ارایه رویکرد توسعه‌ای جدید DEA و TOPSIS برای رتبه‌بندی کارایی (مطالعه موردی شرکت‌های سیمان پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار)

سید علی بنی‌هاشمی
مربی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، ایران*
سید اسماعیل نجفی
استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده برای افزایش توان رقابتی سازمان‌ها، راه‌کارهای متعددی وجود دارد. یکی از بهترین راه‌کارهای ارائه شده، بهبود بهره‌وری و کارایی است. روش تحلیل داده‌ها (DEA) که یک روش ریاضی و از بهترین روش‌های ناپارامتریک است، کارایی سازمان‌ها را بر اساس متغیرهای ورودی و خروجی اندازه‌گیری می‌کند. واحدهایی که نمره کارایی آن‌ها برابر یک شود، کارا هستند. همچنین با استفاده از روش اندرسون-پیترسون (AP) واحدهای کارا رتبه‌بندی می‌شوند. در این تحقیق، یک روش توسعه‌ای جدید برای ارزیابی و رتبه‌بندی سازمان‌ها بر اساس امتیاز کارایی ارائه گردیده است. مطالعه موردی تحقیق ارزیابی کارایی شرکت‌های سیمان پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار است که با استفاده از مدل جمعی و اندرسون-پیترسون، رتبه‌بندی شدند. همچنین رتبه شرکت‌ها با استفاده از مدل توسعه‌ای جدید و مدل TOPSIS محاسبه و با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد که رتبه شرکت‌ها با استفاده از مدل توسعه‌ای جدید (N-DEA) راه‌حل مناسبی جهت محاسبه کارایی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده است.

کلمات کلیدی تحلیل پوششی داده‌ها-روش تاپسیس-روش اندرسون پیترسون-کارایی

۱- مقدمه

در اقتصاد جهانی و رقابتی امروزه، سازمان‌ها برای بقا، همواره در حال ارزیابی عملکرد خود و رقبایشان هستند. با توجه به پیشرفت‌های فناوری و بالا رفتن سطح توقعات مشتریان و ذینفعان سازمان‌ها، ارزیابی عملکرد باعث رشد و توسعه شرکت‌ها و سازمان‌ها می‌گردد [۴]. سیستم اندازه‌گیری عملکرد، به‌صورت مجموعه‌ای فراگیر از مقیاس‌ها تعریف می‌شود که اثربخشی و بازدهی یک فعالیت را کمی می‌کند. نیلی و همکارانش در سال ۱۹۹۵ ارزیابی عملکرد سازمان‌ها را به‌عنوان فرآیندی کمی جهت تعیین کارایی و اثربخشی فعالیت‌ها معرفی کردند [۱].

صنعت سیمان به‌عنوان یکی از صنایع تبدیلی در ایران، از اهمیت خاصی برخوردار است و از لحاظ صرفه‌جویی‌های ارزی، در راه خوداتکایی مورد توجه بوده است و از این حیث لزوم اندازه‌گیری و مقایسه اقتصادی میان واحدهای فعال این صنعت در داخل کشور، آن هم با نگاهی مدیریتی و از منظر بهره‌وری بیش از پیش احساس می‌شود. نگاهی به شاخص‌ها و صورت‌های مالی این واحدها، لزوم انجام تحقیقی پیرامون ارزیابی کارایی آن‌ها را به‌وضوح نشان می‌دهد.

*(Corresponding author) banihashemi@pnu.ac.ir

در این تحقیق واحدهای سیمانی زیرمجموعه هولدینگ فارس و خوزستان (بزرگ‌ترین هولدینگ سیمان در کشور) از نظر کارایی رتبه‌بندی می‌شوند. این رتبه‌بندی سه روش صورت گرفته است. روش اول با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و تعیین واحدهای کارا و سپس رتبه‌بندی آن‌ها از روش اندرسون-پیترسون، روش دوم با استفاده از مدل TOPSIS در تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش سوم که ارائه یک رویکرد ترکیبی جدید در DEA است.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه تحقیق

۲-۱ مدل تاپسیس (TOPSIS)

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل یک سری از تکنیک‌ها است که اجازه می‌دهد طیفی از معیارهای وابسته به یک مبحث، امتیازدهی و وزن‌دهی شده و در نهایت رتبه‌بندی شوند. روش تاپسیس یکی از این روش‌ها است که توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ بر مبنای تعیین بهترین گزینه ارائه شده است. بهترین گزینه بر اساس کوتاه‌ترین فاصله از راه‌حل ایدئال مثبت و دورترین فاصله از راه‌حل ایدئال منفی تعیین می‌گردد. از خصوصیات روش تاپسیس می‌توان به توان مدل در دخالت توأم معیارهای کیفی و کمی در بهینه‌سازی، بیان کمی اولویت گزینه‌ها، در نظر گرفتن تضاد و تطابق بین شاخص‌ها، تحلیل معیارهای تصمیم‌گیری از نوع متضاد مانند هزینه و درآمد [۲]، سادگی و سرعت عملیات و در نهایت، اختصاصی بودن آن برای اولویت‌بندی گزینه‌ها اشاره نمود. زاناکیس و همکاران (۱۹۹۸) با توجه به شبیه‌سازی مقایسه‌ای که بر روی هشت گروه مدل‌های جبرانی، ارزیابی چندمعیاره انجام دادند، روش تاپسیس را دارای کمترین نقص در رتبه‌بندی گزینه‌ها ارزیابی کردند [۵].

مدل تاپسیس به‌صورت گام‌های اساسی زیر جهت رتبه‌بندی بهترین گزینه اقدام می‌کند:

۱. کمی‌کردن و بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم (N): برای بی‌مقیاس سازی، از بی‌مقیاس سازی نورم استفاده می‌شود.

$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

$$i=1,2,...,m \quad , \quad j=1,2,...,n$$

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad , \quad r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \qquad (۲)$$

۲. به دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون (V): ماتریس بی‌مقیاس شده N را در ماتریس قطری وزن‌ها ضرب می‌کنیم.

$$W=\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \cdots & w_n \end{bmatrix}$$
$$v_{ij}=w_j * r_{ij}$$
$$i=1,2,...,m \quad , \quad j=1,2,...,n \qquad (۳)$$

۳. تعیین راه‌حل ایدئال مثبت و منفی: راه‌حل ایدئال مثبت و راه-حل ایدئال منفی با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$A^+=\left\{v_1^+,v_2^+,\cdots,v_j^+,\cdots,v_n^+\right\}= \{(\max_j v_{ij} \,|\, i\in I),(\min_j v_{ij} \,|\, i\in J)\} \qquad (۴)$$

$$A^-=\left\{v_1^-,v_2^-,\cdots,v_j^-,\cdots,v_n^-\right\}= \{(\min_j v_{ij} \,|\, i\in I),(\max_j v_{ij} \,|\, i\in J)\} \qquad (۵)$$

بهترین مقادیر برای شاخص‌های مثبت، بزرگ‌ترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی، کوچک‌ترین مقادیر است. بدترین مقادیر برای شاخص‌های مثبت، کوچک‌ترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی، بزرگ‌ترین مقادیر است.

۴. به دست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایدئال مثبت و منفی: فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایدئال مثبت و منفی بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه می‌گردد.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (۶)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (۷)$$

۵. تعیین نزدیکی نسبی یک گزینه به راه‌حل ایدئال: نزدیکی نسبی از رابطه زیر برای هر گزینه محاسبه می‌شود.

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (۸)$$

۶. رتبه‌بندی گزینه‌ها: در نهایت هر کدام از گزینه‌ها که مقدار نزدیکی نسبی CL آن بزرگ‌تر باشد، بهتر خواهد بود [۶].

۲-۲ تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

تاریخچه روش تحلیل پوششی داده‌ها به موضوع رساله دکتری رودز به راهنمایی کوپر و چانز برمی‌گردد؛ که عملکرد مدارس دولتی ایالات متحده آمریکا را مورد ارزیابی قرار داد. تحلیل پوششی داده‌ها در حقیقت یک روش ناپارامتریک برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده است که بر اساس مجموعه‌ای از مشاهدات اقدام به تخمین تجربی مرز کارایی می‌کند. تحلیل پوششی داده‌ها به‌جای استفاده از میانگین‌های آماری که ممکن است برای یک واحد تصمیم‌گیری کاربردی نباشد، ناکارایی یک واحد ویژه را با مقایسه آن با واحدهای مشابه که کارا تشخصی داده شده‌اند، به دست می‌آورد [۳].

در سال ۱۹۵۷ فارل با استفاده از روشی مشابه اندازه‌گیری کارایی در مباحث مهندسی، اقدام به اندازه‌گیری کارایی برای یک واحد تولیدی نمود. در این تحقیق مدل شامل یک ورودی و یک خروجی بود [۷]. در سال ۱۹۷۸ چارنز و همکاران یک فرمول‌بندی از نوع برنامه‌ریزی کسری را معرفی کردند که در واقع گسترش همان شاخص نسبی کارایی یک ورودی-یک خروجی در علوم مهندسی به حالت چندورودی-چندخروجی بدون نیاز به منابعی جهت اعمال وزن از بیرون به درون مدل بود. در واقع اولین مقاله مدل تحلیل پوششی داده‌ها توسط چارنز و همکاران با نام اختصاری CCR با جامعیت بخشیدن به روش فارل ارائه شد [۸]. مدل اولیه CCR بدون در نظر گرفتن مقیاس متغیر واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU) یا همان بنگاه‌ها طراحی شده بود. بنکر و همکاران (۱۹۸۴) با تغییرات در مدل CCR و تبدیل بازگشت به مقیاس ثابت (CRS) به بازگشت به مقیاس متغیر (VRS) قابلیت مدل را به‌منظور محاسبه تأثیر مقیاس سازمان‌ها در بهره‌وری افزودند. این مدل به‌اختصار BCC نامیده شد [۹، ۱۰].

پس از رتبه‌بندی واحدهای، برخی از واحدها با امتیاز یکسان کارا و برخی ناکارا می‌شوند. از این رو روش‌های گوناگونی برای بهبود رتبه‌بندی کارایی و افزایش دقت روش DEA به کار گرفته شده‌اند. اندرسون و پیترسون در سال ۱۹۹۳ با استفاده از رتبه‌بندی واحدهای کارا این مسئله را حل نموده‌اند [۱۱]. پس از آن روسئو و سیمپل (۱۹۹۵) روشی را برای رتبه‌بندی واحدهای کارا پیشنهاد کردند که امکان تعیین کاراترین واحد را میسر ساخته و با این تکنیک امتیاز واحدهای کارا می‌توانند از یک بیشتر شوند. به این ترتیب واحدهای کارا نیز مانند واحدهای غیرکارا می‌توانند رتبه‌بندی شوند [۱۲، ۱۳]. کوک و کرس در سال ۱۹۹۱ روشی نظری مبتنی بر ساختار DEA برای رتبه-بندی ترکیبی ارائه داده‌اند. کوپر و تون در سال ۱۹۹۷ واحدها را با استفاده از اندازه‌گیری اسکالر ناکارایی در DEA مبتنی بر متغیرهای کمکی رتبه‌بندی کردند [۱۱]. دویل و گرین (۱۹۹۴) مدل ماتریس کارایی متقاطع (CEM) را به مدل کلاسیک افزودند [۱۴، ۱۵]. برخی دیگر از محققان نیز با استفاده از روش-های تجزیه و تحلیل چندمتغیره از جمله تجزیه و تحلیل مؤلفه-های اصلی (PCA) سعی در کاهش تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها برای تخمین کارایی و بهبود رتبه‌بندی داشته‌اند. علاوه بر این، برخی از محققان نیز از ترکیب DEA و روش‌های آماری چندمتغیره برای رتبه‌بندی کامل استفاده کرده‌اند [۱۶]. جهانتیغ و همکاران به‌منظور ارائه مدلی فراگیر که بتواند همه مزایای مدل‌های مختلف تحلیل پوششی داده‌ها را برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده در برگیرد، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده نمودند. آن‌ها به‌طور مشخص روش چندشاخصه TOPSIS را برای رتبه‌بندی سیستم بانکی پیشنهاد دادند [۱۷].

با توجه به بررسی ادبیات پژوهش و پیشینه تحقیقات انجام گرفته، محققان تلاش‌های زیادی را برای ارائه یک روش مناسب جهت رتبه‌بندی واحدهای کارا ارائه داده‌اند. در این پژوهش یک روش جدید برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده ارائه شده است که در عین سادگی، پاسخ مطلوبی را نسبت به سایر روش‌های موجود ارائه دهد. در این روش، سه واحد مجازی به مجموعه واحدهای تصمیم‌گیرنده اضافه می‌شود و سپس کارایی کل واحدها بررسی می‌گردد. این سه واحد مجازی شامل بهترین واحد تصمیم‌گیرنده (ایدئال)، بدترین واحد تصمیم‌گیرنده (بدبینانه) و حد وسط است.

$$Dmu_{j+1} = \begin{Bmatrix} x_{j+1} = min\ (x) \\ y_{j+1} = max\ (y) \end{Bmatrix}$$
$$Dmu_{j+2} = \begin{Bmatrix} x_{j+2} = max\ (x) \\ y_{j+2} = min\ (y) \end{Bmatrix} \quad (۹)$$
$$Dmu_{j+3} = \{x_{j+3} = \bar{x},\ y_{j+3} = \bar{y}\}$$

سپس کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده به همراه سه واحد مجازی با استفاده از مدل‌های پایه‌ای یا جمعی تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی می‌گردد. واحد ایدئال دارای کارایی یک خواهد بود و بر اساس نمره کارایی، رتبه‌بندی واحدها انجام می‌گیرد. در ادامه یک مثال کاربردی و واقعی مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۲ پیشینه تحقیق

با توجه به اهمیت ویژه ارزیابی عملکرد سازمان‌ها، محققان پژوهش‌های بسیاری در این حوزه انجام داده‌اند. بررسی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که این پژوهش‌ها را در سه دسته می‌توان تقسیم‌بندی کرد. دسته اول شامل پژوهش‌هایی هستند که رتبه‌بندی سازمان‌ها و شرکت‌ها را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری انجام می‌دهند [۲۱-۱۸]. دسته دوم شامل پژوهش‌هایی است که عملکرد سازمان‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها را با استفاده از انواع مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و توسعه آن به دست می‌آورند [۲۷-۲۲]. محققان در دسته سوم نیز از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری و تحلیل پوششی داده‌ها جهت تحلیل عملکرد سازمان‌ها استفاده می‌کنند. آن‌ها جهت وزن‌دهی اهمیت ورودی‌ها و خروجی‌ها، از مدل‌های تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند تا نقطه ضعف مدل DEA را در یکسان بودن اهمیت ورودی‌ها و خروجی‌ها از بین ببرند؛ توانا و همکاران (۲۰۱۶) از نمودارهای کنترل X و مدل تاپسیس به‌عنوان کمک به مدل DEA [۲۸]، روسیک و همکاران (۲۰۱۷) برای ارزیابی شاخص‌های ایمنی جاده‌ها با اضافه کردن ریسک‌ها (عمومی و ترافیکی) در ۲۷ ناحیه جاده‌ای کشور صربستان، از روش TOPSIS و DEA استفاده کردند [۲۹]. سایر محققان نیز از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری شامل AHP [۳۰-۴۰]، COPROS [۴۱]، PROMETHEE [۴۲، ۴۳] در ارزیابی عملکرد به‌عنوان وزن‌دهی در مدل DEA بهره برده‌اند.

بنابراین با مطالعه مدل‌های گذشته، در این پژوهش با استفاده از مفهوم مورد استفاده در مدل تاپسیس (فاصله از راه‌حل ایدئال مثبت و منفی)، رویکرد DEA را توسعه داده‌ایم.

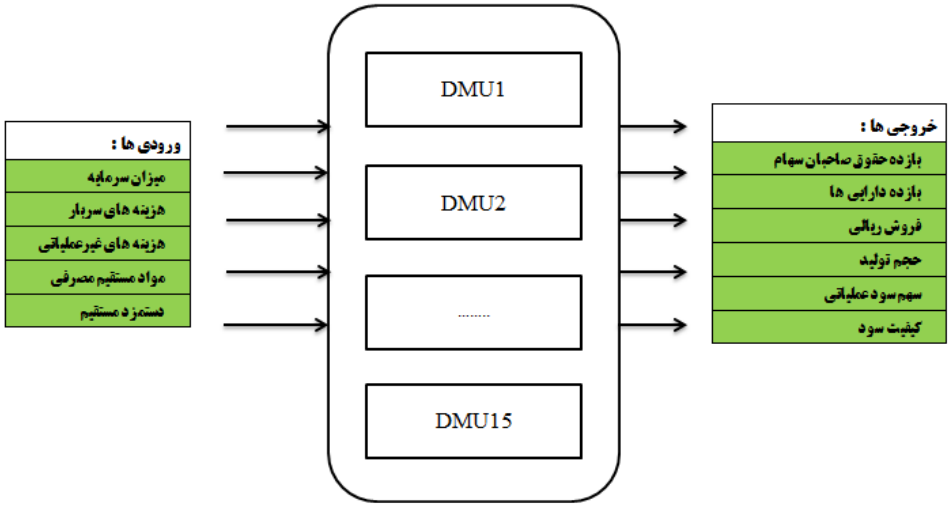
۳- روش‌شناسی پژوهش

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی عملکرد شرکت‌های سیمان زیر مجموعه هولدینگ فارس و خوزستان به‌وسیله مدل تحلیل پوششی داده‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها به کمک تکنیک‌های تصمیم‌گیری (TOPSIS) و روش اندرسون – پیترسون (AP) در DEA است. پژوهش حاضر، از نظر هدف و روش جمع‌آوری داده‌ها به ترتیب کاربردی و توصیفی و از نظر ماهیت، پژوهش کمی و از نوع مدل‌سازی است. از نظر قلمرو موضوعی، زمانی و مکانی، پژوهش حاضر از لحاظ موضوعی در قلمرو مباحث مدیریت عملکرد و در زیرگروه ارزیابی کارایی قرار می‌گیرد. از نظر زمانی تک مقطعی و مربوط به سال ۱۳۹۴ و از لحاظ مکانی، قلمرو این پژوهش شرکت‌های سیمانی زیرمجموعه هولدینگ فارس و خوزستان، بزرگ‌ترین هولدینگ سیمانی در کشور است. با توجه به اینکه کلیه شرکت‌های سیمانی زیرمجموعه هولدینگ فارس و خوزستان به‌عنوان نمونه این پژوهش در نظر گرفته شده است، بنابراین روش نمونه‌گیری مطرح نیست. معیارهای مورد ارزیابی در این پژوهش ابتدا از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و از مطالعه کتب و مقالات علمی و مصاحبه با خبرگان حوزه صنعت سیمان به دست آمد. در نهایت داده‌های مربوط از صورت‌های مالی حسابرسی شده مربوط به ۹۴/۱۲/۲۹ از سایت کدال استخراج گردید؛ بنابراین متغیرهای پژوهش به شرح جدول ۱ تهیه و تنظیم شده است.

جدول ۱. متغیرهای پژوهش

	متغیرها	واحد	فرمول محاسبه
ورودی‌ها	میزان سرمایه	میلیون ریال	میزان سرمایه سازمان
	هزینه‌های سربار	میلیون ریال	هزینه‌های سربار سازمان
	هزینه‌های غیرعملیاتی	میلیون ریال	هزینه‌های غیرعملیاتی سازمان
	مواد مستقیم مصرفی	میلیون ریال	مواد مستقیم مصرفی سازمان
	دستمزد مستقیم	میلیون ریال	دستمزد مستقیم سازمان
خروجی‌ها	بازده حقوق صاحبان سهام	درصد	سود خالص/حقوق صاحبان سهام

	بازده دارایی‌ها	درصد	سود خالص/کل دارایی‌های شرکت
	فروش ریالی	میلیون ریال	میزان فروش خالص طی دوره
	حجم تولید	تن	میزان تولید طی دوره
	سهم سود عملیاتی	درصد	سود عملیاتی شرکت/میزان فروش
	کیفیت سود	درصد	جریان نقدی عملیاتی/سود عملیاتی



شکل ۱. رتبه‌بندی واحدهای سیمان

پس از جمع‌آوری داده‌ها برای ۱۵ شرکت سیمان، با استفاده از مدل جمعی بازده به مقیاس متغیر، کارایی شرکت‌ها بررسی گردید.

در مدل‌های ورودی محور درحالی‌که میزان خروجی‌ها را در سطح داده شده حفظ می‌کند، به‌طور متناسب و در حد امکان نسبت به کاهش میزان ورودی‌ها اقدام می‌کند و برعکس، در مدل‌های خروجی‌محور با حفظ میزان ورودی به‌طور متناسب خروجی‌ها را افزایش می‌دهد. «مدل جمعی»، مدلی است که هم‌زمان کاهش ورودی‌ها و افزایش خروجی‌ها را مورد توجه قرار می‌دهد. مسئله اولیه و ثانویه مدل جمعی به‌صورت زیر است:

مدل اولیه:

$$Min\ Z_0 = -\sum_{r=1}^{s} s_r^+ - \sum_{i=1}^{m} s_i^- \qquad (۱۰)$$

$$St:$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \quad (r=1,2,\ldots,s)$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{i0} \quad (i=1,2,\ldots,m)$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \quad (j=1,2,\ldots,n)$$
$$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0$$

مدل ثانویه:

$$\text{Max } Y_0 = \sum_{r=1}^{s} y_{r0} u_r - \sum_{i=1}^{m} x_{i0} v_i + w \qquad (۱۱)$$

St:

$$\sum_{r=1}^{s} y_{rj} u_r - \sum_{i=1}^{m} x_{ij} v_i + w \quad (j=1,2,\ldots,n)$$
$$\sum_{r=1}^{s} u_r \geq 1$$
$$\sum_{i=1}^{m} v_i \geq 1$$
$$u_r, v_i \geq 0 \qquad w \text{ آزاد در علامت}$$

مدل اولیه، مدل پوششی و مدل ثانویه مدل مضربی نامیده می‌شود.

در مدل‌های ارائه شده، متغیرهای x_{ij} ورودی‌های مدل هستند. این ورودی‌ها به تعداد m عدد بوده و تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده نیز اندیس j است که به تعداد n خواهد بود. متغیرهای y_{rj} خروجی‌های مدل هستند. این خروجی‌ها به نعداد s عدد هستند. در مدل اولیه، s_r^+ متغیرهای کمکی مربوط به محدودیت rام خروجی و s_i^- متغیر کمکی مربوط به محدودیت iام ورودی را بیان می‌دارد. واحد تحت بررسی وقتی کاراست که $Z_0^* = 0$ و یا به عبارت دیگر مقدار تمامی متغیرهای کمکی در جواب بهینه صفر شود. یک واحد وقتی ناکارا می‌شود که متغیرهای کمکی غیر صفر شوند. متغیرهای کمکی بیانگر منابع یا میزان ناکارایی در ورودی‌ها و خروجی‌های متناظر با محدودیت آن‌هاست. مقادیر تابع با توجه به مدل تعریف شده در جدول ۲ آمده است. مقادیر صفر نشان‌دهنده واحدهای کارا است.

جدول ۲. کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده

واحدهای تصمیم‌گیری	DMU1	DMU2	DMU3	DMU4	DMU5	DMU6	DMU7	DMU8
کارایی	۰	۰	۰	۰	۰	۲,۵۶۷	۰	۰
واحدهای تصمیم‌گیری	**DMU9**	**DMU10**	**DMU11**	**DMU12**	**DMU13**	**DMU14**	**DMU15**	
کارایی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	

با توجه به جدول ۲، همگی واحدها به‌جز واحد ۶، کارا هستند. برای رتبه‌بندی واحدهای کارا از مدل اندرسون-پیترسون استفاده می‌کنیم. در ارزیابی به روش AP (اندرسون – پیترسون) واحد تحت بررسی از ارزیابی حذف می‌شود و این باعث می‌شود عدد اختصاص یافته واحدهای کارا در مدل رتبه‌بندی کامل AP (اندرسون – پیترسون) بزرگ‌تر مساوی ۱ شده و رتبه بندی بین واحدهای کارا هم صورت پذیرد. مسئله اولیه و ثانویه مدل اندرسون-پیترسون به‌صورت زیر است:

مدل فوق کارا (اندرسون- پیترسون)- مدل اولیه (مضربی)

$$\text{Max } Z_k = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk}$$

St:

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1 \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \qquad (j = 1,2,\dots,n)\ ,\ j \ne k$$

$$u_r, v_i \ge \varepsilon$$

K: واحد تحت ارزیابی

مدل فوق کارا (اندرسون- پیترسون)- مدل ثانویه (پوششی)

$$\text{Min } Y_0 = \theta - \left(\sum_{r=1}^{s} \varepsilon s_r^+ + \sum_{i=1}^{m} \varepsilon s_i^-\right)$$

St:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j\ne k}}^{n} \lambda_j x_{rj} + s_i^- = \theta x_{ik} \quad (i=1,2,\dots,m)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j\ne k}}^{n} \lambda_j x_{rj} - s_r^+ = y_{rk} \quad (r=1,2,\dots,s) \qquad (۱۳)$$

$$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \ge 0$$

θ آزاد در علامت

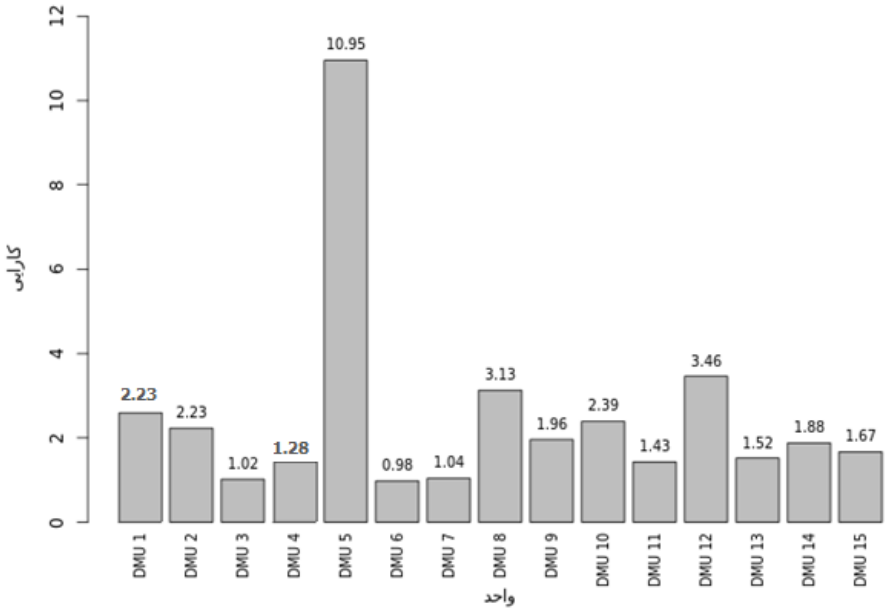
در مدل BCC محدودیت $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$ به محدودیت‌های فوق اضافه می‌شود.

در مدل اولیه، تابع هدف افزایش خروجی‌ها را دنبال می‌کند و محدودیت‌ها نیز برای هر واحد تصمیم‌گیرنده محاسبه می‌گردند.

خروجی مدل اندرسون-پیترسون جهت ارزیابی و رتبه‌بندی واحدهای کارا با بازده به مقیاس متغیر در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده به روش اندرسون-پیترسون

واحدهای تصمیم‌گیری	DMU1	DMU2	DMU3	DMU4	DMU5	DMU6	DMU7	DMU8
کارایی	۲,۲۳۲	۲,۲۳۴	۱,۰۲۱	۱,۲۸۵	۱۰,۹۵۵	۰,۹۷۷	۱,۰۴۴	۳,۱۳۱
واحدهای تصمیم‌گیری	DMU9	DMU10	DMU11	DMU12	DMU13	DMU14	DMU15	
کارایی	۱,۹۵۸	۲,۳۹۴	۱,۴۲۸	۳,۴۵۵	۱,۵۱۹	۱,۸۷۶	۱,۶۶۶	



شکل ۲. کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده به روش اندرسون-پیترسون

برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم گیرنده، از یک روش توسعه‌ای دیگر استفاده گردید. در این مدل سه واحد مجازی به واحدهای تصمیم‌گیری اضافه گردید. واحد مجازی اول، میانگین متغیرهای مسئله برای کلیه واحدهای تصمیم‌گیری است. واحد مجازی دوم که معرف بهترین واحد تصمیم‌گیری در مجموعه سیمان است، مینیمم ورودی‌ها و ماکزیمم خروجی‌هاست. واحد مجازی سوم، ماکزیمم ورودی‌ها و مینیمم خروجی‌ها است که یک واحد سیمانی را در بدترین حالت به تصویر می‌کشد.

جدول ۴. داده‌ها و اطلاعات شرکت‌های سیمان بورسی زیر مجموعه هولدینگ سیمان فارس و خوزستان

DMU	x					y					
	x_{1j}	x_{2j}	x_{3j}	x_{4j}	x_{5j}	y_{1j}	y_{2j}	y_{3j}	y_{4j}	y_{5j}	y_{6j}
۱	۵۰۰۰۰	۱۵۶۹۰۷	۳۴۵۰۸	۵۱۴۳۶	۱۴۷۸۲	۵۱	۲۹	۳۵۵۸۶۰	۱۶۳۱۱۴	۲۶	۸۲
۲	۳۰۰۰۰۰	۶۹۳۰۹۰	۵۶۴۸۵	۶۵۸۸۵	۱۶۰۸۶	۴۲	۲۳	۱۱۵۷۲۰۹	۱۱۸۵۷۴۴	۲۹	۱۳۳
۳	۳۹۲۰۰۰	۹۲۰۳۳۸	۶۹۱۹۹	۹۹۹۷۱	۵۸۲۲۳	۵۸	۸,۶	۱۳۰۳۰۸۳	۱۴۶۱۷۹۶	۲۰,۳	۱۱۹
۴	۲۳۰۰۰۰	۶۵۳۵۴۷	۳۳۸۱۱	۹۵۳۰۲	۳۶۸۷۸	۲۸	۱۳	۸۵۷۱۳۰	۸۰۰۶۸۴	۱۵	۱۵۷
۵	۶۵۰۰۰۰	۱۴۱۱۸۹۴	۱۵۷۵۷۸	۴۴۸۳۷۲	۴۰۷۴۶	۲۴۲	۶۱۳	۲۷۶۹۶۴۵	۱۸۰۳۲۶۶	۲۴	۱۵۳
۶	۲۳۳۰۰۰	۳۸۹۳۰۰	۴۲۲۱۱	۱۹۷۴۷۰	۶۰۵۰۲	۴۲	۲۴	۹۳۲۹۴۴	۸۶۶۰۹۶	۱۸	۸۰
۷	۴۵۰۰۰۰	۸۲۶۲۶۹	۶۶۱۹۶	۸۲۲۴۶	۵۹۷۸۶	۳۵	۱۵	۱۳۴۲۷۶۴	۱۵۶۰۴۰۸	۳۰	۹۹,۳
۸	۵۳۲۲۲	۲۹۹۳۷۷	۳۶۵۷۹	۶۲۳۳۳	۲۰۳۳۸	۶۵	۲۶	۵۹۲۸۸۵	۷۲۹۴۶۴	۱۸,۷	۹۵
۹	۵۵۰۰۰	۵۷۸۱۳۴	۶۱۶۰۵	۸۹۸۸۲	۲۲۸۸۲	۷۹	۵۵	۱۱۰۷۲۱۸	۹۲۵۹۷۸	۳۹	۱۰۱
۱۰	۱۸۰۲۰۴۰	۱۹۲۳۲۵۸	۹۷۱۹۶	۴۰۵۴۳۰	۱۱۶۱۷۴	۱۸۸	۶۰	۲۶۰۵۳۴۹	۲۳۲۵۵۷۷	۹	۳۸۱
۱۱	۳۵۰۰۰۰	۴۵۵۹۲۲	۶۱۷۹۷	۲۴۹۹۳۶	۳۱۳۴۴	۵۶	۴۵	۱۳۳۸۹۰۹	۱۲۸۴۳۹۷	۴۱	۱۰۳
۱۲	۴۰۰۰۰۰	۱۰۱۱۸۷۶	۴۱۴۸۶	۱۳۰۸۴۸	۱۵۵۰۰	۴۸	۲۷	۱۷۷۹۴۹۶	۱۷۷۶۴۵۴	۳۶	۹۹
۱۳	۶۵۰۰۰۰	۷۹۲۹۲۹	۵۰۸۰۵	۹۳۵۴۵	۲۸۱۵۷	۳۷,۵	۱۸,۹	۲۰۹۱۵۳۲	۱۸۳۲۱۹۱	۲۹	۱۱۰,۹
۱۴	۲۰۸۸۳۳	۱۹۸۶۴۲	۴۴۷۱۰	۷۴۲۷۱	۲۳۰۱۶	۱۴	۶,۳	۵۰۷۱۶۹	۵۸۲۸۰۶	۱۰,۱	۱۶۲
۱۵	۱۲۵۰۰۰	۴۸۳۱۸۴	۸۹۷۸۷	۹۱۸۴۲	۱۵۰۳۶	۵۶,۹	۲۶,۵	۹۸۱۹۹۰	۸۶۴۴۱۲	۲۶	۱۲۱,۹
Mean	۳۹۶۶۰۶,۳۳	۷۱۹۶۴۴,۴۷	۶۲۹۳۰,۲	۱۴۹۲۵۱,۲۷	۳۷۲۹۶,۶۷	۶۹,۴۹	۶۶,۰۲	۱۳۱۴۸۷۸,۸۷	۱۲۱۰۸۲۵,۸	۲۴,۷۴	۱۳۳,۱۴
Max(xj) Min(yi)	۱۸۰۲۰۴۰	۱۹۲۳۲۵۸	۱۵۷۵۷۸	۴۴۸۳۷۲	۱۱۶۱۷۴	۱۴	۶,۳	۳۵۵۸۶۰	۱۶۳۱۱۴	۹۰	۸۰
Min(xj) Max(yi)	۵۰۰۰۰	۱۵۶۹۰۷	۳۳۸۱۱	۵۱۴۳۶	۱۴۷۸۲	۲۴۲	۶۱۳	۲۷۶۹۶۴۵	۲۳۲۵۵۷۷	۴۱	۳۸۱

کارایی ۱۵ واحد تصمیم‌گیرنده و ۳ واحد مجازی (جمعاً ۱۸ واحد) با استفاده از مدل جمعی بازده به مقیاس متغیر در جدول ۵ آمده است. همچنین رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری با استفاده از روش تاپسیس نیز محاسبه گردید.

رتبه نهائی واحدهای تصمیم گیری در حالت تاپسیس و مدل توسعه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها (اضافه شدن واحدهای مجازی) و روش رتبه‌بندی اندرسون-پیترسون در جدول ۷ آمده است.

جدول ۵. کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده به همراه واحدهای مجازی

واحدهای تصمیم‌گیری	DMU1	DMU2	DMU3	DMU4	DMU5	DMU6	DMU7	DMU8	DMU9
کارایی	۱۵,۰۵۸	۱۵,۰۳۸	۱۷,۰۴۴	۱۶,۴۲	۱۰,۶۵۵	۱۷,۴۲۵	۱۶,۷۹۸	۱۴,۹	۱۳,۹۸۲
واحدهای تصمیم‌گیری	DMU10	DMU11	DMU12	DMU13	DMU14	DMU15	*Mean*	*Max(xj) Min(yj)*	*Min(xj) Max(yj)*
کارایی	۱۹,۹۱۸	۱۵,۵۲۵	۱۴,۷۲۷	۱۵,۳۵۳	۱۶,۳۲	۱۵,۳۷۲	۱۵,۶۳۶	۰	۲۹,۵۰۶

جدول ۶. مقدار CL واحدهای تصمیم‌گیرنده با روش تاپسیس

واحدهای تصمیم‌گیری	DMU1	DMU2	DMU3	DMU4	DMU5	DMU6	DMU7	DMU8
CL_j	۰,۴۳۵	۰,۴۳۱	۰,۳۷۵	۰,۴۰۰	۰,۵۸۷	۰,۳۶۸	۰,۳۸۵	۰,۴۳۵
واحدهای تصمیم‌گیری	DMU9	DMU10	DMU11	DMU12	DMU13	DMU14	DMU15	
کارایی	۰,۴۴۳	۰,۳۸۲	۰,۴۱۴	۰,۴۳۸	۰,۴۳۳	۰,۴۱۵	۰,۴۱۷	

جدول ۷. امتیاز کارایی و رتبه شرکت‌ها با سه روش DEA/AP، N-DEA و TOPSIS

DMU_j	کارایی اولیه	امتیاز روش DEA/AP	رتبه روش DEA/AP	امتیاز روش N-DEA	رتبه روش N-DEA	امتیاز روش TOPSIS	رتبه روش TOPSIS
1	۰	۲,۲۳۲	۵	۱۵,۰۵۸	۶	۰,۴۳۵	۴,۵
2	۰	۲,۲۳۴	۶	۱۵,۰۳۸	۵	۰,۴۳۱	۷
3	۰	۱,۰۲۱	۱۴	۱۷,۰۴۴	۱۳	۰,۳۷۵	۱۴
4	۰	۱,۲۸۵	۱۲	۱۶,۴۲	۱۱	۰,۴۰۰	۱۱
5	۰	۱۰,۹۵۵	۱	۱۰,۶۵۵	۱	۰,۵۸۷	۱
6	۲,۵۶۷	۰,۹۷۷	۱۵	۱۷,۴۲۵	۱۴	۰,۳۶۸	۱۵
7	۰	۱,۰۴۴	۱۳	۱۶,۷۹۸	۱۲	۰,۳۸۵	۱۲
8	۰	۳,۱۳۱	۳	۱۴,۹	۴	۰,۴۳۵	۴,۵
9	۰	۱,۹۵۸	۷	۱۳,۹۸۲	۲	۰,۴۴۳	۲
10	۰	۲,۳۹۴	۴	۱۹,۹۱۸	۱۵	۰,۳۸۲	۱۳
11	۰	۱,۴۲۸	۱۱	۱۵,۵۲۵	۹	۰,۴۱۴	۱۰
12	۰	۳,۴۵۵	۲	۱۴,۷۲۷	۳	۰,۴۳۸	۳
13	۰	۱,۵۱۹	۱۰	۱۵,۳۵۳	۷	۰,۴۳۳	۶
14	۰	۱,۸۷۶	۸	۱۶,۳۲	۱۰	۰,۴۱۵	۹
15	۰	۱,۶۶۶	۹	۱۵,۳۷۲	۸	۰,۴۱۷	۸
Mean	-	-	-	۱۵,۶۳۶	-	-	-
Max(xj) Min(yj)	-	-	-	۰	-	-	-
Min(xj) Max(yj)	-	-	-	۲۹,۵۰۶	-	-	-

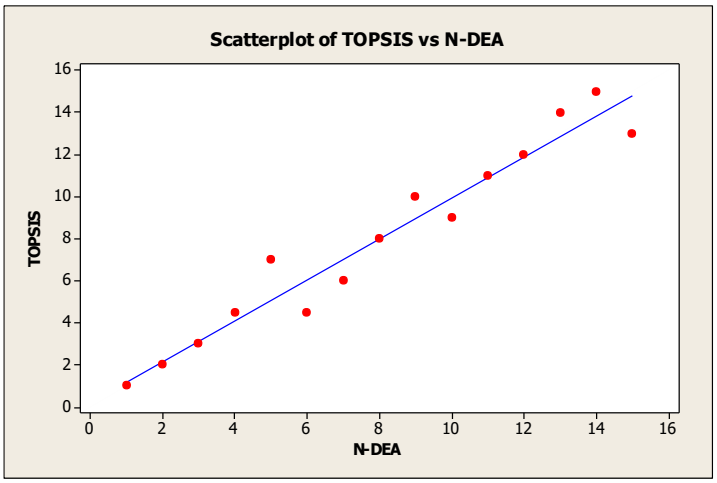
با توجه به جدول ۷، رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده با سه روش تاپسیس (از مدل‌های تصمیم‌گیری)، تحلیل پوششی داده‌ها (مدل اندرسون-پیترسون) و روش توسعه‌ای جدید (N-DEA) به میزان بسیار زیادی مشابه یکدیگر است. نکته آن است که در روش توسعه‌ای جدید، واحدهای تصمیم‌گیرنده بر اساس نزولی به صعودی رتبه‌بندی می‌گردند.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون برای رتبه نمرات کارایی به دست آمده از هر سه روش، در جدول ۸ آمده است.

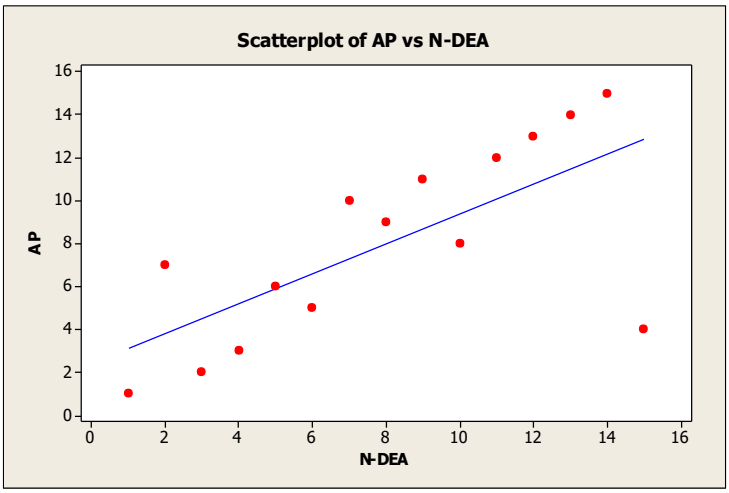
جدول ۸. ضریب همبستگی بین رتبه‌های سه روش (DEA/AP, N-DEA, TOPSIS)

	TOPSIS	N-DEA	DEA/AP
ضریب همبستگی پیرسون TOPSIS سطح معنی‌داری تعداد	۱ ۱۵	۰,۹۷۲ ۰,۰۰۰ ۱۵	۰,۷۶۵ ۰,۰۰۱ ۱۵
ضریب همبستگی پیرسون N-DEA سطح معنی‌داری تعداد		۱ ۱۵	۰,۶۹۳ ۰,۰۰۴ ۱۵
ضریب همبستگی پیرسون DEA/AP سطح معنی‌داری تعداد			۱ ۱۵

ضریب همبستگی بین نمرات کارایی روش DEA/AP و TOPSIS به مقدار ۰,۷۶۵ است که ارتباط خوبی را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی روش جدید N-DEA و TOPSIS مقدار ۰,۹۷۲ و بین نمرات روش N-DEA و DEA/AP مقدار ۰,۶۹۳ است؛ که در سطح خطای ۰,۰۵، ارتباط قوی و معناداری را بیان می‌کند. این بدان معناست که رتبه به دست آمده از روش ارائه شده جدید، همبستگی خوبی را با روش‌های تاپسیس و اندرسون-پیترسون دارد و از طرفی نسبت به این روش‌ها از سادگی بهتری برخوردار است. شکل‌های ۳ و ۴ نیز همبستگی رتبه‌ها را در روش جدید و روش‌های تاپسیس و اندرسون-پیترسون نشان می‌دهند.



شکل ۳. نمودار پراکنش بین رتبه‌های واحدهای تصمیم‌گیرنده در روش‌های TOPSIS و N-DEA



شکل ۴. نمودار پراکنش بین رتبه‌های واحدهای تصمیم‌گیرنده در روش‌های DEA/AP و N-DEA

۴- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر بحث اندازه‌گیری عملکرد سازمان‌ها، از اهمیت زیادی در بین مدیران برخوردار گردیده است. یکی از زیرمجموعه‌های اندازه‌گیری عملکرد، اندازه‌گیری کارایی سازمان‌ها و شرکت‌ها است. هدف از اندازه‌گیری کارایی سازمان‌ها، تخصیص بهتر منابع در راستای افزایش سود و حداقل‌سازی هزینه‌ها است. برای اندازه‌گیری عملکرد سازمان‌ها، محققان از روش‌های تصمیم‌گیری (MCDM) و یا روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) استفاده می‌کنند. دسته دیگری از محققان نیز از ترکیب این دو روش کمک می‌گیرند. از روش‌های تصمیم‌گیری برای وزن‌دهی و تعیین اهمیت ورودی‌ها و خروجی‌ها (معیارها) و از مدل DEA نیز جهت تعیین نمره کارایی و رتبه‌بندی DMUها استفاده می‌شود. در محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده، برای رتبه‌بندی واحدهای کارا از روش‌های مختلفی نظیر روش کوپر، اندرسون-پیترسون، کارایی متقاطع و ... کمک گرفته می‌شود. هدف از این پژوهش ارائه یک رویکرد ترکیبی جدید تحلیل پوششی داده‌ها است که بتواند مقدار کارایی واحدها و رتبه‌بندی آن‌ها را انجام دهد. به همین منظور با استفاده از مدل تاپسیس که فاصله اقلیدسی راه‌حل ایدئال مثبت و منفی در آن کاربرد دارد، به تعداد DMUها، سه DMU مجازی اضافه کردیم. این سه واحد شامل ماکزیمم مقدار ورودی‌ها و مینیمم مقدار خروجی‌ها (واحد تصمیم‌گیرنده ضدایدئال)، مینیمم مقدار ورودی‌ها و ماکزیمم مقدار خروجی‌ها (واحد تصمیم‌گیرنده ایدئال) است. در نهایت کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده محاسبه می‌شود. واحدهایی که با مقدار ۱ کارا شده بودند، در این مدل مقدار کارایی آن‌ها بیش از یک خواهد بود. همچنین نتایج آزمون همبستگی بین نمرات کارایی با استفاده از سه روش TOPSIS، DEA/AP و N-DEA نیز نشان داد که همبستگی قوی بین نمرات وجود دارد.

با توجه به نتایج پژوهش، پیشنهاد می‌گردد صحت این مدل با استفاده از سایر مدل‌های رتبه‌بندی کارایی واحدها نظیر مدل کارایی متقاطع نیز مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

[۱] عبدالله‌زاده، سهراب؛ عبدالله‌زاده، جعفرصادق. (۱۳۹۴). رتبه‌بندی بهبود عملکرد مراحل زنجیره تأمین در اثر استانداردسازی ملی، مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال دوازدهم، شماره سوم، صص ۳۳-۲۳.

[۲] اصغرپور، محمدجواد. (۱۳۹۴). تصمیم‌گیری چندمعیاره، چاپ چهاردهم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۳] علی‌نژاد ساروکلائی، مهدی؛ ساعتی، صابر. (۱۳۹۵). ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های مبتنی بر زمان در تحلیل صورت‌های مالی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار

تهران، مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال سیزدهم، شماره چهارم، صص ۶۵-۵۵.

[4] Benbarka, A. (2007). *Assessment of manufacturing performance using data envelopment analysis*. The University of Texas at Arlington.

[5] Zanakis, S.H, Solomon, A., Wishart, N. & Dublish, S. (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of selection methods. *European Journal of Operational Research, 107*, 507–529.

[6] Banihashemi, S. A., & Rejaei, Z. (2015). Analysis of Digital Divide in Asia-Islamic Countries: A TOPSIS Approach. *Journal of Asian Scientific Research,. 5*(4), 165-176.

[7] Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, *120*(3), 253-290.

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

[9] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, *30*(9), 1078-1092.

[10] Aigner, D., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of econometrics*, *6*(1), 21-37.

[11] Phillips, F. (2005). 25 years of data envelopment analysis. *International journal of information technology & decision making*, *4*(3), 317-323.

[12] Rousseau, J. J., & Semple, J. H. (1995). Two-person ratio efficiency games. *Management Science*, *41*(3), 435-441.

[13] Akçay, A. E., Ertek, G., & Büyüközkan, G. (2012). Analyzing the solutions of DEA through information visualization and data mining techniques: SmartDEA framework. *Expert Systems with Applications*, *39*(9), 7763-7775.

[14] Doyle, J., & Green, R. (1994). Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses. *Journal of the operational research society*, *45*(5), 567-578.

[15] Köksalan, M., & Tuncer, C. (2009). A DEA-based approach to ranking multi-criteria alternatives. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, *8*(01), 29-54.

[16] Jenkins, L., & Anderson, M. (2004). A comparison of data envelopment analysis using fewer variables versus principal components. *Dept of Business Administration Royal Military College of Canada, 15*.

[17] Jahantigh, M., Hosseinzadeh Lotfi, F., & Moghaddas, Z. (2013). Ranking of DMUs by using TOPSIS and different ranking models in DEA. *International Journal of Industrial Mathematics*, *5*(3), 217-225.

[18] Rezaie, K., Ramiyani, S. S., Nazari-Shirkouhi, S., & Badizadeh, A. (2014). Evaluating performance of Iranian cement firms using an integrated fuzzy AHP–VIKOR method. *Applied Mathematical Modelling*, *38*(21), 5033-5046.

[19] Chen, J. F., Hsieh, H. N., & Do, Q. H. (2015). Evaluating teaching performance based on fuzzy AHP and comprehensive evaluation approach. *Applied Soft Computing*, *28*, 100-108.

[20] Ng, C. Y. (2016). Evidential reasoning-based Fuzzy AHP approach for the evaluation of design alternatives' environmental performances. *Applied Soft Computing*, *46*, 381-397.

[21] Modak, M., Pathak, K., & Ghosh, K. K. (2017). Performance evaluation of outsourcing decision using a BSC and Fuzzy AHP approach: A case of the Indian coal mining organization. *Resources Policy*, *52*, 181-191.

[22] Chang, S. C. (2011). Returns to scale in DEA models for performance evaluations. *Technological Forecasting and Social Change*, *78*(8), 1389-1396.

[23] Fenyves, V., Tarnóczi, T., & Zsidó, K. (2015). Financial Performance Evaluation of agricultural enterprises with DEA Method. *Procedia Economics and Finance*, *32*, 423-431.

[24] Wanke, P., Barros, C. P., & Nwaogbe, O. R. (2016). Assessing productive efficiency in Nigerian airports using Fuzzy-DEA. *Transport Policy*, *49*, 9-19.

[25] Ahn, H., & Novoa, N. V. (2016). The decoy effect in relative performance evaluation and the debiasing role of DEA. *European Journal of Operational Research*, *249*(3), 959-967.

[26] Gong, S., Shao, C., & Zhu, L. (2017). Energy efficiency evaluation based on DEA integrated factor analysis in ethylene production. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. In Press.

[27] Martí, L., Martín, J. C., & Puertas, R. (2017). A DEA-logistics performance index. *Journal of Applied Economics*, *20*(1), 169-192.

[28] Tavana, M., Li, Z., Mobin, M., Komaki, M., & Teymourian, E. (2016). Multi-objective

control chart design optimization using NSGA-III and MOPSO enhanced with DEA and TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, *50*, 17-39.

[29] Rosić, M., Pešić, D., Kukić, D., Antić, B., & Božović, M. (2017). Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method. *Accident Analysis & Prevention*, *98*, 277-286.

[30] Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A., & Hadad, Y. (2000). An AHP/DEA methodology for ranking decision making units. *International Transactions in Operational Research*, *7*(2), 109-124.

[31] Korpela, J., Lehmusvaara, A., & Nisonen, J. (2007). Warehouse operator selection by combining AHP and DEA methodologies. *International Journal of Production Economics*, *108*(1), 135-142.

[32] Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Izadbakhsh, H. (2008). Integration of DEA and AHP with computer simulation for railway system improvement and optimization. *Applied Mathematics and Computation*, *195*(2), 775-785.

[33] Lin, M. I., Lee, Y. D., & Ho, T. N. (2011). Applying integrated DEA/AHP to evaluate the economic performance of local governments in China. *European Journal of Operational Research*, *209*(2), 129-140.

[34] Yu, P., & Lee, J. H. (2013). A hybrid approach using two-level SOM and combined AHP rating and AHP/DEA-AR method for selecting optimal promising emerging technology. *Expert Systems with Applications*, *40*(1), 300-314.

[35] Ar, I. M., & Kurtaran, A. (2013). Evaluating the relative efficiency of commercial banks in Turkey: an integrated AHP/DEA approach. *International Business Research*, *6*(4), 129.

[36] Altamirano-Corro, A., & Peniche-Vera, R. (2014). Measuring the institutional efficiency using dea and ahp: the case of a mexican university. *Journal of applied research and technology*, *12*(1), 63-71.

[37] Kumar, A., Shankar, R., & Debnath, R. M. (2015). Analyzing customer preference and measuring relative efficiency in telecom sector: A hybrid fuzzy AHP/DEA study. *Telematics and Informatics*, *32*(3), 447-462.

[38] Lai, P. L., Potter, A., Beynon, M., & Beresford, A. (2015). Evaluating the efficiency performance of airports using an integrated AHP/DEA-AR technique. *Transport Policy*, *42*, 75-85.

[39] Li, X., Liu, Y., Wang, Y., & Gao, Z. (2016). Evaluating transit operator efficiency: An enhanced DEA model with constrained fuzzy-AHP cones. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, *3*(3), 215-225.

[40] Otay, İ., Öztayşi, B., Onar, S. Ç., & Kahraman, C. (2017). Multi-expert Performance Evaluation of Healthcare Institutions Using an Integrated Intuitionistic Fuzzy AHP & DEA Methodology. *Knowledge-Based Systems*.

[41] Mousavi-Nasab, S. H., & Sotoudeh-Anvari, A. (2017). A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for material selection problems. *Materials & Design*, *121*, 237-253.

[42] Babaee, S., Bagherikahvarin, M., Sarrazin, R., Shen, Y., & Hermans, E. (2015). Use of DEA and PROMETHEE II to Assess the Performance of Older Drivers. *Transportation research Procedia*, *10*, 798-808.

[43] 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.