مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال چهاردهم، شماره اول (پیاپی ۵۲)، بهار ۹۶، ص ص ۱۱۶-۹۵
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

ارایه مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با تلفیقی از خروجی‌های مطلوب و نامطلوب میانی و نهایی

محسن شفیعی نیک‌آبادی*، کیخسرو یاکیده[۲]، اکرم اویسی عمران[۳]

۱- استادیار، دانشگاه سمنان، گروه مدیریت صنعتی، سمنان، ایران

۲- استادیار، دانشگاه گیلان، گروه مدیریت، سمنان، ایران

۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه سمنان، گروه مدیریت صنعتی، گرایش تحقیق در عملیات، سمنان، ایران

رسید مقاله: ۲۵ مرداد ۱۳۹۵

پذیرش مقاله: ۲۱ دی ۱۳۹۵

چکیده

در این پژوهش با هدف بررسی کارایی کلی فرایند تولید و انتقال برق، نواحی شانزده‌گانه تولید و انتقال صنعت برق کشور به‌عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده انتخاب شدند. بر پایه مدل خلیلی و شهمیر مدل ریاضی پیشنهاد گردیده است که شامل دو مرحله تولید و انتقال برق است. در مدل پیشنهادی در پایان مرحله تولید متغیرهای خروجی در نظر گرفته شدند که دیگر وارد مرحله بعدی تولید نمی‌شوند. در مرحله دوم نیز علاوه بر ورودی‌های دریافتی از مرحله تولید، متغیرهای ورودی دیگری در نظر گرفته شدند که از مرحله قبل وارد مدل نمی‌شوند. در مرحله اول متغیرهای مصرف داخلی نیروگاه‌ها و سوخت مصرفی به‌عنوان متغیرهای ورودی و متغیرهای حداکثر بار تولیدی، تولید ویژه، تولید ناویژه، راندمان، قدرت نامی نیروگاه، قدرت عملی نیروگاه به‌عنوان متغیرهای خروجی در نظر گرفته شدند. در مرحله دوم نیز متغیرهای حداکثر بار تولیدی، تولید ویژه، تولید ناویژه، ظرفیت پست‌های انتقال نیرو و طول خطوط انتقال نیرو به‌عنوان متغیرهای ورودی و متغیر انرژی تحویلی به‌عنوان خروجی مطلوب و تلفات انرژی به‌عنوان متغیر خروجی نامطلوب در نظر گرفته‌شده است. در مجموع دو مرحله، نواحی آذربایجان، اصفهان، تهران، خراسان، خوزستان، سمنان، فارس و کرمان کارا شناخته شدند.

کلمات کلیدی: تولید برق، انتقال برق، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، خروجی‌های نامطلوب نهایی، خروجی مطلوب میانی.

۱ مقدمه

از میان صنایع راهبردی موجود در هر کشور، صنعت برق به دلیل نقش زیربنایی و ارتباط بسیار زیاد آن با عوامل موثر بر رشد اقتصادی، صنعتی پویا و تأثیرگذار است. صنعت برق به‌عنوان مهم‌ترین و پرکاربردترین نوع انرژی

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: shafiei@semnan.ac.ir

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

در جوامع مدرن محسوب می‌شود که به‌موازات توسعه اقتصادی و افزایش سطح زندگی، تقاضا برای آن افزایش می‌یابد [۱].

بر اساس مطالعات مؤسسه تحقیقات برق آمریکا (EPRI)[1] در سال ۲۰۰۰ که مبانی آن بعدها در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار گرفت، مقصد سوم از مقاصد مسیر آینده صنعت برق که مرحله نهایی آن در سال ۲۰۲۵ (۲۵ ساله) در نظر گرفته شده [۲]، عبارت است از: افزایش کارایی، بهره‌وری و توانمندی اقتصادی؛ بنابراین مطالعه کارایی و تلاش در راستای افزایش آن در دستیابی به چشم‌انداز صنعت برق و رفع چالش‌های پیش روی آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

به دلایل گوناگون که مهم‌ترین آن به دولتی بودن صنعت برق ایران مربوط می‌شود، متأسفانه این صنعت در مسیر بحران قرارگرفته و علاوه بر حذف نشاط و کسب‌وکار بنگاهی از آن، زمینه عدم کارایی و بهره‌وری و اتلاف منابع را فراهم ساخته است؛ به‌نحوی‌که در بعضی از شاخص‌ها، وضعیت جهانی صنعت برق کشور شرایط نامطلوبی دارد [۲]. در یک نگاه کلی صنعت برق به سه بخش تولید، انتقال و توزیع تقسیم می‌شود [۳]. از میان این سه بخش، بخش‌های تولید (نیروگاه‌ها و شرکت‌های مدیریت تولید برق) و توزیع به‌صورت رقابتی و بخش انتقال نیرو (که مشتمل بر مأموریت اصلی شرکت‌های برق منطقه‌ای است) به‌صورت انحصار طبیعی فعالیت می‌کنند [۴]. به دلیل این‌که از دیدگاه اقتصادی، پدیده انحصار ممکن است دارای آثار ناکارایی باشد؛ لذا تلاش برای حرکت به سمت بازار رقابتی و افزایش کارایی اقتصادی، نقش حائز اهمیتی در موفقیت شرکت‌های برق منطقه‌ای خواهد داشت.

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[2] یکی از روش‌های ناپارامتریک ارزیابی کارایی است و ازجمله پرکاربردترین این روش‌ها محسوب می‌شود. DEA روشی مبتنی بر رویکرد بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی است و برای ارزیابی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU)[3] که وظایف یکسانی را انجام می‌دهند، به کار می‌رود. مدل‌های شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها این امکان را برای محققان فراهم می‌کنند تا علاوه بر کارایی کلی هر واحد تصمیم‌گیرنده به بررسی فرایندهای داخلی و مراحل کاری واحدهای تصمیم‌گیرنده نیز بپردازند؛ بنابراین نتایج اندازه‌گیری کارایی با روش‌های مرسوم DEA ممکن است مانع دستیابی به اطلاعات مدیریتی باارزش شود [۵]. ازآنجاکه صنعت برق دربردارنده سه مرحله تولید، انتقال و توزیع نیروی برق است و ماهیتی چندمرحله‌ای دارد، در این تحقیق از مدل‌های شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها برای سنجش کارایی کلی و کارایی فرایندهای داخلی نواحی تولید و انتقال نیرو در صنعت برق کشور استفاده شده است.

لذا مساله اصلی تحقیق حاضر این است که چگونه می‌توان فرایندی را جهت سنجش کارایی مراحل تولید و توزیع برق طراحی کنند که از درجه اعتبار بالایی برخوردار بوده و قابلیت تعمیم داشته باشد؛ بنابراین، سوال اصلی

[1] Electric Power Research Institute
[2] Data Envelopment Analysis
[3] Decision Making Unit

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

این تحقیق این است که چگونه می‌توان مدل تصمیم‌گیری ریاضی بر مبنای روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای جهت سنجش کارایی نواحی تولید و انتقال صنعت برق ایران طراحی نمود؟

بعد از مقدمه، در بخش‌های بعدی به ترتیب به‌مرور مبانی نظری تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، پیشینه پژوهش و مطالعات انجام‌شده در حوزه صنعت برق در داخل و خارج از کشور، روش‌شناسی پژوهش، یافته‌های پژوهش و نتایج خواهد بود.

۲ مبانی نظری تحقیق

ایراد اساسی که از سوی محققان به مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها وارد می‌شود، این است که مدل‌های مستقل، نظام‌ها را به‌عنوان یک مجموعه بسته در نظر می‌گیرند و فرایندهای داخل سیستم، عملکرد و روابط مابین آن‌ها را نادیده می‌گیرند [۶، ۷]. این دیدگاه به دیدگاه «جعبه سیاه» مرسوم است. در مدل‌های سنتی بسیاری از اطلاعات ارزشمند در مورد واحدهای تصمیم‌گیرنده از دست رفته و تحلیل کارایی واحدها به ورودی‌های اولیه و خروجی‌های نهایی محدود می‌شود [۸، ۹، ۱۰]. درواقع مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها در محاسبه کارایی نظام‌های پیچیده و فرایندهایی که متشکل از چند مرحله می‌باشند و دارای اندازه‌های میانی هستند، مشکل دارند و نمی‌توانند کارایی کل سیستم و کارایی هر یک از فرایندهای داخلی را به‌درستی محاسبه کنند [۵].

فار و همکاران [۱۱، ۱۲، ۱۳] کارایی ۱۳۷ مزرعه در ایالت متحده را با استفاده از یک مدل با محصول میانی و بر اساس کارایی فارل بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که قدرت حل این مدل در مقایسه با مدل‌های سنتی DEA بیش‌تر است. کائو و هوانگ [۱۴] از طریق تعیین کارایی زیرسیستم‌ها با اندازه‌های میانی دقیق و با استفاده از مدل رابطه‌ای کارایی کل سیستم را محاسبه نمودند. تفاوت عمده بین مدل‌های مستقل و مدل‌های رابطه‌ای در اختصاص دادن ضرایب وزنی به داده‌های یکسان است؛ زیرا اهمیت به‌کارگیری داده‌ها در مکان‌های مختلف متفاوت است. تفاوت در مدل رابطه‌ای در این است که کارایی کل سیستم توسط اندازه کارایی بخش‌های آن به دست می‌آید. در ساختار سنتی تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای، هر واحد تصمیم‌گیرنده دارای دو مرحله متوالی تولید است. خروجی‌های مرحله اول به‌عنوان ورودی‌های مرحله دوم در نظر گرفته می‌شود و هیچ ورودی دیگری به مرحله دوم افزوده نمی‌گردد. در مرحله اول هر واحد تصمیم‌گیرنده jام $(j = ۱,۲,...,n) : j$ دارای m ورودی $(i = ۱,۲,...,m) : x_{ij}$ و D خروجی $(d = ۱,۲,...,D) : Z_{dj}$ در مرحله اول است. خروجی مرحله اول به‌عنوان ورودی مرحله دوم در نظر گرفته می‌شود که به آن اندازه‌های میانی گویند و خروجی نهایی مدل $(r = ۱,۲,...,s) : Y_{rj}$ نام دارد. کارایی کل مدل از کارایی‌های دو مرحله حاصل می‌شود. لیانگ و همکاران [۱۵]، مدلی با رویکرد تئوری بازی‌ها را به کار گرفتند که در آن کارایی کل با استفاده از یک طرح نسبتاً منصفانه به کارایی زیرسیستم‌ها تفکیک می‌شود. ساختار ارایه‌شده در مرحله دوم علاوه بر خروجی مرحله اول که همان ورودی مرحله دوم است، ورودی دیگری نیز دیده می‌شود. کائو [۱۶] با ارایه مقاله‌ای دیگر با استفاده از دو ساختار سری و موازی مدل‌هایی را برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیری شبکه‌ای ارایه کرده است که بر مبنای حاصل‌ضرب کارایی بخش‌ها تعریف شده‌اند. کوک [۶] برای نخستین بار در سال ۲۰۱۰ با توسعه مدل‌های DEA

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

شبکه‌ای، مدلی چندمرحله‌ای را معرفی کرد که خروجی‌های هر مرحله می‌تواند به‌عنوان محصول نهایی تلقی شده و از سیستم خارج شود. این مدل بیانگر یک «فرایند چندمرحله‌ای باز»[1] است. بدین معنی که خروجی‌های هر مرحله می‌توانند سیستم را ترک کنند و یا به‌عنوان ورودی وارد مرحله بعد شوند، ضمن اینکه ورودی‌های جدیدی نیز در هر مرحله می‌توانند وارد سیستم شوند. تفاوت این مدل با مدل‌های بسته در این است که در نظام‌های بسته، امکان ورود ورودی‌های جدید در هر مرحله به سیستم وجود ندارد و صرفاً خروجی‌های مرحله آخر، خروجی‌های نهایی محسوب می‌شوند. در این مدل غیر از کارایی کلی، کارایی هر مرحله نیز محاسبه شده و عوامل ناکارایی نیز شناسایی می‌شوند. دیو و همکاران [۸] و ژائو و همکاران [۱۷] نیز مطابق با تئوری چانه‌زنی نش، مدل دومرحله‌ای را مبتنی با تئوری بازی‌ها ارایه نمودند که کارایی زیرسیستم‌ها را به‌گونه‌ای ارزیابی می‌کند که کارایی کل سیستم تغییر نکند. دو مدل فوق بر فرض بازده به مقیاس ثابت استوار بودند. چن و همکاران [۹]، مدلی را تحت دو فرض بازده به مقیاس ثابت و متغیر ارایه نمودند که کارایی کلی سیستم به‌عنوان مجموع وزنی کارایی دو مرحله بود. چن و یان [۵] به‌منظور سنجش کارایی فرایندهای داخلی یک زنجیره تأمین ارایه گردید. آن‌ها با این ادعا که مدل‌های CCR در تحلیل پوششی داده‌ها جهت سنجش کارایی زنجیره تأمین شکست خورده‌اند و صرفاً قادر به سنجش کارایی از طریق ورودی‌های اولیه و خروجی‌های نهایی می‌باشند، مدلی را برای رفع این مشکل توسعه دادند. در این مدل برای سادگی کار، دو مرحله تأمین‌کننده و تولیدکننده در زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است. چن و یان مدل خود را در سه قسمت به شرح ذیل ارایه نمودند: مدل کنترل متمرکز[2]، ۲. مدل کنترل غیرمتمرکز[3]، مدل کنترل ترکیبی[4].

رویکرد مضربی در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در مواردی که سیستم دارای متغیرهای نامطلوب (ازجمله متغیر خروجی نامطلوب در مرحله آخر) هستند، نیز مورد استفاده قرار گرفته است. سیفورد و ژو [۱۸]، مدلی با متغیرهای مطلوب و نامطلوب بر پایه مدل BCC بنکر [۱۰] ارایه نمودند. جهانشاهلو و همکاران [۷] برنامه خطی چند هدفه‌ای را برای حل مسائل با عوامل نامطلوب ارایه و حل نمودند. امیرتیموری و همکاران [۱۹] مدلی را با هدف بهبود عملکرد از طریق افزایش ورودی‌های نامطلوب و کاهش خروجی‌های نامطلوب در ارزیابی عملکرد ۱۴ بانک تجاری ایران به کار بردند. امیر تیموری و همکاران مدل دومرحله‌ای را در دو حالت با خروجی نامطلوب میانی و نهایی بررسی کردند. در این مطالعه داده‌های فرودگاه‌های اسپانیا به‌عنوان مورد بررسی قرار گرفته و تئوری بازهای مشارکتی و غیر مشارکتی برای ارزیابی عملکرد واحدهای عملیاتی پیشنهاد شده است. کردرستمی و امیرتیموری [۲۰] نیز مدل چندمرحله‌ای که در آن متغیر نهایی نامطلوب با یک علامت منفی در محاسبه وزن‌های مجازی به کار رفته بود، ارایه کردند. لوزانو و همکاران [۲۱] مدل دومرحله‌ای را برای ارزیابی عملکرد فرودگاه‌های اسپانیا به‌کار بردند. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای قدرت تحلیل بیش‌تری نسبت به مدل‌های تک فرایندی داشته و نتایج معتبرتری را ارایه می‌کند. لیو و

[1] Multistage Process Open
[2] Centralized Control Model
[3] Decentralized Control Model
[4] Mixed Control Model

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

همکاران [۲۲] مدل دومرحله‌ای را با ورودی و خروجی نامطلوب میانی با هدف ارزیابی عملکرد بانک‌های چینی به کار بردند.

۳ پیشینه تحقیق

پژوهش‌های بسیار و متعددی در رابطه با ارزیابی عملکرد مراحل مختلف فرایند تولید برق صورت گرفته است. به‌طور خلاصه برخی از جدیدترین مطالعات صورت گرفته در حوزه ارزیابی شرکت‌های فعال در صنعت برق را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

روماس [۲۳] برای به دست آوردن معیاری برای تعیین قیمت رقابتی شرکت‌های توزیع برق کشور برزیل، به بررسی کارایی نسبی ۲۴ شرکت توزیع برق این کشور را در سال‌های ۱۹۹۸- ۱۹۹۷ با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته است. متغیرهای تعداد کارکنان، ظرفیت ترانسفورماتورها و اندازه شبکه به‌عنوان متغیرهای ورودی و متغیرهای حجم الکتریسیته تحویلی به مشترکین صنعتی، حجم الکتریسیته تحویلی به مشترکین غیر صنعتی و تعداد مشترکین به‌عنوان متغیرهای خروجی انتخاب گردید. نتایج تحلیل کارایی شرکت‌های توزیع برق برزیل نشان داده است که اکثر شرکت‌ها غیرکارا هستند. در انتها نیز خاطرنشان شده است، به‌منظور افزایش انگیزه شرکت‌ها برای بهبود کارایی و تعدیل هزینه‌ها، باید قیمت رقابتی بر اساس هزینه کاراترین شرکت‌ها مشخص شود. هاتوری و همکاران [۲۴] به‌منظور مقایسه عملکرد شرکت‌های توزیع برق انگلستان و ژاپن، عملکرد نسبی این شرکت‌ها را در دوره زمانی ۱۹۹۸- ۱۹۸۵ با استفاده از سه روش تحلیل پوششی داده‌ها، حداقل مربعات تصحیح شده و تحلیل مرزی تصادفی بررسی کرده‌اند. به‌منظور بررسی کارایی شرکت‌ها با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، پنج الگو برآورد شده است. در الگوهای اول، دوم و سوم مخارج عملیاتی و در الگوهای چهارم و پنجم مخارج کل که مجموع مخارج عملیاتی و سرمایه‌ای هستند، به‌عنوان متغیرهای ورودی استفاده شده است. برای الگوهای اول و چهارم حجم الکتریسیته تحویلی به مشترکان و تعداد مشترکان، برای الگوی دوم و پنجم حجم الکتریسیته تحویلی به مشترکان خانگی و غیر خانگی و برای الگوی سوم حجم الکتریسیته تحویلی به مشترکان، تعداد مشترکان و اندازه شبکه به‌عنوان متغیرهای خروجی استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد عملکرد نسبی صنایع توزیع برق انگلستان و ژاپن، تا حد زیادی به الگوی انتخابی بستگی دارد. در الگوهای اول و چهارم صنایع توزیع برق ژاپن کارایی بالاتری نسبت به انگلستان نشان داده‌اند. صنایع انگلستان در الگوی سوم (با فرض بازدهی نسبت به مقیاس ثابت)، الگوی چهارم (با فرض بازدهی نسبت به مقیاس متغیر) و الگوی پنجم، به‌طور متوسط کارایی بالاتری نشان داده‌اند. همچنین برای بررسی روند رشد بهره‌وری شرکت‌های مزبور، مقادیر بهره‌وری این شرکت‌ها با استفاده از شاخص بهره‌وری مالم‌کوییست و با فرض بازدهی نسبت به مقیاس ثابت برآورد شده است. نتایج به دست آمده رشد بهره‌وری بالاتری را در صنایع توزیع برق انگلستان نسبت به ژاپن نشان می‌دهد.

فیلیپینی و همکاران [۲۵] به‌منظور تنظیم و تعیین قیمت‌های رقابتی در صنایع برق کشور اسلوونی، به بررسی کارایی شرکت‌های توزیع نیروی برق این کشور در دوره زمانی ۱۹۹۱-۲۰۰۰ پرداختند. متغیرهای ورودی هزینه

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

نیروی کار و هزینه سرمایه و متغیر خروجی مجموع انرژی تحویلی در این بررسی به کار گرفته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد شرکت‌های برق اسلوونی دارای ناکارایی در هزینه‌ها می‌باشند. این مطالعه همچنین به شرکت‌های کوچک برق به‌منظور افزایش رقابت و تبدیل شدن به واحدهای رقابتی بزرگ‌تر کمک می‌کند. هس و کالمن [۲۶] در مطالعه‌ای به بررسی کارایی فنی شرکت‌های توزیع نیروی برق شرق و غرب آلمان پرداختند. متغیرهای مجموع اندازه شبکه و تعداد کارکنان متغیرهای ورودی و متغیرهای مجموع انرژی فروخته‌شده و تعداد مشترکین به‌عنوان متغیرهای خروجی در نظر گرفته شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که میان دو گروه شرکت‌های توزیع نیروی برق شرق و غرب آلمان تفاوت ساختار کارایی فنی فراوان است. بدین معنا که به‌طور متوسط، شرکت‌های توزیع برق آلمان شرقی دارای کارایی فنی بالاتری نسبت به شرکت‌های توزیع برق آلمان غربی هستند. پرز و توار [۲۷] طی مطالعه‌ای کارایی ۱۴ شرکت توزیع نیروی برق را در کشور پرو در دوره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۶ مورد ارزیابی قرار دادند. متغیرهای تلفات شبکه توزیع، تعداد پست‌های برق، طول خطوط شبکه و تعداد کارکنان متغیرهای ورودی و متغیرهای مقدار انرژی تحویلی و تعداد مشترکین به‌عنوان متغیرهای خروجی در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که تجدید ساختار منجر به افزایش کارایی و بهره‌وری شرکت‌های توزیع برق در پرو گردیده است و وجود رابطه معنی‌دار میان تجدید ساختار صنعت برق و افزایش کارایی در این مطالعه به اثبات رسیده است. سیوشی و گوتو [۳] به‌منظور سنجش کارایی و بهره‌وری جامع صنعت برق ژاپن، عملکرد سه بخش تولید، انتقال و توزیع نیروی برق این کشور را در دوره زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۹ با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد بررسی قرار دادند. متغیرهای مجموع سرمایه تولید نیرو، مجموع سرمایه انتقال نیرو، مجموع سرمایه توزیع نیرو، هزینه‌های عملیاتی و تعداد کارکنان متغیرهای ورودی و متغیرهای مجموع برق فروخته‌شده و تعداد مشترکین به‌عنوان متغیرهای خروجی در نظر گرفته شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شرکت‌های برق ژاپن پس از دو دوره زمانی قبل و بعد از خصوصی‌سازی، عملکرد متفاوتی را نشان داده‌اند و بررسی‌ها نشان‌دهنده این است که کارایی شرکت‌های برق ژاپن افزایش یافته است. سخنور و همکاران [۲۸] در پژوهشی به‌منظور تعیین عوامل موثر بر کارایی شرکت‌های توزیع نیروی برق ایران، با استفاده از داده‌های ۳۶ شرکت و با استفاده از رویکرد DEA نهاده محور، به تحلیل کارایی فنی شرکت‌های مزبور در طی دوره زمانی ۱۳۸۱- ۱۳۸۸پرداختند و طی این مطالعه شرکت‌ها برحسب چگالی مدار بالا و پایین تقسیم شدند. متغیرهای طول خطوط، ظرفیت ترانسفورماتورها و تعداد کارکنان متغیرهای ورودی و متغیرهای مقدار انرژی تحویلی و تعداد مشترکین به‌عنوان متغیرهای خروجی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان می‌دهد در بین شرکت‌های گروه اول، شرکت توزیع نیروی برق خراسان و در بین شرکت‌های گروه دوم، شرکت توزیع نیروی غرب استان تهران و شهرستان اصفهان بیشترین کارایی را دارند. درحالی‌که شرکت توزیع کهکیلویه و بویراحمد در گروه اول و شرکت توزیع نیروی برق شهرستان شیراز در گروه دوم کم‌ترین کارایی را دارند. به‌طور متوسط شرکت‌های دارای چگالی مدار بالاتر دارای کارایی فنی و مقیاس بالاتری هستند. آزاده و همکاران [۲۹] بر پایه تحلیل پوششی داده‌های تصادفی کارایی واحدهای توزیع برق ایران را در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۱ ارزیابی نمودند. ازآنجایی‌که اکثر شرکت‌های توزیع برق دارای داده‌های ناکامل، احتمالی و در برخی موارد فاقد داده‌های موردنظر هستند.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

درواقع به دلیل فقدان داده برای برخی از متغیرها تئوری احتمال پذیری به مدل وارد شده است. طول شبکه، ظرفیت انتقال و تعداد کارکنان به‌عنوان متغیرهای ورودی و تعداد مشتریان، فروش نهایی برق به‌عنوان متغیرهای خروجی انتخاب شدند. نتایج حاکی از آن است که طول شبکه مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار در این مطالعه بودند. عمرانی و همکاران [۳۰] رویکرد یکپارچه‌ای را برای ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع برق معرفی نمودند. آن‌ها در مطالعه خود رویکردهای تحلیل مؤلفه اصلی، تئوری چانه‌زنی و تحلیل پوششی داده‌ها را با هدف افزایش قدرت حل مساله و دستیابی به نتایج واقعی‌تر با هم ترکیب نمودند. در مدل‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها به‌طور معمول تعداد زیادی از واحدها کارا خواهند شد. این وضعیت به‌خصوص هنگامی‌که تعداد واحدهای تحت ارزیابی در مقایسه با ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌اندازه کافی نباشد. با هدف غلبه بر این مشکل تحلیل مؤلفه اصلی با تحلیل پوششی داده‌های مستقل و مرسوم برای کاهش تعداد متغیرها به کار گرفته شد. سپس تئوری چانه‌زنی برای ایجاد تمیز در بین واحدهای تصمیم‌گیرنده به دو تکنیک قبلی افزوده شد. رویکرد ارایه‌شده در ارزیابی ۳۷ واحد توزیع برق ایران مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که توانایی رویکرد ارایه شده در یک محیط رقابتی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

خلیلی دامغانی و شهمیر [۳۱] مدلی با خروجی نامطلوب میانی ارایه نمودند. این مدل در مرحله دوم علاوه بر خروجی‌های مرحله اول دارای یک ورودی دیگر نیز است. مرحله اول فرایند تولید برق و مرحله دوم فرایند توزیع برق را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. خروجی نامطلوب حاصل از فرایند تولید برق است که از سیستم خارج شده و به مرحله دوم وارد نمی‌شود. با توجه به مدل دامغانی و شهمیر، در این پژوهش مدلی دومرحله‌ای بر اساس مدل فوق ارایه می‌گردد که کارایی مراحل تولید و انتقال برق ایران را بررسی می‌کند.

هرچند مطالعات زیادی به بررسی و سنجش کارایی صنعت برق در ایران و سایر کشورها با استفاده از مدل DEA پرداخته‌اند، اما بررسی جدیدترین منابع اطلاعات علمی و مطالعات محققان نشان می‌دهد که هیچ‌یک از مطالعات پیشین، از مدل‌های شبکه‌ای در سنجش کارایی صنعت برق و به‌ویژه در نیروگاه‌ها و شرکت‌های برق منطقه‌ای استفاده نکرده‌اند [۳۲-۳۶].

بر اساس مرور پیشینه، پژوهش خاصی که به بررسی عملکرد مراحل تولید (نیروگاه‌ها) و انتقال برق (شرکت‌های برق منطقه‌ای) بپردازد، مشاهده نشده است؛ بنابراین مدل ساختاری ارایه‌شده با مجموعه کاملی از متغیرهای ورودی و خروجی در هر یک از مراحل تولید و انتقال برق با استفاده از روش پیشنهادی را می‌توان جنبه نوآوری کار دانست. ازجمله نوآوری‌ها و ویژگی‌های این مدل پیشنهادی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ مدل پیشنهادی دو مرحله متوالی تولید و انتقال برق را به‌طور هم‌زمان مورد ارزیابی قرار داده است.
- ✓ انواع خروجی‌های مطلوب و نامطلوب میانی و نهایی را در بردارد.
- ✓ وجود متغیرهای خروجی مطلوب در پایان مرحله تولید برق که به‌عنوان ورودی وارد مرحله انتقال برق نمی‌شوند.
- ✓ وجود متغیرهای ورودی که حاصل فرایند تولید مرحله اول نبوده ولی برای انتقال برق ضروری هستند.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

- ✓ در پایان مرحله دوم علاوه بر خروجی‌های مطلوب نهایی، یک متغیر نامطلوب که نتیجه فعالیت مرحله انتقال برق است، نیز وجود دارد. وجود خروجی مطلوب و نامطلوب در پایان مرحله اول یکی از ویژگی‌های دیگر مدل پیشنهادی است.
- ✓ مطالعه موردی منطبق با شرایط طبیعی که از داده‌های واقعی دو بخش فوق در صنعت برق استفاده نموده است.

٤ روش‌شناسی تحقیق

٤-١ مدل پیشنهادی پژوهش

در این پژوهش براساس مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای خلیلی و شهمیر [۳۱] مدلی ارایه می‌گردد که در آن متغیرهای مطلوب و نامطلوب در نظر گرفته خواهد شد. تفاوت‌ها و مزیت‌های مدل پیشنهادی در مقایسه با مطالعه خلیلی و شهمیر را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- ✓ در مدل پیشنهادی دو مرحله متوالی تولید و انتقال مورد بررسی قرار خواهد گرفت که با ماهیت فعالیت واحدهای فعال در صنعت برق تطابق بیش‌تری دارد.
- ✓ برخی خروجی‌های مطلوب در پایان مرحله اول در مدل وارد شده است که نقش قابل ملاحظه‌ای در بررسی عملکرد واحدهای نیروگاهی دارند. این خروجی‌ها از سیستم خارج شده و وارد مرحله انتقال نمی‌شوند.
- ✓ خروجی نامطلوب تلفات انرژی در مرحله انتقال برق در نظر گرفته شده است که نقش مهمی در بررسی عملکرد شرکت‌های برق منطقه‌ای دارا است.

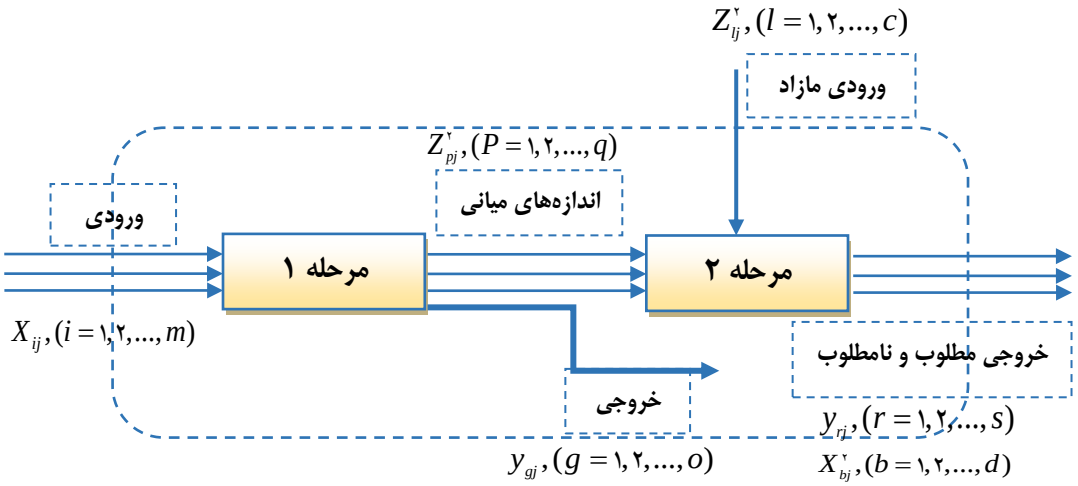
هر واحد تصمیم‌گیرنده $DMU_j, (j = ۱,۲,...,n)$ دارای m متغیر ورودی $X_{ij}, (i = ۱,۲,...,m)$ در مرحله ۱ هستند که q خروجی را تولید می‌کنند. بخشی از این خروجی‌ها به عنوان ورودی مرحله دوم $Z_{pj}, (p = ۱,۲,...,q)$ و برخی وارد مرحله دوم فرایند واحدها نمی‌شوند که با نماد $y_{gj}, (g = ۱,۲,...,o)$ نشان داده می‌شود. مرحله دوم علاوه بر متغیرهای دریافتی از مرحله اول دارای متغیرهای ورودی دیگری نیز هستند که از مرحله قبل تولید نمی‌شوند و به صورت $Z^{'}_{lj}, (l = ۱,۲,...,c)$ نمایش داده می‌شود. خروجی نهایی سیستم شامل دو نوع متغیر خروجی مطلوب $y_{rj}, (r = ۱,۲,...,s)$ و نامطلوب $X^{'}_{bj}, (b = ۱,۲,...,d)$ است.

در تحلیل پوششی داده‌ها تولید بیش‌تر خروجی نسبت به ورودی کم‌تر ملاک کارا بودن واحد است. این در حالی است که در صورت وجود خروجی نامطلوب، تولید بیش‌تر خروجی مطلوب و تولید کم‌تر خروجی نامطلوب نسبت به مقدار مصرف کم‌تر ورودی باعث کارا شدن واحدهای تصمیم‌گیرنده خواهد شد. روش‌های متفاوتی در مدل‌سازی خروجی نامطلوب در تحلیل پوششی داده‌ها وجود دارد. یکی از رایج‌ترین این رویکردها، در نظر گرفتن ماهیتی همانند ماهیت ورودی برای متغیر خروجی نامطلوب است که در این مطالعه به‌کار گرفته شده است [۳۱].

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

مفروضات اصلی مدل نیز به این صورت است که $e_j, e_j^{۱}, e_j^{۲}$ به ترتیب از به عنوان نمرات کارایی کل، نمرات کارایی مرحله اول و نمرات کارایی مرحله دوم در نظر گرفته می‌شود. فرایند دو مرحله‌ای با متغیر ورودی اضافی در مرحله دوم، خروجی نامطلوب نهایی و متغیر خروجی مطلوب مازاد بر ورودی‌های مرحله دوم در پایان مرحله اول در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل دو مرحله‌ای پیشنهاد شده با خروجی مطلوب میانی و خروجی نامطلوب نهایی

٤-۲ مدل کارایی کل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

تحت فرض بازده به مقیاس ثابت و مدل ورودی‌گرا می‌توان مدل کسری کل سیستم دو مرحله‌ای را به صورت مدل (۱) نوشت:

$$e_o = Max \frac{\sum_{r=۱}^{s} u'_r y_{ro} + \sum_{g=۱}^{o} n'_g y_{go}}{\sum_{i=۱}^{m} v'_i x_{io} + \sum_{l=۱}^{c} k'_l z_{lo}^{۲} + \sum_{b=۱}^{d} w'_b x_{bo}^{۲}}$$

$$s.t.$$

$$\frac{\sum_{p=۱}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{g=۱}^{o} n' y_{gj}}{\sum_{i=۱}^{m} v'_i x_{ij}} £ ۱, \qquad j = ۱,۲,...,n,$$

$$\frac{\sum_{r=۱}^{s} u'_r y_{rj}}{\sum_{p=۱}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{l=۱}^{c} k'_l z_{lj}^{۲} + \sum_{b=۱}^{d} w'_b X_{bj}^{۲}} £ ۱, \qquad j = ۱,۲,...,n,$$

$$v_i \,^{3}o, i = ۱,۲,...,m, \qquad h_p \,^{3}o, p = ۱,۲,...,q, \qquad (۱)$$

$$n_g \,^{3}o, g = ۱,۲,...,o, \qquad k_l \,^{3}o, l = ۱,۲,...,c,$$

$$u_r \,^{3}o, r = ۱,۲,...,s, \qquad w_b \,^{3}o, b = ۱,۲,...,d,$$

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

در مدل ۱ ارزش e_o بیانگر کارایی کل واحدهای تصمیم‌گیرنده تحت ارزیابی با خروجی نامطلوب نهایی است. مدل ۱ بیانگر مدل غیرخطی است که می‌توان آن را تبدیل به مدل خطی کرد. براساس مطالعه بیسچاپ [۳۷] می‌توان از طریق رابطه (۲)، مدل غیر خطی (۱) را به مدل خطی (۳) تبدیل نمود:

$$t = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} v_i' x_{io} + \sum_{l=1}^{c} k_l' z_{lo}^2 + \sum_{b=1}^{d} w_b' x_{bo}^2}$$

$$\begin{aligned} &v_i' t = v_i, i = 1,2,...,m, \quad h_p' t = h_p, p = 1,2,...,q, \\ &n_g' t = n_g, g = 1,2,...,o, \quad u_r' t = u_r, r = 1,2,...,s, \\ &k_l' t = k_l, l = 1,2,...,c, \quad w_b' t = w_b, b = 1,2,...,d, \\ &t > 0 \end{aligned} \qquad (۲)$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$e_o = Max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} + \sum_{g=1}^{o} n_g y_{go}$$

$$s.t.$$

$$\begin{aligned} &\sum_{p=1}^{q} h_p z_{pj} + \sum_{g=1}^{o} n_g y_{gj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0, \quad j = 1,2,...,n, \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{p=1}^{q} h_p z_{pj} - \sum_{l=1}^{c} k_l z_{lj}^2 - \sum_{b=1}^{d} w_b x_{bj}^2 \le 0, \quad j = 1,2,...,n, \\ &\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} + \sum_{l=1}^{c} k_l z_{lo}^2 + \sum_{b=1}^{d} w_b x_{bo}^2 = 1, \\ &v_i \ge 0, i = 1,2,...,m, \quad h_p \ge 0, p = 1,2,...,q, \\ &n_g \ge 0, g = 1,2,...,o, \quad k_l \ge 0, l = 1,2,...,c, \\ &u_r \ge 0, r = 1,2,...,s, \quad w_b \ge 0, b = 1,2,...,d, \end{aligned} \qquad (۳)$$

قضیه (۱): مدل (۳) همواره شدنی و کران‌دار است.

اثبات: مدل ۳ یک مدل برنامه‌ریزی خطی است. فرض می‌شود $\theta, \lambda_j^2, \lambda_j^1$ به‌ترتیب متغیرهای دوآل مرتبط با محدودیت‌های اول تا سوم مدل (۳) هستند.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

$$
\begin{aligned}
&Min\,\theta \\
&s.t. \\
&\theta x_{i_0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{1} x_{ij} \geq 0, && i = 1,2,...,m, \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{1} y_{gj} - y_{g_0} \geq 0, && g = 1,2,...,o, \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{1} z_{pj} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} z_{pj} \geq 0, && p = 1,2,...,q, \\
&\theta z_{l_0}^{2} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} z_{lj}^{2} \geq 0, && l = 1,2,...,c, \\
&\theta x_{b_0}^{2} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} x_{bj}^{2} \geq 0, && b = 1,2,...,d, \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} y_{rj} - y_{r_0} \geq 0, && r = 1,2,...,s, \\
&\lambda_j^{1} \geq 0, \quad \lambda_j^{2} \geq 0, && j = 1,2,...,n, \\
&\theta : free
\end{aligned}
\qquad (۴)
$$

مفروضات زیر در قالب جواب موجه (۵) برای مدل (۴) در نظر گرفته می‌شود.

$$
\begin{aligned}
&\lambda_j^{1} = \lambda_j^{2} = 0, \quad \forall j, \quad j \neq 0 \\
&\theta = \lambda_0^{1} = \lambda_0^{2} = 1
\end{aligned}
\qquad (۵)
$$

بدیهی است که رابطه (۵) یک جواب موجه برای مدل (۴) محسوب می‌شود و در تمام قیدهای مدل صدق می‌کند. به‌عبارت دیگر، بدون در نظر گرفتن ارزش مقداری ورودی‌ها، اندازه‌های میانی و خروجی‌های مدل، همواره یک جواب موجه برای مدل (۴) وجود خواهد داشت که آن را با مقدار θ نشان می‌دهیم؛ بنابراین مدل (۴) همواره شدنی است.

از طرفی، تابع هدف مدل (۴)، یک تابع حداقل کننده با ارزش بهینه θ^* است که ارزش آن در هر صورتی کم‌تر یا برابر ارزش تابع هدف جواب موجه مفروض θ است؛ بنابراین تابع هدف دارای ارزش بهینه و تابع هدف جواب موجه مفروض دارای رابطه‌ای به‌صورت $\theta^* \leq \theta \leq 1$ خواهند شد. در این حالت بدیهی است که ارزش بهینه تابع هدف مدل (۴) کم‌تر یا برابر یک $\theta^* \leq 1$ است.

همچنین یک جواب شدنی مانند $(\bar{\lambda}_j^{1}, \bar{\lambda}_j^{2}, \bar{\theta})$ مفروض است. در صورتی‌که $\bar{\theta} = 0$ باشد، آنگاه از محدودیت اول، چهارم و پنجم مدل (۴) نتیجه گرفته می‌شود که $\bar{\lambda}_j^{1} = \bar{\lambda}_j^{2} = 0$ است؛ بنابراین مقدار متغیر خروجی واحد تحت ارزیابی در محدودیت‌های دوم و ششم بزرگ‌تر یا برابر صفر خواهد شد $y_{g_0} = 0$، $y_{r_0} = 0$ که بر خلاف فرض است. فرض مورد نظر این است که بردار (x_j, y_j) حداقل دارای یک مؤلفه غیر صفر هستند. نتیجه این امر این است که مقدار بهینه تابع هدف مدل (۴) بزرگ‌تر از صفر $\theta^* > 0$ است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

تابع هدف مدل (۳) دوآل تابع هدف مدل (۴) است؛ بنابراین ارزش بهینه توابع هدف در مدل‌های (۳) و (۴) برابر است ($e^*_\circ = \theta^* \Rightarrow [e^*_\circ = \theta^* \leq 1], [e^*_\circ = \theta^* > \circ]) \Rightarrow \circ \leq \theta^* \leq 1$). به عبارت دیگر، از این برابری نتیجه می‌گیریم که ارزش بهینه تابع هدف مدل (۳) همواره شدنی و کراندار است.

۳-٤ مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای مرحله اول

مدل (۶) برای محاسبه حداکثر ارزش قابل دسترسی برای دستیابی به کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در مرحله اول است.

$$e^{1+} = Max \frac{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{p\circ} + \sum_{g=1}^{o} n'_g y_{g\circ}}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{i\circ}}$$

$$s.t.$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r\circ} + \sum_{g=1}^{o} n_g y_{g\circ} = e^*_\circ,$$

$$\frac{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{g=1}^{o} n' y_{gj}}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{ij}} \pounds 1, \qquad j = 1,2,\ldots,n,$$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u'_r y_{rj}}{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{l=1}^{c} k'_l z_{lj}^{2} + \sum_{b=1}^{d} w'_b X_{bj}^{2}} \pounds 1, \qquad j = 1,2,\ldots,n, \qquad (۶)$$

$$v_i \geq \circ, i = 1,2,\ldots,m, \qquad h_p \geq \circ, p = 1,2,\ldots,q,$$

$$n_g \geq \circ, g = 1,2,\ldots,o, \qquad k_l \geq \circ, l = 1,2,\ldots,c,$$

$$u_r \geq \circ, r = 1,2,\ldots,s, \qquad w_b \geq \circ, b = 1,2,\ldots,d,$$

حداکثر ارزش قابل دسترسی برای e^1 همان $e^{1+}_\circ$ است که همان ارزش بهینه تابع هدف مدل (۶) است. این مدل یک مدل برنامه‌ریزی کسری است و حل آن از طریق یک راه حل بهینه سراسری دشوار است. بنابراین همانند مدل دستیابی به کارایی کلی مدل خطی نظیر آن با استفاده از رابطه (۷) و در قالب مدل (۸) می‌نویسیم:

$$t = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{i\circ}}$$

$$v't = v_i, i = 1,2,\ldots,m, \qquad (۷)$$

$$t > \circ$$

بنابراین خواهیم داشت:

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

$$
\begin{aligned}
& e_{\circ}^{\prime+} = Max \sum_{p=1}^{q} h_p z_{p\circ} + \sum_{g=1}^{o} n_g y_{g\circ} \\
& s.t. \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r\circ} + \sum_{g=1}^{o} n_g y_{g\circ} = e_{\circ}^{*}, \\
& \sum_{p=1}^{q} h_p z_{pj} + \sum_{g=1}^{o} n_g y_{gj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \pounds o, \qquad j = 1,2,...,n, \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{p=1}^{q} h_p z_{pj} - \sum_{l=1}^{c} k_l z_{lj}^{2} - \sum_{b=1}^{d} w_b x_{bj}^{2} \pounds o, \qquad j = 1,2,...,n, \\
& \sum_{i=1}^{m} v_i x_{i\circ} = 1, \\
& v_i \geq \circ, i = 1,2,...,m, \qquad h_p \geq \circ, p = 1,2,...,q, \\
& n_g \geq \circ, g = 1,2,...,o, \qquad k_l \geq \circ, l = 1,2,...,c, \\
& u_r \geq \circ, r = 1,2,...,s, \qquad w_b \geq \circ, b = 1,2,...,d,
\end{aligned}
\tag{۸}
$$

قضیه (۲): مدل (۸) همواره شدنی و کران‌دار است.

اثبات: مدل (۸) یک مدل برنامه‌ریزی خطی است. فرض می‌شود $\theta^{\prime}, \lambda_j^{3}, \lambda_j^{2}, \lambda_{\circ}^{1}$ به‌ترتیب متغیرهای دوآل مرتبط با محدودیت‌های اول تا چهارم مدل (۸) هستند.

$$
\begin{aligned}
& Min(\theta^{\prime} + e_{\circ}^{*} \times \lambda_{\circ}^{1}) \\
& s.t. \\
& \theta_{\circ}^{\prime} x_{i\circ} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} x_{ij} \geq \circ, \qquad i = 1,2,...,m, \\
& e_{\circ}^{*} \lambda_{\circ}^{1} y_{g\circ} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} y_{gj} \geq y_{g\circ}, \qquad g = 1,2,...,o, \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} z_{pj} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} z_{pj} \geq z_{p\circ}, \qquad p = 1,2,...,q, \\
& - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} z_{lj}^{2} \geq \circ, \qquad l = 1,2,...,c, \\
& - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} x_{bj}^{2} \geq \circ, \qquad b = 1,2,...,d, \\
& e_{\circ}^{*} \lambda_{\circ}^{1} y_{r\circ} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} y_{rj} \geq \circ, \qquad r = 1,2,...,s, \\
& \lambda_{\circ}^{2} \geq \circ, \quad \lambda_j^{3} \geq \circ, \quad \lambda_j^{4} \geq \circ, \qquad j = 1,2,...,n, \\
& \theta^{\prime}, \lambda_{\circ}^{1} : free
\end{aligned}
\tag{۹}
$$

مفروضات زیر در قالب جواب موجه (۱۰) برای مدل (۹) در نظر گرفته می‌شود.

$$
\begin{aligned}
& \lambda_j^{3*} = \lambda_j^{4*} = \circ, \qquad \forall j, \quad j \neq \circ \\
& \theta^{\prime} = \lambda_{\circ}^{1} = \lambda_{\circ}^{2} = 1
\end{aligned}
\tag{۱۰}
$$

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

بدیهی است که رابطه (۱۰) یک جواب موجه برای مدل (۹) محسوب می‌شود. به‌عبارت دیگر، بدون در نظر گرفتن ارزش مقداری ورودی‌ها، اندازه‌های میانی و خروجی‌های مدل، همواره یک جواب موجه برای مدل (۹) وجود خواهد داشت که آن را با مقدار θ^{1} نشان می‌دهیم؛ بنابراین مدل (۹) همواره شدنی است.

از طرفی، تابع هدف مدل (۹)، یک تابع حداقل کننده با ارزش بهینه θ^{1*} است که ارزش آن در هر صورتی کم‌تر یا برابر ارزش تابع هدف جواب موجه مفروض θ است. بنابراین تابع هدف دارای ارزش بهینه و تابع هدف جواب موجه مفروض دارای رابطه‌ای به‌صورت $\theta^{1*} \le \theta \le 1$ خواهند شد؛ بنابراین بدیهی است که ارزش بهینه تابع هدف مدل (۹) کم‌تر یا برابر یک یا $\theta^{1*} \le 1$ بوده و کراندار خواهد شد.

همچنین یک جواب شدنی مانند $(\bar{\lambda}_j^1, \bar{\lambda}_j^2, \bar{\lambda}_j^3, \bar{\theta}^1)$ مفروض است. در صورتی‌که $\bar{\theta}^1 = 0$ باشد، آنگاه از محدودیت اول مدل (۴) نتیجه گرفته می‌شود که $\bar{\lambda}_j^2 = 0$ است؛ بنابراین مقدار متغیر خروجی واحد تحت ارزیابی در محدودیت‌های دوم بزرگ‌تر یا برابر صفر خواهد شد $y_{g0} = 0$ که بر خلاف فرض است. فرض مورد نظر این است که بردار (x_j, y_j) حداقل دارای یک مؤلفه غیر صفر هستند. نتیجه این امر این است که مقدار بهینه تابع هدف مدل (۴) بزرگ‌تر از صفر $\theta^{1*} > 0$ است.

تابع هدف مدل (۸) دوآل تابع هدف مدل (۹) است؛ بنابراین ارزش بهینه توابع هدف در مدل‌های (۸) و (۹) برابر است $(e_0^{1*} = \theta^{1*} \Rightarrow [e_0^{1*} = \theta^{1*} \le 1], [e_0^{1*} = \theta^{1*} > \bullet]) \Rightarrow 0 \le \theta^{1*} \le 1$. به عبارت دیگر، از این برابری نتیجه می‌گیریم که ارزش بهینه تابع هدف مدل (۸) همواره شدنی و کراندار است.

٤-٤ مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای مرحله دوم

مدل (۱۱) برای محاسبه حداکثر ارزش قابل دسترسی برای دستیابی به کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در مرحله دوم است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

$$e^{۲+} = Max \frac{\sum_{r=۱}^{s} u'_r y_{r\circ}}{\sum_{p=۱}^{q} h'_p z_{p\circ} + \sum_{l=۱}^{c} k'_l z_{l\circ}^{۲} + \sum_{b=۱}^{d} w'_b x_{b\circ}^{۲}}$$

$$s.t.$$

$$\frac{\sum_{r=۱}^{s} u'_r y_{r\circ} + \sum_{g=۱}^{o} n'_g y_{g\circ}}{\sum_{i=۱}^{m} v'_i x_{i\circ} + \sum_{l=۱}^{c} k'_l z_{l\circ}^{۲} + \sum_{b=۱}^{d} w'_b x_{b\circ}^{۲}} £ e_{\circ}^{*},$$

$$\frac{\sum_{p=۱}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{g=۱}^{o} n'_g y_{gj}}{\sum_{i=۱}^{m} v'_i x_{ij}} £ ۱, \qquad j = ۱,۲,...,n,$$

$$\frac{\sum_{r=۱}^{s} u'_r y_{rj}}{\sum_{p=۱}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{l=۱}^{c} k'_l z_{lj}^{۲} + \sum_{b=۱}^{d} w'_b x_{b.}^{۲}} £ ۱, \qquad j = ۱,۲,...,n, \qquad (۱۱)$$

$$v_i \geq \circ, i = ۱,۲,...,m, \qquad h_p \geq \circ, p = ۱,۲,...,q,$$

$$n_g \geq \circ, g = ۱,۲,...,o, \qquad k_l \geq \circ, l = ۱,۲,...,c,$$

$$u_r \geq \circ, r = ۱,۲,...,s, \qquad w_b \geq \circ, b = ۱,۲,...,d,$$

حداکثر ارزش قابل دسترسی برای $e^{۲}$ همان $e_{\circ}^{۲+}$ است که همان ارزش بهینه تابع هدف مدل (۱۱) است. مدل (۶) برنامه‌ریزی ریاضی کسری است و حل آن از طریق یک راه حل بهینه سراسری دشوار است؛ بنابراین همانند مدل دستیابی به کارایی کلی مدل خطی نظیر آن با استفاده از رابطه (۱۲) و در قالب مدل (۱۳) می‌نویسیم:

$$t = \frac{۱}{\sum_{p=۱}^{q} h'_p z_{p\circ} + \sum_{l=۱}^{c} k_l z_{l\circ}^{۲} + \sum_{b=۱}^{d} w'_b x_{b\circ}^{۲}}$$

$$h'_p t = h_p, p = ۱,۲,...,q, \qquad k'_l t = k_l, l = ۱,۲,...,c, \qquad (۱۲)$$

$$w'_b t = w_b, b = ۱,۲,...,d, \qquad t > \circ$$

بنابراین خواهیم داشت:

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

$$
\begin{aligned}
& e^{++} = Max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} \\
& s.t. \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} + \sum_{g=1}^{o} n_g y_{g0} - e_0^* \left(\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} + \sum_{l=1}^{c} k_l z_{l0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w_b x_{b0}^2 \right) \pounds o, \\
& \sum_{p=1}^{q} h_p z_{pj} + \sum_{g=1}^{o} n_g y_{gj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \pounds o, \qquad j = 1,2,...,n, \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{p=1}^{q} h_p z_{pj} - \sum_{l=1}^{c} k_l z_{lj}^2 - \sum_{b=1}^{d} w_b x_{bj}^2 \pounds o, \qquad j = 1,2,...,n, \\
& \sum_{p=1}^{q} h_p z_{p0} + \sum_{l=1}^{c} k_l z_{l0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w_b x_{b0}^2 = 1, \\
& v_i \geq 0, i = 1,2,...,m, \qquad h_p \geq 0, p = 1,2,...,q, \\
& n_g \geq 0, g = 1,2,...,o, \qquad k_l \geq 0, l = 1,2,...,c, \\
& u_r \geq 0, r = 1,2,...,s, \qquad w_b \geq 0, b = 1,2,...,d,
\end{aligned}
\tag{۱۳}
$$

قضیه (۳): مدل (۱۳) همواره شدنی و کران‌دار است.

مدل (۱۳) یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی است. فرض می‌شود $\theta^2, \lambda_j^3, \lambda_j^2, \lambda_0^1$ به‌ترتیب متغیرهای دوآل مرتبط با محدودیت‌های اول تا چهارم مدل (۱۳) هستند.

$$
\begin{aligned}
& Min\, \theta^2 \\
& s.t. \\
& -e_0^* \lambda_0^1 x_{i0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 x_{ij} \geq 0, \qquad i = 1,2,...,m, \\
& \lambda_0^1 y_{g0} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 y_{gj} \geq 0, \qquad g = 1,2,...,o, \\
& \theta^2 z_{p0} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 z_{pj} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 z_{pj} \geq 0, \qquad p = 1,2,...,q, \\
& \theta^2 z_{l0}^2 - e_0^* \lambda_0^1 z_{l0}^2 - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 z_{lj}^2 \geq 0, \qquad l = 1,2,...,c, \\
& \theta^2 x_b - e_0^* \lambda_0^1 x_{b0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 x_{bj}^2 \geq 0, \qquad b = 1,2,...,d, \\
& \lambda_0^1 y_{r0} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 y_{rj} \geq y_{r0}, \qquad r = 1,2,...,s, \\
& \lambda_0^2 \geq 0, \quad \lambda_j^3 \geq 0, \quad \lambda_j^4 \geq 0, \qquad j = 1,2,...,n, \\
& \theta^2, \lambda_0^1 : free
\end{aligned}
\tag{۱۴}
$$

مفروضات زیر در قالب جواب موجه (۱۵) برای مدل (۱۳) در نظر گرفته می‌شود.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

$$\lambda_j^{r*} = \lambda_j^{r*} = \lambda_j^{r*} = ۰, \quad \forall j, \quad j \neq ۰$$
$$\theta^{r} = \lambda_{۰}^{۱} = \lambda_{۰}^{r} = ۱ \tag{۱۵}$$

بدیهی است که رابطه (۱۵) یک جواب موجه برای مدل (۱۴) محسوب می‌شود. به‌عبارت دیگر، بدون در نظر گرفتن ارزش مقداری ورودی‌ها، اندازه‌های میانی و خروجی‌های مدل، همواره یک جواب موجه برای مدل (۱۴) وجود خواهد داشت که آن را با مقدار θ^{r} نشان می‌دهیم؛ بنابراین مدل (۱۴) همواره شدنی است.

از طرفی، تابع هدف مدل (۱۴)، یک تابع حداقل کننده با ارزش بهینه θ^{r*} است که ارزش آن در هر صورتی کم‌تر یا برابر ارزش تابع هدف جواب موجه مفروض θ^{r} است؛ بنابراین تابع هدف دارای ارزش بهینه و تابع هدف جواب موجه مفروض دارای رابطه‌ای به‌صورت $۰ \leq \theta \leq ۱$ خواهند شد؛ بنابراین بدیهی است که ارزش بهینه تابع هدف مدل (۱۴) کم‌تر یا برابر یک یا $\theta^{r*} \leq ۱$ بوده و کراندار خواهد شد.

همچنین یک جواب شدنی مانند $(\bar{\theta}^{r}, \bar{\lambda}_j^{۳}, \bar{\lambda}_j^{r}, \bar{\lambda}_j^{۱})$ مفروض است. در صورتی‌که $\bar{\theta}^{r} = ۰$ باشد، آنگاه از محدودیت اول، پنجم و ششم مدل (۱۴) نتیجه گرفته می‌شود که $\bar{\lambda}_j^{r} = \bar{\lambda}_j^{۳} = ۰$ است؛ بنابراین مقدار متغیر خروجی واحد تحت ارزیابی در محدودیت‌های چهارم بزرگ‌تر یا برابر صفر خواهد شد $y_{r۰} = ۰$ که بر خلاف فرض است. فرض مورد نظر این است که بردار (x_j, y_j) حداقل دارای یک مؤلفه غیر صفر هستند. نتیجه این امر این است که مقدار بهینه تابع هدف مدل (۴) بزرگ‌تر از صفر $\theta^{r*} > ۰$ است.

تابع هدف مدل (۱۴) دوآل تابع هدف مدل (۱۳) است؛ بنابراین ارزش بهینه توابع هدف در مدل‌های (۱۳) و (۱۴) برابر است $(e_{۰}^{r*} = \theta^{r*} \Rightarrow [e_{۰}^{r*} = \theta^{r*} \leq ۱], [e_{۰}^{r*} = \theta^{r*} > ۰]) \Rightarrow ۰ \leq \theta^{r*} \leq ۱$. به عبارت دیگر، از این برابری نتیجه می‌گیریم که ارزش بهینه تابع هدف مدل (۱۴) همواره شدنی و کراندار است.

۵ یافته‌های تحقیق

۵-۱ انتخاب واحدهای تصمیم‌گیرنده

در این پژوهش نواحی تولید و انتقال برق در صنعت برق ایران به عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته شد. نواحی انتقال برق در سطح کشور شامل ۱۶ منطقه تولید و انتقال برق است. جامعه آماری این تحقیق شامل ۱۶ ناحیه تولید و انتقال شامل نیروگاه‌ها و شرکت‌های برق منطقه‌ای (DMU) است.

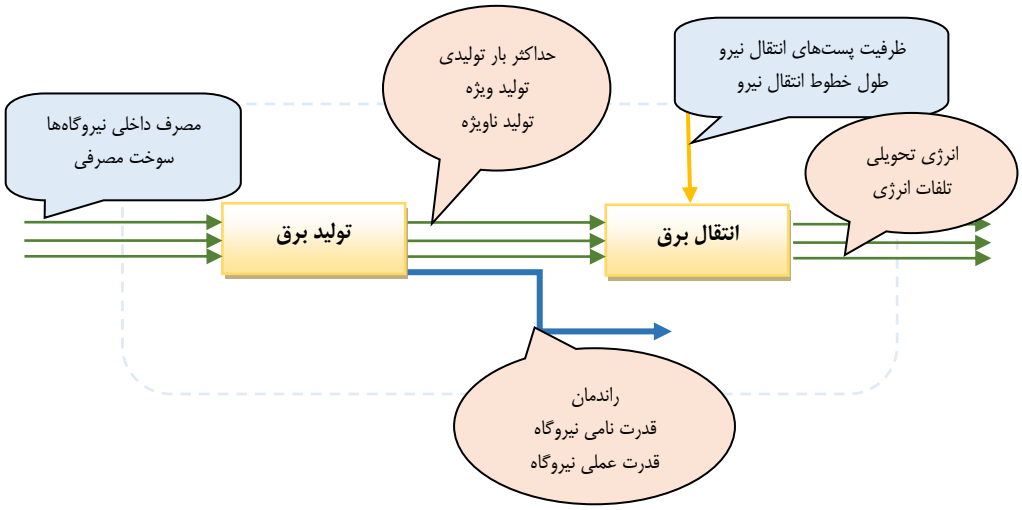
۵-۲ مدل مفهومی و متغیرهای پژوهش

برای ارزیابی کارایی به متغیرهایی نیاز است که بتوانند نتیجه درستی از عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده را ارایه دهند. در حقیقت انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی یکی از مهم‌ترین گام‌ها در ارزیابی کارایی نیروگاه‌ها و شرکت‌های برق منطقه‌ای به روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر عدم انتخاب صحیح متغیرهای مورد نیاز، نتایج ارزیابی شرکت‌های برق منطقه‌ای را بی‌اعتبار می‌سازد. در این پژوهش با استفاده از متغیرهای مورد استفاده در مطالعات قبلی ارزیابی کارایی شرکت‌های برق در جهان، امکان دسترسی و جمع‌آوری داده‌ها در خصوص متغیرهای تحقیق و استفاده از نظرات متخصصین و کارشناسان ارشد صنعت برق، متغیرهای ورودی و

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

خروجی انتخاب شده است. با استفاده از مدل پیشنهادی پژوهش و متغیرهای انتخاب شده، مدل مفهومی پژوهش در قالب شکل ۱ ارایه شده است.



شکل ۲. مدل مفهومی پژوهش- ساختار شبکه‌ای تولید و انتقال نیروی برق ایران

۵-۳ محاسبه نمرات کارایی

در مرحله اول کارایی ۳۵ نیروگاه در قالب ۱۶ ناحیه با استفاده از مدل ۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای ورودی و خروجی نیروگاه‌ها در ۱۶ ناحیه به صورت مجموع اندازه متغیرهای ورودی و خروجی در قالب ۱۶ ناحیه در نظر گرفته شده است. نمرات کارایی مرحله دوم یعنی انتقال صنعت برق در قالب ۱۶ شرکت برق منطقه‌ای با استفاده از مدل ۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت کارایی کل مرحله تولید و انتقال صنعت برق با استفاده از مدل ۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. نمرات کارایی مرحله اول، مرحله دوم و کارایی کل در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. مقادیر کارایی نیروگاه‌ها و شرکت‌های برق منطقه‌ای

واحدهای تصمیم‌گیرنده	نام شرکت	کارایی مرحله اول	کارایی مرحله دوم	کارایی کل
۱	ناحیه آذربایجان	۰/۶۶۸	۱/۰۰۰	۰/۹۶۶
۲	ناحیه اصفهان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
۳	ناحیه باختر	۰/۷۱۲	۰/۷۴۴	۰/۷۴۴
۴	ناحیه تهران	۰/۶۰۹	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
۵	ناحیه خراسان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
۶	ناحیه خوزستان	۱/۰۰۰	۰/۹۵۷	۱/۰۰۰
۷	ناحیه زنجان	۰/۸۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۸۴
۸	ناحیه سمنان	۱/۰۰۰	۰/۶۹۹	۱/۰۰۰
۹	ناحیه سیستان	۰/۵۶۹	۰/۸۶۴	۰/۸۶۴

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

واحدهای تصمیم‌گیرنده	نام شرکت	کارایی مرحله اول	کارایی مرحله دوم	کارایی کل
۱۰	ناحیه غرب	۰/۸۶۰	۰/۶۵۷	۰/۶۹۱
۱۱	ناحیه فارس	۱/۰۰۰	۰/۹۵۴	۱/۰۰۰
۱۲	ناحیه کرمان	۱/۰۰۰	۰/۹۱۰	۱/۰۰۰
۱۳	ناحیه گیلان	۰/۸۲۶	۰/۷۷۴	۰/۸۰۸
۱۴	ناحیه مازندران	۰/۷۷۷	۰/۸۱۱	۰/۸۱۱
۱۵	ناحیه هرمزگان	۰/۷۵۲	۰/۵۹۸	۰/۷۵۲
۱۶	ناحیه یزد	۱/۰۰۰	۰/۶۶۳	۰/۹۷۷

٦ نتایج و پیشنهادات

در این پژوهش با استفاده از داده‌های حاصل از فعالیت نیروگاه‌ها و شرکت‌های برق منطقه‌ای ایران و به منظور سنجش کارآیی شرکت‌های مزبور در دوره زمانی سال ۱۳۹۳ و با استفاده از روش ناپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها انجام شده است. با توجه به ضعف اساسی مدل‌های معمولی و کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها در سنجش کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای از مدل شبکه‌ای دو مرحله‌ای با خروجی نامطلوب نهایی در تجزیه و تحلیل کارایی شرکت‌های مزبور استفاده شده است.

نتایج محاسبات نشان دهنده این امر است که نواحی اصفهان، خراسان، خوزستان، سمنان، فارس، کرمان و یزد در مرحله تولید برق کارا هستند؛ این در حالی است که در مرحله دوم که همان فرایند انتقال برق است واحدهای آذربایجان، اصفهان، تهران، خراسان، زنجان واحدهای کارا محسوب می‌شوند. در نهایت و در جمع دو مرحله واحدهای آذربایجان، اصفهان، تهران، خراسان، خوزستان، سمنان، فارس و کرمان واحدهایی کارا هستند. نواحی باختر، سیستان، غرب در هر دو مرحله تولید و انتقال برق ناکارا هستند. نواحی آذربایجان، اصفهان، تهران، خراسان، خوزستان، سمنان، فارس، کرمان دارای کارایی کلی برابر با یک هستند.

فلسفه به‌وجود آمدن مدل‌های شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها، نادیده‌گرفتن مراحل و فرایندهای داخلی در درون DMUها است. درواقع مدل‌های مرسوم DEA، هر شرکت را یک DMU در نظر گرفته و محاسبات خود را به ورودی‌های اولیه و خروجی‌های نهایی محدود می‌کنند. با توجه به اینکه تولید، انتقال و توزیع در صنعت برق، یک فرایند چند مرحله‌ای دارد و کارایی هر یک از این مراحل اهمیت زیادی دارد، این پژوهش نشان داد به‌کارگیری مدل‌های شبکه‌ای و بررسی فرایندهای داخلی شرکت‌ها، امکان بررسی دقیق‌تری برای یافتن دلایل ناکارایی فراهم می‌کنند.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر و مقایسه کارایی نواحی شانزده‌گانه تولید و انتقال برق در مراحل اول، دوم و کارایی کلی آن‌ها، چنانچه در تحلیل کارایی فرایندهای تولید و انتقال برق، هدف محقق صرفاً تعیین کارایی کلی شرکت‌ها بدون توجه به واحدهای داخلی آن‌ها باشد، نتایج دقیق و واقعی از عملکرد و کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای حاصل نمی‌شود. برای روشن شدن بیش‌تر موضوع ذکر چند نمونه لازم است:

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

۱. کارایی ناحیه غرب در میان نواحی شانزده‌گانه در سراسر کشور، برابر با ۶۹ درصد است. این شرکت کم‌ترین میزان کارایی در میان نواحی نام برده را به خود اختصاص داده است. موضوع کارایی ضعیف ناحیه غرب در مقایسه با سایر شرکت‌ها را با دو رویکرد می‌توان تفسیر کرد:

الف) در نگاه اول و بدون تحلیل فرایندهای داخلی این ناحیه، می‌توان این‌گونه نظر داد که این شرکت در تمامی واحدهای زیرمجموعهٔ خود دارای کم‌ترین میزان کارایی است. به مدیریت این شرکت پیشنهاد می‌شود که در کلیه فرایندهای کاری و فعالیت‌های واحدهای گوناگون ناحیه، تجدید نظر جدی به‌عمل آورد و از نواحی کارا به‌منظور افزایش کارایی ناحیه الگوبرداری کند.

ب) بر اساس رویکرد شبکه‌ای و با محاسبهٔ کارایی مراحل اول (تولید) و دوم (انتقال) ناحیه غرب، مشاهده می‌شود که کارایی ناحیه در مرحله تولید وضعیت مناسبی دارد و با کارایی ۸۶ درصدی، رتبه دوم را بین ۱۶ ناحیه تولید برق کسب کرده است. در واقع عملکرد ضعیف مرحله انتقال کارایی این شرکت را کاهش داده تا جایی که در رتبه انتهایی میان شرکت‌های برق منطقه‌ای قرار گرفته است. به مدیریت این شرکت پیشنهاد می‌شود که در فرایندهای کاری مرحله‌ی انتقال خود تجدید نظر جدی به‌عمل آورد.

۲. در تحلیل کارایی ناحیه یزد نیز وضعیتی مشابه مشاهده می‌شود. این شرکت با ۹۷ درصد کارایی از شرکت‌های ناکارا محسوب‌می‌شود. پس از بررسی فرایندهای داخلی مشخص شد که این ناحیه در مرحله تولید برق کارایی ۱۰۰ درصدی داشته است؛ بنابراین دلیل ناکارایی این شرکت به مرحله انتقال برق مربوط می‌شود.

براساس نتایج این پژوهش، بسیاری از شرکت‌ها با وجود عملکرد مناسب در واحدهای انتقال، در واحد تولید کارایی کم‌تری داشته‌اند؛ لذا پیشنهاد می‌شود از سوی وزارت نیرو و شرکت مادر تخصصی توانیر، شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی عملکرد نیروگاه‌ها در نظر گرفته شود تا این واحدها نیز بتوانند متناسب با مرحله انتقال، بر میزان کارایی خود بیفزایند.

پیشنهاد می‌شود محققان آتی در پژوهشی دیگر، به‌ترتیب مراحل تولید و انتقال را عنوان رهبر در نظر بگیرند و نتایج مطالعه‌ی خود را با یافته‌های این پژوهش مقایسه کنند. همچنین با الگوبرداری از عملکرد شرکت‌های کارا نسبت به شناسایی عوامل ناکارآمدی خود در واحدهای طرح و توسعه و بهره برداری اقدام نموده و از این طریق، کارآیی هر مرحله و کارآیی کلی خود را بهبود بخشند.

منابع

[۲] بشارتی راد، ز.، طباطبایی، س. م.، (۱۳۸۹). آینده صنعت برق (نگاهی به ایران و جهان). تهران، پژوهشنامه گروه پژوهشی اقتصاد پژوهشکده تحقیقات راهبردی مجمع تشخیص مصلحت نظام.

[۲۸] سخنور، م.، صادقی، ح.، عصاری، ع.، یاوری، ک.، مهرگان، ن.، (۱۳۹۱). تعیین کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران و عوامل موثر بر آن با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد دومرحله‌ای. مجله تحقیقات اقتصادی، ۲، ۳۹-۲۱.

[۳۶] فلاح جلودار، م.، (۱۳۹۵). ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع نیروی برق ایران با استفاده از مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۳(۴)، ۸۳-۶۷.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

[1] Yuzhi, S. Z., (2012). Study of the Input-Output Overall Performance Evaluation of Electricity Distribution Based on DEA Method. Energy Procedia, 16, 1517-25.
[3] Sueyoshi, T., Goto, M., (2012). 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), 634-44.
[4] Kuosmanen, T., (2012). Stochastic semi-nonparametric frontier estimation of electricity distribution networks: Application of the StoNED method in the Finnish regulatory model. Energy Economics, 34(6), 2189-99.
[5] Chen, C., Yan, H., (2011). Network DEA model for supply chain performance evaluation. European Journal of Operational Research, 213(1), 147–55.
[6] Cook, W. D., Zhu, J., Bi, G., Yang, F., (2010). Network DEA: additive efficiency decomposition. European Journal of Operational Research, 207(2), 11-22.
[7] Jahanshahloo, G. R., Hadi-Vencheh, A., Foroughi, A. A., Kazemi-Matin, R., (2004). Inputs/ outputs estimation in DEA when some factors are undesirable. Applied Mathematics and Computations, 156(1), 19–32.
[8] Du, J. A., Liang, L. A., Chen, Y., Cook, W. D., Zhu, J., (2011). A bargaining game model for measuring performance of two-stage network structures. European Journal of Operational Research, 210 (2), 390-397.
[9] Chen, Y., Cook, W. D., Li, N., Zhu, J., (2009). Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. European Journal of Operational Research, 196(3), 1170-1176.
[10] Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W., (1984). some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science. 30(9), 1078-1092.
[11] Färe, R., (1991). Measuring Farrell efficiency for a firm with intermediate inputs. Academia Economic Papers, 19, 329-340.
[12] Färe, R., Whittaker, G., (1995). an intermediate input model of dairy production using complex survey data. Journal of Agricultural Economics, 46(2), 201-213.
[13] Färe, R., Grosskopf, S., (1996). Productivity and intermediate products: A frontier approach. Economics letters, 50(1), 65-70.
[14] Kao, C., Hwang, S. N., (2008). Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. European Journal of Operational Research, 185(1), 418-429.
[15] Liang, L., Cook, W. D., Zhu, J., (2008). DEA models for two- stage processes: Game approach and efficiency decomposition. Naval Research Logistics (NRL), 55(7), 643-653.
[16] Kao, C., (2009). Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model. European Journal of Operational Research, 192(3), 949–962.
[17] Zhou, Z., Sun, L., Yang, W., Liu, W., Ma, C., (2013). A bargaining game model for efficiency decomposition in the centralized model of two-stage systems. Computers & Industrial Engineering, 64(1), 103-108.
[18] Seiford, L. M., Zhu, J., (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. European Journal of Operational Research, 142(1), 16–20.
[19] Amirteimoori, A., Kordrostami, S., Sarparast, M., (2006). Modeling undesirable factors in data envelopment analysis. Applied Mathematical Computations, 180(2), 444– 452.
[20] Kordrostami, S., Amirteimoori, A., (2005). Un-desirable factors in multi-component performance measurement. Applied Mathematics and Computation, 171(2), 721-729.
[21] Lozano, L., Gutiérrez, E., Moreno, P., (2013). Network DEA approach to airports performance assessment considering undesirable outputs. Applied Mathematical Modelling, 37(4), 1665-1676.
[22] Liu, W., Zhou, Z., Ma, C., Liu, D., Shen, W., (2015). Two-stage DEA Models with undesirable input-intermediate-outputs. Omega, The International Journal of Management Science, 56, 74-87.
[23] Ramos-Real, F. J., Tovar, B., Iootty, M., Almeida, E. F., Pinto, H. Q., (2009). The evolution and main determinants of productivity in Brazilian electricity distribution 1998–2005: An empirical analysis. Energy Economics, 31(2), 298-305.
[24] Hattori, T., Jamasb, T., Pollitt, G. M., (2003). A comparison of UK and Japanese electricity distribution performance 1985-1998: lessons for incentive regulation. CMI Working Paper 03.
[25] Filippini, M., Hrovatinc, N., Zoric, J., (2004). Efficiency and regulation of the Slovenian electricity distribution companies. Energy Policy, 32(3), 335-445.
[26] Hess, B., Cullmann A., (2007). Efficiency analysis of East and West German electricity distribution company's e Do the ‘‘Ossis’’ really beat the ‘‘Wessis’’? Utilities Policy, 15(3), 206-14.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]

[27] Pe´rez-Reyes, R., Tovar, B., (2009). Measuring efficiency and productivity change (PTF) in the Peruvian electricity distribution companies after reforms. Energy Policy, 37(6), 2249-61.
[29] Azadeh, A., Motevali Haghighi, S., Zarrin, M., Khaefi, S., (2015). Performance evaluation of Iranian electricity distribution units by using stochastic data envelopment analysis. Electrical Power and Energy Systems, 73, 919-931.
[30] Omrani, H., Gharizadeh Beiragh, R., Shafiei Kaleibari, S., (2015). Performance assessment of Iranian electricity distribution companies by an integrated cooperative game data envelopment analysis principal component analysis approach. Electrical Power and Energy Systems, 64, 617-625.
[31] Khalili- Damghani, K., Shahmir, S., (2015). Uncertain network data envelopment analysis with undesirable outputs to evaluate the efficiency of electricity power production and distribution processes. Computers & Industrial Engineering, 88, 131-150.
[32] Maghbouli. M., Amirteimoori, A., Kordrostami S., (2014). Two-stage network structures with undesirable outputs: A DEA based approach. Measurement, 48, 109-118.
[33] Fallahi, A., Ebrahimi, R., Ghaderi, S. F., (2011). Measuring efficiency and productivity change in power electric generation management companies by using data envelopment analysis: A case study. Energy, 36(11), 6398-05.
[34] Goto, M., Tsutsui M., (2008). Technical efficiency and impacts of deregulation: An analysis of three functions in U.S. electric power utilities during the period from 1992 through 2000. Energy Economics, 30(1), 15–38.
[35] Sadjadi, S. J., Omrani, H., Makui, A., Shahanaghi, K., (2011). An interactive robust data envelopment analysis model for determining alternative targets in Iranian electricity distribution companies. Expert Systems with Applications, 38(8), 9830-39.
[37] Bisschop, J., (2012). AIMMS Optimization Modeling, Paragon Decision Technology, Bellevue, WA 98004, USA.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-06-03]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.5.0]