q5        |
| .281       | -.605     | .141       | <b>-541</b>   | 1.09306        | 3.7567    | 1127.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q6        |
| .281       | -.017     | .141       | <b>-775</b>   | 1.11341        | 3.7333    | 1120.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q7        |
| .281       | -.215     | .141       | <b>-522</b>   | 1.00131        | 3.6933    | 1108.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q8        |
| .281       | .882      | .141       | <b>-1.549</b> | 1.27985        | 4.2900    | 1287.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q9        |
| .281       | .015      | .141       | <b>-1.204</b> | 1.32306        | 4.1367    | 1241.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q10       |
| .281       | -.180     | .141       | <b>-570</b>   | .97970         | 3.8267    | 1148.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q11       |
| .281       | .255      | .141       | <b>-826</b>   | 1.00062        | 3.8900    | 1167.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q12       |
| .281       | 5.227     | .141       | <b>2.423</b>  | .68573         | 2.2967    | 689.00    | 5.00      | 2.00      | 300       | q13       |
| .281       | -.428     | .141       | <b>-573</b>   | 1.12882        | 3.6633    | 1099.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q14       |
| .281       | .629      | .141       | <b>-1.456</b> | 1.00625        | 3.4133    | 1024.00   | 4.00      | 1.00      | 300       | q15       |
| .281       | -.142     | .141       | <b>-401</b>   | .98470         | 3.5600    | 1068.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q16       |
| .281       | -.617     | .141       | <b>-378</b>   | 1.07249        | 3.5600    | 1068.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q17       |
| .281       | -.347     | .141       | <b>-321</b>   | 1.00945        | 3.6200    | 1086.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q18       |
| .281       | .203      | .141       | <b>-796</b>   | .76879         | 4.2400    | 1272.00   | 5.00      | 2.00      | 300       | q19       |
| .281       | .129      | .141       | <b>-843</b>   | 1.02817        | 3.9200    | 1176.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q20       |
| .281       | 1.595     | .141       | <b>1.730</b>  | 1.23445        | 1.6567    | 497.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q21       |
| .281       | .717      | .141       | <b>-979</b>   | .77973         | 4.3067    | 1292.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q22       |
| .281       | .692      | .141       | <b>-823</b>   | .90326         | 3.9867    | 1196.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q23       |
| .281       | -.236     | .141       | <b>-351</b>   | 1.03995        | 3.3900    | 1017.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q24       |
| .281       | -.513     | .141       | <b>-267</b>   | 1.00799        | 3.3967    | 1019.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q25       |
| .281       | -.960     | .141       | <b>.119</b>   | 1.15385        | 3.0800    | 924.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q26       |
| .281       | 2.394     | .141       | <b>1.907</b>  | 1.16034        | 1.5900    | 477.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q27       |
| .281       | -.542     | .141       | <b>-017</b>   | 1.05520        | 3.0600    | 918.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q28       |
| .281       | -.247     | .141       | <b>-506</b>   | 1.03523        | 3.6233    | 1087.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q29       |
| .281       | -.557     | .141       | <b>-407</b>   | 1.05278        | 3.6967    | 1109.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q30       |
| .281       | .357      | .141       | <b>-1.363</b> | 1.34423        | 4.1800    | 1254.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q31       |
| .281       | -.791     | .141       | <b>.085</b>   | 1.13279        | 2.8800    | 864.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q32       |
| .281       | -1.015    | .141       | <b>-297</b>   | 1.29080        | 3.2933    | 988.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q33       |
| .281       | .151      | .141       | <b>-840</b>   | 1.08025        | 3.8833    | 1165.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q34       |
| .281       | -.269     | .141       | <b>-411</b>   | .96202         | 3.7600    | 1128.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q35       |
| .281       | 1.514     | .141       | <b>-1.733</b> | .96222         | 3.5233    | 1057.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q36       |
| .281       | .419      | .141       | <b>-856</b>   | .95341         | 3.9733    | 1192.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q37       |
| .281       | -.247     | .141       | <b>-666</b>   | 1.06164        | 3.8367    | 1151.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q38       |
| .281       | 2.200     | .141       | <b>-1.879</b> | 1.14178        | 4.4367    | 1331.00   | 5.00      | 1.00      | 300       | q39       |
| .281       | 1.246     | .141       | <b>1.633</b>  | .97945         | 2.5233    | 757.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q40       |
| .281       | -.376     | .141       | <b>.001</b>   | 1.03549        | 2.9633    | 889.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q41       |
| .281       | 1.741     | .141       | <b>1.742</b>  | 1.20705        | 1.6567    | 497.00    | 5.00      | 1.00      | 300       | q42       |

استفاده از تحلیل عاملی اکتشافی مناسب است. افزون بر این، طبق آزمون کرویت بارتلت<sup>۱۹</sup>، چون مقدار آن ( $\alpha = \text{Sig.}$ ) در جدول شماره ۴ کوچکتر از ۰,۰۵ درصد است، توانایی عاملی شدن تا اینجا تایید می‌شود.

جهت بررسی سایر شاخص‌های توانایی عاملی شدن مقدار KMO هر سؤال را از ماتریس Anti-Image Matrices مشاهده کرده و اگر اندازه نمونه مناسب باشد، در روی عناصر قطر اصلی قسمت دوم ماتریس Anti-Image Matrices در خروجی SPSS که وسط جدول خروجی آن یک خط کشیده شده است و تحت عنوان Anti-Image Correlation مشخص شده است، می‌توان مشاهده نمود که در بالای عدد آن حرف a نمایش داده شده است و تحت عنوان (Measures of Sampling Adequacy=MSA) است. اگر عدد آن از ۰,۵ بیشتر یا مساوی باشد، به معنی اینست که اندازه نمونه هر سؤال مناسب است و چنانچه کمتر از پنج‌ده درصد باشد، می‌توان با خارج کردن آن‌ها از تحلیل ادامه تحلیل را مورد توجه قرار داد. تمام عناصر به غیر از متغیر ۲۶، از ۵۰ درصد بیشتر هستند، که لازم شد متغیر ۲۶ از مجموعه متغیرها حذف گردد. بنابراین برای تمامی متغیرها به غیر از متغیر ۲۶، حجم نمونه کفایت می‌کند.

در جدول شماره ۴ میزان اشتراکات (اشتراکات اولیه<sup>۲۰</sup>)، برآورد واریانس در هر متغیر است که با تمام عوامل، تعیین می‌شوند. در تجزیه و تحلیل همبستگی، این مقدار برای استخراج عوامل اصلی همیشه برابر با ۱ است. مقادیر ستون Extraction، نشان‌دهنده نسبت واریانس هر متغیر است که می‌تواند توسط باقی عوامل حاصل گردد.

جدول ۴: میزان اشتراکات

|     | Initial | Extraction |
|-----|---------|------------|
| q1  | 1.000   | .625       |
| q2  | 1.000   | .700       |
| q3  | 1.000   | .617       |
| q4  | 1.000   | .644       |
| q6  | 1.000   | .614       |
| q7  | 1.000   | .604       |
| q8  | 1.000   | .705       |
| q11 | 1.000   | .583       |
| q12 | 1.000   | .663       |
| q14 | 1.000   | .678       |

19 Bartlett's Test of Sphericity  
۲۰ Initial communalities

تمامی متغیرهایی که در آزمون تقارن یا چولگی موفق نبودند از مجموعه متغیرها حذف می‌شوند.

قاعده کلی این است که مقدار آلفای کرونباخ<sup>۱۷</sup> یک پرسشنامه پرسشنامه بایستی حداقل به مقدار عددی ۷۰ درصد نزدیک باشد. در این تحقیق ضریب آلفای پرسشنامه ما با توجه به جدول شماره ۲ حدود ۷۲,۵ درصد است.

جدول ۲: بررسی پایایی

| Cronbach's Alpha | Cronbach's Alpha Based on Standardized Items | N of Items |
|------------------|--|------------|
| .725             | .727   | 30         |

همچنین ماتریس همبستگی که در مینان آن مخالف صفر است و برخی از همبستگی‌های متغیرها باهم از ۱۰ درصد بیشتر است، نشان از مناسب بودن داده‌ها جهت اجرای تحلیل عاملی دارد. با توجه به اینکه مقدار در مینان ماتریس همبستگی مخالف صفر است، بنابراین ماتریس معکوس همبستگی وجود دارد. ماتریس معکوس به این دلیل محاسبه شده است که نشان دهد ماتریس همبستگی قابلیت محاسبات ماتریسی را در نرم افزارهای SPSS و AMOS دارد و نرم افزارها با خطا مواجه نمی‌شوند.

#### ۲-۴-۲- آزمون‌های تناسب داده‌ها در تحلیل عاملی

در تحلیل عامل اولیه، اندازه میانگین کفایت نمونه‌گیری<sup>۱۸</sup> با KMO نمایش داده می‌شود. این شاخص یکی دیگر از طرق تعیین مناسب بودن مجموعه‌ای از متغیرها در ماتریس همبستگی برای تحلیل عاملی اکتشافی است. استفاده از شاخص KMO که شاخصی از کفایت نمونه‌گیری است و کوچک بودن همبستگی جزئی بین متغیرها را بررسی می‌کند. چنانچه مقدار این آماره بیش از ۰,۷۰ باشد، همبستگی‌های موجود برای تحلیل عاملی اکتشافی بسیار مناسب ارزیابی می‌شود.

جدول ۳: آزمون KMO و بارتلت

| Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy. |                    | .739     |
|--|--------------------|----------|
| Bartlett's Test of Sphericity                    | Approx. Chi-Square | 2733.507 |
|  | Df                 | 435      |
|  | Sig.               | .000     |

همانگونه که در جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود، در تحلیل عامل اولیه با توجه به اینکه اندازه میانگین کفایت نمونه‌گیری (KMO) حدود ۷۴ درصد است؛ لذا داده‌ها برای

17 Cronbach's Alpha  
۱۸ Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling



معکوس همبستگی پس از حذف متغیرها، آزمون KMO و بارتلت پس از حذف متغیرها و ماتریس آنتی‌ایمیچ پس از حذف متغیرها تهیه می‌شود. میزان اشتراکات پس از حذف متغیرها به شرح جدول شماره ۶ است.

جدول ۶: میزان اشتراکات پس از حذف متغیرها

|     | Initial | Extraction |
|-----|---------|------------|
| q1  | 1.000   | .627       |
| q2  | 1.000   | .743       |
| q3  | 1.000   | .623       |
| q4  | 1.000   | .650       |
| q6  | 1.000   | .617       |
| q7  | 1.000   | .653       |
| q8  | 1.000   | .725       |
| q11 | 1.000   | .581       |
| q12 | 1.000   | .679       |
| q14 | 1.000   | .681       |
| q16 | 1.000   | .716       |
| q17 | 1.000   | .745       |
| q18 | 1.000   | .679       |
| q20 | 1.000   | .620       |
| q22 | 1.000   | .680       |
| q23 | 1.000   | .532       |
| q24 | 1.000   | .651       |
| q25 | 1.000   | .564       |
| q28 | 1.000   | .512       |
| q32 | 1.000   | .573       |
| q33 | 1.000   | .703       |
| q34 | 1.000   | .695       |
| q35 | 1.000   | .716       |
| q37 | 1.000   | .703       |
| q38 | 1.000   | .727       |
| q41 | 1.000   | .556       |

Extraction Method: Principal Component Analysis.

حال که مشخص گردید متغیرها دارای اشتراکات مناسب و بالای ۰.۵ هستند، می‌توان در ادامه بررسی کرد که این متغیرها به چند دسته یا عامل تقسیم می‌گردند یا به عبارتی، به چند عامل تقلیل می‌یابند. جدول شماره ۷ تعداد ۸ عامل و مقدار واریانس کل تبیین شده برابر ۶۵,۱۹۹ را ارائه می‌کند.

|     | Initial | Extraction |
|-----|---------|------------|
| q16 | 1.000   | .716       |
| q17 | 1.000   | .734       |
| q18 | 1.000   | .645       |
| q19 | 1.000   | .488       |
| q20 | 1.000   | .579       |
| q22 | 1.000   | .641       |
| q23 | 1.000   | .495       |
| q24 | 1.000   | .617       |
| q25 | 1.000   | .513       |
| q28 | 1.000   | .530       |
| q29 | 1.000   | .423       |
| q30 | 1.000   | .372       |
| q32 | 1.000   | .562       |
| q33 | 1.000   | .711       |
| q34 | 1.000   | .679       |
| q35 | 1.000   | .705       |
| q37 | 1.000   | .565       |
| q38 | 1.000   | .665       |
| q41 | 1.000   | .520       |

Extraction Method: Principal Component Analysis.

با توجه به جدول شماره ۴ و همانطور که مشخص است، میزان اشتراکات متغیر ۳۰ کمتر از ۰.۵ است. به همین دلیل می‌بایست ابتدا این متغیر حذف گردد که کمترین میزان اشتراکات را دارد و سپس مجدد بررسی گردد. پس از حذف آن متغیر، متغیر ۲۹ کمترین مقدار را دارا است که حذف گردید. در نهایت، با حذف متغیر ۱۹ که میزان اشتراکات کمتر از ۰.۵ دارد، متغیرهای باقیمانده دارای میزان اشتراکات بیشتر از ۰.۵ هستند.

حال بعد از حذف متغیرها می‌بایست مجدد ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شود.

جدول ۵: ضریب آلفای کرونباخ پس از حذف متغیرها

| Cronbach's Alpha | Cronbach's Alpha Based on Standardized Items | N of Items |
|------------------|--|------------|
| .741             | .743   | 26         |

سپس ماتریس همبستگی پس از حذف متغیرها، ماتریس

جدول ۷: توان عاملی شدن متغیرها

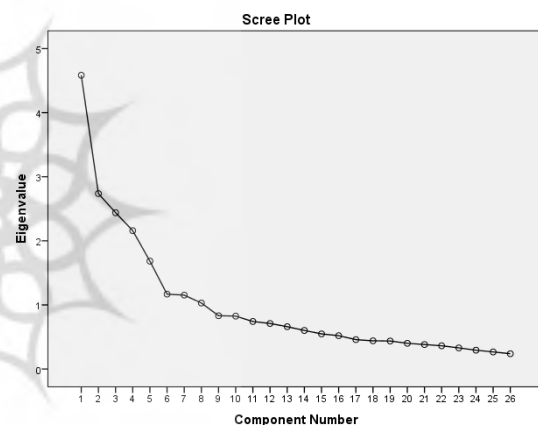
| Component | Initial Eigenvalues |               |              | Extraction Sums of Squared Loadings |               |              | Rotation Sums of Squared Loadings |               |              |
|-----------|---------------------|---------------|--------------|-------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
|           | Total               | % of Variance | Cumulative % | Total                               | % of Variance | Cumulative % | Total                             | % of Variance | Cumulative % |
| 1         | 4.584               | 17.630        | 17.630       | 4.584                               | 17.630        | 17.630       | 2.745                             | 10.560        | 10.560       |
| 2         | 2.737               | 10.527        | 28.158       | 2.737                               | 10.527        | 28.158       | 2.404                             | 9.247         | 19.806       |
| 3         | 2.439               | 9.381         | 37.539       | 2.439                               | 9.381         | 37.539       | 2.251                             | 8.657         | 28.463       |
| 4         | 2.158               | 8.302         | 45.841       | 2.158                               | 8.302         | 45.841       | 2.207                             | 8.490         | 36.953       |
| 5         | 1.683               | 6.474         | 52.315       | 1.683                               | 6.474         | 52.315       | 2.191                             | 8.428         | 45.382       |
| 6         | 1.168               | 4.492         | 56.807       | 1.168                               | 4.492         | 56.807       | 2.013                             | 7.743         | 53.125       |
| 7         | 1.152               | 4.432         | 61.239       | 1.152                               | 4.432         | 61.239       | 1.716                             | 6.601         | 59.726       |
| 8         | 1.029               | 3.959         | 65.199       | 1.029                               | 3.959         | 65.199       | 1.423                             | 5.473         | 65.199       |
| 9         | .832                | 3.200         | 68.399       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 10        | .825                | 3.174         | 71.573       |                                     |               |              |                                   |               |              |

| Component | Initial Eigenvalues |               |              | Extraction Sums of Squared Loadings |               |              | Rotation Sums of Squared Loadings |               |              |
|-----------|---------------------|---------------|--------------|-------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
|           | Total               | % of Variance | Cumulative % | Total                               | % of Variance | Cumulative % | Total                             | % of Variance | Cumulative % |
| 11        | .742                | 2.853         | 74.426       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 12        | .710                | 2.731         | 77.157       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 13        | .661                | 2.541         | 79.698       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 14        | .601                | 2.313         | 82.011       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 15        | .548                | 2.107         | 84.118       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 16        | .520                | 2.000         | 86.119       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 17        | .459                | 1.765         | 87.884       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 18        | .440                | 1.693         | 89.577       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 19        | .437                | 1.680         | 91.257       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 20        | .401                | 1.543         | 92.800       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 21        | .382                | 1.468         | 94.269       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 22        | .362                | 1.393         | 95.661       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 23        | .330                | 1.267         | 96.929       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 24        | .294                | 1.130         | 98.059       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 25        | .266                | 1.024         | 99.083       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 26        | .238                | .917          | 100.000      |                                     |               |              |                                   |               |              |

Extraction Method: Principal Component Analysis.

برای اینکه رابطه بین متغیرها و عامل‌ها به حداکثر برسد، باید محورها چرخانده شوند. از طریق چرخش عامل‌ها بهترین ترکیب آیت‌ها و ساختار عاملی ایجاد می‌شود. عمده‌ترین هدف در چرخش عامل‌ها، تحول ساختار عاملی به یک ساختار ساده از بار عاملی است که به سادگی بتوان مورد تفسیر قرار داد. تفسیر عامل‌های ماتریس چرخش یافته بسیار ساده‌تر از تفسیر عامل‌های ماتریس چرخش نیافته است. روش‌شناسان پیشنهاد می‌کنند که حداقل ۳ تا ۵ متغیر سنجش شده باید یک عامل مشترک را بازنمایی کنند. کلاین نیز معتقد است که برای مشخص کردن عامل، حداقل ۳ متغیر لازم است و عامل‌ها باید از اعتبار کافی برخوردار باشد (Kline, 2014).

نمودار سنگریزه‌ای شماره ۱، مقادیر ویژه را برای هر عامل و ۸ عامل که از عدد یک بیشتر هستند را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمودار سنگریزه

جدول ۸: بارهای عاملی بعد از اجرای چرخش

|     | Component |      |      |      |      |   |      |       |
|-----|-----------|------|------|------|------|---|------|-------|
|     | 1         | 2    | 3    | 4    | 5    | 6 | 7    | 8     |
| q12 | .801      |      |      |      |      |   |      |       |
| q14 | .785      |      |      |      |      |   |      |       |
| q7  | .760      |      |      |      |      |   |      |       |
| q20 | .624      |      |      |      |      |   | .336 |       |
| q24 |           | .742 |      |      |      |   |      |       |
| q23 |           | .698 |      |      |      |   |      |       |
| q25 |           | .684 |      |      |      |   |      |       |
| q22 |           | .629 |      |      |      |   |      | -.476 |
| q28 |           | .602 |      |      |      |   |      |       |
| q35 |           |      | .838 |      |      |   |      |       |
| q34 |           |      | .816 |      |      |   |      |       |
| q33 |           |      | .779 |      |      |   |      |       |
| q2  |           |      |      | .832 |      |   |      |       |
| q1  |           |      |      | .759 |      |   |      |       |
| q4  |           |      |      | .748 |      |   |      |       |
| q17 |           |      |      |      | .832 |   |      |       |

|     | Component |   |   |      |      |      |      |      |
|-----|-----------|---|---|------|------|------|------|------|
|     | 1         | 2 | 3 | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| q16 |           |   |   |      | .762 |      |      |      |
| q18 |           |   |   |      | .748 |      |      |      |
| q8  |           |   |   |      |      | .806 |      |      |
| q11 |           |   |   |      |      | .679 |      |      |
| q3  |           |   |   |      |      | .671 |      |      |
| q6  | .382      |   |   | .381 |      | .391 | .362 |      |
| q37 |           |   |   |      |      |      | .784 |      |
| q38 |           |   |   |      |      |      | .738 |      |
| q41 |           |   |   |      |      |      |      | .705 |
| q32 |           |   |   |      |      |      |      | .645 |

Extraction Method: Principal Component Analysis.  
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.  
a. Rotation converged in 7 iterations.

باتوجه به ماتریس چرخش یافته می‌توان متغیرها را در جدول شماره ۹ به عوامل کشف شده تقلیل داد و نامگذاری کرد. عواملی که دارای حداقل سه متغیر هستند را می‌توان در نظر گرفت و عواملی که تعداد کمتر از ۳ متغیر دارند، حذف می‌گردند.

جدول ۹: نامگذاری عوامل شناسایی شده

| شماره عامل | نام عامل (فارسی) | نام عامل (انگلیسی)      | شماره متغیرها                |
|------------|------------------|-------------------------|------------------------------|
| عامل ۱     | امنیت و بقا      | Safety and Survival     | متغیرهای ۷، ۱۲، ۱۴ و ۲۰      |
| عامل ۲     | وضعیت زمین       | State of the Zone       | متغیرهای ۲۳ تا ۲۵            |
| عامل ۳     | شرایط اقلیمی     | Climate                 | متغیرهای ۱، ۲ و ۴            |
| عامل ۴     | محیط اطراف       | Surrounding Environment | متغیرهای ۱۶ تا ۱۸            |
| عامل ۵     | تغییرات اقتصادی  | Economic Changes        | متغیرهای ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۸ |
| عامل ۶     | درآمد و هزینه    | Income and Expenses     | متغیرهای ۳، ۶، ۸ و ۱۱        |

**۳-۴- تحلیل عاملی اکتشافی مرتبه دوم**  
در این بخش می‌خواهیم ببینیم که عامل‌های اکتشافی، خود روی یک عامل یا چند عامل تاثیر خواهند گذاشت. لذا با استفاده از نرم افزار SPSS و تحلیل اکتشافی صورت گرفته، تحلیل عاملی مرتبه دوم صورت می‌گیرد. در این قسمت مجدد مانند بخش قبل تحلیل عامل اکتشافی روی عامل‌های کشف شده صورت می‌گیرد. با توجه به جدول شماره ۱۰، تمامی عامل‌ها دارای تقارن هستند. به عبارت دیگر، قدرمطلق مقدار چولگی آن‌ها کمتر از ۱ است.

جدول ۱۰: بررسی شرط تقارن عامل‌ها

|                    | N   | Minimum | Maximum | Mean  | Std. Deviation | Skewness  |            | Kurtosis  |            |
|--------------------|-----|---------|---------|-------|----------------|-----------|------------|-----------|------------|
|                    |     |         |         |       |                | Statistic | Std. Error | Statistic | Std. Error |
| امنیت و بقا        | 300 | -7.30   | 3.12    | .0000 | 2.18772        | -.625     | .141       | -.118     | .281       |
| وضعیت زمین         | 300 | -5.49   | 2.74    | .0000 | 1.90297        | -.446     | .141       | -.421     | .281       |
| شرایط اقلیمی       | 300 | -5.57   | 2.21    | .0000 | 1.74842        | -.599     | .141       | -.308     | .281       |
| محیط اطراف         | 300 | -5.44   | 3.00    | .0000 | 1.79554        | -.432     | .141       | -.167     | .281       |
| تغییرات اقتصادی    | 300 | -6.12   | 4.05    | .0000 | 1.95182        | -.404     | .141       | -.160     | .281       |
| درآمد و هزینه      | 300 | -6.83   | 2.94    | .0000 | 1.81410        | -.505     | .141       | .412      | .281       |
| Valid N (listwise) | 300 |         |         |       |                |           |            |           |            |

مقدار آلفای کرونباخ آن حداقل ۰٫۶ نیست؛ به همین دلیل با توجه به جدول مرتبط با آلفای کرونباخ در صورت حذف متغیر، می‌توان این مقدار آلفای کرونباخ را به حداقل ۰٫۶ رساند.

جدول ۱۱: بررسی پایایی آلفای کرونباخ

| Cronbach's Alpha | Cronbach's Alpha Based on Standardized Items | N of Items |
|------------------|--|------------|
| .374             | .378   | 6          |

جدول ۱۲: آلفای کرونباخ در صورت حذف هر متغیر

|                 | Scale Mean if Item Deleted | Scale Variance if Item Deleted | Corrected Item-Total Correlation | Squared Multiple Correlation | Cronbach's Alpha if Item Deleted |
|-----------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| امنیت و بقا     | .0000                      | 20.373                         | .328                             | .158                         | .207                             |
| وضعیت زمین      | .0000                      | 29.087                         | -.052                            | .021                         | .469                             |
| شرایط اقلیمی    | .0000                      | 22.793                         | .347                             | .220                         | .223                             |
| محیط اطراف      | .0000                      | 25.072                         | .186                             | .115                         | .324                             |
| تغییرات اقتصادی | .0000                      | 28.635                         | -.039                            | .010                         | .465                             |
| درآمد و هزینه   | .0000                      | 22.379                         | .348                             | .288                         | .217                             |

جدول ۱۴: آزمون KMO و بارتلت

|  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy. |                    | .637    |
| Bartlett's Test of Sphericity                    | Approx. Chi-Square | 102.764 |
|  | Df                 | 3       |
|  | Sig.               | .000    |

مقدار KMO برای کفایت حجم نمونه بالای ۵۰ درصد است که این نشان از خوب بودن برازش در این قسمت است. آزمون کرویت بارتلت هم فرض اینکه ماتریس همبستگی برابر ماتریس همانی است را رد می‌نماید. بنابراین شاخص‌های KMO و بارتلت، هر دو مناسبند و تحلیل را می‌توان ادامه داد.

با توجه به جدول شماره ۱۲، حذف سه عامل وضعیت زمین، تغییرات اقتصادی و محیط اطراف بیشترین مقدار را برای آلفای کرونباخ دارند. اگر این سه عامل به ترتیب از بیشترین مقدار آلفای کرونباخ تا کمترین به گونه‌ای که عامل وضعیت زمین در مرتبه اول، عامل تغییرات اقتصادی در مرتبه دوم و در نهایت عامل محیط اطراف حذف گردند، مقدار آلفای کرونباخ در هر مرحله به ترتیب ۰،۴۶۹، ۰،۵۹۶ و ۰،۶۱ بدست می‌آید که در نهایت مقدار آلفای کرونباخ به ۰،۶۱ می‌رسد که بیشتر از ۰،۶ است.

جدول ۱۳: بررسی پایایی آلفای کرونباخ پس از حذف سه عامل

| Cronbach's Alpha | Cronbach's Alpha Based on Standardized Items | N of Items |
|------------------|--|------------|
| .610             | .620   | 3          |

جدول ۱۵: ماتریس آنتی ایمیج

|                        | امنیت و بقا       | شرایط اقلیمی      | درآمد و هزینه     |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Anti-image Covariance  | .851              | -.200             | -.162             |
| امنیت و بقا            |                   |                   |                   |
| شرایط اقلیمی           | -.200             | .782              | -.270             |
| درآمد و هزینه          | -.162             | -.270             | .799              |
| Anti-image Correlation | .680 <sup>a</sup> | -.245             | -.197             |
| امنیت و بقا            |                   |                   |                   |
| شرایط اقلیمی           | -.245             | .616 <sup>a</sup> | -.342             |
| درآمد و هزینه          | -.197             | -.342             | .628 <sup>a</sup> |

a. Measures of Sampling Adequacy(MSA)

|               |       |      |
|---------------|-------|------|
| شرایط اقلیمی  | 1.000 | .616 |
| درآمد و هزینه | 1.000 | .586 |

Extraction Method: Principal Component Analysis.

#### ۴-۴- تحلیل عاملی تأییدی

در تحلیل عاملی تأییدی توجه به برازش مدل نیز مهم است. شاخص‌های برازش رایج در مدل‌های اندازه‌گیری برای متغیرهای مکنون تحقیق در زیر هر مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری ارائه

عناصر روی قطر اصلی ماتریس Anti-Image همه عامل‌ها بیشتر از ۰،۵ است که نشان از کفایت حجم نمونه برای هر عامل را دارد. حداقل میزان اشتراکات در جدول شماره ۱۶، ۰،۵۰۴ است که چون بیشتر از ۰،۵ است، نیاز به حذف آن نیست.

جدول ۱۶: میزان اشتراکات عامل‌ها

|             | Initial | Extraction |
|-------------|---------|------------|
| امنیت و بقا | 1.000   | .504       |

شده است. در میان شاخص‌های برازش اگر نسبت کای دو به درجه آزادی کمتر از ۲ باشد و P-value بیشتر از ۵ درصد باشد، مدل از برازش مناسبی برخوردار است. شاخص RMSEA کمتر از ۰/۵ مطلوب است. برخی شاخص‌ها نیز هر چقدر به یک نزدیکتر باشند، مطلوب‌ترند (Ghasemi, 2013).

در ادامه، سازه‌های اندازه‌گیری برای هر عامل به صورت مجزا و اشکال مرتبط با این تحلیل‌ها و نیز شاخص‌ها و نتایج تحلیل عاملی تاییدی تهیه شده است. در این مرحله از پژوهش برای تعیین نرمال بودن، ابتدا از آزمون ضریب مردیا جهت تعیین نرمال بودن چند متغیره داده‌ها استفاده گردید که برازش مناسبی را به همراه نداشت و لازم شد که مدل در سازه بزرگتر مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۱۸: ارزیابی نرمال بودن

| Variable     | min  | max  | skew   | c.r.  | kurtosis | c.r.  |
|--------------|------|------|--------|-------|----------|-------|
| q8           | 1.00 | 5.00 | -0.447 | 2.815 | -0.319   | 1.004 |
| q11          | 2.00 | 5.00 | -0.308 | 1.937 | -0.752   | 2.369 |
| q3           | 2.00 | 5.00 | -0.412 | 2.597 | -0.354   | 1.115 |
| q6           | 2.00 | 5.00 | -0.514 | 3.240 | -0.738   | 2.325 |
| q2           | 2.00 | 5.00 | -0.746 | 4.698 | -0.081   | 0.255 |
| q1           | 1.00 | 5.00 | -0.611 | 3.847 | -0.309   | 0.972 |
| q4           | 2.00 | 5.00 | -0.659 | 4.148 | -0.517   | 1.628 |
| q20          | 2.00 | 5.00 | -0.694 | 4.368 | -0.217   | 0.684 |
| q12          | 2.00 | 5.00 | -0.662 | 4.171 | -0.081   | 0.256 |
| q14          | 1.00 | 5.00 | -0.450 | 2.836 | -0.603   | 1.899 |
| q7           | 1.00 | 5.00 | -0.732 | 4.610 | 0.200    | 0.631 |
| Multivariate |      |      |        |       | 5.431    | 2.477 |

"ضریب مردیا" (۵,۴۳۱) در سطر آخر و قدر مطلق مقدار بحرانی آن (۲,۴۷۷) که کمتر از ۲/۵۸ است. بنابراین توزیع نرمال

در ادامه، سازه‌های اندازه‌گیری برای هر عامل به صورت مجزا و اشکال مرتبط با این تحلیل‌ها و نیز شاخص‌ها و نتایج تحلیل عاملی تاییدی تهیه شده است. در این مرحله از پژوهش برای تعیین نرمال بودن، ابتدا از آزمون ضریب مردیا جهت تعیین نرمال بودن چند متغیره داده‌ها استفاده گردید که برازش مناسبی را به همراه نداشت و لازم شد که مدل در سازه بزرگتر مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۱۷: ارزیابی نرمال بودن

| Variable     | Min  | Max  | skew   | c.r.  | kurtosis | c.r.   |
|--------------|------|------|--------|-------|----------|--------|
| q8           | 1.00 | 5.00 | -0.519 | 3.670 | -0.231   | 0.818  |
| q11          | 1.00 | 5.00 | -0.567 | 4.011 | 0.197    | 0.695  |
| q3           | 1.00 | 5.00 | -0.881 | 6.229 | 0.638    | 2.257  |
| q6           | 1.00 | 5.00 | -0.538 | 3.807 | 0.615    | 2.173  |
| q2           | 1.00 | 5.00 | -0.909 | 6.424 | 0.409    | 1.446  |
| q1           | 1.00 | 5.00 | -0.785 | 5.548 | 0.004    | 0.013  |
| q4           | 1.00 | 5.00 | -0.658 | 4.653 | 0.374    | 1.321  |
| q20          | 1.00 | 5.00 | -0.838 | 5.928 | 0.107    | 0.380  |
| q12          | 1.00 | 5.00 | -0.822 | 5.812 | 0.230    | 0.815  |
| q14          | 1.00 | 5.00 | -0.570 | 4.031 | 0.440    | 1.557  |
| q7           | 1.00 | 5.00 | -0.771 | 5.454 | 0.036    | 0.128  |
| Multivariate |      |      |        |       | 32.755   | 16.774 |

قدر مطلق نسبت‌های بحرانی کجی و کشیدگی متغیرها در جدول شماره ۱۷، از ۲/۵۸ بیشتر است. لذا متغیرهای فوق نرمال نیست. "ضریب مردیا" (۳۲,۷۵۵) در سطر آخر و قدر مطلق

چندمتغیره وجود دارد. برای "مشخص بودن مدل" دارا بودن دو شرط به نام‌های "شرط رتبه" و "شرط مرتبه" ضرورت دارد. این مدل شرط رتبه را دارا است؛ زیرا درجه آزادی مدل باید صفر یا مثبت باشد که با توجه به خروجی جدول شماره ۱۹ عدد ۴۱ است:

جدول ۱۹: محاسبه درجه آزادی

|  |    |
|--|----|
| Number of distinct sample moments:             | 66 |
| Number of distinct parameters to be estimated: | 25 |
| Degrees of freedom (66 - 25):                  | 41 |

این مدل نیز شرط مرتبه را داراست؛ زیرا انجام عملیات محاسباتی در جبر ماتریس‌ها به‌منظور برآورد پارامترها و باز تولید ماتریس واریانس - کوواریانس متغیرهای مشاهده شده امکان‌پذیر شده است. در ادامه به محاسبه شاخص‌های برازش پرداخته و سپس تفسیر نتایج حاصل از محاسبات انجام شده توسط برنامه Amos آورده خواهد شد.

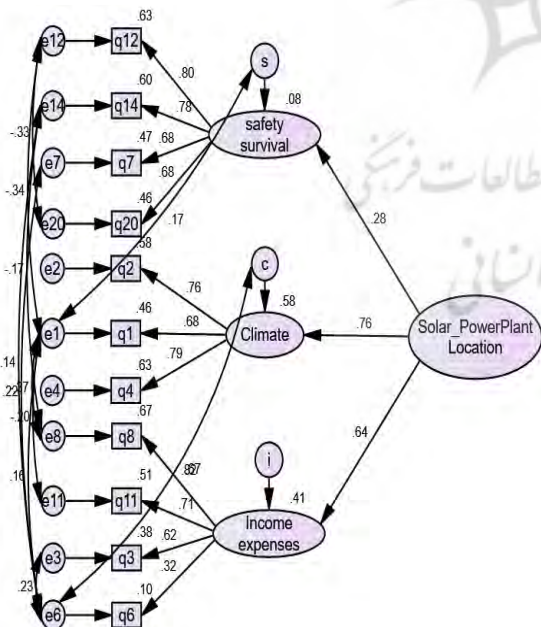
جدول ۲۰: شاخص کای اسکور مدل CMIN

| Model              | NPAR | CMIN    | DF | P    | CMIN/DF |
|--------------------|------|---------|----|------|---------|
| Default model      | 25   | 166.349 | 41 | .000 | 4.057   |
| Saturated model    | 66   | .000    | 0  | .000 |         |
| Independence model | 11   | 975.169 | 55 | .000 | 17.730  |

جدول ۲۴: Covariances (Group number 1 - Default model)

|             | M.I.   | Par Change |
|-------------|--------|------------|
| e11 <--> e8 | 13.499 | .118       |
| e6 <--> I   | 18.244 | -.162      |
| e6 <--> C   | 39.793 | .224       |
| e6 <--> S   | 11.966 | .123       |
| e6 <--> e11 | 11.370 | -.138      |
| e1 <--> e8  | 15.064 | -.126      |
| e1 <--> e6  | 22.796 | .191       |

لازم به ذکر است که این تغییرات (همبسته کردن خطاها به‌منظور بهتر کردن شاخص‌ها) طی چند مرحله صورت گرفته است و نتیجه بهینه شده نهایی و مدل اصلاح شده نهایی به صورت شکل شماره ۲ آمده است:



شکل ۲: مدل معادلات ساختاری پژوهش - مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی اصلاح شده نهایی با ضرایب استاندارد

پس از اصلاح مدل می‌بایست مجدداً شاخص‌های برازش را بررسی کرد و در انتها آنها را تفسیر نمود.

جدول ۲۱: شاخص‌های برازش تطبیقی یا نسبی Baseline Comparisons

| Model              | NFI Delta 1 | RFI rho 1 | IFI Delta 2 | TLI rho 2 | CFI   |
|--------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------|
| Default model      | .829        | .771      | .866        | .817      | .864  |
| Saturated model    | 1.000       |           | 1.000       |           | 1.000 |
| Independence model | .000        | .000      | .000        | .000      | .000  |

جدول ۲۲: شاخص‌های برازش مقتصد Parsimony-Adjusted Measures

| Model              | PRATIO | PNFI | PCFI |
|--------------------|--------|------|------|
| Default model      | .745   | .618 | .644 |
| Saturated model    | .000   | .000 | .000 |
| Independence model | 1.000  | .000 | .000 |

جدول ۲۳: RMSEA

| Model              | RMSEA | LO 90 | HI 90 | PCLOSE |
|--------------------|-------|-------|-------|--------|
| Default model      | .114  | .096  | .132  | .000   |
| Independence model | .266  | .251  | .280  | .000   |

نسبت کای اسکور این مدل به درجه آزادی آن برابر

| وزن  |               |      |
|------|---------------|------|
| .681 | امنیت و بقا   | <--- |
| .794 | شرایط اقلیمی  | <--- |
| .678 | شرایط اقلیمی  | <--- |
| .762 | شرایط اقلیمی  | <--- |
| .322 | درآمد و هزینه | <--- |
| .617 | درآمد و هزینه | <--- |
| .711 | درآمد و هزینه | <--- |
| .819 | درآمد و هزینه | <--- |

به همین منظور، حال می‌توان با استفاده از روابط و مدل کشف شده‌ای که به‌وسیله تحلیل عاملی تاییدی مورد تایید قرار گرفته را برای ورودی رویکرد تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در نظر گرفت.

#### ۴-۵- تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

در این بخش، ماتریس‌ها از طریق نظرسنجی از خبرگان تکمیل شده است. در نهایت ماتریس‌های مقایسه زوجی حاصل آمده که می‌توان آنها در جداول شماره ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳ مشاهده نمود. لازم به ذکر است که به منظور اعتبارسنجی این ماتریس‌ها از شاخص ناسازگاری استفاده می‌گردد. این شاخص به همراه ماتریس‌های مقایسه زوجی ارائه شده‌اند که بایست کمتر از ۰,۱ باشند.

#### جدول ۳۰: ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف

| امنیت و بقا | شرایط اقلیمی | درآمد و هزینه  |
|-------------|--------------|----------------|
| ۲           | ۲            | ۱              |
| ۱           | ۱            | ۰,۵            |
| ۱           | ۱            | ۰,۵            |
|             |              | شاخص ناسازگاری |

#### جدول ۳۱: ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارها نسبت به معیار امنیت و بقا

| پایداری زمین | حمایت‌های دولت | ظرفی ت | امنیت سیستم    |
|--------------|----------------|--------|----------------|
| ۰,۳۳         | ۰,۳۳           | ۱      | ۱              |
| ۰,۳۳         | ۰,۲۵           | ۱      | ۱              |
| ۲            | ۱              | ۴      | ۳              |
| ۱            | ۰,۵            | ۳      | ۳              |
|              |                |        | شاخص ناسازگاری |

#### جدول ۳۲: ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارها نسبت به معیار شرایط اقلیمی

| سرعت باد | شیب زمین | میزان ساعات آفتابی |
|----------|----------|--------------------|
| ۱        | ۲        | ۱                  |
| ۰,۵      | ۱        | ۰,۵                |

#### جدول ۲۵: شاخص کای اسکوتر مدل CMIN

| Model              | NPARG | CMIN    | DF | P    | CMIN/DF |
|--------------------|-------|---------|----|------|---------|
| Default model      | 36    | 41.870  | 30 | .073 | 1.396   |
| Saturated model    | 66    | .000    | 0  |      |         |
| Independence model | 11    | 975.169 | 55 | .000 | 17.730  |

#### جدول ۲۶: شاخص‌های برازش تطبیقی یا نسبی Baseline

| Model              | Comparisons |         |           |         |       |
|--------------------|-------------|---------|-----------|---------|-------|
|                    | NFI Delta   | RFI rho | IFI Delta | TLI rho | CFI   |
| Default model      | 1           | 1       | 2         | 2       |       |
| Default model      | .957        | .921    | .987      | .976    | .987  |
| Saturated model    | 1.000       |         | 1.000     |         | 1.000 |
| Independence model | .000        | .000    | .000      | .000    | .000  |

#### جدول ۲۷: شاخص‌های برازش مقتصد Parsimony-Adjusted Measures

| Model              | PRATIO | PNFI | PCFI |
|--------------------|--------|------|------|
| Default model      | .545   | .522 | .538 |
| Saturated model    | .000   | .000 | .000 |
| Independence model | 1.000  | .000 | .000 |

#### جدول ۲۸: RMSEA

| Model              | RMSEA | LO 90 | HI 90 | PCLOSE |
|--------------------|-------|-------|-------|--------|
| Default model      | .041  | .000  | .068  | .678   |
| Independence model | .266  | .251  | .280  | .000   |

نسبت کای اسکوتر این مدل به درجه آزادی آن برابر  $CMIN/DF=1.396$  که کمتر از ۲ است و می‌توان آن را مقدار مطلوبی در نظر گرفت؛ چونکه مقدار P-value آن بیشتر از ۰,۰۵ شده است. حداقل سه مورد از شاخص‌های برازش تطبیقی بیشتر از ۹۰ درصد و شاخص‌های مقتصد بیشتر از ۵۰ درصد هستند. شاخص RMSEA کمتر از ۵ درصد، ۰,۰۴۱ شده است. مدل نیز به دلیل شاخص‌های مقتصد، به صرفه است. می‌توان بیان کرد که زیرمعیارهای سه عامل امنیت و بقا، شرایط اقلیمی و درآمد و هزینه روابط معنی‌داری با عامل‌های خود دارند. در نهایت می‌توان ضرایب استاندارد زیرمعیارها را به‌صورت زیر نشان داد:

#### جدول ۲۹: ضرایب استاندارد

| وزن  |             |      |
|------|-------------|------|
| .682 | امنیت و بقا | <--- |
| .776 | امنیت و بقا | <--- |
| .796 | امنیت و بقا | <--- |

جدول ۳۶: وزن زیرمعیارهای معیار شرایط اقلیمی

| معیارها            | وزن |
|--------------------|-----|
| میزان ساعات آفتابی | ۰.۴ |
| شیب زمین           | ۰.۲ |
| سرعت باد           | ۰.۴ |

جدول ۳۷: وزن زیرمعیارهای معیار درآمد و هزینه

| معیارها                   | وزن     |
|---------------------------|---------|
| هزینه زمین                | ۰.۱۲۳۵۲ |
| تقاضا                     | ۰.۵۱۰۶۶ |
| دوره بازگشت سرمایه        | ۰.۲۱۷۶۸ |
| نزدیکی به شبکه انتقال برق | ۰.۱۴۸۱۵ |

جدول ۳۸: وزن محاسبه شده نهایی زیرمعیارها توسط AHP

| Name                      | Normalized by Cluster | Limiting |
|---------------------------|-----------------------|----------|
| مکانیابی نیروگاه خورشیدی  | 0.00000               | 0.000000 |
| امنیت و بقا               | 0.25000               | 0.125000 |
| درآمد و هزینه             | 0.50000               | 0.250000 |
| شرایط اقلیمی              | 0.25000               | 0.125000 |
| نزدیکی به شبکه انتقال برق | 0.07407               | 0.037036 |
| دوره بازگشت سرمایه        | 0.10884               | 0.054419 |
| تقاضا                     | 0.25533               | 0.127665 |
| میزان ساعات آفتابی        | 0.10000               | 0.050000 |
| شیب زمین                  | 0.05000               | 0.025000 |
| امنیت سیستم               | 0.03013               | 0.015067 |
| حمایت‌های دولت            | 0.11606               | 0.058030 |
| ظرفیت                     | 0.02774               | 0.013872 |
| پایداری زمین              | 0.07606               | 0.038030 |
| سرعت باد                  | 0.10000               | 0.050000 |
| هزینه زمین                | 0.06176               | 0.030880 |

در نهایت با استفاده از فرمول زیر می‌توان وزن نهایی

زیرمعیارها را برای مرحله بعدی محاسبه نمود.

$$w'_j = \frac{w_j \lambda_j}{\sum_{j=1}^n w_j \lambda_j} \quad (1)$$

که در آن  $w_j$  مرتبط با وزن‌های بدست آمده از روش معادلات

ساختاری و  $\lambda_j$  نشان دهنده وزن‌های حاصله از روش AHP است.

جدول ۳۹: وزن نهایی زیرمعیارها

| وزن   | هزینه زمین | تقاضا | دوره بازگشت سرمایه | نزدیکی به شبکه انتقال برق | میزان ساعات آفتابی | شیب زمین | سرعت باد | امنیت سیستم | ظرفیت | حمایت‌های دولت | پایداری زمین |
|-------|------------|-------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------|----------|-------------|-------|----------------|--------------|
| $w_1$ | ۰.۸۱۹      | ۰.۷۱۱ | ۰.۶۱۷              | ۰.۳۲۲                     | ۰.۷۹۴              | ۰.۶۷۸    | ۰.۷۶۲    | ۰.۶۸۲       | ۰.۷۷۶ | ۰.۷۹۶          | ۰.۶۸۱        |
| $w_2$ | ۰.۰۶۱۷     | ۰.۲۵۵ | ۰.۱۰۸۸۴            | ۰.۰۷۴۰۷                   | ۰.۱                | ۰.۰۵     | ۰.۱      | ۰.۰۳۰۱۳     | ۰.۰۲۷ | ۰.۱۱۶۰۶        | ۰.۰۷۶۰۶      |

| سرعت باد       | ۱ | ۲ | ۱ |
|----------------|---|---|---|
| شاخص ناسازگاری | ۰ |   |   |

جدول ۳۳: ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارها نسبت به معیار درآمد و

هزینه

| نزدیکی به شبکه انتقال برق | دوره بازگشت سرمایه | تقاضا | هزینه زمین |
|---------------------------|--------------------|-------|------------|
| ۱                         | ۰.۳۳               | ۰.۳۳  | ۱          |
| ۴                         | ۳                  | ۱     | ۳          |
| ۱                         | ۱                  | ۰.۳۳  | ۳          |
| ۱                         | ۱                  | ۰.۲۵  | ۱          |
| شاخص ناسازگاری            | ۰.۰۶۱۷۵            |       |            |

با توجه به اینکه از سطح ۱ یا همان هدف به هریک از معیارهای سطح ۲ ارتباط وجود دارد و همچنین براساس ماتریس مقایسه زوجی این سطح، می‌توان وزن‌های هریک از معیارها را نسبت به هدف به صورت جدول شماره ۳۴ نشان داد.

جدول ۳۴: وزن معیارها نسبت به هدف

| معیارها       | وزن  |
|---------------|------|
| درآمد و هزینه | ۰.۵  |
| شرایط اقلیمی  | ۰.۲۵ |
| امنیت و بقا   | ۰.۲۵ |

با توجه به اینکه از سطح ۲ یا همان معیارها به هریک از زیرمعیارهای سطح ۳ ارتباط وجود دارد و همچنین براساس ماتریس مقایسه زوجی می‌توان وزن‌های هریک از زیرمعیارها را نسبت به معیار خود به صورت جداول شماره ۳۵، ۳۶، ۳۷ و ۳۸ نشان داد.

جدول ۳۵: وزن زیرمعیارهای معیار امنیت و بقا

| معیارها        | وزن     |
|----------------|---------|
| امنیت سیستم    | ۰.۱۲۰۵۴ |
| ظرفیت          | ۰.۱۱۰۹۸ |
| حمایت‌های دولت | ۰.۴۶۴۲۴ |
| پایداری زمین   | ۰.۳۰۴۲۴ |



|              |          |              |              |             |              |         |          |          |              |              |           |
|--------------|----------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------|----------|----------|--------------|--------------|-----------|
| ۰,۰۷۴۱۱<br>۴ | ۰,۱۳۲۱۸۸ | ۰,۰۳۰<br>۸۰۱ | ۰,۰۲۹۴۰<br>۲ | ۰,۱۰۹<br>۳۱ | ۰,۰۴۸۵<br>۰۶ | ۰,۱۱۳۶۱ | ۰,۰۳۴۱۲۷ | ۰,۰۹۶۰۸۸ | ۰,۲۵۹<br>۷۵۷ | ۰,۰۷۲۳<br>۷۵ | نها<br>بی |
|--------------|----------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------|----------|----------|--------------|--------------|-----------|

### ۵- رتبه‌بندی استان‌های منتخب

برای رتبه‌بندی استان‌های منتخب در جهات گوناگون جغرافیایی کشور، از روش واسپاس WASPAS بهره گرفته می‌شود که روشی ترکیبی از دو مدل WSM (مدل مجموع وزنی) و WPM (مدل محصول وزنی) است. از طرفی مراکز استان‌ها به همراه جهت جغرافیایی آن‌ها در جدول شماره ۴۰ ارائه شده‌اند.

جدول ۴۰- مراکز استان‌ها به همراه جهت جغرافیایی

| گزینه | جهت جغرافیایی | استان منتخب  |
|-------|---------------|--------------|
| A1    | شرق           | خراسان جنوبی |
| A2    | غرب           | ایلام        |

جدول ۴۱: ماتریس تصمیم نرمال شده<sup>۲۱</sup>

| وزن      | هزینه زمین (هزار تومان) | تقاضا | دوره بازگشت سرمایه | نزدیکی به شبکه انتقال برق (km) | میزان ساعات آفتابی (h) | شیب زمین (%) | سرعت باد (m/s) | امنیت سیستم | ظرفیت (مگاوات آمپر) | حمایت‌ه ای دولت | پایداری زمین |
|----------|-------------------------|-------|--------------------|--------------------------------|------------------------|--------------|----------------|-------------|---------------------|-----------------|--------------|
| ۰,۰۷۲۳۷۵ | ۰,۰۲۵                   | ۹۷۵   | ۰,۰۹۶۰۸۸           | ۰,۰۳۴۱۲۷                       | ۰,۱۱۳۶۱                | ۰,۰۴۸۵۰۶     | ۰,۱۰۹۰۳۱       | ۰,۰۲۹۴۰۲    | ۰,۰۳۰۸۰۱            | ۰,۱۳۲۱۸۸        | ۰,۰۷۴۱۱۴     |
| A1       | ۰,۷۰۶۶۶۷                | ۱     | ۰,۸۶۹۷۶۷           | ۰,۵                            | ۰,۹۸۳۹۵                | ۰,۱۶۶۶۶۷     | ۰,۴            | ۰,۸۴۴۷۳۲    | ۰,۲۲۰۸۳             | ۰,۹۳۸۸۶         | ۰,۹۷۹۷۹      |
| A2       | ۰,۶۹۲۸۱                 | ۰,۲۵  | ۰,۹۷۱۴۲۹           | ۰,۸                            | ۰,۸۹۴۳                 | ۰,۲۸۵۷۱۴     | ۰,۷۵           | ۰,۹۵۷۴۸۶    | ۰,۱۳۵۹۹۳            | ۰,۹۶۷۹۷         | ۰,۹۸۹۸۹      |
| A3       | ۰,۶۶۴۵۷۷                | ۰,۵   | ۱                  | ۱                              | ۰,۶۱۱۲۸                | ۰,۵          | ۰,۶۷۵          | ۰,۸۷۶۱۵۵    | ۱                   | ۰,۹۸۵۴۴         | ۱            |
| A4       | ۰,۳۸۳۳۶۳                | ۰,۷۵  | ۰,۹۳۵              | ۱                              | ۰,۹۳۶۶۹                | ۰,۶۶۶۶۶۷     | ۰,۵۵           | ۰,۹۲۰۵۱۸    | ۰,۵۸۳۴۱             | ۰,۹۶۳۶۱         | ۰,۹۲۹۲۹      |
| A5       | ۰,۴۹۶۴۸۷                | ۰,۲۵  | ۰,۹۷۶۵۰۱           | ۱                              | ۰,۸۳۱۲۸                | ۰,۵          | ۰,۵۷۵          | ۰,۹۵۵۶۳۸    | ۰,۴۵۶۸۶۸            | ۱               | ۰,۹۰۹۰۹      |
| A6       | ۰,۵۸۲۴۱۸                | ۰,۲۵  | ۰,۹۸۶۸۰۷           | ۰,۶۶۶۶۶۷                       | ۰,۸۴۵۸۸                | ۰,۲۵         | ۰,۴۷۵          | ۰,۹۱۸۶۶۹    | ۰,۱۴۶۳۸۷            | ۰,۹۹۵۶۳         | ۰,۹۸۹۸۹      |
| A7       | ۱                       | ۰,۷۵  | ۰,۹۸۹۴۱۸           | ۱                              | ۰,۸۷۷۳۹                | ۱            | ۱              | ۰,۸۵۷۶۷۱    | ۰,۳۵۵۸۵۴            | ۰,۹۷۹۶۲         | ۰,۹۶۹۶۹      |
| A8       | ۰,۶۹۹۶۷                 | ۱     | ۰,۹۰۷۷۶۷           | ۰,۵                            | ۰,۹۸۵۹۶                | ۰,۲۵         | ۰,۴            | ۰,۹۰۵۷۳     | ۰,۵۱۹۳۶۲            | ۰,۹۶۵۰۶         | ۱            |
| A9       | ۰,۷۷۶۵۵۷                | ۱     | ۰,۹۳۵              | ۰,۶۶۶۶۶۷                       | ۱                      | ۰,۲          | ۰,۶            | ۰,۹۱۸۶۶۹    | ۰,۳۵۷۱۷۹            | ۰,۹۸۵۴۴         | ۰,۹۸۹۸۹      |

در ادامه برای محاسبه مقدار اهمیت نسبی گزینه‌ها بر اساس روش‌های  $WSM(Q_i^1)$  و  $WPM(Q_i^2)$  عمل می‌کنیم.

۲۱ منبع: سایت‌های وزارت نیرو، سازمان هواشناسی کشور، مرکز آمار ایران، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

مقاله شاخص‌های مهم مکان‌یابی در شاخه‌های اقتصادی، اقلیمی و امنیتی همچون شاخص هزینه و درآمدی، دمای هوا، شاخص میزان ابرناکی آسمان، شاخص آلودگی هوا، شاخص میزان سرعت وزش باد، شاخص میزان ساعات تابش نور خورشید، شاخص زاویه تابش نور خورشید و شاخص‌های دیگر معرفی و سپس با ابزار پرسشنامه و مصاحبه خبرگان و کاوش داده‌های آماری از مدلسازی معادلات ساختاری، تحلیل عاملی اکتشافی و تحلیل عاملی تائیدی با کمک نرم‌افزارهای SPSS و AMOS عامل‌های اصلی اولویت‌بندی شدند. در ادامه جهت محاسبه وزن معیارها و زیرمعیار از روش AHP استفاده شده و سپس وزن‌های حاصله با وزن‌های حاصل از مدلسازی معادلات ساختاری ادغام گشته و وزن نهایی محاسبه گردید. در این مرحله از مدل جمعی وزنی WSM و مدل تولید وزنی WPM نیز استفاده شده است. در ادامه، به منظور تقریب دقیق‌تر و دسترسی بهتر به داده‌های آماری برای هر یک از جهت‌های اصلی جغرافیایی کشور (شمال، جنوب، شرق و غرب، مرکز) و جهت‌های فرعی (شمال شرق، شمال غرب، جنوب شرق، جنوب غرب) یک استان به عنوان نمونه انتخاب شد. نتیجه مقاله نشان داد که از بین ۹ جهت (استان‌های نمونه) بررسی‌شده، به ترتیب جهت‌های جنوب غربی، مرکز و جنوب شرقی کشور بهترین مناطق برای ایجاد و راه‌اندازی نیروگاه‌های خورشیدی هستند. لازم به ذکر است که برآورد این مقاله برای کل نقاط جغرافیایی ایران نبوده و فقط برای استان‌های منتخب بوده است. از این‌رو نتیجه‌گیری هم بر همین پایه استوار شده است.

مهمترین توصیه برآمده از این تحقیق توجه بیشتر مسئولین امر به مکان‌یابی دقیق نیروگاه‌های خورشیدی براساس شاخص‌های اقتصادی، فنی و جغرافیایی است. در این راستا پیشنهاد می‌شود نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق جنوبی و مرکزی کشور احداث گردند.

جدول ۴۲- مقدار اهمیت نسبی گزینه‌ها بر اساس روش‌های

$WPM(Q_i^2)$  و  $WSM(Q_i^1)$

| $Q_i^2$  | $Q_i^1$  |    |
|----------|----------|----|
| ۰,۷۳۱۸۵۲ | ۰,۸۰۳۳۸۷ | A1 |
| ۰,۵۶۵۷۱۱ | ۰,۶۶۶۶۲۱ | A2 |
| ۰,۷۰۶۲۱  | ۰,۷۳۶۴۳  | A3 |
| ۰,۷۶۱۶۸۳ | ۰,۷۸۶۵۴۲ | A4 |
| ۰,۵۷۰۹۰۱ | ۰,۶۵۱۹۵۲ | A5 |
| ۰,۵۲۶۰۹۳ | ۰,۶۲۳۵۶۹ | A6 |
| ۰,۸۷۶۳۸۵ | ۰,۸۹۱۱۵  | A7 |
| ۰,۷۷۴۶۴۸ | ۰,۸۲۶۷۵۱ | A8 |
| ۰,۸۱۱۱۸۷ | ۰,۸۵۸۹۲۶ | A9 |

محاسبه معیار مشترک: در این گام به نسبت مساوی و از طریق فرمول‌های  $Q_i^2$  و  $Q_i^1$  اهمیت گزینه‌ها محاسبه می‌شود. با توجه به میانگین گرفتن دو  $Q_i^2$  و  $Q_i^1$  می‌توان  $\lambda$  را برابر با ۰,۵ قرار داد. در نهایت رتبه گزینه‌ها به صورت زیر حاصل می‌گردد.

جدول ۴۳- رتبه‌بندی مراکز استان‌ها

| رتبه | وزن      | گزینه             |
|------|----------|-------------------|
| ۱    | ۰,۸۸۳۷۶۷ | بوشهر             |
| ۲    | ۰,۸۳۵۰۵۷ | یزد               |
| ۳    | ۰,۸۰۰۶۹۹ | سیستان و بلوچستان |
| ۴    | ۰,۷۷۴۱۱۳ | هرمزگان           |
| ۵    | ۰,۷۶۷۶۲  | خراسان جنوبی      |
| ۶    | ۰,۷۲۱۳۲  | مازندران          |
| ۷    | ۰,۶۱۶۱۶۶ | ایلام             |
| ۸    | ۰,۶۱۱۴۲۶ | آذربایجان غربی    |
| ۹    | ۰,۵۷۴۸۳۱ | خراسان شمالی      |

## ۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

کشور ایران به علت قرارگیری بر روی کمربند گرم دنیا دارای یکی از بالاترین ظرفیت‌های جذب انرژی خورشیدی است که امکان استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی را فراهم می‌سازد. یکی از مهم‌ترین مسائل در فرآیند استفاده از نیروی انرژی خورشیدی و احداث نیروگاه‌های خورشیدی موضوع مکان‌یابی است. در این

## فهرست منابع

- [1] Emami, H.; Asadzadeh, S. A.; (2021). "Synthesis Approach for Optimal Determination of Solar and Geothermal Locations Considering Economic, Environmental, and Demographic Criteria Using RS and GIS Data", JGST, 11(2), p. 6.
- [2] Fallahpour Tezani, M.; (2020). "Site- Selecting of the Photovoltaic Solar Power Plants Using Climatic Elements in Yazd Province", Journal of Arid Biome, 9(2), pp. 103-112.
- [3] Ghasemi, V.; (2013). A book on structural modeling in social research using Amos Graphics, Tehran, Jameshenasan Nashr.
- [4] Jamil, M.; Anees, A. S.; (2016). "Optimal sizing and location of SPV (solar photovoltaic) based MLDG (multiple location distributed generator) in distribution system for loss reduction, voltage profile improvement with economical benefits", Energy, 103, pp. 231-239

- [5] Kannan, D.; Moazzeni, S.; Mostafayi Darmian, S.; Afrasiabi, A.; (2020). "A Hybrid Approach Based on MCDM Methods and Monte Carlo Simulation for Sustainable Evaluation of Potential Solar Sites in East of Iran", Journal of Cleaner Production, 279: 122368.
- [6] Kline, P.; (2014). *An easy guide to factor analysis*, Routledge.
- [7] Neisani Samani, N.; Tahouni, A.; (2019). "The Evaluation of suitable Sites for Solar Farms by Multi Criteria Decision Making in GIS (Case Study: East Azarbaijan Province)", Human Geography Research, 51(3), pp. 747-764.
- [8] Nohegar, A.; Kamangar, M.; Karami, P.; Ahmadidoost, B.; (2016). "Locating Sustainable Energy Power Plant through Topsis Decision Making Procedure", Environmental Based Territorial Planning (Amayesh), 9(33), pp. 25-44.
- [9] Sezi Cevik Onar; Basar Oztaysi; Irem Otay; Cengiz Kahraman; (2015). "Multi-expert wind energy technology selection using interval-valued intuitionistic fuzzy sets", Elsevier Ltd.
- [10] Shahbazi, F.; Sahebi, H.; Makui, A.; (2020). "Location Selection of Solar Power Plants, Wind and Distributed Generation and Design of Electrical Distribution Network", Journal of Industrial Management Perspective, 10(3), pp. 143-170
- [11] Shengping Long; Shuai Geng; (2015). "Decision framework of photovoltaic module selection under interval-valued intuitionistic fuzzy environment", Elsevier Ltd.
- [12] Soleimani Moghadam, H.; (2022). "Assessing the feasibility of using solar energy in arid villages - Case study: villages in Joveyn County", Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 31(122), pp. 221-235.
- [13] Sunanda Sinha; S.S.Chandel; (2015). "Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic-wind based hybrid energy systems", Elsevier Ltd.
- [14] Tayyar, Ahmad; Rezvan, Mohammad Taghi; Hashemi Dezaki, Hamed; (2020). "Site Selection of Large-Scale Photovoltaic Power Plants by Using a Geographic Information System, Analytic Hierarchy Process, and TOPSIS: A Case Study of Karbala Province in Iraq", JOURNAL OF ENERGY MANAGEMENT, 9(4), pp. 60-73.
- [15] Tzeng, G.; C. Chiang; C. Li; (2007). "Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL", Expert Systems with Applications, 32, pp. 1028-1044.
- [16] Ümran Sengül; Miraç Eren; Seyedhadi Eslamian Shiraz; Volkan Gezder; Ahmet Bilal S engül; (2015). "Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey", Elsevier Ltd.

