بهبود کیفیت ارزیابی کارایی شرکتهای توزیع نیروی برق ایران با رویکرد تحلیل پوششی تصادفی غیرپارامتریک داده‌ها (StoNED)

وحید برادران[1]، استادیار، ناهید یعقوبی[2]، کارشناس ارشد

۱- دانشکده فنی و مهندسی- گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال - تهران- ایران
V_Baradaran@iau-tnb.ac.ir
۲- دانشکده فنی و مهندسی- گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال - تهران- ایران
N_yaghoubi@tavanir.org.ir

چکیده: **ارزیابی دقیق کارایی شرکتهای توزیع برق ایران به شناسایی الگوهای موفق در کشور و ارائه برنامه‌های هدفمند جهت ارتقاء شرکتهای ناکارا و خدمات به مشترکین کمک خواهند نمود. عموماً از روشهای تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل مرز تصادفی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در کنار مزیتهای هر یک از این روشها، اشکالاتی مانند عدم تفکیک‌پذیری مناسب و یا نیازمندی به شکل تابع تولید به هر کدام وارد است. در این مقاله از رویکرد تحلیل پوششی تصادفی غیرپارامتریک داده‌ها (StoNED) که ترکیبی از دو روش مذکور است و مزیتهای هر دو روش را دارد و عیوب آنها را پوشش می‌دهد، به منظور ارزیابی کارایی ۳۹ شرکت توزیع برق ایران استفاده شده است. تعریف متغیرهای ورودی و خروجی مناسب جهت ارزیابی کارایی شرکت و لحاظ کردن متغیری جهت تمایز ابعاد و مشخصات شرکتها به منظور اندازه‌گیری دقیقتر کارایی از ویژگیهای این تحقیق و مدل پیشنهادی است. شرکتهای توزیع برق بر اساس دو مدل تحلیل پوششی داده‌ها و SotNED رتبه‌بندی شده‌اند و مقایسه رتبه‌ها بیانگر دقت بالاتر روش پیشنهادی در ارزیابی کارایی و رفع مشکلات روش تحلیل پوششی داده‌هاست. شرکتهای توزیع برق استان اصفهان و کرمانشاه در صدر شرکتهای کارا قرار دارند که می‌توانند الگوی سایر شرکتهای توزیع برق کشور باشند.**

واژه‌های کلیدی: **کارایی، تحلیل پوششی داده‌ها، DEA، تحلیل پوششی تصادفی غیرپارامتریک داده‌ها، StoNED، تحلیل مرز تصادفی، SFA، شرکتهای توزیع برق ایران.**

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۳/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۴/۰۷/۱۳

نام نویسنده‌ی مسئول : وحید برادران
نشانی نویسنده‌ی مسئول : تهران، بزرگراه شهید بابایی، حکیمیه، خیابان شهید صدوقی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ساختمان شهید احمدی روشن، طبقه سوم، دفتر گروه مهندسی صنایع

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

۱- مقدمه

بخش توزیع نیروی برق مرحله نهایی از زنجیره تأمین برق به مشتریان می‌باشد که همواره با رشد مداوم و تغییر مستمر و سریع رفتار مصرف‌کنندگان از نظر کمی و کیفی مواجه بوده است. تغییرات زیاد تقاضا، تأثیرپذیری از عوامل مختلف اجتماعی، اقتصادی و فن‌آوری، ارتباط مستقیم با مشترکین و وظیفه پاسخ‌گویی به نیازهای مشتریان صنعت برق، توجه به این بخش از زنجیره تامین برق (بخش توزیع برق) را دو چندان کرده است [۱]. وزارت نیرو با مشخص شدن جایگاه حساس بخش توزیع در صنعت برق درصدد برآمد با دادن هویتی مستقل به آن، وظایف بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری شبکه‌ها و تأسیسات توزیع و فروش برق به مشترکین را به این بخش واگذار کند. در راستای نیل به این هدف، شرکتهای توزیع برق در سال ۱۳۷۱ تأسیس شدند.

ارزیابی کارایی شرکتهای توزیع برق در کشور و شناسایی الگوهای برتر در این صنعت، علاوه بر ساماندهی برنامه‌های بهبود کیفیت خدمات ارائه شده به مشترکین، منجر به ارائه برنامه‌های مناسبی جهت افزایش کارایی آنها از مقایسه وضعیت هر شرکت با شرکتهای الگو[۱] خواهد شد. لذا اندازه کارایی شرکتهای توزیع برق به عنوان واحدهای تصمیم‌گیری (DMU[۲]) و مقایسه کارایی شرکتها با یکدیگر به منظور تعیین کاراترین شرکت و شرکتهای الگو موضوع مهمی در زنجیره تامین برق کشور می‌باشد که مورد توجه محققین، سیاستگذاران و قانون گذاران بخش انرژی قرار گرفته است [۱]. از آنجا که در بیشتر موارد، کارایی شرکتها با کیفیت برق عرضه‌شده به مشترکین ارتباط دارد، عملکرد صحیح شرکتها، اثرات اقتصادی فراوانی برای مشترکین شرکتهای توزیع و دولت به دنبال دارد. در تحقیقات گذشته، برای تخمین درجات کارایی و رتبه‌بندی شرکتهای توزیع برق از روشهای مختلفی مثل تحلیل مرز تصادفی[۳](SFA) و تحلیل پوششی داده‌ها[۴](DEA)، حداقل مربعات معمولی تصحیح شده[۵] (COLS) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی[۶](PCA) و ... استفاده شده است [9،8،2]. اما روش DEA که یک رویکرد ناپارامتریک است در این صنعت، نسبت به سایر روشها مورد استقبال بیشتری قرار گرفته است. به عنوان مثال، می‌توان به مطالعات مختلفی چون بررسی عملکرد نسبی شرکتهای توزیع برق ایران، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها توسط فلاحی و احمدی [۳]، استفاده از مدلهای تحلیل پوششی داده‌های کلاسیک و تصادفی برای اندازه‌گیری کارایی و ارزیابی عملکرد شرکتهای توزیع برق توسط خدابخشی و نوروز زاده [۴]، به کارگیری تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای برای بررسی روند کارایی فنی شرکتهای توزیع برق تحت فرض بازدهی متغیر و ثابت نسبت به مقیاس و نسبت شکاف تکنولوژی در طول زمان توسط صادقی و همکاران [۵] و انتخاب یک نمونه از واحدهای توزیع برق بزرگ از کشورهای دانمارک، فنلاند، نروژ، سوئد و هلند در سال ۱۹۹۷ و تخمین کارایی آنها با فرض مرز کارای تولید مشترک برای این کشورها توسط تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم کوئیست[۷] اشاره کرد [10].

روش DEA یک رویکرد ناپارامتری است، ناپارامتری به این معنی که در تخمین تابع تولید (هزینه)، تابعی که به ازای ترکیبات مختلف ورودی‌ها، مقدار تولید (هزینه) ثابت و مشخص باشد، نیازی به تعیین شکل مشخص تابع ندارد و آن را به کمک برنامه‌ریزی ریاضی و بر اساس ورودیهای و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیری تعیین می‌کند. تابعی که توسط DEA به عنوان مرز کارایی تعیین می‌شود، خصوصیات یک تابع مرزی تولید مانند همگنی، یکنواختی و تحدب را دارد و این از مزیتهای این روش می‌باشد [11]. مقدار کارایی نسبی هر DMU بر اساس فاصله انحراف مقدار کارایی از تابع مرزی تولید (مرز کارایی) تعیین می‌شود [13].

اما اشکال مهم در استفاده از روش DEA، عدم تفکیک واحدهای کارا از یکدیگر است. به عنوان مثال استفاده از روش DEA برای رتبه‌بندی شرکتهای توزیع برق، منجر به ارائه تعدادی شرکت با مقدار کارایی ۱۰۰ می‌شود که این امری غیر طبیعی و غیر کاربردی است. بدین معنی که روش مرسوم DEA توان تفکیک واحدهای کارا از یکدیگر را ندارد. همچنین روش DEA، نسبت به عدم تجانس و هماهنگی DMUها حساس است و در آن فرض بر آن است که فاصله (انحراف) کارایی هر DMU از مرز کارایی تنها به دلیل ناکارا بودن DMU نسبت به سایر واحدهای تصمیم‌گیری است در حالی که ممکن است بخشی از این انحراف، به دلیل عوامل و انحرافات تصادفی داده‌های ورودی و خروجی باشد. انحرافات تصادفی داده‌ها تحت تاثیر عواملی مانند تغییرات تقاضا یا تغییرات شرایط آب و هوایی می‌باشد. لذا مقدار کارایی DMUها و تعیین واحدهای کارا و ناکارا که توسط DEA تعیین می‌شود به خصوص زمانی که کارایی DMUها نزدیک هم باشد غیرواقعی و دارای اشکال باشد [11].

در دهه گذشته به منظور کاهش حساسیت مدلهای DEA نسبت به انحرافات تصادفی، مدلهای تجزیه و تحلیل مرز تصادفی (SFA) توسعه داده شدند [22]. این روش جزء تکنیکهای پارامتری براورد کارایی می‌باشد که لازمه آن مشخص بودن شکل تابع تولید (هزینه) و معلوم بودن نحوه توزیع انحرافات تصادفی کارایی از تابع مرزی تولید است. در این روش، تابع مرزی تولید به روشهای اقتصادسنجی براورد می‌شوند و به عنوان یک ورودی به مدل ارزیابی کارایی در نظر گرفته می‌شود. هر چند در این روش می‌توان از شکل‌های مختلف تابع استفاده کرد، اما اشکال وارد به این روش، شکل تابع ورودی به مدل SFA است که ممکن است مشخصه‌های بدیهی تابع مرزی مانند یکنواختی، همگنی و تحدب را نداشته باشد [13-11].

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

در این مقاله روش جدیدی به نام تحلیل پوششی تصادفی غیرپارامتریک داده‌ها[8] یا StoNED معرفی می‌شود که ویژگی‌های مطلوب هر دو روش ناپارامتری DEA و پارامتری SFA دارد. در این روش، تابع مرزی غیر پارامتری DEA با رفتار احتمالی روش SFA ترکیب شده است. این روش بر خلاف روش SFA، نیازی به شکل تابع تولید مرزی ندارد و بطور ضمنی تابع تولید مرزی در آن، مشخصه های بدیهی در تئوری تابع تولید مرز کارا مانند یکنواختی، همگنی و تحدب را مانند روش DEA دارد . از طرف دیگر نسبت به روش DEA، انحرافات تصادفی داده‌ها را در محاسبه مقدار کارایی در نظر می‌گیرد و از این رو از کلیه اطلاعات موجود در مجموعه داده‌ها به منظور برآورد کارایی استفاده می‌کند. همچنین در این روش می‌توان عدم هماهنگی مشاهده شده واحدها و محیطهای عملیاتی آنها را به صراحت به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر از برآورد کارایی، مدلسازی کرد [11].

ویژگیها و مزایای روش پیشنهادی (StoNED) در ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری نسبت به روشهای DEA و SFA از یک طرف و اهمیت مسئله ارزیابی کارایی شرکتهای توزیع برق از طرف دیگر، این پژوهش را به استفاده از رویکرد StoNED جهت رتبه‌بندی شرکتهای توزیع برق ۳۹ شرکت توزیع برق در کشور سوق داده است. افزایش دقت ارزیابی کارایی شرکتهای توزیع برق با استفاده از رویکرد StoNED و مقایسه نتایج با روش DEA (سایر تحقیقات این حوزه) از جمله نواوریهای این تحقیق می‌باشد. جهت انجام این مهم، از فرایند گام به گام زیر استفاده شده است:

مرحله ۱: انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی ارزیابی کارایی شرکتهای توزیع برق ایران.

مرحله ۲: برآورد کارایی شرکتهای توزیع برق با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA).

مرحله ۳: برآورد کارایی شرکتهای توزیع برق با استفاده از روش تحلیل پوششی تصادفی غیرپارامتری داده‌ها (StoNED).

مرحله ۴: تعیین رتبه‌های دقیق هر شرکت توزیع برق (DMU) با استفاده از روش StoNED و مقایسه با رتبه‌های DEA.

۲- مرور ادبیات

در ادبیات علمی، براورد و اندازه‌گیری کارایی مستلزم محاسبه یا تخمین تابع مرزی تولید یا هزینه است. روشهای تخمین این تابع به دو دسته روشهای پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی می‌شوند. روش DEA از جمله روشهای غیرپارامتری [28، 29] و روش SFA از روشهای پارامتری براورد تابع مرزی تولید (یا به عبارتی مرز کارایی) [12] است. در این بخش ابتدا مروری مختصر بر روش DEA و سپس ادبیات و نحوه پیدایش مدل StoNED بیان می‌گردد.

۲-۱- تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

همانطور که اشاره شد، تحلیل پوششی داده‌ها یکی از روش‌های برآورد کارایی واحدهای تصمیم‌گیری است که انحرافات تصادفی داده‌ها را که به علت وجود عوامل خارجی ایجاد می‌شوند، در محاسبه کارایی در نظر نمی‌گیرد اما از لحاظ فرم تابع مرزی تولید، ویژگیهای یکنواختی و تحدب را داراست.

یکی از ویژگی‌های مدل تحلیل پوششی داده‌ها ساختار بازده به مقیاس ثابت یا متغیر است. مدل CCR که توسط چارنز و همکاران ارائه شد [29]، از جمله مدلهای بازده ثابت نسبت به مقیاس هستند. از آنجایی که هدف در این پژوهش، کمینه کردن ورودی‌های شرکتهای توزیع برق جهت دستیابی به مقدار ثابت متغیرهای خروجی است، لذا از مدل جمعی DEA ورودی‌گرای CCR برای رتبه‌بندی کارایی شرکتهای توزیع برق کشور استفاده شده است [۷،13،29].

شکل مدل جمعی CCR ورودی محور به شکل زیر است [۷].

$$Max \quad Z_t = \sum_{r=1}^{s} y_{rt} u_r$$

$$S.t.$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{it} v_i = 1 \qquad (۱)$$

$$\sum_{r=1}^{s} y_{rj} u_r - \sum_{i=1}^{m} x_{ij} v_r \le 0 \qquad j = 1, 2, ..., n$$

$$u_r, v_i \ge \varepsilon, \quad \forall i, r$$

که در آن n تعداد واحدهای تصمیم‌گیری هستند که هر یک به تعداد m ورودی و s خروجی دارند. x_{ij}، میزان ورودی iام ($i = 1, \ldots\ldots, m$) برای واحد تصمیم‌گیری j ام و y_{rj}، میزان خروجی rام برای واحد j ام ($r = 1, \ldots\ldots s$) است. v_i و u_r به ترتیب اوزان تخصیصی (متغیرهای تصمیم مدل) به هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌ها در ارزیابی کارایی می‌باشند و ε مقدار بسیار کوچکی است که توسط کاربر تعریف می‌شود و به منظور صفر نشدن اوزان ضرب شده در ورودی‌ها و خروجی‌های مدل پایه CCR در مدل جمعی DEA (مدل ۱) در نظر گرفته شده است. به ازای هر واحد تصمیم‌گیری tام و براساس ورودی‌ها و خروجی‌های مربوط به آن می‌بایست مدل (۱) اجرا شود و مقادیر Z_t^* (مقدار تابع هدف مدل) بیانگر مقدار کارایی DMU مربوطه (t) می‌باشد. همچنین قمیتهای سایه هر یک از مدلهای فوق که برای یک DMU اجرا می‌شود و ناکاراست ($Z_t^* < 1$) واحدهای مرجع برای بهبود کارایی آن DMU را نشان می‌دهد. به منظور بهبود قدرت تفکیک‌پذیری مدل (۱) یعنی تفکیک مناسبتر واحدهای کارا از ناکارا بهتر است

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

مسئله ثانویه مدل فوق به ازای هر DMU تهیه و اجرا شود [۷]. مدل دوگان مدل فوق به شرح زیر است [14]:

$$Min\ Y_t = \varphi - \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right)$$

$$S.t.$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij} + s_i^- = \varphi x_{it} \qquad i = 1,\ldots\ldots,m \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rt}, \qquad r = 1,\ldots\ldots s$$

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

$$\varphi\ free$$

که در آن s_r^+ متغیر کمکی کمبود در میزان تولید برای خروجی مشخص rام و s_i^- متغیر کمکی میزان ورودی iام استفاده شده، λ_j قیمت سایه محدودیتهای مسئله اصلی CCR ورودی محور (مدل ۱) است. پس از حل مدل (۲) به ازای واحد تصمیم‌گیری t، مقدار Y_t^* مقدار کارایی نسبی واحد تصمیم‌گیری مربوطه حاصل می‌شود و به ازای واحدهای ناکارا ($Y_t^* < 1$)، مقادیر λ_j های مثبت (حاصل از حل مدل (۲) به ازای واحد تصمیم‌گیری t) بیانگر واحدهای مرجع آن هستند.

۲-۲- تکنیک تحلیل پوششی تصادفی غیر پارامتری داده‌ها (StoNED)

تحلیل پوششی تصادفی ناپارامتری داده‌ها (StoNED) که اولین بار توسط کاسمانن و کورتلینین [30، 31] ارائه شد، از جلمه روشهای پل ارتباطی بین روشهای پارامتری و ناپارامتری ارزیابی کارایی محسوب می‌شود که محاسن هر دو روش را در یک چارچوب واحد و یکپارچه ارائه می‌کند. جهت رفع مشکلات هر یک از روشهای پارامتری و ناپارامتری فعالیتهای مشابهی قبل از ارائه روش StoNED تحت عنوان روشهای نیمه پارامتری مانند مراجع [21-18] انجام شده بود ولی این روش مکمل روشهای قبلی این حوزه می‌باشد و مزیت آن نسبت به سایرین، وابستگی شدید آن بر مفاهیم و اصول DEA و SFA بدون معرفی مفاهیم یا ابزارهای جدید است. ضمناً این روش بر اساس بدیهیات استاندارد و مفروضاتی که استفاده کنندگان از SFA و DEA با آن راحت هستند، بنا نهاده شده است. لذا StoNED حلقه مفقوده ارتباط مفهومی بین روشهای پارامتری و ناپارامتری است که در سایر روشهای مشابه از دست رفته است.

این روش، کارایی را با تحلیل انحراف ناکارایی از مرز کارایی اندازه می‌گیرد که در آن تابع تولید به کمک روش ناپارامتری DEA براورد می‌شود و در اندازه‌گیری و تحلیل ناکارایی، انحرافات تصادفی داده‌ها به روش پارامتری SFA درنظر گرفته می‌شود. این روش شامل دو مرحله می‌باشد؛ در مرحله اول، تابع مرزی تولید با استفاده از رگرسیون مربعات ناپارامتریک محدب (CNLS[۹]) تحت محدودیت شکل تابع تولید (یکنواختی، همگنی، تحدب) براورد می‌شود [15-17]. در روش CNLS، تابع تولید بر اساس داده‌های ورودی و خروجی براورد می‌شود و در آن نیازی به فرم تابع به عنوان پیش فرض نیست اما مشخصه‌های توابع مرزی را دارد. مرحله دوم، انحرافات ناکارایی واحدهای تصمیم‌گیری از تابع مرزی به دو بخش انحراف ناکاریی (انحرافی که بیانگر ناکارایی واقعی DMU است) و انحرافات تصادفی (انحرافاتی که به دلیل نویز در داده‌ها ایجاد می‌شوند) به روشهای احتمال پسودو[۱۰] براورد می‌شوند. همچنین امید ریاضی (متوسط) انحرافات جمله ناکارایی به ازای هر DMU جهت مقایسه آنها محاسبه می‌شود [11].

۲-۳- تابع هزینه مرزی و کارایی هزینه

برآورد و تخمین کارایی مستلزم محاسبه تخمین توابع مرزی تولید و یا هزینه است. توابع تولید یا هزینه بر اساس مجموعه داده‌هایی که بیانگر بهترین عملکرد هستند، براورد می‌شوند که در این توابع به مرز کارایی نیز اشاره می‌شوند. بخشی از فاصله (انحراف) هر DMU از مرز کارایی را انحراف ناکارایی و بخش دیگر آن را انحرافات تصادفی تشکیل می‌دهد. بر اساس نظریه‌های اقتصاد خرد، توابع تولید و هزینه دوگان یکدیگر محسوب می‌شوند، لذا از این ویژگی در روش StoNED برای الگوسازی توابع هزینه مرزی استفاده می‌شود. توابع مرزی تصادفی که حداقل هزینه‌ها را به ازای یک سطح مشخص از تولید، قیمت عوامل و دانش فنی موجود نشان می‌دهند، می‌توان به صورت رابطه خطی زیر در نظر گرفت.

$$x_i = C(y_i, \beta).\exp(\delta z_i + u_i + v_i) \ : u_i \geq 0, \qquad (۳)$$

که در آن، C شکل تابع هزینه تولید بنگاه (DMU)، بردار y_i بردار خروجی‌های بنگاه iام، x_i مقدار قیمت عوامل تولید به ازای هر واحد تصمیم‌گیری است. تابع C متعلق به مجموعه‌ای از توابع پیوسته، همگن و محدب است و بردار β بردار ضرایب تابع هستند که باید بر اساس داده‌ها و رویکرد رگرسیون براورد شوند. عبارتهای u_i و v_i انحرافات نقاط از تابع مرزی هزینه را نشان می‌دهد که u_i مقدار ناکارایی هزینه هر DMU را اندازه می‌گیرد و v_i انحرافات تصادفی مشاهده از تابع مرزی هزینه را بیان می‌کند که بیانگر اثرات خطاهای اندازه‌گیری، متغیرهای لحاظ نشده در مدل و دیگر اختلالات تصادفی بر تابع مرزی هزینه است. در توابع هزینه مرزی، جمله انحراف تصادفی جمله خطای مرکب است و به صورت $u_i + v_i$ مشخص می‌گردد. عبارت z متغیر محتوایی[۱۱] نامگذاری می‌شود و بیانگر ناهمسانی[۱۲] واحدهای تصمیم‌گیری است. این عبارت در روش DEA و SFA لحاظ نمی‌گردد در حالی که

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

ممکن است DMUها از نظر محیطهای عملیاتی با یکدیگر یکسان نباشند و مقایسه کارایی آنها بدون در نظر گرفتن همسانی آنها دور از واقعیت است [11،32]. متغیر z_i یک متغیر ورودی یا خروجی در ارزیابی کارایی هر DMU نیست بلکه این متغیر قابلیت بررسی اثر ناهمسانی واحد تصمیم‌گیری iام را بر هزینه (توسط ضریب δ) بررسی می‌کند. این متغیر در بخش مطالعه موردی بیشتر توضیح داده می‌شود. بنابراین در توابع مرزی هزینه، u_i نشان می‌دهد که در بنگاه iام به دلیل عدم تخصیص بهینه منابع تا چه اندازه فراتر از مرز هزینه (حداقل هزینه) فعالیت می‌کند.

مطابق فرضیات مدل SFA [12] توزیع آماری متغیر تصادفی v نرمال با میانگین صفر و واریانس محدود ($\sigma_v^2 \geq 0$) فرض می‌شود و توزیع آماری متغیر تصادفی ناکارایی u، نرمال بریده شده[۱۳] با میانگین صفر و واریانس محدود ($\sigma_u^2 \geq 0$) در نظر گرفته می‌شود زیرا مقدار ناکاریی منفی معنی ندارد. امید ریاضی (متوسط) متغیر تصادفی u_i ($E(u_i)=\mu$) مبنای مقایسه ناکارایی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری در این روش می‌باشد.

با گرفتن لگاریتم طبیعی از هر دو طرف تابع هزینه مرزی (رابطه ۳)، رابطه زیر حاصل می‌شود [24].

$$\mathrm{LnX_i} = Ln\mathrm{C}(\mathrm{y_i},\beta)+\delta\mathrm{Z}+\mathrm{u_i}+\mathrm{v_i} \quad :\mathrm{u_i}\geq 0, \qquad (۴)$$

۲-۴- مراحل روش StoNED

محاسبه مقدار ناکارایی DMUها در روش StoNED از دو مرحله زیر تشکیل شده است:

مرحله اول: تخمین هزینه‌های کل مورد انتظار با فرض مشخص بودن مقدار خروجی‌ها (بردار Y) و متغیر محتوایی z که از جنبه آماری با E(x|y,z) نشان داده می‌شود و پارامتر δ (اثر ناهمسانی بنگاه‌ها) با استفاده از روش حداقل مربعات غیر پارامتری محدب (CNLS).

در رابطه (۳)، عبارت تصادفی u_i+v_i با ε_i که بیانگر انحراف نقاط از تابع مرزی هزینه می‌باشد، تعریف می‌شود. جهت برآورد تابع مرزی هزینه (C) و مطابق روش CNLS، مجموع مربعات خطا (ε_i) کمینه می‌شود تا میزان انحراف داده‌ها از مقداری که توسط تابع C برآورد می‌شود، کمینه شود. مدل برنامه‌ریزی ریاضی این مرحله به شرح زیر است:

$$\begin{aligned}
&\min_{\gamma,\beta,\delta,\varepsilon} \sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i^2 \\
&S.t. \\
&\ln x_i = \ln C(y_i)+\delta z_i+\varepsilon_i \\
&\gamma_i = \beta_i' y_i \qquad \forall i \\
&\gamma_i \geq \beta_h' y_i, \qquad \forall h,i \\
&\beta_i \geq 0 \qquad \forall i \\
&\varepsilon_i = u_i + v_i
\end{aligned} \qquad (۵)$$

ضرایب β_i' برای هر بنگاه در ارزیابی کارایی محاسبه می‌شوند و می‌توانند به عنوان هزینه نهایی خروجی‌ها یا به عنوان ضرایب مماس بر صفحه تابع هزینه مرزی (که به شکل خطی و تکه‌ای است) تفسیر شوند. این ضرایب مشابه وزنهای ضرب کننده در DEA هستند. این یک ویژگی مهم برای مدلسازی ناهمسانی DMUها است [11]. پارامتر γ_i براوردکننده متوسط کل هزینه‌های صرف شده برای تولید y_i است یا به عبارتی $E(x_i)=C(y_i)+\mu$. براورد تابع هزینه مرزی در پایان مرحله اول به دلیل عدم براورد پارامتر μ امکان پذیر نیست. اما از مقادیر براورد ε_i به ازای راه‌حل بهینه مدل برنامه‌ریزی ریاضی (۵) که با $\hat{\varepsilon}_i$ معرفی می‌شوند می‌توان در مرحله بعدی استفاده کرد. بنابراین رگرسیون حداقل مربعات غیر پارامتری محدب (CNLS)، امید ریاضی هزینه کل x_i و پارامتر δ را تخمین می‌زند [11].

مرحله دوم: براورد مقدار انتظاری ناکارایی (μ)، واریانس انحرافات تصادفی (σ_v^2 و σ_u^2) و همچنین ناکارایی هر DMU یعنی $E(u_i \mid \varepsilon_i)$.

با فرض توزیع نامتقارن انحرافات تصادفی ناکارایی (u) با میانگین μ که مقدار آن مثبت است و واریانس محدود σ_u^2 و همچنین توزیع متقارن (نرمال) متغیر v با میانگین صفر و واریانس ثابت محدود σ_v^2 می‌توان گشتاروهای دوم و سوم جمله خطای مرکب $\varepsilon_i = u_i + v_i$ را به صورت زیر محاسبه کرد[11]:

$$\begin{aligned}
M_2 &= \left[\frac{\pi-2}{\pi}\right]\sigma_u^2+\sigma_v^2 \\
M_3 &= -\left(\sqrt{\frac{2}{\pi}}\right)\left[\frac{4}{\pi}-1\right]\sigma_u^3
\end{aligned} \qquad (۶)$$

از طرفی گشتاورهای دوم و سوم متغیر ε حول میانگین آن، بر حسب مقادیر $\hat{\varepsilon}_i$ که از مرحله اول براورد شدند، به صورت روابط زیر قابل براوردند.

$$\begin{aligned}
\hat{M}_2 &= \sum_{i=1}^{n}\frac{\left(\hat{\varepsilon}_i-\bar{\varepsilon}_i\right)^2}{n} \\
\hat{M}_3 &= \sum_{i=1}^{n}\frac{\left(\hat{\varepsilon}_i-\bar{\varepsilon}\right)^3}{n}
\end{aligned} \qquad (۷)$$

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

با جایگذاری مقادیر برآورد گشتاورها در روابط (۶) و (۷) و محاسبه دقیق آنها، مقدار برآورد واریانس انحرافات تصادفی و ناکارایی به صورت زیر برآورد خواهند شد.

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{\frac{\hat{M}_3}{\sqrt[3]{\left(\sqrt{\frac{2}{\pi}}\right)\left[\frac{4}{\pi}-1\right]}}} \qquad (۸)$$

$$\hat{\sigma}_v = \sqrt{\hat{M}_2 - \left[\frac{\pi-2}{\pi}\right]\hat{\sigma}_u^2}$$

اکنون می‌توان با داشتن مقادیر برآورد (۸) تابع هزینه مرزی به روش StoNED را به صورت زیر ارائه کرد.

$$\hat{C}(y) = \gamma_i . \exp(\hat{\sigma}_u \sqrt{2/\pi}) \qquad (۹)$$

ثابت شده است توزیع شرطی ناکارایی u_i با توجه به ε_i برای هر بنگاه توزیع نرمال بریده شده (تنها برای مقادیر مثبت) با میانگین $\mu_* = -\varepsilon_i \sigma_u^2 \Big/ \left(\sigma_u^2 + \sigma_v^2\right)$ و واریانس $\sigma_*^2 = \sigma_u^2 \sigma_v^2 \Big/ \left(\sigma_u^2 + \sigma_v^2\right)$ می‌باشد که با جایگذاری مقایر برآورد (۷) و $\hat{\varepsilon}_i$ قابل تخمین هستند. بر این اساس میانگین شرطی ناکارایی خاص هر شرکت را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$E\left(u_i|\varepsilon_i\right) = \mu_* + \sigma_* \left[\frac{\varphi\left(-\mu_* / \sigma_*\right)}{1-\phi\left(-\mu_* / \sigma_*\right)}\right] \qquad (۱۰)$$

که در آن φ و ϕ به ترتیب نشان دهنده تابع چگالی نرمال استاندارد و تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است[11].

باید توجه شود که داده‌های ورودی و خروجی DMUها به احتمال زیاد حاوی انحرافات تصادفی (از قبیل تغییرات تقاضا یا تغییرات شرایط آب و هوایی) می‌باشند. همانطور که هدف، برآورد هزینه کارا و کارایی هزینه است، کارایی را به عنوان نسبت صرفه-جویی در هزینه واقعی، به عنوان مثال $C\left(y_i\right) \Big/ x_i$، اندازه‌گیری می‌شود. در این مورد، ممکن است که این نمرات کارایی بیشتر از ۱۰۰ درصد باشند. (با توجه به نویز کم در x_i). با استفاده از اصطلاحات مندرج در ادبیات DEA، این نوع محاسبه کارایی، کارایی فوق‌العاده[۱۴] را برای ما ممکن می‌سازد.

۳- مطالعه موردی

در حال حاضر در وزارت نیرو ۳۹ شرکت توزیع برق فعال هستند. مهمترین مأموریت بخش توزیع نیروی برق عبارتند از: مدیریت مؤثر توزیع و تقاضای انرژی الکتریکی از طریق محیط سازی، برنامه‌ریزی، ایجاد هماهنگی و اعمال نظارتهای لازم در بخش توزیع. علاوه بر اجرای مأموریت، شرکتهای توزیع ملزم به تلاش جهت تحقق موارد زیر نیز هستند: حفظ و توسعه پایداری‌های فنی، اقتصادی و زیست محیطی در بخش توزیع تحت پوشش، ارائه خدمات برق به صورتی فراگیر، مطمئن و اقتصادی و جلب رضایت پایدار مشترکین و متقاضیان.

تنوع عوامل مؤثر بر تصمیمات در این بخش که ترکیبی از عوامل اجتماعی، اقتصادی، تکنولوژی، سیاسی، فرهنگی و مدیریتی است، اهمیت ارزیابی صحیح عملکرد و کارایی آنها را بیشتر کرده است تا بر اساس الگوهای موفق در این صنعت سایر شرکتهای توزیع نیز اقدام به انتخاب استراتژی‌ها و تصمیم‌گیری‌های صحیح نمایند.

۳-۱- متغیرهای ورودی و خروجی

لزوماً استفاده از همه متغیرهای ورودی و خروجی برای ارزیابی عملکرد شرکتهای توزیع برق منجر به نتایج درستی نمی‌شود. در کشورهای صنعتی و در حال توسعه فقط از چند عامل مهم برای ارزیابی این واحدها استفاده می‌شود. بر اساس مطالعه ادبیات ارزیابی عملکرد شرکتهای توزیع برق [۲-۶، 23-25] و انجام مصاحبه با کارشناسان صنعت برق، در این پژوهش یک متغیر ورودی (هزینه کل شرکت در یکسال که خود جمع تعدادی متغیر هزینه‌ای است) و سه متغیر خروجی جهت ارزیابی کارایی شرکتهای توزیع برق ایران مطابق جدول ۱ درنظر گرفته شده است.

جدول (۱): متغیرهای ورودی و خروجی

ورودی	خروجی ها
هزینه کل شرکت شامل:	**طول خطوط شبکه** (برحسب کیلومتر)
هزینه‌های خرید و تولید برق	
هزینه‌های بهره‌برداری از شبکه های توزیع برق	**ظرفیت ترانسفورماتورها** (بر حسب مگاولت آمپر)
هزینه نگهداری و تعمیرات شبکه های توزیع برق	
هزینه نگهداری و تعمیرات روشنایی معابر	**تعداد مشترکین** (بر حسب نفر)
هزینه استهلاک تاسیسات شبکه توزیع برق	
سایر هزینه‌های عملیاتی و عمومی	

جهت جمع‌آوری داده‌های ورودی و خروجی هر یک از ۳۹ شرکت توزیع برق، از میانگین داده‌های یک دوره پنج ساله (از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱) با استفاده از گزارشهای صورتهای مالی منتهی به اسفندماه هر سال استفاده شده است. جدول ۲ خلاصه آماری متغیرهای ورودی و خروجی‌های فوق را برای کل شرکتهای برق نشان می‌دهد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

جدول (۲): خلاصه آماری متغیرهای ورودی و خروجی

	نام متغیر	میانگین	انحراف معیار	مینیمم	ماکزیمم
ورودی	هزینه کل هر شرکت (میلیون ریال)	۱,۸۹۷,۱۵۷	۱,۳۵۸,۳۶۲	۵۳۷,۵۸۸	۷,۶۲۴,۶۱۹
خروجی‌ها	فروش برق (میلیون کیلووات ساعت)	۳,۸۲۰	۲,۹۴۱	۸۷۰	۱۶,۷۵۵
	طول شبکه (کیلومتر)	۱۶,۸۳۲	۷,۵۲۶	۶,۱۷۵	۳۶,۷۱۳
	ظرفیت ترانسفورماتور (مگا ولت آمپر)	۲,۲۰۶	۱,۶۲۶	۵۹۱	۹,۳۸۱
	تعداد مشترکین (هزار مشترک)	۶۵۸	۵۷۵	۱۶۰	۳,۶۸۴
متغیر محتوایی	سهم طول خطوط زمینی از کل شبکه (درصد)	۸	۱۰	۰	۶۱

۳-۲- متغیر محتوایی z

همانطور که در معرفی روش StoNED اشاره شد، این روش قابلیت ارزیابی کارایی DMUهایی که از نظر ابعاد و شرایط عملیاتی یکسان و همسان نیستند را دارد. اگر ناهمگونی شرکتها در ارزیابی کارایی نادیده گرفته شود، ممکن است روشهای ارزیابی کارایی، شرکتهایی که در شرایط مطلوب عمل می‌کنند را کاراتر از شرکتهایی که در یک محیط سخت کار می‌کنند، ارزیابی کند درحالیکه این امر دور از واقعیت است [26]. متغیر محتوایی z در این روش تفاوت و ناهمسانی شرکتهای توزیع برق را در مدل وارد می‌کند. لذا انتخاب متغیر مناسبی که تفاوتهای شرکتها را بسته به شرایط عملیاتی‌شان از قبیل محیط عملیاتی خارجی، شرایط داخلی شرکتها از قبیل نوع محصول و تکنولوژی تفکیک کند به رتبه‌بندی واقعی شرکتها کمک خواهد کرد.

در شبکه توزیع برق کشور، از خطوط زیر زمینی فقط در مناطق پر جمعیت شهری استفاده می‌شود که این امر به دلیل هزینه بالای راه‌اندازی و نگهداری و همچنین تولید توان راکتیو اضافی در این گونه خطوط است [۱]. بنابراین سهم طول خطوط زمینی از کل شبکه شاخص مناسبی برای بیان تفاوت عملیاتی شرکتهای توزیع برق تحت عنوان متغیر محتوایی در مدل StoNED می‌باشد. مدلسازی متغیر محتوایی به این شکل این امکان را می‌دهد که اثر طول خطوط زمینی را بر هزینه (نشان داده شده توسط ضریب δ) اندازه‌گیری شود. در مطالعات جانسون و کاوسمانن و سیمار و ویلسون [26، 27] نشان داده شد که هیچ محدودیت علامتی برای پارامتر δ و همچنین متغیر z وجود ندارد . بنابراین شاخص نسبت طول شبکه زمینی به کل طول شبکه هر شرکت به عنوان متغیر محتوایی استفاده شده و داده‌های مربوط به آن به ازای هر شرکت از گزارشهای سالانه تفصیلی صنعت برق ایران، سیستم مدیریت اطلاعات آماری صنعت برق (بهساد) و سامانه جمع‌آوری خودکار اطلاعات آماری شرکتها (سایت آمار شرکت توانیر) جمع‌آوری شده است. شاخصهای آماری این متغیر در کل شرکتهای مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

۴- نتایج ارزیابی کارایی شرکتهای توزیع برق

در این بخش دو مدل پارامتری DEA و نیمه ناپارامتری StoNED بر روی داده‌های ورودی و خروجی ۳۹ شرکت توزیع برق ایران اجرا شده است.

۴-۱- تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

مدل برنامه‌ریزی ریاضی (۲) با استفاده از داده‌های یک ورودی، $m=1$ (متوسط کل هزینه سالیانه، x_{1j}) و سه خروجی، $s=3$ (طول خطوط شبکه، y_{1j}، ظرفیت ترانسفورماتورها، y_{2j} و تعداد مشترکین، y_{3j}) و داده‌های جمع‌آوری شده به ازای ۳۹ ($n=39$) شرکت توزیع برق که خلاصه آماری آنها در جدول ۲ ارائه شده است، مجدد با پارامترهای معلوم بازنویسی شده است. مدل مذکور با مقدار ε برابر مقدار خیلی کوچک 1E-9 توسط نرم افزار GAMS حل شده است و امتیازات کارایی نسبی هر یک از شرکتهای توزیع برق و الگوها در جدول ۳ ارائه شده است. علاوه بر امتیاز کارایی نسبی هر تصمیم‌گیرنده که از حل مدل (۲) حاصل شده است، مقدار قیمتهای سایه مدل اولیه CCR (مدل۱) تحت عنوان ضرایب λ به ازای هر شرکت برق (مقادیر داخل پرانتز در ستون واحدهای مرجع) ارائه شده است. واحدهای مرجع برای هر شرکت توزیع برق نیز شامل شماره شرکت مربوطه (به ازای λهای مثبت) در جدول۳ ارائه شده است، از این شرکتها به طور قراردادی تحت عنوان الگو برای DMU مورد ارزیابی یاد می‌شوند.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

جدول (۳): نتایج مدل تحلیل پوششی داده‌ها

شماره	نام شرکتهای توزیع برق	امتیاز کارایی	واحدهای مرجع
۱	شهرستان تبریز	٪۹۴	۳۴ (۰/۴۵)، ۶ (۰/۲۵)
۲	استان آذربایجان شرقی	٪۸۴	۳۴(۰/۳۲)، ۱۸(۰/۹۸)، ۴(۰/۱۲)
۳	استان آذربایجان غربی	٪۹۱	۳۴(۰/۶۷)، ۱۸(۰/۴۷)، ۶(۰/۱۱)
۴	استان اردبیل	٪۱۰۰	-
۵	استان اصفهان	٪۷۱	۲۶(۰/۱۸)، ۶(۱/۱۱)
۶	شهرستان اصفهان	٪۱۰۰	-
۷	استان چهارمحال و بختیاری	٪۹۰	۲۶(۰/۳۲)، ۱۸(۰/۳۳)، ۶(۰/۰۳)
۸	استان مرکزی	٪۸۸	۲۶(۰/۰۹)، ۱۸(۰/۴۵)، ۶(۰/۵۵)
۹	استان همدان	٪۹۵	۲۶(۰/۵۳)، ۶(۰/۳۶)
۱۰	استان لرستان	٪۹۰	۲۶(۰/۷۹)، ۱۸(۰/۱)، ۶(۰/۰۳)
۱۱	استان البرز	٪۸۷	۳۴(۰/۶۷)، ۶(۰/۶۹)
۱۲	تهران بزرگ	٪۹۴	۳۴(۲/۰۶)، ۶(۱/۶۹)
۱۳	نواحی استان تهران	٪۹۹	۶(۱/۵۷)
۱۴	استان قم	٪۷۳	۶(۰/۴۲)
۱۵	شهرستان مشهد	٪۹۵	۳۴(۰/۶۲)، ۶(۰/۵)
۱۶	استان خراسان	٪۹۶	۱۸(۱/۹۶)، ۶(۰/۷۲)
۱۷	استان خراسان جنوبی	٪۹۲	۳۴(۰/۰۲)، ۱۸(۰/۹)، ۶(۰/۰۰۱)
۱۸	استان خراسان شمالی	٪۱۰۰	-
۱۹	شهرستان اهواز	٪۷۶	۶(۱/۲۴)
۲۰	استان خوزستان	٪۷۴	۶(۲/۱۵)
۲۱	استان کهکیلویه و بویراحمد	٪۷۶	۲۶(۰/۲۵)، ۶(۰/۱۶)
۲۲	استان زنجان	٪۷۷	۱۸(۰/۵۵)، ۶(۰/۳)
۲۳	استان قزوین	٪۷۰	۶(۰/۶۳)
۲۴	استان سمنان	٪۸۲	۲۶(۰/۰۵)، ۱۸(۰/۳۲)، ۶(۰/۲۸)
۲۵	استان سیستان و بلوچستان	٪۸۹	۲۶(۰/۰۷)، ۱۸(۲/۲۷)، ۶(۰/۱۳)
۲۶	استان کرمانشاه	٪۱۰۰	-
۲۷	استان کردستان	٪۹۹	۳۴(۰/۲۹)، ۲۶(۰/۰۳)، ۱۸(۰/۵۶)
۲۸	استان ایلام	٪۸۴	۲۶(۰/۲۹)، ۶(۰/۰۷)
۲۹	شهرستان شیراز	٪۸۹	۶(۱/۰۳)
۳۰	استان فارس	٪۹۴	۲۶(۰/۵۱)، ۱۸(۰/۸۸)، ۶(۰/۵۹)
۳۱	استان بوشهر	٪۸۹	۶(۰/۸۸)
۳۲	شمال استان کرمان	٪۸۲	۱۸(۰/۶۸)، ۶(۰/۴۷)
۳۳	جنوب استان کرمان	٪۹۳	۲۶(۰/۶۹)، ۱۸(۱/۰۵)، ۶(۰/۱۸)
۳۴	استان گیلان	٪۱۰۰	-
۳۵	استان مازندران	٪۸۹	۲۶(۰/۴۱)، ۳۴(۰/۱)، ۶(۰/۶۸)
۳۶	غرب‌استان مازندران	٪۹۹	۳۴(۰/۱۲)، ۶(۰/۲۹)
۳۷	استان گلستان	٪۹۲	۳۴(۰/۲۸)، ۶(۰/۴۲)
۳۸	استان هرمزگان	٪۶۵	۶(۱/۰۴)
۳۹	استان یزد	٪۸۴	۱۸(۰/۵۴)، ۶(۰/۵۳)

نتایج این مدل بیانگر آن است که پنج شرکت توزیع استان اردبیل، شهرستان اصفهان، استان خراسان شمالی، استان کرمانشاه و استان گیلان دارای کارایی ۱۰۰٪ هستند. در نظر گرفتن انحرافات تصادفی داده‌ها به عنوان بخشی از امتیاز ناکارایی و عدم توانایی تفکیک انحرافات تصادفی داده‌ها و درنظر نگرفتن ناهمسانی شرکتها و همچنین ارائه پنج شرکت با کارایی ۱۰۰ از موارد اشکالی است که به این روش و نتایج آن وارد است.

۴-۲- روش StoNED

مدل ریاضی مرحله اول در روش StoNED با داده‌های ورودی و خروجی هر شرکت بازنویسی و به کمک نرم افزار GAMS حل شده است، سپس سایر پارامترهای این روش در مرحله دوم محاسبه شده‌اند که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول(۴): پارامترهای براورد شده با StoNED

پارامتر	مقدار
δ (ضریب متغیر محتوایی z)	-۰/۲۰۴۰۰
$\hat{\sigma}_u$	۰/۰۳۵۷۹۶
$\hat{\sigma}_v$	۰/۰۷۵۷۰۹
$E(u_i \mid \varepsilon_i)$	/۰۲۸۵۶۱

هزینه کارا برای ۳۹ شرکت توزیع برق و همچنین کارایی هر شرکت که از رابطه $C(y_i)/x_i$ به دست می‌آید در جدول ۵ ارائه شده است.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

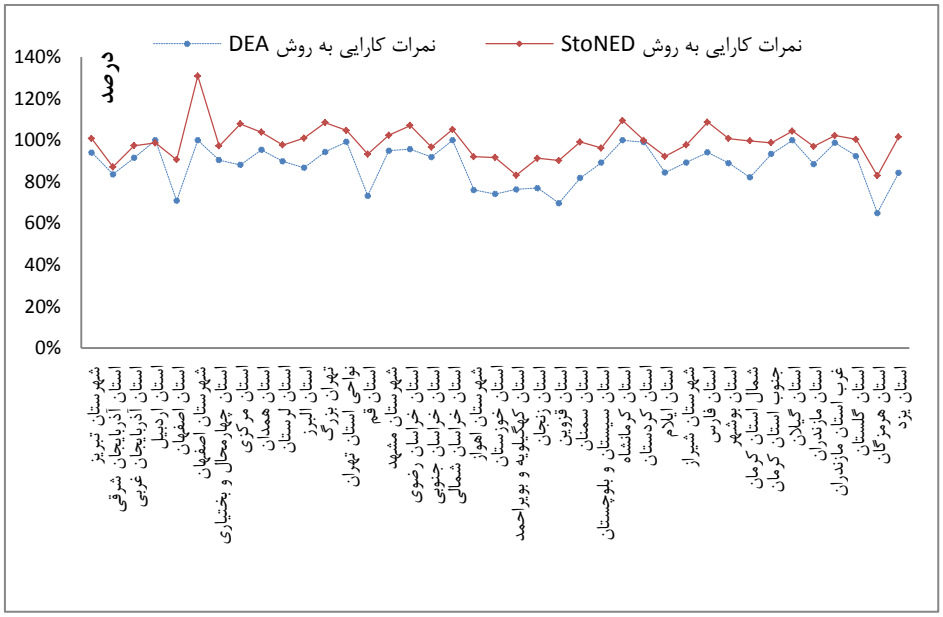
[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

جدول (۵): خروجی مدل StoNED و رتبه‌های دقیق شرکتهای توزیع برق ایران

نام شرکت توزیع برق	هزینه کارا $C(y_i)$	هزینه کل هر شرکت (X_i)	کارایی $C(y_i) \div x_i$	رتبه
شهرستان اصفهان	۲,۴۷۶,۷۵۶	۱,۸۹۳,۲۹۵	۱۳۰/۸۲	۱
استان کرمانشاه	۱,۲۶۶,۴۹۲	۱,۱۵۷,۶۵۰	۱۰۹/۴۰	۲
استان فارس	۲,۵۱۷,۰۹۷	۲,۳۱۶,۲۰۰	۱۰۸/۶۷	۳
تهران بزرگ	۸,۲۶۵,۹۷۰	۷,۶۲۴,۶۱۹	۱۰۸/۴۱	۴
استان مرکزی	۱,۶۹۶,۷۸۴	۱,۵۷۳,۷۵۳	۱۰۷/۸۲	۵
استان خراسان رضوی	۲,۷۱۰,۱۰۴	۲,۵۳۱,۷۸۱	۱۰۷/۰۴	۶
استان خراسان شمالی	۵۶۵,۱۴۸	۵۳۷,۵۸۸	۱۰۵/۱۳	۷
نواحی استان تهران	۳,۱۳۲,۷۵۶	۲,۹۹۴,۰۶۹	۱۰۴/۶۳	۸
استان گیلان	۲,۰۲۱,۴۲۰	۱,۹۳۷,۱۲۳	۱۰۴/۳۵	۹
استان همدان	۱,۴۰۳,۲۹۰	۱,۳۵۱,۳۵۴	۱۰۳/۸۴	۱۰
شهرستان مشهد	۲,۳۱۹,۴۷۱	۲,۲۶۵,۴۹۴	۱۰۲/۳۸	۱۱
غرب استان مازندران	۸۰۸,۴۶۶	۷۹۰,۸۳۰	۱۰۲/۲۳	۱۲
استان یزد	۱,۵۴۳,۶۹۷	۱,۵۱۹,۸۷۴	۱۰۱/۵۷	۱۳
استان البرز	۳,۰۱۴,۱۴۵	۲,۹۸۶,۱۲۱	۱۰۰/۹۴	۱۴
استان بوشهر	۱,۸۸۱,۰۴۲	۱,۸۶۶,۷۷۳	۱۰۰/۷۶	۱۵
شهرستان تبریز	۱,۴۳۸,۵۱۸	۱,۴۲۷,۷۸۲	۱۰۰/۷۵	۱۶
استان گلستان	۱,۲۲۳,۷۲۰	۱,۲۱۹,۲۹۶	۱۰۰/۳۶	۱۷
استان کردستان	۹۱۰,۴۸۹	۹۱۱,۷۴۱	۹۹/۸۶	۱۸
شمال استان کرمان	۱,۵۱۶,۰۸۷	۱,۵۲۱,۳۷۶	۹۹/۶۵	۱۹
استان سمنان	۹۳۰,۷۹۵	۹۳۹,۳۲۸	۹۹/۰۹	۲۰
جنوب استان کرمان	۱,۸۰۳,۶۸۴	۱,۸۲۶,۷۳۷	۹۸/۷۴	۲۱
استان اردبیل	۷۴۳,۴۰۰	۷۵۳,۳۷۹	۹۸/۶۸	۲۲
استان لرستان	۱,۱۱۲,۷۵۲	۱,۱۳۹,۱۷۹	۹۷/۶۸	۲۳
شهرستان شیراز	۲,۱۲۸,۶۴۸	۲,۱۸۰,۴۷۴	۹۷/۶۲	۲۴
استان آذربایجان غربی	۱,۸۵۴,۶۸۶	۱,۹۰۴,۵۱۶	۹۷/۳۸	۲۵
استان چهارمحال و بختیاری	۶۵۶,۱۶۹	۶۷۵,۳۱۶	۹۷/۱۶	۲۶
استان مازندران	۲,۱۵۵,۴۰۶	۲,۲۲۳,۱۶۱	۹۶/۹۵	۲۷
استان خراسان جنوبی	۵۶۱,۰۴۵	۵۸۰,۶۷۲	۹۶/۶۲	۲۸
استان سیستان و بلوچستان	۱,۶۶۳,۳۳۱	۱,۷۲۸,۹۴۷	۹۶/۲۰	۲۹
استان قم	۱,۰۱۶,۶۷۹	۱,۰۹۰,۱۶۱	۹۳/۲۶	۳۰
استان ایلام	۵۱۱,۷۸۰	۵۵۵,۲۵۷	۹۲/۱۷	۳۱
شهرستان اهواز	۲,۸۴۰,۶۲۳	۳,۰۸۶,۳۲۶	۹۲/۰۴	۳۲
استان خوزستان	۵,۰۳۴,۹۹۱	۵,۴۹۴,۰۳۹	۹۱/۶۴	۳۳
استان زنجان	۱,۰۳۱,۰۷۴	۱,۱۲۹,۳۲۹	۹۱/۳۰	۳۴
استان اصفهان	۲,۹۴۵,۴۸۶	۳,۲۵۳,۲۰۸	۹۰/۵۴	۳۵
استان قزوین	۱,۵۵۴,۷۳۱	۱,۷۲۳,۳۸۹	۹۰/۲۱	۳۶
استان آذربایجان شرقی	۱,۲۸۳,۷۳۶	۱,۴۷۳,۵۱۵	۸۷/۱۲	۳۷
استان کهکیلویه و بویراحمد	۶۴۰,۹۱۶	۷۷۰,۹۰۴	۸۳/۱۴	۳۸
استان هرمزگان	۲,۵۱۴,۹۰۵	۳,۰۳۴,۵۷۳	۸۲/۸۸	۳۹

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]



شکل (۱): مقایسه امتیاز کارایی شرکتهای توزیع برق کشور به دو روش DEA و StoNED

۴-۳- مقایسه با رتبه‌های DEA

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود، در حالت کلی کارایی همه شرکتها در روش StoNED نسبت به روش DEA بهبود یافته که این امر به علت محاسن و ویژگیهای روش StoNED نسبت به روش DEA شامل مدلسازی انحرافات تصادفی و در نظرگرفتن ناهمگونی شرکتها در ارزیابی کارایی هر شرکت می‌باشد. همانطور که در شکل ۱ نیز مشهود است کارایی تعدادی از شرکتها در روش DEA مقداری برابر ۱۰۰ دارد در حالی که اختلاف جزئی آنها در روش StoNED بهتر نشان داده شده است. یعنی قدرت تفکیک‌پذیری مدل پیشنهادی در شناسایی شرکتهای کارا بیشتر از روش DEA است.

در روش DEA تنها پنج DMU با کارایی۱۰۰ درصد شناسایی شده است ولی در روش StoNED، ۱۹ شرکت دارای کارایی ۱۰۰ درصد و بالاتر هستند. همچنین از مقایسه نتایج رتبه‌بندی شرکتهای توزیع برق به روشهای DEA و StoNED مشخص می‌شود که به طور کلی، واحدهای کارای DEA، بر اساس StoNED هم کارا هستند. در این مطالعه هم غیر از استان اردبیل، چهار شرکت دیگر با روش StoNED هم، دارای کارایی بالای ۱۰۰ درصد هستند. کارایی شرکت توزیع برق شهرستان اصفهان بیشترین مقدار کارایی را نسبت به سایر شرکتهای فعال در این حوزه در کشور دارد که می‌تواند الگوی سایر شرکتها برای بهبود باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

ارزیابی دقیق کارایی نسبی شرکتهای توزیع برق ایران به منظور شناسایی شرکتهای موفق و الگو، به هدایت برنامه‌های عملیاتی جهت بهبود عملکرد شرکتها و ارتقا کیفیت آنها کمک می‌نماید. ارزیابی عملکرد با روش ناپارامتری تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به دلیل عدم تفکیک واحدهای کارا، در نظر نگرفتن رفتار تصادفی درون داده‌های ورودی و خروجی و همچنین عدم لحاظ کردن تفاوت محیطهای عملیاتی شرکتها در ارزیابی کارایی دقت کافی را ندارد. برخی از این اشکالات در مدل تحلیل مرز تصادفی (SFA) مانند لحاظ کردن تغییرات تصادفی درون داده‌ها مرتفع شده است اما چون این روش از جمله روشهای پارامتری می‌باشد، نیازمند شکل تابع تولید می‌باشد که در اکثر مواقع نامشخص است. جهت رفع اشکالات دو روش و استفاده از مزایای هر دو، رویکرد تحلیل کارایی ناپارامتری پوششی تصادفی داده‌ها یا StoNED معرفی و جهت ارزیابی کارایی ۳۹ شرکت توزیع برق ایران استفاده شده است. روش پیشنهادی ترکیبی از دو روش DEA و SFA است و بدون نیاز به تابع تولید، تغییرات تصادفی درون داده‌های ورودی و خروجی را در ارزیابی کارایی درنظر می‌گیرد و متغیری به نام متغیر محتوایی در مدل ارزیابی کارایی لحاظ می‌کند تا تفاوت شرکتها از نظر محیط عملیاتی را در ارزیابی‌ها درنظر قرار دهد و نتایج به واقعیت نزدیک‌تر و دقیق‌تر شوند. متوسط هزینه کل پنج سال هر شرکت به عنوان متغیر ورودی و متوسط فروش برق سالیانه، متوسط طول شبکه، متوسط ظرفیت ترانسفورماتور و متوسط تعداد مشترکین در یک سال به عنوان متغیرهای خروجی در ارزیابی کارایی درنظر گرفته شده‌اند. جهت تمایز محیط عملیاتی شرکتها، سهم طول خطوط زمینی هر شرکت از کل شبکه به عنوان متغیر محتوایی در نظر گرفته شده است. کارایی نسبی شرکتهای توزیع برق ایران با استفاده از مدل DEA و StoNED اندازه‌گیری شده‌اند و نتایج بیانگر قدرت تفکیک‌پذیری بالاتر رویکرد پیشنهادی این تحقیق نسبت به DEA است. طبق نظر کارشناسان توانیر، شرکتها با رتبه‌های بالا (شرکتهای الگو) در روش StoNED به دلیل مدلسازی دقیق‌تر به واقعیت نیز

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

نزدیک‌ترند. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که متغیر ورودی و خروجی بیشتری جهت ارزیابی شرکتها توزیع برق استفاده شود و نتایج این رویکرد با سایر روشهای ارزیابی کارایی مقایسه شود.

سپاسگزاری

در پایان لازم است مراتب تشکر و سپاسگزاری خود را از معاونت هماهنگی توزیع شرکت توانیر بابت در اختیار گذاشتن داده‌های پنج ساله متغیرهای اختصاصی شرکتهای توزیع برق ایران و بررسی و تایید نتایج ابراز نماییم.

مراجع

[۱] **آمار تفصیلی صنعت برق ایران**، بخش توزیع نیروی برق، تهران: شرکت مادر تخصصی توانیر، ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱.

[۲] عمرانی، ه. **طراحی و تحلیل سیستم ارزیابی عملکرد واحدهای توزیع برق**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۸۵.

[۳] احمدی، و. و فلاحی، م. ع.، **"ارزیابی کارایی شرکتهای توزیع برق در ایران"**، تحقیقات اقتصادی، جلد ۷۱، ۲۹۷-۳۲۰، ۱۳۸۴.

[۴] خدابخشی، م. و نوروززاده، ر.، **"لزوم توجه به اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری بخشهای عمومی کشور در برنامه پنجم توسعه بر اساس ارزیابی کارایی فنی صنعت توزیع برق ایران با تکنیک DEA"**، فرایند مدیریت و توسعه، جلد ۷۴، ۳-۲۸، ۱۳۸۹.

[۵] سخنور، م.، صادقی، ح. و عصاری، ع.، **"استفاده از تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای برای تحلیل ساختار و روند کارایی شرکتهای توزیع برق ایران"**، فصلنامه علمی پژوهشی پژوهشهای رشد و توسعه اقتصادی، جلد ۴، ۱۴۵-۱۸۲، ۱۳۹۰.

[۶] زرانژاد، م. و یوسفی حاجی‌آباد، ر.، **"ارزیابی کارایی اقتصادی شرکتهای توزیع برق ایران"**، پژوهشنامه علوم اقتصادی، جلد ۱۱، شماره ۶، ۸۱-۱۰۶، ۱۳۹۰.

[۷] مهرگان، م.، **تحلیل پوششی داده‌ها، مدلهای کمی در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها**، تهران، نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۹۱.

[8] Jamasb, T., Pollitt M. "I*nternational Benchmarking and Regulation: an Application to European Electricity Distribution Utilities"*, Energy Policy, Vol. 31; pp. 121-130, 2003.

[9] Cherchye, L. T. P., "*Methodological Advances in DEA: A Survey and an Application for the Dutch Electricity Sector*," Statistica Neerlandica, Vol. 57 (4); pp. 410-438, 2003.

[10] Edvardsen, D. F., Førsund, F. R., *"International benchmarking of electricity distribution utilities"* Resource and Energy Economics, Vol. 25; pp. 353-371, 2003.

[11] Kuosmanen, T., Kortelainen, M. "*Stochastic non-smooth envelopment of data: semi-parametric frontier estimation subject to shape constraints*", Journal of Productivity Analysis, Vol. 38; pp. 11-28, 2012.

[12] Aigner, D., Lovell, C. K., Schmidt, P., "*Formulation and estimation of stochastic frontier models",* Econometrics, Vol. 6; pp. 21-37, 1977.

[13] Meeusen, W., Vanden, B., "*Efficiency estimation from Cobb–Douglas production function with composed error",* International Economic Review Vol. 8; pp. 435-444, 1977.

[14] Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, k., *"Data Envelopment Analysis - A Comprehensive Text with Models, Applications References and DEA-Solver Software"*, 2ed Edition, Springer, 2007.

[15] Hildreth C. *"Point Estimates of Ordinates of Concave Functions",* Journal of the American Statistical Association Vol. 49(267); pp. 598-619, 1954.

[16] Hanson, D., Pledger, G., "*Consistency in Concave Regression",* Annals of Statistics, Vol. 4(6); pp. 1038-1050, 1976.

[17] Groeneboom, P., Jongbloed, G., Wellner, J., "*Estimation of a Convex Function: Characterizations and Asymptotic Theory*", Annals of Statistics, Vol. 29; pp. 1653-1698, 2001.

[18] Park, B., Simar, L., "*Efficient Semiparametric Estimation in a Stochastic Frontier Model*", Journal of the American Statistical Association, Vol. 89 (427); pp. 929-936, 1994.

[19] Park, B., Sickle, R., Simar, L., "*Stochastic Panel Frontiers: A Semiparametric Approach*", Journal of Econometrics, Vol. 84(2); pp. 273-301, 1998.

[20] Tsionas, M., "*Stochastic frontier models with random coefficients*", Journal of Applied Econometrics, Vol. 17; pp. 127-147, 2002.

[21] Greene, W., "*Reconsidering Heterogeneity in Panel Data Estimators of the Stochastic Frontier Model*", Journal of Econometrics, Vol. 126; pp. 269-303, 2005.

[22] Banker, R., *Maindiratta*, A., "*Maximum likelihood estimation of monotone and concave production frontiers",* Journal of Productivity Analysis, Vol.3(4); pp. 401-415, 1992.

[23] Filippini, M., Hrovatin, N., Zoric, J., "*Efficiency and regulation of the Slovenian electricity distribution companies*", Energy Policy, Vol. 32(3), pp. 335-344, 2004.

[24] Kopsakangas-Savolainen, M., Sevento, R., *"Estimation of cost-effectiveness of the Finnish electricity distribution utilities*", Energy Economics, Vol 30(2); pp. 212-229, 2008.

[25] Çelen, A, Yalçın, N., *"Performance assessment of Turkish electricity distribution utilities: An application of combined FAHP/TOPSIS/DEA methodology to incorporate quality of service*", Utilities Policy, Vol 23; pp. 59-71, 2012.

[26] Kuosmanen, T., Johnson, A. L., "*One-stage and two-stage DEA estimation of the effects of contextual variables*", European Journal of Operational Research, Vol 220; pp. 559-570, 2012.

[27] Simar, L., Wilson, P., "*Two-stage DEA: caveat emptor*", Journal of Productivity Analysis, Vol. 36(2); pp. 205-218, 2011.

[28] Farrell. MJ., "*The measurement of productive efficiency*", The measurement of productive efficiency, Vol. 120(3); pp.253–282, 1957.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]

[29] Charnes, A., Cooper, WW., Rhodes, E., "*Measuring the inefficiency of decision making units*". European Journal of Operational Research, Vol 2(6); pp. 429–444. 1978.

[30] Kuosmanen, T., "*Stochastic nonparametric envelopment of data: combining virtues of SFA and DEA in a unified framework*", Aalto University School of Business, MTT Discussion Paper, No.3, http://purl.umn.edu/11864, 2006.

[31] Kuosmanen, T., Kortelainen, M., "*Stochastic nonparametric envelopment of data: cross-sectional frontier estimation subject*", http://papers.ssrn.com /sol3/papers.cfm?abstract_id =983882, 2007.

[32] Kuosmanen, T., Johnson, A.L., "*Data envelopment analysis as nonparametric least squares regression*". Operation Research, Vol. 58 (1); pp. 149–160, 2010.

زیرنویس‌ها

[1] Benchmark
[2] Decision Making Units
[3] Stochastic Frontier Analysis
[4] Data Envelopment Analysis
[5] Corrected Ordinary Least Squares
[6] Principal Component Analysis
[7] Malmquist
[8] Stochastic Nonparametric Envelopment of Data
[9] Convex Nonparametric Least Square
[10] Pseudo likelihood
[11] Contextual
[12] Heterogeneity
[13] Truncated Normal
[14] Supper efficiency

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.2.7]