



## نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

یک رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و تاپسیس جهت ارزیابی نسبی شهرهای

کشور جهت احداث نیروگاه خورشیدی

احسان واعظی<sup>۱\*</sup> و اسماعیل نجفی<sup>۲</sup>

۱- دکتری، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

۲- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

چکیده:

در این مقاله ابتدا متغیرهای اساسی جهت احداث نیروگاه خورشیدی را شناسایی می‌کنیم سپس با استفاده از روش تاپسیس به رتبه‌بندی شهرهای کشور جهت احداث نیروگاه خورشیدی می‌پردازیم. روش تاپسیس به هر شهر عددی را بر حسب فاصله از گزینه ایده‌آل مثبت و منفی نسبت می‌دهد. در ادامه با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و با استفاده از مدل مضربی CCR ورودی محور و با توجه به خروجی روش تاپسیس و نیز متغیرهای ورودی هر شهر به ارزیابی نسبی شهرهای کشور جهت احداث نیروگاه خورشیدی یا به بیان دیگر ظرفیت احداث نیروگاه خورشیدی در هر یک از شهرها را مقایسه نسبی می‌کنیم و نقاط کارا را بدست می‌آوریم. با مشخص شدن مرز کارایی شهرهایی که دارای کارایی پارتو هستند را جهت سرمایه‌گذاری و احداث و بهره‌برداری از انرژی خورشیدی پیشنهاد می‌دهیم. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد شهر اهواز مستعدترین شهر جهت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نیروگاه خورشیدی، رتبه‌بندی، ارزیابی عملکرد، تحلیل پوششی داده‌ها، مدل CCR ورودی محور.

\* نویسنده مسئول:

## ۱- مقدمه

پیشرفت و توسعه جوامع صنعتی در مقیاس وسیع با استفاده از انرژی میسر شده است و انرژی، ابزاری سیاسی و اقتصادی است که امنیت کشورها به آن وابسته است. آلودگی محیط زیست در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی و شتاب فزاینده در جهت به پایان بردن منابع انرژی دو بحران بزرگی هستند که امروزه بشر با آنها روبروست. منابع انرژی تجدیدپذیر بخصوص انرژی خورشیدی بدلیل فراوانی و امکانات مناسب جغرافیایی دارای قابلیت‌های بالایی در تولید انرژی هستند و استفاده از آنها می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی گردد. منابع انرژی تجدیدپذیر عمر طولانی و چرخه‌های طبیعی داشته و برخلاف منابع انرژی تجدیدناپذیر نظیر سوخت‌های فسیلی حتی احتمال پایان این منابع نیز وجود ندارد و این مسئله تداوم مصرف انرژی را برای نسل‌های بعد تضمین می‌نماید. استفاده منحصربفرد از نیروگاه‌هایی با سوخت‌های فسیلی موجب ایجاد تمرکز در مناطق تولید انرژی خواهد شد ولی با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر براحتی می‌توان در هر محل با شرایط جغرافیایی مناسب اقدام به تولید انرژی نمود و این امر تولید غیر متمرکز انرژی را در مناطق با جمعیت کم و پراکنده نظیر روستاها و جزایر میسر می‌سازد. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در کنار ایجاد مشاغل مختلف و اشتغال‌زایی می‌تواند موجب بهبود مدیریت مصرف بار در شبکه برق شده و در ساعات پرمصرف شبکه برای یاری رساندن به توان تولیدی نیروگاه‌ها و کاستن از اضافه باردار شدن آنها مورد استفاده قرار گیرد. بررسی تمامی موارد فوق گواهی بر افزایش بهره‌وری انرژی همزمان با کاهش هزینه‌ها و نیز بهبود کیفیت آن در صورت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر است. کره زمین انرژی خورشیدی را بصورت تابش خورشیدی دریافت می‌کند و مقدار این تابش به مراتب بیشتر از نیاز بشریت است. این منبع از تغییرات روزانه شناخته شده‌ای علاوه بر تغییرات فصلی برخوردار است و بطور قابل ملاحظه‌ای متأثر از وضعیت هوا است. شدت تابش خورشیدی نسبتاً کم و پیک آن در حدود  $1 \text{ kw/m}^2$  در سطح دریا است. کاربرد انرژی خورشیدی کاملاً متنوع است و شامل گونه‌های مختلفی است (سیستم‌های عامل و غیرعامل)، تولید نیروی برق از طریق سیکل‌های ترمودینامیکی و تبدیل مستقیم به الکتریسیته با کمک سیستم‌های فتوولتایی می‌شود. انبار کردن انرژی خورشیدی در سیستم‌های حرارتی نسبتاً ارزان می‌باشد و بدین ترتیب منبع انرژی از استفاده از انرژی بوسیله مصرف‌کننده جدا می‌گردد (مقصودی، ۱۳۹۱).

تدوین استراتژی و سیاست‌گذاری برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بین سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ در کشورهای بسیاری گسترش پیدا کرده و شمار کشورهای سیاست‌گذار در این زمینه از ۵۵ کشور در سال ۲۰۰۵ به بیش از ۱۳۰ کشور در ابتدای سال ۲۰۱۴ رسیده است (گروتز<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴). شورای جهانی انرژی WEC<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۹ در کنگره WEC در مونترال دو سناریوی اساسی ارائه کردند. این سناریوها به عنوان سناریوی M برای رشد متوسط و سناریوی L برای رشد کند اطلاق می‌شود. نتایج ارزیابی سناریوی L نشان

<sup>۱</sup> Grotz

<sup>۲</sup> WEC Conservation and studies committee

می‌دهد که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال ۲۰۲۰، ۹۴۰ Mtoe یا تقریباً ۱۰٪ کل انرژی‌های پیش‌بینی شده در سال ۲۰۲۰ خواهد بود. همچنین نتایج ارزیابی سناریوی M نشان می‌دهد سهم متناظر تمام تجدیدپذیرها در حدود ۳۲۷۸ Mtoe یا ۳۰٪ می‌شود (کمیته مطالعات و ارتباطات WEC، ۱۹۸۹). شورای جهانی انرژی سهم انرژی خورشیدی را در سطح حداقل و حداکثر حمایت سیاسی دولت‌ها در سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۲۰٪ و ۲۶٪ معادل ۱۰۹ Mtoe و ۳۵۵ Mtoe پیش‌بینی نمود (اندر و مولی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵-۲۰۰۶؛ کمیته مطالعات و ارتباطات WEC، ۱۹۸۹).

تحلیل پوششی داده‌ها، مفهومی از محاسبه ارزیابی سطوح کارایی در داخل یک گروه از سازمان را نشان می‌دهد که کارایی هر واحد در مقایسه با تعدادی از واحدها که دارای بیشترین عملکرد هستند محاسبه می‌شود (مارتین و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰). مدل CCR، اولین مدل تحلیل پوششی داده‌هاست که متشکل از حروف آغازین مبدعین آن (چارنر، کوپر، رودز) است (چارنر و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۷۸). در مدل‌های DEA، راهکار بهبود واحدهای ناکارا، رسیدن به مرز کارایی است. مرز کارایی، متشکل از واحدهایی با اندازه کارایی ۱ است. به طور کلی، دو نوع راهکار برای بهبود واحدهای غیرکارا و رسیدن آنها به مرز کارایی وجود دارد:

الف- کاهش نهاده‌ها بدون کاهش ستاده‌ها تا زمان رسیدن به واحدی بر روی مرز کارایی (این نگرش را ماهیت نهاده‌ای بهبود عملکرد یا سنجش کارایی با ماهیت ورودی محور می‌نامند).

ب- افزایش ستاده‌ها تا زمان رسیدن به واحدی بر روی مرز کارایی بدون جذب نهاده‌های بیشتر (این نگرش را ماهیت ستاده‌ای بهبود عملکرد یا سنجش کارایی با ماهیت خروجی محور می‌نامند) (سکستون و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۹۸۶).

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- رتبه بندی با استفاده از روش تاپسیس<sup>۵</sup>

یون و هوانگ در سال ۱۹۸۱ تکنیکی برای رتبه بندی تاپسیس ارائه دادند. به این مفهوم که انتخاب گزینه باید کوتاهترین مسافت را از راه حل ایده‌آل و در عین حال دورترین مسافت را از راه حل ایده‌آل منفی داشته باشد. فرض کنید مطلوبیت هر شاخص بطور یکنواخت افزایشی (کاهش) باشد یا به عبارتی دیگر شاخص‌ها تنها جنبه‌ی مثبت یا منفی دارند. شاخصی که جنبه مثبت دارد شاخص سود و شاخصی که جنبه منفی دارد شاخص هزینه است. بنابراین به راحتی می‌توان راه حل ایده‌آل را مشخص نمود. بدین صورت که بهترین ارزش موجود از یک شاخص نشان‌دهنده ایده‌آل آن بوده و بدترین ارزش موجود از آن مشخص کننده ایده‌آل منفی برای آن خواهد بود.

<sup>1</sup> Ender and Molly

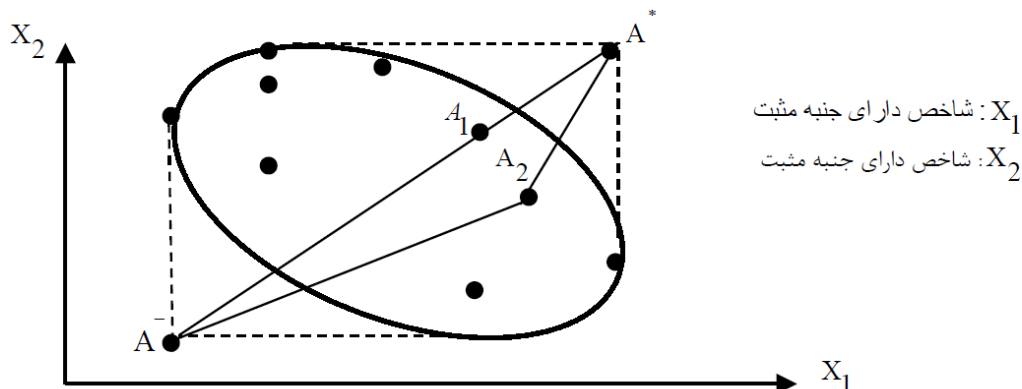
<sup>2</sup> Martin et al.

<sup>3</sup> Charnes et al.

<sup>4</sup> Sexton et al.

<sup>5</sup> Topsis

از نقطه نظر هندسی، یک تقریب آن است که گزینه‌ای در نظر گرفته شود که حداقل فاصله اقلیدسی را از راه‌حل ایده‌آل و همزمان نیز دورترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد. برای مثال  $A_1$  و  $A_2$  اگر دو گزینه پیشنهادی باشند فاصله این دو گزینه از دو معیار مثبت و منفی در شکل ۱ مشخص می‌باشد.



شکل ۱. فاصله گزینه‌ها از گزینه مطلوب مثبت و منفی در روش topsis

روش تاپسیس ماتریس تصمیمی را ارزیابی می‌کند که شامل  $M$  گزینه و  $N$  شاخص است. در واقع معیارهای مسئله یک طرف و گزینه‌هایی که قرار است انتخاب شوند یک ماتریس با  $n \times m$  درایه را بوجود می‌آورد ولی چون ما معیارهای مختلفی داریم و جنس معیارهای مسئله ما یکی نیست و رنج آنها هم فرق می‌کند پس ابتدا لازم است ماتریس تصمیم را بی‌مقیاس کنیم که از فرمول زیر این کار میسر است.

$$n_{ik} = \frac{r_{ik}}{\left(\sum_{i=1}^m r_{ik}^2\right)^{1/2}} \quad (1)$$

برای تعیین متغیرهای اصلی در زمینه احداث نیروگاه خورشیدی به بررسی کارهای گذشته در زمینه احداث نیروگاه‌های خورشیدی در کشور و مطالعاتی که در کشورهای مطرح در این زمینه انجام گرفته است پرداختیم و متغیرهای زیر را جهت رتبه بندی شهرها در نظر می‌گیریم.

- میزان تابش جهانی یا تابش کل
- میزان شدت حوادث طبیعی
- میزان پهناهای زمین شناسی مناسب
- میزان دسترسی به آب
- خصوصیات توپوگرافی و جغرافیایی
- هزینه زمین مورد نیاز

تابش کل در یک منطقه را می‌توان مهمترین پارامتر در انتخاب یک نقطه برای احداث یک نیروگاه خورشیدی دانست با توجه به اینکه در سطح یک منطقه مشخص تغییر جزئی محل احداث تفاوت چندانی در پارامترهای جغرافیایی منطقه ایجاد نمی‌نماید از اینرو تابش خورشیدی بعنوان یکی از شاخص‌های سطح یک در نظر

گرفته می‌شود. میزان رخداد حوادث طبیعی در یک منطقه تاثیر زیادی بر محل انتخابی یک نیروگاه دارد. احداث نیروگاه در مناطق بلاخیز که میانگین وقوع حوادث طبیعی در آن زیاد می‌باشد می‌تواند باعث صدمه به نیروگاه و بالا رفتن هزینه‌های تعمیرات و نگهداری شود. تعیین شرایط زمین‌شناسی مناسب برای احداث یک نیروگاه دارای اهمیت زیادی می‌باشد. از این دیدگاه جنس و دانه بندی و شرایط زیرساخت نیروگاه دارای اهمیت زیادی می‌باشد. احداث سازه در زمین های سست و کم مقاومت می‌تواند در طولانی مدت باعث فرورفتن زمین و آسیب به تاسیسات و تجهیزات نیروگاه گردد. برای احداث هر سازه‌ای مجموعه‌ای از شرایط جغرافیایی و توپوگرافی ضروری می‌باشد وجود شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع مناسب در استحکام سازه موردنظر تاثیر زیادی دارد. طبیعتاً ساخت نیروگاه در فضاهای پرشیب و مرتفع کوهستانی و یا در زمین‌های پست و دره‌ای شکل امکان‌پذیر نیست و یا مشکلات زیادی دارد. تامین آب مورد نیاز نیروگاه یکی از مهمترین نیازهای اولیه منطقه مورد احداث می‌باشد. این مسئله خصوصاً در صورتی که از نیروگاه‌های تابش مرکزی خورشیدی استفاده گردد دارای اهمیت می‌باشد زیرا در این نوع نیروگاه‌ها معمولاً از سیستم گردش آب برای انتقال حرارت استفاده می‌شود. جدول زیر وضعیت هر متغیر را برای هر استان بر حسب آمار سازمان هواشناسی و سازمان بهره‌وری انرژی برای ۲۳ شهر مشخص می‌کند.

جدول ۱. مقایسه شهرهای کشور جهت احداث نیروگاه خورشیدی

شهر	میانگین تابش سالانه	میزان دسترسی به آب	شدت حوادث طبیعی	پهنه ی زمین شناسی مناسب	خصوصیات جغرافیایی	هزینه در متر مربع بر حسب ده هزار ریال
آبادان	۴۴۱/۱	۴/۲۶۵۹۰	۱۹/۴	۳/۳۶۴۹	۶۹۱/۱	۲۰
ارومیه	۳۹۹	۴/۱۴۳۸۲	۱۲	۱/۲۴۰۸۱	۱۷۵۵/۲	۱۰۰
اصفهان	۴۵۲/۷	۵/۴۶۷۰۶	۷/۳	۳/۸۰۲۹۶	۱۰۴۸۴/۱	۱۰
اهواز	۴۳۸/۸	۴/۲۶۵۹۰	۱۹/۴	۳/۳۶۴۹۰	۶۹۱/۱	۱۰۰
بندرعباس	۴۶۴	۳/۲۷۸۴۱	۱۴/۹	۶/۵۵۸۶۲	۲۸۵۴	۱۰۰
بوشهر	۴۵۸/۶	۷/۹۳۲۸	۸/۷	۹/۱۵۷۴۷	۸۹۱/۲	۱۰
خور	۳۷۰	۴/۷۷۶۵	۲۰/۴	۲/۲۲۶۳۱۶	۸۰۸۹۲	۱۰
تبریز	۳۹۹/۸	۷/۱۸۴۰۶	۷/۸	۳۱۲۷۱	۱۷۹۷/۳	۲۰۰
تهران	۴۳۱/۵	۷/۱۵۵۷۴	۵/۶	۶/۲۷۷۸۴	۲۸۹۸/۴	۴۰۰
خرم آباد	۴۲۷/۴	۷/۱۲۴۴۳	۵/۱	۱۷۸۲۷	۱۳۷۸/۹	۲۰
منجیل	۴۰۲	۱۰۷۳۴	۷/۷	۸/۱۰۶۵۵	۲۸۰/۳	۲۰
زابل	۴۵۲/۱	۶/۶۶۰۰۱	۷/۶	۳/۱۵۴۶۴۲	۱۰۸۵۷/۵	۱۰
زاهدان	۴۴۳/۳	۶/۶۶۰۰۱	۷/۶	۳/۱۵۴۶۴۲	۱۰۸۵۷/۵	۱۰۰

۲۰	۱۵۶۰/۹	۱/۱۸۰۶۴	۲	۴/۹۱۲۶	۳۶۴/۳	خدابنده
۱۰	۸۰۸۹۲	۲/۲۲۶۳۱۶	۱۸	۷/۵۱۰۰۳۳	۴۱۷/۹	سبزوار
۱۰	۶/۵	۱۱۲۸۱	۳/۷	۲/۱۰۴۵۷	۴۴۱/۹	شهرکرد
۲۰۰	۵۷۲۵/۹	۹/۸۳۶۹۳	۲۴/۳	۹/۶۴۳۲۳	۴۷۹/۷	شیراز
۲۰۰	۲۸۹۸/۴	۶/۲۷۷۸۴	۵/۶	۷/۱۵۵۷۷۷۴	۴۳۱/۹	کرج
۱۰۰	۳۱۵۴/۴	۳/۱۵۳۴۲۶	۱۲/۹	۶/۵۹۷۱۴	۴۵۰/۴	کرمان
۱۰۰	۱۷۴۵/۷	۳/۱۶۷۳۸	۴/۲	۶/۱۰۷۳۴	۴۲۰/۹	کرمانشاه
۱۰	۸۰۸۹۲	۲/۲۲۶۳۱۶	۲۰/۴	۷/۵۱۰۰۳۳	۴۱۵/۳	نیشابور
۱۰۰	۲۷۴/۵	۷/۱۴۹۲۸	۳	۷/۹۵۷۳	۴۰۸	همدان
۱۰۰	۱۱۷۶۱/۹	۹/۵۶۳۵۸	۳/۶	۵/۱۰۵۸۸۱	۴۵۱/۷	یزد

زمین یکی از زیرساخت‌های اصلی مورد نیاز برای احداث نیروگاه‌ها است. هزینه‌های درگیر در زمین مورد نیاز برای احداث نیروگاه در انتخاب اقلیم کلی نیروگاه تاثیر چندانی ندارد ولی در انتخاب ناحیه مورد نظر در داخل یک اقلیم می‌تواند تعیین کننده باشد از این رو دیدگاه احداث می‌بایست در منطقه‌ای صورت پذیرد که هزینه‌های مرتبط به زمین مورد نیاز حداقل شود برای نشان دادن اهمیت معیارها به هر معیار وزنی را نسبت دهیم. برای تعیین وزن معیارها از روش AHP استفاده شده است. یعنی از ده نفر خبره خواسته شد این معیارها را بررسی کنند و به هر مورد بر اساس اهمیت آن معیار وزنی را اختصاص دهند.

جدول ۲. وزن و جهت معیارها برای احداث نیروگاه خورشیدی

معیار	وزن	جهت
میانگین تابش سالانه	۰/۳۵	مثبت
میزان دسترسی به آب	۰/۲۵	مثبت
شدت حوادث طبیعی	۰/۱۵	منفی
پهنه زمین شناسی مناسب	۰/۱۰	مثبت
خصوصیات جغرافیایی	۰/۱۰	مثبت
هزینه زمین	۰/۰۵	منفی

جهت تمام معیارها بجز هزینه و شدت حوادث طبیعی مثبت می‌باشد. در مورد جهت معیارها دو معیار منفی و مثبت معیار مثبت داریم. معیار منفی یعنی هرچه مقدار متغیر زیادتر شود تاثیر بدتری در انتخاب ما دارد و کم بودن برای این متغیر بهتر می‌باشد متغیرهای هزینه و شدت حوادث طبیعی از این نوع می‌باشند. متغیر

مثبت هم یعنی هرچه مقدار متغیر بیشتر باشد برای انتخاب نهایی مساعدتر است پس از نرمال‌سازی داده‌ها و در نظر گرفتن وزن برای متغیرها کران بالا و پایین متغیرها در جدول زیر مشخص می‌شود.

جدول ۳. تعیین کران بالا و پایین برای هر متغیر در روش تاپسیس

متغیر	تابش سالانه	دسترسی به آب	شدت حوادث طبیعی	پهنه ی زمین‌شناسی	خصوصیات جغرافیایی	هزینه
کران بالا	۰/۳۱۸۱۰۵	۰/۲۲۵۵۸	۰/۰۹۳۴۵۹	۰/۰۴۵۱۹	۰/۰۵۶۹۲	۰/۰۶۱۸۱۹
کران پایین	۰/۰۲۶۴۱	۰/۰۰۱۱۳	۰/۰۰۹۱۶۳	۰/۰۰۰۷۳	۰۶E-۴/۵۷	۰/۰۰۱۵۴۵

برای محاسبه فاصله هر گزینه از گزینه ایده‌آل مثبت از فرمول زیر استفاده می‌کنیم. یعنی مقادیر هر گزینه را از بهترین مقادیر برای آن گزینه در بین مقادیر جدول کم می‌کنیم.

$$S_{i^*} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (۲)$$

برای تعیین فاصله هر گزینه از گزینه ایده‌آل منفی از فرمول زیر استفاده می‌کنیم. یعنی مقادیر هر گزینه را بدترین مقادیر برای آن گزینه در بین مقادیر جدول کم می‌کنیم.

$$i = 1, 2, \dots, m \quad S_{i^-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (۳)$$

در جدول زیر رتبه‌بندی شهرهای کشور جهت احداث نیروگاه خورشیدی از روش تاپسیس انجام گرفته و رتبه هر شهر مشخص شده است. بنابراین مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث نیروگاه خورشیدی شهرهای اهواز، سبزواری، یزد، شیراز و زابل می‌باشد.

جدول ۴. رتبه بندی شهر های کشور برای احداث نیروگاه خورشیدی در روش تاپسیس

شهر	مقدار	رتبه	شهر	مقدار	رتبه
آبادان	۰/۳۴۹۶۳۶	۱۹	زابل	۰/۲۶۷۳۵۹	۵
ارومیه	۰/۳۷۳۵۷۹	۲۳	زاهدان	۰/۳۳۵۵۹۵	۱۵
اصفهان	۰/۳۰۴۶۹۴	۱۰	خدابنده	۰/۲۸۵۰۳۴	۷
اهواز	۰/۰۰۲۳۴۴	۱	سبزوار	۰/۲۱۶۸۰۲	۲
بندرعباس	۰/۳۶۴۴۶۶	۲۱	شهرکرد	۰/۲۹۸۶۲۲	۹
بوشهر	۰/۳۱۳۹۶۸	۱۱	شیراز	۰/۲۲۵۸۴۵	۴
خور	۰/۲۸۳۱۹۷	۶	کرج	۰/۳۸۰۳۹۳	۲۴
تبریز	۰/۳۶۴۷۷۸	۲۲	کرمان	۰/۳۴۳۰۱۷	۱۷
تهران	۰/۳۵۲۷۴۸	۲۰	کرمانشاه	۰/۳۴۱۰۳۳	۱۶
خرم آباد	۰/۳۳۴۶۴۵	۱۴	نیشابور	۰/۳۱۷۲۹۵	۱۲
منجیل	۰/۳۴۶۲۷۳	۱۸	همدان	۰/۳۲۲۶۴۵	۱۳
یزد	۰/۲۱۷۰۴۸	۳			

## ۲-۲- رتبه بندی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۱</sup>

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک تکنیک برنامه‌ریزی خطی است که هدف اصلی آن، مقایسه و ارزیابی کارایی تعدادی از واحدهای تصمیم‌گیرنده مشابه است که مقدار ورودی‌های مصرفی و خروجی‌های تولیدی متفاوتی دارند. مدل‌های DEA مورد استفاده برای ارزیابی کارایی واحد تحت بررسی می‌توانند از دو رویکرد مجزا استفاده کنند:

۱. کاهش میزان ورودی‌ها بدون تغییر در میزان خروجی‌ها (رویکرد ورودی‌محور)

۲. افزایش میزان خروجی‌ها بدون تغییر در میزان ورودی‌ها (رویکرد خروجی‌محور)

این تکنیک، مبتنی بر رویکرد برنامه‌ریزی خطی است که هدف اصلی آن، مقایسه و سنجش کارایی تعدادی از واحدهای تصمیم‌گیرنده مشابه است که تعداد ورودی‌های مصرفی و خروجی‌های تولیدی متفاوتی دارند. این واحدها می‌توانند شعب یک بانک، مدارس، بیمارستان‌ها، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های برق، ادارات تحت پوشش یک وزارتخانه و یا کارخانه‌های متشابه باشند. منظور از مقایسه و سنجش کارایی نیز این است که یک واحد تصمیم‌گیرنده در مقایسه با سایر واحدهای تصمیم‌گیرنده، چقدر خوب از منابع خود در راستای تولید استفاده کرده است. در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها با دیدگاه ورودی‌محور، به دنبال دستیابی به نسبت ناکارایی

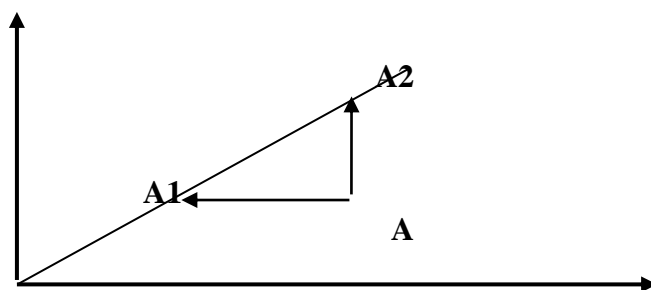
<sup>1</sup> Data Envelopment Analyses (DEA)



فنی هستیم که بایستی در ورودی‌ها کاهش داده شود تا بدون تغییر در میزان خروجی‌ها، واحد در مرز کارایی قرار گیرد. مدل مضربی CCR در ماهیت ورودی مطابق زیر می‌باشد.

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \\ & \text{s.t.} : \sum_{i=1}^m V_i x_{i0} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ & u_r \geq 0 \quad v_i \geq 0 \end{aligned}$$

این دو الگوی بهبود کارایی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. الگوی بهبود کارایی

همانطور که در شکل مشخص است، واحد A ناکاراست. A1 بهبود یافته آن با ماهیت ورودی محور (نهاده‌ای) و A2، نسخه بهبود یافته آن با ماهیت خروجی محور (ستاده‌ای) است.

روش که در این مقاله برای رتبه‌بندی کامل واحدهای تصمیم‌گیرنده به کار می‌رود، کارایی متقابل نام دارد. در تحلیل پوششی داده‌ها، ضرایب مطلوب برای خروجی‌ها و ورودی‌ها از واحدی به واحد دیگر فرق می‌کنند، زیرا هر بار مدل برای یکی از واحدها حل می‌شود و به آن واحد اجازه داده می‌شود با رعایت محدودیت‌هایی که محصول عملکرد سایر واحدها هستند، بهترین مجموعه وزن‌های مطلوب را برای خود برگزینند، به گونه‌ای که نسبت جمع وزنی خروجی‌ها به جمع وزنی ورودی‌ها بیشینه گردد. این فرایند n بار و هر بار برای یکی از واحدها تکرار می‌شود. لذا وزن‌های به دست آمده را نمی‌توان مقایسه کرد. در اینجا بود که محققین بر آن شدند یک مجموعه وزن منحصر به فرد برای تمام واحدهای تحت ارزیابی به دست آورند که با استفاده از آنها بتوان تمام واحدها را به طور کامل از کاراترین تا ناکارترین رتبه‌بندی کرد. سکستون و همکاران در ۱۹۸۶ برای اولین بار، ماتریس ارزیابی متقابل را ارائه کردند که در روش کارایی متقابل از آن استفاده شده است (سکستون و همکاران، ۱۹۸۶). با توجه به داده‌های جدول ۱ و ۲ و همچنین مدل CCR ورودی‌محور، برای ۲۳ شهر کارایی را بررسی می‌کنیم و نقاط که روی مرز هستند را مشخص می‌کنیم. ابتدا مقادیر نرمال شده متغیرها را در وزن آنها ضرب می‌کنیم. نکته مهم دقت در جهت متغیرها می‌باشد همانطور که در جدول شماره ۲ ذکر شد جهت متغیر هزینه و شدت حوادث طبیعی منفی است لذا ابتدا مقادیر این دو متغیر را

معکوس می‌کنیم و سپس نرمال‌سازی را انجام می‌دهیم تا تمام متغیرهای ورودی دارای جهت مثبت گردند. نکته دیگر خروجی شهرها می‌باشد که از نتایج تاپسیس بعنوان خروجی برای هر شهر استفاده شده است. در جدول زیر مقادیر نرمال شده متغیرها آورده شده است.

جدول ۵. مقادیر نرمال شده متغیرها با احتساب وزن هر متغیر

شهر	میانگین تابش سالانه	میزان دسترسی به آب	شدت حوادث طبیعی	پهنه‌ی زمین‌شناسی مناسب	خصوصیات جغرافیایی	هزینه در متر مربع
آبادان	۰/۰۳۱۹۷۷	۰/۰۰۳۸۵۱	۰/۰۰۹۶۳۵	۰/۰۰۰۷۲۹	۰/۰۰۰۴۸۶	۰/۰۳۰۹۱
ارومیه	۰/۰۲۸۹۲۵	۰/۰۰۲۰۸۳	۰/۰۱۵۵۷۶	۰/۰۰۴۸۰۸	۰/۰۰۱۲۳۵	۰/۰۰۶۱۸۲
اصفهان	۰/۰۳۲۸۱۸	۰/۰۰۶۷۶۴	۰/۰۲۵۶۰۵	۰/۰۱۶۰۳۲	۰/۰۰۷۳۷۷	۰/۰۶۱۸۱۹
اهواز	۰/۳۱۸۱۰۵	۰/۰۰۳۸۵۱	۰/۰۰۹۶۳۵	۰/۰۰۷۲۸۶	۰/۰۰۰۴۸۶	۰/۰۰۶۱۸۲
بندرعباس	۰/۰۳۳۶۳۷	۰/۰۰۴۰۳۲	۰/۰۱۲۵۴۵	۰/۰۱۱۱۵۳	۰/۰۰۲۰۰۸	۰/۰۰۶۱۸۲
بوشهر	۰/۰۳۳۲۴۶	۰/۰۰۱۳۵۱	۰/۰۲۱۴۸۵	۰/۰۰۳۱۴۴	۰/۰۰۰۶۲۷	۰/۰۶۱۸۱۹
خور	۰/۰۲۶۸۲۳	۰/۰۰۱۱۲۵	۰/۰۰۹۱۶۳	۰/۰۴۵۱۸۶	۰/۰۵۶۹۱۸	۰/۰۶۱۸۱۹
تبریز	۰/۰۲۸۹۸۳	۰/۰۰۲۶۶۶	۰/۰۲۳۹۶۴	۰/۰۰۶۲۴۴	۰/۰۰۱۲۶۵	۰/۰۰۳۰۹۱
تهران	۰/۰۳۱۲۸۱	۰/۰۰۲۲۵۵	۰/۰۳۳۳۷۸	۰/۰۰۵۵۴۷	۰/۰۰۲۰۳۹	۰/۰۰۱۵۴۵
خرم‌آباد	۰/۰۳۰۹۸۴	۰/۰۰۱۸۰۲	۰/۰۳۶۶۵	۰/۰۰۳۵۵۹	۰/۰۰۰۰۹۷	۰/۰۳۰۹۱
منجیل	۰/۰۲۹۱۴۳	۰/۰۰۱۵۵۴	۰/۰۲۴۲۷۵	۰/۰۰۲۱۲۸	۰/۰۰۰۱۹۷	۰/۰۳۰۹۱
زابل	۰/۰۳۲۷۷۵	۰/۰۰۹۵۵۸	۰/۰۲۴۵۹۴	۰/۰۳۰۸۷۶	۰/۰۰۷۶۴	۰/۰۶۱۸۱۹
زاهدان	۰/۰۳۲۱۳۷	۰/۰۰۹۵۵۸	۰/۰۲۴۵۹۴	۰/۰۳۰۸۷۶	۰/۰۰۷۶۴	۰/۰۰۶۱۸۲
خداآباد	۰/۰۲۶۴۱	۰/۰۰۱۳۲۲	۰/۰۹۳۴۵۹	۰/۰۰۳۶۰۷	۰/۰۰۱۰۹۸	۰/۰۳۰۹۱
سبزوار	۰/۰۳۰۲۹۵	۰/۰۷۳۸۵۷	۰/۰۱۰۳۸۴	۰/۰۴۵۱۸۶	۰/۰۵۶۹۱۸	۰/۰۶۱۸۱۹
شهرکرد	۰/۰۳۲۰۳۵	۰/۰۰۱۵۱۴	۰/۰۵۰۵۱۸	۰/۰۰۲۲۵۲	۴/۵۷E-۰۶	۰/۰۶۱۸۱۹
شیراز	۰/۰۳۴۷۷۶	۰/۰۰۹۳۱۵	۰/۰۰۷۶۹۲	۰/۰۱۶۷۱	۰/۰۰۴۰۲۹	۰/۰۰۳۰۹۱
کرج	۰/۰۳۱۳۱	۰/۲۲۵۵۷۹	۰/۰۳۳۳۷۸	۰/۰۰۵۵۴۷	۰/۰۰۲۰۳۹	۰/۰۰۳۰۹۱
کرمان	۰/۰۳۲۶۵۲	۰/۰۰۸۶۴۷	۰/۰۱۴۴۹	۰/۰۳۰۶۳۳	۰/۰۰۲۲۲	۰/۰۰۶۱۸۲
کرمانشاه	۰/۰۳۰۵۱۳	۰/۰۰۱۵۵۵	۰/۰۴۴۵۰۴	۰/۰۰۳۳۴۲	۰/۰۰۱۲۲۸	۰/۰۰۶۱۸۲
نیشابور	۰/۰۳۰۱۰۷	۰/۰۷۳۸۵۷	۰/۰۰۹۱۶۳	۰/۰۴۵۱۸۶	۰/۰۵۶۹۱۸	۰/۰۶۱۸۱۹
همدان	۰/۰۲۹۵۷۸	۰/۰۰۱۳۸۶	۰/۰۶۲۳۰۶	۰/۰۰۲۹۸۱	۰/۰۰۰۱۹۳	۰/۰۰۶۱۸۲
یزد	۰/۰۳۲۷۴۶	۰/۰۱۵۳۳۳	۰/۰۵۱۹۲۲	۰/۰۱۱۲۵۳	۰/۰۰۸۲۷۶	۰/۰۰۶۱۸۲

در جدول زیر کارایی برای شهرها محاسبه شده است.

جدول ۶. محاسبه کارایی نسبی شهرها با مدل CCR مضربی ورودی محور

شهر	کارایی نسبی	شهر	کارایی نسبی
آبادان	۰/۰۲۹۸۵۷۳۶۱	زاهدان	۰/۰۲۱۷۴۵۷۵۷
ارومیه	۰/۰۳۶۸۶۶۸۳۶	خدابنده	۰/۰۱۸۱۲۱۸۶
اصفهان	۰/۰۱۷۶۷۲۸۶۹	سبزوار	۰/۰۱۳۴۱۶۴۴۹
اهواز	۱	شهرکرد	۰/۰۱۸۳۰۸۸۲۴
بندرعباس	۰/۰۳۱۹۴۹۵۱۴	شیراز	۰/۰۴۷۴۳۰۲۲۳
بوشهر	۰/۰۲۱۲۰۲۴۵۲	کرج	۰/۰۰۷۰۷۵۲۸۵
خور	۰/۰۱۴۲۲۶۶۹۳	کرمان	۰/۰۲۴۹۰۱۶۵۵
تبریز	۰/۰۳۳۵۳۴۳۷۵	کرمانشاه	۰/۰۲۷۱۹۷۶۹۵
تهران	۰/۰۳۰۱۹۴۴۳۴	نیشابور	۰/۰۰۹۲۱۳۸۴۱
خرم‌آباد	۰/۰۲۳۰۷۸۴۰۶	همدان	۰/۰۲۴۴۶۱۲۳۸
منجیل	۰/۰۲۶۵۱۷۹۸	یزد	۰/۰۲۹۶۸۴۴۹
زابل	۰/۰۱۸۱۱۲۱۵۱		

در جدول شماره ۶ کارایی نسبی شهرها از روش CCR مضربی ورودی محور محاسبه شده و شهرهای اهواز، شیراز و تبریز مستعدترین شهرها برای احداث نیروگاه خورشیدی می‌باشد.

### ۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی وضعیت نسبی ۲۳ شهر کشور جهت احداث نیروگاه خورشیدی پرداخته شد. در ابتدا متغیرهای اساسی جهت انتخاب شهر مستعد احداث نیروگاه و بهره‌برداری از انرژی خورشیدی مشخص شد و از طریق روش AHP وزن متغیرها معلوم گشت. سپس از طریق روش تاپسیس شهرها رتبه‌بندی شدند. در ادامه با استفاده از DEA به ارزیابی نسبی شهرها پرداختیم و از مدل CCR مضربی ورودی محور جهت پیدا کردن کارایی شهرها استفاده کردیم. نتایج نشان می‌دهد شهرهای اهواز، شیراز و تبریز مستعدترین نقاط در بین این ۲۳ شهر جهت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی می‌باشند.

## ۵- مراجع

## ۵-۱- مراجع فارسی

مقصودی، امیر. (۱۳۹۱). مکان یابی نیروگاه های خورشیدی با استفاده از روش های تحلیل چندگانه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی صنایع.

## ۵-۲- مراجع لاتین:

Charnes A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978). "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444.

Ender, C., Molly, J.P., (2005-2006). "Value added by the German industry within the global wind energy market for 2004, 2005". *DEWI Magazine*. Vol. 27, No. 1.

Grotz, C., (2014). Germany. In: Reiche, D. (Ed.), *Handbook of Renewable Energies in the European Union*. Frankfurt am Main, Peter Lang, pp. 107-121.

Martin D.H., Kocher, G. and Sutter, M. (2000). "Measuring Efficiency of German Football Teams by DEA". *University of Innsbruck*, Australia, 4-5.

Sexton.T.R., Silkman, R.H. and Hogan, A.J. (1986). "Data envelopment Analysis: Critique and Extention. In: Silkman, R.H. (ed). *Measuring Efficiency: An Assessment of Data envelopment Analysis*." Jossey-Bass, San Francisco, CA, .73-105.

WEC Conservation and Studies Committee. *Global Energy Perspectives 2000-2020*. London, UK: 14<sup>th</sup> Congress of the World Energy Conference, Montral, Canada, September, 1989.