

## ارزیابی عملکرد شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در حضور داده‌های بازه‌ای و خروجی‌های نامطلوب

جواد گرامی<sup>۱</sup>، علیرضا قناعتیان<sup>۲</sup>

<sup>(۱)</sup> گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران

<sup>(۲)</sup> گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، مرودشت، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۳/۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۶/۲۴

### چکیده

با توجه به اهمیت صنعت برق در فرایند توسعه اقتصادی کشور، بررسی کارایی نیروگاه‌های برق از اهمیت بسیاری برخوردار است. با اندازه‌گیری کارایی می‌توان به نقاط ضعف و قوت بخش‌های مختلف پی‌برده و با ارائه راهکارهای مناسب درصد بهبود عملکرد آنها بر آمد. در این مقاله نیروگاه‌های تولید برق، به عنوان یک واحد تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته شده‌اند که برای تولید برق به عنوان خروجی‌های مطلوب و گازهای آلاینده به عنوان خروجی‌های نامطلوب، سوخت‌های گاز و گازوئیل را مصرف می‌کند. در این پژوهش با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به سنجش کارایی فنی نیروگاه‌های برق شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس در حضور خروجی‌های نامطلوب و داده‌های بازه‌ای از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ پرداخته‌ایم و در انتها با اجرای همه مدل‌های پیشنهادی تحلیل پوششی داده‌ها در تکنولوژی‌های مختلف نمرات کارایی را مشخص کردیم و در ادامه با استفاده از روش‌های تاپسیس و آنتروپی شانون رتبه‌بندی واحدها را انجام دادیم و به تعیین بیشترین مقیاس اقتصادی نیروگاه‌ها و ارائه پیشنهادات علمی برای بهبود بهره‌وری از واحدهای تصمیم‌گیری ناکارآمد، پرداخته‌ایم.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی فنی، تاپسیس، آنتروپی، شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس

## ۱-۱- مقدمه

شناخت کافی از وضعیت عملکرد صنایع مختلف، سیاست‌گذاران را در جهت بهبود وضعیت بخش‌های صنعتی کمک می‌نماید. یکی از شاخص‌های عملکرد صنایع، شاخص کارایی است که به ایجاد بیشترین ستانده ممکن از نهاده‌های در دسترس اشاره دارد. داشتن تصویری از وضعیت کارایی به عنوان یک شاخص در کنار بقیه مؤلفه‌ها، می‌تواند به سیاست‌گذاران، برای گزینش صنایع در جهت اهداف توسعه‌ای و نیز رفع ناکارایی صنایعی که از دیگر جهات، عملکرد اقتصادی بهتری دارد، کمک نماید. از آنجا که صنایع از جهات مختلف برای توسعه کشور دارای اهمیت است با بررسی و مقایسه ناکارایی و یا کارایی می‌توان در جهت رفع نواقص و افزایش کارایی اقدام نمود (مهرگان، ۱۳۸۳).

## ۱-۲- مرور ادبیات و تحقیقات داخلی

ابراهیم پور (۱۳۸۳) در طرح "برآورد کارایی و بهره‌وری در بانک تجارت و بررسی تطبیقی آن بین واحدهای استانی بانک تجارت با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها" به برآورد کارایی و بهره‌وری ۲۹ واحد استانی بانک تجارت طی سال‌های ۸۳-۱۳۸۲ و محاسبه شاخص مالک کوئیسیت پرداخته است. عباسی و ابراهیمی (۱۳۸۷)، در پژوهشی با عنوان «تحلیل و ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران» بیان می‌کنند: در این پژوهش بر اساس برنامه‌ریزی خطی ناپارامتریک و استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها به بررسی کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران پرداختند.

نیکوکار و همکاران (۱۳۸۷) طی انجام مقاله‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی عملکرد مدیران بیمارستان‌های وابسته به علوم پزشکی اصفهان پرداخته‌اند. شریفی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی مقایسه‌ای کارایی فنی در صنعت سیمان ایران (رهیافت مدل‌های مرزی تصادفی) به بررسی کارایی صنعت سیمان پرداختند.

## ۱-۳- مرور ادبیات و تحقیقات خارجی

کازلیا و اوزان<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) برای ارزیابی کارایی مدارک پزشکی الکترونیکی از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نموده‌اند.

ماندال<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) به ارزیابی صنعت سیمان هند در حضور تولید گازهای گلخانه‌ای و خروجی نامطلوب با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. سوپوشی و گوتو<sup>۳</sup> (۲۰۱۲--a) و (۲۰۱۲-b) و (۲۰۱۲-c) و (۲۰۱۲-d) و (۲۰۱۲e-) و (۲۰۱۳-a) و (۲۰۱۳-b) یک روش DEA و تجزیه و تحلیل مشخص به منظور تعیین رده‌بندی براساس کارآمد از شرکت‌های انرژی ارائه دادند. روش ارائه شده برای بررسی عملکرد صنعت برق ژاپن استفاده شد. آنها روش خود را به منظور مقایسه‌ی عملکرد نیروگاه‌های سوخت زغال‌سنگ تحت سیستم مستقل اپراتورها سازمان انتقال منطقه‌ای با نیروگاه‌های مستقل، اجرا کردند. فانگ، هو، لو<sup>۴</sup> (۲۰۱۳) به محاسبه کارایی فنی و صرفه‌جویی در انرژی با استفاده از تکنیک DEA پرداختند. کلن<sup>۵</sup> (۲۰۱۳) به اندازه‌گیری چگونگی اجرای بهره‌وری از مناطق توزیع برق توسط ادغام بین مناطق توزیع برق پرداختند. کاکاوا، تاکزونو، سو و کودو<sup>۶</sup> (۲۰۱۳) بهره‌وری کارخانه سوخت زیستی در ژاپن را با استفاده از تکنیک DEA مورد بررسی قرار دادند. فانگ<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از تکنیک DEA چهار مرحله‌ای به اثرات صرفه‌جویی انرژی در صنعت برق پرداختند.

## ۲- مفاهیم اولیه

## ۲-۱- داده‌های بازه‌ای در DEA

تحلیل پوششی داده‌ها یک روش غیرپارامتری برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده براساس ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه است. مدل‌های اصلی DEA فرض می‌کند، که ورودی‌ها و خروجی‌ها بوسیله مقادیر دقیق سنجیده می‌شوند. اصطلاح داده‌های غیر

1. Kazleya & Ozcan
2. Mandal
4. Fang, Hu, & Lou
5. Celen
6. Kagawa, Takezono, Suh, Kudoh
7. Fang, Hu, & Lou,

الف) بازده به مقیاس ثابت. ب) بازده به مقیاس افزایشی  
ج) بازده به مقیاس کاهششی

### ۲-۳-۱- بازده به مقیاس ثابت (CRS)<sup>۱</sup>

هرگاه میزان تغییر ورودی‌ها به اندازه  $\lambda$  دقیقاً موجب تغییر خروجی‌ها به همان اندازه  $\lambda$  گردد تابع دارای بازده ثابت نسبت به مقیاس تولید است.

### ۲-۳-۲- بازده به مقیاس افزایشی (IRS)<sup>۲</sup>

اگر تغییر ورودی‌ها به اندازه  $\lambda$  سبب تغییر خروجی به میزان بیشتر از  $\lambda$  گردد، در این صورت تابع تولید دارای بازده افزایشی نسبت به مقیاس تولید است.

### ۲-۳-۳- بازده به مقیاس کاهششی (DRS)<sup>۳</sup>

اگر تغییر ورودی‌ها به اندازه  $\lambda$  باعث تغییر خروجی به میزانی کمتر از  $\lambda$  گردد، در این صورت تابع تولید دارای بازده کاهششی نسبت به مقیاس تولید است.

بندهای ۲-۳-۲ و ۳-۳-۲ را با هم، بازده به مقیاس متغیر (VRS)<sup>۴</sup> می‌نامند. (کرامتی، ۱۳۸۲)

### ۲-۴- مدل‌های ارزیابی کارایی

در این قسمت به معرفی مدل‌های DEA در تکنولوژی‌های مختلف می‌پردازیم.

فرض  $n$  واحد تصمیم‌گیرنده بصورت

$$X_j \in R^m \quad Y_j \in R^s, \quad j = 1 \dots n$$

که بردار ورودی  $X_j$  برای تولید بردار خروجی  $Y_j$  بکار می‌رود.

دقیق به این معنی است که داده‌های ورودی و خروجی را به علت وجود عدم اطمینان نمی‌توان دقیقاً بدست آورد. تنها چیزی که می‌دانیم این است که همه‌ی آنها در محدوده کران بالا و کران پایین معین شده توسط بازه‌ها قرار می‌گیرند (خلیلی دامغانی و همکاران، ۲۰۱۴).

### ۲-۲- خروجی‌های نامطلوب در DEA

در فرایند تولید عموماً وجود ضایعات باعث تحمیل هزینه اضافه مؤسسات می‌گردد. لذا ضایعات را می‌توان به عنوان خروجی نامطلوب در نظر گرفت. در مدل‌های DEA بدیهی است که برای بهبود عملکرد باید خروجی مطلوب را افزایش و خروجی نامطلوب را کاهش داد. یک مدل DEA معمولاً کارآمد نامیده می‌شود اگر بتواند با کمترین ورودی بیشترین خروجی را تولید کند. (خلیلی دامغانی و همکاران، ۲۰۱۴). خروجی نامطلوب در این پژوهش گازهایی مانند  $CO$ ،  $CO_2$ ،  $SO_2$ ،  $SO_3$  و  $NOX$  می‌باشد. هر نیروگاه برق، ترکیبی از سوخت را مصرف می‌کند تا واحدهایی از انرژی الکتریسته و آلودگی را تولید کند.

### ۲-۳- بازده به مقیاس در مدل‌های DEA

RS (Return to scale) به‌طور خاص، به دنبال اندازه سازنده‌ترین مقیاس برای هر واحد تصمیم‌گیری در مجموعه‌ی امکان‌پذیر تولید می‌باشد. از مباحثی که در اقتصاد و رفتار تولیدکننده مطرح می‌باشد بازده به مقیاس است و آن چگونگی تغییر خروجی در صورت تغییر ورودی را نشان می‌دهد که ساده‌ترین تعریف آن عبارت است از: تغییر کلیه عوامل تولید بر مقدار تولید. به عبارت دیگر بازده به مقیاس واکنش خروجی به یک افزایش متناسب در تمام ورودی‌ها را نشان می‌دهد. بازده به مقیاس مفهومی است بلند مدت که منعکس‌کننده نسبت افزایش در خروجی به ازاء افزایش در میزان ورودی‌ها است (خلیلی دامغانی و همکاران، ۲۰۱۴). اگر  $Y=f(x)$  فرم تابع تولید باشد که در آن  $X$  بردار ورودی‌ها یا عوامل تولید و  $Y$  بردار خروجی‌ها یا مقدار تولید باشد. چنانچه تمام عوامل تولید به اندازه  $\lambda$  تغییر کند سه حالت می‌تواند رخ دهد:

1. Constant Return to Scale
2. Increasing Return to Scale
3. decreasing Return to Scale
4. Variable return to scale

### مدل CCR با ماهیت ورودی

$$\begin{aligned}
 & Min \quad \theta \\
 & S.t. \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \leq \theta X_o \\
 & \quad \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \geq Y_o \\
 & \quad \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \\
 & \quad \quad \theta \quad \quad \quad \text{آزاد}
 \end{aligned} \tag{۱}$$

در این راستا شاخص‌های دارای اهمیت بیشتر از وزن بالاتری برخوردارند. در واقع ماتریس (V) حاصلضرب مقادیر استاندارد هر شاخص در اوزان مربوط به خود می‌باشد.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} W_1 \Gamma_{11} & W_2 \Gamma_{12} & \dots & W_n \Gamma_{1n} \\ W_1 \Gamma_{21} & W_2 \Gamma_{22} & \dots & W_n \Gamma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_1 \Gamma_{m1} & W_2 \Gamma_{m2} & \dots & W_n \Gamma_{mn} \end{bmatrix}$$

۴. تعیین معیار فاصله‌ای برای آلترناتیو ( $S_i^*$ ) ایده‌آل و آلترناتیو حداقل  $S_i^-$ :

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

۵. تعیین ضریبی که برابر است با فاصله‌ی آلترناتیو حداقل، تقسیم بر مجموع فاصله‌ی آلترناتیو حداقل و فاصله‌ی آلترناتیو ایده‌آل نشان داده و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$C_i^- = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$$

۶. رتبه‌بندی آلترناتیوها براساس میزان  $C_i^*$

### ۲-۶- روش آنتروپی شانون

ایده اصلی این روش بر این پایه استوار است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین برای محاسبه این اوزان شاخص‌ها به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

از معادله زیر استفاده کرده و رتبه‌بندی‌ها را در ماتریس تصمیم بصورت نرمال در می‌آید.

$$\bar{R}_{jk} = \frac{R_{jk}}{\sum_{j=1}^n R_{jk}}$$

$$j = 1.2. \dots. n \quad k = 1.2. \dots. k$$

در وضعیتی که با  $e_0$  ثابت آنتروپی است و برابر با  $e_0 = (\ln(n))^{-1}$  می‌باشد.

باید توجه داشت در مدل بالا با اضافه کردن قید  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$  مدل BCC و با اضافه کردن قید  $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1$  مدل BCC-CCR با اضافه کردن قید  $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$  مدل CCR- BCC بدست می‌آید.

### ۲-۵- روش تاپسیس

این مدل توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد و یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد (شاه محمدی، ۱۳۹۲).

مراحل ریاضی روش تاپسیس (شاه محمدی، ۱۳۹۲):

۱. تشکیل ماتریس داده‌ها براساس m گزینه و n شاخص

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

۲. استاندارد نمودن داده‌ها و تشکیل ماتریس استاندارد از طریق رابطه زیر:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}}$$

۳. تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها ( $W_i$ ) براساس  $\sum_{i=1}^n W_i = 1$

به عنوان مدل CCR در حضور داده‌های بازه‌ای و خروجی‌های نامطلوب ارائه می‌شود.

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta_{(CCR)} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j [x_{ij}^L, x_{ij}^U] \leq \theta_{(CCR)} \times [x_{io}^L, x_{io}^U] \\ & i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j [y_{rj}^{Ld}, y_{rj}^{Ud}] \geq [y_{ro}^{Ld}, y_{ro}^{Ud}] \\ & r = 1, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j [y_{rj}^{Lu}, y_{rj}^{Uu}] \leq \theta_{(CCR)} \times [y_{ro}^{Lu}, y_{ro}^{Uu}] \\ & r = 1, \dots, \acute{s} \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (۳)$$

مدل فوق نمی‌تواند در فرم صحیح آن حل شود. موارد خوش بینانه و بدبینانه در محاسبه‌ی مرزهای بالا و پایین امتیازات کارآمد برای هر DMU استفاده می‌شود. (دیسپوتیز و سیمیرلیز، ۲۰۰۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). طرح بدبینانه را در نظر گرفته شده که DMU تحت ارزیابی در بدترین شرایط قرار داشت و همه‌ی واحدهای تصمیم‌گیری باقی مانده در بهترین شرایط قرار داشتند و مدل زیر به منظور محاسبه‌ی مرز پایین امتیازات کارآمد برای هر DMU در حضور داده‌ی بازه‌ای و خروجی‌های نامطلوب ارائه دادند.

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta_{(CCR)L} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^L + \lambda_0 x_{io}^U \leq \theta_{(CCR)_l} \times x_{io}^U \\ & j \neq 0 \\ & i = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{Ud} + \lambda_0 y_{ro}^{Ld} \geq y_{ro}^{Ld} \\ & j \neq 0 \\ & r = 1, 2, \dots, S \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{Lu} + \lambda_0 y_{ro}^{Uu} \leq \theta_{(CCR)_l} \times y_{ro}^{Uu} \\ & j \neq 0 \\ & \acute{r} = 1, 2, \dots, S' \quad \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (۴)$$

بعد، ما طرح را خوش بینانه در نظر گرفتیم که DMU تحت ارزیابی در بهترین شرایط قرار داشت و همه‌ی DMUهای باقی‌مانده در بدترین شرایط قرار داشتند و مدل زیر را به منظور محاسبه‌ی مرز بالای امتیازات کارآمد برای هر DMU در حضور داده‌های بازه‌ای و خروجی‌های نامطلوب ارائه دادند.

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta_{(CCR)U} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^U + \lambda_0 x_{io}^L \leq \theta_{(CCR)_u} \times x_{io}^L \\ & j \neq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_k &= -e_0 \sum_{j=k}^n \bar{E}_{jk} \ln \bar{E}_{jk} \\ k &= 1, 2, \dots, k \end{aligned}$$

$e_k$  مقدار آنتروپی شاخص  $k$  ام را نشان می‌دهد. سپس  $d_k = 1 - e_k$  را به عنوان درجه تنوع  $k=1, 2, \dots, K$  در نظر می‌گیریم. مقدار  $d_k$  عدم اطمینان یا درجه انحراف را برای شاخص  $k$  ام بیان می‌کند و از آنجایی که روش آنتروپی شانون بیشترین وزن را به شاخص با بیشترین درجه انحراف می‌دهد لذا خواهیم داشت:

$$W_k = \frac{d_k}{\sum_{k=1}^k d_k} \quad k = 1, 2, \dots, k$$

$W_k$  بیانگر اهمیت نسبی رتبه‌بندی بدست آمده به وسیله RS از نوع  $k$  می‌باشد. در نهایت از معادله زیر استفاده کرده و شاخص کارایی را محاسبه می‌کنیم.

$$\beta_j = \sum_{k=1}^k W_k E_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (۲)$$

## ۷-۲- مدل‌های DEA در حضور داده‌های بازه‌ای و خروجی‌های نامطلوب

در این بخش، مدل‌های DEA در حضور داده‌های بازه‌ای و خروجی‌های نامطلوب جهت سنجش RS پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی توسط گو و وو (۲۰۱۳) جهت دستیابی به خروجی‌های نامطلوب سفارش شده است.  $n$  واحد تصمیم‌گیرنده که  $m$  ورودی به منظور تولید  $S$  خروجی بکار می‌برند، را در نظر بگیرد. فرض کنیم  $X_{ij}$  نشان دهنده‌ی سطح ورودی  $i$  ام برای  $DMU_j$  و  $y_{rj}^d$  نشان دهنده‌ی سطح خروجی نامطلوب  $r$  ام برای  $DMU_j$  و  $y_{rj}^u$  نشان دهنده‌ی سطح خروجی نامطلوب  $\acute{r}$  ام برای  $DMU_j$  باید توجه داشت که خروجی‌های نامطلوب باید برای بهبود عملکرد یک واحد تصمیم‌گیری کاهش یابد.

ورودی و خروجی‌های نامعلوم به وسیله‌ی داده‌ی بازه‌ای مثبت  $x_{ij} \in [x_{ij}^L, x_{ij}^U]$ ،  $y_{rj}^d \in [y_{rj}^{Ld}, y_{rj}^{Ud}]$  و  $y_{rj}^u \in [y_{rj}^{Lu}, y_{rj}^{Uu}]$

در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، خروجی‌های نامعلوم به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند. مدل زیر

هر واحد تصمیم‌گیرنده اضافه می‌شود. همچنین بازه و میانگین کارایی به ترتیب با بازه‌های

$$\left[ \theta^*(CCR-BCC)_l, \theta^*(CCR-BCC)_u \right]$$

و

$$\left[ \theta^*(BCC-CCR)_l, \theta^*(BCC-CCR)_u \right]$$

مشخص و محاسبه می‌شود.

برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیرنده کلاس بازه به مقیاس از جدول ۱ مشخص می‌شود.

اگر کران پایین برای DMU کمتر از یک و بالای کارایی برای DMU برابر با یک باشد DMU به عنوان E+ طبقه‌بندی می‌شود؛ و اگر مرزهای پایین‌تر و بالاتر امتیازات کارآمد DMU هر دو کمتر از یک باشد، DMU به عنوان E- طبقه‌بندی می‌شود. همچنین برای تعیین RS در گروه E- واحدهای تصمیم‌گیری از روش‌های معمولی تعیین کلاس بازه به مقیاس استفاده می‌شود. برای تعیین کلاس بازه به مقیاس DMU‌های طبقه‌بندی شده در گروه E+ مراحل زیر ارائه شده است:

**مرحله ۱.** دامنه و مقدار میانگین بازه کارایی برای هر DMU در مدل‌های CCR، BCC، BCC-CCR و CCR-BCC با استفاده از هر دو طرح‌های خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب محاسبه می‌شود.

**مرحله ۲.** از دامنه و مقدار میانگین بازه کارایی محاسبه شده استفاده می‌شود و الگوریتم TOPSIS اجرا می‌شود، که توسط هووانگ و یون (۱۹۸۱) و شین، شیور، و لی (۲۰۰۷) برای هر چهار مدل براساس طرح‌های خوش‌بینانه و بدبینانه مطرح شد تا یک نمره رده‌بندی برای هر DMU (نیروگاه) تعیین شود.

$$i = 1.2. \dots m$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \lambda_j y_{rj}^{Ld} + \lambda_0 y_{ro}^{Ud} \geq y_{ro}^{Ud}$$

$$r = 1.2. \dots S \quad (5)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \lambda_j x_{ij}^{Uu} + \lambda_0 x_{ro}^{Lu} \leq \theta_{(CCR)U} \times y_{ro}^{Uu}$$

$$r' = 1.2. \dots S'$$

$$\lambda_j \geq 0. \quad \forall j = 1.2. \dots n$$

با حل دو مدل فوق مقدار کارایی هر واحد تصمیم‌گیرنده در بازه  $[\theta_{(CCR)L}^*, \theta_{(CCR)U}^*]$  قرار دارد. باید توجه داشت در مدل‌های (۴) و (۵) با اضافه کردن قید  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$  مدل BCC و با اضافه کردن قید  $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1$  مدل BCC-CCR با اضافه کردن قید  $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$  مدل CCR- BCC بدست می‌آید.

## ۲-۸- تعیین RS در حضور داده‌های بازه‌ای و خروجی‌های نامطلوب

به منظور تعیین کلاس بازه به مقیاس برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیرنده در حضور داده‌های بازه‌ای و خروجی‌های نامطلوب، کلاس شامل VRS (Variable Return to Scale)، بازه به مقیاس کاهشی (DRS) و بازه به مقیاس افزایشی (IRS) محاسبه می‌شود. برای شرایط VRS، محدودیت  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$  به مدل (۴) و (۵) برای هر واحد تصمیم‌گیرنده اضافه می‌شود و بازه و میانگین کارایی که با بازه-ی  $[\theta^*(BCC)_l, \theta^*(BCC)_u]$  مشخص و محاسبه می‌شود. برای شرایط بازه به مقیاس کاهشی (DRS) و بازه به مقیاس افزایشی (IRS) به ترتیب قیود  $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1$  و  $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$  به مدل (۴) و (۵) برای

جدول (۱). کلاس بازه به مقیاس برای دسته E++

DRS	CRS	IRS
BCC-CCR > CCR-BCC	BCC=CCR	BCC-CCR < CCR-BCC
CCR-BCC = BCC		CCR-BCC = BCC
BCC-CCR = CCR		BCC-CCR = CCR

زارع پیشه (براساس آنتروپی شانون) بوده است تا یک رتبه‌بندی نهایی منحصر به فرد برای هر DMU در حضور داده‌های بازه‌ای، خروجی نامطلوب و کلاس‌های مختلف RS تعیین شود. ماتریس تصمیم‌گیری شامل مقادیر ترتیبی رتبه‌بندی به دست آمده DMUها می‌باشد که براساس روش پیشنهادی TOPSIS است که در بخش قبلی مطرح شد. فرض بر این است که تعداد  $n$  DMU بوسیله یک مدل DEA طبق معیار  $k$  ارزیابی شده‌اند ( $k=1,2,\dots,k$ ). نتایج حاصل از کارایی بدست آمده در ماتریس  $E_{n \times k}$  فهرست می‌شود. هر ردیف از ماتریس  $E$  متناظر با یک DMU و هر ستون متناظر با یک رتبه می‌باشد. مراحل آنتروپی شانون جهت تعیین یک رتبه منحصر به فرد برای هر DMU پیشنهاد بکار می‌رود.  $\beta_j$  رتبه نهایی  $DMU_j$  و  $E_{jk}$  مقدار کارایی  $DMU_j$  با توجه به RS از نوع  $k$  (نمره کارایی بدست آمده از یکی از چهار مدل BCC-CCR, CCR, BCC, CCR) می‌باشد. همه DMUها براساس ترتیب کاهش  $\beta_j$  رتبه‌بندی می‌شوند.

### ۳- شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس

شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس، وظیفه بهره برداری از چهار نیروگاه چهارم، کازرون، بوشهر و کنگان را به عهده دارد که به اختصار توضیحاتی درباره چهار نیروگاه داده خواهد شد.

#### ۳-۱- نیروگاه چهارم

نیروگاه چهارم در زمینی به وسعت ۱۰۰ هکتار در ۲۰ کیلومتری جاده چهارم- شیراز واقع گردیده است. ظرفیت اسمی این نیروگاه ۱۴۳۵ مگاوات می‌باشد. که فاز گازی آن شامل ۶ واحد گازی ۱۵۹ مگاواتی مدل آنسالدو و مجموعاً به ظرفیت ۹۵۴ مگاوات می‌باشد که در ۱۳۸۷ به اتمام رسیده است و در حال بهره‌برداری از آن می‌باشند اما فاز بخار آن که شامل سه واحد بخار ترکیبی با ظرفیت ۱۶۰ مگاواتی زمینس، مجموعاً به ظرفیت ۴۸۰ مگاوات می‌باشد هنوز تکمیل نشده است و در حال ساخت می‌باشد.

الگوریتم TOPSIS براساس فواصل بین DMUها و دو DMU زائد (یعنی DMU مطلوب و DMU نامطلوب) است. آن DMU که بطور هم‌زمان، دور از DMU نامطلوب و مجاور DMU مطلوب است، بهترین گزینه است. آن DMU که بطور هم‌زمان، دور از DMU مطلوب و مجاور DMU نامطلوب است، بدترین انتخاب است. DMU مطلوب و DMU نامطلوب، به ترتیب با استفاده از دو فرمول زیر مشخص شده‌اند.

$$A_+ = \begin{cases} X_{A_+} = \text{Max mean value.} \\ Y_{A_+} = \text{Min Range} \end{cases}$$

$$A_- = \begin{cases} X_{A_-} = \text{Max mean value.} \\ Y_{A_-} = \text{Min Range} \end{cases}$$

فاصله بین هر DMU و DMU مطلوب، و فاصله بین هر DMU و DMU نامطلوب به ترتیب با استفاده از دو فرمول زیر محاسبه شده است.

$$d_j(A_+) = \sqrt{(Mean_j - X_{A_+})^2 + (Range_j - Y_{A_+})^2}$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$d_j(A_-) = \sqrt{(Mean_j - X_{A_-})^2 + (Range_j - Y_{A_-})^2}$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

معادله زیر بعداً جهت محاسبه یک ضریب دقیق (CC) شاخص برای هر DMU تحت بررسی بکار رفته است.

$$CC_j = \frac{d_j(A_-)}{(d_j(A_+)) + (d_j(A_-))}$$

$$\forall j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

در نهایت، DMUها براساس ترتیب کاهش ضرایب دقیق آنها رده‌بندی می‌شوند. در نتیجه، چهار رده اصلی، مرتبط با BCC-CCR, CCR, BCC, CCR-BCC برای هر DMU اختصاص می‌یابند (خلیلی دامغانی و همکاران، ۲۰۱۴).

#### ۲-۹- رتبه‌بندی نهایی واحدهای تصمیم‌گیرنده

پس از تعیین RS، تصمیم‌گیرندگان ممکن است تمایلی برای اختصاص یک رتبه‌بندی منحصر به فرد برای هر DMU داشته باشند (با توجه به چهار رتبه بدست آمده از چهار مدل). روش مطرح شده از سوی سلیمانی - دامنه و

**۳-۲- نیروگاه کازرون**

نیروگاه کازرون در زمینی به مساحت ۱۰۰ هکتار و در ۱۲ کیلومتر جاده فراشبند در جنوب شرقی شهرستان کازرون بنا شده است. فاز اول نیروگاه متشکل از دو واحد گازی ساخت شرکت میتسویشی ژاپن در تابستان ۱۳۷۳ مورد بهره‌برداری قرار گرفت. فاز دوم نیروگاه شامل چهار واحد گازی محصول مشترک ایران و ایتالیا می‌باشد که در سال ۱۳۸۲ در مدار مدل قرار گرفت که قدرت اسمی واحدهای میتسویشی ۱۲۸.۵ و واحدهای آنسالو ۱۵۹ مگاوات می‌باشد که جمعاً ظرفیت اسمی نیروگاه به ۸۹۳ مگاوات می‌رسد. فاز سوم نیروگاه شامل سه واحد بخار هر کدام به ظرفیت ۱۶۰ مگاوات محصول مشترک ایران و آلمان می‌باشد که در سال ۱۳۸۶ مورد بهره‌برداری قرار گرفت که پس از ورود واحدهای بخار به مدار، ظرفیت اسمی این نیروگاه به ۱۳۷۳ مگاوات رسیده است.

**۳-۳- نیروگاه بوشهر**

نیروگاه گازی بوشهر در ورودی شهر بوشهر می‌باشد که در حال حاضر سه واحد آلستوم با قدرت اسمی ۲۵ مگاوات بوده و در مجموع قدرت اسمی این نیروگاه ۷۵ مگاوات می‌باشد.

**۳-۴- نیروگاه کنگان**

نیروگاه گازی کنگان در زمینی به مساحت ۲۴ هکتار و در منطقه بخش ریز از توابع شهرستان جم در ۱۲ کیلومتری شرکت پالایش گاز فجر جم واقع گردیده است. این منطقه از آب و هوای گرم و تقریباً خشک برخوردار بوده و از سطح دریا ۸۰۰ متر ارتفاع دارد. این نیروگاه شامل ۷ واحد گازی با قدرت اسمی ۲۵ مگاوات و یک واحد با قدرت اسمی ۱۴ مگاوات می‌باشد که در مجموع قدرت تولیدی نیروگاه ۱۶۴ مگاوات می‌باشد.

**۳-۵- مطالعه موردی**

ما در این تحقیق می‌خواهیم که کارایی فنی نیروگاه‌های شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس که شامل نیروگاه جهرم، نیروگاه کازرون، نیروگاه بوشهر و نیروگاه کنگان می‌باشد را طی دوره زمانی ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۳ را مورد

بررسی قرار دهیم. دوره‌های زمانی ما که شش ماهه می‌باشد که ۱۰ دوره زمانی خواهیم داشت و چهار نیروگاه داریم که در این صورت دارای ۴۰ DMU خواهیم بود. از DMU1 تا DMU10 مربوط به بازه‌های زمانی نیروگاه جهرم و از DMU11 تا DMU20 مربوط به نیروگاه کازرون و از DMU21 تا DMU30 مربوط به نیروگاه بوشهر و از DMU31 تا DMU40 مربوط به نیروگاه کنگان می‌باشد.

چهار امتیاز کارامد برای حد بالای (طرح خوش بینانه) هر DMU محاسبه می‌شود و چهار امتیاز کارامد برای حد پایین (طرح بدبینانه) هر DMU نیز محاسبه می‌شود. حد بالا و پایین ورودی و خروجی‌ها را که مقادیر آن در جدول (۲) و (۳) آورده شد را طبق چهار مدل DEA (CCR, BCC, BCC-CCR, CCR-BCC) در نرم افزار GAMS وارد کرده و مقیاس کارایی را برای هر واحد تصمیم‌گیری محاسبه می‌کنیم که نتایج بدست آمده را در جدول (۴) و (۵) نشان داده‌ایم. در همه شکل‌ها محور افقی شماره واحد و محور عمودی مقادیر کارایی را نشان می‌دهد.

**۴- شاخص‌های ورودی و خروجی**

شاخص‌های ورودی با در نظر گرفتن اینکه تمایل به کاهش آنها در نظر است:

۱- تعداد کارکنان ۲- سوخت مصرفی ۳- برق مصرفی (مصرف داخلی)

شاخص‌های خروجی نامطلوب با در نظر گرفتن اینکه تمایل به کاهش آنها مدنظر است:

۱- گاز گلخانه‌ای NOX ۲- گاز گلخانه‌ای SO2  
۳- گاز گلخانه‌ای SO3 ۴- گاز گلخانه‌ای CO ۵- گاز گلخانه‌ای CO2

شاخص خروجی مطلوب با در نظر گرفتن اینکه تمایل به افزایش آن مدنظر است:

۱- تولید اکتیو (برق تولیدی)

حال کلیه واحدها با توجه به این شاخص‌ها با یکدیگر مقایسه و ارزیابی می‌شوند. اما با این تفاوت که در تحلیل پوششی داده‌ها وزن هر شاخص سلیقه‌ای نیست بلکه مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی این اوزان را تعیین می‌کنند.



داده‌های مقاله در نرم افزار GAMS نتایج حاصل از مدل‌های BCC و CCR در جدول (۴) آمده است. ضمناً مقدار کران پایین و بالای کارایی حاصل از مدل‌های BCC و CCR در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

#### ۳-۴- اجرای مدل BCC-CCR و CCR-BCC

همانطور که در بخش دوم توضیح داده شد مدل BCC-CCR و CCR را بترتیب مدل‌های بازده به مقیاس افزایشی و کاهش می‌نامند با وارد کردن کران پایین و بالای داده‌های مقاله در نرم افزار GAMS نتایج مربوط به این مدل‌ها در جدول (۵) بدست می‌آید. ضمناً مقدار کران پایین و بالا کارایی حاصل از مدل این مدل‌ها در شکل (۳) و (۴) نشان داده شده است.

#### ۴-۴- رتبه‌بندی مدل‌های DEA با استفاده از روش تاپسیس

با استفاده از مقادیر کارایی حاصل از همه مدل‌ها برای واحدها در کلاس E+ و برای رتبه‌بندی واحدها الگوریتم تاپسیس (TOPSIS) اجرا می‌شود و برای هر چهار مدل براساس کران پایین (طرح بدبینانه) و کران بالا (طرح خوش بینانه) یک رتبه برای هر DMU (نیروگاه) تعیین می‌شود. الگوریتم TOPSIS براساس فواصل بین DMU ها و دو DMU زائد (یعنی DMU مطلوب و DMU نامطلوب) اجرا می‌شود. DMU ای که بطور هم-زمان، دور از DMU نامطلوب و مجاور با DMU مطلوب است، بهترین گزینه می‌باشد. DMU ای که بطور هم-زمان، دور از DMU مطلوب و مجاور DMU نامطلوب است، بدترین انتخاب است. DMU مطلوب و نامطلوب، به ترتیب با استفاده از دو فرمول زیر مشخص شده‌اند. باید توجه داشت که مقادیر طول بازه و میانگین متناظر هر واحد و مدل از جداول (۴) و (۵) بدست می‌آید.

بعد از جمع‌آوری داده‌ها مدل برنامه‌ریزی ریاضی آن به صورت برنامه‌های نرم افزاری تحت نرم افزار GAMS نوشته خواهد شد. این ارزیابی با مدل‌های BCC و CCR و BCC-CCR و CCR-BCC صورت گرفته و وضعیت تمام واحدهای تصمیم‌گیری در تک تک ورودی و خروجی‌ها بررسی و مقایسه می‌شود.

#### ۴-۱- ابزار گرد آوری داده‌ها

یکی از مهمترین مراحل پژوهش جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز در رابطه با تحقیق می‌باشد. داده‌ها بصورت جمع‌آوری اطلاعات از واحدهای شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس خواهد بود. در واقع ما در این پژوهش داده‌ها برای جمع‌آوری داده‌ها به صورت زیر عمل کردیم. ورودی‌های سوخت مصرفی و برق مصرفی را از واحد بهره‌برداری چهار نیروگاه بدست آوردیم که روزانه به صورت دقیق و سیستمی ثبت می‌گردد و ورودی سوم که آمار مربوط به تعداد کارکنان فنی می‌باشد را از معاونت منابع انسانی شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس دریافت کردیم. همچنین خروجی مطلوب که شامل برق تولیدی می‌باشد را از واحد بهره‌برداری چهار نیروگاه و گازهای گلخانه‌ای را که خروجی نامطلوب می‌باشد از واحد دفتر مهندسی چهار نیروگاه بدست آوردیم. واحد اندازه‌گیری سوخت مصرفی متر مکعب و واحد اندازه‌گیری برق مصرفی و تولیدی مگاوات ساعت و واحد اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای تن می‌باشد. ما در این تحقیق ابتدا مجموع داده‌ها را در برای هر DMU محاسبه کرده‌ایم و سپس مقدار کران بالا و پایین هر داده را بدست آورده‌ایم، زیرا با توجه به بازه‌ای بودن دوره‌های زمانی، نیاز به کمترین مقدار و بیشترین مقدار، برای ارزیابی دقیق‌تر می‌باشد، که مقادیر آنها را در جدول (۲) و (۳) نشان داده‌ایم.

#### ۴-۲- اجرای مدل BCC و CCR

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، مدل BCC و CCR به ارزیابی کارایی نسبی واحدها با بازده به مقیاس بترتیب متغیرو ثابت می‌پردازد. با وارد کردن حد پایین و بالای

جدول (۲). کران پایین داده‌های ورودی و خروجی ۴۰ واحد تصمیم‌گیری

ورودی‌ها			خروجی مطلوب	خروجی‌های نامطلوب (گازهای گلخانه‌ای) GAZ/TON					DMU
برق مصرفی	سوخت مصرفی	تعداد کارکنان	تولید اکتیو	CO2	CO	SO3	SO2	NOX	
28.5	760328	58	2329	1941	0.2	0.03	1	6	1
17.2	215	58	53	45	0.004	0.0007	0.05	0.1	2
21	630252	56	1671	1462	0.2	0.04	1.4	5	3
21.5	707	59	1571	1372	0.1	0.03	1	4	4
17.4	1351	59	2053	1743	0.2	0.03	1.3	5	5
14	6	58	10	8	0.0009	0.0001	0.007	0.02	6
14.4	1319	57	54	47	0.005	0.001	0.04	0.14	7
8.6	3	57	35	30	0.003	0.0007	0.02	0.09	8
11.4	190039	57	572	502	0.05	0.01	0.45	1.64	9
14.2	20	58	62	54	0.006	0.001	0.049	0.17	10
274.56	2388404	132	15184	7250	0.8	0.1	3	47	11
33.77	3661	133	5118	2441	0.2	0.04	1	15	12
149.36	1552465	130	7252	3573	0.5	0.09	2	21	13
36.99	45470	133	4441	2181	0.3	0.05	1	13	14
236.22	2324100	135	12848	6202	0.9	0.1	3	37	15
55.28	77982	135	8214	3961	0.6	0.08	2	23	16
149.36	102887	136	13668	6790	0.1	0.1	6	41	17
152.54	3359	136	8374	4165	0.6	0.1	3	25	18
192.36	1141287	135	12125	5891	1	0.1	5	35	19
216.26	3690	133	12070	5862	1	0.1	5	35	20
0.7	25000	25	53	44	0.004	0.0008	0.03	0.14	21
0.3	10	25	5	4	0.0004	0.00008	0.003	0.013	22
0.9	468	22	8	7	0.0009	0.0001	0.008	0.025	23
0.5	2703	22	1	0.87	0.0001	0.00002	0.001	0.003	24
0.6	23778	22	45	38	0.004	0.0008	0.03	0.12	25
0.5	1358	21	3	2.5	0.0003	0.00005	0.002	0.008	26
0.4	385	18	14	12	0.0013	0.0002	0.011	0.037	27
0.5	587	18	157	136	0.015	0.003	0.12	0.4	28
0.5	46421	18	93	81	0.009	0.001	0.07	0.26	29
0.2	5308	15	6	5	0.0005	0.0001	0.004	0.017	30
1.68	872897	33	1802	1501	0.1	0.02	1	4.9	31
0.75	175666	33	359	302	0.03	0.005	0.2	0.9	32
0.78	114596	32	68	59	0.008	0.001	0.06	0.2	33
0.91	513910	31	1214	1063	0.1	0.02	1	3.8	34
0.73	518933	32	1181	1005	0.1	0.02	0.8	3.27	35
0.81	345805	30	206	175	0.02	0.003	0.15	0.57	36
0.75	525574	30	1211	1054	0.1	0.02	0.9	3.2	37
1.17	518260	31	1116	974	0.1	0.02	0.8	2.9	38
1.35	662673	31	1321	1160	0.1	0.02	1	3.8	39
0.82	354338	31	712	625	0.06	0.01	0.56	2.04	40

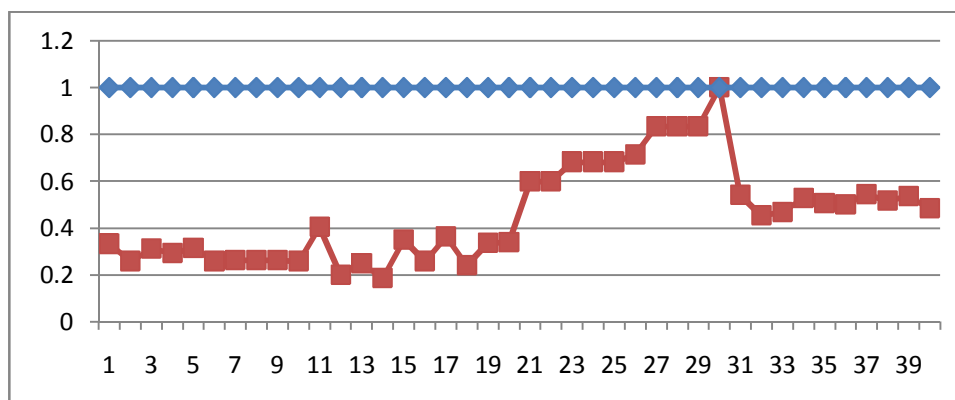
جدول (۳). کران بالای داده‌های ورودی و خروجی ۴۰ واحد تصمیم‌گیرنده

ورودی‌ها			خروجی مطلوب	خروجی‌های نامطلوب (گازهای گلخانه‌ای) GAZ/TON					DMU
برق مصرفی	سوخت مصرفی	تعداد کارکنان	تولید اکتیو	CO2	CO	SO3	SO2	NOX	
93.6	5117000	58	16141	13501	1.1	0.2	10	44	1
79.5	5185236	58	16354	13680	1.1	0.2	10	44	2
83.2	5284030	56	15935	13962	1.2	0.3	15	50	3
70.7	5029261	59	15745	13790	1.1	0.3	15	49	4
86.5	5278229	59	16292	13842	1.2	0.2	12	45	5
64.5	4713735	58	14300	12154	1	0.2	10	39	6
85.9	5171700	57	16403	14273	1.4	0.3	12	43	7
68	4764372	57	14717	12816	1	0.2	11	39	8
82.3	5662836	57	16414	14420	1.5	0.3	13	47	9
60.9	5230561	58	16873	14821	1.5	0.3	13	48	10
461.14	5668085	132	26965	18870	1.5	0.2	5	83	11
426.17	5479160	133	25925	12381	1	0.2	5	80	12
466.17	5537240	130	25843	12722	1.4	0.3	8	77	13
361.8	4988310	133	20795	10245	1	0.2	7	62	14
459.21	5634620	135	26337	12721	1.5	0.2	7	76	15
411.73	5817390	135	26146	12633	1.5	0.2	7	76	16
466.17	5902696	136	26740	13289	2.1	0.3	12	81	17
447.83	5580875	136	25806	12825	2	0.3	11	78	18
473.4	5979945	135	27133	14182	2	0.3	11	78	19
479	5884380	133	27630	13425	2.2	0.3	12	80	20
93.3	519000	25	1090	910	0.09	0.01	0.7	2.9	21
2.5	362068	25	772	642	0.06	0.01	0.5	2	22
3.3	515704	22	1088	951	0.1	0.02	1	3.4	23
3.3	498743	22	1025	893	0.1	0.02	1	3.2	24
9	525279	22	1058	891	0.1	0.01	0.7	2.9	25
6	545820	21	1070	903	0.1	0.01	0.7	2.9	26
2.2	336807	18	681	595	0.06	0.01	0.52	1.8	27
2.2	326466	18	659	576	0.06	0.01	0.51	1.7	28
2	341914	18	672	591	0.06	0.01	0.53	1.9	29
2	339443	15	716	622	0.07	0.01	0.54	2	30
3.74	1325346	33	2833	2371	0.2	0.04	1.8	7.7	31
2.81	1285280	33	2693	2251	0.2	0.04	1.7	7.3	32
3.56	1418453	32	2635	2305	0.3	0.06	2.6	8.3	33
2.91	1129666	31	2534	2224	0.3	0.06	2.5	8	34
3.59	1308711	32	2703	2290	0.2	0.04	2	7.5	35
4.32	1272753	30	6625	2232	0.2	0.04	1.9	7.2	36
4.23	1192024	30	2581	2243	0.2	0.05	2	6.8	37
2.64	1174623	31	2505	2180	0.2	0.05	1.9	6.6	38
3.72	1250797	31	4469	2161	0.2	0.04	1.9	7	39
3.42	1208789	31	2424	2120	0.2	0.04	1.9	6.9	40

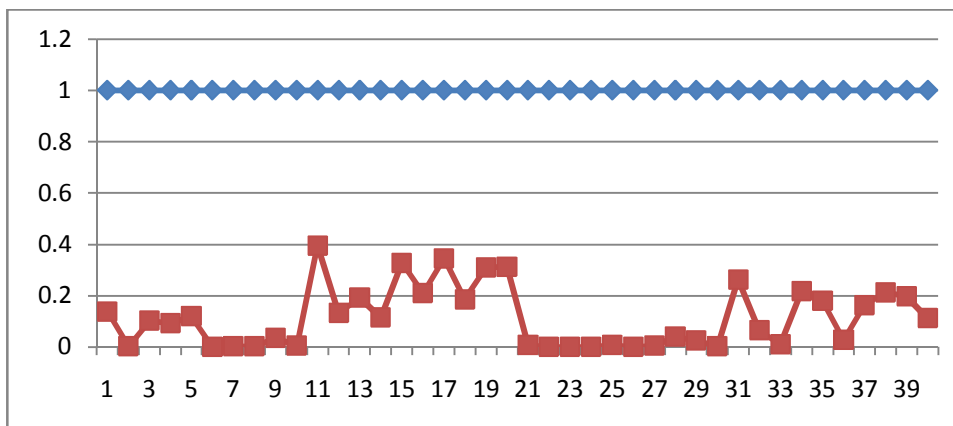
جدول (۴). کران پایین و بالای حاصل از مدل‌های CCR و BCC

واحد‌های تصمیم‌گیری	مقیاس پایین کارایی مدل BCC	مقیاس بالای کارایی مدل BCC	مقیاس پایین کارایی مدل CCR	مقیاس بالای کارایی مدل CCR	واحد‌های تصمیم‌گیری	مقیاس پایین کارایی مدل BCC	مقیاس بالای کارایی مدل BCC	مقیاس پایین کارایی مدل CCR	مقیاس بالای کارایی مدل CCR
DMU01	0.333	1	0.138	1	DMU21	0.600	1	0.007	1
DMU02	0.259	1	0.003	1	DMU22	0.600	1	0.001	1
DMU03	0.313	1	0.103	1	DMU23	0.682	1	0.001	1
DMU04	0.293	1	0.092	1	DMU24	0.682	1	0	1
DMU05	0.315	1	0.12	1	DMU25	0.682	1	0.007	1
DMU06	0.259	1	0.001	1	DMU26	0.714	1	0	1
DMU07	0.263	1	0.003	1	DMU27	0.833	1	0.004	1
DMU08	0.263	1	0.002	1	DMU28	0.833	1	0.040	1
DMU09	0.263	1	0.034	1	DMU29	0.833	1	0.025	1
DMU10	0.259	1	0.004	1	DMU30	1	1	0.002	1
DMU11	0.405	1	0.395	1	DMU31	0.542	1	0.263	1
DMU12	0.201	1	0.132	1	DMU32	0.455	1	0.064	1
DMU13	0.249	1	0.192	1	DMU33	0.469	1	0.01	1
DMU14	0.187	1	0.115	1	DMU34	0.527	1	0.217	1
DMU15	0.350	1	0.327	1	DMU35	0.507	1	0.18	1
DMU16	0.259	1	0.209	1	DMU36	0.005	1	0.028	1
DMU17	0.364	1	0.345	1	DMU37	0.544	1	0.162	1
DMU18	0.241	1	0.186	1	DMU38	0.518	1	0.213	1
DMU19	0.336	1	0.309	1	DMU39	0.536	1	0.197	1
DMU20	0.340	1	0.312	1	DMU40	0.484	1	0.113	1

شکل (۱). کران پایین و بالای حاصل از مدل BCC



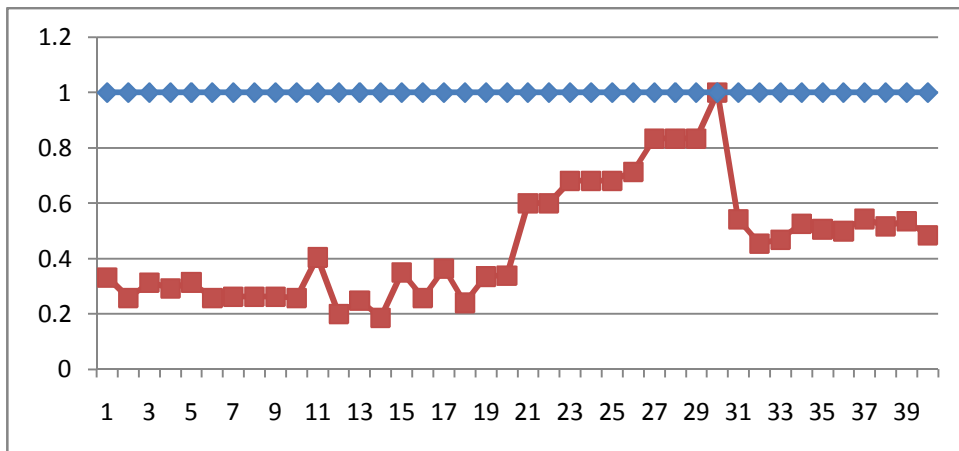
شکل (۲). کران پایین و بالای حاصل از مدل CCR



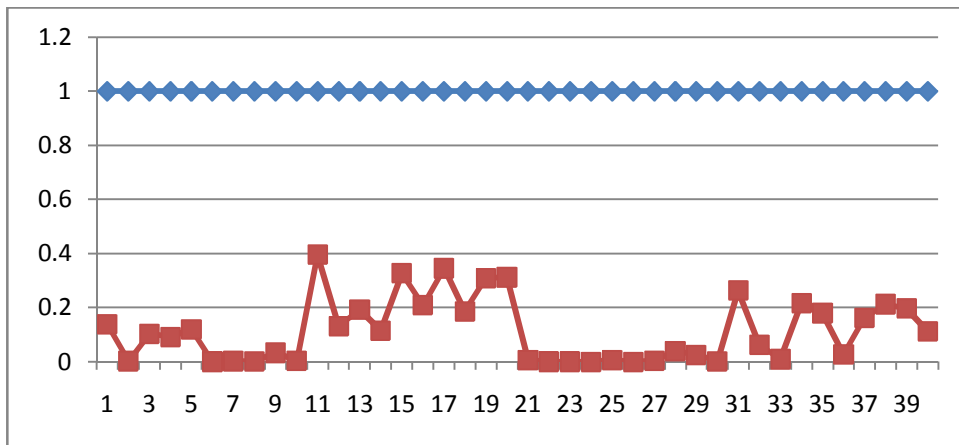
جدول (۵). کران پایین و بالای حاصل از مدل‌های CCR-BCC و BCC-CCR

واحد‌های تصمیم‌گیری	مقیاس پایین کارایی مدل BCC- CCR	مقیاس بالای کارایی مدل BCC- CCR	مقیاس پایین کارایی مدل CCR- BCC	مقیاس بالای کارایی مدل CCR- BCC	واحد‌های تصمیم‌گیری	مقیاس پایین کارایی مدل BCC- CCR	مقیاس بالای کارایی مدل BCC- CCR	مقیاس پایین کارایی مدل CCR- BCC	مقیاس بالای کارایی مدل CCR- BCC
DMU01	0.333	1	0.138	1	DMU21	0.600	1	0.007	1
DMU02	0.259	1	0.003	1	DMU22	0.600	1	0.001	1
DMU03	0.313	1	0.103	1	DMU23	0.682	1	0.001	1
DMU04	0.293	1	0.092	1	DMU24	0.682	1	0	1
DMU05	0.315	1	0.12	1	DMU25	0.682	1	0.007	1
DMU06	0.259	1	0.001	1	DMU26	0.714	1	0	1
DMU07	0.263	1	0.003	1	DMU27	0.833	1	0.004	1
DMU08	0.263	1	0.002	1	DMU28	0.833	1	0.040	1
DMU09	0.263	1	0.034	1	DMU29	0.833	1	0.025	1
DMU10	0.259	1	0.004	1	DMU30	1	1	0.002	1
DMU11	0.405	1	0.395	1	DMU31	0.542	1	0.263	1
DMU12	0.201	1	0.132	1	DMU32	0.455	1	0.064	1
DMU13	0.249	1	0.192	1	DMU33	0.469	1	0.01	1
DMU14	0.187	1	0.115	1	DMU34	0.527	1	0.217	1
DMU15	0.35	1	0.327	1	DMU35	0.507	1	0.18	1
DMU16	0.259	1	0.209	1	DMU36	0.500	1	0.028	1
DMU17	0.364	1	0.345	1	DMU37	0.544	1	0.162	1
DMU18	0.241	1	0.186	1	DMU38	0.518	1	0.213	1
DMU19	0.336	1	0.309	1	DMU39	0.536	1	0.197	1
DMU20	0.340	1	0.312	1	DMU40	0.484	1	0.113	1

شکل(۳): کران پایین و بالای حاصل از مدل BCC-CCR



شکل(۴): کران پایین و بالای حاصل از مدل CCR-BCC



DMU محاسبه می‌کنیم. ابتدا یک ماتریس تصمیم‌گیری برای اجرای روش آنتروپی شانون می‌نویسیم که سطرهای آن تعداد DMUها می‌باشد و ستون‌های آن مقادیر حاصل از چهار مدل DEA می‌باشد که شامل مقادیر مربوط به رتبه‌بندی تاپسیس DMU های به دست آمده براساس روش پیشنهادی TOPSIS است که در بخش قبلی مطرح شد. در ادامه روش آنتروپی شانون که در قسمت قبلی بیان شد را بکار می‌بریم و رتبه‌بندی نهایی انجام می‌شود. نتایج در جدول (۷) آمده است.

اکنون الگوریتم تاپسیس در بخش قبلی را بکار برده و رتبه واحدها را بدست می‌آوریم. پس از بدست آوردن مقادیر مربوط به رتبه‌بندی تاپسیس چهار مدل DEA می‌توانیم آنها را براساس ترتیب کاهشی CCها رتبه‌بندی کنیم که رتبه هر DMU در جدول (۶) آورده شده است.

#### ۴-۵- رتبه‌بندی نهایی واحدها

پس از تعیین مقادیر مربوط به رتبه‌بندی تاپسیس چهار مدل DEA که در مرحله قبل بدست آوردیم یک رتبه بندی نهایی را براساس روش آنتروپی شانون برای هر

جدول (۶). مقادیر مربوط به رتبه‌بندی تاپسیس (CC<sub>j</sub>) چهار مدل DEA

DMU	BCC	CCR	BCC-CCR	CCR-BCC
1	0.179582	0.349367	0.179582	0.349367
2	0.088561	0.007595	0.088561	0.007595
3	0.154982	0.260759	0.154982	0.260759
4	0.130381	0.232911	0.130381	0.232911
5	0.157442	0.303797	0.157442	0.303797
6	0.088561	0.002532	0.088561	0.002532
7	0.093481	0.007595	0.093481	0.007595
8	0.093481	0.005063	0.093481	0.005063
9	0.093481	0.086076	0.093481	0.086076
10	0.088561	0.010127	0.088561	0.010127
11	0.268143	1	0.268143	1
12	0.01722	0.334177	0.01722	0.334177
13	0.076261	0.486076	0.076261	0.486076
14	0.000001	0.291139	0.000001	0.291139
15	0.200492	0.827848	0.200492	0.827848
16	0.088561	0.529114	0.088561	0.529114
17	0.217712	0.873418	0.217712	0.873418
18	0.066421	0.470886	0.066421	0.470886
19	0.183272	0.782278	0.183272	0.782278
20	0.188192	0.789873	0.188192	0.789873
21	0.507995	0.017722	0.507995	0.017722
22	0.507995	0.002532	0.507995	0.002532
23	0.608856	0.002532	0.608856	0.002532
24	0.608856	0.000001	0.608856	0.000001
25	0.608856	0.017722	0.608856	0.017722
26	0.648216	0.000001	0.648216	0.000001
27	0.794588	0.010127	0.794588	0.010127
28	0.794588	0.101266	0.794588	0.101266
29	0.794588	0.063291	0.794588	0.063291
30	1	0.005063	1	0.005063
31	0.436654	0.665823	0.436654	0.665823
32	0.329643	0.162025	0.329643	0.162025
33	0.346863	0.025316	0.346863	0.025316
34	0.418204	0.549367	0.418204	0.549367
35	0.393604	0.455696	0.393604	0.455696
36	0.384994	0.070886	0.384994	0.070886
37	0.439114	0.410127	0.439114	0.410127
38	0.407134	0.539241	0.407134	0.539241
39	0.429274	0.498734	0.429274	0.498734
40	0.365314	0.286076	0.365314	0.286076

جدول (۷): رتبه‌بندی نهایی حاصل از روش‌های تاپسیس و آنتروپی برای DMUها

DMU	رتبه‌بندی مقدماتی با استفاده از روش تاپسیس				نمره رتبه‌بندی آنتروپی شانون ( $\beta_j$ )	رتبه بندی نهایی
	BCC	CCR	BCC-CCR	CCR-BCC		
1	26	15	26	15	0.292342	19
2	36	33	36	33	0.034789	38
3	28	20	28	20	0.225232	23
4	29	21	29	21	0.198475	29
5	27	17	27	17	0.254642	21
6	34	38	34	38	0.031426	40
7	32	32	32	32	0.036441	37
8	31	35	31	35	0.034759	39
9	30	24	30	24	0.088563	35
10	35	31	35	31	0.03647	36
11	21	1	21	1	0.754196	1
12	39	16	39	16	0.227723	22
13	37	11	37	11	0.348434	13
14	40	18	40	18	0.193356	30
15	23	3	23	3	0.617142	3
16	33	9	33	9	0.381148	12
17	22	2	22	2	0.65319	2
18	38	12	38	12	0.335041	15
19	25	5	25	5	0.581093	6
20	24	4	24	4	0.58779	5
21	10	29	10	29	0.182387	31
22	9	37	9	37	0.172299	33
23	8	36	8	36	0.206179	27
24	7	40	7	40	0.204493	28
25	6	28	6	28	0.216263	26
26	5	39	5	39	0.217713	25
27	4	30	4	30	0.273599	20
28	3	23	3	23	0.334128	16
29	2	26	2	26	0.308907	18
30	1	34	1	34	0.339227	14
31	12	6	12	6	0.588853	4
32	20	22	20	22	0.218322	24
33	19	27	19	27	0.133312	34
34	14	7	14	7	0.505314	7
35	16	13	16	13	0.434842	10
36	17	25	17	25	0.176384	32
37	11	14	11	14	0.419863	11
38	15	8	15	8	0.494871	8
39	13	10	13	10	0.475405	9
40	18	19	18	19	0.312689	17



نیروگاه‌های بوشهر و کنگان با توجه به ظرفیت تولید کمتری که نسبت به نیروگاه چهارم داشتند باز هم از کارایی بیشتری نسبت به این نیروگاه برخوردار بودند که دلیل آن، این است که این نیروگاه‌ها در مناطق جنوبی کشور قرار دارند و فصل گرما در این مناطق بیشتر است. یکی از دلایل دیگر که نیروگاه کنگان را در جایگاه بعد از نیروگاه کازرون قرار داده است این است که این نیروگاه به دلیل موقعیتی که دارد در اکثر اوقات سال با حداکثر توان خود در حال تولید می‌باشد.

به منظور بررسی بیشتر پیرامون یافته‌های این پژوهش، عناوین زیر جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود:

۱- از مدل‌های دیگر DEA جهت ارزیابی کارایی فنی نیروگاه‌های برق استفاده شود.

۲- بازه‌های زمانی را به بازه‌های زمانی کوچکتری تبدیل نماییم. زیرا با کوچکتر شدن بازه‌های زمانی، اختلاف بین کران بالا و پایین داده‌ها کمتر شده و اطلاعات دقیق‌تری بدست می‌آید.

۳- به مقایسه نیروگاه‌های بدون گازهای آلاینده یعنی خورشیدی، بادی و آبی با نیروگاه‌هایی که با سوخت فسیلی کار می‌کند بپردازند.

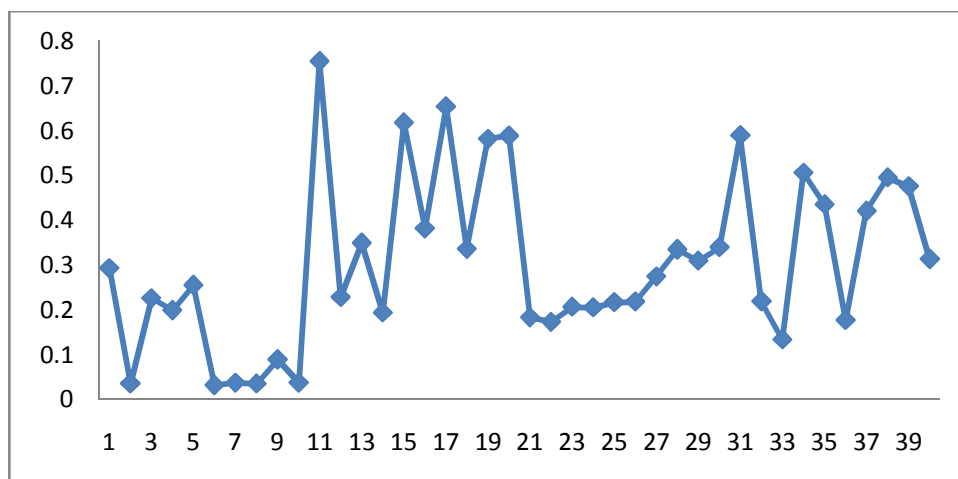
۴- تعیین کارایی تخصیصی و اقتصادی نیروگاه‌های برق که در صورت دسترسی به اطلاعات دقیق ورودی‌ها و مشخص بودن اهداف آن‌ها با حداقل کردن هزینه یا حداکثر کردن درآمد یا سود قابل اجرا خواهد بود.

شکل زیر نمره مربوط به رتبه‌بندی نهایی ۴۰ واحد تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. که در آن بالاترین رتبه مربوط به DMU11 و پایین‌ترین مربوط به DMU06 می‌باشد.

## ۵- نتایج تحقیق

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول (۷) به این نتیجه رسیدیم که بالاترین کارایی مربوط به شش ماهه اول سال ۱۳۸۹ نیروگاه کازرون می‌باشد و کمترین کارایی مربوط به شش ماهه دوم سال ۱۳۹۱ نیروگاه چهارم می‌باشد. همچنین رتبه‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۵ و ۶ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۵ و ۲۲ و ۳۰ مربوط به نیروگاه کازرون می‌باشد و رتبه‌های ۴ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۷ و ۲۴ و ۳۲ و ۳۴ مربوط به نیروگاه کنگان می‌باشد و رتبه ۱۴ و ۱۶ و ۱۸ و ۲۰ و ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ و ۳۱ و ۳۳ مربوط به نیروگاه بوشهر می‌باشد و رتبه ۱۹ و ۲۱ و ۲۳ و ۲۹ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ مربوط به نیروگاه چهارم می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون دارای کارایی بیشتری نسبت به نیروگاه‌های دیگر می‌باشند. همچنین در اکثر DMUها، کارایی شش ماهه اول تمام سال‌ها در تمام نیروگاه‌ها یا بیشتر است یا اینکه نزدیک به مقدار شش ماهه دوم می‌باشد. در شش ماهه‌های اول سال به دلیل مصرف بیشتر برق، نیروگاه‌ها دارای کارایی بیشتری می‌باشند. البته ناگفته نماند که

شکل(۵). رتبه‌بندی نهایی واحدها براساس روش انتروپی شانون



**Referenc:**

- Celen, A. (2013). The effect of merger and consolidation activities on the efficiency of electricity distribution regions in Turkey. *Energy Policy*, 59, 674–682.
- Despotis, D. K., & Smirlis, Y. G. (2002). Data envelopment analysis with imprecise 995 data. *European Journal of Operational Research*, 140(1), 24–36.
- Fang, C. Y., Hu, J. L., & Lou, T. K. (2013). Environment-adjusted total-factor energy 1005 efficiency of Taiwan's service sectors. *Energy Policy*, 63, 1160–1168.
- Guo, D., & Wu, J. (2013). A complete ranking of DMUs with undesirable outputs 1012 using restrictions in DEA models. *Mathematical and Computer Modelling*, 58 (5– 6), 1102– 1109.
- Kagawa, S., Takezono, K., Suh, S., & Kudoh, Y. (2013). Production possibility frontier analysis of biodiesel from waste cooking oil. *Energy Policy*, 55, 362–368.
- Kazleya AS, Ozcan YA. (2009). Electronic medical record use and efficiency: A DEA and windows analysis of hospitals. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(3), 209–16.
- Mandal, S. K. (2010). Do undesirable output and environmental regulation matter in energy efficiency analysis? Evidence from Indian cement industry. *Energy Policy*, 38(10), 6076–6083.
- Soleimani-Damaneh, M., & Zarepisheh, M. (2009). Shannon's entropy for combining the efficiency results of different DEA models: Method and application. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5146–5150.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2012a). Efficiency-based rank assessment for electric power industry: A combined use of data envelopment analysis (DEA) and DEA-discriminant analysis (DA). *Energy Economics*, 34(3), 634–644.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2012b). Returns to scale and damages to scale under natural and managerial disposability: Strategy, efficiency and competitiveness of petroleum firms. *Energy Economics*, 34(3), 645–662.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2012c). Environmental assessment by DEA radial measurement: U.S. coal-fired power plants in ISO (independent system operator) and RTO (regional transmission organization). *Energy Economics*, 34(3), 663–676.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2012d). Weak and strong disposability vs. natural and managerial disposability in DEA environmental assessment: Comparison between Japanese electric power industry and manufacturing industries. *Energy Economics*, 34(3), 686–699.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2012e). Returns to scale, damages to scale, marginal rate of transformation and rate of substitution in DEA environmental assessment. *Energy Economics*, 34(4), 905–917.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2012h). Returns to scale and damages to scale on U.S. fossil fuel power plants: Radial and non-radial approaches for DEA environmental assessment. *Energy Economics*, 34(6), 2240–2259.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2013a). A comparative study among fossil fuel power plants in PJM and California ISO by DEA environmental assessment. *Energy Economics*, 40, 130–145.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2013b). DEA environmental assessment in a time horizon: Malmquist index on fuel mix, electricity and CO<sub>2</sub> of industrial nations. *Energy Economics*, 40, 370–382.

Wang, Y.-M., Greatbanks, R., & Yang, J.-B. (2005). Interval efficiency assessment using data envelopment analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 153(3), 347-370.

Zhou, Y., Xing, X., Fang, K., Liang, D., & Xu, C. (2013). Environmental efficiency analysis of power industry in China based on an entropy SBM model. *Energy Policy*, 57, 68-75.

نیکوکار، سمیرا؛ سعیده و معظم، الهام. (۱۳۸۹). ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله مراتبی برای ارزیابی عملکرد مدیران بیمارستان‌ها. مدیریت اطلاعات سلامت، ویژه‌نامه ۷، صص ۶۰۱-۶۱۱.

### منابع فارسی:

ابراهیم پور، پری. (۱۳۸۳). برآورد کارایی و بهره‌وری در بانک تجارت و بررسی تطبیقی آن بین واحدهای استانی بانک با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

خلیلی دامغانی، کاوه. توانا، مجید. حاجی سامی، الهه (۲۰۱۴). مقاله ISI، مدل تحلیل پوششی داده‌ها با داده بازه‌ای و خروجی نامطلوب به منظور ارزیابی عملکرد نیروگاه‌های سیکل ترکیبی.

شاه محمدی، غلامرضا. (۱۳۹۲). رویکردی برای انتخاب مدیر مبتنی بر روش تصمیم‌گیری چند معیار، تاپسیس فصلنامه توسعه مدیریت منابع انسانی و پشتیبانی. سال هشتم - شماره ۲۶ - پاییز ۱۳۹۲.

شریفی، علیمراد. خوش اخلاق، رحمان. آقایی، کیومرث. خیامباشی، بیژن. (۱۳۹۰). ارزیابی مقایسه‌ای کارایی فنی در صنعت سیمان ایران. مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۹۰، بهار ۱۳۸۹، صص ۴۳-۷۳ تابستان ۱۳۸۹، صص ۸۱-۹۰.

عباسی، ابراهیم. ابراهیم، شمین. (۱۳۸۷). مقاله تحلیل ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران در سال ۱۳۸۴. فصل‌نامه اقتصاد مالی و توسعه، صص ۸۷-۹۹.

کرامتی، محمدعلی. (۱۳۸۲). ارزیابی عملکرد اقتصادی صنایع ایران با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری و آماری. رساله دکتری.

مهرگان، محمدرضا. (۱۳۸۳). مدل‌های کمی در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها (تحلیل پوششی داده‌ها). انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

