نشریه بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، شماره ۱، جلد ۱۹، بهار ۱۳۸۷، صفحه۶۳-۵۳
ویژه‌نامه مهندسی صنایـــــع

ترکیب مدل‌های پارامتریک و ناپارامتریک برای رتبه‌بندی شرکت‌های توزیع برق

محمد علی آزاده، محسن صادق عمل نیک و هاشم عمرانی

چکیده: در این مقاله، الگویی جامع برای ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی شرکت‌های توزیع برق معرفی می‌شود. در رویکرد پیشنهادی، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها (Data Envelopment Analysis) بعنوان مدلی ناپارامتریک و حداقل مربعات معمولی تصحیح شده (Corrected Ordinary Least Squires) بعنوان مدلی پارامتریک، توسط مدل تحلیل مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) با هم ترکیب می شوند تا رتبه‌های دقیق شرکت‌های توزیع برق بدست آید.
در این روش، ابتدا درجات کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران را با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و حداقل مربعات معمولی تصحیح شده (COLS) بدست می‌آوریم و سپس جواب‌های حاصل از دو مدل DEA و COLS بعنوان شاخص‌های ورودی در مدل تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) مورد استفاده قرار می‌یرند. در این مقاله، ۳۸ شرکت توزیع برق در ایران را با استفاده از رویکرد پیشنهادی رتبه‌بندی می‌کنیم و سپس جواب‌های حاصل را با استفاده از رویکرد میانگین هندسی درجات کارایی حاصل از مدل‌های DEA و COLS تصدیق و تعیین اعتبار می‌کنیم.

واژه‌های کلیدی: رتبه‌بندی، تحلیل پوششی داده‌ها، حداقل مربعات معمولی تصحیح شده، تحلیل مولفه‌های اصلی

۱. مقدمه

امروزه تخمین درجه کارایی و رتبه بندی دقیق شرکت‌های توزیع برق، بدلیل روند حرکتی صنعت برق به سوی تجدید ساختار و خصوصی سازی، مورد توجه سیاست گذاران بخش انرژی قرار گرفته است. درجات کارایی و رتبه‌های حاصل، در قانونگذاری شبکه‌های توزیع برق برای رگولاتورها اهمیت زیادی دارند، زیرا این اعداد برای قانونگذاری در روش سقف قیمتی[۲] مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای تخمین درجات کارایی و رتبه بندی شرکت‌های توزیع برق، از مدل‌های مختلفی استفاده می‌کنند که می توان به تحلیل پوششی داده‌ها، حداقل مربعات معمولی، تحلیل مرز تصادفی[۳] و ... اشاره کرد. جواب‌های حاصل از مدل‌های مختلف با هم متفاوت است و در حقیقت، هر مدل به یک درجه کارایی و رتبه خاص برای هر شرکت توزیع برق منجر می‌شود.

به همین دلیل ترکیب این مدل‌ها و بدست آوردن رتبه دقیق شرکت‌ها، چالش مهمی برای محققین به شمار می‌رود. تاکنون مطالعات زیادی برای تخمین درجه کارایی و رتبه بندی شرکت‌های توزیع برق بعمل آمده است. در بعضی از این مطالعات، فقط از مدل DEA برای تخمین درجه کارایی و رتبه بندی شرکت‌های توزیع برق استفاده شده است و از مدل های دیگر هیچ استفاده‌ای نشده است.

در این مقالات فرض بر این است که مدل DEA به جواب های قابل استنادی منتهی می‌شود و لزومی به استفاده از مدل های دیگر نیست. از مطالعات مهم در این زمینه می‌توان به مقایسه کارایی تکنیکی و کارایی هزینه‌ای شرکت‌های برق ژاپنی و آمریکایی توسط گوتو و تیشویشی، تخمین درجه کارایی و بهره‌وری شرکت‌های

مقاله در تاریخ ۸۵/۹/۱۰ واصل، و در تاریخ ۸۶/۲/۳۱ به تصویب نهایی رسیده است.

دکتر محمدعلی آزاده، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی دانشگاه تهران، aazadeh@ut.ac.ir
محمدصادق عمل نیک، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی دانشگاه تهران، amalnick@ut.ac.ir
هاشم عمرانی،کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی دانشگاه تهران، omrani@engmail.ut.ac.ir

[2] *Price-cap*

[3] *Stochastic Frontier Analysis*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]

توزیع برق نروژ توسط فورساند و کیتلسن، ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع برق برزیل توسط رسنده، مقایسه کارایی شرکت‌های توزیع برق در چند کشور اروپایی توسط ادواردسن و فورساند و ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع برق انگلستان از نظر کارایی هزینه‌ای توسط جیاناکیس و همکاران اشاره کرد [۱،۲،۳،۴و۵].

در بعضی دیگر از مطالعات، از مدل های مختلف برای بدست آوردن درجه کارایی و رتبه‌بندی شرکت‌های توزیع برق استفاده شده است و سپس برای بررسی نزدیکی رتبه‌های حاصل از روش‌های مختلف، ضریب همبستگی اسپیرمن بکار رفته است. از مطالعات مهم در این بخش می توان به مقایسه DEA بعنوان یک روش ناپارامتریک و مدل‌های اقتصاد سنجی بعنوان روش‌های پارامتریک برای تخمین درجه کارایی شرکت‌های توزیع برق در کشورهای آمریکای جنوبی اشاره کرد[۶]. از مطالعات مهم دیگر، می‌توان به تخمین درجات کارایی شرکت‌های توزیع برق اروپایی با استفاده از مدل های DEA، SFA و COLS و مقایسه این مدل‌ها با هم اشاره کرد[۷]. در سایر صنایع نیز مطالعات زیادی برای ارزیابی عملکرد و رتبه بندی واحدهای فعال در صنعت صورت پذیرفته است که در آنها مدل های مختلف ارزیابی عملکرد با هم ترکیب شده‌اند. از مهمترین این مطالعات می توان به مطالعه ژو اشاره کرد که در آن مدل DEA توسط مدل تحلیل مولفه های اصلی (PCA) تصدیق و تعیین اعتبار شده است[۸].

از مطالعات دیگر می‌توان به مقایسه مدل های COLS و DEA در تخمین کارایی مدارس توسط بیفلکو و برت اشنایدر و تخمین کارایی صنعت ماهیگیری اسپانیا با مدل‌های DEA، SFA، داده های تابلویی[1] و توابع فاصله[2] توسط هیررو اشاره کرد[۹و۱۰]. در بعضی دیگر از مطالعات، مدل‌های DEA و PCA برای بدست آوردن یک مدل یکپارچه DEA-PCA مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از مطالعات مهم این دسته می‌توان به بکارگیری مدل PCA برای انتخاب متغیرهای مورد استفاده در DEA توسط آلدر و گولنای و انتخاب بهترین مدل DEA توسط مدل PCA اشاره کرد [۱۱و۱۲]. با این وجود، تحقیقات کمی در مورد ترکیب نتایج خروجی مدل‌های ارزیابی عملکرد بعمل آمده است.

از مطالعات مهم در این زمینه می‌توان به مطالعه کویلی و پرلمان اشاره کرد که در آن نتایج خروجی مدل‌های DEA، COLS و برنامه ریزی خطی پارامتریک[3] (PLP) با هم ترکیب شده‌اند[۱۳]. در این مقاله نتایج خروجی مدل های DEA و COLS توسط مدل PCA با هم ترکیب می‌شوند و رتبه‌های نهایی شرکت‌های توزیع برق ایران بدست می‌آیند. این مقاله بصورت زیر سازمان دهی شده است: در بخش ۲ روش پیشنهادی شرح داده می‌شود. در بخش ۳ داده ها و نتایج خروجی، در بخش ۴ نتایج ترکیب مدل‌های DEA و COLS توسط مدل PCA و در بخش ۵ جمع بندی و نتیجه گیری آمده است.

۲. الگوی پیشنهادی

الگوی پیشنهادی بر اساس مدل های DEA، COLS و PCA قرار دارد. به همین دلیل در ادامه این سه مدل بطور مختصر شرح داده می‌شوند و سپس الگوی پیشنهادی تشریح می‌گردد.

۲-۱. تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

مدل DEA یک مدل ناپارامتریک است که برای تخمین درجه کارایی و رتبه بندی شرکت‌ها بکار می‌رود. مدل‌های DEA می‌توانند ورودی گرا یا خروجی‌گرا باشند و همچنین می‌توانند بصورت مدل‌های بازده ثابت نسبت به مقیاس[4] (CRS) و یا بازده متغیر نسبت به مقیاس[5] (VRS) مشخص شوند. مدل‌های خروجی گرا با توجه به مقادیر فاکتورهای ورودی، خروجی را بیشینه می‌کنند، بر عکس مدل‌های ورودی‌گرا با توجه به سطح داده شدهٔ خروجی، فاکتورهای ورودی را کمینه می‌کنند[۱۴].

مدل DEA ورودی گرای CRS را می توان با معادلهٔ (۱) بیان کرد:

$$\min \theta_{jo}$$

s.t:

$$\theta_{jo} x_{ijo} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- , \quad i = 1,2,...,m$$

$$y_{rjo} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ \quad r = 1,2,...,s \qquad (۱)$$

$$\lambda_j , s_i^- , s_r^+ \geq 0 \quad \forall j$$

توسط معادلهٔ (۱)، درجهٔ کارایی jامین شرکت در یک نمونهٔ N شرکتی با استفاده از مدل‌های CRS محاسبه می‌شود. در معادلهٔ (۱)، e_{jo} درجهٔ کارایی شرکت o و λ یک بردار N×1 از ثابت هاست. اگر شرکت‌ها از M ورودی و S خروجی استفاده کنند، در این صورت X و Y به ترتیب نشان دهندهٔ ماتریس‌های ورودی M×N و خروجی S×N می‌باشند.

بردارهای ستونی خروجی برای iامین شرکت به ترتیب بوسیلهٔ x_i و y_j نمایش داده می‌شوند. اگر به مدل DEA بالا، معادله $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$ را اضافه کنیم به مدل DEA ورودی‌گرا با بازده متغیر نسبت به مقیاس می‌رسیم. مدل DEA خروجی‌گرا با بازده ثابت نسبت به مقیاس هم بصورت (۲) نوشته می‌شود که با اضافه

[1] *Panel Data*
[2] *Distance Functions*
[3] *Parametric Linear Programmnig*
[4] *Constant to Return*
[5] *Variable to Return*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]

شدن $\sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1$، این مدل به مدل DEA خروجی گرا با بازده متغیر نسبت به مقیاس تبدیل می‌شود.

$$\max \phi_{jo}$$

s.t:

$$x_{ijo} = \sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij} + s_i^-, \quad i = 1,2,...,m$$

$$\phi_{jo} y_{rjo} = \sum_{i=1}^{n}\lambda_j y_{rj} - s_r^+ \quad r = 1,2,...,s \qquad (۲)$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall j$$

۲-۲. حداقل مربعات معمولی تصحیح شده (COLS)

حداقل مربعات معمولی تصحیح شده، یکی از مدل هایی است که برای محاسبه کارایی شرکت ها بکار می رود. مدل COLS، یک مدل پارامتریک مرزی است که برای محاسبه درجات کارایی از آنالیزهای رگرسیون استفاده می کند[۱۵]. در حقیقت این مدل در حالت چند ورودی- چند خروجی برای تخمین تابع فاصله بکار می رود[۱۶]. برای تخمین تابع فاصله از فرم‌های مختلفی استفاده می‌شود که می‌توان به فرم تابع کاب- داگلاس، لگاریتمی- خطی، ترانسلوگ و ... اشاره کرد. در بیشتر مطالعات و تحقیقات از فرم تابع ترانسلوگ استفاده می‌شود[۱۰،۱۳،۱۷]. تابع فاصله ورودی گرای ترانسلوگ شامل M خروجی و K ورودی را با اعمال شروط تقارن و همگنی می‌توان بصورت (۳) نماش داد:

$$\begin{aligned} In(D_i / x_X) = {} & \alpha_\theta + \sum_{m=1}^{M}\alpha_m\, In\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M}\alpha_{nm}\, Iny_{mi}\ \ Iny_{ni} \\ & + \sum_{k=1}^{K-1}\beta_x\ In x_{ki}^* + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{l=1}^{K-1}\beta_{xl}\ In x_{ki}^*\ In x_{li}^* \\ & + \sum_{k=1}^{K-1}\sum_{m=1}^{M}\delta_{km}\ In x_{ki}^*\ \ Iny_{mi} \quad i-1,...,N \end{aligned} \qquad (۳)$$

که در معادله بالا i نشان دهنده iامین شرکت و $x_k^* = x_k / x_K$ می‌باشد. معادله بالا را می‌توان بصورت معادله (۴) نوشت:

$$-\ln(x_{Ki}) = TL(x_i / x_{Ki}, y_i, \alpha, \beta, \delta) - \ln(D_{Ii}) \qquad (۴)$$
$$i = 1,...,N$$

تابع COLS در دو مرحله حل می‌شود. در مرحله اول تابع ترانسلوگ بالا را با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی[1] (OLS) تخمین می‌زنیم و عامل "$-\ln(D_{Ii})$" را بعنوان خطای تصادفی در نظر می‌گیریم. در مرحله دوم پارامتر ثابت حاصل از تخمین OLS (α_0) را تصحیح می‌کنیم (بوسیله جمع با بزرگترین باقی‌مانده مثبت OLS) بطوریکه تابع تخمین زده شده از مرکز به روی مرز شیفت پیدا کند. درجه کارایی شرکت‌ها در مدل COLS بصورت تابع نمایی از مقدار باقیمانده تصحیح شده بدست می‌آید. برای تخمین COLS در حالت خروجی گرا هم به همین طریق عمل می‌کنیم [۱۳،۱۶].

۲-۳. تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

تحلیل مولفه‌های اصلی یک روش آماری است که بطور گسترده ای برای رتبه بندی و ارزیابی عملکرد دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها، بانک‌ها و ... بکار می رود. هدف اصلی PCA کاهش شاخص‌ها و تعریف و شناسایی مجموعه‌ای از شاخص‌های جدید است که به آنها مولفه‌های اصلی می‌گویند. فرض کنیم که n شرکت و p شاخص را داشته باشیم و بخواهیم رتبه‌بندی را براساس این شاخص‌ها انجام دهیم. در روش PCA اولین مولفه اصلی را به صورت زیر خواهیم داشت:

$$PC_1 = a_{11}d_1 + ... + a_{1p}d_p \qquad (۵)$$

که d_1 مقدار شاخص اول برای شرکت اول می باشد. هر تابع خطی به شکل فوق، یک مولفه و یا یک جنبه خاصی از مجموع مشخصه‌ها می‌باشد که این مولفه‌های اصلی با واریانس مربوطه ارزیابی می‌گردند. هرقدر مولفه‌ها واریانس بیشتری داشته باشند اهمیت بالاتری دارند و به صورت زیر به ترتیب اهمیت مرتب می شود:

$$Var(PC_1) > Var(PC_2) > ... > Var(PC_p) \qquad (۶)$$

برای آشنایی با روش PCA می توان به منابع مرتبط رجوع کرد و در اینجا فقط خلاصه مراحل محاسبه مولفه‌های اصلی شرح داده می‌شود[۸].

۱- به منظور یکنواخت کردن مقیاس شاخص‌ها آنها را استاندارد می‌کنیم.

۲- بردار میانگین نمونه و ماتریس کوواریانس را از روی روابط (۷) و (۸) حساب می‌کنیم.

$$\bar{d} = (\bar{d}_1,...,\bar{d}_p)_{1\times p} \qquad (۷)$$

که در رابطه بالا $\bar{d}_k = 1/n\sum_{j=1}^{n} d_k^j$ می‌باشد.

$$S = (s_{kq})_{p\times p} = \frac{1}{n-1}(D-\bar{D})^T(D-\bar{D}) \qquad (۸)$$

که ماتریس D بصورت $D = (d_1, d_2,..., d_p)_{n\times p}$ می‌باشد.

۳- ماتریس همبستگی نمونه را بصورت (۹) محاسبه می‌کنیم که $C_1 / \sqrt{s_{jj}}$ یک ماتریس قطری $p\times p$ با kامین عنصر قطری $1/\sqrt{s_{jj}}$ $(k = 1,..., p)$ می‌باشد:

[1] *Ordinary Least Squire*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]

$$R = C_1 / \sqrt{s_{kk}} .S.C_1 / \sqrt{s_{kk}} \quad (۹)$$

۴- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس فوق را بدست می آوریم.

معادله $|R - \lambda I_p| = 0$ را حل می‌کنیم که در آن I_p یک ماتریس همانی می‌باشد. p ریشه مشخصه مرتب شده را با شرط $\sum_{i=1}^{p} \lambda_i = p$ و $\lambda_1 \geq ... \geq \lambda_p$ بدست آورده و همچنین p بردار ویژه مرتبط با آن مقادیر ویژه را نیز $(l_1^k,...,l_p^k)\ \ (k = 1,..., p)$ محاسبه می‌کنیم.

بردارهای ویژه فوق، مولفه‌های اصلی PC_k را می‌سازند و مولفه‌های بردار ویژه به ترتیب سازنده ضرایب در هر مولفه اصلی متناظر می‌باشند.

$$PC_k = \sum_{q=1}^{p} l_q^k \hat{d}_q^j \quad k = 1,..., p \quad (۱۰)$$

که در معادله (۱۰) $\hat{d}_q^j$ مقادیر استاندارد شده d_q^j می‌باشند.

۵- وزن‌های مولفه‌های اصلی w_k و رتبه‌های PCA را برای هر DMU که با Z_j نشان داده می‌شود با استفاده از (۱۱) محاسبه می‌نمایم ($Z_j\ (j = 1,..., n)$ رتبه j امین DMU را می‌دهد):

$$w_k = \lambda_k / \sum_{k=1}^{p} \lambda_k \quad k = 1,2,..., p \quad (۱۱)$$

$$Z_j = \sum_{k=1}^{M} w_k .PC_k^{(j)} = \sum_{k=1}^{p} \tilde{w}_q \hat{d}_q^j \quad j = 1,2,..., n$$

که در رابطه (۱۱)، $\tilde{w}_q = \sum_{k=1}^{p} w_k l_q^k (q = 1,..., p)$ وزن های تجمعی می باشد. بعلاوه علامت w_k از روی علامت ضرایب PC_k مشخص می شود.

پرماچاندرا روش رتبه بندی ژو را اصلاح نمود[۱۸]. در روش ژو دو جنبه از رتبه بندی مد نظر قرار نمی گیرد:

(i) عملکرد کلی یکDMU نسبت به همه متغیرهای d_{ir}^j

(ii) عملکرد یکDMU خاص نسبت به یک متغیر d_{ir}^j وقتی که با سایرDMUهای نمونه مقایسه می شود.

برای حل مشکلات بالا، پرماچاندرا روش ژو را بطریق زیر اصلاح نمود:

- ماتریس D با اضافه کردن متغیر دیگری اصلاح می‌شود و ماتریس D' نام می‌گیرد. عناصر d'_{ij} این متغیر برای هرDMU مساوی با مجموع عناصر اولین سطر $m \times s$ از ماتریس D می‌باشند:

$$d'_{i,(m\times s)+1} = \sum_{j=1}^{n} d_{ij} \quad i = 1,..., n \quad (۱۲)$$

- در هنگام رتبه بندی مهم است که عملکرد هرDMU نسبت به DMU های دیگر در نمونه ارزیابی شود.

به منظور گنجاندن این ویژگی در PCA، ماتریس جدید $D'' = [d''_{ij}]$ معرفی می شود که در آن همه عناصر هر ستون از ماتریس D' بر کمترین مقدار آن ستون تقسیم می‌شوند. بنابراین هر عنصر در هر ستون k از ماتریس D'' نشان‌دهنده عملکرد هرDMU نسبت به iامین ورودی و rامین خروجی است، هنگامی که با ضعیف‌ترینDMU در همان متغیر مقایسه می‌شود. بعد از اعمال اصلاحات بالا، فرآیند PCA روی ماتریس D'' بجای D صورت می‌گیرد. الگوی پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است اولین گام، انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی است. عدم انتخاب صحیح متغیرها برای ارزیابی باعث می‌شود که نتایج حاصل از مقایسه شرکت‌ها معتبر نباشند. هنوز هیچ اجماعی در بین شرکت‌های توزیع مختلف برای انتخاب بهترین متغیری که بتواند عملکرد این شرکت‌ها را بخوبی نشان دهد، وجود ندارد[۷]. در بعضی موارد از یک متغیر هم بعنوان ورودی و هم بعنوان خروجی استفاده شده است[۱۹]. تحقیقات اخیر صورت گرفته در زمینه تخمین کارایی شرکت‌های توزیع برق نشان می‌دهد که پراستفاده‌ترین متغیرهای ورودی هزینه‌های عملیاتی، طول خطوط شرکت، ظرفیت ترانسفورماتورها و تعداد کارکنان می‌باشند. همچنین پراستفاده‌ترین متغیرهای خروجی هم انرژی فروخته شده، تعداد مشترکین و ناحیه تحت پوشش شرکت هستند که بیشترین دفعات کاربرد را از طرف محققین به خود اختصاص داده‌اند[۱۹]. در حقیقت طول خطوط و ظرفیت ترانسفورماتورها بیانگر هزینه‌های سرمایه‌ای شرکت می‌باشند و چون معمولاً داده‌های هزینه‌ای در دسترس نمی‌باشند برای بررسی عملکرد شرکت‌ها از آنها استفاده می‌شود. متغیرهای ورودی مورد استفاده در این مقاله، طول خطوط شبکه، ظرفیت ترانسفورماتورها و تعداد کارکنان و همچنین متغیرهای خروجی مورد استفاده هم فروش برق و تعداد مشترکین می‌باشند. این متغیرها بیشترین کاربرد را در مطالعات انجام شده قبلی داشته‌اند. پس از انتخاب متغیرهای ورودی / خروجی، شاخص‌های مورد استفاده در روش PCA از طریق تقسیم خروجی بر ورودی بدست می‌آیند. با تقسیم خروجی‌ها بر ورودی ها، شش شاخص جدید بصورت زیر بدست می‌آیند:

d_1= فروش برق بر تعداد کارکنان، d_2= فروش برق بر طول خطوط شبکه، d_3= فروش برق بر ظرفیت ترانسفورماتورها،

$$\bar{d} = (\bar{d}_1,..., \bar{d}_p)_{1\times p} \quad (۷)$$

که در رابطه بالا $\bar{d}_k = 1/n \sum_{j=1}^{n} d_k^j$ می باشد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]

$$S = (s_{kq})_{p\times p} = \frac{1}{n-1}(D - \overline{D})^T (D - \overline{D}) \quad (۸)$$

که ماتریس D بصورت $D = (d_1, d_2, ..., d_p)_{n\times p}$ می‌باشد.

۳- ماتریس همبستگی نمونه را بصورت (۹) محاسبه می‌کنیم که $C_1/\sqrt{s_{jj}}$ یک ماتریس قطری $p\times p$ با kامین عنصر قطری $1/\sqrt{s_{jj}}$ $(k = 1,..., p)$ می‌باشد:

$$R = C_1/\sqrt{s_{kk}}.S.C_1/\sqrt{s_{kk}} \quad (۹)$$

۴- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس فوق را بدست می آوریم. معادله $|R - \lambda I_p| = 0$ را حل می‌کنیم که در آن I_p یک ماتریس همانی می‌باشد. p ریشه مشخصه مرتب شده را با شرط $\sum_{i=1}^{p}\lambda_i = p$ و $\lambda_1 \geq ... \geq \lambda_p$ بدست می‌آوریم و همچنین p بردار ویژه مرتبط با آن مقادیر ویژه را $(l_1^k, ..., l_p^k)$ $(k = 1,..., p)$ بدست می‌آوریم. بردارهای ویژه فوق، مولفه‌های اصلی PC_k را می‌سازند و مولفه‌های بردار ویژه به ترتیب سازنده ضرایب در هر مولفه اصلی متناظر می‌باشند.

$$PC_k = \sum_{q=1}^{p} l_q^k \hat{d}_q^j \quad k = 1,..., p \quad (۱۰)$$

که در معادله (۱۰) $\hat{d}_q^j$ مقادیر استاندارد شده d_q^j می‌باشند.

۵- وزن‌های مولفه‌های اصلی w_k و رتبه‌های PCA را برای هر DMU که با Z_j نشان داده می‌شود با استفاده از (۱۱) محاسبه می‌نمایم (Z_j $(j = 1,..., n)$ رتبه j امین DMU را می‌دهد):

$$w_k = \lambda_k / \sum_{k=1}^{p}\lambda_k \quad k = 1,2,..., p \quad (۱۱)$$

$$Z_j = \sum_{k=1}^{M} w_k.PC_k^{(j)} = \sum_{k=1}^{p} \tilde{w}_q \hat{d}_q^j \quad j = 1,2,..., n$$

که در رابطه (۱۱)، $\tilde{w}_q = \sum_{k=1}^{p} w_k l_q^k (q = 1,..., p)$ وزن های تجمعی می باشد. بعلاوه علامت w_k از روی علامت ضرایب PC_k مشخص می شود. پرماچاندرا روش رتبه بندی ژو را اصلاح نمود[۱۸]. در روش ژو دو جنبه از رتبه بندی مد نظر قرار نمی گیرد:

(i) عملکرد کلی یکDMU نسبت به همه متغیرهای d_{ir}^j

(ii) عملکرد یکDMU خاص نسبت به یک متغیر d_{ir}^j وقتی که با سایرDMUهای نمونه مقایسه می شود. برای حل مشکلات بالا، پرماچاندرا روش ژو را بطریق زیر اصلاح نمود:

- ماتریس D با اضافه کردن متغیر دیگری اصلاح می‌شود و ماتریس D' نام می گیرد. عناصر d'_{ij} این متغیر برای هرDMU مساوی با مجموع عناصر اولین سطر $m\times s$ از ماتریس D می‌باشند:

$$d'_{i,(m\times s)+1} = \sum_{j=1}^{n} d_{ij} \quad i = 1,..., n \quad (۱۲)$$

- در هنگام رتبه بندی مهم است که عملکرد هرDMU نسبت به DMU های دیگر در نمونه ارزیابی شود. به منظور گنجاندن این ویژگی در PCA، ماتریس جدید $D'' = [d''_{ij}]$ معرفی می شود که در آن همه عناصر هر ستون از ماتریس D' بر کمترین مقدار آن ستون تقسیم می‌شوند. بنابراین هر عنصر در هر ستون k از ماتریس D'' نشان‌دهنده عملکرد هرDMU نسبت به iامین ورودی و rامین خروجی است، هنگامی که با ضعیف‌ترینDMU در همان متغیر مقایسه می‌شود. بعداز اعمال اصلاحات بالا، فرآیند PCA روی ماتریس D'' بجای D صورت می‌گیرد.

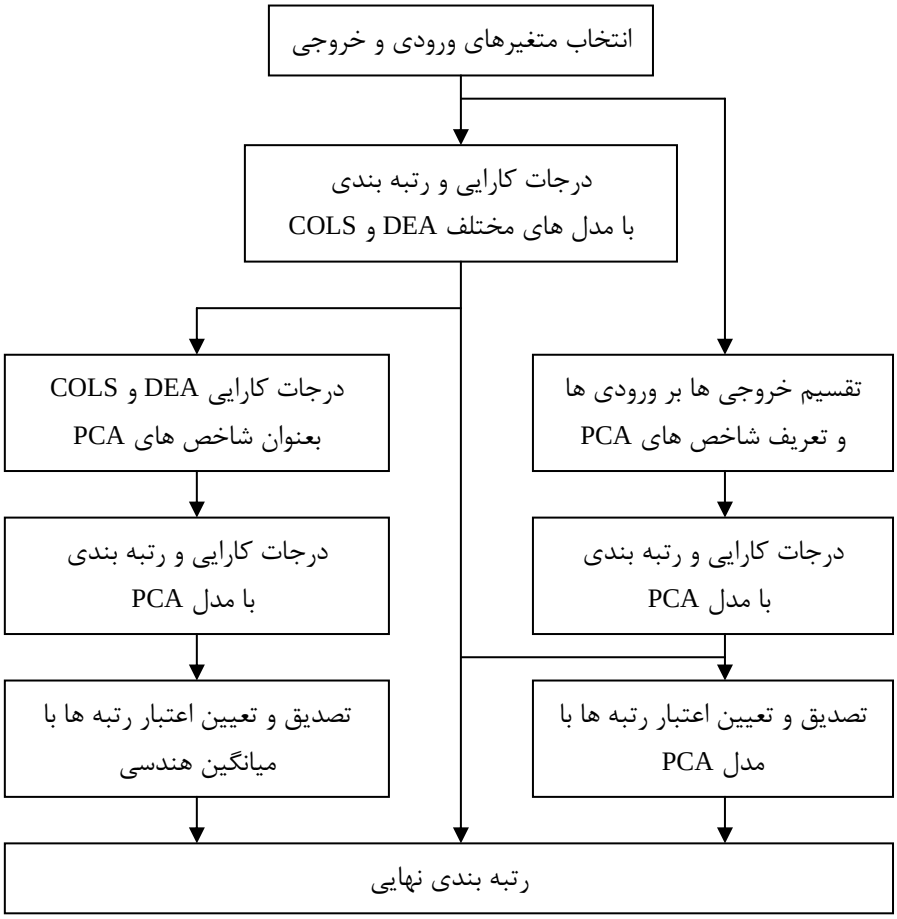
الگوی پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است اولین گام، انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی است. عدم انتخاب صحیح متغیرها برای ارزیابی باعث می شود که نتایج حاصل از مقایسه شرکت‌ها معتبر نباشند. هنوز هیچ اجماعی در بین شرکت های توزیع مختلف برای انتخاب بهترین متغیری که بتواند عملکرد این شرکت‌ها را بخوبی نشان دهد، وجود ندارد[۷].

در بعضی موارد از یک متغیر هم بعنوان ورودی و هم بعنوان خروجی استفاده شده است[۱۹]. تحقیقات اخیر صورت گرفته در زمینه تخمین کارایی شرکت‌های توزیع برق نشان می‌دهد که پراستفاده‌ترین متغیرهای ورودی هزینه‌های عملیاتی، طول خطوط شرکت، ظرفیت ترانسفورماتورها و تعداد کارکنان می‌باشند. همچنین پراستفاده‌ترین متغیرهای خروجی هم انرژی فروخته شده، تعداد مشترکین و ناحیه تحت پوشش شرکت هستند که بیشترین دفعات کاربرد را از طرف محققین به خود اختصاص داده اند[۱۹]. در حقیقت طول خطوط و ظرفیت ترانسفورماتورها بیانگر هزینه‌های سرمایه‌ای شرکت می‌باشند و چون معمولاً داده‌های هزینه‌ای در دسترس نمی‌باشند برای بررسی عملکرد شرکت‌ها از آنها استفاده می شود.

متغیرهای ورودی مورد استفاده در این مقاله، طول خطوط شبکه، ظرفیت ترانسفورماتورها و تعداد کارکنان و همچنین متغیرهای خروجی مورد استفاده هم فروش برق و تعداد مشترکین می‌باشند. این متغیرها بیشترین کاربرد را در مطالعات انجام شده قبلی داشته‌اند. پس از انتخاب متغیرهای ورودی / خروجی، شاخص‌های مورد استفاده در روش PCA از طریق تقسیم خروجی بر ورودی بدست می‌آیند. با تقسیم خروجی‌ها بر ورودی ها، شش شاخص جدید بصورت زیر بدست می‌آیند:

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]

d_1= فروش برق بر تعداد کارکنان، d_2= فروش برق بر طول خطوط شبکه، d_3= فروش برق بر ظرفیت ترانسفورماتورها، d_4= تعداد مشترکین بر تعداد کارکنان، d_5= تعداد مشترکین بر طول خطوط شبکه، d_6= تعداد مشترکین بر ظرفیت ترانسفورماتورها



شکل ۱. الگوی پیشنهادی بر اساس ترکیب مدل های DEA و COLS توسط مدل PCA

با استفاده از متغیرهای ورودی و خروجی اولیه، واحدهای مورد نظر در هر سال توسط روش‌های DEA و COLS رتبه بندی می شوند. سپس جواب رتبه‌های حاصل از دو روش DEA و COLS توسط روش PCA تصدیق و تعیین اعتبار می‌شوند. باید توجه کرد که هر کدام از مدل های DEA و COLS به یک رتبه بندی خاص منجر می‌شوند و امکان دارد که رتبه‌های حاصل از یک مدل با مدل دیگر همبستگی زیادی نداشته باشند.

در حقیقت هدف از الگوی پیشنهادی، ارائه روشی است که رتبه‌های حاصل از آن، بیشترین همبستگی را با همه مدل‌ها داشته باشد و بنابراین برای رتبه‌بندی نهایی بتواند مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور درجات کارایی حاصل از مدل‌های DEA و COLS مختلف توسط مدل PCA ترکیب می‌شوند تا رتبه نهایی هر شرکت بدست آید.

برای ترکیب نتایج مدل‌های DEA و COLS، درجات کارایی حاصل از این روش‌ها بصورت شاخص‌های ورودی PCA مد نظر قرار می‌گیرند، یعنی شاخص‌های مورد استفاده در PCA در این مرحله، همان درجات کارایی حاصل از مدل‌های پارامتریک و ناپارامتریک می‌باشند و این شاخص‌ها ماهیت افزایشی دارند. بعبارت دیگر اگر برای شرکتی مقدار درجات کارایی حاصل از مدلهای مختلف DEA و COLS نزدیک به مرز کارایی باشد، این شرکت در رتبه‌بندی نهایی توسط مدل PCA رتبه بهتری خواهد داشت.

برای تصدیق و تعیین اعتبار رتبه بندی حاصل، از روش ترکیب نتایج خروجی DEA و COLS توسط میانگین هندسی استفاده می شود که در مطالعات قبلی بکار رفته است[۱۳].

۳. داده‌ها و نتایج

در این بخش الگوی پیشنهادی را برای شرکت‌های توزیع برق ایران اجرا می کنیم. برای بدست آوردن رتبه‌های نهایی، از هشت مدل DEA، سه مدل COLS و چهار مدل PCA استفاده می‌کنیم. در جدول ۱ خلاصه‌ای از داده‌های موجود، در جدول ۲ مدل‌های DEA و COLS مورد استفاده و در جدول ۳ مدل های PCA مورد استفاده آورده شده‌اند.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۱. خلاصه‌ای از داده‌های موجود در سال ۱۳۸۳

		کمترین	بیشترین	میانگین
ورودی ها	طول خطوط شبکه(km)	۴۸۲۹	۴۷۲۳۷	۱۳۳۸۰
	ظرفیت ترانسها (MVA)	۴۵۵	۴۰۸۱	۱۴۹۴/۸۴
	تعداد کارکنان	۲۴۱	۱۴۳۹	۶۲۴
خروجی ها	فروش برق (MWh)	۵۶۳/۰۴	۷۰۰۰/۱	۲۷۴۳/۷۸
	تعداد مشترکین (×۱۰۰۰)	۱۱۰/۳۸	۱۰۵۷/۹۰	۴۸۵/۲۶

جدول ۲. مدل‌های DEA و COLS مورد استفاده

حالت		DEA ۱	DEA ۲	DEA ۳	DEA ۴	DEA ۵	DEA ۶	DEA ۷	DEA ۸	COLS ۱	COLS ۲	COLS ۳
	ورودی گرا	×	×			×	×			×		
	خروجی گرا			×	×			×	×		×	×
بازده به مقیاس	بازده ثابت به مقیاس (CRS)	×		×		×		×				
	بازده متغیر به مقیاس (VRS)		×		×		×		×			
ورودی ها	تعداد کارکنان (x_1)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	طول خطوط شبکه (x_2)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	ظرفیت ترانس ها (x_3)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
خروجی ها	فروش برق (y_1)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	تعداد مشترکین (y_2)	×	×	×	×					×	×	

جدول ۳. مدل‌های PCA مورد استفاده

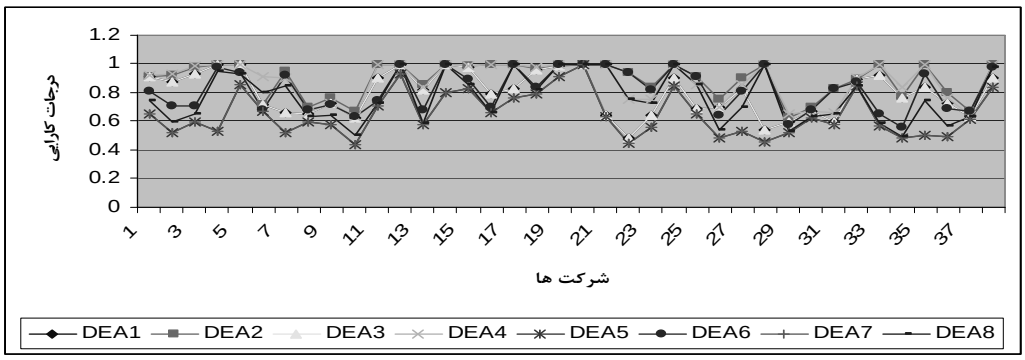
		رویکرد	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6
PCA	۱	ژو	×	×	×	×	×	×
	۲	ژو	×	×	×			
	۳	پرماچاندرا	×	×	×	×	×	×
	۴	پرماچاندرا	×	×	×			

درجات کارایی تکنیکی حاصل از مدل‌های DEA مختلف در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. میانگین درجات کارایی حاصل از مدل DEA-1، ۰/۸۰ می باشد که نشان می دهد شرکت‌های توزیع برق ایران کارایی خوبی داشته‌اند. همچنین در این مدل، پنج شرکت روی مرز کارایی قرار دارند و مقدار یک برای درجات کارایی آنها بدست آمده است. برای بررسی ناکارایی مدیریتی، نتایج مدل DEA-2 را بررسی می‌کنیم. همانطور که پیش بینی می‌شود، چون این مدل در حالت بازده متغیر نسبت به مقیاس اجرا شده است تعداد شرکت‌های کارای روی مرز در آن زیاد می‌شوند. نتایج خروجی این مدل نشان می‌دهد که میانگین کارایی مدیریتی برای شرکت‌های توزیع برق ایران ۰/۹۰ می‌باشد که این مقدار از مقدار میانگین مدل DEA-1 بیشتر می‌باشد. در حقیقت در حالت ورودی‌گرا و با تغییر ورودی‌ها می‌توان به میزان ۰/۱۰ کارایی مدیریتی شرکت‌های توزیع برق ایران را بهبود داد. همچنین تعداد شرکت‌های روی مرز در این مدل به ۱۵ شرکت افزایش یافته است. مقایسه نتایج این مدل با مدل DEA-1 نشان می‌دهد که ناکارایی شرکت‌های توزیع برق ایران عمدتاً بدلیل ناکارایی مقیاسی است نه ناکارایی مدیریتی. توجه شود که نتایج دو مدل DEA-1 و DEA-3 مشابه می‌باشند، زیرا در حالت CRS نتایج دو مدل ورودی گرا و خروجی‌گرا مشابه می‌باشد.

در مدل‌های DEA-5 تا DEA-8، متغیر خروجی تعداد مشترکین را که یک متغیر محیطی است از مدل حذف کرده‌ایم و مدل‌های DEA-1 تا DEA-4 را دوباره اجرا نموده‌ایم. همانگونه که از شکل ۲ مشخص است با حذف متغیر تعداد مشترکین، تعداد شرکت‌های کارای روی مرز در مدل DEA-5 از پنج شرکت به یک شرکت کاهش پیدا می‌کند. بعلاوه مقدار میانگین درجات کارایی هم از ۰/۸۰ (در مدل DEA-1) به ۰/۶۵ (در مدل DEA-5) کاهش پیدا کرده است که نشان دهنده اثر انتخاب متغیرها بر درجات کارایی حاصل از مدل‌ها می‌باشد. برای تخمین پارامترهای مدل‌های COLS از داده‌های ۱۳۸۳-۱۳۷۹ بصورت داده‌های تابلویی استفاده می‌کنیم. بنابراین ما در حقیقت برای هر متغیر 190 نقطه داده داریم. نتایج تخمین پارامترها در جدول ۴ آمده است.

آزمون‌های t و F و همچنین مقادیر R^2 نشان می‌دهند که خطوط برازش شده برای هر سه مدل خوب می‌باشند. پس از تخمین خط مورد نظر با OLS، برای بدست آوردن درجات کارایی در مدل COLS-1، بزرگترین باقیمانده مثبت و در مدل COLS-2، بزرگترین باقی مانده منفی را پیدا می‌کنیم و خط رگرسیون حاصل را با آن جمع می‌کنیم تا خط COLS بدست آید. سپس درجات کارایی هر شرکت را برای هر سال بطور جداگانه محاسبه می‌کنیم.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]



شکل ۲. درجات کارایی حاصل از مدل های مختلف در سال ۱۳۸۳ (DEA-1 تا DEA-8)

درجات کارایی مدل COLS-3 هم مانند مدل COLS-2 بدست می‌آیند. نتایج این مدل‌ها برای سال ۱۳۸۳ در شکل ۳ آمده است. میانگین درجات کارایی بدست آمده از مدل COLS-1 برای سالهای ۱۳۸۳ برابر با ۰/۷۲ می‌باشد که نشان می‌دهد شرکت های توزیع برق ایران در مجموع عملکرد مناسبی داشته‌اند. این مقادیر برای مدل COLS-2 و COLS-3 به ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۶۵ می باشند که نشان می‌دهند میانگین حاصل از دو حالت ورودی گرا و خروجی‌گرا بسیار نزدیک به هم می‌باشند. بعلاوه نتایج مدل COLS-3نشان می‌دهد که میانگین درجات کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران ۰/۶۵ می‌باشد که کمتر از مقادیر میانگین دو مدل اولی است و این نتیجه تأثیر انتخاب متغیرها را بر جواب‌های حاصله نشان می دهد. همانطور که قبلاً اشاره شد، در این بخش چهار مدل PCA مورد استفاده قرار گرفته اند. نتایج حاصل از این مدل‌ها که برای تصدیق و تعیین اعتبار مدلهای DEA و COLS بکار می روند، در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند.

۴. ترکیب نتایج مدل های DEA و COLS توسط مدل PCA

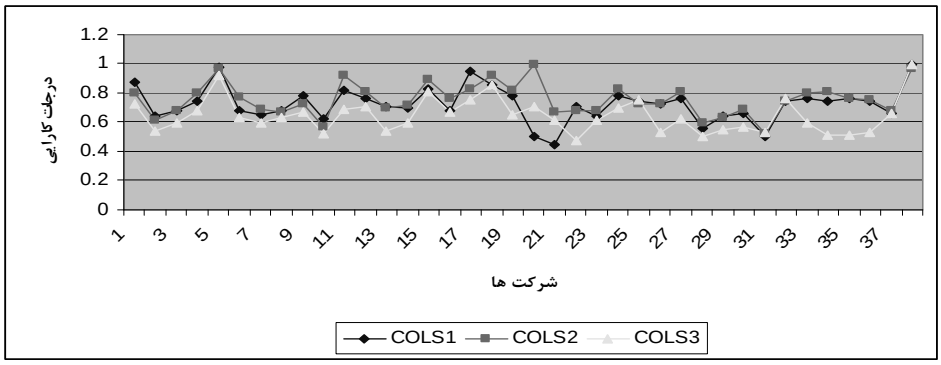
برای ترکیب درجات کارایی حاصل از روش های DEA و COLS و بدست آوردن رتبه نهایی مربوط به هر شرکت، از روش PCA استفاده می‌کنیم. در جدول ۵ خلاصه‌ای از نتایج حاصل از روش‌های DEA و COLS در حالت پنج متغیره نشان داده شده‌اند که این درجات کارایی بعنوان شاخص‌های ورودی برای PCA-5 عمل می‌کنند. مدل PCA-5 مدلی است که شاخص‌های ورودی آن، درجات کارایی حاصل از مدل‌های DEA-1، DEA-2، DEA-3، COLS-1 و COLS-2 می‌باشند. توجه شود که بدلیل مشابهت نتایج حاصل از دو مدل DEA-1 و DEA-3 فقط از یکی از آنها استفاده شده است.

جدول ۴. پارامترهای تخمین زده شده در روش COLS

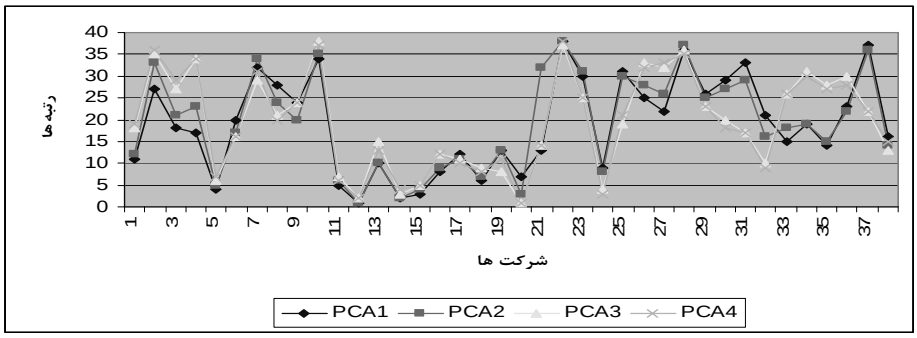
COLS-1			COLS-2			COLS-3		
پارامتر	مقدار	آزمون t	پارامتر	مقدار	آزمون t	پارامتر	مقدار	آزمون t
α_o	۲،۰۸	۱،۲۳	α_o	-۰،۹۹	-۰،۳۰	β_o	۱۹،۵	۴،۲۳^{xxx}
α_1	-۳،۳۲	-۴،۵۸^{xxx}	α_1	۴،۰۷	۴،۲۷^{xxx}	β_1	۰،۹۶	۰،۴۶
α_2	۱،۶۰	۲،۵۳^{xx}	α_{11}	۰،۶۳	۲،۳۲^{xx}	β_2	-۵،۳۸	-۴،۲۸^{xxx}
α_{11}	۰،۰۷	۰،۴	β_1	۳،۷۳	۲،۵۵^{xx}	β_3	۱،۸۰	۱،۲۸
α_{22}	-۰،۰۳	-۰،۱۳	β_2	۱،۲۷	۱،۴۴	β_{11}	۲،۳۸	۳،۸۲^{xxx}
α_{12}	۰،۱۳	۰،۷۳	β_3	-۶،۵۲	-۶،۶۹^{xxx}	β_{22}	۰،۹۸	۴،۶۰^{xxx}
β_1	-۲،۸۱	-۲،۸۰^{xxx}	β_{11}	۱،۳۵	۲،۳۱^{xx}	β_{33}	۰،۶۲	۲،۱۳^{xx}
β_2	۳،۴۲	۵،۱۲^{xxx}	β_{22}	-۰،۱۳	-۰،۷۵	β_{12}	-۰،۸۷	-۲،۵۴^{xx}
β_{11}	۰،۰۳	۰،۰۶	β_{33}	۰،۹۰	۲،۷۱^{xxx}	β_{13}	-۱،۱۳	-۲،۸۹^{xxx}
β_{12}	۰،۲۷	۱،۰۲	β_{12}	-۰،۷۴	-۲،۶۵^{xxx}	β_{23}	۰،۲۳	۱،۱۱
β_{13}	۰،۰۶	۰،۱۷	β_{13}	-۱،۱۴	-۲،۹۸^{xxx}	-	-	-
δ_{11}	-۰،۷۹	-۳،۶۷^{xxx}	β_{23}	۰،۸۴	۴،۵۹^{xxx}	-	-	-
δ_{12}	۱،۵۰	۷،۵۸^{xxx}	δ_{11}	۱،۵۷	۶،۵۲^{xxx}	-	-	-
δ_{21}	۰،۴۳	۲،۵۸^{xx}	δ_{21}	-۰،۸۲	-۴،۳۹^{xxx}	-	-	-
F=۳۹۴،۳۸ R^2=۹۷،۸٪ R^2(adj)=۹۷،۵٪			F=۲۰۹،۱۷ R^2=۹۵٪ R^2(adj)=۹۴،۶٪			F=۳۲۲،۳۱ R^2=۹۵،۳٪ R^2(adj)=۹۵٪		

×××معنی دار در سطح ۰،۰۱، ×× معنی دار در سطح ۰،۰۵، × معنی دار در سطح ۰،۱

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]



شکل ۳. نتایج مدل های COLS-1، COLS-2 و COLS-3 در سال ۱۳۸۳

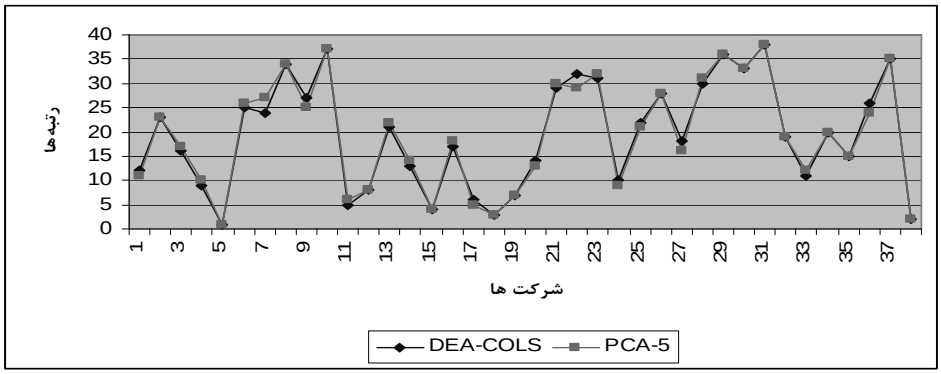


شکل ۴. درجات کارایی و رتبه بندی حاصل از مدل های PCA در سال ۱۳۸۳

جدول ۵. خلاصه‌ای از شاخص‌های مدل PCA-5 در سال ۱۳۸۳

انحراف استاندارد	میانگین	کمترین	
0.151	0.798	0.480	DEA-1
0.122	0.896	0.620	DEA-2
0.135	0.882	0.630	DEA-4

همانطور که گفته شد، درجات کارایی بالا بعنوان شاخص‌های ورودی در PCA مورد استفاده قرار می‌گیرند و در حقیقت افزایش هر کدام از این شاخص‌ها نشانه بهبود عملکرد شرکت می‌باشد. برای تصدیق و تعیین اعتبار نتایج حاصل از روش پیشنهادی از رویکرد میانگین هندسی استفاده می‌شود که در این روش، رتبه‌بندی بر اساس میانگین هندسی درجات کارایی حاصل از روش‌های DEA و COLS صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از دو روش فوق در شکل ۱۱ ذکر شده‌اند.



شکل۵. درجات کارایی و رتبه بندی نهایی شرکت‌های توزیع برق ایران در سال ۱۳۸۳

ضریب همبستگی اسپیرمن بین روش پیشنهادی و استفاد از میانگین هندسی برابر ۰/۹۹۵ می‌باشد که این نتیجه نشان‌دهنده تصدیق و تعیین اعتبار روش پیشنهادی می‌باشد. در جدول ۶، ضریب همبستگی بین مدل‌های مختلف برای سال ۱۳۸۳ ذکر شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، این مقدار برای بعضی از مدل‌ها معنی‌دار نیست. مثلاً همبستگی اسپیرمن بین مدل‌های DEA-2 و COLS-1 معنی‌دار نیست. نکته مهم در جدول ۶ این است که همبستگی بین رتبه‌های روش پیشنهادی با همه مدل‌های قبلی معنی دار است و به همین دلیل برای جلوگیری از خطای رتبه بندی، استفاده از روش جدید پیشنهاد می شود.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۶. ضریب همبستگی اسپیرمن بین مدل های مختلف در سال ۱۳۸۳

		DEA								COLS			PCA				
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۴	5
DEA	۱	۱	۰،۶۷	۱	۰،۷۸	۰،۶۶	۰،۴۷	۰،۶۶	۰،۴۹	۰،۵۷	۰،۷۶	۰،۵۶	۰،۸۳	۰،۸۲	۰،۵۷	۰،۵۵	۰،۹۰
	۲		۱	۰،۶۷	۰،۹۴	۰،۴۳	۰،۸۴	۰،۴۳	۰،۷۱	۰،۳۱	۰،۵۲	۰،۳۲	۰،۶۳	۰،۵۶	۰،۴۰	۰،۳۸	۰،۷۴
	۳			۱	۰،۷۸	۰،۶۶	۰،۴۷	۰،۶۶	۰،۴۹	۰،۵۷	۰،۷۶	۰،۵۶	۰،۸۳	۰،۸۲	۰،۵۷	۰،۵۵	۰،۹۰
	۴				۱	۰،۵۶	۰،۷۳	۰،۵۶	۰،۷۳	۰،۴۳	۰،۶۷	۰،۴۷	۰،۷۷	۰،۶۴	۰،۵۰	۰،۴۷	۰،۸۳
	۵					۱	۰،۴۲	۱	۰،۷۳	۰،۴۰	۰،۶۲	۰،۸۲	۰،۷۰	۰،۷۵	۰،۹۴	۰،۹۱	۰،۷۹
	۶						۱	۰،۴۲	۰،۸۵	۰،۲۹	۰،۴۲	۰،۳۳	۰،۳۷	۰،۳۵	۰،۳۷	۰،۳۳	۰،۶۰
	۷							۱	۰،۷۳	۰،۴۰	۰،۶۲	۰،۸۲	۰،۷۰	۰،۷۵	۰،۹۴	۰،۹۱	۰،۷۹
	۸								۱	۰،۳۳	۰،۵۴	۰،۶۸	۰،۵۰	۰،۴۴	۰،۶۴	۰،۶۰	۰،۷۱
COLS	۱									۱	۰،۷۷	۰،۵۶	۰،۵۴	۰،۵۹	۰،۳۴	۰،۳۲	۰،۶۷
	۲										۱	۰،۶۶	۰،۷۴	۰،۷۷	۰،۵۷	۰،۵۶	۰،۸۵
	۳											۱	۰،۵۴	۰،۵۷	۰،۷۰	۰،۶۷	۰،۷۵
PCA	۱												۱	۰،۹۳	۰،۷۵	۰،۷۶	۰،۸۵
	۲													۱	۰،۸۱	۰،۸۱	۰،۸۳
	۳														۱	۰،۹۹	۰،۷۰
	۴															۱	۰،۶۷
	۵																۱

۵. نتیجه گیری

در این مقاله، الگویی جامع برای ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی شرکت‌های توزیع برق ارائه شد.

در رویکرد پیشنهادی، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها بعنوان مدلی ناپارامتریک و حداقل مربعات معمولی تصحیح شده بعنوان مدلی پارامتریک، توسط مدل تحلیل مولفه‌های اصلی با هم ترکیب شدند تا رتبه‌های دقیق شرکت‌های توزیع برق بدست آید.

در این روش، ابتدا درجات کارایی شرکت‌های توزیع برق با استفاده از مدل‌های DEA و COLS بدست آمدند و سپس جواب‌های حاصل بعنوان شاخص‌های ورودی در مدل PCA مورد استفاده قرار گرفتند. بعلاوه از میانگین هندسی درجات کارایی حاصل از مدل‌های مختلف DEA و COLS برای تصدیق و تعیین اعتبار روش پیشنهادی استفاده شد.

ضریب همبستگی اسپیرمن بین روش پیشنهادی و استفاد از میانگین هندسی برابر ۰/۹۹۵ می‌باشد که این نتیجه نشان دهنده تصدیق و تعیین اعتبار روش پیشنهادی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی بین رتبه‌های روش پیشنهادی با همه مدل‌های DEA، COLS و PCA بکاررفته معنی دار است و به همین دلیل برای جلوگیری از خطای رتبه بندی، استفاده از روش جدید پیشنهاد می‌شود. برای تحقیقات آتی پیشنهادات زیر داده می‌شود.

۱- استفاده از مدل فوق برای صنایع دیگر

۲- استفاده از تکنیک‌های کیفی برای رتبه بندی و مقایسه نتایج آن با روش پیشنهادی

۳- تغییر متغیرها و شاخص های ارزیابی و اجرای مجدد مدل‌ها با شاخص‌ها و متغیرهای بیشتر

۴- استفاده از سایر روش‌های معروف تخمین کارایی نظیر SFA، برنامه‌ریزی پارامتریک خطی و ...

۵- نحوه استفاده از خروجی‌های این مدل در بحث تجدید ساختار صنعت برق و قیمت‌گذاری

مراجع

[1] Goto, M., & Tsutsui, M., *"Comparison of Productive and Cost Efficiencies Among Japanese and US Electric Utilities*". Omega, Int.J. Mgmt Sci. 26, 1998, PP. 177-194.

[2] Försund F.R., & Kittelsen S.A.C., *"Productivity Development of Norwegian Electricity Distribution Utilities*." Resource and Energy Economics 20, 1998, PP. 207-224.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]

[3] Resende, M., *"Relative Efficiency Measurement and Prospects For Yardstick Competition in Brazilian Electricity Distribution*." Energy Policy 30, 2002, PP. 637-647.

[4] Edvardsen, D.F., & F¢rsund, F.R., "*International Benchmarking of Electricity Distribution Utilities*". Resource ands Energy Economics 25, 2003, PP. 353-371.

[5] Giannakis, D., Jamasb, T., & Pollitt, M., "*Benchmarking and Incentive Regulation of Quality of Service: An Application to The UK electricity Distribution Networks"*. Energy Policy 33, 2005, PP. 2256-2271.

[6] Estache, A., Rossi M.A., & Ruzzier, C.A., "*The Case For International Coordination of Electricity Regulation: Evidence From The Measurement of Efficiency in South America*." Journal of Regulatory Economics 25:3, 2004, PP. 271-295.

[7] Jamasb, T., & Pollitt, M., *"International Benchmarking and Regulation: an Application to European Electricity Distribution Utilities*." Energy Policy 31, 2003, PP. 121-130.

[8] Zhu, J., *"Data Envelopment Analysis VS. Principal Component Analysis: An Illustrative Study of Economic Performance of Chinese Cities*". European Journal of Operation Research 111, 1998, PP. 50-61.

[9] Bifulco, R., & Bretschneider, S., *"Estimating School Efficiency: a Comparison of Methods Using Simulated Data. Economics of Education Review"* 20, 2001, PP. 417–429.

[10] Herrero, I., *"Different Approaches to Efficiency Analysis*". An application to the Spanish trawl fleet operating in Moroccan water. European Journal of Operational Research 167, 2005, PP. 257-271.

[11] Cinca, C.S., & Molinero, C.M., *"Selecting DEA Specifications and Ranking Units Via PCA*." Journal of the Operational Research Society. 55, 2004, PP. 521-528.

[12] Adler, N., & Golany, B., *"Evaluation of Deregulated Airline Networks Using Data Envelopment Analysis Combined With Principal Component Analysis With an Application to Western Europe*". European Journal of Operational Research. 132 (2), 2001, PP. 8-31.

[13] Coelli, T.J., & Perelman, S., "*A Comparison of Parametric and Nonparametric Distance Functions: With Application to European Railways*". European Journal of Operations Research 117(2), 1999, PP. 326-339.

[14] Banker, R.D., Charnes, A., & Cooper, W.W., *"Some Models For Estimating Technical and Scale Inefficiencies in DEA*". Management Science 30 (9), 1984, PP. 1078–1092.

[15] Richmond, J., "*Estimating The Efficiency of Production. International Economic Review*". 15 (2), 1974, PP. 515–521.

[16] Lovell, C.A.K., Richardson, S., Travers, P., & Wood, L.L.In: W. Eichhorn (Ed.), *"Resources and Functioning's: A New View of Inequality in Australia, Models and Measurement of Welfare and Inequality*", Springer, Berlin. 1994.

[17] Coelli, T, D.S., Prasada Rao & Battese, G.E., *"An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Kluwer Academic Publishers"*,. 1998.

[18] Premachandra, I.M., *"A Note on DEA VS. Principal Component Analysis: an Improvement to Joe Zhu's Approach*". European Journal of Operational Research 132, 2001, PP. 553-560.

[19] Jamasb, T., & Pollitt, M., *"Benchmarking and Regulation: International Electricity Experience*." Utilities Policy 9 (3), 2001, PP. 107–130.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-02]