System Engineering and Productivity/ 2026/ Vol.6/ No.2/ 1-19

System Engineering and Productivity

DOI: 10.22034/sep.2025.2069238.1380

Performance Evaluation of Methanol Producing Petrochemical Companies Using Data Envelopment Analysis Based on Natural and Managerial Principles

Mahdi Sadeghi Moghaddam[1,*], **Mohammad Khazraei**[2]

[1] Ph.D. Student, Department of Financial Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

[2] M.Sc., Department of Business Administration, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

HIGHLIGHTS

- Investigating the efficiency of the performance of units using the DEA method
- Applying the principles of natural and managerial accessibility simultaneously in the development of the DEA model
- Ranking the efficiency of units using the Anderson-Peterson method

GRAPHICAL ABSTRACT

ARTICLE INFO

Article history:
Article Type: Research paper
Received: 20 August 2025
Revised: 14 September 2025
Accepted: 26 September 2025
Available online: 26 September 2025

*Correspondence:
mehdi.sadeghi@aut.ac.ir

How to cite this article:
Moghaddam, M. S., & Khazraei, M. (2026). Performance evaluation of methanol producing petrochemical companies using data envelopment analysis based on natural and managerial principles. *System Engineering and Productivity*, 6 (2), 1-19.

Keywords:
Efficiency
Prioritization
Petrochemical Companies
Methanol
Data Envelopment Analysis

ABSTRACT

The main objective of the present study is to evaluate the performance of petrochemical companies producing methanol using data envelopment analysis based on the simultaneous use of two natural and managerial principles. Because, in DEA, natural accessibility shows the potential capacity for improvement based on the mathematical frontier of efficiency, while managerial accessibility focuses on the possibility of actually realizing these improvements. The combination of these two perspectives reveals the gap between theoretical and practical efficiency and provides a basis for designing realistic performance improvement programs. For this purpose, a statistical population consisting of four petrochemical companies producing methanol active in the country has been selected. The research period for data analysis is related to the year 1401. The results obtained showed that the best and highest efficiency is related to Fanavaran, Zagros and Khark companies with a relative efficiency of 100 percent, and the Marjan production unit has been determined as an inefficient unit. In addition, it has been prioritized using the Anderson-Peterson method. Based on the priority obtained, Khark Company ranked first, Zagros Company ranked second, Fanavaran Company ranked third, and Marjan Company ranked fourth. Also, a comparison based on efficiency scores with basic models including BCC and CCR is presented to examine the capability of the proposed model. The difference in inefficiency between the proposed method and the BCC method is minor and is at the level of 0.012. Finally, the changes in the amount of manageable input have been calculated, in which case the maximum amount of reduction in the number of manageable inputs is calculated to be 0.141 units. The results of this study allow managers of petrochemical companies producing methanol to identify inefficient units with potential for improvement and direct organizational resources to them in a targeted manner. Also, by combining natural and managerial perspectives, managers can formulate realistic operational plans to improve productivity, optimize production capacity, and manage assets, and implement corrective actions with specific prioritization and timing.

2538-2195/© 2026 The Authors. Published by University of Eyvanekey. This is an open-access article under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license.

1. Introduction

The petrochemical industry is one of the strategic industries whose developments have a great impact on the global economy and the leading countries in this industry, and methanol, as one of the export-oriented products of the petrochemical industry, is in high demand globally (Mousaei et al., 2021). Methanol is one of the three most important products of the chemical industry in the world, and many materials are derived from it. Also, given the foreseeable shortage of energy resources in the future, the direct consumption of methanol as a clean fuel or in the production of hydrogen for fuel cells is of great interest (Pouri, 2025). Methanol, as one of the strategic products, is used in the production of many final products such as solvents, paints, plastics, and antifreezes. The diversity of methanol derivatives and its use in various industries have made this product a strategic commodity, and therefore, its price fluctuations affect many manufacturing industries (Mobbarezi et al., 2020).

Efficiency in the performance of methanol production units is of great importance in achieving the development goals of this industry at the regional and global levels. Considering the application of the DEA method in calculating the efficiency score of the units, in this study a data envelopment analysis model based on the principle of natural and managerial accessibility is presented simultaneously. According to this principle, inputs are recognized as manageable inputs, and the role of the manager in controlling them is considered. At the same time, the importance of the issue, by reviewing the literature on the subject and domestic research, it can be clearly seen that a study that examines and compares the efficiency of the performance of methanol production units in the country is not available. Because, most of the past studies in the field of evaluating the performance of petrochemical companies producing methanol have used classic DEA models that have focused only on numerical calculations and the mathematical frontier of efficiency. Although this approach has been able to show the potential capacity for improvement, it has ignored the managerial constraints and the actual conditions of implementing improvements. On the other hand, studies that have considered managerial aspects have lacked a precise quantitative framework to measure the gap between theoretical and practical efficiency. Therefore, there is still a clear gap between efficiency evaluation based on natural and managerial principles, and the present study attempts to combine these two perspectives to provide a more comprehensive model for analyzing the performance of petrochemical companies.

2. Methodology

The proposed model for evaluating the performance of petrochemical companies using data envelopment analysis models, in accordance with the principles of natural and managerial accessibility, taking into account manageable inputs, is introduced in this section. According to data envelopment analysis modeling, the performance of each unit under evaluation is determined by a series of activities of other units that use the inputs to produce outputs. Of course, the traditional assumption governing DEA is that by reducing the number of inputs, outputs increase. Therefore, DEA seeks to calculate the production of the highest efficiency output by spending the least input. In this research, we assume that by reducing some specific inputs, increasing them, or keeping them constant (the category of managerial inputs), contrary to the traditional assumption in data envelopment analysis, we increase the outputs to calculate the efficiency score.

In the application of DEA, the distinction between natural accessibility and managerial accessibility is of particular importance. Natural accessibility is defined solely on the basis of the mathematical boundary of efficiency and shows how close each decision-making unit can come to the optimal level in terms of data. In contrast, managerial accessibility expresses the real power and limitations of managers to achieve this level; in such a way that the possibility or impossibility of reducing inputs or increasing outputs in practice is examined. The combination of these two approaches makes the gap between potential efficiency and actual efficiency clear and managers can design a realistic roadmap for improvement; in the sense that both the theoretical ceiling of improvement is determined and the executive and managerial capacities to achieve it are considered.

3. Results and Discussion

In this part of the study, in order to demonstrate the capability of the proposed model, the performance of four methanol production companies in Iran has been evaluated. Each of these plants plays a role in meeting domestic needs and methanol exports and helps strengthen Iran's petrochemical industry. The plants have been selected due to their production capacity, geographical location, economic importance, and access to their data. Numerical information related to each of these production companies has been shown for each type of input and output. By using the relevant data in the developed mathematical model, the efficiency results will be calculable. It should be noted that the inputs and outputs of the proposed model have been determined and finalized based on existing literature and a survey among experts through the distribution and collection of questionnaires. Given that one of the important mechanisms for improving output in the methanol industry is increasing fixed capital.

4. Conclusions

The results obtained show that the difference between the BCC models and the proposed model is very small, which indicates the stability and reliability of the unit rankings. On the other hand, the result obtained from comparing the proposed model and BCC with CCR is also convergent. From a managerial perspective, this numerical stability means that decision makers can confidently select superior units and direct organizational resources to these units in a targeted manner. Also, focusing on improving human resource productivity, optimizing nominal capacity, and asset management in inefficient units can lead to improving the overall efficiency of the industry. Thus, in addition to providing an analytical framework for measuring efficiency, the research findings provide a practical roadmap for managers to prioritize corrective actions and develop an implementation schedule. The research findings show that the difference between different models is very small or convergent, and therefore the unit rankings remain stable and reliable. From a managerial perspective, this stability allows managers to confidently identify superior units and direct resources to them. Also, focusing on improving human resource productivity, optimizing capacity utilization, and asset management in inefficient units can provide a clear path to increasing the efficiency of the entire industry. Given that in the petrochemical industry, in addition to desirable outputs, we are always faced with undesirable outputs such as greenhouse gas emissions, energy consumption intensity, etc., this research is limited due to the lack of sufficient data on their exposure. Therefore, in a future study, it is suggested that at least one undesirable output be considered for calculating the efficiency score. Given that access to data from all methanol production companies in Iran over different time periods has not been possible, this is considered the main limitation of the research. For future research, we can use dynamic DEA models to calculate the efficiency score over different time periods.

Funding

This research received no external funding.

Author contributions

Mahdi Sadeghi Moghaddam: Conceptual research model, Literature review and theoretical background, Data analysis, Statistical analysis draft, Drafting the manuscript, Preliminary review of the report, Research methodology development, Text revision; **Mohammad Khazraei:** Conceptual research model, Literature review and theoretical background, Data analysis, Statistical analysis draft, Drafting the manuscript, Preliminary review of the report, Research methodology development, Text revision.

Conflicts of interest

There are no conflicts of interest associated with this research.

Acknowledgments

We are grateful to all colleagues who provided insights and expertise that greatly assisted this research. We also thank the anonymous reviewers for their valuable suggestions to improve the paper.

References

Mobbarezi, H., Hosseinzadeh, A., & Ghasemi Namaghi, M. (2020). Model of strategic marketing alliance of methanol producing petrochemical companies in Iran. *Political Sociology of Iran, 3*(1), (In Persian). https://doi.org/10.30510/psi.2022.321955.2868

Mousaei, A., Firoozeh, M., & Hatefi, M. A. (2021). Formation of methanol industrial cluster based on market elasticity. *Quarterly Journal of Industrial Technology Development, 19*(46), 45–62 (In Persian). https://doi.org/10.22034/jtd.2021.249020

Pouri, K. (2025). Designing a bi-objective mathematical model for cost and environmental pollution control in circular supply chain management for petrochemical product production. *System Engineering and Productivity*. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2060799.1321

مهندسی سیستم و بهره‌وری/ سال ۱۴۰۵/ دوره ۶/ شماره ۲/ صفحه ۱-۱۹

نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری

DOI: 10.22034/sep.2025.2069238.1380

ارزیابی عملکرد شرکت‌های پتروشیمی تولیدکننده متانول با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر اصول طبیعی و مدیریتی

مهدی صادقی مقدم[۱]، محمد خضرائی[۲]*

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مالی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

[۲] کارشناسی ارشد، گروه مدیریت کسب‌وکار، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ایران

چکیده گرافیکی

برجسته‌ها

- بررسی میزان کارایی عملکرد واحدها با استفاده از روش DEA
- به‌کارگیری اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی به‌طور همزمان در توسعه مدل DEA
- رتبه‌بندی واحدها به لحاظ کارایی با استفاده از روش اندرسون-پترسون

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۴

ارائه برخط: ۱۴۰۴/۰۷/۰۴

*نویسنده مسئول:

mehdi.sadeghi@aut.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

کارایی

اولویت‌بندی

شرکت‌های پتروشیمی

متانول

تحلیل پوششی داده‌ها

چکیده

هدف اصلی تحقیق حاضر ارزیابی عملکرد شرکت‌های پتروشیمی تولیدکننده متانول با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها بر مبنای استفاده همزمان دو اصل طبیعی و مدیریتی است؛ زیرا در DEA، دسترسی‌پذیری طبیعی ظرفیت بالقوه بهبود بر اساس مرز ریاضی کارایی را نشان می‌دهد، درحالی‌که دسترسی‌پذیری مدیریتی بر امکان تحقق واقعی این بهبودها تمرکز دارد. ترکیب این دو دیدگاه، شکاف میان کارایی نظری و عملی را آشکار کرده و مبنایی برای طراحی برنامه‌های واقع‌بینانه ارتقای عملکرد فراهم می‌آورد. برای این منظور، یک جامعه آماری متشکل از چهار شرکت پتروشیمی تولیدکننده متانول فعال در کشور انتخاب‌شده است. بازه زمانی تحقیق در راستای تحلیل داده‌ها مربوط به سال ۱۴۰۱ می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بهترین و بالاترین کارایی مربوط به شرکت‌های فناوران، زاگرس و خارک با کارایی نسبی ۱۰۰ درصد محاسبه‌شده که واحد تولیدی مرجان به‌عنوان واحد ناکارا تعیین‌شده است. علاوه بر این، با استفاده از روش اندرسون-پترسون اولویت‌بندی شده است. بر اساس اولویت به‌دست‌آمده شرکت خارک رتبه اول، شرکت زاگرس رتبه دوم، شرکت فناوران رتبه سوم و شرکت مرجان رتبه چهارم را کسب کرده است. همچنین، یک مقایسه بر اساس امتیاز کارایی با مدل‌های پایه اعم از BCC و CCR برای بررسی قابلیت مدل پیشنهادی ارائه‌شده است. اختلاف ناکارایی حاصل‌شده بین روش پیشنهادی و روش BCC جزئی و در حد ۰/۰۱۲ می‌باشد. در پایان نیز تغییرات مقدار ورودی مدیریت‌پذیر کاهشی محاسبه‌شده است که در این صورت حداکثر مقدار کاهش در مقدار ورودی‌های مدیریت‌پذیر آن برابر با ۰/۱۴۱ واحد محاسبه‌شده است. نتایج این مطالعه به مدیران شرکت‌های پتروشیمی تولیدکننده متانول امکان می‌دهد تا واحدهای ناکارا و با ظرفیت بالقوه بهبود را شناسایی کرده و منابع سازمانی را به‌صورت هدفمند به سمت آن‌ها هدایت کنند. همچنین، با ترکیب دیدگاه‌های طبیعی و مدیریتی، مدیران می‌توانند برنامه‌های عملیاتی واقع‌بینانه برای ارتقای بهره‌وری، بهینه‌سازی ظرفیت تولید و مدیریت دارایی‌ها تدوین کنند و اقدامات اصلاحی را با اولویت‌بندی و زمان‌بندی مشخص اجرا نمایند.

۲۰۲۶ ©/۲۵۳۸-۲۱۹۵ نویسندگان. منتشرشده توسط دانشگاه ایوان‌کی. این یک مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) است.

۱- مقدمه

صنعت پتروشیمی یکی از صنایع استراتژیک است که تحولات آن تأثیر زیادی بر اقتصاد جهانی و کشورهای مطرح در این صنعت دارد و متانول به‌عنوان یکی از محصولات صادرات محور صنعت پتروشیمی، از تقاضای بالایی در سطح جهانی برخوردار است (Mousaei et al., 2021). متانول یکی از سه محصول بسیار مهم صنایع شیمیایی در دنیا بوده و مواد بسیاری از آن مشتق می‌شوند. همچنین با توجه به کمبود قابل پیش-بینی منابع انرژی در آینده، مصرف مستقیم متانول به‌عنوان سوخت پاک و یا در تولید هیدروژن مصرفی پیل‌های سوختی، بسیار موردتوجه است (Pouri, 2025; Avazpoor et al., 2025). متانول به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک در تولید بسیاری از محصولات نهایی مانند حلال‌ها، رنگ‌ها، پلاستیک‌ها و ضدیخ‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. تنوع مشتقات متانول و استفاده آن در صنایع مختلف، این محصول را به‌عنوان یک کالای استراتژیک مطرح ساخته است و هم از این روی، نوسان قیمت آن بر بسیاری از صنایع تولیدی اثر می‌گذارد (Mobbarezi et al., 2020). قسمت اعظم متانول تولیدی در جهان صرف تولید فرمالدئیدها و اسید استیک و MTBE می‌شود. استیک اسید (اتانوئیک اسید، CH_3COOH، $C_2H_4O_2$ یا جوهر سرکه)، تاریخچه بسیار قدیمی دارد. بشر از گذشته‌های بسیار دور به طرق غیر سنتزی و عمدتاً به روش تخمیر و تقطیر به این ماده دسترسی داشته و در تولید مواد غذایی، دارویی و صنایعی مانند چرم‌سازی و تهیه رنگ‌ها و غیره از آن استفاده می‌کرده است، هستند (Geravand et al., 2013). متانول یکی از محصولات اصلی صنعت پتروشیمی کشور شمرده می‌شود که افزون بر مصارف داخلی، بخش مهمی از صادرات محصولات پتروشیمیایی را نیز شامل می‌شود. صنعت پتروشیمی بخشی ارزش‌افزا در زنجیره صنایع نفت و گاز می‌باشد که متانول یکی از محصولات آن است (Tayebi Abolhasani & Koosha, 2016). خاستگاه احداث واحدهای تولیدی متانول در ایران، تقاضای رو به رشد آن در دنیا بوده است (Hosseini & Ehtiyati, 2006). درعین‌حال در کشور ما به دلیل فراوانی منابع گاز و به‌خصوص پس از بهره‌برداری از منابع پارس جنوبی و از اواخر دهه ۱۳۷۰ ایده تبدیل گاز به مواد شیمیایی به‌طور قابل‌توجهی مطرح گردید و در حال حاضر تعداد قابل‌توجهی واحد متانول‌ساز مشغول به فعالیت هستند (Mehrgan et al., 2010). ایران به‌واسطه برخورداری از منابع، دارای مزیت نسبی در این صنعت بوده و دومین تولیدکننده محصولات پتروشیمی در منطقه می‌باشد (Gholamian, 2025). گلوبال دیتا، مطابق با چشم‌انداز ظرفیت و سرمایه‌گذاری متانول در سال‌های اخیر، پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۳۰، ایران در جایگاه دوم جهانی در افزایش ظرفیت متانول صعود نماید (Bahiraie et al., 2020; Ghasemi & Ghiasi, 2025).

تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان یک تکنیک ناپارامتریک سازوکاری مناسب برای تبیین امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی شناخته‌شده است (Ghafori, 2023; Yeganeh, 2025; Alavi et al., 2024). DEA یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی، برای ارزیابی کارایی DMU است که متشکل از چندین ورودی و خروجی هستند (Keyvani Shahri et al., 2024). در این روش منحنی مرزی کارا از یک سری نقاط که به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌شود، ایجاد می‌گردد. برای تعیین این نقاط می‌توان از دو فرض بازدهی ثابت و متغیر نسبت به مقیاس استفاده کرد . روش برنامه‌ریزی خطی پس از یک سری بهینه‌سازی مشخص می‌کند که آیا واحد تصمیم‌گیرنده موردنظر روی مرز کارایی قرارگرفته است و یا خارج آن قرار دارد . بدین‌وسیله واحدهای کارا و ناکارا از یکدیگر تفکیک می‌شوند. درصورتی‌که روی مرز کارا قرار بگیرد، امتیاز کارایی آن واحد را با مقدار یک و در غیر این صورت با مقداری بین صفر و یک مشخص می‌کند (Pashapour et al., 2019). تکنیک DEA امتیاز کارایی هر DMU را بر اساس مقایسه با سایر DMUها محاسبه می‌کند، بنابراین با فراهم آوردن این مقایسه نسبی امتیاز کارایی محاسبه‌شده به‌عنوان کارایی نسبی در نظر گرفته می‌شود (Valera & Agarwal, 2018).

مجموع مطالب فوق ضمن نشان دادن اهمیت متانول در صنعت پتروشیمی در سطح جهان، نشانگر اهمیت نقش صنعت پتروشیمی ایران در عرصه جهانی و منطقه است. بر این اساس و برای نیل به این هدف مهم، ضرورت دارد تا واحدهای تولیدی متانول در کشور، عملکرد مناسبی در تبدیل منابع اولیه اعم از سرمایه‌های نقدی، دارایی‌های

فیزیکی، سرمایه فکری و فناوری به محصولات قابل‌عرضه داشته باشند. به‌عبارت‌دیگر کارایی در عملکرد واحدهای تولیدکننده متانول اهمیت زیادی در دستیابی به اهداف توسعه‌ای این صنعت در سطح منطقه و جهان دارد. با توجه به کاربرد روش DEA در محاسبه امتیاز کارایی واحدها، در این تحقیق یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس اصل دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی به‌طور هم‌زمان ارائه‌شده است. طبق این اصل ورودی‌ها به‌عنوان ورودی‌های مدیریت پذیر شناخته می‌شوند که نقش مدیر بر روی کنترل آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. درعین‌حال اهمیت موضوع، با بررسی ادبیات موضوع و تحقیقات داخلی می‌توان به‌وضوح دریافت که تحقیقی که به بررسی و مقایسه کارایی عملکرد واحدهای تولیدکننده متانول در کشور پرداخته باشد در دسترس نیست؛ زیرا بیشتر مطالعات گذشته در زمینه ارزیابی عملکرد شرکت‌های پتروشیمی تولیدکننده متانول از مدل‌های کلاسیک DEA استفاده کرده‌اند که تنها بر محاسبات عددی و مرز ریاضی کارایی تمرکز داشته است. این رویکرد اگرچه توانسته ظرفیت بالقوه بهبود را نشان دهد، اما محدودیت‌های مدیریتی و شرایط واقعی اجرای بهبودها را نادیده گرفته است. از سوی دیگر، پژوهش‌هایی که جنبه‌های مدیریتی را مدنظر قرار داده‌اند، فاقد چارچوب کمی دقیق برای سنجش فاصله میان کارایی نظری و عملی بوده‌اند؛ بنابراین، هنوز شکاف روشنی میان ارزیابی کارایی بر مبنای اصول طبیعی و مدیریتی وجود دارد و پژوهش حاضر تلاش می‌کند با ترکیب این دو دیدگاه، مدلی جامع‌تر برای تحلیل عملکرد شرکت‌های پتروشیمی ارائه دهد. این نقیصه مطالعاتی سبب می‌شود تا درک روشنی از کیفیت کارایی عملکرد واحدهای پتروشیمی تولیدکننده متانول در دسترس نباشد. بر این اساس و با این رویکرد، مسئله اصلی این پژوهش این است که کارایی شرکت‌های تولیدکننده متانول در کشور چگونه است و ترتیب کارایی آن‌ها چگونه است؟ بر این اساس اهداف متصور برای این پژوهش عبارت‌اند از:

- بررسی میزان کارایی عملکرد واحدهای پتروشیمی تولیدکننده متانول با استفاده از روش DEA
- به‌کارگیری اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی به‌طور هم‌زمان در توسعه مدل DEA
- رتبه‌بندی واحدهای پتروشیمی تولیدکننده متانول به لحاظ کارایی با استفاده از روش اندرسون-پترسون

ادامه مقاله به صورتی که مشخص‌شده سازمان‌دهی شده است. در بخش دوم یک مرور ادبیات ارائه‌شده است. برای این منظور مبانی نظری برای معرفی مفاهیم عملیاتی تحقیق ارائه‌شده و سپس یک پیشینه تاریخی برای شناسایی شکاف تحقیق ارائه‌شده است. در بخش سوم، روش پیشنهادی تحقیق برای محاسبه امتیاز کارایی ارائه‌شده است. در بخش چهارم، نتایج به‌کارگیری مدل پیشنهادی در یک مورد مطالعاتی واقعی ارائه‌شده است و سرانجام، در بخش پنجم یک نتیجه‌گیری کلی به همراه پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه‌شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در این بخش از تحقیق به معرفی مبانی نظری و پیشینه تحقیق پرداخته‌شده است. برای این منظور، ابتدا مدل‌های پایه اعم از CCR و BCC، اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی و مدل اولویت‌بندی اندرسون-پترسون معرفی‌شده و سپس پیشینه تاریخی تحقیق در میان مطالعات داخلی و خارجی به‌منظور شناسایی شکاف تحقیق ارائه‌شده است.

۲-۱- تحلیل پوششی داده‌ها

برای اندازه‌گیری کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها مدل‌های مختلفی توسط محققان بیان و بررسی‌شده است که دو مدل چارنز، کوپر و رودز (CCR) و بنکر، کوپر و چارنز (BCC) از مدل‌های پایه و سنتی تحلیل پوششی داده‌ها محسوب می‌شوند که الگوهای خطی برای حل مسائل کارایی در حالت چند ورودی و چند خروجی هستند و به ترتیب از نوع فناوری بازده به مقیاس ثابت و متغیر می‌باشند. در این روش با به‌کارگیری مجموعه‌ای از نقاط که توسط برنامه‌ریزی خطی تعیین‌شده‌اند، یک منحنی مرزی کارا ایجاد می‌شود. روش برنامه‌ریزی خطی با یک سری بهینه‌سازی، مشخص می‌شود که آیا واحدهای تصمیم‌گیری مدنظر روی خط کارایی قرارگرفته است یا خارج از آن قرار دارند. هدف اصلی تحلیل پوششی داده‌ها، تعیین کارایی یک سیستم یا واحد تصمیم‌گیری از طریق فرآیند تبدیل

ورودی‌ها به خروجی‌ها است. واحدی که دارای کارایی مساوی یک باشد، واحد کارا نام دارد و دیگر واحدها که کارایی بین صفر و یک دارند، واحدهای ناکارا شناخته می‌شوند. فرم مضربی خطی شده ورودی محور مدل CCR به‌صورت معادلات (۱) تعریف می‌شود (Farashah et al., 2020).

$$\min \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} \qquad (۱)$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^{m} v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} u_r y_{ro} = 1$$

$$v_i \geq 0 \qquad i = 1, \dots, m$$

$$u_r \geq 0 \qquad r = 1, \dots, s$$

که در مجموعه معادلات (۱)، y_{rj} مقدار خروجی rام تولیدشده به‌وسیله DMUj، x_{ij} مقدار ورودی iام تولیدشده به‌وسیله DMUj، u_r وزن داده‌شده به خروجی rام و v_i وزن داده‌شده به ورودی iام می‌باشد. بنکر، چارنز و کوپر با تغییر در مدل CCR با اضافه کردن قید تحدب مشاهدات به مدل یعنی $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$ در مدل برنامه‌ریزی ریاضی یک مدل جدید ایجاد کردند. با توجه به اینکه با افزایش قیود در مدل برنامه‌ریزی خطی، ناحیه شدنی کوچک‌تر می‌شود، لذا مقدار بهینه تابع هدف بهتر نمی‌شود، پس اگر θ^*_{CCR} مقدار بهینه مدل CCR و θ^*_{BCC} مقدار بهینه مدل BCC در ارزیابی واحد تحت ارزیابی باشند، آنگاه همواره رابطه (۲) همواره برقرار است (Asadi et al., 2023).

$$\theta^*_{BCC} \leq \theta^*_{CCR} \leq 1 \qquad (۲)$$

واحد تحت ارزیابی در مجموعه امکان تولید BCC کارا است اگر و فقط اگر $\theta^*_{BCC} = 1$ در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی ناکارا خواهد بود $(1 - \theta^*)$. به‌عبارت‌دیگر واحد تحت ارزیابی کارای BCC است اگر و تنها اگر برای هر جواب بهینه $(\theta^*, \lambda^*, s^{+*}, s^{-*})$ در مدل BCC دو شرط $\theta^*_{BCC} = 1$ و متغیرهای کمکی s^{-*} و s^{+*} همه صفر باشند برقرار باشد. در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی را ناکارای BCC می‌نامند که نشان‌دهنده ناکارایی در ماهیت ورودی است (Noveiri et al., 2022). درواقع مدل مضربی BCC ورودی محور مطابق معادله (۳) در زیر است.

$$\min \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} + v_o \qquad (۳)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^{m} v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + v_o \geq 0$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} = 1$$

$$v_i \geq 0 \qquad i = 1, \dots, m$$

$$u_r \geq 0 \qquad \mathrm{r} = 1, \dots, \mathrm{s}$$

v_o آزاد در علامت

مدل‌های CCR و BCC دو مدل مهم در تحلیل پوششی داده‌ها هستند که برای ارزیابی کارایی واحدهای تحت ارزیابی مورداستفاده قرار می‌گیرند. تفاوت اصلی بین این دو مدل در نحوه تعیین مقیاس‌پذیری آن‌ها است. در مدل CCR، فرض می‌شود که تمام واحدهای تصمیم‌گیری از مقیاس ثابت هستند. در این مدل، به هر واحد تولیدی یک وزن ثابت تخصیص داده می‌شود و سپس کارایی آن واحد نسبت به دیگر واحدها با استفاده از این وزن‌ها محاسبه می‌شود؛ اما در مدل BCC، فرض می‌شود که واحدهای تصمیم‌گیری از مقیاس‌پذیری متغیر تبعیت می‌کنند. در این مدل، به هر واحد تصمیم‌گیری یک وزن متغیر تخصیص داده می‌شود و سپس کارایی آن واحد نسبت به دیگر واحدها با استفاده از این وزن‌ها محاسبه می‌شود (Mahboubi et al., 2022).

۲-۲- اصل دسترسی‌پذیری طبیعی

بر طبق دسترسی‌پذیری طبیعی، یک واحد تحت ارزیابی بردار ورودی‌هایش را کاهش می‌دهد تا بردار خروجی‌ها را افزایش دهد. در این صورت، با کاهش در ورودی‌ها، یک واحد تحت ارزیابی قادر خواهد بود بردار خروجی‌های مطلوب خود را تا حد ممکن افزایش دهد. این اصل در حقیقت، به یک تطابق منفی معروف است. بر اساس این اصل یک بده بستان بین توسعه اقتصادی و عوامل محیطی وجود دارد. در این نوع از دسترسی‌پذیری، یک واحد تحت ارزیابی برای اندازه‌گیری کارایی سعی در دستیابی به مرز کارا برای خروجی‌ها و ورودی‌های مطلوب است (Fakhr Mousavi et al., 2023). این اصل همان اصل سنتی تحلیل پوششی داده‌ها است که با کاهش در میزان ورودی‌ها، به دنبال افزایش در مقدار خروجی‌ها است.

۲-۳- اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی

بر طبق این اصل، برخلاف دسترسی‌پذیری طبیعی نشان می‌دهد که یک واحد تحت ارزیابی بردار ورودی‌ها را

افزایش می‌دهد یا در سطح جاری نگه می‌دارد تا بردار خروجی‌های خود را با ارتقای مصرف ورودی‌ها افزایش دهد؛ بنابراین، بر طبق این اصل با افزایش یا ثابت نگه‌داشتن ورودی در یک واحد تحت ارزیابی، بردار خروجی‌های مطلوب را تا حد ممکن تحت فناوری جدید افزایش می‌دهیم. در این تحقیق استفاده از دسترسی‌پذیری مدیریتی را به‌عنوان قابلیتی که سازگاری مثبتی با تغییر در تنظیم شرایط عمل می‌کند، در نظر می‌گیریم. دسترسی‌پذیری مدیریتی اغلب با بهره‌برداری حداکثری از امکانات موجود باعث افزایش خروجی مطلوب و حفظ عملکرد سیستم می‌شود که مورد تأیید برخی از سازمان‌ها است. در حقیقت طبق این اصل، سیستم بر اساس توانگری مالی خود قادر به هزینه کرد اضافی است. در این تحقیق، در حقیقت به دنبال این هستیم تا با اعمال تأثیر مستقیم هم‌زمان هر دو اصل دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی با ساخت فناوری جدید در محیط تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی مکان‌های بالقوه جهت ارسال نیروهای پشتیبانی اقدام نماییم است (Arana-Jiménez et al., 2021).

۴-۲- مدل رتبه‌بندی اندرسون-پترسون (ابر کارایی)

مدل اندرسون و پترسون رویکردی در تحلیل پوششی داده‌ها است که امکان رتبه‌بندی واحدهای کارا در کنار واحدهای تصمیم ناکارا را فراهم می‌سازد. در روش‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها رتبه‌بندی تنها برای واحدهای ناکارا میسر است. مدل اندرسون و پترسون یا روش ابر کارایی که تعیین کاراترین واحد را ممکن می‌سازد در سال ۱۹۹۳ توسط اندرسون و پترسون جهت رتبه‌بندی واحدهای کارا پیشنهاد شد. در این روش امتیاز واحدهای کارا می‌تواند بیشتر از ۱ باشد و به‌این‌ترتیب واحدهای کارا نیز مانند واحدهای ناکارا قابل رتبه‌بندی خواهند بود. روش کار به این صورت است که واحد تصمیم‌گیرنده DMU_p را از مجموعه امکان تولید حذف و مدل را برای سایر DMU ها اجرا می‌کنند. هرچه ضریب واحدی بزرگ‌تر باشد، آن واحد کاراتر است. در مدل (۴)، مدل‌سازی ریاضی اندرسون و پترسون نشان داده‌شده است (Kordrostami et al., 2019).

$$\min z_p = \theta \qquad (۴)$$

$$\text{s. t.}$$

$$\sum_{j=1;j\neq p}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{ip}$$

$$i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1;j\neq p}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rp} \qquad r = 1, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0; j = 1, \dots, n; j \neq p$$

سلطانی فر (Soltanifar, 2024)، در مطالعه خود یک ارزیابی برای مراکز درمانی و بیمارستانی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها انجام داده‌اند. برای این منظور، پس از بررسی برخی معیارهای نسبتی برای ارزیابی بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی دولتی، مدل‌های DEA-R برای رسیدگی به این داده‌ها هم در موارد داده‌های غیرمنفی و هم در موارد منفی ارائه‌شده است. صوفی (Soufi, 2024)، یک چارچوب برای تصمیم‌گیری در خصوص رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های قطعی و غیرقطعی در مراکز درمانی ارائه کرده است. این سیستم بر اساس ارتباطات بی‌سیم، شبکه‌های اجتماعی، حسگرها، ربات‌ها، هوش مصنوعی، ابر و داده‌های سلامت هوشمند ساخته‌شده است. برای این منظور، ویژگی‌هایی از قبیل فاصله بیمارستان تا محل سکونت، تعداد تخت‌های بیمارستانی و تعداد پزشکان متخصص برای ارزیابی مورداستفاده قرارگرفته است. سرانجام، از چند روش تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی ویژگی‌های ارزیابی عملکرد سیستم مدیریت هوشمند مراقبت‌های بهداشتی استفاده‌شده است. امیر تیموری و همکاران (Amirteimoori et al., 2024)، در مطالعه خود سه جنبه اصلی هزینه، درآمد و نزدیک‌ترین نقاط پیش‌بینی را بر اساس یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای تعیین واحدهای کارا و ناکارا بررسی کردند. روش پیشنهادی نزدیک‌ترین فاصله ممکن، کمترین هزینه و بیشترین درآمد را به‌طور هم‌زمان برای تعیین امتیاز کارایی در نظر می‌گیرد. نتایج اجرای این رویکرد در صنعت نساجی چین، قابلیت کاربرد مدل را نشان داده است. واعظی (Vaezi, 2023)، کارایی چند آزمایشگاه تشخیص پزشکی منتخب در شهر تهران را بر اساس رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه[1] ارزیابی کرده

[1] Network data envelopment analysis (NDEA)

است. برای این منظور، یک ساختار چهار مرحله‌ای با ورودی‌های اضافی و خروجی‌های نامطلوب در مدل ارائه‌شده توسط وی در نظر گرفته‌شده است که عملکرد آزمایشگاه‌ها را در یک دوره ۶ ماهه در سال ۲۰۲۲ با فرآیند تحلیل NDEA محاسبه‌شده است. برای این هدف، یک مدل ساختاری چهار مرحله‌ای از سه فرآیند اصلی آزمایشگاه تشخیص پزشکی به‌عنوان پیش‌آزمون، آزمون و پس‌آزمون طراحی‌شده است. علاوه بر این، معیارهای پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) برای ارزیابی عملکرد آزمایشگاه‌ها در نظر گرفته‌شده است. با استفاده از دیدگاه دلفی، معیارهای ارزیابی کارایی به‌دست‌آمده است. سپهریان و همکاران (Sepehrian et al., 2022)، در مطالعه خود رویکردی مبتنی بر تحلیل مرزی دوگانه برای تعیین اولویت‌ها در AHP پیشنهاد کرده‌اند. در این رویکرد، از دو مدل خاص DEA برای به دست آوردن بهترین اولویت‌های محلی از یک یا گروهی از ماتریس‌های مقایسه زوجی استفاده‌شده است. روش پیشنهادی وزن‌های واقعی را برای ماتریس‌های مقایسه‌ای قادر است ارائه نماید. واعظی و همکاران (Vaezi et al., 2020)، در تحقیق خود یک سیستم سه مرحله‌ای، متشکل از شش زیر DMU را در ترکیب با ورودی‌های اضافی و خروجی‌های نامطلوب در نظر گرفته‌اند. مدل‌های پیشنهادی شبیه‌سازی امتیاز کارایی یک کارخانه را با یک منطقه تولید و سه انبار برای ذخیره‌سازی کالا و دو نقطه تحویل ارائه کرده است. برای این منظور، از مدل DEA مضربی با رویکرد فازی برای اندازه‌گیری کارایی یک سیستم عمومی و بهبود دقت کارایی استفاده‌شده است.

در میان مطالعات داخلی نیز، غفوری (Ghafori, 2023)، با در نظر گرفتن هم‌زمان دارایی‌های ورودی و تأمین سرمایه، کارایی مالی شرکت‌ها را اندازه‌گیری کرده است. برای این منظور، روش جدیدی به نام مدل سه‌بعدی تحلیل پوششی داده معرفی و در مورد ۱۰ شرکت فعال در حوزه صنعت فولاد در ایران طی دوره زمانی ۵ ساله و از سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ تحلیل کارایی انجام‌شده است. نتایج پژوهش نشان داده است که شرکت‌های متعددی وجود دارند که عملکرد مناسبی در مدیریت دارایی‌های ورودی دارند، اما از نظر تأمین سرمایه ناکارا هستند. درعین‌حال، شرکت‌هایی وجود دارند که در آن‌ها عملکرد مدیریت در مقایسه با دارایی‌های ورودی ضعیف است ولی از نظر تأمین سرمایه کارا هستند؛ بنابراین، هنگام تحلیل کارایی شرکت، به شاخصی برای اندازه‌گیری کارایی نیاز است که هم ورودی‌ها و هم تأمین سرمایه را هم‌زمان مدنظر قرار داد. خداپرست پیرسرایی (Khodaparast Pirsarai, 2021)، در تحقیق خود به بررسی علل، عوامل و پیامدهای کاهش سودآوری و ضعف عملکرد در صنعت متانول در ایران پرداخته است. به‌زعم این پژوهشگر متانول یکی از محصولات اصلی صنعت پتروشیمی کشور بوده که افزون بر مصارف داخلی، بخش مهمی از صادرات محصولات پتروشیمیایی را نیز شامل می‌شود. با افزایش جهانی قیمت نفت و گاز به دلیل تحولات اخیر در جهان (ازجمله حمله روسیه به اوکراین و افزایش تقاضای جهانی انرژی) و به‌تبع آن، افزایش قیمت خوراک واحدهای پتروشیمی (متانول‌سازان)، قیمت محصول تولیدی این واحدها (متانول) به‌تناسب قیمت خوراک رشد نکرده و این موضوع به همراه تغییرات شدید قیمت یوتیلیتی، موجب شده که حاشیه سود متانول‌سازان به‌شدت کاهش یابد تا جایی که برخی از آن‌ها در ماه‌های اخیر اقدام به تعطیلی فعالیت کرده‌اند. طیبی ابوالحسینی و کوشا (Tayebi Abolhasani & Koosha, 2016)، در تحقیق خود به ارزیابی عملکرد با به‌کارگیری تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته‌اند. برای این منظور، ارزیابی عملکرد گروه مشاوران جوان شهرداری مشهد طبق روش تحلیل پوششی داده‌ها و TOPSIS انجام‌شده است. درنهایت با ارائه نتایج این روش در سازمان موردنظر و ارائه پیشنهادهایی جهت بهبود وضعیت ارائه‌شده است. حسینی و احتیاطی (Hosseini & Ehtiyati, 2006)، در مطالعه خود به بررسی مزیت رقابتی در عملکرد واحدهای تولیدکننده متانول ایران پرداخته‌اند. این مقاله با در نظر گرفتن واقعیت‌های فوق و جایگاه متانول در طرح‌های سرمایه‌گذاری، تولید و صادرات صنعت پتروشیمی به اندازه‌گیری مزیت این محصول اختصاص پیداکرده است. در این مقاله، چهار شاخص برای اندازه‌گیری مزیت رقابتی محصول متانول ایران مورداستفاده قرارگرفته است. بر اساس نتایج حاصل‌شده، متانول تولیدی ایران با در نظر گرفتن هزینه فرصت منابع داخلی به‌کاررفته در تولید و چه با در نظر گرفتن اطلاعات تجاری، از توان رقابت برخوردار است. مهرگان و همکاران

(Mehrgan et al., 2010)، در مطالعه خود، به بررسی توان رقابتی در عملکرد پتروشیمی متانول در میان تولیدکنندگان ایرانی پرداخته‌اند. این پژوهش در حوزه متانول شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران انجام‌شده است. برای اندازه‌گیری توان رقابتی حوزه متانول شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران، ابتدا مدلی مفهومی توسعه داده‌شده است که دربرگیرنده سه حوزه اصلی است. سپس با استفاده از تکنیک‌های تحلیل عاملی و مدل‌سازی معادلات ساختاریافته این مدل با چند بار اصلاح و تعدیل به تأیید رسیده است. سپس با استفاده از مدل‌سازی شبکه‌های بیزین، دوباره موردبررسی قرارگرفته و تأییدشده است. سپس بر اساس دانش ایجادشده توسط دو تکنیک فوق، یک سیستم فازی طراحی‌شده است. طبق نتایج حاصل‌شده در این مطالعه، مشخص شد، توان رقابتی شرکت صنایع پتروشیمی ایران وابسته به منابع است. به‌عبارت‌دیگر رویکرد این شرکت رویکرد مبتنی بر منابع ورودی بنگاه است.

بر اساس موارد اشاره‌شده در بالا و بررسی ادبیات تحقیق مهم‌ترین شکاف‌های تحقیق حاضر به‌صورت زیر در نظر گرفته‌شده است.

- ارزیابی نقطه قوت و ضعف شرکت‌های پتروشیمی تولیدکننده متانول در بازار از طریق مدل DEA و مقایسه آن با نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های سنتی؛ زیرا مدل‌های DEA یک روش ریاضی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs) است که می‌تواند شامل شرکت‌ها، سازمان‌ها یا هر نوع واحدی باشد که ورودی‌ها و خروجی‌های مشخصی دارند. برای این منظور، پس از تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های مناسب و جمع‌آوری داده‌های مرتبط با آن کارایی سیستم با استفاده از مدل‌های DEA قابل‌محاسبه است. مدل‌های DEA کارایی هر واحد را در مقایسه با واحد دیگر مورد ارزیابی قرار می‌دهند و از این طریق تحلیل‌گر را قادر می‌سازد تا کارایی نسبی هر واحد را محاسبه نماید. با توجه به نتایج حاصل‌شده از اجرای مدل DEA، واحدها به دو دسته کارا و ناکارا طبقه‌بندی می‌شوند. بر اساس امتیاز کارایی حاصل‌شده، می‌توانیم علل ناکارایی واحدها را شناسایی و تحلیل نماییم.
- بررسی تأثیر عوامل ورودی مدیریت پذیر بر عملکرد این شرکت‌ها

۳- روش‌شناسی پژوهش

مدل پیشنهادی در خصوص ارزیابی عملکرد شرکت‌های پتروشیمی با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، منطبق بر اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی با ملحوظ دانستن ورودی‌های مدیریت پذیر در این بخش معرفی می‌شود. بر طبق مدل‌سازی تحلیل پوششی داده‌ها، عملکرد هر واحد تحت ارزیابی با یکسری فعالیت واحد دیگر مشخص می‌شود که از ورودی‌ها برای تولید خروجی استفاده می‌شود. البته فرض سنتی حاکم بر DEA این است که با کاهش در مقدار ورودی‌ها خروجی‌ها افزایش یابند؛ بنابراین، DEA به دنبال این است که با صرف کمترین ورودی، تولید بیشترین خروجی کارایی را محاسبه نماید. ما در این تحقیق فرض می‌کنیم با کاهش در برخی ورودی‌های خاص یا افزایش و یا ثابت نگه‌داشتن آن‌ها (دسته ورودی‌های مدیریتی) برخلاف فرض سنتی در تحلیل پوششی داده‌ها، خروجی‌ها را برای محاسبه امتیاز کارایی افزایش دهیم. به‌منظور ارزیابی تحلیل پوششی داده‌ها در این تحقیق J واحد تحت ارزیابی در نظر گرفته‌شده است که دارای m ورودی $X_j = x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ مصرف می‌کند تا r خروجی مطلوب $Y_j = y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{rj}$ تولید کند. بر طبق اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی ورودی‌ها را به‌عنوان ورودی‌های مدیریت پذیر در نظر گرفته می‌شوند. دسته اول ورودی‌های مدیریت پذیر، $x_{pj}^{N}(p = 1, \dots, P)$ است که شامل مواردی هستند که برای ایجاد خروجی ثابت باقی می‌مانند. دسته دوم ورودی‌های مدیریت پذیر $x_{qj}^{M}(q = 1, \dots, Q)$ هستند که شامل مواردی هستند که به‌طور هم‌زمان برای افزایش خروجی‌ها، افزایش یابند. دسته سوم ورودی‌های مدیریت پذیر $w_{sj}(s = 1, \dots, S)$ هستند که مطابق با اصل دسترسی‌پذیری طبیعی در DEA با آن‌ها رفتار می‌کنیم و به دنبال کاهش در مقدار آن‌ها خواهیم بود. بنابراین، با تعاریف ذکرشده فناوری جدید این امکان را دارد که با رعایت موارد فوق قادر باشد اولاً

ورودی‌های مدیریت-پذیر را در راستای بهبود خروجی‌ها بر طبق اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی تغییر دهد (ثابت نگه دارد یا افزایش دهد) و همچنین بر اساس اصل دسترسی‌پذیری طبیعی برخی دیگر از ورودی‌ها را کاهش دهد. بنابراین، در ساخت فناوری جدید با مشخصه‌های زیر روبرو هستیم تا به واحد کارا برسیم که عبارت‌اند از:

- از طریق افزایش خروجی مطلوب
- از طریق کاهش ورودی مدیریت پذیر
- از طریق ثابت نگه‌داشتن سطح ورودی‌های مدیریت پذیر
- از طریق افزایش در مقدار ورودی‌های مدیریت پذیر

در کاربرد DEA، تمایز میان دسترسی‌پذیری طبیعی و دسترسی‌پذیری مدیریتی اهمیت ویژه‌ای دارد. دسترسی‌پذیری طبیعی صرفاً بر مبنای مرز ریاضی کارایی تعریف می‌شود و نشان می‌دهد هر واحد تصمیم‌گیرنده تا چه میزان از نظر داده‌ای می‌تواند به سطح بهینه نزدیک شود. در مقابل، دسترسی‌پذیری مدیریتی بیانگر توان و محدودیت‌های واقعی مدیران برای تحقق این سطح است؛ به‌گونه‌ای که امکان یا عدم امکان کاهش نهاده‌ها یا افزایش ستاده‌ها در عمل بررسی می‌شود. ترکیب این دو رویکرد موجب می‌شود شکاف میان کارایی بالقوه و کارایی واقعی روشن گردد و مدیران بتوانند نقشه راهی واقع‌بینانه برای بهبود طراحی کنند؛ به این معنا که هم سقف نظری بهبود مشخص شود و هم‌ظرفیت‌های اجرایی و مدیریتی برای دستیابی به آن در نظر گرفته شود. بر این اساس، برای شکل‌گیری مدل DEA پیشنهادی در ادامه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای لازم معرفی‌شده‌اند.

اندیس

P	مجموعه ورودی‌های مدیریت پذیر ثابتی
Q	مجموعه ورودی‌های مدیریت پذیر افزایشی
R	مجموعه خروجی‌ها
S	مجموعه ورودی‌های مدیریت پذیر کاهشی
J	مجموعه واحدهای تحت ارزیابی
O	واحد تحت بررسی

پارامتر

x_{qj}^{M}	ورودی مدیریت پذیر افزایشی q ام واحد تحت ارزیابی j
x_{pj}^{N}	ورودی مدیریت پذیر ثابتی p ام واحد تحت ارزیابی j
y_{rj}	خروجی مطلوب r ام واحد تحت ارزیابی j
w_{sj}	ورودی مدیریت پذیر کاهشی s ام واحد تحت ارزیابی j

متغیر

λ_j	قیمت سایه ورودی و خروجی‌های واحد تحت ارزیابی j
Θ	مقدار تابع هدف (ضریب تعدیل ورودی‌ها)

در این صورت با رعایت موارد فوق فناوری جدید برای ساخت ناحیه شدنی به‌صورت مجموعه معادلات (۵) فرمول‌بندی می‌شود.

$$T = \{(X^N, X^m, Y): \sum \lambda_j x_{pj}^N = x_{pk}^N \qquad (۵)$$

$$\sum \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}$$

$$\sum \lambda_j x_{qj}^M \geq x_{qk}^M$$

$$\sum \lambda_j w_{sj} \leq w_{sk}$$

$$p = 1, \dots, P; q = 1, \dots, Q;$$

$$r = 1, \dots, R$$

در مجموعه معادلات (۵)، معادله اول $\sum \lambda_j x_{pj}^N = x_{pk}^N$ مربوط به ورودی‌های مدیریت پذیر ثابتی است و بیان می‌کند اگر طبق اصل دسترسی‌پذیری طبیعی نمی‌توان ورودی‌های مدیریت پذیر ثابتی را کاهش داد، حداقل در سطح موجود آن‌ها را نگه داشت. نامعادله دوم، $\sum \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}$ منعکس‌کننده دسترسی‌پذیری قوی برای خروجی‌های مطلوب در ناحیه شدنی است. نامعادله سوم، $\sum \lambda_j x_{qj}^M \leq x_{qk}^M$ مربوط به ورودی‌های مدیریت پذیر افزایشی دسترسی‌پذیری مدیریتی است. معادله چهارم $\sum \lambda_j w_{sj} \leq w_{sk}$ تضمین می‌کند در صورت مواجهه با ورودی مدیریت پذیر کاهشی، مدل سعی می‌کند مقدار آن را در کاهش دهد. با توجه به مواردی که در بالا بیان شد سرانجام، در ذیل، متغیرهای نهایی شناسایی‌شده است که برای ارزیابی عملکرد شرکت‌های

پتروشیمی تولیدکننده متانول با استفاده از DEA می‌تواند مورداستفاده قرار بگیرد معرفی شده است.

الف) شاخص‌های ورودی مدیریت پذیر:

۱) دارایی (ورودی مدیریت-پذیر افزایشی): عبارت است از دارایی‌های شرکت در پایان سال مالی
۲) نیروی کار (ورودی مدیریت پذیر کاهشی): برابر است با تعداد نیروی انسانی تحت قرارداد
۳) ظرفیت اسمی (ورودی مدیریت پذیر ثابتی)

ب) شاخص خروجی:

۱) نرخ بازده دارایی: برابر است با نسبت سود خالص به دارایی کل
۲) تحقق ظرفیت اسمی: برابر است نسبت میزان تولید واقعی به ظرفیت اسمی
۳) نسبت مالکانه: برابر است با نسبت حقوق صاحبان سهام به دارایی کل
۴) نسبت سود عملیاتی به فروش: برابر است با نسبت سود عملیاتی به فروش

سرانجام، با در نظر گرفتن ساختار تشریح شده، مدل ارزیابی کارایی عملکرد شرکت‌های پتروشیمی تولیدکننده متانول مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها را با ملحوظ داشتن اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی مطابق با مجموعه معادلات (۶) تا (۱۱) در نظر می‌گیریم.

$$\min \theta \quad (۶)$$

subject to:

$$\sum \lambda_j x_{1j}^{M} \geq x_{1k}^{M} \quad (۷)$$

$$\sum \lambda_j x_{1j}^{N} = x_{1k}^{N} \quad (۸)$$

$$\sum \lambda_j w_{1j} \leq \theta w_{1k} \quad (۹)$$

$$\sum \lambda_j y_j \geq y_k \quad (۱۰)$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad j = 1, \dots, n \quad (۱۱)$$

معادله (۶)، تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد که تا حد امکان قادر است از طریق کاهش در ورودی‌ها، خروجی‌ها را افزایش دهد تا واحد تحت ارزیابی روی مرز کارا قرار بگیرد. معادله (۷) تضمین می‌کند که رفتار افزایشی مطابق با اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی در خصوص ورودی‌های مدیریت پذیر در مرحله اول به کار گرفته شود. معادله (۸) تضمین می‌کند اگر چنانچه سیستم قابلیت تسلط بر ورودی‌ها را ندارد مطابق با اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی آن را ثابت نگه دارد. معادله (۹) تضمین می‌کند که ورودی‌های مدیریت پذیر مطابق با اصل دسترسی‌پذیری طبیعی کاهش یابند. سرانجام در معادله (۱۰) تضمین می‌کند که حداکثر خروجی برای واحد تحت ارزیابی در نظر گرفته شود. ضمناً متغیرهای اصلی در مدل فوق θ و λ_j هستند که به ترتیب آزاد در علامت و پیوسته هستند در معادله (۱۱) نشان داده‌شده است.

- قضیه ۱: شدنی بودن مدل (۶ تا ۱۱)

برای اثبات شدنی بودن مدل پیشنهادی باید نشان دهیم که به ازای حداقل یک جواب تمامی مقادیر $\lambda_j x_{1j}^{N}$، $\lambda_j x_{1j}^{M}$، $\lambda_j w_{1j}$ و $\lambda_j y_j$ شدنی است.

اثبات: یک جواب مانند مجموعه جواب $\lambda_j = 0;\ \lambda_o = 1;\ \theta = 1$ برای واحد تحت بررسی o در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه این جواب در تمام قیدهای مسئله صدق می‌کند، پس مسئله حداقل یک جواب شدنی دارد.

- قضیه ۲: در مدل شماره (۶ تا ۱۱) همواره $\theta^* \leq 1$ است.

فرض می‌کنیم جواب بهینه بزرگ‌تر از ۱ است (فرض خلف).

اثبات: فرض می‌کنیم به ازای $\theta = 1$ و همه λ ها برابر صفر به‌جز واحد تحت ارزیابی برابر یک جواب شدنی وجود دارد؛ یعنی، $\lambda_j = 0;\ \lambda_o = 1;\ \theta = 1\ \forall j \neq o$ این جواب در تمام محدودیت‌ها صدق می‌کند و به زبان ریاضی یک جواب شدنی است. با توجه به min بودن تابع هدف در هر تکرار مینیمم‌سازی، مقدار تابع هدف کاهش می‌یابد و مقدار $\theta^* = 1$ محاسبه‌شده است. بنابراین وجود جواب بهینه بزرگ‌تر از یک برای θ با در نظر گرفتن جواب شدنی $\theta = 1$ تناقض و خلاف مینیمم‌سازی است. درنتیجه فرض خلف باطل و قضیه ثابت می‌شود که $\theta^* \leq 1$ است.

۴- یافته‌های تحقیق

در این بخش از تحقیق به‌منظور نشان دادن قابلیت مدل پیشنهادی به ارزیابی عملکرد چهار شرکت تولیدی متانول در ایران پرداخته‌شده است. هر یک از این کارخانه‌ها به‌نوعی در تأمین نیازهای داخلی و صادرات متانول نقش دارند و به تقویت صنعت پتروشیمی ایران کمک می‌کنند.

انتخاب کارخانه‌ها به دلیل ظرفیت تولید، موقعیت جغرافیایی، اهمیت اقتصادی و دسترسی به داده‌های آن‌ها انجام‌شده است. اطلاعات عددی مربوط به هر یک از این شرکت‌های تولیدی به ازای هر نوع از ورودی و خروجی در جدول **۱** نشان داده‌شده است. با به‌کارگیری داده‌های مربوطه در مدل ریاضی توسعه داده‌شده، نتایج کارایی قابل‌محاسبه خواهند بود. لازم به ذکر است که ورودی‌ها و خروجی‌های مدل پیشنهادشده بر اساس ادبیات موجود و نظرسنجی در میان خبرگان از طریق توزیع و جمع‌آوری پرسشنامه تعیین و نهایی شده‌اند.

نظر به اینکه یکی از مکانیسم‌های مهم ارتقای خروجی در صنعت متانول، افزایش سرمایه ثابت است. پژوهش‌ها و گزارش‌های اخیر نشان می‌دهند که سرمایه‌گذاری‌های بزرگ در پروژه‌های متانول در مناطق آسیایی و خاورمیانه برای توسعه ظرفیت نصب‌شده در حال اجرا است. برآوردها حاکی است که ظرفیت جهانی متانول از حدود ۱۷۰ میلیون تن در سال در ۲۰۲۲ به تقریباً ۲۸۰ میلیون تن در سال تا ۲۰۲۸ افزایش خواهد یافت که بخش عمده آن به پروژه‌های جدید و توسعه ظرفیت‌های موجود بازمی‌گردد (Choe et al., 2022). از منظر مدیریتی، چنین سرمایه‌گذاری‌هایی در کوتاه‌مدت خود را به شکل رشد تولید، بهبود بهره‌برداری خطوط عملیاتی و کاهش هزینه‌های سربار ثابت نشان می‌دهند، چراکه دارایی‌ها نو یا تجهیز شده کیفیت تولید را بالابرده و توقفات ناشی از استهلاک یا خرابی تجهیزات را کاهش می‌دهند. همچنین امکان بهره‌گیری از اقتصاد مقیاس فراهم می‌شود (Moioli et al., 2022). گزارش تأکید دارد که شرکت‌هایی که دارایی ثابت خود را هوشمندانه به‌روزرسانی یا توسعه می‌دهند، در بازده سرمایه و ارزش‌افزوده کوتاه‌مدت، بهره بهتری می‌گیرند (Fasihi et al., 2019)؛ بنابراین، در مطالعه حاضر، فرض اینکه افزایش دارایی‌های مولد منجر به افزایش خروجی‌های منتخب در کوتاه‌مدت خواهد شد، هم از نظر شواهد صنعتی و هم از نظر تئوریک مطلوب است.

به‌منظور هم‌مقیاس‌سازی داده‌ها و جلوگیری از تأثیر تفاوت واحد اندازه‌گیری شاخص‌ها بر نتایج DEA، داده‌های ورودی و خروجی پیش از ورود به مدل نرمال‌سازی شدند. روش نرمال‌سازی مبتنی بر بیشینه[1] انتخاب‌شده تا ضمن قرار گرفتن همه مقادیر در بازه [0,1] نسبت‌های واقعی بین واحدها حفظ گردد. به‌طور مشخص، برای هر واحد تصمیم‌گیرنده (DMU)، ورودی x_{ij} و خروجی y_{rj} به‌صورت $x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{max\, x_{ij}}$ و $y'_{rj} = \frac{y_{rj}}{max\, y_{rj}}$ نرمال شدند. این شیوه موجب می‌شود که هیچ DMU صرفاً به دلیل بزرگی یا کوچکی مقیاس مطلق خود بر مرز کارایی اثر نگذارد و وزن‌دهی در مدل DEA صرفاً بر مبنای عملکرد نسبی واحدها صورت گیرد. درنتیجه، از تحریف احتمالی ناشی از نرمال‌سازی جمعی (که اندازه مطلق واحدها را حذف می‌کند) جلوگیری شده و تفسیر نتایج کارایی معتبر باقی می‌ماند. در جدول **۲** مقادیر نرمال شده داده‌های ورودی نشان داده‌شده است.

سپس، با به‌کارگیری داده‌های فوق در مدل توسعه داده‌شده امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی قابل‌محاسبه است. برای این منظور، مدل ارائه‌شده در نرم‌افزار گمز فرمول‌نویسی شده است. مدل توسعه داده‌شده با استفاده از ابزار CPLEX موجود در نرم‌افزار گمز حل‌شده است که مدت‌زمان اجرای آن تا حصول نتیجه حدود ۲ ثانیه به طول می‌انجامد. در جدول **۳**، مقدار امتیاز کارایی هر یک از واحدهای تولیدی متانول ارائه‌شده است.

با توجه به اینکه در محاسبه مقدار امتیاز کارایی واحدهایی که مقدار کارایی آن‌ها برابر با یک باشد، به‌عنوان واحد کارا و در غیر این صورت به‌عنوان واحد ناکارا محسوب می‌شوند، واحدهای تولیدی متانول فناوران، زاگرس و خارک به‌عنوان واحد کارا و واحد تولیدی متانول مرجان به‌عنوان واحد ناکارا شناخته می‌شوند. با توجه به اینکه سه واحد تولیدی فناوران، زاگرس و خارک با امتیاز کارایی یک روبرو شده‌اند، تفکیک اولویت بین آن‌ها کار مشکلی خواهد بود. برای این منظور، از روش اولویت‌بندی اندرسون-پترسون استفاده‌شده است تا اولویت‌بندی واحدهای تولیدی محاسبه شود. طبق روش اندرسون-پترسون واحدهای کارا ممکن است با یک امتیاز ابر کارایی منحصربه‌فرد بیشتر از یک روبرو شوند. نتایج اجرای روش اندرسون-پترسون در جدول **۴** نشان داده‌شده است.

[1] Max normalization

جدول ۱. داده‌های مسئله

Table 1. Problem data

شرکت‌ها	ورودی مدیریت پذیر افزایشی	ورودی مدیریت پذیر کاهشی	ورودی مدیریت پذیر ثابتی	خروجی	خروجی	خروجی
				خروجی اول	خروجی دوم	خروجی سوم	خروجی چهارم
	دارایی (میلیون ریال)	نیروی کار (نفر)	ظرفیت اسمی (تن)	نرخ بازده دارایی (٪)	نسبت مالکانه (٪)	تحقق ظرفیت اسمی (٪)	سود عملیاتی به فروش (٪)
فناوران	۱۶۰۳۵۴۲۲۳	۷۳۹	۱۰۰۰۰۰۰	۱۹/۶۱	۴۳/۳۳	۸۲/۰	۲۰/۰
زاگرس	۱۱۶۰۶۹۶۷۶	۸۱۱	۳۳۰۰۰۰۰	۲۶/۱۶	۳۳/۵۲	۷۵/۰	۱۴/۴۰
خارک	۷۸۷۲۴۵۰۸	۱۳۷۱	۶۶۰۰۰۰	۴۸/۸۷	۶۸/۰۹	۱۰۱/۸۰	۳۹/۷۸
مرجان	۱۶۹۳۰۲۶۲۰	۵۶۷	۱۶۵۰۰۰۰	۱/۰۷	۱۷/۱۷	۹۶/۰	۱۲/۰
ماکزیمم	**۱۶۹۳۰۲۶۲۰**	**۱۳۷۱**	**۳۳۰۰۰۰۰**	**۴۸/۸۷**	**۶۸/۰۹**	**۱۰۱/۸۰**	**۳۹/۷۸**

جدول ۲. داده‌های نرمال‌شده ورودی و خروجی

Table 2. Normalized input and output data

شرکت‌ها	ورودی مدیریت پذیر افزایشی	ورودی مدیریت پذیر کاهشی	ورودی مدیریت پذیر ثابتی	خروجی	خروجی	خروجی
				خروجی اول	خروجی دوم	خروجی سوم	خروجی چهارم
	دارایی	نیروی کار	ظرفیت اسمی				
فناوران	۰/۹۴۷	۰/۵۳۹	۰/۳۰۳	۰/۴۰۱	۰/۶۳۶	۰/۸۰۵	۰/۵۰۲
زاگرس	۰/۶۸۵	۰/۵۹۱	۱/۰	۰/۵۳۵	۰/۴۹۲	۰/۷۳۶	۰/۳۶۱
خارک	۰/۴۶۴	۱/۰	۰/۲	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
مرجان	۱/۰	۰/۴۱۳	۰/۵	۰/۰۲۱	۰/۲۵۲	۰/۹۴۳	۰/۳۰۱

جدول ۳. امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی

Table 3. Efficiency score of the units under evaluation

شرکت‌ها	امتیاز کارایی	وضعیت
فناوران	۱	کارا
زاگرس	۱	کارا
خارک	۱	کارا
مرجان	۰/۸۶۲	ناکارا

جدول ۴. امتیاز ابر کارایی اندرسون-پترسون

Table 4. Anderson-Patterson hyper-efficiency score

شرکت‌ها	امتیاز ابر کارایی	اولویت
فناوران	۱/۳۱۸	سوم
زاگرس	۱/۴۶۲	دوم
خارک	۲/۴۴۲	اول
مرجان	۰/۱۷۲	چهارم

با اجرای روش اندرسون-پترسون، اولویت واحدهای تولیدی فناوران، زاگرس و خارک به ترتیبی که مشخص‌شده، نشان داده‌شده است. بر اساس اولویت به‌دست‌آمده شرکت خارک رتبه اول، شرکت زاگرس رتبه دوم، شرکت فناوران رتبه سوم و شرکت مرجان رتبه چهارم را کسب کرده است.

به‌منظور، مقایسه مدل پیشنهادی با مدل‌های پایه CCR و BCC جهت اعتبارسنجی مدل توسعه داده اقدام شده است. در جدول **۵**، امتیاز کارایی بر اساس این دو مدل نشان داده‌شده است. اختلاف‌نظر بین مدل پیشنهادی و مدل‌های پایه بر روی شرکت تولیدی مرجان است. به‌طوری‌که این واحد تولیدی، در روش CCR و BCC و پیشنهادی به‌عنوان واحد ناکارا معرفی‌شده است. همچنین، مشاهده می‌شود که طبق روش CCR ناکارایی بیشتری دارد؛ اما در روش BCC اختلاف ناکارایی حاصل‌شده با نتیجه ناکارایی به‌دست‌آمده در مدل پیشنهادی جزئی و در حد ۰/۰۱۲ می‌باشد. دلیل بهبود در روش پیشنهادی نسبت به BCC و مدل پیشنهادی و BCC نسبت به مدل CCR این است که مرزی که از طریق دو مدل ساخته می‌شود، بهتر می‌تواند مجموعه امکان تولید

را در نظر بگیرد؛ اما مرز امکان تولید در CCR به‌صورت یک خط ساده است که قادر به تخمین درستی از کارایی میان واحدهای تحت ارزیابی نخواهد بود؛ بنابراین، در مقایسه نتایج مدل‌های CCR و BCC با مدل پیشنهادی مشاهده می‌شود که اختلافات اندکی در مقادیر کارایی وجود دارد. علت این تفاوت را می‌توان در تفاوت فرضیات مدل دانست. به‌گونه‌ای که مدل CCR بر بازدهی ثابت نسبت به مقیاس تأکید دارد. درحالی‌که مدل BCC بازدهی متغیر نسبت به مقیاس را لحاظ می‌کند و مدل پیشنهادی نیز با تغییر در ساختار یا نرمال‌سازی داده‌ها مرز کارایی را جابجا کرده است. این تفاوت جزئی نشان می‌دهد که نتایج رتبه‌بندی و قضاوت درباره واحدهای تصمیم‌گیری پایدار است و انتخاب مدل تأثیر معنی‌داری بر اولویت‌بندی نهایی واحدها ندارد. از دیدگاه مدیریتی ثبات نسبی نتایج به معنای قابلیت اعتماد در تصمیم‌گیری است. بدین ترتیب مدیران می‌توانند با اطمینان بیشتری واحدهای برتر را شناسایی کرده و برای سرمایه‌گذاری یا الگوبرداری از آن‌ها استفاده کرد. بدون آنکه نگران تغییر جدی در نتایج یا مدل باشند.

جدول ۵. امتیاز کارایی بر اساس مدل‌های پایه

Table 5. Performance score based on base models

شرکت‌ها	امتیاز کارایی CCR	وضعیت	امتیاز کارایی BCC	وضعیت
فناوران	۱	کارا	۱	کارا
زاگرس	۱	کارا	۱	کارا
خارک	۱	کارا	۱	کارا
مرجان	۰/۱۸۸	ناکارا	۰/۸۵۰	ناکارا

با توجه به اینکه واحد تولیدی متانول مرجان بر طبق مدل پیشنهادی به‌عنوان واحد ناکارا شناسایی‌شده است و با توجه به اینکه مدل پیشنهادشده یک مدل ورودی محور است، میزان تغییر در ورودی به‌منظور قرار گرفتن بر روی مرز کارا را تعیین می‌کنیم. برای این منظور، با توجه به قید $\sum \lambda_j w_{1j} \leq \theta w_{1k}$ تنها تغییرات میزان ورودی‌های مدیریت پذیر کاهشی را می‌توانیم برای قرارگیری روی مرز کارا بررسی می‌کنیم. مقدار θw_{1k} حداکثر کاهش در مقدار ورودی‌های مدیریت پذیر کاهشی را برای هر واحد می‌تواند محاسبه کند تا واحد موردنظر بر روی مرز کارایی قرار بگیرد؛ بنابراین، از طریق حاصل‌ضرب امتیاز کارایی واحد تولیدی متانول مرجان در مقدار ورودی مدیریت‌پذیر کاهشی آن حداکثر مقدار کاهش در مقدار ورودی‌های مدیریت پذیر آن برابر با ۰/۱۴۱ واحد محاسبه می‌شود؛ بنابراین، درصورتی‌که مقدار ورودی مدیریت پذیر کاهشی واحد تولیدی مرجان از ۰/۱۶۲ به ۰/۰۲۱ واحد کاهش یابد، این واحد تولیدی نیز به‌عنوان یک واحد تصمیم‌گیری کارا شناخته می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در تحلیل DEA دو جنبه مکمل وجود دارد: نخست، دسترسی‌پذیری طبیعی که نشان می‌دهد بر اساس داده‌ها هر واحد تا چه حد می‌تواند به سطح کارایی ایده‌آل نزدیک شود؛ و دوم، دسترسی‌پذیری مدیریتی که مشخص می‌کند مدیران در عمل تا چه اندازه قادر به تحقق این سطح هستند. ترکیب این دو دیدگاه به مدیران کمک می‌کند تا علاوه بر شناخت ظرفیت بالقوه بهبود، محدودیت‌های واقعی سازمان را نیز در نظر بگیرند و بر اساس آن یک برنامه عملی برای ارتقای کارایی تدوین کنند. به‌این‌ترتیب، نتایج DEA صرفاً در حد محاسبه عددی باقی نمی‌ماند بلکه به ابزاری کاربردی برای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی تبدیل می‌شود. این تحقیق با رویکرد بررسی و مقایسه کارایی شرکت‌های پتروشیمی تولیدکننده متانول کشور صورت گرفته است. بر این اساس چهار شرکت زاگرس، خارک، فناوران و مرجان به‌عنوان شرکت‌های تولیدکننده متانول و درعین‌حال فعال در بورس اوراق بهادار تهران، به‌عنوان شرکت‌های نمونه موردبررسی قرار گرفتند. برای بررسی کارایی از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها مبنی بر استفاده هم‌زمان اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی بر اساس اطلاعات مربوط به سال مالی ۱۴۰۱ استفاده‌شده است. داده‌ها شامل سه نوع ورودی مدیریت پذیر یعنی تعداد کارکنان، ثابتی ظرفیت اسمی و افزایشی دارایی بوده است. درعین‌حال چهار شاخص نرخ بازده دارایی، نسبت مالکانه، تحقق ظرفیت اسمی و سود عملیاتی به‌عنوان خروجی مورداستفاده قرارگرفته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بهترین و بالاترین کارایی مربوط به شرکت‌های فناوران، زاگرس و خارک با کارایی نسبی ۱۰۰ درصد محاسبه‌شده که واحد تولیدی مرجان به‌عنوان واحد ناکارا تعیین‌شده است. علاوه بر این، با استفاده از روش

اندرسون-پترسون اولویت‌بندی شده است. بر اساس اولویت به‌دست‌آمده شرکت خارک رتبه اول، شرکت زاگرس رتبه دوم، شرکت فناوران رتبه سوم و شرکت مرجان رتبه چهارم را کسب کرده است. همچنین، یک مقایسه بر اساس امتیاز کارایی با مدل‌های پایه اعم از BCC و CCR برای بررسی قابلیت مدل پیشنهادی ارائه‌شده است. اختلاف ناکارایی حاصل‌شده بین روش پیشنهادی و روش BCC جزئی و در حد ۰/۰۱۲ است. در پایان نیز تغییرات مقدار ورودی مدیریت پذیر کاهشی محاسبه‌شده است که در این صورت حداکثر مقدار کاهش در مقدار ورودی‌های مدیریت پذیر آن برابر با ۰/۱۴۱ واحد محاسبه‌شده است؛ بنابراین، درصورتی‌که مقدار ورودی مدیریت پذیر کاهشی واحد تولیدی مرجان از ۰/۱۶۲ به ۰/۰۲۱ واحد کاهش یابد. این واحد تولیدی نیز به‌عنوان یک واحد تصمیم‌گیری کارا شناخته می‌شود. طبق یافته‌های تحقیق کاربردهای مدیریتی متصور از تحقیق جاری در حوزه‌های مختلفی می‌تواند قابل‌بررسی باشد. برای مثال، بازشناسایی عوامل کلیدی موفقیت و عوامل مخاطره آفرین که بر عملکرد شرکت‌های پتروشیمی تولیدکننده متانول تأثیر می‌گذارند قابل‌بررسی است. اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد شرکت‌ها بر اساس پارامترهای اساسی بهبود عملکردی، ارائه روش‌های بهینه‌سازی برای بهبود عملکرد شرکت‌های پتروشیمی از طریق تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس داده‌های واقعی، شناسایی الگوهای موفقیت و شکست در صنعت پتروشیمی به‌منظور ارائه راهکارهای بهبودی، پیشنهاد اقدامات تصحیحی و اصلاحی برای بهبود عملکرد شرکت‌های پتروشیمی تحت مطالعه قابل‌اندازه‌گیری است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که اختلاف میان مدل‌های BCC و مدل پیشنهادی بسیار ناچیز بوده و این امر بیانگر پایداری و قابلیت اتکای رتبه‌بندی واحدهاست. از طرف دیگر نتیجه کسب‌شده از مقایسه مدل پیشنهادی و BCC با CCR نیز همگرا است. از منظر مدیریتی، این ثبات عددی بدان معناست که تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با اطمینان نسبت به انتخاب واحدهای برتر اقدام کرده و منابع سازمانی را به‌صورت هدفمند به سمت این واحدها سوق دهند. همچنین، تمرکز بر بهبود بهره‌وری نیروی انسانی، بهینه‌سازی ظرفیت اسمی و مدیریت دارایی‌ها در واحدهای ناکارا می‌تواند به ارتقای کارایی کلی صنعت منجر شود. بدین ترتیب، یافته‌های تحقیق علاوه بر ارائه یک چارچوب تحلیلی برای سنجش کارایی، نقشه راهی عملی برای مدیران در جهت اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی و تدوین برنامه زمان‌بندی اجرایی فراهم می‌آورد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که اختلاف بین مدل‌های مختلف بسیار ناچیز یا همگرا است و بنابراین رتبه‌بندی واحدها پایدار و قابل‌اعتماد باقی می‌ماند. از دیدگاه مدیریتی، این ثبات به مدیران امکان می‌دهد با اطمینان واحدهای برتر را شناسایی کرده و منابع را به سمت آن‌ها هدایت کنند. همچنین، تمرکز بر بهبود بهره‌وری نیروی انسانی، استفاده بهینه از ظرفیت و مدیریت دارایی‌ها در واحدهای ناکارا می‌تواند مسیر روشنی برای افزایش کارایی کل صنعت فراهم سازد. نظر به اینکه در صنعت پتروشیمی همواره علاوه بر خروجی مطلوب، با خروجی‌های نامطلوب مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، شدت مصرف انرژی و... روبرو هستیم، در این تحقیق به دلیل فقدان داده کافی در خصوص مواجهه با آن‌ها با محدودیت روبرو هستیم. ازاین‌رو، در مطالعه آتی پیشنهاد می‌شود که دست کم یک خروجی نامطلوب برای محاسبه امتیاز کارایی در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه دسترسی به داده‌های تمامی شرکت‌های تولید متانول در ایران طی دوره‌های زمانی مختلف امکان‌پذیر نبوده است، به‌عنوان محدودیت اصلی تحقیق بشمار می‌رود برای تحقیقات آتی می‌توانیم به‌منظور محاسبه امتیاز کارایی از مدل‌های پویای DEA برای محاسبه امتیاز کارایی طی دوره‌های زمانی مختلف استفاده نماییم. علاوه بر این، برای اولویت‌بندی واحدهای تولیدی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند BWM، VIKOR و... استفاده شود. علاوه بر این، در نظر گرفتن عوامل خروجی نامطلوب در مدل DEA تحلیل پوششی می‌تواند در آینده در مسیر راه سایر محققان قرار بگیرد.

مشارکت‌های نویسندگان

مهدی صادقی مقدم: تهیه پیش نویس خطی، بازنگری اولیه گزارش، روش‌شناسی پژوهش، مدل مفهومی پژوهش، بررسی ادبیات نظری و پیشینه مرتبط، تجزیه و تحلیل داده‌ها، پیش نویس تحلیل آماری، بازبینی متن؛ **محمد خضرائی:** تهیه پیش نویس خطی، بازنگری اولیه

گزارش، روش‌شناسی پژوهش، مدل مفهومی پژوهش، بررسی ادبیات نظری و پیشینه مرتبط، تجزیه و تحلیل داده‌ها، پیش نویس تحلیل آماری، بازبینی متن.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافع مرتبط با تحقیق حاضر ندارند و نتایج به‌صورت بی‌طرفانه و بدون دخالت منافع شخصی یا حرفه‌ای به‌دست‌آمده است.

قدردانی

نویسندگان از عوامل اجرایی نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری و همچنین داوران محترم که کیفیت این مقاله را افزایش دادند، قدردانی می‌نمایند.

مراجع

Alavi, S., Janatyan, N., & Zeinalnezhad, M. (2024). Benchmarking of fifteen urban services units of Isfahan Municipality by using aggressive data envelopment analysis. S*ystem Engineering and Productivity*, 4(3), 63–81. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2040865.1227

Amirteimoori, A., Allahviranloo, T., Kordrostami, S., & Bagheri, S. F. (2024). Improving decision-making units in performance analysis methods: a data envelopment analysis approach. *Mathematical Sciences*, *18*(3), 451-461. https://doi.org/10.1007/s40096-023-00512-5

Arana-Jiménez, M., Sánchez-Gil, M. C., Younesi, A., & Lozano, S. (2021). Integer interval DEA: An axiomatic derivation of the technology and an additive, slacks-based model. *Fuzzy Sets and Systems, 422*, 83–105. https://doi.org/10.1016/j.fss.2020.12.011

Asadi, F., Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Bazrafshan, M. (2023). Inverse data envelopment analysis without convexity: Double frontiers. *Decisions in Economics and Finance, 46*(1), 335–354. https://doi.org/10.1007/s10203-022-00377-8

Avazpoor, M., Zarei, J., & Alinezhad, E. (2025). Evaluation and prioritization of electricity generation technologies in Iran using a multi-criteria decision-making approach. *System Engineering and Productivity*. 5(3), 179-198. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2063697.1333

Bahiraie, A., Hamedi, R., Alinia, H., & Sanayei, Y. (2020). Modeling the efficiency of banks by cover data method and genetic programming. *Journal of Modeling in Engineering, 9*(31), 69–98 (In Persian).

Choe, C., Byun, M., Lee, H., & Lim, H. (2022). Techno-economic and environmental assessments for sustainable bio-methanol production as landfill gas valorization. *Waste Management*, *150*, 90-97. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.040

Fakhr Mousavi, S. M., Amirteimoori, A., Kordrostami, S., & Vaez-Ghasemi, M. (2023). Non-radial two-stage network DEA model to estimate returns to scale. *Journal of Modelling in Management, 18*(1), 36–60. https://doi.org/10.1108/JM2-09-2020-0228

Farashah, V. H., Hosseini, S. H., Sazvar, Z., & Ganjavi, H. S. (2020). An investigation on the petrochemical industry development in Iran: A system dynamics approach. *International Journal of Energy Technology and Policy, 16*(5–6), 493–509. https://doi.org/10.1504/IJETP.2020.109312

Fasihi, M., Efimova, O., & Breyer, C. (2019). Techno-economic assessment of CO2 direct air capture plants. *Journal of Cleaner Production*, *224*, 957-980. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.086

Garavand, S., Mehregan, N., Sadegh, H., & Malekshahi, M. (2013). Energy efficiency analysis in the petrochemical industry of Iran. *The Journal of Economic Policy, 5*(10), 57–74 (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26453967.1392.5.10.2.3

Ghafori, K. (2023). Investigating financial efficiency in steel industry companies: Evidence from three-dimensional DEA approach. *Journal of Decisions and Operations Research, 8*(4), 832–843 (In Persian). https://doi.org/10.22105/dmor.2022.361244.1663

Ghasemi, M., & Ghiasi, M. (2025). Evaluating and predicting technology development in smartwatches using TFDEA. *System Engineering and Productivity*, 4(4), 1–12 (In Persian). https://doi.org/10.22034/sep.2024.2023670.1188

Gholamian, S. A. (2025). Evaluation and selection of sustainable suppliers by providing a decision support system based on a new data envelopment analysis model and cumulative star utility. *System Engineering and Productivity, 4*(1), 1–13. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2025845.1198

Hosseini, S. S., & Ehtiyati, E. (2006). Competitive advantage and its measurement: A case study of Iran's methanol products. *Iranian Journal of Economic Research, 8*(28), 169–193 (In Persian).

Pouri, K. (2025). Designing a bi-objective mathematical model for cost and environmental pollution control in circular supply chain management for petrochemical product production. *System Engineering and Productivity*. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2060799.1321

Moioli, E., & Schildhauer, T. (2022). Eco-techno-economic analysis of methanol production from biogas and power-to-X. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *61*(21), 7335-7348. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c04682

Sepehrian, Z., Khoshfetrat, S., & Ebadi, S. (2022). Weight Derivation in Analytic Hierarchy Process Using Based on Double-Frontier Analysis. *Journal of Operational Research In Its Applications (Applied Mathematics)-Lahijan Azad University*, *19*(2), 93-111. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22517286.2022.19.2.4.6

Soltanifar, M. (2024). Evaluation of hospitals and health care centers with ratio data. In *Decision Making in Healthcare Systems* (pp. 29-47). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46735-6_4

Soufi, M. (2024). Multiple Attribute Decision Making in Ranking the Criteria in Health (with Certain and Uncertain Data). In *Decision Making in Healthcare Systems* (pp. 49-128). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46735-6_5

Tayebi Abolhasani, A., & Koosha, H. (2016). Performance evaluation using data envelopment analysis and TOPSIS (Case: Mashhad Municipality's Youth Consultants Group). *Organizational Culture Management, 14*(3), 909–936 (In Persian). https://doi.org/10.22059/jomc.2016.58895

Vaezi, E. (2023). Measuring an efficiency aggregation of medical diagnostic laboratories: A window NDEA approach. *Medical Imaging Process & Technology*, *6*(1). https://doi.org/10.24294/mipt.v6i1.3138

Vaezi, E., Najafi, S. E., Haji Molana, M., Hosseinzadeh Lotfi, F., & Ahadzadeh Namin, M. (2020). Efficiency evaluation in hybrid three-stage network data envelopment analysis from the double-frontier standpoint. *International Journal of Supply and Operations Management, 7*(3), 222–241. https://dx.doi.org/10.22034/IJSOM.2020.3.2

Valera, H., & Agarwal, A. K. (2018). Methanol as an alternative fuel for diesel engines. In *Methanol and the alternate fuel economy* (pp. 9–33). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3287-6_2

Yeganeh, S. (2025). Performance evaluation of organizational innovation creation system by

Keyvani Shahri, F. S., Kaveh, D., Karimi, M., & Zendehdel, A. (2024). Identifying the dimensions and components of entrepreneurship with a social responsibility approach in the General Directorate of Education. *System Engineering and Productivity, 4(2),* 75–92. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2032004.1216

Khodaparast Pirsaraei, Y. (2021). Declining profitability of Iran's methanol industry: Causes, factors and consequences of its energy security. *Economic Security, 102*, 75–86 (In Persian).

Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Noveiri, M. J. S. (2019). Inputs and outputs classification in integer-valued data envelopment analysis. *Measurement*, *139*, 317-325. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.087

Mahboubi, M., Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Ghane-Kanafi, A. (2022). Undesirable factors and marginal rates of substitution in data envelopment analysis. *Mathematical Sciences, 16*(1), 23–35. https://doi.org/10.1007/s40096-021-00389-2

Mehrgan, M. R., Safari, H., & Asgharizadeh, E. (2010). Measuring Competitiveness of Methanol through Fuzzy System. *Journal of Business management*, *2*(1) (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20085907.1389.2.1.10.2

Mobbarezi, H., Hosseinzadeh, A., & Ghasemi Namaghi, M. (2020). Model of strategic marketing alliance of methanol producing petrochemical companies in Iran. *Political Sociology of Iran, 3*(1), (In Persian). https://doi.org/10.30510/psi.2022.321955.2868

Mousaei, A., Firoozeh, M., & Hatefi, M. A. (2021). Formation of methanol industrial cluster based on market elasticity. *Quarterly Journal of Industrial Technology Development, 19*(46), 45–62 (In Persian). https://doi.org/10.22034/jtd.2021.249020

Noveiri, M. J. S., Kordrostami, S., & Amirteimoori, A. (2022). Performance analysis of sustainable supply networks with bounded, discrete, and joint factors. *Environment, Development and Sustainability, 24*(1), 238–270. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01415-y

Pashapour, S., Bozorgi-Amiri, A., Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Keramati, A. (2019). Performance optimization of organizations considering economic resilience factors under uncertainty: A case study of a petrochemical plant. *Journal of Cleaner Production, 231*, 1526–1541. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.171

network data envelopment analysis with random input and output. *System Engineering and Productivity, 4*(4), 31–44. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2031849.1214