دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال ششم، شماره بیست و هشتم، بهمن و اسفند ۱۳۹۹
شماره شاپا: ۵۸۸-۲۵۸۸X

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

پژوهش‌های نوین در ریاضی

ارایه یک مدل ترکیبی از DEA دو مرحله‌ای و PROMETHEE در محیط خاکستری جهت ارزیابی عملکرد

امیر امینی[۱]، علیرضا علی‌نژاد[۲]*

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران
[۲] دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۶

چکیده

یکی از چالش‌های عمده ارزیابی عملکرد در سازمان‌ها و کلیه سیستم‌ها، غیرمنطقی بودن و دقیق نبودن روش‌ها و معیارهای بکار گرفته شده است. روش‌های سنتی ارزیابی عملکرد عمدتا یک سطحی بوده، لذا فاقد توان لازم بمنظور ارایه بازخورد کافی جهت شناسایی واحدهای ناکارا هستند. تحلیل پوششی داده‌ها، یک تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی است که کارایی نسبی چندین واحد تصمیم‌گیرنده را بر مبنای ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده شده که ممکن است با انواع مقیاس‌های مختلف بیان شوند، محاسبه می‌کند. در عمل، بسیاری از واحدهای تصمیم‌گیری در درون خود به بخش‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شوند و با مدل‌های استاندارد تحلیل پوششی داده‌ها که سازمان را به صورت یک بخش کلی در نظر می‌گیرند، نتایج منطقی حاصل نمی‌شود. بنابراین لازم است از مدل‌هایی همچون مدل DEA دومرحله‌ای متناسب با چنین شرایطی برای ارزیابی دقیق‌تر واحدهای تحت بررسی استفاده شود. همچنین در شرایطی که تعداد زیادی ورودی و خروجی وجود داشته باشد، این روش چندان کارآمد نمی‌باشد و تعداد زیادی از واحدها را کارا اعلام می‌کند لذا برای رفع این مشکل تحقیق حاضر با استفاده از روش PROMETHEE، ورودی‌ها و خروجی‌ها رتبه‌بندی می‌کند، سپس با مهم‌ترین آنها کار ارزیابی ادامه خواهد یافت. از آنجایی که همواره اطلاعات در دسترس کامل و دقیق نیستند این مهم در فضای خاکستری انجام خواهد شد. یافته‌های به دست آمده نشان‌دهنده کاهش چشمگیر واحدهای شناسایی شده کاراست که در نتیجه بهبود قدرت تمایز روش DEA را نشان می‌دهد. در کنار این، استفاده از محیط عدم اطمینان به ارزیابی‌ها و برآوردهای دقیق‌تر نسبت به مدل‌های قطعی انجامیده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد، DEA دومرحله‌ای، MADM، PROMETHEE، اعداد خاکستری.

* عهده‌دار مکاتبات: Email: alalinezhad@gmail.com

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت روزافزون عملکرد واحدها در شرایط رقابتی داخلی و خارجی، ارزیابی و انتخاب واحدهای کارا برای سازمان‌ها امری مهم و اساسی در جهت نیل به اهداف استراتژیکی و حفظ بقای خود می‌باشد [۱]. یکی از روش‌های کاربردی و موثر در ارزیابی واحدها، تحلیل پوششی داده‌هاست که با در نظر گرفتن ورودی‌ها و خروجی‌ها به ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری می‌پردازد. کارایی عبارت است از "صحیح انجام دادن کارها"، به عبارتی کارایی نشان می‌دهد که یک سازمان تا چه میزان از نهاده‌ها به طور بهینه در جهت تولید ستاده‌ها استفاده کرده است [۲]. به این معنی که از حداقل نهاده‌ها حداکثر محصول برداشت شود، به عبارت دیگر کارایی به معنای استفاده بهینه از منابع می‌باشد [۳].

امروزه استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها با سرعت زیادی در حال گسترش بوده و در ارزیابی سازمان‌ها و صنایع مختلف مانند صنعت بانکداری، پست، بیمارستان، مراکز آموزشی، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و مانند آن استفاده می‌شود [۴]. تحلیل پوششی داده‌ها یک تکنیک قدرتمند مدیریتی است که ابزاری در اختیار مدیران قرار می دهد تا بتوانند به وسیله آن عملکرد شرکت خود را در قبال سایر رقبا محک زنند و بر اساس نتایج آن برای آینده‌ای بهتر تصمیم‌گیری کنند [۵]. این ابزار که برای اولین بار توسط چارنز، کوپر و رودز در سال ۱۹۷۸ [۶] ارایه شد، کارایی نسبی واحدهایی که دارای ورودی‌ها و خروجی‌های مشابه هستند را اندازه‌گیری کرده و بر اساس آن، واحدهای کارا و ناکارا را مشخص می‌کند.

پس از بیان مسأله در بخش نخست، پیشینه تحقیق در بخش دوم و روش‌شناسی پژوهش شامل تکنیک PROMETHEE و روش DEA در بخش سوم تشریح خواهد شد. سپس یافته‌های تحقیق مورد تجزیه و تحلیل واقع خواهد شد و در پایان نتایج بیان می‌گردند.

۲- پیشینه تحقیق

در دنیای امروز اغلب مسایلی که برای تصمیم‌گیری به مدیران عرضه می شود دارای ابعاد متنوعی است و صرفا با چند معیار فرموله نمی‌گردد [۷]. به عبارت دیگر اکثر تصمیم‌گیری‌های مدیران تحت تاثیر عوامل مختلف کمی و کیفی قرار دارد که اغلب این عوامل با یکدیگر در تعارض هستند. لذا ایشان سعی می‌کنند که بین چندین گزینه موجود بهترین گزینه را انتخاب کنند [۸]. اشتباه و عدم دقت در تصمیم‌گیری مستلزم پرداخت هزینه خطاست. هر چه قدرت و اختیارات مدیریت بیشتر باشد، هزینه تصمیم غلط نیز بالاتر خواهد بود. طبیعی است که حل مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره دارای پیچیدگی است و به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد به ویژه آنکه اغلب معیارهای مورد نظر با یکدیگر تعارض داشته و افزایش مطلوبیت یکی می‌تواند باعث کاهش مطلوبیت دیگری شود [۹]. به همین دلیل روش‌هایی تحت عنوان تصمیم‌گیری چند معیاره و به ویژه تصمیم‌گیری چند شاخصه MADM توسعه داده شده‌اند که به حل مسایل مزبور کمک می‌کنند [۱۰]. روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تکنیک‌های متنوعی را در مراحل مختلف تصمیم‌گیری اعمال می‌کنند. در این روش‌ها چندین گزینه براساس معیارهای مختلف با هم مقایسه شده، بهترین گزینه یا ترتیب گزینه‌های مناسب انتخاب می‌شوند [۱۱].

مسئله دیگری که وجود دارد این است که در مدل‌های کلاسیک DEA این فرض وجود دارد که مقدار عددی دقیقی برای ورودی ها و خروجی‌ها مشخص است. لیکن در شرایط واقعی، بیشتر اوقات تعیین مقدار عددی دقیق برای برخی ورودی‌ها / خروجی‌ها امکان‌پذیر نیست. از آن جمله می‌توان مسائل سرمایه‌گذاری، ریسک بازارهای مالی و بیمه و مانند آن را نام برد. گاهی نیز ممکن است اطلاعات دقیق تا اندازه‌ای موجود ولی دسترسی به آن بسیار پرهزینه و غیراقتصادی می‌باشد [۱۲]. هنگامی که اطلاعات ناقص باشد و داده‌های جمع‌آوری شده غیرقطعی باشند، عملا استفاده از مدل‌های در شرایط قطعیت بی‌معنی خواهد بود. در این شرایط مطمئنا بکارگیری روش‌های قطعی باعث کاهش معنی‌داری و قابل استفاده بودن نتایج خواهد شد. بنابراین مدل‌های قطعی لزوما روش‌های موثر و مفیدی به منظور مواجهه با مسائل پیچیده نیستند و لذا نمی‌توان از مدل‌های DEA کلاسیک در این‌گونه موارد استفاده کرد [۱۳].

یکی از موارد عدم قطعیت، عدم قطعیت از نوع خاکستری می‌باشد. این شاخه از علم ریاضی در سال ۱۹۸۲ توسط جو-لانگ[1] (۱۹۸۲) [۱۴] مطرح گردید. این تئوری در مدت کوتاهی (قریب به دو دهه) به سرعت رشد و گسترش یافت و به طور گسترده‌ای در ارزیابی، مدل‌سازی، پیش‌بینی، تصمیم‌گیری و کنترل به کار گرفته شد. اسم سیستم‌های خاکستری بر پایه رنگ موضوعات تحت بررسی نام‌گذاری شده است. اگر اطلاعات واضح و شفاف یک سیستم با رنگ "سفید" و اطلاعات کاملا ناشناخته یک سیستم را با رنگ "سیاه" تجسم کنیم، در اینصورت سیستم‌های با اطلاعات بخشی معلوم و بخشی ناشناخته را "سیستم خاکستری" می‌نامند. هر سیستم خاکستری به وسیله اعداد خاکستری، معادلات خاکستری و ماتریس‌های خاکستری توصیف می‌شود که در این میان اعداد خاکستری به مثابه اتم‌ها و سلول‌های این سیستم می‌باشند. عدد خاکستری عددی است که مقدار دقیق آن معلوم نیست اما محدوده‌ای که در آن قرار می‌گیرد مشخص است. در حقیقت عدد خاکستری، عددی غیرقطعی است که مقدار ممکن خود را از یک بازه یا مجموعه‌ای از اعداد اتخاذ می‌کند [۱۵].

از سوی دیگر چون که امروزه بسیاری از فرایندهای تولیدی و خدماتی به یکدیگر وابسته‌اند لذا باید با استفاده از تکنیک‌های علمی بتوان این وابستگی‌ها را تجزیه و تحلیل کرد. تکنیک دومرحله‌ای مفهومی است که می‌تواند این روابط و وابستگی‌ها را تجزیه و تحلیل کند. در تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای برای تجزیه و تحلیل وابستگی بین فرایندهای تولید و خدماتی و بخش‌های مختلف، ابتدا به دنبال کارایی هر واحد و سپس کارایی کل هستیم [۱۶].

لطفی و همکاران (۲۰۱۰) [۱۷]، با ارایه مدل تعادلی بین DEA و MOLP نشان دادند که چطور می توان مسائل DEA را با استفاده از MOLP حل کرد. همچنین آنها از روش Z-W برای انعکاس ترجیحات DM در تعیین کارایی استفاده کرده‌اند.

توانا و دامغانی خلیلی (۲۰۱۴) [۱۸]، یک مدل DEA فازی دومرحله‌ای موثر برای محاسبه امتیاز کارایی برای یک DMU و زیر واحدها پیشنهاد دادند که با استفاده از رویکرد نظریه بازی به اولویت‌بندی و تجزیه پی در پی امتیاز کارایی DMU به صورت مجموعه‌ای از امتیاز کارایی برای زیر واحدهایش می‌پردازد. آنها برای نشان دادن انطباق روش پیشنهادی مدل را برای یک مسئله ارزیابی عملکرد دومرحله‌ای در صنعت بانکداری حل کردند.

لیو و همکاران (۲۰۱۵) [۱۹]، مدل تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای را با ورودی‌ها، میانجی‌ها و خروجی‌های نامطلوب بررسی کردند.

ما و همکاران (۲۰۱۷) [۲۰]، مجموعه‌ای از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها را برای ارزیابی کارایی سیستم‌های دومرحله‌ای متشکل از سه زیر سطح واحد تصمیم‌گیرنده در ترکیب با ورودی‌های اضافی در مرحله دوم توسعه دادند. مدل‌های پیشنهادی ایشان به دقت ساختار داخلی سری-موازی را شبیه‌سازی کرده و با نفوذ در داخل سیستم، منبع ناکارایی را به نحو مطلوبی تشخیص می‌دهد

روشی ترکیبی جدیدی از تحلیل پوششی داده‌های فازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی توسط باراک و داهویی (۲۰۱۸) [۲۱] جهت رتبه‌بندی امنیت شرکت‌های هواپیمایی ارایه گردیده است. برخلاف رویکردهای پیشین، ایشان از DEA فازی جهت تعیین وزن معیارها و از ۶ روش تصمیم‌گیری فازی مختلف جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها بهره گرفتند.

ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) [۲۲]، عملکرد طرح‌های تخصیص منابع را در ۳۰ استان چین بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ با استفاده از یک مدل تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای بررسی کردند.

مرور ادبیات پژوهش نشان می‌دهد، انعطاف‌پذیری کامل وزن یکی از مشخصه‌های بارز مدل‌های سنتی DEA است که در آن‌ها انعطاف در انتخاب وزن‌های درون‌زا، واحد ارزیابی‌شونده را در بهترین موقعیت ارزیابی ممکن قرار می‌دهد. در بیشتر مواقع این امر به دو مشکل منتهی می‌شود: ضعف قدرت و توان ارزیابی روش و تخصیص غیرمنطقی وزن‌ها. زمانی که تعداد واحدهای تصمیم‌گیری در مقایسه با تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها زیاد نباشد،

1. Ju-Long, D.

واحدهای زیادی به عنوان واحدهای کارا ارزیابی می‌شوند (کاهش قدرت تمایز روش DEA). مشکل دوم به موقعیتی منجر می‌شود که در آن برخی از واحدهای تصمیم‌گیری تنها به دلیل داشتن برخی مقادیر وزن ورودی/ خروجی بسیار کم یا بسیار زیاد کارا ارزیابی شوند.در حالی که این مقادیر ممکن است غیرمنطقی و ناطملوب باشند. علاوه بر این، وزن‌های تخصیصی ورودی و خروجی ممکن است با دانش پیش‌بینی تصمیم‌گیرنده(گان) نیز در تضاد باشد. در طول ۳ دهه اخیر، پژوهشگران رویکردهای متنوعی جهت محدود نمودن وزن و حل مشکل روش‌هاس سنتی DEA نموده‌اند [۲۳–۲۵]. یکی از رویکردهای بهینه‌سازی شده، اجرای روش DEA دو یا چندمرحله‌ای و بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است تا بتوان قدرت تمایز روش DEA و قابلیت اعتماد نتایج بدست آمده را بهبود بخشید [۲۶].

با توجه به مطالب گفته شده، در این پژوهش سعی بر این است تا با ارایه مدلی جدید از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) چند شاخصه در محیطی با داده‌های خاکستری علاوه بر رفع نواقص موجود در مدل‌های کلاسیک DEA که داده‌ها به صورت قطعی در نظر گرفته می‌شدند، امکان ارزیابی عملکرد سازمان‌های مختلف در شرایطی که داده‌ای آن نامعلوم هستند، فراهم شود و کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده را زمانی که پارامترهای مدل قطعی نبوده و فقط محدوده آنها مشخص باشد، بدست آوریم. تا بتواند توانایی مواجهه با ابهام در داده‌ها را داشته باشد. زیرا در شرایط واقعی مقدار دقیق پارامترها معلوم نیست. بدین منظور در فاز اول از روش PROMETHEE استفاده شده است تا ورودی‌ها و خروجی‌های با بیشترین میزان تاثیر و اثرگذاری در ارزیابی فیلتر شده و در فاز دوم با اجرای روش DEA فرایند ارزیابی اصلی انجام پذیرد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع پژوهش‌های نظری- کاربردی است. در این پژوهش، با یک مدل دومرحله‌ای برای رتبه‌بندی کامل واحدهای تصمیم‌گیرنده با چندین ورودی و چندین خروجی آشنا می‌شویم. ابتدا با استفاده از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه به نام پرومته، ورودی‌ها و خروجی‌ها را رتبه‌بندی می‌کنیم، سپس با مهمترین آنها کار ارزیابی را انجام می دهیم. از آنجایی که همواره اطلاعات در دسترس ما کامل و دقیق نیستند این مهم را در فضای خاکستری انجام می‌دهیم. در این تحقیق فرضیه موجود نمی باشد. اما مفروضات تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱. داده‌های مدل ارایه شده به صورت غیر قطعی و در فضای خاکستری می‌باشد.

۲. مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به صورت دومرحله‌ای می‌باشد.

۳. داده‌ها می‌توانند کمی و یا کیفی باشند.

همانطور که قبلا توضیح داده شد در مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها، کل سیستم را به صورت یکپارچه جهت ارزیابی عملکرد سازمان‌ها در نظر می‌گرفتند که با این وجود عملا نقش واحدهای زیر مجموعه و کوچک‌تر در سیستم نادیده گرفته می‌شد و این امر موجب می‌گردید که ارزیابی درست و دقیقی از سازمان نداشته باشیم. اگر عداد خاکستری مطابق رابطه یک داشته باشیم:

$$\otimes_1 \in [a, b],\ a < b;\ \otimes_2 \in [c, d],\ c < d \quad (۱)$$

در این صورت جمع، تفریق، ضرب و تقسیم دو عدد خاکستری $\otimes_1$ و $\otimes_2$ قرینه و معکوس هر عدد خاکستری به صورت رابطه ۲ تعریف می‌گردد [۲۷]:

$$\begin{aligned}
&\otimes_1 + \otimes_2 \in [a + c,\ b + d]\\
&-\otimes = [-b, -a]\\
&\otimes_1 - \otimes_2 = \otimes_1 + (-\otimes_2) \in [a - d,\ b - c] \quad (۲)\\
&\otimes^{\wedge(-1)} = [1/b,\ 1/a],\ ab > 0\\
&\otimes_1 . \otimes_2 \in [\min\{ac, ad, bc, bd\},\ \max\{ac, ad, bc, bd\}]\\
&\otimes_1 / \otimes_2 = \otimes_1 . \otimes_2^{\wedge(-1)}\\
&\otimes_1 / \otimes_2 \in [\min\{a/c, a/d, b/c, b/d\},\ \max\{a/c, a/d, b/c, b/d\}],\ cd > 0\\
&k . \otimes \in [ka, kb],\ k \in R^+
\end{aligned}$$

۳-۱- تکنیک پرومته (PROMETHEE)

این روش بر دو مفهوم ترجیح و بی‌تفاوتی استوار است به این معنی که گزینه A بر گزینه B ترجیح و برتری دارد اگر از نظر توابع ترجیح که میزان ارجحیت گزینه A بر گزینه B از نظر تصمیم‌گیرنده را ارایه می‌دهد مقدار تابع ترجیح گزینه A بیشتر از تابع ترجیح گزینه B باشد.

همین‌طور گزینه A نسبت به گزینه B بی‌تفاوت است اگر مقدار تابع ترجیح گزینه A با تابع ترجیح گزینه B برابر باشد. پس از تعیین وضعیت دوبه‌دوی گزینه‌ها نسبت به هم در یک گراف رتبه‌بندی نمایش داده می‌شود [۲۸].

فرض کنید A مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که باید از میان آنها انتخاب صورت گیرد. با فرض وجود K معیار موثر درتصمیم‌گیری، برای هر گزینه $a \in A$، مقدار $f_j(a)$ نشان دهنده ارزش معیار j ام درگزینه a است. رتبه‌بندی در سه گام انجام می‌شود:

گام اول: تابع ترجیح P_j به هر یک از معیارهای j اختصاص داده می‌شود. مقدار $P_j(a,b)$ برای هر زوج گزینه محاسبه می‌شود. این مقدار بین صفر و یک، متغیر است. اگر رابطه $f_j(a)=f_j(b)$ برقرار باشد، مقدار $P_j(a,b)$ صفر می‌شود و با افزایش $f_j(a)-f_j(b)$ این مقدار بیشتر می‌یابد و هنگامی که اختلاف به اندازه کافی زیاد شود، مقدار $P_j(a,b)$ هم به یک می‌رسد. شکل‌های مختلفی را می‌توان برای تابع P_j فرض کرد که به چگونگی مدل‌سازی معیار jام بستگی دارد. روش PROMETHEE، ۶ معیار تعمیم یافته برای تابع ترجیح را به تصمیم‌گیرنده پیشنهاد می‌کند. که عبارتند از معیار عادی، U شکل، V شکل، هم سطح، V شکل با ناحیه خنثی و معیار گوسی. البته برای هر معیار f_j، یک عامل وزن، یعنی w_j نیز در نظر گرفته می شود .

گام دوم: میزان اولویت کلی $\pi(a,b)$ برای هر گزینه a بر روی گزینه b محاسبه می‌شود. هرچه میزان $\pi(a,b)$ بیشتر باشد، گزینه a ترجیح بیشتری دارد. $\pi(a, b)$ به این ترتیب محاسبه می‌شود:

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^{k} w_j p_j(a,b) \ , \left(\sum_{j=1}^{k} w_j = 1\right) \qquad (۳)$$

گام سوم: $\pi(a,b)$ نشان‌دهنده درجه اولویت گزینه a نسبت به گزینه b است. برای محاسبه قدرت ترجیح کلی گزینه a به دیگر گزینه‌ها، جریان رتبه‌بندی مثبت یا جریان خروجی محاسبه می‌شود:

$$(a) = \varphi + \frac{1}{n-1}\sum_{x \in A} \pi(a,x) \qquad (۴)$$

این جریان نشان می‌دهد که گزینه a چقدر بر سایر گزینه‌ها اولویت دارد. این جریان، در حقیقت، قدرت گزینه a است. بزرگ‌ترین $\varphi^+(a)$ به معنای بهترین گزینه است. میزان ترجیح سایر گزینه‌ها بر گزینه a که جریان رتبه‌بندی منفی یا جریان ورودی نامیده می‌شود، حاصل محاسبه زیر است:

$$\varphi - (a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x \in A} \pi(x,a) \qquad (۵)$$

این جریان نشان می‌دهد که سایر گزینه‌ها تا چه میزان برگزینه a اولویت دارند. این جریان، در حقیقت، ضعف گزینه a است. کوچک‌ترین $\varphi^-(a)$ نشان‌دهنده بهترین گزینه است. بنابراین، با داشتن و بررسی جداگانه ۲ جریان φ^+ و φ^- می توان یک رتبه‌بندی جزئی را انجام داد (رتبه‌بندی PROMETHEE I). برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها باید جریان خالص رتبه‌بندی را برای هر گزینه تعریف نمود (رتبه‌بندی PROMETHEE II).

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \qquad (۶)$$

این جریان، حاصل توازن جریان‌های رتبه‌بندی مثبت و منفی است. جریان خالص بالاتر، نشان دهنده گزینه برتر است [۲۹].

۲-۳- تحلیل پوششی داده‌های دو مرحله‌ای

تحلیل پوششی داده‌ها یک روش محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده متجانس می‌باشد. مدل‌های استاندارد براساس مفروضات کلی، کارایی نسبی واحدها را ارزیابی می‌کنند. در حالی که مسائل واقعی از پیچیدگی‌های بسیاری برخوردارند و در کاربرد، بسیاری از واحدهای تصمیم‌گیری در درون خود به بخش‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شوند و با مدل‌های استاندارد تحلیل پوششی داده‌ها، نتایج منطقی حاصل نمی‌شود. بنابراین لازم است مدل‌هایی متناسب با چنین شرایطی برای ارزیابی دقیق‌تر واحدهای تحت بررسی بکار گیریم. یکی از مباحثی که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه واقع شده، بحث در مورد واحدهایی با ساختار شبکه ای دو مرحله‌ای یا فرآیند شبکه‌ای است [۳۰-۳۱].

کائو و هاوانگ در سال ۲۰۰۸ [۱۶] مدل سه را برای محاسبه کارایی دو مرحله‌ای پیشنهاد دادند.

$$\max \theta_0 = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} \qquad (۷)$$

s.t:
$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} \le 0 \quad j = 1,2,\dots,n$
$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \quad j = 1,2,\dots,n$
$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1$
$v_i, w_d, u_r \ge 0$; $i = 1,2,\dots,m$;
$d = 1,2,\dots,D \quad r = 1,2,\dots,n$

از سوی دیگر در بسیاری از موارد در دنیای واقعی برای مدل دو مرحله‌ای تمام خروجی‌ها در مرحله اول لازم نیست که در مرحله دوم بکار گرفته شوند، و یا ممکن است بعضی از ورودی‌های اضافی در مرحله دوم به سیستم اضافه شود. روش پیشنهاد داده شده در اینجا به سادگی می‌تواند در مواردی که بخواهیم همه ورودی‌ها در مرحله اول در مرحله دوم استفاده نشوند، بکار گرفته شود. و یا در بعضی مواقع می‌توان تعدادی از ورودی‌های اضافی را به سیستم در مرحله دوم اضافه کرد.

با توجه به نکات مطرح شده در بالا کائو و لیو (۲۰۱۱) [۳۲] مدل چهار را برای ارزیابی کارایی تحلیل پوششی داده‌های دو مرحله‌ای پیشنهاد دادند:

$\max \theta_o = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}$
s.t: $\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} \le 0$
$j = 1,2,\dots,n \quad (j \ne o)$
$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} \le 0$
$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0$
$j = 1,2,\dots,n \quad (j \ne o)$
$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} \le 0$
$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1$
$v_i , w_d, u_r \ge 0$; $i = 1,2,\dots,m$;
$d = 1,2,\dots,D$; $r = 1,2,\dots,n$

که در آن x_{ij} شاخص‌های ورودی، y_{ij} شاخص‌های خروجی و z_{ij} شاخص‌های میانی می باشند. همچنین v_i، w_d و u_r به ترتیب وزن‌های شاخص‌های ورودی، خروجی و میانی هستند.

اگر فرض کنیم ورودی‌ها (x) و خروجی‌های (y) اعداد خاکستری باشند:

$$\otimes X_j = (\otimes X_{1j}, \dots, \otimes X_{mj})^T \ge 0 \qquad (۹)$$
$\otimes X_j = ([a_{1j} , b_{1j}] , \dots , [a_{mj} , b_{mj}])^T$
$\otimes Y_j = (\otimes y_{1j} , \dots , \otimes y_{sj})^T \ge 0$
$\otimes Y_j = ([c_{1j} , d_{1j}] , \dots , [c_{sj} , d_{sj}])^T$

همچنین اگر برای ورودی‌ها و خروجی‌ها داشته باشیم:
$x_{ij} = [a_{ij} , b_{ij}]$
$y_{ij} = [c_{ij} , d_{ij}]$

آنگاه مدل رابطه ۱۰ برای محاسبه مقدار کارایی DMU ها در حالتی که داده‌ها به صورت خاکستری هستند، پیشنهاد داده می‌شود:

$\max \theta_o = \sum_{r=1}^{s} u_r [c_{ro} , d_{ro}]$
s.t: $\sum_{r=1}^{s} u_r [c_{rj} , d_{rj}] - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} \le 0$
$j = 1,2,\dots,n \quad (j \ne o) \qquad (۱۰)$
$\sum_{r=1}^{s} u_r [c_{ro} , d_{ro}] - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} \le 0$
$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^{m} v_i [a_{ij} , b_{ij}] \le 0$
$j = 1,2,\dots,n \quad (j \ne o)$
$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} - \sum_{i=1}^{m} v_i [a_{io} , b_{io}] \le 0$
$\sum_{i=1}^{m} v_i [a_{io} , b_{io}] = 1$
$v_i , w_d, u_r \ge 0 \quad ; i = 1,2,\dots,m$;
$d = 1,2,\dots,D$; $r = 1,2,\dots,n$

حد بالای مقادیر از محدودیت‌های رابطه ۱۱ بدست می‌آید.

$\sum_{r=1}^{s} u_r c_{rj} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} \le 0$
$j = 1,2,\dots,n \quad (j \ne o)$
$\sum_{r=1}^{s} u_r d_{ro} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} \le 0$
$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^{m} v_i b_{ij} \le 0 \qquad (۱۱)$
$j = 1,2,\dots,n \quad (j \ne o)$
$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} - \sum_{i=1}^{m} v_i a_{io} \le 0$
$\sum_{i=1}^{m} v_i a_{io} = 1$
$v_i , w_d, u_r \ge 0$; $i = 1,2,\dots,m$;
$d = 1,2,\dots,D$; $r = 1,2,\dots,n$

همچنین حد پایین مقادیر از محدودیت‌های رابطه ۱۲ بدست می آید.

$\sum_{r=1}^{s} u_r d_{rj} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} \le 0$
$j = 1,2,\dots,n \quad (j \ne o)$
$\sum_{r=1}^{s} u_r c_{ro} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} \le 0$
$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^{m} v_i a_{ij} \le 0$
$j = 1,2,\dots,n \quad (j \ne o) \qquad (۱۲)$
$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} - \sum_{i=1}^{m} v_i b_{io} \le 0$
$\sum_{i=1}^{m} v_i b_{io} = 1$
$v_i , w_d, u_r \ge 0 \quad ; i = 1,2,\dots,m$;
$d = 1,2,\dots,D$; $r = 1,2,\dots,n$

به منظور حل مدل با استفاده از نرم افزار لینگو آن را به دو مدل زیر تجزیه می‌کنیم که اولی حد بالا و دومی حد پایین

را بدست می‌دهد.

$$\begin{aligned}
&\max \theta_o = \sum_{r=1}^{s} u_r d_{ro} \\
&\text{s.t:} \quad \sum_{r=1}^{s} u_r c_{rj} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} \le 0 \\
&j = 1,2,\ldots,n \ (j \neq o) \qquad (۱۳) \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r d_{ro} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} \le 0 \\
&\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^{m} v_i b_{ij} \le 0 \\
&j = 1,2,\ldots,n \ (j \neq o) \\
&\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} - \sum_{i=1}^{m} v_i a_{io} \le 0 \\
&\sum_{i=1}^{m} v_i a_{io} = 1 \\
&v_i , w_d, u_r \ge 0 \ ; \ i = 1,2,\ldots,m ; \\
&d = 1,2,\ldots,D ; r = 1,2,\ldots,n
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\max \theta_o = \sum_{r=1}^{s} u_r c_{ro} \\
&\text{s.t:} \quad \sum_{r=1}^{s} u_r d_{rj} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} \le 0 \\
&j = 1,2,\ldots,n \ (j \neq o) \qquad (۱۴) \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r c_{ro} - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} \le 0 \\
&\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^{m} v_i a_{ij} \le 0 \\
&j = 1,2,\ldots,n \ (j \neq o) \\
&\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} - \sum_{i=1}^{m} v_i b_{io} \le 0 \\
&\sum_{i=1}^{m} v_i b_{io} = 1 \\
&v_i , w_d, u_r \ge 0 \ ; \ i = 1,2,\ldots,m ; \\
&d = 1,2,\ldots,D ; r = 1,2,\ldots,n
\end{aligned}$$

اگر مدل پیشنهادی را با استفاده از نرم افزار Lingo حل نماییم و جواب‌ها به ترتیب θ_1 , θ_2 باشند آنگاه جواب مساله برنامه‌ریزی خاکستری به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Max } z = [\theta_1 , \theta_2]$$

که در واقع یک عدد خاکستری بازه‌ای است.

بر اساس بازه‌های کارایی بدست آمده [۳۳]، می‌توان واحدها را در سه زیر مجموعه زیر تقسیم‌بندی کرد:

اگر $\theta_1 = 1$ باشد، آنگاه واحد j به ازای تمام مقادیر موجود در بازه نهاده‌ها و ستاده‌ها کاراست.

اگر $\theta_2 = 1$ و $\theta_1 < 1$ باشد، آنگاه واحد j به ازای مقادیر حد بالای داده‌ها و ستاده‌ها کاراست.

اگر $\theta_2 < 1$ باشد، آنگاه واحد j به ازای هیچ یک از مقادیر موجود در بازه نهاده‌ها و ستاده‌ها کارا نیست.

۳-۳- نمونه‌های پژوهش

مهمترین دستاورد انجام این تحقیق، دستیابی به مدلی است که پیاده‌سازی و اجرای آن شرکت مخابرات را از وضعیت عملکرد مراکز ICT خود آگاه نموده و با شناساندن نقاط ضعف و قوت به آن‌ها، الگویی جامع و مناسب جهت افزایش رقابت‌پذیری و بهبود اوضاع و شرایط در اختیار آن ها قرار می‌دهد. بدین منظور این پژوهش ۲۲ مرکز ICT را در نظر گرفته و با تعیین شاخص‌های ورودی و خروجی به ارزیابی عملکرد آن‌ها با استفاده از روش پیشنهادی پرداخته است. به کارگیری چنین الگویی می‌تواند این مراکز را در راستای الگوبرداری از واحدهایی که به عنوان واحد های الگو و کارا شناسایی شده‌اند، یاری کند. همچنین، از شاخص‌های شناسایی شده به عنوان فاکتورهای اصلی جهت بهبود عملکرد و افزایش کیفیت خدمات در مراکز فوق می‌توان استفاده کرد. علاوه بر این‌ها، از مدل و رویکرد طراحی شده در این تحقیق می‌توان در ارزیابی عملکرد سایر شرکت‌های خدماتی مانند بانک‌ها، بیمارستان‌ها، مراکز آموزشی و مانند آن نیز بهره برد.

۴- یافته‌ها

شرکت مخابرات دارای ۲۲ مرکز ICT در مناطق مختلف شهرستان کامیاران می‌باشد. روش پیشنهادی عملکرد این مراکز را ارزیابی می‌نماید و از آنجایی که داده‌های موجود در این سازمان ناقص و محدود می‌باشد، برای حصول نتایج بهتر از اعداد خاکستری استفاده شده است. با توجه به اینکه تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های این سازمان برای روش تحلیل پوششی داده‌ها زیاد بوده و مناسب نمی‌باشد و همچنین در رابطه تجربی (تعداد DMUها ≤ (ورودی‌ها + خروجی‌ها) ×۳) صدق نمی‌کند، از روش PROMETHEE که از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌باشد، استفاده شده است تا تعداد ورودی‌ها و خروجی‌هایی که بیشترین تاثیر را در ارزیابی دارند انتخاب شوند. دلیل انتخاب روش پرومته، امکان نمایش تضادها بین گزینه‌ها، انعطاف‌پذیری بالا، کارایی بالا در ایجاد نتایج قایل اعتماد، توانایی آن در پوشش معیارهای کمی و کیفی با هم و نیز کاهش اثرات جبرانی است. اینجا داده‌های ورودی و خروجی مراکز را به عنوان گزینه در نظر گرفته، و از خبرگان سازمان خواسته شده است تا بر اساس سه شاخص زیر به گزینه‌ها امتیاز دهند.

- ✓ گزینه‌ها در ارزیابی چقدر اهمیت دارند؟
- ✓ دقت اطلاعات راجع به گزینه‌ها چقدر می‌باشد؟
- ✓ میزان در دسترس بودن داده‌ها (سهولت دسترسی) چقدر است؟

میانگین امتیازات اختصاص یافته به صورت جدول شماره ۱ می‌باشد.

پس از حل و رتبه‌بندی شاخص‌ها با استفاده از تکنیک پرومته جریان کل و انتخاب گزینه برتر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$\Phi 1= 0.1956$; $\Phi 2 = 0.1806$; $\Phi 3= 0.1289$;
$\Phi 4 = -0.8909$; $\Phi 5= -0.6243$; $\Phi 6 = -0.2825$;
$\Phi 7= 0.1806$; $\Phi 8 = 0.5944$; $\Phi 9= 0.3369$

خواسته خبرگان سازمان انتخاب شاخص‌های مثبت بوده، لذا با این حساب شاخص‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۷، ۸ و ۹ انتخاب می‌شوند. سپس همانطور که قبلا توضیح داده شد، از مدل‌های پیشنهاد داده شده برای بدست آوردن θ_1 و θ_2 استفاده می‌شود. در واقع برای هر مرکز دو مدل حل خواهد شد، در نتیجه پس از حل ۴۴ مدل با استفاده از نرم افزار لینگو، جدول نتایج به صورت زیر بدست می‌آید.

جدول ۱: میانگین امتیازات اختصاص یافته

ردیف		گزینه ها	شاخص ها		
		ورودی و خروجی	اهمیت	دقت	دسترسی
۱	ورودی های مرحله اول	تعداد کارکنان موجود در مرکز	۷	۹	۷
۲		تعداد لوازم اداری موجود و تعداد دستگاه‌های منصوبه مرکز (کامپیوتر، پرینتر، اسکنر، بارکدخوان، فاکس، مودم، کارت‌خوان، تلفن، دستگاه کپی، اسکناس شمار، سیستم دزدگیر اماکن، convertor، DSLAM، Line، باتری، سوئیچ، MDF، ترمینال، تابلو برق، سیستم تهویه، ماژول و ...)	۹	۷	۵
۳		تعداد شماره‌های قابل واگذاری موجود در مرکز	۵	۹	۹
۴		بودجه مرکز	۳	۳	۵
۵	خروجی های مرحله اول (ورودی های مرحله دوم)	تعداد شماره‌های واگذار شده به مشترکین	۳	۵	۷
۶		تعداد خدمات پستی ارایه شده در مرکز (پست نامه‌ها، قبول و ارسال امانات پستی، فروش تمبر، توزیع کلیه مرسولات پستی، تخلیه و جمع آوری مرسولات از صندوق‌های منصوبه، حمل ونقل و مبادله مرسولات قبول شده و مرسولات آماده توزیع به نزدیکترین واحد پست تعیین شده و ...)	۷	۵	۷
۷		تعداد خدمات پست بانک (قبول و پرداخت حواله، دریافت و پرداخت وجوه نظیر قبوض آب،برق، گاز،تلفن، موبایل و... ، افتتاح و عملیات حساب، دریافت و پرداخت وجوه، پرداخت تسهیلات بانکی، وصول چک، خدمات ATM، خدمات دستگاه های POS و ...) تعداد خدمات فناوری اطلاعات (ثبت نام دایری، صدور قبض المثنی، ثبت درخواست تغییر مکان، تخلیه شماره و لغو امتیاز، ثبت نام سیم کارت، ثبت نام خدمات ADSL، تغییر نام، ایجاد یا حذف یک امکان، قطع و وصل شماره و ...)	۹	۹	۷
۸	خروجی‌های‌مرحله دوم	کیفیت ارایه خدمات (رضایت مشترکین)	۹	۷	۵
۹		درآمد مرکز	۹	۷	۷

جدول ۲: نتایج به دست آمده با استفاده از مدل پیشنهادی و مقایسه آن با روش‌های قبلی

	حل با استفاده از مدل پژوهش		حل بدون استفاده از تکنیک پرومته		حل بدونه استفاده از متغیر های میانی	
DMU	θ_1	θ_2	$\theta_{\times 1}$	$\theta_{\times 2}$	$\theta_{\times\times 1}$	$\theta_{\times\times 2}$
DMU1	۰.۳۷۱	۰.۹۶۳	۰.۸۲۳	۱	۰.۴۷۳	۱.۵۸۸
DMU2	۰.۵۴۵	۱	۱	۱	۰.۶۰۰	۳.۳۳۳
DMU3	۰.۲۹۴	۰.۹۶۸	۰.۴۲۵	۱	۰.۳۴۱	۱.۵۵۹
DMU4	۰.۳۰۷	۰.۹۳۳	۰.۷۱۲	۱	۰.۳۶۴	۱.۳۸۵
DMU5	۰.۳۱۷	۱	۰.۴۵۷	۱	۰.۵۹۰	۲.۵۱۳
DMU10	۰.۲۹۲	۰.۹۰۴	۰.۳۰۰	۱	۰.۳۲۰	۱.۶۸۳
DMU11	۰.۳۵۹	۰.۹۶۶	۰.۵۶۲	۱	۰.۴۸۳	۱.۶۶۶
DMU12	۰.۵۵۰	۱	۱	۱	۰.۷۲۸	۳.۲۱۰
DMU14	۰.۳۲۶	۰.۹۳۹	۰.۴۰۱	۱	۰.۴۰۰	۱.۵۲۳
DMU17	۰.۳۵۴	۰.۹۸۳	۰.۴۳۸	۱	۰.۴۷۳	۱.۴۷۸
DMU22	۰.۴۱۱	۱	۰.۵۹۶	۱	۰.۵۹۶	۲.۰۲۸
واحدهای کارا	۴ واحد		۱۱ واحد		۷ واحد	

در جدول شماره دو مقادیر θ^*_1 و θ^*_2 مقادیر کران پایین و کران بالا برای مسئله است، زمانی که مسئله با استفاده از مدل پیشنهادی بدون بکارگیری تکنیک پرومته حل می شود و θ^{**}_1 و θ^{**}_2 مقادیر کران پایین و کران بالا برای مسئله است، زمانی که مسئله بدون در نظر گرفتن متغیرهای میانی حل گردد. مشاهدات نشان می‌دهد در حالتی که مسئله با استفاده از روش پیشنهادی حل می شود از ۲۲ واحد تحت بررسی چهار واحد به عنوان کارا اعلام می‌گردد و در حالتی که مسئله بدون استفاده از تکنیک پرومته حل شود ۱۱ واحد کارا، و در حالتی که مسئله بدون استفاده از متغیرهای میانی حل گردد ۷ واحد به عنوان کارا معرفی می‌گردد. مقایسه نتایج به دست آمده حاکی از آن است که روش پیشنهادی در این پژوهش از اعتبار بیشتری برخوردار است زیرا تعداد واحدهای کمتری را به عنوان کارا معرفی می‌نماید.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در شرایط پیچیده و پویای امروزی هر سازمانی جهت اطمینان از مطلوبیت و ارتقای فعالیت‌های خود نیازمند استقرار سیستم ارزیابی عملکرد قابل اعتماد و کاراست. از این رو، ارزیابی عملکرد فرایندی دائمی و مستمر است و به شیوه‌ای سیستماتیک یا ویژه در هر سازمانی انجام می‌شود. با ارائه پشتوانه ریاضی و مدیریتی قوی، رویکردهای نوین تحلیل پوششی داده‌ها ابزار کارایی در دستیابی به این مهم به حساب می‌آید.

در سازمان‌هایی که تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها به نسبت تعداد شعب بیشتر است، اگر مستقیما از روش تحلیل پوششی داده‌های سنتی استفاده شود، تعداد زیادی از

واحدها کارا بدست می‌آیند و این روش خوبی برای ارزیابی و نتیجه‌گیری نیست. لذا در پژوهش حاضر با استفاده از تکنیک پرومته ابتدا اقدام به ارزیابی و انتخاب شاخص‌های موجود کرده، سپس با مهمترین آنها کار ارزیابی صورت می‌پذیرد. بدیهی است چون مدل ارائه شده از تکنیک دومرحله‌ای برای ارزیابی واحدهای تحت بررسی استفاده می‌کند، و همچنین عمل ارزیابی با استفاده از داده‌های خاکستری صورت می‌گیرد، از اعتبار بیشتری نسبت به مدل‌های رایج DEA برخوردار است.

در تحقیقات آتی می‌توان با در نظر گرفتن زمان مراحل، به مدل ارائه شده متغیر زمان را اضافه کرد. همچنین می‌توان مدل را با محدود نمودن انتخاب وزن‌های متغیرها حل نمود.

فهرست منابع

[1] Akhlaghi, R., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2019). A linear programming DEA model for selecting a single efficient unit. International journal of industrial engineering and operational research, 1(1), 60-66.

[2] Shuai, S., & Fan, Z. (2020). Modeling the role of environmental regulations in regional green economy efficiency of China: Empirical evidence from super efficiency DEA-Tobit model. Journal of Environmental Management, 261, 110227.

[3] Kamyab, N. & Mozaffari, M.R. (2020). Cost efficiency in the three-step DEA-R network process, Journal of New Researches in Mathematics, 6 (23), 147-170.

[4] Guo, Y., Yu, Y., Ren, H., & Xu, L. (2020). Scenario-based DEA assessment of energy-saving technological combinations in aluminum industry. Journal of Cleaner Production, 121010.

[5] Sueyoshi, T., Yuan, Y., & Goto, M. (2017). A literature study for DEA applied to energy and environment. Energy Economics, 62, 104-124.

[6] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, *2*(6), 429-444.

[7] Jalilzadehazhari, E., Vadiee, A., & Johansson, P. (2019). Achieving a trade-off construction solution using BIM, an optimization algorithm, and a multi-criteria decision-making method. Buildings, 9(4), 81.

[8] Driscoll, D. A., Bode, M., Bradstock, R. A., Keith, D. A., Penman, T. D., & Price, O. F. (2016). Resolving future fire management conflicts using multi-criteria decision making. Conservation Biology, 30(1), 196-205.

[9] Jaini, N. I., & Utyuzhnikov, S. V. (2018). A fuzzy trade-off ranking method for multi-criteria decision-making. Axioms, 7(1), 1.

[10] Yazdani, M. (2018). New approach to select materials using MADM tools. International Journal of Business and Systems Research, 12(1), 25-42.

[11] Baghban, A., Amiri, M., Efat, L. & Sharafiavarzaman, Z. (2012). Evaluation and ranking of contractors and upgrade inefficient contractors with DEA gray, Operations research and its applications, 9, 21-38.

[12] Ekiz, M. K., & Tuncer Şakar, C. (2020). A new DEA approach to fully rank DMUs with an application to MBA programs. International Transactions in Operational Research, 27(4), 1886-1910.

[13] Peykani, P., Mohammadi, E., Emrouznejad, A., Pishvaee, M. S., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2019). Fuzzy data envelopment analysis: an adjustable approach. Expert Systems with Applications, 136, 439-452.

[14] Ju-Long, D. (1982). Control problems of grey systems. Systems & control letters, 1(5), 288-294.

[15] Malek, A. and Dabaghi, A. (2011). Foundations of gray systems theory with an overview of the methods of uncertainty, Terme Publications, Tehran, Iran (in Persian).

[16] 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.

[17] Lotfi, F. H., Jahanshahloo, G. R., Soltanifar, M., Ebrahimnejad, A., & Mansourzadeh, S. M. (2010). Relationship between MOLP and DEA based on output-orientated CCR dual model. Expert Systems with Applications, 37(6), 4331-4336.

[18] Tavana, M., & Khalili-Damghani, K. (2014). A new two-stage Stackelberg fuzzy data envelopment analysis model. Measurement, 53, 277-296.

[19] Liu, W., Zhou, Z., Ma, C., Liu, D., & Shen, W. (2015). Two-stage DEA models with undesirable input-intermediate-outputs. Omega, 56, 74-87.

[20] Ma, J., Qi, L., & Deng, L. (2017). Efficiency measurement and decomposition in hybrid two-stage DEA with additional inputs. Expert Systems with Applications, 79, 348-357.

[21] Barak, S., & Dahooei, J. H. (2018). A novel hybrid fuzzy DEA-Fuzzy MADM method for airlines safety evaluation. Journal of Air Transport Management, 73, 134-149.

[22] Zhang, J., Wu, Q., & Zhou, Z. (2019). A two-stage DEA model for resource allocation in industrial pollution treatment and its application in China. Journal of Cleaner Production, 228, 29-39.

[23] Sarrico, C. S., & Dyson, R. G. (2004). Restricting virtual weights in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 159(1), 17-34.

[24] Dimitrov, S., & Sutton, W. (2010). Promoting symmetric weight selection in data envelopment analysis: A penalty function approach. European Journal of Operational Research, 200(1), 281-288.

[25] Hatami-Marbini, A., Rostamy-Malkhalifeh, M., Agrell, P. J., Tavana, M., & Mohammadi, F. (2015). Extended symmetric and asymmetric weight assignment methods in data envelopment analysis. Computers & Industrial Engineering, 87, 621-631.

[26] Bagherikahvarin, M., & De Smet, Y. (2016). A ranking method based on DEA and PROMETHEE II (a rank based on DEA & PR. II). Measurement, 89, 333-342.

[27] Zhou, H., Wang, J. Q., & Zhang, H. Y. (2019). Stochastic multicriteria decision-making approach based on SMAA-ELECTRE with extended gray numbers. International Transactions in Operational Research, 26(5), 2032-2052.

[28] Brans, J. P., & De Smet, Y. (2016). PROMETHEE methods. In Multiple criteria decision analysis (pp. 187-219). Springer, New York, NY.

[29] Chen, T. Y. (2018). A novel PROMETHEE-based outranking approach for multiple criteria decision analysis with Pythagorean fuzzy information. Ieee Access, 6, 54495-54506.

[30] Ahadzadeh Namin, M., & Khamseh, E. (2017). Ranking Efficient DMUs in Two-stage Network DEA with Common Weights method. Journal of New Researches in Mathematics, 3(11), 5-18.

[31] Javaherian, N., Hamzeei, A., Sayyadi Toranlo, H. & Soleymani Damaneh, R. (2020). Evaluating the efficiency of two-

stage data envelopment analysis model based on intuitive triangular fuzzy numbers and auxiliary variables, Journal of New Researches in Mathematics (Article in press).

[32] Kao, C., & Liu, S. T. (2011). Efficiencies of two-stage systems with fuzzy data. Fuzzy Sets and Systems, 176(1), 20-35.

[33] Entani, T., & Tanaka, H. (2006). Improvement of efficiency intervals based on DEA by adjusting inputs and outputs. European Journal of Operational Research, 172(3), 1004-1017.