

سنجش کارایی نسبی شرکت‌های توزیع برق کشور: تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه

مسلم علی محمدلو^۱، استادیار بخش مدیریت، آریتا دامن‌کشان^۲، دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، زهره مطفف^۳، دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی

۱- دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی - دانشگاه شیراز - شیراز - ایران
mslmaml@gmail.com

۲- دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی - دانشگاه شیراز - شیراز - ایران
s.damankeshan@rose.shirazu.ac.ir

۳- دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی - دانشگاه شیراز - شیراز - ایران
zohreh.motaffef@yahoo.com

چکیده

پژوهش‌های متعددی اقدام به سنجش کارایی شرکت‌های توزیع برق با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های سنتی نموده‌اند. اما پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که تنها با اتکا به تحلیل پوششی داده‌های سنتی یا خوش‌بینانه نمی‌توان با اطمینان بنگاه‌ها را برحسب کارایی‌شان رتبه‌بندی کرد، از این رو از مفهوم کارایی بدبینانه نیز استفاده کرده و این دو کارایی را در قالب یک رابطه ریاضی باهم ادغام نموده‌اند. تا با اطمینان بیشتر و بدون نیاز به محاسبات پیچیده بتوان بنگاه‌ها را رتبه‌بندی کرد. از این رو در این پژوهش برآنیم تا کارایی نسبی را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه محاسبه نماییم، که بسیار دقیق‌تر از روش سنتی است. نتایج نشان می‌دهد، شرکت توزیع برق شهرستان مشهد در میان ۳۹ شرکت بررسی شده، حائز رتبه اول است. در صورتی که با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های سنتی، ده شرکت دیگر نیز روی مرز کارایی قرار می‌گرفتند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه، کارایی.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۲۲

نام نویسنده مسئول: مسلم علی محمدلو

نشانی نویسنده مسئول: استادیار بخش مدیریت دانشگاه شیراز

۱- مقدمه

همگان اذعان دارند که هر پدیده، تنها در صورتی قابل‌بهبود است که بتوان آن را اندازه‌گیری و ارزیابی کرد. این حقیقت، ضرورت اندازه‌گیری کارایی برای بهبود بهره‌وری را بیش‌ازپیش روشن می‌کند. به همین دلیل، امروزه بررسی و ارزیابی عملکرد سازمان‌ها و اداره‌ها، یکی از داغ‌ترین مباحثی است که دنیای صنعتی را به خود مشغول کرده است [۱].

صنعت برق به خاطر نقش زیربنایی و ارتباط زیادی که با کلیه عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی دارد، صنعتی پویا و تأثیرگذار است. با توجه به فراگیری گسترده انرژی برق، می‌توان آن را به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل بسترساز توسعه اقتصادی کشور محسوب کرد. صنعت برق به دو بخش تولید و توزیع تقسیم می‌شود که هرکدام به‌نوبه خود اهمیت اساسی دارند. در این بین، بخش توزیع برق به دلیل ارتباط نزدیک با مشترکان از جایگاه و اهمیت خاصی برخوردار است. افزایش درصد اندکی در قابلیت بهره‌برداری مناسب‌تر از شبکه‌های توزیع، صرفه‌جویی‌های کلانی را در بردار که این امر حکایت از اهمیت بالای سطح بهره‌وری عوامل دخیل در این بخش از صنعت برق دارد [۲].

تحلیل پوششی داده‌ها یک رویکرد داده‌ای برای ارزیابی عملکرد مجموعه‌ای از موجودیت‌های متجانس به نام واحدهای تصمیم‌گیری^۱ است که عملکرد آن‌ها بر اساس اندازه‌های متعدد مشخص می‌شود. تحلیل پوششی داده‌های سنتی که مبتنی بر مفهوم مرز کارایی است، بهترین نمره کارایی را تعیین می‌کند که می‌توان به هر یک از واحدهای تصمیم‌گیری اختصاص داد. واحدهای تصمیم‌گیری بر اساس این نمرات به‌عنوان کارای تحلیل پوششی داده‌ها (کارای خوش‌بینانه) یا غیرکارای تحلیل پوششی داده‌ها (غیرکارای خوش‌بینانه) تقسیم‌بندی می‌شوند و واحدهای تصمیم‌گیری کارای تحلیل پوششی داده‌ها، مرز کارایی را مشخص می‌کنند. رویکرد مشابهی وجود دارد که از مفهوم مرز ناکارایی برای تعیین بدترین نمره‌ی کارایی نسبی که می‌توان به هر واحد تصمیم‌گیری اختصاص داد، استفاده می‌کند. واحدهای تصمیم‌گیری واقع روی مرز ناکارایی به‌عنوان ناکارای تحلیل پوششی داده‌ها یا ناکارای بدبینانه تعیین می‌شوند و آن‌هایی که روی مرز ناکارا نیستند، به‌عنوان غیر ناکارای تحلیل پوششی داده‌ها یا غیر ناکارای بدبینانه اعلام می‌شوند. این رویکرد که تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه نام دارد، هر دو کارایی نسبی را در نظر می‌گیرد و چنین بحث می‌کند که هر رویکردی که فقط یکی از آن‌ها را در نظر بگیرد، دچار سوگیری خواهد بود [۳].

به دلیل نقش پراهمیت شرکت‌های توزیع برق در صنعت برق و لزوم افزایش کارایی آن‌ها، هدف اصلی این مقاله سنجش کارایی

شرکت‌های مذکور است. از آنجاکه در پژوهش‌های پیشین، سنجش کارایی در این صنعت صرفاً با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های سنتی که فقط مرز خوش‌بینانه را در نظر می‌گیرد، انجام شده است، در این مقاله برای این‌که از تحلیل پوششی داده‌ها بهترین بهره گرفته شود، از روش تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه که هم‌زمان کارایی‌های خوش‌بینانه و بدبینانه را در نظر می‌گیرد، برای سنجش کارایی و رتبه‌بندی دقیق‌تر شرکت‌های توزیع برق استفاده می‌شود.

۲- پیشینه پژوهش

برای بررسی و ارزیابی عملکرد بنگاه‌های اقتصادی، می‌توان از روش‌های متعددی استفاده کرد. یکی از رایج‌ترین روش‌های ارزیابی عملکرد بنگاه‌ها، استفاده از نسبت محصول به عوامل تولید و مقایسه آن با یک سطح استاندارد مشخص است که این مفهوم، کارایی واحد اقتصادی مربوطه نامیده می‌شود.

مباحث کارایی به‌صورت مدون و نظام‌یافته توسط بررسی‌ها و مطالعات دبرو^۲ (۱۹۵۱) و کوپمنس^۳ (۱۹۵۱) آغاز شد و توسط فارل^۴ در سال ۱۹۵۷ ادامه یافت. ولی امکان عملی اندازه‌گیری آن در سال‌های ۱۹۷۷ (روش اقتصادسنجی^۵ SFA) و ۱۹۷۸ (روش برنامه‌ریزی خطی تحلیل پوششی داده‌ها) فراهم شد [۴].

تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتریک مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری بر مبنای ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه است [۹]. روش تحلیل پوششی داده‌ها را ابتدا چارنر^۶ و همکاران وی در سال ۱۹۷۸ ارائه نمودند. این روش برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری، که وظایف یکسانی انجام می‌دهند، به کار می‌رود، مانند سنجش و مقایسه کارایی نسبی واحدهای سازمانی نظیر ادارات دولتی یک وزارتخانه، مدارس، بیمارستان‌ها، فروشگاه‌های زنجیره‌ای، شعب بانک‌ها و موارد مشابهی که در آن‌ها واحدهای تصمیم‌گیری همگنی وجود دارند. همچنین تحلیل پوششی داده‌ها به‌طور گسترده‌ای در الگوبرداری، بهبود مستمر و تحلیل استراتژیک به کار می‌رود [۵].

تحلیل پوششی داده‌های سنتی که مبتنی بر مفهوم مرز کارایی است، فقط بهترین کارایی‌های نسبی گروهی از واحدهای تصمیم‌گیری را ضمن اجتناب از کارایی‌های بدبینانه، اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین نمی‌تواند یک سنجش کلی از واحدهای تصمیم‌گیری ارائه دهد [۶]. بنابراین به‌منظور کسب مزایای تحلیل پوششی داده‌ها و تعیین عملکرد کلی هر واحد تصمیم‌گیری، هر دو مرز کارا و ناکارا باید به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته شوند. رویکردی که عملکرد هر واحد تصمیم‌گیری را با هر دو مرز کارا (خوش‌بینانه) و ناکارا (بدبینانه) ارزیابی می‌کند، تحلیل

داده‌ها با مرز دوگانه در سنجش کارایی صنعت برق و به‌ویژه در شرکت‌های توزیع برق استفاده نکرده‌اند. جدول ۱ خلاصه‌ای از مهم‌ترین مطالعه‌های پیشین در حوزه سنجش کارایی شرکت‌های صنعت برق، به همراه متغیرهای ورودی و خروجی آن‌هاست.

پوششی داده‌ها با مرز دوگانه نامیده می‌شود. با در نظر گرفتن کارایی‌های نسبی خوش‌بینانه و بدبینانه باهم، تمام واحدهای تصمیم‌گیری را می‌توان بدون نیاز به محاسبات بسیار زیاد و ترجیحات ذهنی تصمیم‌گیرنده رتبه‌بندی کرد [10].

بررسی جدیدترین منابع اطلاعات علمی و مطالعات محققان نشان می‌دهد که هیچ‌یک از مطالعات پیشین، از تحلیل پوششی

جدول (۱): مطالعات پیشین در زمینه اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های صنعت برق به روش تحلیل پوششی داده‌ها [۷].

نام محقق	کشور تحت بررسی	بخش بررسی	متغیرهای ورودی	متغیرهای خروجی
سیوشی و گوتو (۲۰۱۲)	ژاپن	تولید، انتقال و توزیع	سرمایه تولید نیرو، سرمایه انتقال نیرو، هزینه‌های عملیاتی، تعداد کارکنان	برق فروخته‌شده، تعداد مشتریان
گروویچ (۲۰۱۲)	نروژ	توزیع	هزینه‌های عملیاتی، هزینه کیفیت	مشترکان نهایی، انرژی عرضه‌شده
یوژی و ژانکن (۲۰۱۲)	چین	انتقال و توزیع	طول کل خطوط، ظرفیت تجهیزات پست برق	تعداد مشترکان، برق فروخته‌شده، درصد خروج خط از مدار
سلن و یالسین (۲۰۱۲)	ترکیه	توزیع	طول خطوط توزیع نیرو، تعداد کارکنان، ظرفیت ترانسفورماتور	انرژی تحویلی، تعداد مشترکان، درصد کیفیت خدمات
سجادی و همکاران (۲۰۱۱)	ایران	توزیع	طول خط شبکه، ظرفیت ترانس‌ها، تعداد کارکنان	فروش برق، تعداد مشترکان
عمرانی و همکاران (۲۰۱۰)	ایران	توزیع	طول خطوط شبکه، ظرفیت ترانس‌ها، تعداد کارکنان	فروش برق، تعداد مشترکان
خدابخشی (۲۰۱۰)	ایران	توزیع	طول خطوط شبکه، ظرفیت ترانسفورماتورها، تعداد کارکنان	انرژی تحویلی، اندازه منطقه تحت پوشش
پرز و توار (۲۰۰۹)	پرو	توزیع	تعداد کارکنان، تلفات شبکه توزیع، تعداد پست‌های برق طول شبکه	مقدار انرژی تحویلی، تعداد مشترکان
راموس و همکاران (۲۰۰۹)	برزیل	توزیع	طول خطوط شبکه، تعداد کارکنان، تلفات برق	مقدار فروش برق، تعداد مشترکان
گوتو و تسوتسی (۲۰۰۸)	آمریکا	انتقال و توزیع	میزان سرمایه‌گذاری، تعداد کارکنان، طول خطوط انتقال	میزان فروش انرژی، تعداد مشترکان
کالمن و هیرچاسن (۲۰۰۸)	شرق اروپا	توزیع	تعداد کارکنان، ظرفیت ترانسفورماتورها، طول شبکه، هزینه‌های عملیاتی	مقدار انرژی تحویلی به مشترکان، تعداد مشترک
هس و کالمن (۲۰۰۸)	آلمان	توزیع	مجموع اندازه شبکه، تعداد کارکنان	انرژی فروخته‌شده، تعداد مشترکان
پومبو و تابوردا (۲۰۰۶)	کلمبیا	توزیع	تعداد کارکنان، اندازه شبکه، ظرفیت ترانسفورماتورها	انرژی فروخته‌شده، تعداد مشترکان

پیشنهادی آن‌ها عیب مهمی دارد و آن اینکه بدون توجه به تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های هر واحد تصمیم‌گیری تنها یک ورودی و یک خروجی را برای تعیین کران پایین کارایی بازه‌ای هر واحد تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌دهد، که این منجر به از دست رفتن اطلاعات مربوط به ورودی و خروجی واحد تصمیم‌گیری تحت مطالعه می‌شود. به‌علاوه، مرزهای تولید متغیری را برای اندازه‌گیری کارایی بازه‌ای استفاده می‌کند. وانگ و لوئو^۹ [13]

از اولین افرادی که عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری را با هر دو مرز خوش‌بینانه و بدبینانه مطالعه کرده‌اند، می‌توان به دوئل^۷ [11] و انتانی^۸ [12] اشاره کرد. مدل‌های پیشنهادی این دو محقق ساختار مشابهی دارد. آن‌ها کارایی بازه‌ای را محاسبه کردند که کران پایین آن، کارایی بدبینانه و کران بالای آن، کارایی خوش‌بینانه بود. انتانی و همکاران [12] دو مدل تحلیل پوششی داده‌ها به‌منظور محاسبه کارایی بازه‌ای پیشنهاد دادند. اما مدل

تولید که با تحلیل پوششی داده‌ها کارا تعیین شدند بعداً باید با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه یا منطق فازی، با تحمیل محدودیت‌های وزنی بر ورودی‌ها و خروجی‌ها، و با محاسبه ماتریس کارایی متقابل، مورد ارزیابی قرار گیرند. لذا با معرفی مدل تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه برای انتخاب واحد کارا، استدلال می‌کنند که تلاش‌های صورت گرفته قبلی در حقیقت ضروری نیستند، و بهترین فناوری پیشرفته تولید را می‌توان با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه به آسانی شناسایی کرد. جاهد و همکاران (۲۰۱۵) [18] جهت ادغام دو مقدار کارایی خوش‌بینانه و بدبینانه، رابطه جدیدی را برای اندازه‌گیری عملکرد کلی ارائه نمودند و مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های فازی جدیدی که هر واحد تصمیم‌گیری را از منظر خوش‌بینانه و بدبینانه در یک محیط فازی ارزیابی می‌کند، پیشنهاد کردند.

۱-۲ جمع بندی پیشینه پژوهش

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه سنجش کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها تک مرز یا خوشبینانه، می‌توان استدلال کرد که چون با این روش واحدهای متعددی ممکن است روی مرز کارا قرار گیرند، بنابراین خود را کارا دانسته و تلاشی برای بهبود ورودی‌ها و خروجی‌های خود نمی‌کنند. اما با روش تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه این امکان وجود دارد که با مقایسه هر واحد تصمیم‌گیری با بهترین و بدترین وضعیت و سپس محاسبه عملکرد کلی، رتبه‌بندی دقیق‌تری از بنگاه‌ها به دست آورد و همچنین نیاز به محاسبات پیچیده برای رتبه‌بندی بنگاه‌ها را از بین می‌برد. در میان مطالعات انجام شده در زمینه تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه پژوهش وانگ و چین (۲۰۰۹)، محدودیت‌های پژوهش‌های پیشین همچون عدم اجرای مدل به دلیل وجود عدد صفر در ورودی یا خروجی و ایجاد واحد مجازی جهت محاسبه کارایی را نداشته و از رابطه مناسبی جهت اندازه‌گیری عملکرد کلی استفاده نموده است.

بنابراین در این پژوهش برآنیم تا کارایی نسبی شرکت‌های توزیع برق در ایران را که تاکنون به روش تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه سنجیده نشده‌اند را به کمک مدل وانگ و چین مورد سنجش قرار دهیم.

۳- روش پژوهش

مقاله حاضر از نظر ماهیت پژوهشی، مطالعه‌ای توصیفی است. جامعه مورد مطالعه، شرکت‌های توزیع برق کشور می‌باشند. برای انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌های پژوهش، به بررسی متغیرهای به‌کاررفته در مطالعات قبلی ارزیابی کارایی صنعت برق در ایران و جهان پرداخته شده است. با جمع‌بندی مطالعات محققان پیشین و بررسی امکان جمع‌آوری داده‌ها، متغیرهای تعداد کارکنان، ظرفیت

کارایی‌های خوش‌بینانه و بدبینانه واحدهای تصمیم‌گیری را با معرفی دو واحد تصمیم‌گیری مجازی اندازه‌گیری می‌کنند: واحد تصمیم‌گیری ایده‌آل و واحد تصمیم‌گیری غیرایده‌آل و با ادغام این دو کارایی، یک شاخص نزدیکی نسبی به دست می‌آورند که به‌عنوان مبنایی برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری به کار می‌رود، ولی در بیشتر موارد مدل‌های آن‌ها برای تمامی واحدهای تصمیم‌گیری وزن ثابتی در نظر می‌گیرد و زمانی که در هر ورودی و هر خروجی صفر وجود داشته باشد، مدل‌های آن‌ها امکان‌ناپذیر می‌شود. وانگ و یانگ^{۱۱} [14]، دو مدل تحلیل پوششی داده‌های کران‌دار را ارائه کردند، که مدل آن‌ها حداکثر بهره را از تمامی داده‌های ورودی و خروجی به‌هنگام ارزیابی عملکرد و اندازه‌گیری کارایی‌های خوش‌بینانه و بدبینانه هر واحد تصمیم‌گیری با وارد کردن یک واحد تصمیم‌گیری مجازی که واحد تصمیم‌گیری غیرایده‌آل نامیده می‌شود، می‌برد. واحد تصمیم‌گیری غیر ایده‌آل، حداکثر مقدار ورودی را به‌منظور تولید حداقل مقدار خروجی به کار می‌برد و مقدار کارایی زمانی که در هر خروجی عدد صفر وجود داشت، صفر می‌شد، لذا مدل آن‌ها هنگام تعیین کران پایین کارایی بازه‌ای برای هر واحد تصمیم‌گیری با مشکل مواجه بود. وانگ و چین^{۱۱} [10] به‌منظور انتخاب فناوری‌های پیشرفته تولید^{۱۲}، به‌کارگیری تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه را پیشنهاد کردند که در مقایسه با DEA سنتی، می‌تواند بهترین واحد تصمیم‌گیری را به‌درستی شناسایی کند. همچنین آن‌ها چهار مثال عددی را بررسی کردند تا سهولت و مفید بودن مدل ارائه شده را در قضاوت و انتخاب فناوری پیشرفته تولید نشان دهند. عزیزی و فتحی اجیرلو [15] به‌منظور تعیین کران پایین کارایی بازه‌ای، از کارایی خوش‌بینانه واحد تصمیم‌گیری ایده‌آل و کارایی بدبینانه واحد تصمیم‌گیری غیر ایده‌آل استفاده کردند. همچنین مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های کران‌دار آن‌ها زمانی که در هر ورودی و هر خروجی صفر وجود دارد، با مشکلاتی در تعیین کران پایین کارایی بازه‌ای مواجه است. عزیزی و جاهد [16] یک جفت مدل تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای بهبودیافته را ارائه کردند که عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری را در شرایطی که در بین مقدار ورودی‌ها، صفر نیز وجود داشته باشد، اندازه‌گیری می‌کند. عزیزی و وانگ [17]، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های کران‌دار بهبودیافته را که مقادیر کارایی واحدهای تصمیم‌گیری را در حضور همکاران [۶] نیز برای انتخاب فناوری‌های پیشرفته تولید، مدل تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه را پیشنهاد کردند. آنان پس از مرور پیشینه پژوهش بیان کردند که باید تلاش‌های قابل توجهی برای انتخاب فناوری‌های پیشرفته تولید انجام شود، زیرا تحلیل پوششی داده‌ها غالباً تعداد زیادی از فناوری‌های پیشرفته تولید را به‌عنوان کارا شناسایی می‌کند. بدین معنا که فناوری‌های پیشرفته

ترانسفورماتورها و طول شبکه به‌عنوان ورودی و متغیرهای تعداد مشترکان و انرژی تحویلی به‌عنوان متغیرهای خروجی پژوهش حاضر عنوان ورودی و خروجی انتخاب کرده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول (۲): ورودی‌ها و خروجی‌های انتخاب شده در مطالعات پیشین

نام	فراوانی در مطالعات پیشین
ورودی	تعداد کارکنان
	ظرفیت ترانسفورماتورها
	طول شبکه
خروجی	تعداد مشترکان
	انرژی تحویلی

$$\begin{aligned} \text{Max } \theta_0 &= \sum_{r=1}^S u_r y_{r0} \\ \text{s.t.} \\ \sum_{r=1}^S u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, j = 1, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1, \\ u_r, v_i &\geq 0, r = 1, \dots, S, i = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (3)$$

اگر مجموعه‌ای از وزن‌های مثبت u_r^* ($r = 1, \dots, S$) و v_i^* ($i = 1, \dots, m$) وجود داشته باشند تا $\theta_0^* = 1$ را تأمین کنند، آنگاه DMU_0 ، کارایی تحلیل پوششی داده‌ها یا به‌اختصار کارا نامیده می‌شود؛ در غیر این صورت، به آن غیر کارایی تحلیل پوششی داده‌ها می‌گویند. کارایی خوش‌بینانه، در مقالات تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی CCR نیز نامیده می‌شود. برای n واحد تصمیم‌گیری مختلف، مدل برنامه‌ریزی خطی (۳) جمعاً n بار، هر بار برای یک واحد تصمیم‌گیری، حل می‌شود. کارایی بدبینانه DMU_j نسبت به واحدهای تصمیم‌گیری دیگر با مدل کارایی بدبینانه زیر اندازه‌گیری می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{Min } \phi_0 &= \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \\ \text{s.t.} \\ \phi_0 \sum_{r=1}^S u_r y_{rj} &\geq 1, j = 1, \dots, n, \\ u_r, v_i &\geq 0, r = 1, \dots, S, i = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (4)$$

که تفاوت آن با مدل مشهور CCR (۲) در این است که در اینجا، کارایی DMU_j نسبت به دیگران در محدوده یک یا بالاتر

اطلاعات مزبور از نشریه آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه توزیع نیروی برق در سال ۱۳۹۳ استخراج شده‌اند [۷]. در این مقاله از مدل تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه وانگ و چین (۲۰۰۹) برای سنجش کارایی و رتبه‌بندی ۳۹ شرکت توزیع برق کشور استفاده شده است. در زیر به توضیح مدل تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه مذکور پرداخته می‌شود.

فرض کنید n واحد تصمیم‌گیری وجود دارند، که باید از نظر m ورودی و S خروجی ارزیابی شوند. برای DMU_j ($j = 1, \dots, n$)، مقادیر ورودی را با نماد x_{ij} ($i = 1, \dots, m$) و مقادیر خروجی را با نماد y_{rj} ($r = 1, \dots, S$) نشان می‌دهیم، که همه آن‌ها معلوم و نامنفی هستند. کارایی DMU_j به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\theta_j = \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (1)$$

که در اینجا u_r ($r = 1, \dots, S$) و v_i ($i = 1, \dots, m$) وزن‌هایی هستند که به ترتیب برای S خروجی و m ورودی تعیین شده‌اند. کارایی خوش‌بینانه DMU_j نسبت به DMU های دیگر با مدل CCR^{13} زیر سنجیده می‌شود

$$\begin{aligned} \text{Max } \theta_0 &= \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \\ \text{s.t.} \\ \theta_0 \sum_{r=1}^S u_r y_{rj} &\leq 1, j = 1, \dots, n, \\ u_r, v_i &\geq 0, r = 1, \dots, S, i = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (2)$$

با استفاده از تبدیل چارنز و کوپر، مدل برنامه‌ریزی کسری فوق را می‌توان به برنامه‌ریزی خطی زیر تبدیل کرد:

غیرناکارای بدبینانه است. مدل برنامه‌ریزی خطی (۵) نیز Π بار، هر بار برای یک واحد تصمیم‌گیری، حل می‌شود.

در این مقاله از روش وانگ و چین (۲۰۰۹) (رابطه ۶)، برای اندازه‌گیری عملکرد کلی استفاده می‌شود:

$$nj = \frac{\theta_j^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^{*2}}} + \frac{\phi_j^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \phi_i^{*2}}} \quad (6)$$

که در اینجا θ_0^* و ϕ_0^* به ترتیب کارایی‌های خوش‌بینانه و بدبینانه هر واحد تصمیم‌گیری می‌باشند و اندازه عملکرد کلی تعریف شده در (۶)، بزرگی دو کارایی را در نظر می‌گیرد.

۴- یافته‌های پژوهش

جدول ۳ مقادیر ورودی و خروجی را برای شرکت‌های توزیع برق کشور نشان می‌دهد.

کمینه‌سازی می‌شود، درحالی‌که در آن مدل، کارایی آن در محدوده صفر و یک بیشینه‌سازی می‌شود.

با استفاده از تبدیل چارنز و کوپر، برنامه‌ریزی کسری (۴) را می‌توان به‌طور هم‌ارز به مدل برنامه‌ریزی خطی زیر تبدیل کرد:

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^S u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\geq 0, j = 1, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1, \\ u_r, v_i &\geq 0, r = 1, \dots, S, i = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (5)$$

زمانی که مجموعه‌ای از وزن‌های مثبت u_r^* ($r = 1, \dots, S$) و v_i^* ($i = 1, \dots, m$) وجود داشته باشد تا $\phi_0^* = 1$ را تأمین کند، می‌گوییم که DMU_0 ناکارای تحلیل پوششی داده‌ها یا ناکارای بدبینانه است. در غیر این صورت، می‌گوییم که DMU_0

جدول (۳): مقادیر متغیرهای ورودی و خروجی پژوهش

خروجی‌ها		ورودی‌ها			شرکت توزیع
تعداد مشترکان (هزار مشترک)	انرژی تحویلی (میلیون کیلووات ساعت)	طول شبکه (کیلومتر)	ظرفیت ترانسفورماتور (مگاوات آمپر)	تعداد کارکنان (نفر)	
۸۷۳	۳۸۱۶	۸۲۸۳	۱۶۸۶	۵۷۲	شهرستان تبریز
۷۴۹	۳۲۹۶	۲۲۷۰۸	۱۷۳۱	۷۰۰	آذربایجان شرقی
۱۱۰۳	۵۰۵۹	۲۵۹۲۸	۲۳۳۰	۷۲۵	آذربایجان غربی
۴۷۹	۱۶۴۰	۱۲۹۸۲	۸۵۳	۲۹۹	استان اردبیل
۱۲۷۹	۹۵۶۴	۳۵۹۵۸	۵۰۶۹	۵۱۲	استان اصفهان
۱۰۴۰	۵۴۰۹	۱۳۰۰۴	۲۴۹۸	۲۹۵	شهرستان اصفهان
۳۱۵	۱۶۵۱	۱۰۸۵۱	۹۷۱	۱۵۸	چهارمحال و بختیاری
۶۴۱	۴۷۸۷	۱۹۱۸۳	۲۲۱۵	۳۱۵	استان مرکزی
۶۶۳	۳۵۲۱	۱۷۴۸۳	۲۱۱۸	۳۶۹	استان همدان
۵۶۱	۲۹۲۶	۱۵۸۳۴	۱۷۹۷	۲۲۱	استان لرستان
۱۱۵۹	۶۲۸۶	۱۲۰۴۷	۲۶۵۹	۳۴۹	استان البرز
۴۲۶۷	۲۰۵۱۲	۳۰۷۶۸	۱۰۷۵۶	۱۷۴۲	تهران بزرگ
۱۹۶۵	۱۲۶۵۴	۳۱۲۹۲	۷۵۹۲	۷۲۰	استان تهران
۴۸۷	۳۱۸۸	۶۸۵۶	۱۴۰۶	۲۵۰	استان قم
۱۳۷۷	۶۴۷۷	۱۴۴۵۶	۲۵۹۶	۳۹۶	شهرستان مشهد
۱۱۲۱	۷۶۱۳	۳۹۰۸۲	۲۹۹۸	۵۷۲	استان خراسان رضوی
۳۲۹	۱۵۳۹	۱۷۰۴۵	۹۰۸	۱۸۹	استان خراسان جنوبی
۳۱۱	۱۲۰۵	۹۹۲۲	۶۹۹	۱۹۶	استان خراسان شمالی
۵۰۲	۸۹۵۷	۹۲۶۴	۴۲۲۸	۴۱۹	شهرستان اهواز
۹۱۵	۱۶۱۹۵	۲۸۹۲۸	۷۳۲۲	۵۰۷	استان خوزستان
۲۱۶	۱۵۸۳	۸۰۰۶	۱۰۸۳	۱۷۴	استان کهگیلویه و بویراحمد
۳۹۳	۳۰۹۹	۱۳۲۹۴	۱۳۶۳	۲۳۲	استان زنجان
۵۳۰	۴۴۱۲	۱۱۶۴۸	۱۷۵۰	۲۳۶	استان قزوین
۳۳۹	۲۵۳۰	۱۱۰۵۱	۱۲۴۱	۱۸۳	استان سمنان
۶۸۷	۵۱۶۵	۳۴۰۴۹	۲۴۶۰	۶۷۱	استان سیستان و بلوچستان

۶۷۹	۳۱۴۲	۱۷۷۰۹	۱۹۲۲	۲۹۶	استان کرمانشاه
۵۶۳	۲۱۲۰	۱۵۱۳۱	۱۲۷۳	۲۳۲	استان کردستان
۱۹۴	۱۳۲۰	۶۸۶۰	۸۵۷	۱۱۲	استان ایلام
۹۲۸	۵۸۰۷	۲۲۸۲۷	۳۶۸۰	۵۳۰	شهرستان شیراز
۸۴۲	۶۹۷۷	۳۳۶۷۲	۳۶۲۱	۳۵۶	استان فارس
۳۸۹	۵۴۸۶	۱۲۸۷۴	۲۹۷۰	۲۲۷	استان بوشهر
۵۴۶	۴۰۹۰	۱۸۶۱۱	۲۰۱۹	۳۸۰	شمال استان کرمان
۴۷۱	۵۵۰۰	۳۰۵۸۰	۲۷۰۸	۳۶۸	جنوب استان کرمان
۱۲۵۴	۵۰۸۰	۲۷۱۷۶	۲۸۹۰	۶۲۱	استان گیلان
۱۱۷۱	۵۹۴۱	۲۴۵۸۲	۳۳۳۱	۶۲۴	استان مازندران
۵۰۲	۲۱۳۱	۱۰۰۳۳	۱۶۹۱	۲۳۲	غرب استان مازندران
۶۳۵	۳۲۵۸	۱۴۰۶۶	۲۰۲۱	۳۴۸	استان گلستان
۵۸۷	۸۱۹۹	۲۲۱۹۴	۳۷۵۰	۴۴۷	استان هرمزگان
۵۷۸	۴۴۹۱	۱۷۰۶۶	۱۷۶۵	۳۴۹	استان یزد

$$\text{Max } \theta_0 = 3816u_1 + 873u_r \quad (7)$$

s.t.

$$3816u_1 + 873u_r - 572v_1 - 1686v_r - 8283v_r \leq 0,$$

$$3296u_1 + 749u_r - 700v_1 - 1731v_r - 22708v_r \leq 0, \dots,$$

$$4491u_1 + 578u_r - 349v_1 - 1765v_r - 17066v_r \leq 0$$

$$572v_1 + 1686v_r + 8283v_r = 1,$$

$$u_r, v_i \geq 0, r = 1, \dots, s, i = 1, \dots, m.$$

$$\text{Min } \phi_0 = 3816u_1 + 873u_r \quad (8)$$

s.t.

$$3816u_1 + 873u_r - 572v_1 - 1686v_r - 8283v_r \geq 0,$$

$$3296u_1 + 749u_r - 700v_1 - 1731v_r - 22708v_r \geq 0, \dots,$$

$$4491u_1 + 578u_r - 349v_1 - 1765v_r - 17066v_r \geq 0$$

$$572v_1 + 1686v_r + 8283v_r = 1,$$

$$u_r, v_i \geq 0, r = 1, \dots, s, i = 1, \dots, m.$$

پس از حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی برای شرکت‌های توزیع برق (روابط ۳ و ۵) مقادیر کارایی خوش‌بینانه به کمک نرم‌افزار deep و کارایی بدبینانه به کمک نرم‌افزار winqsب برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیرنده به دست آمد و سپس با استفاده از رابطه اندازه‌گیری عملکرد کلی وانگ و چین (۲۰۰۹) (رابطه ۱۰)، عملکرد کلی هر واحد تصمیم‌گیری تعیین شد مدل‌های برنامه‌ریزی خطی حل شده برای شهرستان تبریز در ذیل آمده است. جدول ۴ کارایی خوش‌بینانه، بدبینانه و عملکرد کلی هر شرکت را نشان می‌دهد.

جدول (۴): ارزیابی شرکت‌های توزیع برق با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه

رتبه‌بندی	عملکرد کلی	کارایی بدبینانه	کارایی خوش‌بینانه	شرکت توزیع
۸	۰/۳۶۱۴	۱/۲۹۵۴	۱	شهرستان تبریز
۲۷	۰/۲۸۰۴	۱	۰/۸۰۵	آذربایجان شرقی
۱۵	۰/۳۲۵۸	۱/۲۷۱۳	۰/۸۸۸	آذربایجان غربی
۱۷	۰/۳۱۷۱	۱/۰۲۳۰	۱	استان اردبیل
۱۱	۰/۳۵۰۹	۱/۲۸۶۱	۰/۸۴۲	استان اصفهان
۴	۰/۳۸۲۳	۱/۶۱۴۸	۱	شهرستان اصفهان
۳۳	۰/۲۶۰۷	۱/۱۳۸۳	۰/۶۷۸	چهارمحال و بختیاری
۹	۰/۳۵۳۰	۱/۳۹۵۲	۰/۸۵۸	استان مرکزی
۲۸	۰/۲۸۰۲	۱/۱۵۷۶	۰/۶۶۲	استان همدان
۲۲	۰/۲۹۴۶	۱/۱۵۰۱	۰/۷۳۰	استان لرستان
۲	۰/۴۰۳۱	۱/۷۴۲۴	۱	استان البرز
۱۲	۰/۳۴۱۶	۱/۴۰۶۲	۱	تهران بزرگ
۱۳	۰/۳۳۰۴	۱/۱۸۷۳	۰/۸۵۸	استان تهران
۵	۰/۳۷۸۸	۱/۵۳۲۷	۰/۹۳۸	استان قم
۱	۰/۴۱۳۳	۱/۸۸۰۱	۱	شهرستان مشهد
۷	۰/۳۷۱۱	۱/۴۳۳۷	۱	استان خراسان رضوی
۳۴	۰/۲۵۵۷	۱	۰/۶۸۲	استان خراسان جنوبی
۲۶	۰/۲۸۲۳	۱/۰۰۷۱	۰/۸۰۹	استان خراسان شمالی
۱۸	۰/۳۱۴۲	۱	۱	شهرستان اهواز
۱۸	۰/۳۱۴۲	۱/۸۶۶۱	۱	استان خوزستان
۳۷	۰/۲۲۹۵	۱	۰/۵۷۹	استان کهگیلویه و بویراحمد
۱۰	۰/۳۵۲۲	۱/۳۵۴۱	۰/۸۹۷	استان زنجان
۳	۰/۳۹۸۲	۱/۶۳۶۱	۱	استان قزوین
۱۶	۰/۳۲۱۹	۱/۳۰۴۴	۰/۸۰۸	استان سمنان
۲۴	۰/۲۹۲۴	۱	۰/۸۲۶	استان سیستان و بلوچستان
۲۰	۰/۳۰۵۱	۱/۱۷۵۸	۰/۶۶۶	استان کرمانشاه
۲۳	۰/۲۹۵۲	۱/۱۲۲۸	۰/۸۲۷	استان کردستان
۳۶	۰/۲۵۰۷	۱/۰۵۲۰	۰/۶۲۶	استان ایلام
۳۱	۰/۲۶۷۰	۱/۱۲۰۲	۰/۶۲۹	شهرستان شیراز
۱۴	۰/۳۲۷۱	۱/۱۶۰۹	۰/۸۴۶	استان فارس
۱۸	۰/۳۱۴۲	۱	۰/۸۲۶	استان بوشهر
۱۹	۰/۳۰۶۲	۱/۲۳۲۲	۰/۷۹۸	شمال استان کرمان
۳۰	۰/۲۷۶۱	۱	۰/۸۰۵	جنوب استان کرمان
۲۵	۰/۲۹۱۱	۱/۱۸۷۱	۰/۸۰۳	استان گیلان
۲۹	۰/۲۷۶۷	۱/۲۴۷۹	۰/۷۱۲	استان مازندران
۳۲	۰/۲۶۷۰	۱	۰/۶۱۹	غرب استان مازندران
۳۵	۰/۲۵۴۳	۱/۱۵۵۸	۰/۶۴۳	استان گلستان
۲۱	۰/۲۹۷۶	۱/۰۷۰۰	۰/۸۹۵	استان هرمزگان
۶	۰/۳۷۹۰	۱/۴۶۱۶	۱	استان یزد

قزوین و استان یزد روی مرز کارایی قرار می‌گیرند. همچنین اگر شرکت‌ها را تنها از منظر کارایی بدبینانه بررسی کنیم، شرکت‌های توزیع برق آذربایجان شرقی، استان خراسان جنوبی، شهرستان اهواز، استان کهگیلویه و بویراحمد، استان سیستان و بلوچستان، استان بوشهر،

همان‌طور که یافته‌ها در جدول ۴ نشان می‌دهد؛ با تحلیل ۳۹ شرکت توزیع برق کشور از منظر کارایی خوش‌بینانه، شرکت‌های توزیع برق شهرستان تبریز، استان اردبیل، شهرستان اصفهان، استان البرز، تهران بزرگ، شهرستان مشهد، استان خراسان رضوی، شهرستان اهواز، استان خوزستان، استان

و انرژی تحویلی و تعداد مشترکان به‌عنوان متغیرهای خروجی انتخاب شدند. پس از محاسبه کارایی‌های خوش‌بینانه و بدبینانه، به‌منظور ادغام این دو کارایی در قالب عملکرد کلی از رابطه ارائه‌شده توسط وانگ و چین (۱۳۹۲) استفاده شده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که رویکرد حاضر، رتبه‌بندی دقیق‌تری از واحدهای تصمیم‌گیری را میسر می‌سازد. لذا با توجه به مزایای یادشده، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی، محاسبه شاخص بهره‌وری مالم کوئیست که تغییرات بهره‌وری و کارایی را در طول زمان نشان می‌دهد، با در نظر گرفتن هر دو مرز خوش‌بینانه و بدبینانه صورت گیرد.

منابع

- [۱] صادقی مقدم، محمدرضا؛ غریب، علی حسین. (۱۳۹۲). «ارزیابی کارایی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی و اعمال محدودیت فازی برای کنترل اوزان و یافتن اوزان عمومی». مجله مدیریت صنعتی (دانشگاه تهران)، ۵(۲)، ۸۴-۷۱.
- [۲] فلاحی، محمدعلی؛ احمدی، وحیده. (۱۳۸۴). «ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع برق در ایران». مجله تحقیقات اقتصادی، ۴۰(۴)، ۳۲۰-۲۹۷.
- [۳] عزیزی، حسین. (۱۳۹۱). «سنجش کارایی در تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از مرزهای کارا و ناکارا». مجله پژوهش‌های مدیریت در ایران، ۱۶(۳)، ۱۷۳-۱۵۳.
- [۴] ختایی، محمود؛ فرزین، محمدرضا؛ موسوی، علی. (۱۳۸۷). «اندازه‌گیری کارایی برخی هتل‌های شهر تهران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)». فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، ۸(۲)، ۲۴-۱.
- [۵] مؤمنی، منصور. (۱۳۸۹). مباحث نوین تحقیق در عملیات، تهران: مؤلف.
- [۶] عزیزی، حسین؛ بهاری، علیرضا؛ جاهد، رسول. (۱۳۹۲). «یک رویکرد جدید برای انتخاب فناوری‌های پیشرفته تولید: تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه». مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۰(۱)، ۱۱۷-۹۹.
- [۷] خسروی، محمدرضا؛ شاهرودی، کامبیز. (۱۳۹۳). «کاربست مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در سنجش کارایی بخش انتقال نیروی صنعت برق». مجله مدیریت صنعتی (دانشگاه تهران)، ۶(۲)، ۲۸۲-۲۶۳.
- [۸] سایت آمار صنعت برق (۱۳۹۴). نشریه آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه توزیع نیروی برق در سال ۱۳۹۳، ناشر: شرکت مادر تخصصی توانیر. بازبایی از: <http://amar.tavanir.org.ir/pages/report/stat93/tafsili/toze/tozee%201393.pdf>

جنوب استان کرمان و غرب استان مازندران، واحدهای تصمیم‌گیری ناکارای بدبینانه هستند. اما یافته‌های پژوهش حاضر که واحدهای تصمیم‌گیری را از منظر هر دو کارایی خوش‌بینانه و بدبینانه بررسی می‌کند، حاکی از این است که شرکت توزیع برق شهرستان مشهد با مقدار عملکرد کلی ۰/۴۱۳۳، بهترین عملکرد را در میان سایر شرکت‌های توزیع برق کشور دارد. پس‌از آن شرکت‌های توزیع برق استان البرز، استان قزوین، شهرستان اصفهان و استان قم به ترتیب کاراترین واحدهای تصمیم‌گیری بوده‌اند. از طرفی شرکت توزیع برق استان کهگیلویه و بویراحمد نیز رتبه ۳۷ بوده و پایین‌ترین عملکرد کلی را داشته است. همان‌طور که یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد، بر اساس نتایج حاصل از تحلیل پوششی داده‌های سنتی که تنها کارایی خوش‌بینانه را می‌سنجد، شرکت توزیع برق شهرستان مشهد و ۱۰ شرکت دیگر روی مرز کارایی قرار می‌گیرند، حال آنکه با روش تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه تنها شرکت توزیع برق شهرستان مشهد، بهترین است. لذا روش تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای کارا و ناکارا مزیت قابل‌توجهی نسبت به تحلیل پوششی داده‌های سنتی دارد، چراکه این روش کارایی را دقیق‌تر بیان می‌کند و با استفاده از آن می‌توان بهترین واحد تصمیم‌گیری را به‌آسانی و به‌درستی شناسایی کرد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

طی سالیان گذشته و از زمان به وجود آمدن مفهوم کارایی، مطالعات بسیاری در این خصوص انجام پذیرفته است. مطالعاتی که عمدتاً از تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. ولی با توجه به نقص این روش در ارزیابی دقیق کارایی نیازمند این است که در تحلیل‌ها از روش‌های کارآمدتری که توسعه یافته روش تحلیل پوششی داده‌ها است استفاده شود. یکی از جدیدترین روش‌ها در این زمینه تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه است که با وجود استفاده گسترده آن در تحقیقات خارجی، به دلیل عدم آشنایی محققین داخلی از این روش کمتر استفاده شده است.

در مقاله حاضر برای ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع برق کشور از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه استفاده شده است. این رویکرد نه‌فقط کارایی‌های خوش‌بینانه واحدهای تصمیم‌گیری، بلکه کارایی‌های بدبینانه آن‌ها را نیز هم‌زمان در نظر می‌گیرد و با محاسبه عملکرد کلی این امکان را فراهم می‌آورد که برابندی از مجموع دو کارایی محاسبه شده و نیاز به محاسبات پیچیده برای اولویت بندی واحدهای تصمیم‌گیری نباشد. بدین منظور برای سنجش کارایی، تعداد کارکنان، طول شبکه، ظرفیت ترانسفورماتورها به‌عنوان متغیرهای ورودی

- [14] Wang, Y. M., & Yang, J. B. (2007). *Measuring the performances of decision-making units using interval efficiencies*. Journal of Computational and Applied Mathematics, 198(1), 253-267.
- [15] Azizi, H., & Ajirlu, S. F. (2010). *Measurement of overall performances of decision-making units using ideal and anti-ideal decision-making units*. Computers & Industrial Engineering, 59(3), 411-418.
- [16] Azizi, H., & Jahed, R. (2011). *Improved data envelopment analysis models for evaluating interval efficiencies of decision-making units*. Computers & Industrial Engineering, 61(3), 897-901.
- [17] Azizi, H., & Wang, Y. M. (2013). *Improved DEA models for measuring interval efficiencies of decision-making units*. Measurement, 46(3), 1325-1332.
- [18] Jahed, R., Amirteimoori, A., & Azizi, H. (2015). *Performance measurement of decision-making units under uncertainty conditions: An approach based on double frontier analysis*. Measurement, 69, 264-279.
- [9] Puri, J., & Yadav, S. P. (2014). *A fuzzy DEA model with undesirable fuzzy outputs and its application to the banking sector in India*. Expert Systems with Applications, 41(14), 6419-6432.
- [10] Wang, Y. M., & Chin, K. S. (2009). *A new approach for the selection of advanced manufacturing technologies: DEA with double frontiers*. International Journal of Production Research, 47(23), 6663-6679.
- [11] Doyle, J. R., Green, R. H., & Cook, W. D. (1995). *Upper and lower bound evaluation of multiattribute objects: Comparison models using linear programming*. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 64(3), 261-273.
- [12] Entani, T., Maeda, Y., & Tanaka, H. (2002). *Dual models of interval DEA and its extension to interval data*. European Journal of Operational Research, 136(1), 32-45.
- [13] Wang, Y. M., & Luo, Y. (2006). *DEA efficiency assessment using ideal and anti-ideal decision making units*. Applied Mathematics and Computation, 173(2), 902-915.

¹ DMU (Decision Making Unit)

² Debreu

³ Copmans

⁴ Farrell

⁵ Stochastic frontier analysis

⁶ Charnes

⁷ Doyle

⁸ Entani

⁹ Wang & Luo

¹⁰ Yang

¹¹ Chin

¹² Advanced manufacturing technology (AMT)

¹³ Charnes, Cooper & Rhodes