مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیستم، شماره اول (پیاپی ۷۶)،بهار ۰۲، ص ص ۴۸-۳۳
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده کارا و ناکارا با داده‌های نامطلوب براساس مدل ترکیبی DEA و TOPSIS

سید علی بنی‌هاشمی[1*]، محمد خلیل‌زاده[2]، علیرضا شهرکی[3]، محسن رستمی مال‌خلیفه[4]

۱- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۴- دانشیار، گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۰ خرداد ۱۴۰۱

پذیرش مقاله: ۲۱ آذر ۱۴۰۱

چکیده

روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) روشی برای تعیین عملکرد واحدهای تحت ارزیابی (DMUs) است. هر واحد تصمیم‌گیرنده با مصرف ورودی چندگانه، خروجی‌های چندگانه‌ای را تولید می‌کند که ماهیت این خروجی‌ها ممکن است مطلوب یا نامطلوب باشند. واحدهایی که نمره کارایی آن‌ها برابر یک شود، کارا هستند. مفهوم رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده به دلیل اطلاعات سودمندی که در مقایسه با سایر واحدها در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد، از مفاهیم حایز اهمیت در تحلیل پوششی داده‌ها است. در این پژوهش، یک روش توسعه‌ای جدید برای ارزیابی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده براساس امتیاز کارایی ارایه گردیده است. همچنین جهت بررسی اعتبار روش ارایه شده، رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده براساس دو رویکرد دیگر (روش تاپسیس و روش گزینه ایده‌آل و غیرایده‌آل در DEA) محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان داد که رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از مدل توسعه‌ای جدید (DEA(N)) راه‌حل مناسبی جهت محاسبه کارایی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده می‌باشد، که در تعداد محاسبات و زمان انجام محاسبات بسیار کاراتر است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل پوششی داده‌ها، روش تاپسیس، کارایی، روش ایده‌آل و غیرایده‌آل.

۱ مقدمه

تحلیل پوششی داده‌ها روشی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده براساس میزان مصرف ورودی و تولید خروجی آن‌ها است. در این گونه مدل‌ها فرض بر این است که چندین ورودی، چندین خروجی را تولید می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: banihashemi@pnu.ac.ir

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

هدف اصلی در این مدل‌ها ارزیابی کارایی DMU تحت ارزیابی در مقایسه با دیگر DMUهای مشاهده‌شده می‌باشد. با به‌کار بردن مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها جهت تعیین کارایی، معمولاً مواردی پیش می‌آید که بیش از یک واحد تصمیم‌گیرنده کارا می‌گردند. در این مواقع بحث رتبه‌بندی واحدهای کارا مطرح می‌شود. بعضی از مدل‌های رتبه‌بندی که به فراوانی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مدل اندرسون-پیترسون [۱] و مدل محرابیان و همکاران [۲] می‌باشند. مدل اندرسون-پیترسون [۱] دارای دو مشکل اساسی است. اول آن‌که این مدل برای واحدهای تصمیم‌گیرنده در ماهیت ورودی با ورودی‌های صفر ممکن است نشدنی گردد و دوم آن‌که در ماهیت ورودی با داده‌های نزدیک به صفر، ارزیابی دقیقی ارایه نمی‌دهد. در مدل محرابیان و همکاران [۲] نیز مقدار تابع هدف بهینه مساله به واحد اندازه‌گیری ورودی‌ها بستگی دارد که برای رفع این مشکل باید داده‌ها نرمال شوند و ممکن است در برخی حالات نشدنی گردد [۳]. با توجه به اهمیت رتبه‌بندی واحدهای کارا برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان، در این مقاله یک روش توسعه‌ای جدید برای رتبه‌بندی واحدهای کارا و ناکارا ارایه می‌شود. در روش‌های مختلف رتبه‌بندی واحدهای کارا، گاهی اوقات ممکن است رتبه یک واحد ناکارا بیشتر از یک واحد کارا باشد. بنابراین لازم است که کلیه واحدهای تصمیم‌گیرنده با یک دید جامع نسبت به رتبه‌بندی مورد ارزیابی قرار گیرند. بنابراین در این پژوهش از سه روش جهت رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده می‌کنیم. روش اول یک روش توسعه‌ای جدید جهت رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده است که توسط محققان در این پژوهش ارایه می‌گردد. روش دوم با استفاده از مدل TOPSIS در تصمیم‌گیری چندمعیاره، و روش سوم نیز مدل ایده‌آل و غیرایده‌آل در تحلیل پوششی داده‌ها است که بر پایه مدل تاپسیس بنا نهاده شده است. در نهایت جهت بررسی اعتبار مدل ارایه‌شده، همبستگی بین این سه روش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

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 وزن‌دهی‌شده 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 ارایه شده است. بهترین گزینه بر اساس کوتاه‌ترین فاصله از جواب ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله از جواب ایده‌آل منفی تعیین می‌گردد. از خصوصیات روش تاپسیس می‌توان به توان مدل در دخالت توام 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، سادگی و سرعت عملیات، و در نهایت، اختصاصی بودن آن برای اولویت‌بندی گزینه‌ها اشاره نمود [۴]. زاناکیس و همکاران [۵] 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.

جهت پیاده‌سازی و اجرای روش تاپسیس، مراحل زیر انجام می‌شود:

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

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

$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad , \quad i=1,2,...,m \quad , \quad j=1,2,...,n \qquad (1)$$

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

۲. به‌دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون (V): ماتریس بی‌مقیاس‌شده N را در ماتریس قطری وزن‌ها ضرب می‌کنیم.

$$W=\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \cdots & w_n \end{bmatrix}$$

$$v_{ij}=w_j * r_{ij} \quad , \quad i=1,2,...,m \quad , \quad j=1,2,...,n \qquad (3)$$

۳. تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی: راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی با استفاده از روابط زیر به‌دست می‌آیند.

$$A^+=\left\{v_1^+, v_2^+, \cdots, v_j^+, \cdots, v_n^+\right\}=\{(\max_j v_{ij} \,|\, i\in I), (\min_j v_{ij} \,|\, i\in J)\} \qquad (4)$$

$$A^-=\left\{v_1^-, v_2^-, \cdots, v_j^-, \cdots, v_n^-\right\}=\{(\min_j v_{ij} \,|\, i\in I), (\max_j v_{ij} \,|\, i\in J)\} \qquad (5)$$

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. به‌دست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایده‌آل مثبت و منفی: فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی براساس فرمول‌های زیر محاسبه می‌گردد.

$$S_i^+=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij}-V_j^+)^2} \qquad (6)$$

$$S_i^-=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij}-V_j^-)^2} \qquad (7)$$

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

$$C_i=\frac{S_i^-}{S_i^-+S_i^+} \qquad (8)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

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 چارنز برمی‌گردد؛ که عملکرد مدارس دولتی ایالات متحده آمریکا را مورد ارزیابی قرار داد. تحلیل پوششی داده‌ها در حقیقت یک روش ناپارامتری برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده است که براساس 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 تشخیص داده شده‌اند، به‌دست می‌آورد [۷].

در سال ۱۹۵۷ فارل [۸] 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. در سال ۱۹۷۸ چارنز و همکاران [۹] 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 ارایه شد. مدل اولیه CCR بدون درنظر گرفتن مقیاس متغیر واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU) یا همان بنگاه‌ها طراحی شده بود. بنکر و همکاران [۱۰] با تغییرات در مدل CCR و تبدیل بازده به مقیاس ثابت (CRS) به بازده به مقیاس متغیر (VRS) قابلیت مدل را به منظور محاسبه تاثیر مقیاس سازمان‌ها در بهره‌وری افزودند. این مدل به اختصار BCC نامیده شد [۱۱].

پس از رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده، 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 مساله را حل نموده‌اند [۱۲]. پس از آن روسئو و سیمپل [۱۳] 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 [۱۴]. کوک و کرس در سال ۱۹۹۱ روشی نظری مبتنی بر ساختار DEA برای رتبه‌بندی ترکیبی ارایه داده‌اند. کوپر و تون در سال ۱۹۹۷ واحدها را با استفاده از اندازه‌گیری اسکالر ناکارایی در DEA مبتنی بر متغیرهای کمکی رتبه‌بندی کردند [۱۲]. دویل و گرین [۱۵] مدل ماتریس کارایی متقاطع (CEM) را به مدل کلاسیک افزودند [۱۶]. برخی دیگر از محققان نیز با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل چندمتغیره از جمله تجزیه و تحلیل مولفه‌های 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

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

روش‌های آماری چندمتغیره برای رتبه‌بندی کامل استفاده کرده‌اند [۱۷]. جهانتیغ و همکاران [۱۸] به منظور ارایه 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. فرانکلین و همکاران [۱۹] ابتدا واحدها را به دو دسته کارا و ناکارا تقسیم‌بندی کردند. از آنجایی که میزان اندازه کارایی را می‌توان برای رتبه‌بندی واحدها در نظر گرفت، به منظور رتبه‌بندی واحدهایی با کارایی یک، روشی را با استفاده از وزن مشترک ارایه نمودند که بر پایه الگوی واحدهای کارا و مفهوم وزن مشترک تمام واحدهاست.

با توجه به بررسی ادبیات پژوهش و پیشینه تحقیقات انجام گرفته، محققان تلاش‌های زیادی را برای ارایه یک روش مناسب جهت رتبه‌بندی واحدهای کارا ارایه نمودند. در این پژوهش یک مدل جدید برای محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده ارایه شده است. 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، بدترین واحد تصمیم‌گیرنده و حد وسط می‌باشد. سپس کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده به همراه سه واحد مجازی با استفاده از مدل‌های پایه‌ای یا جمعی تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی می‌گردد. بهترین واحد تصمیم‌گیرنده دارای کارایی یک و بدترین واحد تصمیم‌گیرنده ناکاراترین واحد خواهد بود و براساس نمره کارایی، رتبه‌بندی واحدها انجام می‌گیرد.

۳ پیشینه تحقیق

با توجه به اهمیت ویژه ارزیابی عملکرد سازمان‌ها، محققان در دو دهه اخیر، پژوهش‌های بسیاری در این حوزه انجام داده‌اند. بررسی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که این پژوهش‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی نمود.

- دسته اول شامل پژوهش‌هایی هستند که ارزیابی عملکرد سازمان‌ها و شرکت‌ها را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری انجام می‌دهند. در این دسته می‌توان پژوهش‌های چنگ و همکاران [۲۰]، چو و لیانگ [۲۱]، باسلیگیل [۲۲]، ایاز و ازدمیر [۲۳]، چان و کومار [۲۴]، ارتوگرول و کارراکاسوگلو [۲۵]، بالزنتیس و همکاران [۲۶]، کلینک و همکاران [۲۷] و سولانگی و همکاران [۲۸] را نام برد.
- دسته دوم شامل پژوهش‌هایی است که عملکرد سازمان‌ها را با استفاده از انواع مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و توسعه آن به‌دست می‌آورند. در این دسته می‌توان پژوهش‌های گرین و همکاران [۲۹]، بوگنول و همکاران [۳۰]، بالا و کوک [۳۱]، کوک و همکاران [۳۲] و ریوز و سیرونت [۳۳] را نام برد. تسای و همکاران [۳۴] برای ارزیابی تامین‌کنندگان در زنجیره تامین، از روش تعیین کارایی با DEA فازی استفاده کرده و بهترین تامین‌کننده را براساس نمره کارایی انتخاب کردند.
- محققان در دسته سوم نیز از روش‌های ترکیبی جهت تحلیل عملکرد سازمان‌ها استفاده می‌کنند. سینونی و همکاران [۳۵] در پژوهش خود جهت رتبه‌بندی واحدهای سازمانی از ترکیب روش‌های DEA و

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

AHP استفاده کردند. آن‌ها در مرحله اول ماتریس مقایسات زوجی را براساس روش DEA برای هر جفت به صورت مجزا تشکیل داده و در مرحله دوم با استفاده از روش AHP رتبه‌بندی نمودند. تحقیق رز و همکاران [۳۶] از جمله تحقیقاتی بود که بر پتانسیل تکمیل تحلیل DEA با چارچوب‌های مبتنی بر BSC تاکید کرد. در ادامه ریکاردز [۳۷] اولین مدل DEA را با هدف مجسم‌ساختن چهار منظر BSC معرفی کرد. چیانگ و لین [۳۸] با پیروی از روشی مشابه، یک مدل DEA با ورودی‌ها و خروجی‌های متفاوت برای هر یک از ابعاد BSC معرفی کردند. امادو و همکاران [۳۹] با مطالعه یک شرکت چند ملیتی فعال در حمل و نقل به ارایه یک چارچوب مفهومی با هدف ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از دیدگاه‌های چندگانه دست زدند. چارچوب مفهومی با استفاده از چهار منظر روش BSC (عملکرد مالی، مشتریان، فرایندهای داخلی، رشد و یادگیری) و با تلفیق DEA جهت بهبود عملکرد سازمانی انجام شد. شفیعی و همکاران [۴۰] از روش کارت امتیازی متوازن جهت انتخاب معیارهای ارزیابی زنجیره تامین استفاده کرده و سپس با قراردادن معیارها در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای به ارزیابی بهره‌وری نمونه مورد مطالعه پرداختند. کاداروا و همکاران [۴۱] با ترکیب روش BSC و DEA عملکرد جامع و سیستم بهره‌وری مدیریت برای شرکت‌های صنعتی و فرآیندهای آنان را بررسی کردند و پیشنهادی نوآورانه برای یکپارچه‌سازی BSC و DEA دادند. سپس به ترکیب هر دو نوع تحقیق کیفی (BSC) و تحقیق کمی (DEA) پرداختند. در مرحله اول، تمام شاخص‌های موجود در شرکت را از نظر مناظر روش BSC شامل منظر رشد و یادگیری، منظر فرآیندهای داخلی، منظر مشتری و منظر مالی، مورد بررسی قرار دادند. در گام دوم، از تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری فنی استفاده شد. با به کارگیری هر دو رویکرد و ایجاد یک مفهوم جدید، چارچوبی برای نظارت بر عملکرد شرکت صنعتی و بهره‌وری فرآیندهای آن و خدمت به مدیران در تمام سطوح مدیریت ارایه گردید. وانگ و همکاران [۴۲] نیز از ادغام روش‌های DEA و TOPSIS در مقاله خود استفاده کرده‌اند، آنها درابتدا با استفاده از روش DEA، کشورهای مختلف را از نظر پتانسیل انرژهای تجدیدپذیر در سال‌های مختلف ارزیابی‌کرده و در نهایت ۱۰ کشور نخست را با روش TOPSIS و براساس معیارهایی که بیشترین قابلیت را در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر دارند، رتبه‌بندی کردند. وانگ و همکاران [۴۳] در پژوهش دیگری از روش ترکیبی DEA و روش‌های تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی توربین‌های بادی استفاده کردند. آنها در ابتدا محل‌های مشخص شده را براساس روش DEA ارزیابی کرده و در نهایت محل‌های کارا را براساس روش تصمیم‌گیری رتبه‌بندی کردند. استیویک و همکاران [۴۴] برای ارزیابی کارایی شرکت‌های حمل‌ونقل از یک مدل توسعه‌ای شامل ادغام روش‌های DEA، PCA و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

٤ روش‌شناسی پژوهش

هدف اصلی این پژوهش ارایه مدل جدید و توسعه‌ای جهت رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده است. از این‌رو به عنوان یک مثال موردی، یکی از فعالیت‌های پروژه آب‌رسانی (حفاری و خاک‌برداری مسیر) با ۷ روش اجرایی خاص که ترکیبی از ورودی‌ها و خروجی‌های مختلف است در نظر گرفته می‌شود. این ۷ روش اجرایی به شرح زیر براساس نظر مدیران پروژه تنظیم شده است:

۱. روش اجرایی اول، حالتی است که از منابع پروژه حداقل استفاده را شود.

۲. روش اجرایی دوم، محتمل‌ترین حالت اجرایی است. این روش اجرایی شامل ترکیبات منابع و مدت زمان محتمل است که توسط پیمانکار در ابتدای پروژه برآورد شده است.

۳. روش اجرایی سوم و چهارم، تغییر منابع مورد استفاده در پروژه است که به‌تبع مدت زمان و هزینه اجرای فعالیت را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۴. روش اجرایی پنجم، ششم و هفتم، با فرض ثابت بودن منابع فعالیت به ترتیب در روش‌های اجرایی دوم، سوم و چهارم است که در نهایت مدت زمان اجرای فعالیت را نیز تغییر می‌دهد.

در روش‌های اجرایی بیان‌شده، ورودی‌ها شامل ترکیبات مختلف منابع مورد استفاده در فعالیت بوده و خروجی شامل مدت زمان، هزینه، کیفیت و اثرات زیست‌محیطی آن فعالیت است. هر کدام از روش‌های اجرایی به عنوان یک واحد تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته شده است. بنابراین در این مثال، خروجی‌ها به دو دسته مطلوب و نامطلوب تقسیم می‌شوند که مدت زمان، هزینه و اثرات زیست‌محیطی به عنوان خروجی نامطلوب هستند که باید آن‌ها را کاهش دهیم و عامل کیفیت یک خروجی مطلوب می‌باشد. جدول ۱ اطلاعات مربوط به مثال را نشان می‌دهد.

جدول ۱. اطلاعات ورودی و خروجی مربوط به عملیات خاکبرداری و حفاری مسیر

واحدهای تصمیم‌گیرنده	ورودی		خروجی			
	منبع اول	منبع دوم	زمان	هزینه (میلیون ریال)	کیفیت	اثرات زیست‌محیطی
DMU1	۳	۱	۱۴	۱۲۶	۰/۷۸	۰/۳۶
DMU2	۷	۱	۱۰	۱۲۲	۰/۸۰	۰/۴۴
DMU3	۵	۲	۸	۱۳۷/۶	۰/۸۳	۰/۶۴
DMU4	۱۰	۱	۷	۱۰۲/۲	۰/۸۲	۰/۴۴
DMU5	۷	۱	۱۲	۱۴۶/۴	۰/۸۴	۰/۵۲
DMU6	۵	۲	۱۰	۱۷۲	۰/۸۷	۰/۶۴
DMU7	۱۰	۱	۱۰	۱۴۶	۰/۸۸	۰/۴۸

مدل‌های ورودی محور در حالی‌که میزان خروجی‌ها را در سطح داده شده حفظ می‌کنند، به طور متناسب و در حد امکان نسبت به کاهش میزان ورودی‌ها اقدام می‌کنند و برعکس، مدل‌های خروجی‌محور با حفظ میزان

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

ورودی به طور متناسب خروجی‌ها را افزایش می‌دهند. "مدل جمعی"، مدلی است که هم‌زمان کاهش ورودی‌ها و افزایش خروجی‌ها را مورد توجه قرار می‌دهد. مساله اولیه و ثانویه مدل جمعی به صورت زیر است:

$$Min \quad Z_{\circ} = -\sum_{i=1}^{m} S_i^- - \sum_{r=1}^{s} S_r^+ \tag{۹}$$

$$s.t.$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + S_i^- = x_{i\circ}, \qquad i = 1,2,...,m,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - S_r^+ = y_{r\circ}, \qquad r = 1,2,...,s,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1,$$

$$\lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq \circ .$$

$$Max \quad Y_{\circ} = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r\circ} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{i\circ} + w \tag{۱۰}$$

$$s.t:$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum v_i x_{ij} + w \leq \circ, \qquad j = 1,2,...,n,$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i \geq 1,$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r \geq 1,$$

$$v_i, u_r \geq \circ, \qquad w.$$

مدل اولیه (۹)، مدل پوششی و مدل ثانویه (۱۰) مدل مضربی نامیده می‌شود.

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 $z_o^* = \circ$ و یا به عبارت دیگر مقدار تمامی متغیرهای کمکی در جواب بهینه صفر شود. یک واحد وقتی ناکارا می‌شود که متغیرهای کمکی غیرصفر شوند. متغیرهای کمکی بیانگر منابع یا میزان ناکارایی در ورودی‌ها و خروجی‌های متناظر با محدودیت آن‌هاست. مجموعه امکان تولید تحت تکنولوژی بازده به مقیاس متغیر در حضور عناصر مطلوب و نامطلوب در ورودی‌ها و خروجی‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود:

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

$$T_V = \left\{ (x^D, x^U, y^D, y^U) \middle| \begin{array}{l} x^D \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_j^D \\ y^U \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_j^U \\ y^D \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_j^D \\ x^U \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_j^U \\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \end{array} \right\} \quad (11)$$

با توجه به وجود خروجی‌های مطلوب و نامطلوب، خروجی نامطلوب همانند ورودی در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به مدل جمعی، کارایی همه واحدهای تصمیم‌گیرنده در مثال مورد بررسی برابر یک است و بنابراین همه واحدها کارا هستند. لذا برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده کارا از سه روش استفاده شده است.

اولین مدل برای رتبه‌بندی واحدهای کارا، استفاده از یک روش توسعه‌ای جدید است که توسط محققان در این پژوهش ارایه شده است. این روش نسبت به سایر روش‌های مربوط به رتبه‌بندی واحدها از محاسبات بسیار کمتری برخوردار است. در این مدل سه واحد مجازی به واحدهای تصمیم‌گیری اضافه می‌گردد. واحد مجازی اول، میانگین متغیرهای مساله برای کلیه واحدهای تصمیم‌گیری می‌باشد. واحد مجازی دوم که معرف بهترین واحد تصمیم‌گیری است، کمترین مقدار ورودی‌ها و بیشترین مقدار خروجی‌هاست. واحد مجازی سوم، بیشترین مقدار ورودی‌ها و کمترین مقدار خروجی‌ها است که یک واحد تصمیم‌گیری را در بدترین حالت به تصویر می‌کشد.

$$DMU_1' = \{\bar{x}, \bar{y}\} \quad (12)$$
$$DMU_2' = \{\min(x), \max(y)\}$$
$$DMU_3' = \{\max(x), \min(y)\}$$

پس از تعیین مقادیر ورودی و خروجی برای واحدهای مجازی، کل واحدهای تصمیم‌گیرنده (۷ واحد اول و ۳ واحد مجازی) با استفاده از مدل جمعی بازده به مقیاس متغیر مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند. همچنین با توجه به این‌که ماهیت خروجی‌ها به دو دسته مطلوب (کیفیت) و نامطلوب (زمان، هزینه، اثرات زیست‌محیطی) تقسیم می‌شوند، در مدل بررسی‌شده، خروجی‌های نامطلوب همانند ورودی در نظر گرفته شده‌اند. جدول ۲ نمرات کارایی و رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نمره کارایی و رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده با روش توسعه‌ای جدید

واحد تصمیم‌گیرنده	کارایی	رتبه
DMU1	۳۰/۹	۳
DMU2	۲۶/۹۶	۲
DMU3	۳۹/۷۳	۴
DMU4	۷/۱۴	۱

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

DMU5	۵۳/۴	۵
DMU6	۷۶/۰۹	۷
DMU7	۵۳/۹۲	۶
DMU'1	۴۱/۱۴	-
DMU'2	۰	کارای قوی
DMU'3	۸۵/۱۸	ناکارای قوی

برای بررسی اعتبار مدل توسعه‌ای جدید ارایه‌شده، رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از دو روش تاپسیس و روش راه‌حل ایده‌آل و غیرایده‌آل نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مدل دوم جهت رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده، استفاده از روش تاپسیس است. ماتریس تصمیم‌گیری در این حالت شامل کل متغیرهای ورودی و خروجی است. با توجه به ماهیت داده‌ها، برای تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت، کمترین مقادیر متغیرهای ورودی و بیشترین مقادیر متغیرهای ورودی در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای تعیین راه‌حل ایده‌آل منفی، بیشترین مقادیر متغیرهای ورودی و کمترین مقادیر متغیرهای خروجی انتخاب می‌گردد. در این حالت خروجی‌های مطلوب و نامطلوب نیز درنظر گرفته شده است. جدول ۳ نتایج را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقدار CL واحدهای تصمیم‌گیرنده با روش تاپسیس

واحد تصمیم‌گیرنده	CL (TOPSIS)	رتبه
DMU1	۰/۶۶۲	۱
DMU2	۰/۶۱۵	۲
DMU3	۰/۴۸۶	۵
DMU4	۰/۵۴۴	۳
DMU5	۰/۵۱۵	۴
DMU6	۰/۴۱۸	۷
DMU7	۰/۴۵۵	۶

یکی از روش‌های رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده، روش واحدهای مجازی ایده‌آل و غیرایده‌آل است. در این روش، واحد مجازی ایده‌آل براساس بیشترین خروجی مطلوب و کمترین خروجی نامطلوب و کمترین ورودی تعریف می‌شود. واحد مجازی غیرایده‌آل نیز بر اساس کمترین خروجی مطلوب و بیشترین خروجی نامطلوب و بیشترین ورودی تعیین می‌گردد. پس از تعیین کارایی این دو واحد مجازی و با فرض ثابت بودن آن‌ها، بهترین و بدترین میزان کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده محاسبه می‌شود. سپس مانند روش تاپسیس، با ترکیب بهترین و بدترین میزان کارایی نسبی واحدها، شاخص نزدیکی نسبی آن‌ها نسبت به واحد تصمیم‌گیرنده ایده‌آل تعیین شده و رتبه‌بندی انجام می‌گیرد.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

با توجه به آن‌که واحد مجازی ایده‌آل باید بتواند به حداکثر کارایی ممکن دست یابد، پس مدل برنامه‌ریزی کسری (۱۳) و خطی (۱۴) آن به صورت زیر تعیین می‌شود.

(۱۳)

$$Max \quad E_{Ideal} = \frac{\sum_{r=1}^{s'} U_r y_r^{D\max}}{\sum_{i=1}^{m} V_i x_i^{\min} + \sum_{r=s'+1}^{s} U_r y_r^{U\min}}$$

$$s.t.$$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s'} U_r y_{rj}^{D}}{\sum_{i=1}^{m} V_i x_{ij} + \sum_{r=s'+1}^{s} U_r y_{rj}^{U}} \le 1,$$

$$U_r, V_i \ge \varepsilon \quad , \quad j = 1,...,n.$$

(۱۴)

$$Max \quad E_{Ideal} = \sum_{r=1}^{s'} U_r y_r^{D\max}$$

$$s.t.$$

$$\sum_{i=1}^{m} V_i x_i^{\min} + \sum_{r=s'+1}^{s} U_r y_r^{U\min} = 1,$$

$$\sum_{r=1}^{s'} U_r y_{rj}^{D} - \sum_{r=s'+1}^{s} U_r y_{rj}^{U} - \sum_{i=1}^{m} V_i x_{ij} \le 0,$$

$$U_r, V_i \ge \varepsilon \quad , \quad j = 1,...,n.$$

پس از تعیین کارایی واحد مجازی ایده‌آل، با ثابت نگهداشتن آن، بهترین کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده محاسبه می‌گردد. به‌طور مشابه، واحد مجازی غیرایده‌آل باید کارایی کمتری از سایر واحدهای تصمیم‌گیرنده داشته باشد. پس از تعیین کارایی واحد مجازی غیرایده‌آل، با ثابت نگهداشتن آن، بدترین کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده (حالت‌های اجرایی هر فعالیت) نیز محاسبه می‌گردد. برای ارزیابی کلی واحدهای تصمیم‌گیرنده بر پایه روش TOPSIS، شاخص نزدیکی نسبی واحد تصمیم‌گیرنده p به واحد تصمیم‌گیرنده ایده‌آل به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$RC_p = \frac{\gamma_p^* - E_{Anti-Ideal}^*}{(\gamma_p^* - E_{Anti-Ideal}^*) + (E_{Ideal}^* - E_p^*)} \qquad (۱۵)$$

نتایج رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از این روش در جدول ۴ آمده است.

جدول ٤. نتایج رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده با روش ایده‌آل و غیرایده‌آل

واحد تصمیم‌گیرنده	RC (DEA)	رتبه
DMU1	۰/۳۶۵۸	۴
DMU2	۰/۳۷۴۶	۳

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

DMU3	۰/۳۷۵۱	۲
DMU4	۰/۳۸۷۰	۱
DMU5	۰/۳۳۹۳	۶
DMU6	۰/۳۴۰۷	۵
DMU7	۰/۳۳۵۸	۷

همبستگی رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده بین دو روش توسعه‌ای جدید و روش ایده‌آل و غیرایده‌آل ۰/۷۸۶ است. جدول ۵ ضریب همبستگی رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده را در سه روش نشان می‌دهد.

جدول ۵. ضریب همبستگی بین سه روش رتبه‌بندی

	N-DEA	TOPSIS	Ideal
ضریب همبستگی اسپیرمن N-DEA	۱	۰/۸۲۱	۰/۷۸۶
سطح معنی‌داری		۰/۰۲۳	۰/۰۳۶
تعداد	۷	۷	۷
ضریب همبستگی اسپیرمن TOPSIS		۱	۰/۴۲۹
سطح معنی‌داری			۰/۳۳۷
تعداد		۷	۷
ضریب همبستگی اسپیرمن Ideal			۱
سطح معنی‌داری			
تعداد			۷

ضریب همبستگی بین رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده دو روش N-DEA و TOPSIS به مقدار ۰/۸۲۱ است که ارتباط قوی را در سطح معنی‌داری ۵درصد نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده دو روش N-DEA و Ideal/Anti-Ideal نیز مقدار ۰/۷۸۶ است که ارتباط معناداری را در سطح معنی‌داری ۵درصد بیان می‌کند.

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در سال‌های اخیر بحث اندازه‌گیری عملکرد، از اهمیت زیادی در بین مدیران برخوردار گردیده است. یکی از زیرمجموعه‌های اندازه‌گیری عملکرد، اندازه‌گیری کارایی سازمان‌ها و شرکت‌ها (واحدهای تصمیم‌گیرنده) می‌باشد. هدف از اندازه‌گیری کارایی، تخصیص بهتر منابع در راستای افزایش سود و حداقل‌سازی هزینه‌ها است. برای اندازه‌گیری عملکرد، 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

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

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 ارایه یک رویکرد ترکیبی جدید تحلیل پوششی داده‌ها است که بتواند مقدار کارایی واحدها و رتبه‌بندی آن‌ها را با محاسبات کمتر و زمان سریع‌تر انجام دهد. به همین منظور فعالیت خاک‌برداری و حفاری مسیر در یک پروژه با ۷ روش اجرایی مختلف، به عنوان مثال در نظر گرفته شد. این ۷ روش اجرایی شامل ترکیبات مختلفی از منابع ورودی و خروجی (زمان، هزینه، کیفیت، اثرات زیست‌محیطی) است. همچنین در خروجی‌ها دو دسته خروجی مطلوب و نامطلوب وجود دارد که خروجی‌های نامطلوب همانند ورودی در نظر گرفته می‌شوند. در ادامه به تعداد DMUها، سه DMU مجازی اضافه کردیم. این سه واحد شامل ماکزیمم مقدار ورودی‌ها و مینیمم مقدار خروجی‌ها (بدترین واحد تصمیم‌گیرنده)، میانگین ورودی‌ها و خروجی‌ها (واحد تصمیم‌گیرنده متوسط)، و مینیمم مقدار ورودی‌ها و ماکزیمم مقدار خروجی‌ها (بهترین واحد تصمیم‌گیرنده) می‌باشد. در نهایت کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده محاسبه می‌شود. در این روش بهترین واحد تصمیم‌گیرنده دارای بیشترین مقدار کارایی و بدترین واحد تصمیم‌گیرنده دارای کمترین مقدار (ناکارا) خواهد بود. براساس نمره کارایی به‌دست آمده برای سایر واحدهای تصمیم‌گیرنده، رتبه آن‌ها محاسبه می‌گردد. برای بررسی اعتبار مدل ارایه‌شده، رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده با دو روش دیگر (روش تاپسیس و روش ایده‌آل و غیرایده‌آل) نیز ارزیابی‌شده و میزان همبستگی رتبه‌ای روش جدید با این دو روش مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده با روش جدید و دو روش بیان شده در سطح معنی‌داری ۵درصد معنادار است. این روش باعث رتبه‌بندی کل واحدهای تصمیم‌گیرنده اعم از کارا و ناکارا خواهد بود که در محاسبات و زمان نیز بسیار سریع‌تر از سایر روش‌ها است. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش معظمی گودرزی و همکاران [۴۵] همراستا است. این محققان رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده را با استفاده از روش اندرسون-پیترسون و تاپسیس مقایسه کرده‌اند. نتایج این پژوهش بیانگر همبستگی بالا بین رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده کارا در روش اندرسون-پیترسون و رتبه آنها در روش تاپسیس است. همچنین در پژوهش بنی‌هاشمی و نجفی [۴۶] رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده در روش اندسون-پیترسون و تاپسیس مقایسه شده است که نشانگر همبستگی معنی‌دار بین رتبه‌ها می‌باشد. نوآوری پژوهش حاضر در مقایسه با پژوهش‌های گذشته در سه موضوع است. موضوع اول آنکه در پژوهش حاضر، وضعیت داده‌های نامطلوب در ورودی‌ها و خروجی‌ها مدنظر قرار گرفته است. موضوع دوم، استفاده از روش ایده‌آل و غیرایده‌آل تحلیل پوششی داده‌ها برای رتبه‌بندی واحدها تصمیم‌گیرنده است. موضوع سوم، نوع مطالعه موردی پژوهش حاضر است که با استفاده از روش‌های اجرایی متفاوت و ترکیبات مختلف ورودی و خروجی بر روی یک پروژه ساخت‌وساز انجام گرفت.

با توجه به نتایج پژوهش، پیشنهاد می‌گردد صحت این مدل با استفاده از سایر مدل‌های رتبه‌بندی کارایی واحدها نظیر مدل کارایی متقاطع و ارزش شاپلی نظریه بازی‌ها و سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز مورد بررسی قرار گیرد.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

منابع

[1] Anderson.P, Peterson. N.C, (1993). A procedure for ranking efficient units in Data Envelopment Analysis, Management Science 39. 1261-1264.

[2] Mehrabian. S, Alirezaei. M. R, Jahanshahloo. G. R, 1998. A complete efficiency ranking of decision making unit: an application to the teacher training university, Computational Optimization and Application, 14, 261-266.

[3] Aghayi N, Hosseinzadeh Lotfi F, Gholami K, Ghelej Beigi Z. (2018). Ranking and Sensitivity Analysis for Ranks of DMUs based on the Ideal Hyperplan. Journal of Operational Research and Its Applications, 15 (2), 125-133. (In Persian)

[4] Asgharpour M.J. (1394). Multi-Criteria Decision Making, Tehran: Tehran University Publication. (In Persian)

[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] Alinezhad Sarokolaei M, Saati S. (2017). Presenting of Time Driven Data Envelopment Analysis Model in Financial Statements Analysis of Listed Firms in Tehran Stock Exchange. Journal of Operational Research and Its Applications, 13 (4), 55-65. (In Persian)

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

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

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

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

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

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

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] Allahviranloo T, Vaez-Ghasemi M. (2018). Ranking of Research Centers with New Developed Model of Decision Support System in Data Envelopment Analysis. Journal of Operational Research and Its Applications, 15 (3),15-25. (In Persian)

[20] Cheng, C. H., Yang, K. L., & Hwang, C. L. (1999). Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight. European journal of operational research, 116(2), 423-435.

[21] Chou, T. Y., & Liang, G. S. (2001). Application of a fuzzy multi-criteria decision-making model for shipping company performance evaluation. Maritime Policy & Management, 28(4), 375-392.

[22] Basligil, H. (2005). The fuzzy analytic hierarchy process for software selection problems. Sigma, 3(1), 24-33.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

[23] Ayağ, Z., & Özdemir, R. G. (2006). A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives. Journal of intelligent manufacturing, 17(2), 179-190.
[24] Chan, F. T., & Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. Omega, 35(4), 417-431.
[25] Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2009). Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods. Expert Systems with Applications, 36(1), 702-715.
[26] Baležentis, A., Baležentis, T., & Misiunas, A. (2012). An integrated assessment of Lithuanian economic sectors based on financial ratios and fuzzy MCDM methods. Technological and Economic Development of Economy, 18(1), 34-53.
[27] Kilinc, Y., Özdemir, Ö., Orhan, C., & Firat, M. (2018). Evaluation of technical performance of pipes in water distribution systems by analytic hierarchy process. Sustainable Cities and Society, 42, 13-21.
[28] Solangi, Y. A., Tan, Q., Mirjat, N. H., & Ali, S. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. Journal of Cleaner Production, 117655.
[29] Green, R. H., Doyle, J. R., & Cook, W. D. (1996). Preference voting and project ranking using DEA and cross-evaluation. European Journal of Operational Research, 90(3), 461-472.
[30] Bougnol, M. L., Dulá, J. H., & Worner, N. K. (2000). Nonparametric performance evaluation with multiple constituencies. IFAC Proceedings Volumes, 33(17), 973-976.
[31] Bala, K., & Cook, W. D. (2003). Performance measurement with classification information: an enhanced additive DEA model. Omega, *31*(6), 439-450.
[32] Cook, W. D., Ramón, N., Ruiz, J. L., Sirvent, I., & Zhu, J. (2019). DEA-based benchmarking for performance evaluation in pay-for-performance incentive plans. Omega, 84, 45-54.
[33] Ruiz, J. L., & Sirvent, I. (2019). Performance evaluation through DEA benchmarking adjusted to goals. Omega, 87, 150-157.
[34] Tsai, C. M., Lee, H. S., & Gan, G. Y. (2021). A new fuzzy DEA model for solving the MCDM problems in supplier selection. Journal of Marine Science and Technology, 29(1), 7.
[35] 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.
[36] Rouse, P., Putterill, M., Ryan, D. (2002). Integrated performance measurement design: insights from an application in aircraft maintenance, Management Accounting Research, 13, 229–248.
[37] Rickards, R. C. (2003). Setting benchmarks and evaluating balanced scorecards with data envelopment analysis. *Benchmarking:* An International Journal, 10(3), 226-245.
[38] Chiang, C. Y., & Lin, B. (2009). An integration of balanced scorecards and data envelopment analysis for firm's benchmarking management. Total Quality Management, 20(11), 1153-1172.
[39] Amado, C. A., Santos, S. P., & Marques, P. M. (2012). Integrating the Data Envelopment Analysis and the Balanced Scorecard approaches for enhanced performance assessment. Omega, *40*(3), 390-403.
[40] Shafiee, M., Hosseinzadeh Lotfi, F., & Saleh, H. (2014). Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach. Applied Mathematical Modelling, 38(21-22), 5092-5112.
[41] Kádárová, J., Durkáčová, M., Teplická, K., & Kádár, G. (2015). The proposal of an innovative integrated BSC–DEA model. Procedia Economics and Finance, 23, 1503-1508.
[42] Wang, C. N., Dang, T. T., Tibo, H., & Duong, D. H. (2021). Assessing renewable energy production capabilities using DEA window and fuzzy TOPSIS model. Symmetry, 13(2), 334.
[43] Wang, C. N., & Dang, T. T. (2021). Location optimization of wind plants using DEA and fuzzy multi-criteria decision making: A case study in Vietnam. IEEE Access, 9, 116265-116285.
[44] Stević, Ž., Miškić, S., Vojinović, D., Huskanović, E., Stanković, M., & Pamučar, D. (2022). Development of a Model for Evaluating the Efficiency of Transport Companies: PCA–DEA–MCDM Model. Axioms, 11(3), 140.
[45] Moazzami Gudarzi, M., Jaberansari, M., Moallem, A. & Shakiba, M. (2014). Applying Data Envelopment Analysis (DEA) for Measuring Relative Efficiency and Ranking Branches of Refah Kargaran Bank in Lorestan Province. The Economic Research, 14(1), 115-126. (In Persian)

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]

[46] Banihashemi, S. A., & Najafi, S. S. (2017). Introducing the new development approach of DEA and TOPSIS for performance rating (Case study of cement companies listed on the stock exchange). Journal of Quality Engineering and Management, 7(1), 69-81. (In Persian)

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.61186/jamlu.20.1.33]