چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۲۴ ـ زمستان ۱۳۹۵
ص‌ص ۱۸۰ ° ۱۵۷

رویکردی ترکیبی از تحلیل پوششی داده‌ها با انواع خروجی‌ها و تحلیل پنجره در ارزیابی کارایی صنعت برق

محسن شفیعی نیک‌آبادی*، کیخسرو یاکیده، اکرم اویسی عمران*****

چکیده

در این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی نواحی تولید و انتقال نیرو در صنعت برق ایران در طی زمان و با توجه به ماهیت سیستمی مراحل تولید و انتقال برق، دو رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و تحلیل پنجره با هم ترکیب شده است. این سیستم شبکه‌ای دارای خروجی نامطلوب و مطلوب نهایی و میانی بوده و دارای دو مرحله تولید و انتقال برق در بازه زمانی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ است. متغیرهای ورودی و خروجی مرحله اول و دوم به‌ترتیب مصرف داخلی نیروگاه‌ها، سوخت مصرفی و بازده حرارتی، راندمان، قدرت نامی نیروگاه و قدرت عملی نیروگاه، حداکثر بار تولیدی، تولید ویژه و تولید ناویژه، ظرفیت پست‌های انتقال نیرو و طول خطوط انتقال نیرو و درنهایت انرژی تحویلی و تلفات انرژی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به مجموعه امکان ادغام‌شده طی سه دوره، در سال ۱۳۹۲ از نظر کارایی کل و کارایی مرحله تولید بالاترین تعداد واحدهای کارا وجود دارد؛ درحالی‌که در مقایسه با مرز کارای سه‌دوره‌ای، مرحله تولید برق بیشترین واحدهای ناکارا را دارد و افزایش تعداد واحدهای کارا در مرحله کارایی کل ناشی از کارایی بالای شرکت‌های برق منطقه‌ای است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل پنجره؛ تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای؛ خروجی نامطلوب؛ تولید برق؛ انتقال برق.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۲/۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶.

* استادیار، دانشگاه سمنان (نویسنده مسئول).

E-mail: shafiei@semnan.ac.ir

** استادیار، دانشگاه گیلان.

*** دانشجوی دکتری، دانشگاه سمنان.

۱. مقدمه

تحلیل پوششی داده‌ها[1] (DEA) رویکردی ناپارامتریک برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده[2] است. در مدل‌های DEA سنتی فرایند تولید همانند یک جعبه سیاه[3] در نظر گرفته می‌شود و تمرکز بر ورودی‌ها و خروجی‌های فرایند است؛ اما ازآنجاکه اغلب سیستم‌های تولیدی در دنیای واقعی دارای ساختار شبکه‌ای هستند؛ بنابراین مهیاکردن ابزاری پایدار برای تحلیل بهره‌وری و کارایی زیرسیستم‌ها و کل سیستم شبکه‌ای اهیمت زیادی می‌یابد [۱].

رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها در شرایط ثابت به‌کار برده می‌شود؛ به این معنا که اثر تغییرات زمان را نادیده می‌گیرند. این امر می‌تواند به نظر گمراه‌کننده باشد؛ زیرا تغییر شرایط در طی زمان می‌تواند به سمت استفاده بیشتر از منابع برای تولید نتایج مطلوب گرایش داشته باشد. در DEA، مدل‌های ناپارامتریک برای سنجش کارایی در طی زمان وجود دارد که ازجمله این مدل‌ها می‌توان روش تحلیل پنجره[4] و شاخص مالم‌کوئیست[5] و رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پویا[6] را نام برد.

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی به ارائه مدل‌های DEA برای ارزیابی کارایی‌های کلی و جزئی سیستم‌های دومرحله‌ای پرداخته‌اند؛ اما مدلی که بتواند کارایی کل و منشأ ناکارایی سیستم‌های شبکه‌ای را تشخیص دهد، ارائه نشده است.

در این پژوهش با هدف ارزیابی منشأ کارایی و ناکارایی سیستم‌ها و زیرسیستم‌های آن‌ها در طی دوره‌های زمانی مختلف، با توجه به اهمیت تشخیص منشأ ناکارایی در ساختار شبکه‌ای صنعت برق، ارائه روشی برای ارزیابی و پایش منشأ ناکارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در شبکه تولید و انتقال برق در طی زمان نوآوری اصلی محسوب می‌شود. ویژگی برجسته این پژوهش ترکیب تحلیل پنجره و تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای ارزیابی و پایش ناکارایی در صنعت برق ایران است. در این ارزیابی به‌جای مرز کارای مرحله اول، دوم و کل سیستم در یک دوره زمانی ثابت، از مرز کارای حاصل از مجموعه امکان ادغام‌شده حاصل از دوره‌های زمانی چندگانه موجود در تحلیل استفاده شده است؛ از سوی دیگر تفکیک ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب و نامطلوب نهایی و میانی سیستم تولید و انتقال برق نیز نوآوری کاربردی این پژوهش محسوب می‌شود؛ بنابراین طراحی مدلی ریاضی برای سنجش ناکارایی سیستم دومرحله‌ای تولید و انتقال برق در طی دوره‌های زمانی هدف اصلی پژوهش حاضر است.

1. Data Envelopment Analysis (DEA)
2. Decision Making Units (DMUs)
3. Black Box
4. Window Analysis
5. Malmquist Index
6. Dynamic DEA

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی به ارائه مدل‌های DEA برای ارزیابی کارایی‌های کلی و جزئی سیستم‌های دومرحله‌ای پرداخته‌اند [۱۸]. در بررسی مطالعات سیستم‌های دومرحله‌ای دو رویکرد کلی مدل‌های حاصل‌ضربی و پوششی دیده می‌شود. در بررسی مطالعات رویکرد اول و تحت فرض بازده به مقیاس ثابت، فیر و همکاران (۱۹۹۱، ۱۹۹۶)، مدلی را مبتنی بر رویکردی مرز کارا برای ارزیابی ۱۳۷ کارخانه لبنیات‌سازی در ایالت متحده امریکا ارائه کردند. آن‌ها دریافتند که دقت این مدل دومرحله‌ای از مدل‌های سنتی DEA بیشتر است [۱۲،۱۱]. لیانگ و همکاران (۲۰۰۸)، مدل متمرکز و رهبر- پیرو را با تمرکز بر مفاهیم نظریه بازی‌ها ارائه کردند. نتایج این مطالعه مدل‌هایی خطی هستند که برنامه‌ای نسبتاً منصفانه را برای تجزیه کارایی کل سیستم به کارایی زیرسیستم‌ها دربردارند [۲۰]. کائو و هوانگ (۲۰۰۸)، مدل‌های سنتی DEA را با درنظرگرفتن مجموعه‌ای از روابط بین دو زیرفرایند یک فرایند کلی، اصلاح کردند. در این چارچوب کارایی کل می‌تواند به کارایی زی فرایندها تجزیه شود. این مدل رابطه‌ای[1] دارای اعتبار فراوانی در اندازه‌گیری نمرات کارایی واحدها است و درنتیجه توانایی شناسایی علل ناکارایی‌ها را دارد. بر اساس ساختار این مدل، این ایده می‌تواند برای سیستم‌های چندمرحله‌ای که به‌طور متوالی به یکدیگر مرتبط هستند نیز به کار گرفته شود [۱۶]. چن و همکاران (۲۰۰۹)، مدل رابطه‌ای تحت هر دو فرض بازده به مقیاس ثابت و متغیر ارائه کردند که کارایی کل از مجموع وزن‌های کارایی‌های دو مرحله به‌دست می‌آید [۵]. کوک و همکاران (۲۰۱۰)، نشان دادند که مدل‌های رابطه‌ای و مدل‌های متمرکز معادل مدل مرز کارا هستند [۹]. دو و همکاران (۲۰۱۱)، بر اساس مدل بازی چانه‌زنی[2] هر مرحله را به‌عنوان یک بازیگر در نظر گرفتند و مدلی ارائه کردند که کارایی کل و کارایی هر یک از مراحل را محاسبه می‌کند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، زمانی که تنها یک متغیر میانی بین دو مرحله وجود داشته باشد، این مدل نتایجی معادل مدل‌های DEA استانداردی ارائه می‌دهد که به‌طور مجزا برای هر مرحله به‌کار گرفته می‌شود [۱۰]. ژو و همکاران (۲۰۱۳)، مدل بازی چانه‌زنی را با هدف دستیابی به تجزیه منصفانه کارایی بین مراحل با وجود ثابت‌ماندن کارایی کل سیستم ارائه کردند. حداقل نمرات کارایی برای دو مرحله به‌عنوان نقطه شکست استفاده می‌شود و تجزیه چانه‌زنی منحصربه‌فردی برای محاسبه کارایی کل نیز متعاقباً به‌دست آمده است [۲۷].

رویکرد حاصل‌ضربی در ساختارهای شبکه‌ای با خروجی نامطلوب میانی و به‌خصوص نهایی نیز به‌کار رفته است. سیفورد و ژو (۲۰۰۲)، نشان دادند که مدل‌های استاندارد DEA (با توجه به دو اصل خطی‌بودن و تحدب مدل‌های DEA) می‌توانند برای بهبود عملکرد واحدهای ناکارا با

1. Relational Model
2. Bargaining Game Model

افزایش خروجی مطلوب و کاهش خروجی نامطلوب به‌کار روند؛ همچنین این روش در زمان نیاز به افزایش برخی از ورودی‌ها برای بهبود عملکرد نیز کاربرد دارد [۲۳]. کردرستمی و امیرتیموری (۲۰۰۵)، مدلی چندمرحله‌ای با خروجی نامطلوب نهایی را ارائه کردند که این خروجی‌های نامطلوب با علامت منفی در محاسبات وزن‌های مجازی به‌کار رفته است [۱۹]. ونگ و همکاران (۲۰۱۴)، برمبنای کار چن و همکاران (۲۰۰۹)، چارچوب DEA دومرحله‌ای جمعی با خروجی نامطلوب نهایی را ارائه کردند که برای تحلیل کارایی‌های بانک‌های تجاری چین به‌کار رفت. ارزیابی کارایی دومرحله اصلی (جمع‌آوری سپرده و کسب درآمد) با هدف شناسایی منبع ناکارایی کل سیستم بانکی صورت گرفته است. نتایج این بررسی نشان داد که مدل دومرحله‌ای در مقایسه با رویکرد سنتی DEA در دستیابی به هدف مطالعه، یعنی شناسایی منبع ناکارایی کل سیستم، موفق عمل کرده است و منبع ناکارایی سیستم بانکی چین در مرحله تولید سپرده شناسایی شد [۲۶].

در بررسی مطالعات رویکرد دوم که رویکرد پوششی است، فیر و گروسکوف (۲۰۰۰)، مجموعه امکان تولید و درنتیجه مدل‌های پوششی را برای ساختار سیستم‌های شبکه‌ای ارائه نمودند. درواقع ساختارهای عمومی مدل‌های شبکه‌ای در بسیاری از مؤسسات و شرایط مختلف قابل کاربرد هستند [۱۳]. چن و ژو (۲۰۰۴)، مدل کارایی پوششی را جهت مرز کارای فرایندهای تولیدی دومرحله‌ای مرتبط با یکدیگر که خروجی مرحله اول به‌عنوان ورودی مرحله دوم است را ارائه کردند. مجموعه‌ای از شرکت‌های فعال در صنعت بانکداری به‌عنوان مبنای مطالعه در نظر گرفته شدند. توصیف اثر غیرمستقیم فناوری اطلاعات بر عملکرد شرکت‌ها، شناسایی مرز کارای حاصل از ارزش افزوده مراحل سرمایه‌گذاری فناوری اطلاعات، تولید سود و درنهایت مشخص‌کردن برترین شرکت‌هایی که دارای عملکرد الگو در این زمینه هستند، از نتایج این مطالعه به‌شمار می‌آید [۶]. چن و یان (۲۰۱۱)، مدل DEA شبکه‌ای را برای ارزیابی کارایی عملکرد زنجیره تأمین ارائه کردند. در این مطالعه سه مدل DEA شبکه‌ای متفاوت برای سیستم‌های سازمانی دارای تمرکز، عدم‌تمرکز و ترکیبی، بررسی و ارائه شد. تحلیل کارایی به‌ترتیب، شامل بررسی ارتباط بین زنجیره تأمین و عرضه و ارتباط بین سه مکانیسم سازمانی مختلف بود؛ همچنین اتلاف منابع درونی زنجیره تأمین نیز بررسی شد [۷]. تونه و تیسوتسویی (۲۰۰۹)، مدل DEA شبکه‌ای بر مبنای متغیرهای کمکی[1] برای ارزیابی کارایی کلی و مراحل دوگانه فرایندهای دومرحله‌ای مختلف ارائه کردند. این مدل توانایی ارزیابی کارایی سیستم را به‌صورت منطقی‌تری نسبت به سایر مدل‌ها دارد؛ زیرا در محاسبات مربوط به ارزیابی کارایی، اهمیت زیرسیستم‌ها را وارد محاسبات می‌کند [۲۴]. کوک و همکاران (۲۰۱۰)، نشان دادند که

1. Network SBM

مدل‌های رابطه‌ای و مدل‌های متمرکز معادل مدل «مرز کارا» هستند؛ همچنین مدل‌های پوششی را به‌عنوان دوگان مدل‌های حاصل‌ضربی نشان دادند؛ البته ارتباط این دو مدل چندان واضح به نظر نمی‌رسد [۱۲].

رویکرد پوششی در ساختارهای شبکه‌ای با خروجی نامطلوب میانی و به‌خصوص نهایی نیز به‌کار رفته است. فوکویاما و وبر (۲۰۱۰)، کارایی بانک‌های ژاپنی را با ساختار شبکه‌ای بر مبنای متغیرهای کمکی با خروجی نامطلوب نهایی ارزیابی و مدل حاصل‌ضربی را به‌عنوان دوگان مدل پوششی ارائه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ساختار دومرحله‌ای در مقایسه با ساختار تک‌مرحله‌ای در شناسایی منابع ناکارایی سیستم بانکی کارایی بیشتری دارد [۱۴]. لوزانو و همکاران (۲۰۱۳)، مدل DEA شبکه‌ای بر مبنای تابع فاصله‌ای با خروجی‌های مطلوب و نامطلوب نهایی ارائه کردد. این مدل برای مدل‌سازی و الگوبرداری عملکرد فرودگاه‌های اسپانیا در سال ۲۰۰۸ به‌کار رفت و نتایج آن با فرایند یک‌مرحله‌ای تابع فاصله‌ای مقایسه شد. نتایج نشان داد که تابع فاصله‌ای شبکه‌ای نسبت به همتای تک‌مرحله‌ای خود ناکارایی‌ها را بیشتر آشکار کرده و نتایج معتبرتری ارائه می‌کند [۲۱]. چن و همکاران (۲۰۱۲)، مدل چندفعالیتی مبتنی بر ساختار شبکه‌ای برای ارزیابی تأسیسات کوره‌ای در تایوان ارائه کردند. کارایی‌های مربوط به مراحل تصفیه ضایعات و تولید برق به‌عنوان یک ساختار یکپارچه ارزیابی شدند [۸]. مقبولی و همکاران (۲۰۱۴)، مدلی متمرکز را در دو حالت و با خروجی نامطلوب میانی و نهایی بررسی کردند [۲۲].

همان‌طور که ملاحظه شد رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در شرایط ثابت به‌کار برده می‌شود؛ به این معنا که اثر تغییرات زمان را نادیده می‌گیرند. این امر می‌تواند به نظر گمراه‌کننده باشد؛ زیرا تغییر شرایط در طی زمان می‌تواند به سمت استفاده بیشتر از منابع برای تولید نتایج مطلوب گرایش داشته باشد. در DEA سنتی مدل‌های ناپارامتریک برای سنجش کارایی در طی زمان وجود دارد که ازجمله این مدل‌ها می‌توان روش تحلیل پنجره[1]، شاخص مالم‌کوئیست[2] و رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پویا[3] را نام برد؛ اما در زمینه ارزیابی کارایی سیستم‌های فرایندی در طی زمان مطالعات اندکی صورت گرفته و مدل‌های شبکه‌ای پویا در قالب فرمولاسیون مختلف ارائه شده است که برای نمونه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

تونه و تیسوتسویی (۲۰۱۴)، مدل DEA پویا مبتنی بر ساختار شبکه‌ای در هر دوره زمانی و بر اساس رویکرد مبتنی بر سنجه‌های کمکی (SBM) ارائه کردند. در این بررسی مدل شبکه‌ای مبتنی بر سنجه‌های کمکی و مدل‌های مبتنی بر سنجه‌های کمکی پویا با یکدیگر ترکیب شدند.

1. Window Analysis
2. Malmquist Index
3. Dynamic DEA

بخش‌های مختلف از طریق ارتباط ساختار شبکه‌ای در هر دوره و از نظر افق زمانی، مفهوم انتقال فعالیت‌ها بین دو دوره متوالی را با ساختار شبکه‌ای ترکیب کرده است. این مدل توانایی ارزیابی کارایی کل در تمام دوره‌های تحت‌مشاهده، تغییر پویای کارایی هر دوره و تغییر پویای کارایی هر بخش را دارد؛ همچنین تحت هر دو فرض بازده به مقیاس ثابت و متغیر و ورودی-خروجی‌گرا و بدون گرایش قابلیت کاربرد دارد [۲۵]. آوکران (۲۰۱۵)، مدل DEA شبکه‌ای پویا با تأکید بر تحلیل استواری[1] را برای ارزیابی کارایی بانک‌های تجاری به‌کار گرفت. زمانی که ابعاد شبکه‌ای و پویایی با هم به‌کار می‌روند، تحلیل کامل‌تری از کارایی روابط بین دوره‌ها و بخش‌ها در دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۰ به‌دست می‌دهد. مدل DEA شبکه‌ای پویای مبتنی بر سنجه‌های کمکی بدون گرایش، بازده به مقیاس متغیر و موزون در چارچوبی از رویکرد میانجی‌گرانه به ارزیابی رفتار بانک به‌کار رفته است. این مدل دارای خروجی نامطلوب میانی و نهایی است که از یک دوره به دوره دیگر منتقل می‌شود. با استفاده از تحلیل استواری، برنامه واضحی برای بحث درباره تفاوت بین نمرات کارایی، ابعاد مدل عملکرد، ثبات تخمین‌های روش، حساسیت نتایج به وزن‌های بخش‌ها دارد و با مفروضات بازده به مقیاس ثابت ارائه شده است [۳].

رسترپو و همکاران (۲۰۱۶)، عملیاتی دارای چند چشم‌انداز، سیستم و فرایند را در نظر گرفتند و نشان دادند که چگونه رویکرد اندازه‌گیری عملکرد شبکه‌ای پویا برای اندازه‌گیری عملکرد سیستمی از سیستم‌ها کاربرد مفیدی دارد. در این مطالعه دو چشم‌انداز مختلف از طریق خروجی‌های میانی و انتقال بین ورهای به‌وسیله فرایندهای هر یک از چشم‌اندازها به یکدیگر متصل شدند. درواقع رویکرد DEA شبکه‌ای پویای مبتنی بر سنجه‌های کمکی را با مهندسی ترافیک و نظریه اجتماعی و رفتاری عمل حفاظتی ترکیب می‌کند [۱۵].

در این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد سیستم‌های شبکه‌ای در طی زمان، ترکیب تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با تحلیل پنجره مدنظر قرار گرفت؛ از طرفی صنعت برق ایران، دربردارنده سه مرحله تولید، انتقال و توزیع نیروی برق است و ماهیتی چندمرحله‌ای دارد؛ بنابراین در این پژوهش از مدل‌های شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای برای سنجش کارایی کلی و کارایی فرایندهای نواحی تولید و انتقال نیرو در صنعت برق ایران استفاده شده است.

با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، طراحی مدلی دومرحله‌ای با هدف ارزیابی کارایی دو مرحله تولید و انتقال برق یکی از جنبه‌های نوآوری پژوهش حاضر است. مدل پیشنهادی بر اساس مطالعات صورت‌گرفته و با توجه به تفاوت‌های اساسی موردمطالعه در صنعت برق ایران ارائه شده است.

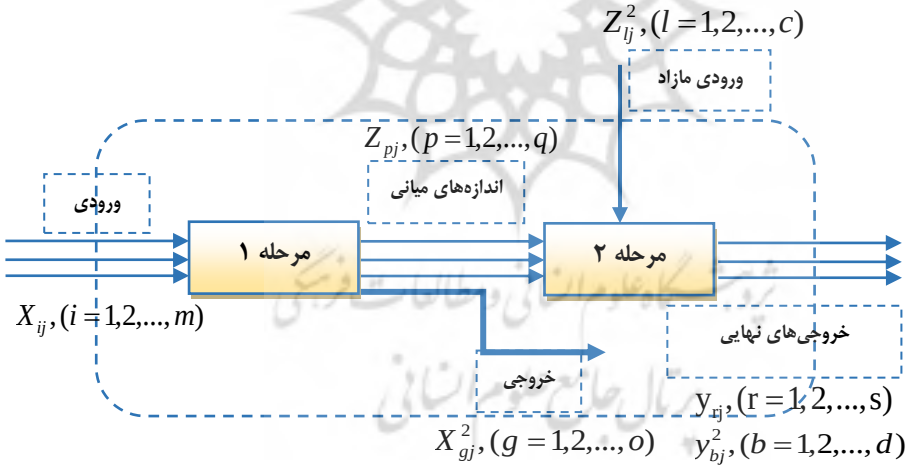
1. Testing Robustness

۳. روش‌شناسی پژوهش

تعیین شاخص‌های ارزیابی. در این پژوهش بر اساس مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای خلیلی و شهمیر (۲۰۱۵)، مدلی ارائه می‌شود که در آن متغیرهای مطلوب و نامطلوب در نظر گرفته خواهد شد. در این مدل متغیر خروجی نامطلوب نهایی به‌عنوان متغیر ورودی در مدل در نظر گرفته می‌شود [۱۷].

هر واحد تصمیم‌گیرنده $DMU_j, (j=1,2,...,n)$ دارای m متغیر ورودی $X_{ij}, (i=1,2,...,m)$ در مرحله ۱ هستند که q خروجی را تولید می‌کنند. بخشی از این خروجی‌ها به‌عنوان ورودی مرحله دوم $Z_{pj}, (p=1,2,...,q)$ برخی وارد مرحله دوم فرایند واحدها نمی‌شوند که با نماد $X^2_{gj}, (g=1,2,...,o)$ نشان داده می‌شود. مرحله دوم علاوه بر متغیرهای دریافتی از مرحله اول دارای متغیرهای ورودی دیگری نیز است که از مرحله قبل تولید نشده و به‌صورت $Z^2_{lj}, (l=1,2,...,c)$ نمایش داده می‌شود. خروجی نهایی سیستم شامل دو نوع متغیر خروجی مطلوب و نامطلوب $y^2_{bj}, (b=1,2,...,d)$ و $y_{rj}, (r=1,2,...,s)$ است.

مفروضات اصلی مدل نیز به این صورت است که e_j, e^1_j, e^2_j به‌ترتیب از چپ به راست، به‌عنوان نمرات کارایی کل، نمرات کارایی مرحله اول و نمرات کارایی مرحله دوم در نظر گرفته می‌شود. فرایند دومرحله‌ای 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 ۱، نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل دومرحله‌ای با خروجی‌های مطلوب و نامطلوب میانی و نهایی

تحلیل پنجره DEA. روش تحلیل پنجره با امکان‌پذیرساختن ترکیب مشاهدات در سری‌های زمانی و مقطعی تا حدودی مشکل ناکافی‌بودن مشاهدات را در ارزیابی‌های زمانی برطرف می‌کند. در این روش با هر واحد در یک دوره متفاوت، همانند یک واحد مستقل رفتار می‌شود. در این صورت، عملکرد یک واحد در یک دوره خاص در مقابل عملکرد خود آن واحد در سایر دوره‌ها، علاوه بر عملکرد سایر واحدها ارزیابی می‌شود. این وضعیت تعداد دوره‌های موردبررسی در تحلیل را افزایش می‌دهد که در هنگام مطالعه نمونه‌هایی در اندازه کوچک مفید است.

ازآنجاکه تمامی واحدها در یک پنجره نسبت به همدیگر اندازه‌گیری می‌شوند، این روش به‌طور ضمنی فرض می‌کند که هیچ تغییر تکنیکی در هر هیچ یک از پنجره‌ها وجود ندارد. با کاهش عرض پنجره این مشکل کاهش می‌یابد و جهت اعتباربخشیدن به تحلیل پنجره، عرض پنجره باید طوری انتخاب شود که چشم‌پوشی از تغییرات تکنیکی منطقی باشد [۲].

تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای بر اساس تحلیل پنجره DEA. در رابطه با ارزیابی عملکرد سیستم‌های دنیای واقعی که از زیرسیستم‌های متوالی، موازی یا ترکیبی تشکیل شده‌اند، مطالعات بسیاری صورت گرفته است؛ اما در رابطه با ارزیابی عملکرد این سیستم‌ها در طی زمان مطالعات اندکی صورت گرفته است. این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد این‌گونه سیستم‌ها در طی زمان و با توجه به ویژگی‌های تحلیل پنجره DEA، به‌دنبال استفاده از ویژگی مجموعه امکان ادغام‌شده این مدل بوده و تحلیل پنجره DEA را با تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ادغام نموده است؛ بنابراین بر اساس مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای خلیلی و شهمیر (۲۰۱۵) و ویژگی مجموعه امکان ادغام شده تحلیل پنجره، مدلی ارائه می‌شود که در آن متغیرهای مطلوب و نامطلوب در نظر گرفته خواهد شد. در این مدل متغیر خروجی نامطلوب نهایی به‌عنوان متغیر ورودی در مدل در نظر گرفته می‌شود [۱۷].

با تعریف کارایی به‌صورت نسبت مجموع موزون خروجی‌ها بر مجموع موزون ورودی‌ها، تحت فرض بازده به مقیاس ثابت می‌توان مدل کسری سنجش کارایی کل سیستم را به‌صورت مدل ۱، نوشت.

در این مدل، تابع هدف نشان‌دهنده کارایی کل سیستم است. محدودیت‌ها نیز به‌ترتیب نمایانگر کارایی مراحل اول و دوم هستند.

$$e_0 = Max \frac{\sum_{r=1}^{s} u'_r y_{r0} + \sum_{g=1}^{o} n'_g x_{g0}^2}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{i0} + \sum_{l=1}^{c} k'_l z_{l0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w'_b y_{b0}^2}$$

مدل (۱)

$$s.t: \quad \frac{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{g=1}^{o} n'_g x_{gj}^2}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{ij}} \le 1$$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u'_r y_{rj}}{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{l=1}^{c} k'_l z_{lj}^2 + \sum_{b=1}^{d} w'_b y_{b0}^2} \le 1$$

$$v'_i \ge 0, i = 1,2,...,m$$
$$h'_p \ge 0, p = 1,2,...,q$$
$$n'_g \ge 0, g = 1,2,...,o$$
$$u'_r \ge 0, r = 1,2,...,s$$
$$k_l' \ge 0, l = 1,2,...,c$$
$$w'_b \ge 0, b = 1,2,...,d$$

در مدل ۱، ارزش e_0 نشان‌دهنده کارایی کل واحدهای تصمیم‌گیرنده تحت‌ارزیابی با خروجی نامطلوب نهایی است. مدل ۱، نمایانگر مدلی غیرخطی است که می‌توان آن را به مدل خطی تبدیل کرد. بر اساس مطالعه بیسچاپ (۲۰۱۲) و با روش تغییر متغیر می‌توان به‌صورت زیر مدل ۱ را به مدل خطی ۲ تبدیل کرد [۴]:

$$t = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{i0} + \sum_{l=1}^{c} k'_l z_{l0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w'_b y_{b0}^2}$$

رابطه (۱)

$$v'_i t = v_i, i = 1,2,...,m$$
$$h'_p t = h_p, p = 1,2,...,q$$
$$n'_g t = n_g, g = 1,2,...,o$$
$$u'_r t = u_r, r = 1,2,...,s$$
$$k_l' t = k_l, l = 1,2,...,c$$
$$w'_b t = w_b, b = 1,2,...,d$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

با استفاده از رابطه ۱، مدل ارزیابی کارایی کل سیستم خطی می‌شود و مدل ۲، به‌دست می‌آید. در این مدل اندیس t به تمام ضرایب و متغیرهای سنجش کارایی اضافه شده است. این اندیس نشان‌دهنده تعداد دوره‌های زمانی موجود در تحلیل است. تحلیل پنجره با فرض عدم‌وجود انتقال بین مرزهای کارای در دوره‌های تحت‌ارزیابی، کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در دوره‌های موردنظر را در یک مجموعه واحد محاسبه می‌کند. در این حالت تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده به تعداد $(n\times t)$ افزایش می‌یابد؛ بنابراین با فرض عدم‌وجود انتقال مرز، با افزودن اندیس زمان، تابع هدف نشان‌دهنده مجموع موزون خروجی‌های مطلوب سیستم در دوره‌های زمانی موجود در تحلیل خواهد بود.

مدل (۲)

$$e_0 = \text{Max} \sum_{r=1}^{s} u_{rt} y_{rt0} + \sum_{g=1}^{o} n_{gt} x_{gt0}^2$$

$$\text{s.t}: \quad \sum_{p=1}^{q} h_{pt} z_{ptj} + \sum_{g=1}^{o} n_{gt} x_{gtj}^2 - \sum_{i=1}^{m} v_{it} x_{itj} \le 0$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_{rt} y_{rtj} - \sum_{p=1}^{q} h_{pt} z_{ptj} - \sum_{l=1}^{c} k_{lt} z_{ltj}^2 - \sum_{b=1}^{d} w_{bt} y_{btj}^2 \le 0$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_{it} x_{it0} + \sum_{l=1}^{c} k_{lt} z_{lt0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w_{bt} y_{bt0}^2 = 1$$

$$v_{it} \ge 0, (i = 1, 2, ..., m), (t = 1, 2, ..., T)$$

$$h_{pt} \ge 0, (p = 1, 2, ..., q), (t = 1, 2, ..., T)$$

$$u_{rt} \ge 0, (r = 1, 2, ..., s), (t = 1, 2, ..., T)$$

$$n_{gt} \ge 0, (g = 1, 2, ..., o), (t = 1, 2, ..., T)$$

$$k_{lt} \ge 0, (l = 1, 2, ..., c), (t = 1, 2, ..., T)$$

$$w_{bt} \ge 0, (b = 1, 2, ..., d), (t = 1, 2, ..., T)$$

$$j = 1, 2, ..., n$$

همانند مدل ۱، کارایی مرحله اول سیستم را به‌صورت مدل کسری و در قالب مدل ۳، می‌توان نوشت.

$$e^{1+} = Max \frac{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{p0} + \sum_{g=1}^{o} n'_g x^2_{g0}}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{i0}}$$

$$s.t: \quad \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} + \sum_{g=1}^{o} n_g x^2_{g0} = e^*_0$$

$$\frac{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{g=1}^{o} n'_g x^2_{g0}}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{ij}} \leq 1$$

مدل (۳)

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u'_r y_{rj}}{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{l=1}^{c} k_l z^2_{lj} + \sum_{b=1}^{d} w'_b y^2_{bj}} \leq 1$$

$$v'_i \geq 0, i = 1,2,\ldots,m$$
$$h'_p \geq 0, p = 1,2,\ldots,q$$
$$n'_g \geq 0, g = 1,2,\ldots,o$$
$$u'_r \geq 0, r = 1,2,\ldots,s$$
$$k_l{}' \geq 0, l = 1,2,\ldots,c$$
$$w'_b \geq 0, b = 1,2,\ldots,d$$

حداکثر ارزش قابل‌دسترسی برای e^1_j همان e^{1+}_0 است که همان ارزش بهینه تابع هدف مدل ۳ است. این مدل یک مدل برنامه‌ریزی کسری است و حل آن از طریق یک راه‌حل بهینه سراسری دشوار است؛ بنابراین همانند مدل دستیابی به کارایی کلی، مدل خطی نظیر آن با روش تغییر متغیر و در قالب مدل ۴، نوشته می‌شود:

پرتال جامع علوم انسانی

رابطه (۲)

$$
\begin{aligned}
& t = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{i0}} \\
& v'_i = 0, i = 1, 2, ..., m \\
& h'_p = 0, p = 1, 2, ..., q \\
& n'_g = 0, g = 1, 2, ..., o \\
& u'_r = 0, r = 1, 2, ..., s \\
& k'_l = 0, l = 1, 2, ..., c \\
& w'_b = 0, b = 1, 2, ..., d \\
& t \succ 0
\end{aligned}
$$

مدل ۴، کارایی مرحله اول سیستم را در مجموعه امکان ادغام‌شده تحلیل پنجره محاسبه می‌کند. تابع هدف نشان‌دهنده مجموع موزون خروجی‌های مرحله اول سیستم است. محدودیت اول نیز به‌ترتیب مجموع موزون خروجی‌های سیستم را برابر کارایی کل سیستم قرار می‌دهد. محدودیت دوم و سوم نیز کارایی مراحل اول و دوم را کمتر یا مساوی یک قرار می‌دهند.

مدل (۴)

$$
\begin{aligned}
& e_0^{1+} = \mathrm{Max} \sum_{p=1}^{q} h_{pt} z_{pt0} + \sum_{g=1}^{o} n_{gt} x_{gt0}^2 \\
& \text{s.t}: \quad \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} + \sum_{g=1}^{o} n_g x_{g0}^2 = e_0^* \\
& \sum_{p=1}^{q} h_{pt} z_{ptj} + \sum_{g=1}^{o} n_{gt} x_{gtj}^2 - \sum_{i=1}^{m} v_{it} x_{itj} \le 0 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_{rt} y_{rtj} - \sum_{p=1}^{q} h_{pt} z_{ptj} - \sum_{l=1}^{c} k_{lt} z_{ltj}^2 - \sum_{b=1}^{d} w_{bt} y_{btj}^2 \le 0 \\
& \sum_{i=1}^{m} v_{it} x_{it0} = 1 \\
& v_{it} \ge 0, (i = 1, 2, ..., m), (t = 1, 2, ..., T) \\
& h_{pt} \ge 0, (p = 1, 2, ..., q), (t = 1, 2, ..., T) \\
& u_{rt} \ge 0, (r = 1, 2, ..., s), (t = 1, 2, ..., T) \\
& n_{gt} \ge 0, (g = 1, 2, ..., o), (t = 1, 2, ..., T) \\
& k_{lt} \ge 0, (l = 1, 2, ..., c), (t = 1, 2, ..., T) \\
& w_{bt} \ge 0, (b = 1, 2, ..., d), (t = 1, 2, ..., T) \\
& j = 1, 2, ..., n
\end{aligned}
$$

با توجه به تعریف کارایی، مدل ۵، نیز نشان‌دهنده کارایی کسری مرحله دوم است. در این مدل علاوه بر محدودیت‌های کارایی مراحل اول و دوم، محدودیتی در مدل وجود دارد که کارایی کل سیستم را کوچک‌تر یا مساوی کارایی کل قرار می‌دهد.

مدل (۵)

$$e^{2+} = \text{Max} \frac{\sum_{r=1}^{s} u'_r y_{r0}}{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{p0} + \sum_{l=1}^{c} k'_l z_{l0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w'_b y_{b0}^2}$$

$$\text{s.t}: \quad \frac{\sum_{r=1}^{s} u'_r y_{r0} + \sum_{g=1}^{o} n'_g x_{g0}^2}{\sum_{i=1}^{m} v'_i x_{i0} + \sum_{l=1}^{c} k'_l z_{l0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w'_b y_{b0}^2} \le e_0^*$$

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

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u'_r y_{rj}}{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{pj} + \sum_{l=1}^{c} k'_l z_{lj}^2 + \sum_{b=1}^{d} w'_b y_{bj}^2} \le 1$$

$$v'_i \ge 0, i = 1, 2, \ldots, m$$
$$h'_p \ge 0, p = 1, 2, \ldots, q$$
$$n'_g \ge 0, g = 1, 2, \ldots, o$$
$$u'_r \ge 0, r = 1, 2, \ldots, s$$
$$k_l' \ge 0, l = 1, 2, \ldots, c$$
$$w'_b \ge 0 b = 1, 2, \ldots, d$$
$$t \succ 0$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

حداکثر ارزش قابل‌دسترسی برای e_j^2 همان e_0^{2+} است که همان ارزش بهینه تابع هدف مدل ۵، است. مدل ۵، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی کسری است و حل آن از طریق یک راه‌حل بهینه سراسری دشوار است؛ بنابراین همانند مدل دستیابی به کارایی کلی، مدل خطی نظیر آن با روش تغییر متغیر و در قالب مدل ۶، نوشته می‌شود:

$$t = \frac{1}{\sum_{p=1}^{q} h'_p z_{p0} + \sum_{l=1}^{c} k_l z_{l0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w'_b y_{b0}^2}$$

رابطه (۳)

$$v'_i = 0, i = 1, 2, \ldots, m$$
$$h'_p = 0, p = 1, 2, \ldots, q$$
$$n'_g = 0, g = 1, 2, \ldots, o$$
$$u'_r = 0, r = 1, 2, \ldots, s$$
$$k'_l = 0, l = 1, 2, \ldots, c$$
$$w'_b = 0, b = 1, 2, \ldots, d$$
$$t \succ 0$$

بنابراین همانند مدل‌های ۲ و ۴، مدل ۶ با اندیس t نوشته می‌شود.

مدل (۶)

$$e^{2+} = \text{Max} \sum_{r=1}^{s} u_{rt} y_{rt0}$$

$$\text{s.t}: \quad \sum_{r=1}^{s} u_{rt} y_{rt0} + \sum_{g=1}^{o} n_{gt} x_{gt0}^2 - e_0^* \left(\sum_{i=1}^{m} v_{it} x_{it0} + \sum_{l=1}^{c} k_{lt} z_{lt0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w_{bt} y_{bt0}^2 \right) \le 0$$

$$\sum_{p=1}^{q} h_{pt} z_{ptj} + \sum_{g=1}^{o} n_{gt} x_{gtj}^2 - \sum_{i=1}^{m} v_{it} x_{itj} \le 0$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_{rt} y_{rtj} - \sum_{p=1}^{q} h_{pt} z_{ptj} - \sum_{l=1}^{c} k_{lt} z_{ltj}^2 - \sum_{b=1}^{d} w_{bt} y_{btj}^2 \le 0$$

$$\sum_{p=1}^{q} h_{pt} z_{pt0} + \sum_{l=1}^{c} k_{lt} z_{lt0}^2 + \sum_{b=1}^{d} w_{bt} y_{bt0}^2 = 1$$

$$v_{it} \ge 0, (i = 1, 2, \ldots, m), (t = 1, 2, \ldots, T)$$
$$h_{pt} \ge 0, (p = 1, 2, \ldots, q), (t = 1, 2, \ldots, T)$$
$$u_{rt} \ge 0, (r = 1, 2, \ldots, s), (t = 1, 2, \ldots, T)$$
$$n_{gt} \ge 0, (g = 1, 2, \ldots, o), (t = 1, 2, \ldots, T)$$
$$k_{lt} \ge 0, (l = 1, 2, \ldots, c), (t = 1, 2, \ldots, T)$$
$$w_{bt} \ge 0, (b = 1, 2, \ldots, d), (t = 1, 2, \ldots, T)$$
$$J = 1, 2, \ldots, n$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی است؛ زیرا نتایج این مطالعه می‌تواند در نیروگاه‌ها و شرکت‌های برق منطقه‌ای ایران، شرکت مادر تخصصی توانیر و وزارت نیرو موردبهره‌برداری قرار گیرد.

در این پژوهش نواحی تولید و انتقال برق در صنعت برق ایران به‌عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته شد. نواحی انتقال برق در سطح کشور شامل ۱۶ منطقه تولید و انتقال برق است. جامعه آماری دربردارنده ۱۶ ناحیه تولید و انتقال، شامل نیروگاه‌ها و شرکت‌های برق منطقه‌ای (DMU) است که عبارت‌اند از: نواحی آذربایجان، اصفهان، باختر، تهران، خراسان، خوزستان، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، غرب، فارس، کرمان، گیلان، مازندران، هرمزگان و یزد.

تولید برق در نیروگاه‌ها صورت می‌گیرد. نیروگاه، مجموعه‌ای از تأسیسات صنعتی است که برای تولید انرژی الکتریکی از آن استفاده می‌شود. نیروگاه‌ها بسته به نوع فناوری به‌کاررفته در آن‌ها و منابع انرژی دردسترس متفاوت هستند [۲۱]. وظیفه اصلی یک نیروگاه، تبدیل انرژی از دیگر شکل‌های آن مانند انرژی شیمیایی، هسته‌ای، پتانسیل گرانشی و غیره به انرژی الکتریکی است. وظیفه اصلی تقریباً در همه نیروگاه‌ها بر عهده مولد یا ژنراتور است. ژنراتور ماشین دواری است که انرژی جسم سیال را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. انرژی موردنیاز برای چرخاندن یک ژنراتور از راه‌های مختلفی تأمین می‌شود و غالباً به‌منظور ایجاد بیشترین بازدهی و حداقل‌کردن هزینه‌ها و همچنین میزان دسترسی به منابع مختلف انرژی در آن منطقه و دانش فنی گروه سازنده بستگی دارد [۱].

فرایند جابه‌جایی توان الکتریکی را انتقال انرژی الکتریکی می‌گویند. این فرایند معمولاً شامل انتقال انرژی الکتریکی از مولد یا تولیدکننده به پست‌های توزیع نزدیک شهرها یا مراکز تجمع صنایع است و پس از آن، یعنی تحویل انرژی الکتریکی به مصرف‌کننده‌ها، در محدوده توزیع انرژی الکتریکی است [۴]. انتقال انرژی الکتریکی این امکان را فراهم می سازد تا به‌سادگی و بدون پذیرفتن هزینه حمل سوخت‌ها و همچنین جدای از آلودگی تولیدشده از سوختن سوخت‌ها در نیروگاه، از انرژی الکتریکی بهره‌گیری شود؛ حال آنکه در بسیاری موارد انتقال منابع انرژی مانند باد یا آب سدها غیرممکن است و تنها راه ممکن انتقال انرژی الکتریکی است [۲].

انرژی الکتریکی تولیدشده در نیروگاه‌ها توسط تأسیسات انتقال شامل پست‌ها و خطوط انتقال و فوق‌توزیع، به ورودی‌های شبکه توزیع تحویل می‌گردد تا از طریق شبکه توزیع به مصرف‌کنندگان نهایی برسد. ولتاژ خطوط انتقال نیرو در کشور در سطوح ۴۰۰، ۲۳۰ و خطوط فوق‌توزیع در سطوح ۱۳۲، ۶۶ و ۶۳ کیلوولت است. خطوط و پست‌های انتقال و فوق‌توزیع

پاسخگوی نیاز مصرف مشترکین برق، افزایش پایداری و قابلیت اطمینان سیستم و اتصال و مبادله انرژی با کشورهای همسایه است.

متغیرهای ورودی و خروجی پژوهش. برای ارزیابی کارایی به متغیرهایی نیاز است که بتوانند نتیجه درستی از عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده را ارائه دهند. انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی یکی از مهم‌ترین گام‌ها در ارزیابی کارایی نیروگاه‌ها و شرکت‌های برق منطقه‌ای به روش تحلیل پوششی داده‌ها است؛ به‌عبارت‌دیگر عدم‌انتخاب صحیح متغیرهای موردنیاز، نتایج ارزیابی شرکت‌های برق منطقه‌ای را بی‌اعتبار می‌سازد.

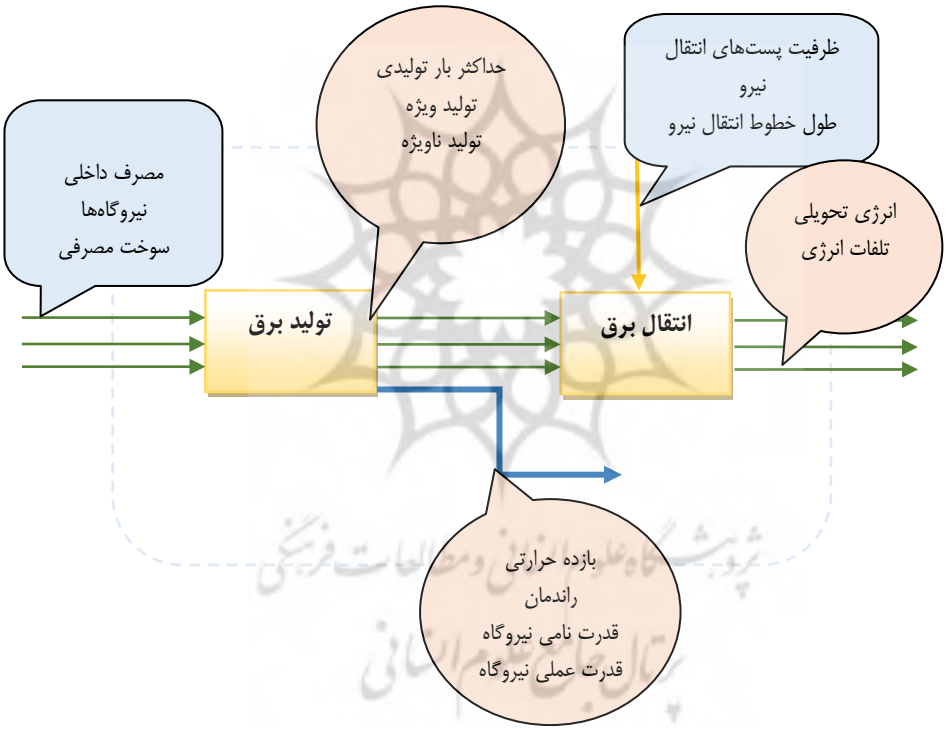
در این پژوهش با استفاده از مطالعات پیشین، امکان دسترسی به داده‌ها و نظرهای متخصصان و کارشناسان ارشد صنعت برق، متغیرهای ورودی و خروجی انتخاب شده که به‌طور خلاصه در قالب جدول ۱، بیان شده است.

جدول ۱. متغیرهای ورودی و خروجی مراحل تولید و انتقال برق

	متغیرها	تعریف
متغیرهای ورودی	مصارف داخلی نیروگاه‌ها	مقدار انرژی الکتریکی که توسط تجهیزات کمکی و جنبی یک واحد برای راهبری آن، چه در حالت کار و چه در حالت توقف، لازم است و برحسب کیلووات ساعت و در طول یک دوره مشخص محاسبه می‌شود.
	سوخت مصرفی	میزان سوخت مصرفی نیروگاه
	طول خطوط انتقال ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولتی	مجموع فاصله دکل‌های خط بین دو نقطه مبدأ خط و مقصد آن یا اولین پست بعد از پست مبدأ به کیلومتر است؛ به‌عبارت‌دیگر طول مسیر یک مدار یا خط الکتریکی (متر یا کیلومتر)، اعم از هوایی یا زیرزمینی عبارت است از: طول تصویر واقعی آن.
	طول خطوط فوق‌توزیع ۱۳۲ و ۶۳ (۶۶) کیلوولتی	
	ظرفیت پست‌های انتقال ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولتی	ظرفیت نامی یک ایستگاه برق بر اساس مجموع قدرت ظاهری ترانسفورماتورهای نصب‌شده در آن بر حسب مگاولت آمپر و یا بر اساس ظرفیت حرارتی ترانسفورماتورها برحسب کیلوآمپر است.
	ظرفیت پست‌های فوق‌توزیع ۱۳۲ و ۶۳ (۶۶) کیلوولتی	
متغیرهای خروجی	قدرت نامی نیروگاه‌ها	قدرت نامی یک دستگاه توربین یا دستگاه تولیدی نیروی محرکه از طرف سازنده بر روی پلاک مشخصات آن برای شرایط معینی برحسب اسب بخار یا مگاوات نوشته شده است. در ماشین‌های کوچک قدرت نامی بر حسب کیلووات مشخص می‌شود.
	قدرت عملی نیروگاه‌ها	بیشترین توان قابل‌تولید مولد در محل نصب با درنظرگرفتن شرایط محیطی (ارتفاع از سطح دریا، دمای محیط و رطوبت نسبی) است.
	حداکثر بار تولیدی در پیک همزمان	حداکثر بار همزمان از مجموع بار حداکثر شبکه به‌هم‌پیوسته و بار مناطق مجزا به مگاوات، به‌طور همزمان به‌دست می‌آید. با توجه به اختلاف ساعت پیک در مناطق مختلف وابسته به یک سیستم سراسری به‌هم‌پیوسته، حداکثر بار

	همزمان کمتر از جمع بار حداکثر مناطق است.
تولید ناویژه نیروگاه‌ها	جمع انرژی تولیدی مولدهای برق یک نیروگاه که در طی یک دوره زمانی معین (برای مثال، یک سال) روی پایانه خروجی مولدها برحسب کیلووات ساعت یا مگاوات ساعت اندازه‌گیری می‌شود.
تولید ویژه	تولید انرژی ویژه، عبارت است از: تولید انرژی برق ناویژه منهای مصرف داخلی نیروگاه‌ها در یک دوره معین و برحسب کیلووات ساعت یا مگاوات ساعت محاسبه می‌شود.
راندمان	از طریق فرمول به‌دست می‌آید که همان نسبت خروجی به ورودی‌ها است.
بازده حرارتی	مقدار انرژی که از سوختن یک واحد سوخت به‌دست می‌آید و برحسب کیلوکالری سنجیده می‌شود.

با استفاده از مدل پیشنهادی پژوهش (شکل ۱) و متغیرهای انتخاب‌شده، مدل مفهومی پژوهش در قالب شکل ۲، ارائه شده است.



شکل ۲. متغیرهای ورودی و خروجی شبکه‌ای تولید و انتقال نیروی برق ایران

بررسی وضعیت مرزهای کارا بین دوره‌های تحت‌ارزیابی. تحلیل پنجره به‌طور ضمنی فرض می‌کند که تغییر جدی در مرزهای کارای دوره‌های موجود در عرض پنجره وجود ندارد؛ به عبارتی هنگام انتخاب عرض پنجره این فرض اساسی باید رعایت شود. با رعایت این فرض اساسی نمرات کارایی در تحلیل پنجره دربردارنده تغییرات بهره‌وری واحدها و تغییرات جزئی مرزهای کارا در بین دوره‌های موجود در تحلیل هستند. تغییر بهره‌وری یک واحد در بین دو تحلیل متوالی در تحلیل پنجره فقط ناشی از تغییر در عملکرد خود واحد نیست [۲]؛ بلکه انتقال در مرزهای کارا را نیز اندازه‌گیری می‌کند.

در این پژوهش به‌دلیل رعایت ظرافت‌های آماری، آزمون ویل‌کاکسون[1] و فریدمن[2] با اندازه‌های تکراری به‌عنوان جایگزین این دو آزمون مستقل معرفی می‌شوند. آزمون ویل‌کاکسون به‌منظور تعیین وضعیت انتقال مرزها در بین دو دوره زمانی و آزمون فریدمن در بین بیش از دو دوره با هدف تعیین تعداد دوره‌ها در تحلیل پنجره به‌کار می‌رود [۳، ۵].

ابتدا نمرات کارایی واحدها در هر یک از دوره‌ها به‌طور مستقل محاسبه شد. واحدهای بهبودیافته در هر دوره به‌دست آمد و درنهایت نمرات کارایی مجموعه واحدهای کارا و بهبودیافته در یک مجموعه مجدداً محاسبه و با به‌کارگیری آزمون‌های فریدمن و ویل‌کاکسون در سطح معناداری ۱ درصد انجام شد که نتایج آن به‌صورت خلاصه در جدول ۲، آمده است.

جدول ۲. خلاصه‌ای از آزمون‌های آماری

تصمیم نهایی	مقدار بحرانی	آماره آزمون	نوع آزمون	دوره‌ها
پذیرش فرض صفر	± ۱/۶۴۵	-۱/۲۶۹	ویل‌کاکسون	۱۳۹۲-۱۳۹۱
پذیرش فرض صفر	۵/۹۹۱۴۷	۰/۳۲۶	فریدمن	۱۳۹۳-۱۳۹۲-۱۳۹۱

با توجه به نتایج در بین سه دوره موردنظر تغییر مرز کارا رخ نداده است و تحلیل پنجره در سه دوره زمانی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ انجام می‌گیرد.

محاسبه نمرات کارایی. در مرحله اول کارایی ۳۵ نیروگاه در قالب ۱۶ ناحیه با استفاده از مدل ۲ ارزیابی شد. متغیرهای ورودی و خروجی نیروگاه‌ها در ۱۶ ناحیه به‌صورت 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 ۳، ارزیابی

1. Wilcoxon Test
2. Freidman Test

شد؛ درنهایت کارایی کل مرحله تولید و انتقال صنعت برق با استفاده از مدل ۱، مورد ارزیابی قرار گرفت. نمرات کارایی مرحله اول، مرحله دوم و کارایی کل در جدول ۳، آمده است.

جدول ۳. مقادیر کارایی نیروگاه‌های تولید برق و شرکت‌های برق منطقه‌ای

	کارایی کل	کارایی مرحله تولید	کارایی مرحله انتقال برق
		سال ۱۳۹۳	
ناحیه آذربایجان	۰/۷۵۸	۰/۳۲۶	۰/۸۵۶
ناحیه اصفهان	۰/۸۳۱	۰/۳۵۱	۰/۸۷۴
ناحیه باختر	۰/۸۵۷	۰/۲۵۱	۰/۸۵۲
ناحیه تهران	۱/۰۰۰	۰/۳۵۸	۱/۰۰۰
ناحیه خراسان	۱/۰۰۰	۰/۴۵۹	۱/۰۰۰
ناحیه خوزستان	۰/۹۶۵	۰/۲۶۲	۰/۹۶۵
ناحیه زنجان	۰/۸۱۱	۰/۳۲۲	۰/۹۰۰
ناحیه سمنان	۱/۰۰۰	۰/۳۳۱	۱/۰۰۰
ناحیه سیستان	۰/۶۱۹	۰/۳۱۸	۰/۶۹۲
ناحیه غرب	۰/۷۰۵	۰/۳۰۱	۰/۷۱۰
ناحیه فارس	۰/۷۸۷	۰/۵۲۱	۱/۰۰۰
ناحیه کرمان	۰/۷۴۹	۰/۳۱۱	۰/۷۴۹
ناحیه گیلان	۱/۰۰۰	۰/۳۱۴	۱/۰۰۰
ناحیه مازندران	۰/۷۴۷	۰/۳۰۱	۰/۷۴۷
ناحیه هرمزگان	۰/۶۴۳	۰/۳۱۵	۰/۶۴۳
ناحیه یزد	۱/۰۰۰	۰/۲۰۳	۱/۰۰۰
		سال ۱۳۹۲	
ناحیه آذربایجان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۲۷
ناحیه اصفهان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
ناحیه باختر	۰/۶۹۷	۰/۶۵۹	۰/۶۹۷
ناحیه تهران	۰/۹۵۱	۰/۵۳۹	۰/۹۵۱
ناحیه خراسان	۰/۹۷۵	۰/۵۵۷	۰/۹۹۹
ناحیه خوزستان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
ناحیه زنجان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۰۸
ناحیه سمنان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۶۱
ناحیه سیستان	۰/۵۸۰	۱/۰۰۰	۰/۵۸۹
ناحیه غرب	۰/۷۰۴	۰/۴۵۸	۰/۸۴۳
ناحیه فارس	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۰۸

ناحیه کرمان	۰/۷۳۸	۰/۹۳۴	۰/۷۲۳
ناحیه گیلان	۰/۸۸۹	۰/۶۳۱	۰/۸۸۹
ناحیه مازندران	۰/۷۴۰	۰/۶۲۳	۰/۷۴۰
ناحیه هرمزگان	۰/۹۶۸	۰/۵۰۵	۰/۵۹۵
ناحیه یزد	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۳۷
	سال ۱۳۹۱		
ناحیه آذربایجان	۱/۰۰۰	۰/۷۲۰	۰/۸۵۵
ناحیه اصفهان	۱/۰۰۰	۰/۶۳۶	۱/۰۰۰
ناحیه باختر	۰/۷۹۱	۰/۳۹۰	۱/۰۰۰
ناحیه تهران	۰/۹۴۹	۰/۴۸۲	۱/۰۰۰
ناحیه خراسان	۱/۰۰۰	۰/۴۵۶	۱/۰۰۰
ناحیه خوزستان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
ناحیه زنجان	۰/۸۸۴	۰/۹۸۵	۱/۰۰۰
ناحیه سمنان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
ناحیه سیستان	۰/۶۲۶	۰/۴۷۱	۰/۷۰۹
ناحیه غرب	۰/۷۵۹	۰/۴۳۷	۰/۹۰۵
ناحیه فارس	۰/۸۲۳	۰/۵۲۷	۰/۸۸۱
ناحیه کرمان	۰/۸۰۷	۰/۵۷۶	۰/۹۵۰
ناحیه گیلان	۰/۹۸۶	۰/۴۵۹	۱/۰۰۰
ناحیه مازندران	۰/۸۴۹	۰/۵۱۰	۰/۸۸۲
ناحیه هرمزگان	۰/۷۰۷	۰/۴۱۴	۰/۸۲۵
ناحیه یزد	۰/۹۱۷	۰/۵۵۱	۱/۰۰۰

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تحلیل پوششی داده‌های سنتی در طی زمان، با سیستم‌های تولید همانند یک جعبه سیاه برخورد می‌کند و فرایندهای داخلی سیستم را نادیده می‌گیرد. نتایج مفید و کاربردی بیشتر هنگامی حاصل می‌شود که روابط بین فرایندهای داخلی سیستم در محاسبات کارایی سیستم در نظر گرفته شود.

در این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد نواحی شانزده‌گانه تولید و انتقال برق در طی دوره زمانی سه‌ساله ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با تحلیل پنجره DEA ترکیب شده است.

تحلیل پنجره دارای مجموعه امکان ادغام‌شده‌ای است که واحدها در دوره‌های موجود در تحلیل را در قالب یک مجموعه امکان ترکیبی از دوره‌ها وارد محاسبات می‌کند. در این صورت

تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده موجود در تحلیل به‌اندازه حاصل‌ضرب تعداد واحدها (J=1, 2, ..., n) در یک دوره در تعداد دوره‌ها (t= 1, 2, ..., T) خواهد بود (n*T). با توجه به این ویژگی تحلیل پنجره می‌تواند مشکل تعداد کم نواحی موردارزیابی را در مقایسه با تعداد متغیرهای ورودی و خروجی را جبران می‌کند. با توجه به ۱۶ ناحیه و سه دوره زمانی تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده در این تحلیل به ۴۸ واحد می‌رسد.

نتایج نشان می‌دهد که در تعیین کارایی مرحله اول، یعنی تولید برق در سال ۱۳۹۳، در میان نیروگاه‌های تولیدکننده برق هیچ یک از واحدها کارا نبوده و می‌توان کاهش تعداد واحدهای کارای کل در مقایسه با واحدهای کارای مرحله انتقال برق را کارایی پایین واحدهای موجود در مرحله تولید برق دانست؛ درحالی‌که در سال ۱۳۹۲، تعداد واحدهای کارا در مرحله تولید برق در مقایسه با واحدهای کارای کل و واحدهای کارای موجود در مرحله انتقال برق را به‌دلیل کارایی بالای واحدهای تولیدکننده برق دانست. در سال ۱۳۹۱ همانند سال ۱۳۹۳، کارایی کل سیستم در مقایسه با کارایی‌های دو مرحله نیز به‌دلیل کارایی پایین مرحله تولید برق کاهش یافته است. به‌طور خلاصه تعداد واحدهای کارا در تعیین کارایی کل سیستم، کارایی مرحله تولید و مرحله انتقال برق به‌صورت درصد در جدول ۴، آمده است.

جدول ۴. خلاصه‌ای از کارایی کل سیستم و فرایندها

انواع کارایی / دوره زمانی	کارایی کل (درصد)	کارایی مرحله تولید برق (درصد)	کارایی مرحله انتقال برق (درصد)
سال ۱۳۹۳	۳۱/۲۵	۰۰/۰۰	۳۷/۵۰
سال ۱۳۹۲	۴۳/۷۵	۵۰/۰۰	۱۲/۵۰
سال ۱۳۹۱	۳۱/۲۵	۱۲/۵۰	۵۶/۲۵

کارایی کل هر یک از ۴۸ واحد موجود در تحلیل را می‌توان بر اساس نمرات کارایی واحدهای موجود در مرحله تولید و انتقال برق به‌صورت کلی تفکیک و تحلیل کرد.

برای مثال، کارایی ناحیه آذربایجان را در طی دوره سه سال را می‌توان به این صورت تفکیک کرد که در سال ۱۳۹۳ کارایی مرحله تولید برق ۳۲/۶۰ درصد، کارایی مرحله انتقال برق ۸۵/۶۰ درصد و کارایی کل ۷۵/۸۰ درصد به‌دست آمده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کارایی پایین مرحله تولید برق باعث کاهش کارایی کل ناحیه آذربایجان شده است.

به‌طورکلی واحدهای تولیدکننده برق در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۱ دارای نمرات کارایی پایین‌تری در مقایسه با نمرات کارایی واحدهای برق منطقه‌ای بودند و این امر به کاهش نمرات

کارایی کل این نواحی در سال‌های موردنظر منجر می‌شود؛ درحالی‌که در سال ۱۳۹۲، نمرات کارایی مرحله اول به‌طور تقریبی از نمرات کارایی مرحله دوم بیشتر بوده و به افزایش نسبی نمرات کارایی کل سال ۱۳۹۲ نسبت به دو سال دیگر منجر می‌شود.

بررسی علل ناکارایی مرحله تولید برق یکی از مواردی است که می‌تواند مبنای کار پژوهشی دیگری قرار گیرد. در این پژوهش از فرم حاصل‌ضربی تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای استفاده شده است. استفاده از رویکردهای پوششی، شبکه‌های مستقل و مرتبط نیز برای ارزیابی عملکرد و مقایسه نتایج نیز از دیگر مواردی است که نیاز به بررسی و مطالعه بیشتر دارد؛ علاوه بر این استفاده از مدل‌های مختلف رابطه‌ای و رهبر- پیرو با محوریت مراحل مختلف نیز می‌تواند مبنای مناسبی برای بررسی و مطالعه دقیق‌تر این واحدها در طی زمان قرار گیرد.

با توجه به این امر که در سال‌های تحت‌بررسی منشأ اصلی ناکارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده کارایی پایین مرحله تولید برق است، توجه و بررسی علل ناکارایی نیروگاه‌های تولید برق به‌عنوان راهی برای افزایش کارایی در صنعت برق پیشنهاد می‌شود؛ از طرفی با توجه به نوع نیروگاه‌ها، بررسی تأثیر انواع نیروگاه‌ها در کارایی و ناکارایی نواحی تولید برق مهم به نظر می‌رسد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. Arocena, P. (2008). Cost and quality gains from diversification and vertical integration in the electricity industry: A DEA approach. *Energy Economics, 30*, 39˚58.

2. Asmild, M., Paradi, C.V., Aggarwall, V., Schaffnit, C. (2004). Combining DEA window analysis with the Malmquist Index approach in a study of the Canadian banking industry, *Journal of Productivity Analysis, 21(1)*, 67˚89.

3. Avkiran, A., K., (2015), an illustration of dynamic network DEA in commercial banking including robustness tests, *Omega, (55)*, 141-150.

4. Bisschop, J. (2012), AIMMS Optimization Modeling, *Paragon Decision Technology, Bellevue, WA 98004, USA*.

5.Chen Y, Cook WD, Li N, Zhu J. (2009). Additive efifciencdecomposition in two-stage DEA, *European Journal of Operational Research, 196(3)*, 1170˚6.

6. Chen Y, Zhu J., (2004). Measuring information technology's indirect impact on ifrm performance*Information Technology and Management, 5 (1)*, 9˚ 22.

7. Chen C, Yan H., (2011). Network DEA model for supply chain performance evaluation, *European Journal of Operational Research; 213(1)*, 17˚ 55.

8. Chen P-C, Chang C-C, Yu M-M, & Hsu S-H. (2012). Performance measurement for incineration plants using multi-activity network data envelopment analysis: The case of Taiwan., *Journal of Environmental Management, 93(1)*, 95˚ 103.

9. Cook WD, Liang L, & Zhu J. (2010), Measuring performance of two-stage network structures by DEA: a review and future perspective. *Omega, 38(6)*, 423˚30.

10. Du JA, Liang LA, Chen Y, Cook WD, Zhu J., (2011). A bargaining game model for measuring performance of two-stage network structures. *European Journal of Operational Research; 210(2)*, 390˚7.

11. Färe R., (1991). Measuring Farrell efifciency for a ifrm with intermediat inputs. *Academia Economic, Papers 19*, 329 40.

12. Färe R, and Grosskopf S., (1996), Productivity and intermediate products: A frontier approach. *Econ Left 1996; 50 (1)*: 65˚70.

13. Färe R, Grosskopf S., (2000). Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences, 34(1)*. 35˚49.

14. Fukuyama H, Weber WL. (2010). A slacks-based inefifciency measure for a two-stage system with bad outputs, *Omega, 38(5)*. 398 409.

15. Herrera-Restrepo, O., Triantis, K., Trainor, J., Murray-Tuite, P., & Edara, P. (2016). A multi-perspective dynamic network performance efifciency measurement of an evacuation: A dynamic network-DEA approach, *Omega, (60)*, 45-59.

16. Kao C, Hwang S-N. (2010). Efifciency 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.

17. 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.

18. Kopsakangas, M. & Svento, R. (2008), Estimation of cost-effectiveness of the Finnish electricity distribution utilities. *Energy Economics, 30*, 212-29.

19. Kordrostami S, Amirteimoori A. (2005). Un-desirable factors in multi-component performance measurement. *Applied Mathematics and Computation, 171(2)*, 721˚9.

20. Liang L, Cook WD, Zhu J. (2008). DEA models for two-stage processes: game approach and efifciency decomposition. *Naval Res Logistics (NRL), 55(7)*, 643–53.

21. Lozano S, Gutierrez E, and Moreno P, (2013). Network DEA approach to airports performance assessment considering undesirable outputs. *Applied Mathematical Modelling, 37(4)*, 1665˚ 1676.

22. Maghbouli M, Amirteimoori A, Kordrostami S. (2014). Two-stage network structures with undesirable outputs: a DEA based approach. *Measurement, 48(0)*, 109˚ 18.

23. Seiford LM, Zhu J. (2002). Modeling undesirable factors in efifciency evaluation, *European Journal of Operational Research; 142(1)*, 16˚20.

24. Tone K, & Tsutsui, M. (2009). Network DEA: A slack-based measure approach. *European Journal of Operational Research; 197(1)*, 243˚52.

25. Tone K. & Tsutsui, M., (2014), Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach, *Omega, (42)*, 124-131.

26. Wang K, Huang W, Wu J, Liu Y-N. (2014). Efifciency measures of the Chinese commercial banking system using an additive two-stage DEA. *Omega, 44 (0)*, 5–20.

27. Zhou Z, Sun L, Yang W, Liu W, Ma C. (2013). A bargaining game model for efifciency decomposition in the centralized model of two-stage systems. *Computers & Industrial Engineering, 64(1)*, 103˚ 8.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی