

## Paper Type: Original Article



# Measuring Branch Productivity in the Rice Industry: Ranking Operational Units through DEA Super-Efficiency Models

Maedeh Pourhossein Ahmadi<sup>1,\*</sup> , Seyyed Mojtaba Kavosi Davodi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Business Management, Islamic Azad University, Babol Branch, Babol, Iran;  
maedeh.pourhossein1367@gmail.com.

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, Shomal University, Amol, Iran; s.m.kavosi.davodi@shomal.ac.ir.

### Citation:



Pourhossein Ahmadi, M., & Kavosi Davodi, S. M. (2026). Measuring branch productivity in the rice industry: Ranking operational units through DEA super-efficiency models. *Management: Modeling, Analysis and Applications*, 3(3), 160-170.

Received: 27/10/2025

Reviewed: 10/03/2026

Revised: 03/05/2026

Accepted: 05/12/2026

## Abstract

**Purpose:** In rice industry companies, differences in resource allocation, operational practices, and process efficiency can create substantial performance gaps among branches and operational units. Although Data Envelopment Analysis (DEA) is widely used for performance assessment, the presence of multiple units with identical efficiency scores often limits its discriminatory power and ranking capability. To address this challenge, the present study aims to evaluate and rank the performance of branches of Dehkadeh Beranj Tabiat Company while resolving the issue of tied efficient units.

**Methodology:** This applied study employs DEA to evaluate performance. Ten company branches were considered as Decision-Making Units (DMUs). Input variables included paddy purchase cost, energy consumption, and workforce size, while output variables included final production volume and profit margin. In the first stage, relative efficiency scores were calculated using the input-oriented CCR model. Subsequently, the Andersen–Petersen (AP) super-efficiency model was applied to rank efficient units and overcome the tie-ranking limitation. Sensitivity analysis was also conducted under alternative input scenarios to assess the robustness of the results.

**Findings:** The results revealed that five branches were located on the efficiency frontier, while the remaining five exhibited varying degrees of inefficiency. The super-efficiency model successfully differentiated efficient units and identified Branch No. 2, with a score of 1.18, as the benchmark performer. Gap analysis further showed that lower-performing branches mainly suffer from inefficiencies in purchasing costs and energy consumption, and that resource utilization could be reduced without sacrificing production output. The sensitivity analysis confirmed the relative stability of the ranking results under moderate variations in input parameters.

**Originality/Value:** This study demonstrates the practical application of DEA super-efficiency models to evaluate operational performance in the rice industry and extends the analysis beyond simple efficiency identification to precise rankings of efficient units. Its main contribution lies in translating efficiency assessment outcomes into actionable managerial insights for resource allocation, process improvement, and benchmarking. The proposed framework can be adapted to other manufacturing and distribution organizations seeking to monitor branch performance, identify productivity bottlenecks, and strengthen managerial decision-making.

**Keywords:** Data envelopment analysis, Ranking, Super-efficiency, Rice industry, Performance management.



Corresponding Author: maedeh.pourhossein1367@gmail.com  <https://doi.org/10.22105/mmaa.vi.128>

Licensee. **Management: Modeling, Analysis and Application**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## سنجش بهره‌وری شعب فروش در صنعت برنج: رتبه‌بندی واحدهای عملیاتی با مدل‌های سوپرکاری تحلیل پوششی داده‌ها

مآئده پورحسین احمدی<sup>۱</sup>، سید مجتبی کاوسی داودی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه مدیریت بازرگانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بابل، بابل، ایران.

<sup>۲</sup> گروه مهندسی صنایع، دانشگاه شمال، آمل، ایران.

### چکیده

هدف: در شرکت‌های فعال در صنعت برنج، تفاوت در نحوه تخصیص منابع، مدیریت عملیات و کارایی فرایندها می‌تواند منجر به شکاف‌های عملکردی قابل توجه میان شعب و واحدهای عملیاتی شود. اگرچه تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۱</sup> یکی از پرکاربردترین ابزارهای ارزیابی عملکرد است، اما وجود چندین واحد با امتیاز کارایی یکسان، قدرت تمایز و رتبه‌بندی آن را محدود می‌کند. در پاسخ به این چالش، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و رتبه‌بندی عملکرد شعب شرکت دهکده برنج طبیعت و رفع مسأله هم‌رتبه‌ای<sup>۲</sup> میان واحدهای کارا انجام شد.

روش‌شناسی پژوهش: این پژوهش از نوع کاربردی بوده و از رویکرد DEA برای ارزیابی عملکرد استفاده می‌کند. ده شعبه شرکت دهکده برنج طبیعت به عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده<sup>۳</sup> در نظر گرفته شدند. متغیرهای ورودی شامل هزینه خرید شلتوک، انرژی مصرفی و نیروی انسانی و متغیرهای خروجی شامل میزان تولید نهایی و حاشیه سود بودند. در مرحله نخست، کارایی نسبی واحدها با استفاده از مدل CCR ورودی‌محور محاسبه شد. سپس برای رتبه‌بندی واحدهای کارا و رفع محدودیت هم‌رتبه‌ای، مدل سوپرکاری اندرسن-پترسن (AP) به کار گرفته شد. همچنین برای بررسی پایداری نتایج، تحلیل حساسیت تحت سناریوهای مختلف تغییرات پارامترهای ورودی انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد پنج شعبه در مرز کارایی<sup>۴</sup> قرار دارند و پنج شعبه دیگر دارای ناکارایی نسبی هستند. اجرای مدل سوپرکاری امکان تفکیک واحدهای کارا را فراهم کرد و شعبه شماره ۲ با امتیاز ۱/۱۸ به عنوان واحد مرجع و الگوی عملکردی برتر شناسایی شد. تحلیل شکاف نیز نشان داد شعب دارای عملکرد ضعیف‌تر عمدتاً با اتلاف منابع در حوزه هزینه‌های خرید و مصرف انرژی مواجه هستند و می‌توانند بدون کاهش سطح تولید، بخشی از منابع مصرفی خود را کاهش دهند. نتایج تحلیل حساسیت نیز بیانگر ثبات نسبی رتبه‌بندی‌ها در برابر تغییرات محدود پارامترهای ورودی بود.

اصالت/ارزش افزوده علم: این پژوهش کاربرد عملی مدل‌های سوپرکاری را در ارزیابی عملکرد واحدهای عملیاتی صنعت برنج نشان می‌دهد و فراتر از شناسایی واحدهای کارا، امکان رتبه‌بندی دقیق آن‌ها را فراهم می‌سازد. ارزش افزوده اصلی مطالعه در تبدیل نتایج ارزیابی کارایی به توصیه‌های اجرایی برای تخصیص منابع، بهبود فرایندها و الگوبرداری از واحدهای برتر است. چارچوب پیشنهادی می‌تواند در سایر شرکت‌های تولیدی و توزیعی نیز برای پایش عملکرد شعب، شناسایی گلوگاه‌های بهره‌وری و پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل پوششی داده‌ها، رتبه‌بندی، سوپر-کارایی، صنعت برنج، مدیریت عملکرد.

### ۱- مقدمه

صنعت برنج یکی از بخش‌های مهم و راهبردی در زنجیره تامین و امنیت غذایی کشور محسوب می‌شود. برنج به عنوان یکی از اصلی‌ترین اقلام مصرفی خانوار، سهم قابل توجهی در الگوی تغذیه‌ای جامعه دارد و به همین دلیل، هر گونه بهبود در فرایندهای تامین، فرآوری، بسته‌بندی و توزیع

<sup>1</sup> Data Envelopment Analysis (DEA)

<sup>2</sup> Ties in ranking

<sup>3</sup> Decision-Making Units (DMUs)

<sup>4</sup> Efficiency frontier

آن می‌تواند تاثیر مستقیم بر بهره‌وری اقتصادی، رضایت مصرف‌کننده و پایداری عرضه داشته باشد. در سال‌های اخیر، افزایش رقابت در بازار مواد غذایی، تغییرات هزینه‌های تولید، نوسانات قیمت مواد اولیه و رشد انتظارات مشتریان نسبت به کیفیت محصول، بنگاه‌های فعال در این حوزه را ناگزیر کرده است که با رویکردی علمی و داده‌محور، عملکرد واحدهای عملیاتی خود را ارزیابی و مقایسه کنند. در چنین شرایطی، استفاده از روش‌های ارزیابی کارایی به‌عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم، اهمیت فزاینده‌ای یافته است.

یکی از مهم‌ترین بنگاه‌های این صنعت، شرکت‌های فعال در حوزه خرید شالی و شلتوک، خشک‌کردن، سورتینگ، بسته‌بندی و فروش برنج هستند که معمولاً دارای چندین واحد یا خط عملیاتی با وظایف مشابه اما عملکردهای متفاوت‌اند. این ساختار چندمرحله‌ای و مبتنی بر عملیات پیوسته، سبب می‌شود که ارزیابی صرفاً بر اساس شاخص‌های مالی سنتی، تصویر دقیقی از عملکرد واقعی ارائه نکند. به همین دلیل، بهره‌گیری از روش‌های چندمعیاره و غیرپارامتری، به‌ویژه *DEA*، برای سنجش کارایی نسبی این واحدها بسیار مناسب است. *DEA* این امکان را فراهم می‌سازد که بدون نیاز به فرض شکل تابع تولید، کارایی *DMUs* بر اساس مجموعه‌ای از ورودی‌ها و خروجی‌ها محاسبه شود [1]، [2].

با وجود مزایای فراوان *DEA*، یکی از چالش‌های شناخته‌شده این روش، مساله هم‌رتبه‌ای است. در مدل‌های کلاسیک *DEA*، به‌ویژه در مواردی که تعداد *DMUs* نسبت به تعداد ورودی و خروجی‌ها زیاد است یا واحدها عملکرد بسیار مشابهی دارند، ممکن است چندین واحد امتیاز کارایی برابر با یک کسب کنند. در نتیجه، این واحدها همگی کارا شناخته می‌شوند، اما امکان رتبه‌بندی دقیق و تمایز بین آن‌ها وجود ندارد. این محدودیت در محیط‌های مدیریتی و صنعتی، به‌ویژه زمانی که مدیران نیازمند انتخاب بهترین واحد، تعیین الگوی عملکرد، یا تخصیص منابع هستند، مشکل‌ساز می‌شود. بنابراین، صرف شناسایی کارابودن واحدها کافی نیست و لازم است روشی برای تفکیک و رتبه‌بندی کامل واحدهای کارا<sup>۱</sup> و ناکارا ارائه شود.

در ادبیات *DEA*، برای رفع مساله هم‌رتبه‌ای روش‌های متعددی پیشنهاد شده است. از جمله می‌توان به مدل سوپرکارایی اندرسن و پترسن اشاره کرد که یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای رتبه‌بندی واحدهای کاراست و با حذف واحد موردنظر از مرز کارا، امکان امتیازدهی بیش از یک را برای واحدهای کارا فراهم می‌کند [3]. علاوه بر این، رویکردهای دیگری نظیر *cross-efficiency*، مدل‌های مبتنی بر وزن‌های مشترک<sup>۲</sup> و مدل‌های شبکه‌ای یا پویا نیز برای افزایش قدرت تمایز *DEA* توسعه یافته‌اند [4]، [5]. با این حال، انتخاب مدل مناسب باید متناسب با ساختار داده‌ها، هدف پژوهش و ماهیت واحدهای مورد بررسی باشد.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که *DEA* همچنان یکی از ابزارهای معتبر و انعطاف‌پذیر برای ارزیابی عملکرد در صنایع مختلف است و در کنار آن، توجه به مواردی مانند عدم قطعیت داده‌ها، خروجی‌های نامطلوب، ساختار شبکه‌ای، و مقایسه‌پذیری بین واحدها نیز افزایش یافته است [6]. همچنین، مطالعات جدید در حوزه ارزیابی عملکرد و زنجیره‌تأمین نشان می‌دهند که صنایع غذایی و کشاورزی، به دلیل پیچیدگی فرایندها و حساسیت کیفیت، از مهم‌ترین حوزه‌های کاربرد *DEA* به‌شمار می‌روند. در این صنایع، ارزیابی عملکرد تنها به معنای کاهش هزینه نیست، بلکه شامل بهبود کیفیت، کاهش اتلاف، افزایش بهره‌وری انرژی و ارتقای اثربخشی عملیات نیز می‌شود.

در این پژوهش، شرکت دهکده برنج طبیعت به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است؛ شرکتی که در حوزه تأمین، خشک‌کردن، بسته‌بندی و فروش برنج فعالیت دارد و فرایندهای عملیاتی آن را می‌توان به‌صورت چندین واحد همگن یا شبه‌همگن مدلسازی کرد. این شرکت به دلیل تنوع فعالیت‌های عملیاتی و ماهیت زنجیره‌ای فرایندها، بستر مناسبی برای اجرای *DEA* و رتبه‌بندی واحدها فراهم می‌کند. به‌ویژه آنکه در چنین کسب‌وکاری، اختلاف عملکرد بین واحدها ممکن است ناشی از تفاوت در مدیریت منابع، بهره‌وری تجهیزات، کیفیت مواد اولیه، یا میزان ضایعات در مراحل مختلف باشد. از این‌رو، *DEA* می‌تواند به مدیران شرکت کمک کند تا ضمن شناسایی واحدهای کارا، نقاط ضعف واحدهای ناکارا را نیز مشخص کرده و برای بهبود عملکرد، تصمیمات مبتنی بر شواهد اتخاذ کنند.

بر این اساس، هدف اصلی مقاله حاضر، ارائه یک روش مبتنی بر *DEA* برای رتبه‌بندی واحدهای کارا و ناکارا و رفع مساله هم‌رتبه‌ای در شرکت دهکده برنج طبیعت است. در این راستا، با تعریف شاخص‌های مناسب ورودی و خروجی بر اساس ماهیت عملیاتی شرکت، عملکرد واحدها

<sup>۱</sup> Efficient<sup>۲</sup> Common weights

ارزیابی شده و با استفاده از مدل سوپرکارایی<sup>۱</sup>، رتبه‌بندی نهایی انجام می‌شود. انتظار می‌رود نتایج این پژوهش علاوه بر ارایه یک چارچوب علمی برای رتبه‌بندی دقیق واحدها، برای مدیران شرکت نیز از نظر بهبود بهره‌وری، تخصیص بهتر منابع و ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری کاربردی باشد.

در مجموع، این پژوهش در پی پاسخ به این پرسش است که چگونه می‌توان با استفاده از *DEA* و یک مدل رتبه‌بندی مناسب، ضمن ارزیابی عملکرد واحدهای مختلف یک شرکت فعال در صنعت برنج، مساله هم‌رتبه‌ای را نیز برطرف کرد و یک رتبه‌بندی دقیق و معنادار از واحدها به دست آورد. پاسخ به این پرسش می‌تواند به توسعه کاربرد *DEA* در صنایع غذایی و به‌طور خاص زنجیره‌تامین برنج کمک کند و الگویی عملی برای سایر بنگاه‌های مشابه ارایه دهد.

## ۲- ادبیات نظری پژوهش

### ۲-۱- مفهوم کارایی و ارزیابی عملکرد

کارایی یکی از مهم‌ترین مفاهیم در مدیریت عملیات و ارزیابی عملکرد سازمانی است و به میزان موفقیت یک واحد در تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها اشاره دارد. در ادبیات مدیریت، کارایی معمولاً به دو بعد اصلی تقسیم می‌شود: کارایی فنی و کارایی مقیاس. کارایی فنی نشان می‌دهد که یک واحد تا چه اندازه توانسته است با حداقل منابع، حداکثر خروجی را تولید کند، در حالی که کارایی مقیاس بیانگر تناسب اندازه فعالیت با سطح بهینه تولید است [1]. در صنایع غذایی و زنجیره‌تامین محصولات کشاورزی، این مفاهیم اهمیت مضاعف دارند؛ زیرا کیفیت محصول، هزینه‌های نگهداری، ضایعات و سرعت عملیات همگی بر عملکرد نهایی اثر می‌گذارند.

در چارچوب این پژوهش، *DMUs* می‌توانند بخش‌ها، خطوط، یا واحدهای عملیاتی شرکت دهکده برنج طبیعت باشند که هر یک با مجموعه‌ای از ورودی‌ها، خروجی‌هایی را تولید می‌کنند. هدف، سنجش کارایی نسبی این واحدها و سپس رتبه‌بندی آن‌هاست. در *DEA*، این رتبه‌بندی بر پایه مقایسه هر واحد با مرز کارا و تعیین فاصله آن از بهترین عملکرد مشاهده شده انجام می‌شود [2].

### ۲-۲- تحول در رویکردهای ارزیابی عملکرد با *DEA*

در سال‌های اخیر، *DEA* از یک مدل سنتی به ابزاری چندبعدی برای تحلیل سیستم‌های پیچیده تبدیل شده است. برخلاف رویکردهای کلاسیک که صرفاً بر شناسایی واحدهای کارا متمرکز بودند، پژوهش‌های نوین بر قدرت تفکیک<sup>۲</sup> و پایداری مدل‌ها در مواجهه با عدم قطعیت تاکید دارند [7]. در صنایع تولیدی و خدماتی مدرن، کارایی دیگر تنها به معنای نسبت ساده ورودی به خروجی نیست، بلکه دربرگیرنده ابعاد پایداری، مدیریت ریسک و بهینه‌سازی زنجیره‌تامین است که مدل‌های مدرن *DEA* قادر به پوشش آن‌ها هستند.

### ۲-۳- چالش هم‌رتبه‌ای و مدل‌های ارتقای افته رتبه‌بندی

مساله «هم‌رتبه‌ای» یا تجمع واحدهای کارا روی مرز تولید (*Efficiency frontier*) همچنان یکی از مباحث داغ در پژوهش‌های عملیاتی است. مدل‌های سوپرکارایی که توسط اندرسون و پیترسون [3] معرفی شدند، امروزه با رویکردهای نوین ترکیب شده‌اند تا دقت رتبه‌بندی را در محیط‌های دارای نویز یا داده‌های نادقیق افزایش دهند.

پژوهشگران در سال‌های اخیر برای رفع چالش‌های مدل‌های سنتی، از رویکردهای ترکیبی استفاده کرده‌اند:

۱. مدل‌های *DEA* مبتنی بر توابع جهت‌دار<sup>۳</sup>: این مدل‌ها اجازه می‌دهند هم‌زمان با ارزیابی کارایی، جهت بهبود واحدها (افزایش خروجی و کاهش ورودی) نیز تعیین شود که دقت رتبه‌بندی را به‌طور معناداری ارتقا می‌دهد [6].

<sup>1</sup> Super-efficiency

<sup>2</sup> Discrimination power

<sup>3</sup> Directional distance functions

۲. رویکردهای وزن‌های مشترک: این روش‌ها برای حل مشکل وزن‌های نامتعارف در *DEA* و ایجاد یک مقیاس یکپارچه برای رتبه‌بندی واحدهای کارا توسعه یافته‌اند تا از سوگیری‌های احتمالی در انتخاب وزن‌ها جلوگیری کنند [8].
۳. ادغام مدل‌های شبکه (*Network DEA*): در واحدهای عملیاتی که دارای مراحل پی‌درپی هستند، مدل‌های شبکه‌ای برای رتبه‌بندی دقیق‌تر اجزای داخلی سیستم به کار می‌روند که نتایج بسیار دقیق‌تری نسبت به مدل‌های «جعبه سیاه» ارائه می‌دهند.

#### ۲-۴- جای‌گاه سوپرکارایی در پژوهش‌های معاصر

مدل سوپرکارایی همچنان به عنوان معیار استاندارد برای رتبه‌بندی واحدهای کارا شناخته می‌شود. مطالعه‌های جدید نشان می‌دهند که این مدل در کنار روش‌های کاهش ابعاد<sup>۱</sup>، می‌تواند در شناسایی «واحدهای مرجع ایده‌آل» بسیار موثر عمل کند. علاوه بر این، کاربرد مدل‌های سوپرکارایی در ارزیابی عملکرد شرکت‌های فعال در حوزه مواد غذایی و زنجیره تامین کشاورزی با در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب (مانند ضایعات و اتلاف انرژی)، به یک جریان تحقیقاتی غالب تبدیل شده است [9].

#### ۲-۵- پیش‌ینه تحقیق

در سال‌های اخیر، چالش رتبه‌بندی واحدهای کارا در *DEA* به یکی از حوزه‌های فعال در پژوهش‌های تحقیق در عملیات تبدیل شده است. باتوجه به اینکه مدل‌های کلاسیک *DEA* در شناسایی واحدهای کارا (امتیاز ۱) موفق هستند اما قدرت تفکیک ضعیفی در رتبه‌بندی آن‌ها دارند، پژوهش‌های متعددی برای رفع این محدودیت توسعه یافته‌اند.

امروزی‌نژاد و یانگ [7] در بررسی جامع خود پیرامون ۴۵ سال تاریخچه *DEA*، خاطرنشان می‌کنند که توسعه مدل‌های سوپرکارایی و رویکردهای رتبه‌بندی متقاطع (*Cross-Efficiency*) به عنوان ابزارهای کلیدی برای غلبه بر مساله هم‌رتبه‌ای در محیط‌های صنعتی پیچیده ظهور کرده‌اند. در همین راستا، عمرانی و همکاران [8] با ارائه یک مدل «وزن‌های مشترک»، رویکردی نوین برای رتبه‌بندی ارائه دادند که ضمن حفظ سازگاری با مدل‌های کلاسیک، از سوگیری‌های ناشی از وزن‌های انعطاف‌پذیر در ارزیابی واحدها جلوگیری می‌کند.

یکی از تحولات مهم در این حوزه، استفاده از توابع جهت‌دار برای افزایش قدرت تمایز است. عرب مالدار و همکاران [6] با توسعه یک مدل *DEA* مقاوم مبتنی بر تابع فاصله جهت‌دار (*Directional Distance Function*)، نشان دادند که می‌توان با در نظر گرفتن اهداف بهبود در جهت‌های مشخص، رتبه‌بندی دقیق‌تری از واحدهای عملکردی به دست آورد، به‌ویژه زمانی که داده‌ها با نویز یا عدم قطعیت مواجه‌اند. همچنین سجادی و همکاران [10] بر کاربرد مدل‌های سوپرکارایی در شرایط داده‌های غیردقیق تاکید کرده و روشی را برای رتبه‌بندی *DMUs* پیشنهاد دادند که پایداری رتبه‌ها را در برابر نوسانات داده‌ای تضمین می‌کند.

در حوزه مدل‌های شبکه‌ای، جیانگ و همکاران [11] ثابت کردند که رتبه‌بندی واحدهای عملیاتی در زنجیره تامین، نیازمند مدل‌های دو مرحله‌ای است. آن‌ها نشان دادند که نگاه «جعبه سیاه» به *DMUs* منجر به نادیده گرفتن ناکارایی‌های داخلی می‌شود و با مدلسازی ساختار مرحله‌ای، می‌توان رتبه‌بندی دقیق‌تری از عملکرد کلان سیستم ارائه کرد. در همین حال، گومز-کالوت و همکاران [9] با به کارگیری مدل سوپرکارایی *SBM* (مبتنی بر اسلک) در ارزیابی بهره‌وری انرژی، ثابت کردند که می‌توان خروجی‌های نامطلوب (مانند ضایعات) را وارد محاسبات کرده و همچنان رتبه‌بندی متمایزی برای واحدهای کارا ایجاد نمود.

در مطالعات کاربردی‌تر، حسین‌زاده لطفی و همکاران [12] با تمرکز بر زنجیره تامین کشاورزی، از رویکردهای ترکیبی *DEA* برای ارزیابی عملکرد بهره بردند و استدلال کردند که رتبه‌بندی دقیق تنها با لحاظ کردن شاخص‌های پایداری و خروجی‌های نامطلوب امکان‌پذیر است. در مقیاسی کلان‌تر، ژائو و گونگ [13] به اهمیت «تحلیل حساسیت» در رتبه‌بندی اشاره کردند؛ آن‌ها نشان دادند که مدل‌های رتبه‌بندی باید در برابر تغییرات کوچک در مقادیر ورودی-خروجی پایدار باشند و مدل‌های ترکیبی آن‌ها توانست دقت رتبه‌بندی را در شرایط رقابتی افزایش دهد. نهایتاً، پانوار و همکاران [14]

<sup>1</sup> Dimensionality reduction

در مروری بر روندهای آتی، بر لزوم یکپارچه‌سازی مدل‌های رتبه‌بندی *DEA* با یادگیری ماشین<sup>۱</sup> برای تحلیل داده‌های حجیم تاکید کرده‌اند که می‌تواند مسیر پژوهش‌های آینده در رفع هم‌رتبه‌ای را دگرگون سازد.

مرور ادبیات اخیر نشان می‌دهد که با وجود تنوع مدل‌های *DEA*، همچنان نیاز به بومی‌سازی این مدل‌ها برای صنایع خاص (مانند صنعت برنج) احساس می‌شود تا تفاوت‌های عملکردی نه تنها در سطح کلان، بلکه در جزئیات عملیاتی نیز آشکار گردد. پژوهش‌های فعلی تاکید دارند که صرفاً استفاده از مدل‌های ریاضی کافی نیست، بلکه ترکیب مدل‌های سوپرکارایی با تحلیل‌های حساسیت برای رفع هم‌رتبه‌ای، ضرورتی انکارناپذیر برای مدیران تصمیم‌گیرنده است. پژوهش حاضر با تکیه بر این دانش به‌روز، با پیاده‌سازی مدل سوپرکارایی در شرکت «دهکده برنج طبیعت»، سعی در رفع شکاف بین تئوری‌های نوین *DEA* و کاربرد عملیاتی آن‌ها در صنعت بسته‌بندی برنج دارد.

## ۲-۶- نوآوری و اهمیت پژوهش

نوآوری اصلی این پژوهش در به‌کارگیری یک رویکرد ترکیبی برای حل چالش‌های عملیاتی در «شرکت دهکده برنج طبیعت» نهفته است. برخلاف مطالعه‌های سنتی که تنها به شناسایی واحدهای کارا اکتفا می‌کنند، این مقاله با پیاده‌سازی مدل سوپرکارایی اندرسن-پترسن، محدودیت «هم‌رتبه‌ای واحدهای کارا» را مرتفع کرده و امکان اولویت‌بندی دقیق واحدهای برتر را برای مدیران فراهم نموده است. علاوه بر این، تعریف دقیق شاخص‌های ورودی-خروجی متناسب با چرخه تولید برنج و ارایه یک مدل بومی‌سازی شده برای این شرکت، الگویی تصمیم‌ساز ارایه می‌دهد که می‌تواند مستقیماً در برنامه‌های استراتژیک شرکت جهت بهینه‌سازی منابع و افزایش بهره‌وری به‌کار گرفته شود.

## ۳- مدل‌سازی و روش‌شناسی

### ۳-۱- روش تحقیق

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و برای ارزیابی عملکرد *DMUs* از مدل *DEA* استفاده می‌کند. جزئیات مدل‌سازی به شرح زیر است:

۱. انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌ها: شاخص‌های ورودی شامل هزینه‌های خرید، مصرف انرژی و نیروی انسانی به دلیل تاثیر مستقیم بر هزینه‌های جاری انتخاب شده‌اند. شاخص‌های خروجی شامل حجم تولید و سود عملیاتی نیز به‌منظور سنجش اثربخشی فرایند تولید تعیین شده‌اند. انتخاب این متغیرها بر اساس بررسی ادبیات موضوع و انطباق با واقعیت‌های عملیاتی شرکت دهکده برنج طبیعت صورت گرفته است.

۲. نوع مدل: در این پژوهش از مدل ورودی‌محور<sup>۲</sup> استفاده شده است. انتخاب این مدل به این دلیل است که در محیط عملیاتی شرکت، هدف مدیریت عمدتاً کاهش هزینه‌ها و استفاده بهینه از منابع موجود (ورودی‌ها) برای رسیدن به سطح تولید مشخص است.

۳. کفایت تعداد *DMU* ها: در این مطالعه، تعداد  $[DMU] [10]$  در مقابل تعداد محدود شاخص‌ها مورد تحلیل قرار گرفته است. بر اساس قواعد تجربی *DEA* (نظیر قاعده ضرب در سه)، نسبت مناسب *DMU* به مجموع ورودی‌ها و خروجی‌ها رعایت شده است که این امر موجب افزایش قدرت تفکیک و اعتبار نتایج مدل گردیده است.

۴. مدل سوپرکارایی (*AP*): جهت رفع مسأله هم‌رتبه‌ای (*Tie-breaking*) در میان واحدهای کارا که امتیاز آن‌ها برابر با ۱ است، از مدل اندرسن-پترسن استفاده شد. این روش با حذف واحد مورد ارزیابی از مجموعه مرجع، امکان رتبه‌بندی واحدها با امتیازهای بالاتر از ۱ را فراهم کرده که منجر به شناسایی دقیق‌تر الگوی برتر (*Benchmark*) شده است.

<sup>1</sup> Machine learning

<sup>2</sup> Input-oriented

## DMU-۳-۲

در این پژوهش، هر یک از شعب یا خطوط عملیاتی شرکت دهکده برنج طبیعت به‌عنوان یک *DMU* در نظر گرفته شده‌اند. این واحدها از نظر نوع فعالیت، هدف و ساختار عملیاتی همگن بوده و در یک زنجیره فرایندی مشابه فعالیت می‌کنند. فرایندهای مورد بررسی شامل موارد ذیل می‌باشد:

۱. خرید شلتوک
۲. خشک کردن
۳. بسته‌بندی
۴. توزیع

بنابراین، هر *DMU* نماینده یک بخش عملیاتی است که عملکرد آن بر اساس نسبت میان منابع مصرف‌شده و دستاوردهای حاصل سنجیده می‌شود.

## ۳-۳- تعین ورودی‌ها و خروجی‌ها

در مدل *DEA*، انتخاب مناسب ورودی‌ها و خروجی‌ها نقش اساسی در اعتبار نتایج دارد. بر اساس چکیده مقاله و ساختار فرایند تولید و توزیع در صنعت برنج، متغیرهای تحقیق به دو گروه اصلی تقسیم شده‌اند:

ورودی‌ها: ورودی‌ها نمایانگر منابع مصرفی در فرایند تولید و عملیات هستند. در این پژوهش، ورودی‌ها شامل موارد زیر در نظر گرفته شده‌اند:

۱. هزینه خرید شلتوک
۲. انرژی مصرفی
۳. نیروی انسانی

این متغیرها نشان‌دهنده میزان منابع مالی، انرژی و نیروی کار موردنیاز برای انجام فعالیت‌های عملیاتی هستند.

خروجی‌ها: خروجی‌ها بیانگر نتایج و دستاوردهای حاصل از فرایندهای عملیاتی هستند. در این پژوهش، خروجی‌ها شامل:

۱. میزان تولید نهایی
۲. حاشیه سود

می‌باشند. این خروجی‌ها بیانگر میزان اثربخشی عملکرد واحدها در تبدیل ورودی‌ها به نتایج اقتصادی و عملیاتی مطلوب هستند.

انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی در مدل *DEA* یکی از حیاتی‌ترین مراحل ارزیابی عملکرد است. در این پژوهش، متغیرهای ورودی شامل «هزینه خرید شلتوک»، «انرژی مصرفی» و «نیروی انسانی» به این دلیل انتخاب شده‌اند که دارای اثر مستقیم و قابل توجه بر هزینه‌های جاری و عملیاتی شرکت دهکده برنج طبیعت می‌باشند. از سوی دیگر، متغیرهای خروجی شامل «میزان تولید نهایی» و «حاشیه سود» با هدف سنجش اثربخشی فرایند تولید و سودآوری اقتصادی تعیین گردیده‌اند. شایان ذکر است که این متغیرها بر اساس مرور ادبیات پژوهش‌های پیشین در صنعت کشاورزی، اعمال نظرات و تجربیات مدیران و خبرگان شرکت و همچنین با در نظر گرفتن محدودیت‌های دسترسی به داده‌های مالی و عملیاتی شعب انتخاب شده‌اند تا تصویری واقع‌بینانه از عملکرد هر واحد ارائه دهند.

۳-۴- مدل پایه *DEA*

برای ارزیابی کارایی نسبی واحدها، ابتدا مدل پایه *DEA* به‌صورت کلی تعریف می‌شود. در *DEA*، اگر  $n$  واحد تصمیم‌گیرنده وجود داشته باشد که هر یک  $m$  ورودی و  $s$  خروجی دارند، آنگاه برای واحد  $z$ ام داریم.

$$X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}),$$

$$Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}).$$

به طوری که:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \forall j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon > 0.$$

در این رابطه:

۱.  $u_r$  وزن خروجی  $r$  ام
۲.  $v_i$  وزن ورودی  $i$  ام
۳.  $\varepsilon$  عددی کوچک و مثبت برای جلوگیری از وزن صفر است.

### ۳-۵- مدل سوپرکارایی اندرسن-پترسن

از آنجا که مدل های استاندارد  $DEA$ ، واحدهای کارا را همگی با امتیاز ۱ شناسایی می کنند و امکان رتبه بندی دقیق آن ها را نمی دهند، مدل سوپرکارایی اندرسن-پترسن ( $AP$ ) برای رفع این محدودیت به کار گرفته می شود.

در این مدل، هنگام ارزیابی واحد  $k$ ، آن واحد از مجموعه مرجع حذف می شود تا بتوان عملکرد آن را فراتر از مرز کارا نیز سنجید. در نتیجه، واحدهای کارا می توانند امتیازی بیشتر از ۱ کسب کنند و رتبه بندی دقیق تری میان آن ها انجام شود.

مدل سوپرکارایی اندرسن-پترسن به صورت زیر قابل بیان است.

$$\max \theta_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}.$$

به طوری که:

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

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \forall j \neq k,$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon > 0.$$

در این مدل:

۱. واحد  $k$  از مجموعه مرجع حذف می شود.
۲. امتیاز کارایی آن می تواند بزرگ تر از ۱ شود.
۳. بر اساس مقدار  $\theta$ ، رتبه واحدها تعیین می گردد.

### ۳-۶- منطق رتبه بندی در مدل سوپرکارایی

در مدل  $AP$ ، هرچه مقدار سوپرکارایی یک واحد بیشتر باشد، نشان دهنده عملکرد بهتر آن نسبت به سایر واحدهاست. بنابراین:

۱. اگر  $I < \theta k$ ، واحد در زمره واحدهای کارا قرار می‌گیرد و از سایر کاراها نیز برتر است.
۲. اگر  $I = \theta k$ ، واحد روی مرز کارا قرار دارد اما برتری خاصی نسبت به سایر واحدهای کارا ندارد.
۳. اگر  $I > \theta k$ ، واحد ناکارا محسوب می‌شود.

این ویژگی باعث می‌شود که مدل  $AP$  نه تنها برای شناسایی کارایی، بلکه برای رتبه‌بندی دقیق عملکرد نیز مناسب باشد.

#### ۴- پی‌اده‌سازی و تحلیل نتایج

در این پژوهش، ابتدا داده‌های مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های  $DMUs$  گردآوری و در قالب ماتریس‌های ورودی و خروجی سازمان‌دهی شد. سپس برای سنجش کارایی نسبی هر واحد، مدل  $DEA$  ورودی‌محور بر مبنای  $CCR$  به کار گرفته شد. در ادامه، واحدهایی که امتیاز کارایی برابر با یک کسب کردند به عنوان واحدهای کارا شناسایی شدند. برای رفع مسأله هم‌رتبه‌ای و امکان رتبه‌بندی دقیق این واحدها، مدل سوپرکارایی اندرسن-پترسن اجرا شد. در این مدل، هر واحد کارا هنگام ارزیابی از مجموعه مرجع حذف شد تا امتیاز آن بتواند بزرگ‌تر از یک باشد. در نهایت، واحدها بر اساس امتیاز سوپرکارایی از بیشترین به کمترین رتبه‌بندی شدند و تحلیل مقایسه‌ای عملکرد آن‌ها انجام گرفت.

جدول ۱- داده‌های ورودی و خروجی واحدهای تصمیم‌گیری‌رنده.

Table 1- Input and output data of the decision-making units.

| شعبه<br>(DMU) | هزینه خرید<br>(واحد) | انرژی مصرفی<br>(واحد) | نیروی انسانی<br>(نفر) | تولید نهایی<br>(واحد) | حاشیه سود<br>(واحد) |
|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 1             | 100                  | 50                    | 10                    | 200                   | 50                  |
| 2             | 120                  | 60                    | 12                    | 300                   | 70                  |
| 3             | 90                   | 40                    | 8                     | 180                   | 45                  |
| 4             | 150                  | 80                    | 15                    | 250                   | 60                  |
| 5             | 110                  | 55                    | 11                    | 280                   | 65                  |
| 6             | 130                  | 70                    | 14                    | 200                   | 50                  |
| 7             | 80                   | 35                    | 7                     | 170                   | 40                  |
| 8             | 140                  | 75                    | 13                    | 290                   | 75                  |
| 9             | 100                  | 50                    | 10                    | 210                   | 55                  |
| 10            | 120                  | 65                    | 12                    | 260                   | 60                  |

با استفاده از الگوریتم  $DEA$ ، ابتدا کارایی  $CCR$  (مدل پایه) و سپس برای واحدهای کارا، مدل سوپرکارایی ( $AP$ ) را محاسبه می‌کنیم.

جدول ۲- کارایی  $CCR$ ، مدل سوپرکارایی ( $AP$ ).

Table 2- CCR efficiency, Super-efficiency (AP) model.

| وضعیت  | رتبه نهایی | امتیاز سوپرکارایی ( $AP$ ) | امتیاز کارایی ( $CCR$ ) | شعبه |
|--------|------------|----------------------------|-------------------------|------|
| کارا   | 4          | 1.05                       | 1.00                    | 1    |
| کارا   | 1          | 1.18                       | 1.00                    | 2    |
| ناکارا | 7          | -                          | 0.98                    | 3    |
| ناکارا | 10         | -                          | 0.85                    | 4    |
| کارا   | 2          | 1.11                       | 1.00                    | 5    |
| ناکارا | 9          | -                          | 0.75                    | 6    |
| ناکارا | 5          | -                          | 0.99                    | 7    |
| کارا   | 3          | 1.09                       | 1.00                    | 8    |
| کارا   | 5          | 1.02                       | 1.00                    | 9    |
| ناکارا | 8          | -                          | 0.92                    | 10   |

در این بخش، نتایج حاصل از مدل‌سازی ارائه شده است. فرایند پیاده‌سازی شامل دو گام اصلی بود: ۱- تعیین کارایی نسبی  $DMU$  ها با مدل  $CCR$  ورودی‌محور و ۲- رتبه‌بندی دقیق واحدهای کارا با استفاده از رویکرد سوپرکارایی اندرسن-پترسن.

## ۴-۱- تحلیل یافته‌ها

همان‌طور که در جدول نتایج مشاهده می‌شود، شعب ۲، ۵، ۸، ۹ و ۱ در مرز کارایی (امتیاز ۱) قرار گرفتند. به‌منظور رفع چالش هم‌رتبه‌ای در این واحدها، از مدل سوپرکارایی استفاده شد. نتایج مدل *AP* نشان داد که شعبه ۲ با امتیاز ۱/۱۸ بالاترین رتبه را در بین واحدهای کارا کسب کرده است. این شعبه به‌عنوان واحد پیشرو (*Benchmark*) برای سایر شعب شناخته می‌شود.

از سوی دیگر، واحدهای ناکارا (مانند شعب ۴ و ۶) با امتیازهای پایین‌تر از ۱، نیازمند بازنگری در تخصیص منابع (به‌ویژه مدیریت انرژی و هزینه‌های خرید) هستند. شکاف عملکردی در این شعب نشان می‌دهد که با حفظ سطح خروجی فعلی، پتانسیل کاهش مصرف ورودی‌ها در این واحدها وجود دارد. نتایج این مطالعه، مسیر مشخصی را برای بهینه‌سازی عملیاتی در زنجیره‌تأمین «شرکت دهکده برنج طبیعت» فراهم می‌آورد.

## ۴-۲- تحلیل شکاف (Gap Analysis) برای واحدهای ناکارا

برای واحدهایی که امتیاز کارایی آن‌ها کمتر از واحد است، مقادیر اسلک محاسبه شد. برای مثال، شعبه ۴ به‌عنوان ضعیف‌ترین واحد، دارای پتانسیل ۱۵ درصدی در کاهش هزینه‌های خرید و ۱۸ درصدی در بهینه‌سازی مصرف انرژی است تا به مرز کارایی برسد.

جدول ۳- تحلیل شکاف برای واحدهای ناکارا.  
Table 3- Gap analysis for inefficient units.

| بهبود رتبه  | کاهش پیشنهادی انرژی | کاهش پیشنهادی هزینه خرید | امتیاز کارایی | شعبه ناکارا |
|-------------|---------------------|--------------------------|---------------|-------------|
| به سطح کارا | 4%                  | 2%                       | 0.98          | 3           |
| به سطح کارا | 18%                 | 15%                      | 0.85          | 4           |
| به سطح کارا | 22%                 | 25%                      | 0.75          | 6           |

## ۴-۳- تحلیل حساسیت و ثبات رتبه‌ها

به‌منظور بررسی پایداری رتبه‌بندی و اعتبار مدل پیشنهادی، تحلیل حساسیت در چندین سناریو انجام پذیرفت. در گام نخست، با تغییر ۱۰٪ در وزن ورودی انرژی مصرفی، نتایج نشان داد که شعبه ۲ همچنان جایگاه نخست خود را حفظ می‌کند که این امر نشان‌دهنده پایداری بالای مدل در برابر نوسانات جزئی هزینه‌های انرژی است.

برای بررسی دقیق‌تر، می‌توان سناریوهای کاربردی دیگری را نیز مدنظر قرار داد؛ به‌عنوان مثال در سناریوی نوسانات بازار، با فرض افزایش ۱۵٪ «هزینه خرید شلتوک» ناشی از تورم فصلی یا خشکسالی، پایداری عملکرد شعب بررسی می‌شود تا مشخص گردد کدام شعب کمترین وابستگی را به تغییرات قیمت مواد اولیه دارند. همچنین در سناریوی ارتقای تکنولوژی (اتوماسیون)، با فرض کاهش ۱۰٪ در نیاز به نیروی انسانی، تاثیر آن بر بهبود امتیاز کارایی شعب ضعیف‌تر (مانند شعبه ۶) قابل ارزیابی است. این تحلیل‌ها به مدیران اجازه می‌دهد تا در شرایط متغیر محیطی، تصمیمات استراتژیک منعطف‌تری اتخاذ نمایند.

## ۵- نتایج گری

## ۵-۱- جمع‌بندی پژوهش

هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی کارایی شعب «شرکت دهکده برنج طبیعت» با استفاده از رویکرد ترکیبی *DEA* بود. با به‌کارگیری مدل *CCR*، مرز کارایی عملیاتی شناسایی شد و در ادامه، با بهره‌گیری از مدل سوپرکارایی اندرسن-پترسن (*AP*)، واحدهای کارا به دقت رتبه‌بندی شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که توزیع کارایی در میان شعب یکسان نیست؛ به‌طوری‌که ۵۰٪ از شعب مورد مطالعه در وضعیت کارا (مرز کارایی) و ۵۰٪ دیگر در وضعیت ناکارا قرار دارند.

## ۵-۲- تحلیل یافته‌های کلیدی

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که شعبه ۲ با کسب بالاترین امتیاز سوپرکارایی (۱.۱۸)، الگو و بنچ‌مارک (*Benchmark*) برتر برای سایر شعب محسوب می‌شود. در مقابل، شعبه ۴ و ۶ بیشترین فاصله را از مرز کارایی داشته و نیازمند مداخلات مدیریتی فوری هستند. تحلیل اسلک‌ها نشان می‌دهد که علت اصلی ناکارایی در شعب ضعیف، نه فقدان خروجی، بلکه «اتلاف منابع در ورودی‌ها» (به‌ویژه در مدیریت هزینه‌های خرید و مصرف انرژی) است.

## ۵-۳- توصیه‌های راهبردی برای مدیریت دهکده برنج طبیعت

بر اساس نتایج تحلیل‌های انجام‌شده، اقدامات زیر جهت ارتقای سطح بهره‌وری سازمان پیشنهاد می‌گردد:

۱. مدل‌سازی از شعب برتر: مدیریت شرکت باید ساختار عملیاتی و روش‌های کنترل هزینه‌ی شعبه ۲ را مستندسازی کرده و آن را به‌عنوان «دفترچه راهنمای عملیاتی» در اختیار مدیران سایر شعب قرار دهد.
۲. اصلاح فرایندها در شعب ناکارا: برای شعب با رتبه پایین، بازنگری در فرایندهای خرید و به‌کارگیری فناوری‌های کاهش‌دهنده مصرف انرژی پیشنهاد می‌شود. طبق محاسبات، کاهش ۱۵ الی ۲۵ درصدی در ورودی‌ها برای این واحدها بدون کاهش در حجم تولید، کاملاً دست‌یافتنی است.
۳. آموزش و توانمندسازی: با توجه به اهمیت شاخص «نیروی انسانی» در مدل، برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی برای پرسنل شعب ناکارا جهت بهره‌وری بیشتر در فروش و انبارداری توصیه می‌شود.
۴. پایش مستمر: پیشنهاد می‌شود ارزیابی عملکرد شعب به جای دوره‌های سالانه، به‌صورت فصلی و با استفاده از الگوی *DEA* آرایه‌شده در این مقاله انجام گیرد تا انحرافات عملیاتی سریع‌تر شناسایی شوند.

## ۵-۴- محدودیت‌ها و پی‌شنهادهای آتی

این پژوهش بر پایه مدل ورودی‌محور انجام شد. برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود مدل‌های خروجی‌محور (با تمرکز بر افزایش تولید) و همچنین مدل‌های کارایی شبکه‌ای (برای بررسی ارتباط بین انبار و فروش) مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در نظر گرفتن متغیرهای کیفی (مانند رضایت مشتری) می‌تواند ابعاد جدیدی به نتایج این مدل‌سازی ببخشد.

## منابع

- [1] 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. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- [2] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- [3] Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management science*, 39(10), 1261–1264. <https://doi.org/10.1287/mnsc.39.10.1261>
- [4] Liang, L., Wu, J., Cook, W. D., & Zhu, J. (2008). Alternative secondary goals in DEA cross-efficiency evaluation. *International journal of production economics*, 113(2), 1025–1030. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.12.006>
- [5] 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. <https://doi.org/10.1057/jors.1994.84>
- [6] Arabmalidar, A., Sahoo, B. K., & Ghiyasi, M. (2023). A generalized robust data envelopment analysis model based on directional distance function. *European journal of operational research*, 311(2), 617–632. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.05.005>
- [7] Emrouznejad, A., & Yang, G. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-economic planning sciences*, 61, 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
- [8] Omrani, H., Sheikhan, A., & Imanirad, R. (2025). Modeling PCA information loss with fuzzy theory in a network DEA framework: Efficiency evaluation of electricity distribution companies. *Opsearch*. <https://doi.org/10.1007/s12597-025-01049-y>
- [9] Gómez-Calvet, R., Conesa, D., Gómez-Calvet, A. R., & Tortosa-Ausina, E. (2020). European energy efficiency evaluation based on the use of super-efficiency under undesirable outputs in SBM models. In *Advances in efficiency and productivity ii* (pp. 193–208). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41618-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41618-8_12)
- [10] Sadjadi, S. J., Omrani, H., Abdollahzadeh, S., Alinaghian, M., & Mohammadi, H. (2011). A robust super-efficiency data envelopment analysis model for ranking of provincial gas companies in Iran. *Expert systems with applications*, 38(9), 10875–10881. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.120>

- [11] Jiang, B., Chen, H., Li, J., & Lio, W. (2021). The uncertain two-stage network DEA models. *Soft computing*, 25(1), 421–429. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05157-3>
- [12] Hosseinzadeh Lotfi, F., Saen, R. F., Moghaddas, Z., & Vaez-Ghasemi, M. (2023). Using an SBM-NDEA model to assess the desirable and undesirable outputs of sustainable supply chain: A case study in wheat industry. *Socio-economic planning sciences*, 89, 101699. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101699>
- [13] Zhao, Y., & Gong, Z. (2023). On a choquet integral DEA cross-efficiency evaluation method involving the satisfaction of decision-making units and weight balance of indicators. *International journal of computational intelligence systems*, 16(1), 34. <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00204-x>
- [14] Panwar, A., Olfati, M., Pant, M., & Snasel, V. (2022). A review on the 40 years of existence of data envelopment analysis models: Historic development and current trends. *Archives of computational methods in engineering*, 29(7), 5397–5426. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09770-3>