# Estimating and Assessment of Technical Efficiency in Listed Petrochemical Companies: Bootstrap-DEA Approach

**Mohamadjavad Samaeifard**
Ph.D. Student, Department of Economics, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.

**Mehdi Fathabadi**
Corresponding author
Assistant professor, Department of Economic, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.

**Masood Soufi Majidpour**
Assistant professor, Department of Economic, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.

**Saleh Ghavidel Doostkouei**
Assistant professor, Department of Economic, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.

Received: Jul. 21, 2024; Revised: Sep. 18, 2024; Accepted: Nov. 04, 2024; Published Online: Dec. 01, 2024.

**Extended Abstract**

**Introduction and purpose:** Petrochemical industry in Iran, as one of the critical industries, has a very prominent position in the country's economy and supplies a significant share of products to its downstream industries. In recent decades, as the advancement of technology and research in the petrochemical products, the industry has experienced significant improvements, which has reduced costs and improved the efficiency of this industry. Therefore, considering the importance of the petrochemical industry and its role in economic growth, the purpose of this article is to evaluate the efficiency of petrochemical companies' industry using bootstrap-DEA approach. This method has proposed an approach to provide statistical inference regarding technical efficiency criteria in non-parametric frontier models.

**Methods:** In this article, the technical efficiency is estimated and evaluated in 21 listed petrochemical companies in the period of 2018-2023. For this purpose, a two-stage approach has been used. First, input-oriented efficiency scores are estimated under the assumption of constant, variable and non-increasing return to scale for all companies by radial (Debro-Farrell efficiency) and non-radial (Russell efficiency) approaches. Then, by using the results of this step, the non-parametric independence test is performed to determine the type of implementation of the bootstrap method. Finally, taking into account the results of this test, the efficiency scores of petrochemical

companies are estimated with the bootstrap-DEA approach. The bootstrap process allows estimation of bias and initial estimation confidence intervals.

**Findings:** The first section results of the article showed that, in the period under review, Tondgoyan company has Debro-Farrell efficiency in all three efficiency modes of constant, variable and non-increasing return to scale. Also, Zagros and Fanavaran companies have Debro-Farrell efficiency in variable return to scale technology; But 18 other companies were inefficient. The Ghadir company has worst situation in related to Debro-Farrell efficiency with an efficiency score of 0.68 in return to scale technology. In the second section of the article, bias corrected radial technical efficiency scores in all three homogeneous, heterogeneous and subsampling bootstraps indicate that none of the 21 petrochemical companies have technical efficiency. According to the results, the Fanavaran and Tondgoyan companies have a better situation than other companies. On the other hand, Aria, Pardis, Shiraz and Isfahan oil companies have the worst situation in terms of input-oriented technical efficiency. The findings of output-oriented technical efficiency stated that two companies, Tendgoyan and Zagros, are efficient, and Ghadir company has the worst situation with an efficiency score of 1.37, which means that this company has 37% excess consumption in its inputs. In addition, the bootstrap efficiency estimation results show that the radial efficiency suffers from overestimation. Efficiency scores of heterogeneous smooth bootstrap and heterogeneous subsampling are also a confirmation of this issue.

**Conclusion:** In Iran's 7th Development Plan, 8% economic growth is one of the main goals with an emphasis on the production factors productivity including capital stock, human resources, technology and management which 2.8% of this growth should be achieved through productivity and efficiency, which is emphasized through national production structure reform, reduction of production costs, adoption of incentive policies and optimization of production factors. In this regard, it has been emphasized to support the value-added chain in the petrochemical industry. Therefore, it seems necessary to pay attention to the development of the middle and downstream petrochemical industries through the accumulation of income from the export of upstream products for the development and completion of the value chain of the petrochemical industry.

**Keywords:** Technical Efficiency; Bootstrap; Radial and Non-Radial DEA; petrochemical.

**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

# تخمین و ارزیابی کارایی فنی شرکت‌های پتروپالایش بورسی: رویکرد تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ

**محمدجواد سمیعی‌فرد**
دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

**مهدی فتح‌آبادی**
نویسنده مسئول: fathabadi.mehdi@iau.ac.ir
استادیار، گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

**مسعود صوفی مجیدپور**
استادیار، گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

**صالح قویدل دوستکویی**
استادیار، گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱.

## چکیده

**مقدمه و هدف:** صنعت پتروشیمی در ایران، به عنوان یکی از صنایع پرچم‌دار، جایگاه بسیار پررنگی در اقتصاد کشور داشته و سهم قابل توجهی محصول به صنایع پایین دست خود عرضه می‌کند. در دهه‌های اخیر، با پیشرفت فناوری و تحقیقات در زمینه پتروپالایش، این صنعت شرایط بهتری پیدا کرده که این امر باعث کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی شده است. بنابراین با توجه به اهمیت صنعت پتروپالایش و نقش آن در رشد اقتصادی، هدف این مقاله ارزیابی کارایی شرکت‌های این صنعت با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ می‌باشد. این روش رویکردی برای ارائه استنتاج آماری درخصوص معیارهای کارایی فنی در مدل‌های مرزی ناپارامتریک پیشنهاد نموده است.

**روش:** در این مقاله کارایی فنی ۲۱ شرکت پتروپالایش بورسی در دوره ۱۴۰۲-۱۳۹۷ تخمین و ارزیابی گردید. بدین منظور از یک رویکرد دو مرحله‌ای استفاده شد. ابتدا نمرات کارایی نهاده‌محور تحت فروض بازدهی مقیاس ثابت، متغیر و غیرفزاینده برای تمامی شرکت‌ها با دو رویکرد شعاعی (کارایی دبرو- فارل) و غیرشعاعی (کارایی راسل) برآورد گردید. سپس با کمک نتایج این مرحله، آزمون ناپارامتریک استقلال برای تعیین نوع اجرای روش بوت‌استرپ انجام گرفت. در نهایت با در نظر گرفتن نتایج این آزمون، نمرات کارایی شرکت‌های پتروپالایش با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ برآورد و تحلیل‌ها انجام پذیرفت. فرآیند بوت‌استرپ امکان تخمین تورش و فواصل اطمینان تخمین ابتدایی را فراهم می‌کند.

**یافته‌ها:** نتایج بخش نخست مقاله نشان دادند در دوره مورد بررسی، پتروشیمی تندگویان در هر سه حالت بازدهی مقیاس ثابت، متغیر و غیرفزاینده از کارایی دبرو- فارل برخوردار است. هم‌چنین پتروشیمی زاگرس و فناوران نیز در حالت بازدهی مقیاس متغیر دارای کارایی دبرو- فارل است؛ اما ۱۸ شرکت دیگر ناکارا بودند. بدترین وضعیت در کارایی دبرو-فارل مربوط به پتروشیمی غدیر با نمره کارایی ۰/۶۸ در حالت بازدهی مقیاس ثابت می‌باشد. نمرات کارایی فنی شعاعی تصحیح‌شده تورش در هر سه بوت‌استرپ همگن، ناهمگن و زیرنمونه‌گیری در بخش دوم مقاله حکایت از آن دارد هیچ یک از ۲۱ شرکت پتروپالایش از کارایی فنی برخوردار نیستند. نظر به نتایج، شرکت‌های فناوران و تندگویان وضعیت بهتری نسبت به سایر شرکت‌ها دارند. در مقابل شرکت‌های آریا، پردیس، شیراز و نفت اصفهان بدترین وضعیت را از نظر کارایی فنی نهاده‌محور دارا هستند. یافته‌های کارایی فنی ستانده‌محور بیان داشتند دو شرکت تندگویان و زاگرس از کارایی برخوردارند و پتروشیمی غدیر با نمره کارایی ۱/۳۷ بدترین وضعیت را دارا می‌باشد که بدان معناست این شرکت ۳۷ درصد در نهاده‌های خود اضافه مصرف دارد. علاوه بر این نتایج تخمین کارایی بوت‌استرپ بیان می‌دارند کارایی شعاعی از بیش‌برآوردی رنج می‌برد. نمرات کارایی بوت‌استرپ هموار ناهمگن و زیرنمونه‌گیری ناهمگن نیز تاییدی بر همین موضوع می‌باشند.

**نتیجه‌گیری:** هدف کلی برنامه هفتم، رشد اقتصادی ۸ درصدی با تأکید بر بهره‌وری عوامل تولید شامل سرمایه، منابع انسانی، فناوری و مدیریت است که ۸/۲ درصد این رشد از طریق بهره‌وری و کارایی باید محقق شود که این از طریق اصلاح ساختار تولید ملی، کاهش هزینه تولید، اتخاذ سیاست‌های تشویقی و بهینه‌سازی عوامل تولید تأکید شده و در کنار آن، موضوع اقتصاد مقاومتی در بند سه این برنامه آمده است. در این راستا بر حمایت از زنجیره ارزش‌افزوده در صنعت پتروشیمی تاکید شده است. بنابراین توجه به توسعه صنایع میان‌دست و پایین‌دست پتروشیمی از طریق انباشت درآمدهای ناشی از صادرات محصولات بالادست برای توسعه و تکمیل زنجیره ارزش صنعت پتروپالایش ضروری به نظر می‌رسد.

**واژگان کلیدی:** کارایی فنی؛ بوت‌استرپ؛ شعاعی و غیرشعاعی، تحلیل پوششی داده‌ها؛ پتروپالایش.

**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

## ۱. مقدمه

صنعت پتروپالایش یکی از بخش‌های مهم اقتصاد است که علاوه بر ایجاد شغل و ارزش افزوده، ارتباطات پسین و پیشین زیادی با سایر صنایع دارد. این صنعت سهم قابل توجهی در اقتصاد جهانی دارد. براساس گزارش شورای شیمی آمریکا، صنعت پتروشیمی بیش از ۲۵ میلیون شغل در سراسر جهان خلق کرده و ۵.۷ تریلیون دلار ارزش افزوده اقتصادی به همراه داشته است(شورای شیمی آمریکا[1]، ۲۰۲۲). در ایران نیز این صنعت با صادرات غیرنفتی گسترده خود و ارزآوری بسیار زیاد، در راستای توسعه پایدار، بومی‌سازی فناوری، توسعه صنایع پایین دستی و ایجاد اشتغال نقش اساسی بر عهده دارد. اصلی‌ترین و مهم‌ترین مزیت این صنعت در ایران تنوع خوراک، دسترسی به آب‌های آزاد و نیروی انسانی متخصص است [۱]. در سال ۲۰۲۰، ارزش فروش کل محصولات پتروپالایش و شیمیایی جهان با احتساب صنایع تکمیلی و پایین‌دستی حدود ۳۶۷۰ میلیارد دلار بوده است که چین به‌تنهایی با ۱۴۸۸ میلیارد دلار ارزش فروش و سهم ۴۴ درصدی در جایگاه نخست دنیا قرار گرفته است. ایران با احتساب مجموع صنایع پتروشیمی و صنایع پایین‌دستی، حدود ۱۷ میلیارد دلار محصول روانه بازارهای داخلی، منطقه‌ای و جهانی کرده است. سهم محصولات عمده صنعت پتروشیمی در خاورمیانه ۱۰ درصد از سهم جهانی در سال ۲۰۲۰ با ظرفیت ۱۹۶ میلیون تن محصول اصلی با تناژ تولید بالا بوده است؛ به ترتیب بالاترین میزان، عربستان ۸۶ میلیون تن، ایران ۵۴ میلیون تن، قطر ۱۸ میلیون تن، امارات ۱۵ میلیون تن، عمان ۱۱ میلیون تن، کویت و ترکیه نیز هرکدام ۶ میلیون تن از ظرفیت محصولات عمده پتروشیمی در خاورمیانه را به خود اختصاص داده‌اند[۱۰]. در دهه‌های اخیر، با پیشرفت فناوری و تحقیقات در زمینه پتروپالایش، صنعت بهبودهای چشمگیری را تجربه کرده که این امر باعث کاهش هزینه‌ها و بهبود کارآیی این صنعت در ایران شده است. انتظار می‌رود تقاضای جهانی برای پتروپالایشی‌ها در سال‌های آینده به رشد خود ادامه دهد که بخش عمده‌ای از آن توسط کشورهای در حال توسعه خواهد بود. در نتیجه، می‌توان بیان داشت این صنعت به عنوان یک پیشران حیاتی برای رشد و توسعه اقتصادی باقی بماند.

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) روشی ناپارامتریک برای اندازه‌گیری کارایی است که نخستین بار توسط فارل[2] (۱۹۵۷) براساس مطالعات کوپمنز[3] (۱۹۵۱) و دبرو[4] (۱۹۵۱) ارائه نمود [۲۶، ۳۴، ۱۸] و در ادامه توسط چارنز و همکاران[5] (۱۹۷۸) و بانکر و همکاران[6] (۱۹۸۴) توسعه یافت [۱۲، ۷]. سپس افرادی هم‌چون فار[7] (۱۹۸۸)؛ فار و همکاران (۱۹۹۴) و فار و پریمونت[8] (۱۹۹۴) مطالعات خود را به اندازه‌گیری کارایی اختصاص دادند [۲۳، ۲۴، ۲۶]. با توجه به اینکه ماهیت رویکرد DEA جبری است، بنابراین این واقعیت را نادیده می‌گیرد که متغیرهای ورودی و خروجی ممکن است جبری نباشند [۴۹] و اندازه‌گیری خطاها و عامل تصادفی در داده‌ها را در نظر نمی‌گیرد[۳]. ژانگ و بارتلز[9] (۱۹۹۸) همچنین بیان کردند که میانگین کارایی فنی تخمینی به مقادیر پارامتر بستگی دارد [۵۷]. بانکر[10] (۱۹۹۳) سازگاری ضعیف برآورد DEA را تأیید کرد، به ویژه زمانی که اندازه‌گیری شامل یک ورودی و خروجی است [۸]. در نتیجه،

---

1 . American Chemistry Council
2 . Farrell
3 . Koopmans
4 . Debreu
5 . Charnes et al
6 . Banker et al
7 . Fare
8 . Primont
9 . Zhang and Bartels
10 . Banker

آنها بر نیاز به یک تحلیل جایگزین برای تصحیح رویکرد DEA برای اندازه‌گیری کارایی تأکید کردند. در این زمینه، کامینز و همکاران[1] (۲۰۰۳) و سیمار و ویلسون[2] (۱۹۹۸) معتقدند که نتایج تخمین کارایی با روش DEA بخصوص در نمونه‌های محدود می‌تواند تورش‌دار باشد [۱۶، ۴۷]. هنگام اندازه‌گیری نسبی بهترین عملکرد در نمونه مشاهده شده، این روش ممکن است یک برآوردگر اریب باشد [۳۶]. در روش DEA هنگامی فرآیند تولید داده‌ها (DGP) معلوم نیست و نمرات کارایی بدون هیچ فاصله اطمینانی در تخمین محاسبه می‌شوند، نتایج به یکدیگر وابسته خواهند بود، بنابراین مساله وابستگی رخ می‌دهد [۵۵]. خطای توزیع نمونه‌گیری همراه با تورش مجانبی، بر تخمین DEA تأثیر می‌گذارد، زیرا نمرات ایجاد شده نسبت به تغییرپذیری نمونه‌گیری حساسیت کمتری دارند [۳۰]. علاوه بر این، مرز جبری یک روش غیرآماری است که هیچ عامل تصادفی در داده‌ها مانند نویز تصادفی یا خطاهای اندازه‌گیری را در نظر نمی‌گیرد و با برنامه‌ریزی خطی ریاضی تخمین زده می‌شود [۳، ۳۹، ۳۳]. رویکرد بوت‌استرپ یا خوداه‌انداز (Bootstrap-DEA) یک روش پذیرفته‌شده در علوم اجتماعی و اقتصادسنجی برای ارائه نتایج و راه‌حل‌های واقعی‌تر است [۲]. روش بوت‌استرپ مزایای زیادی دارد که مهترین آن تصحیح نمرات کارایی روش DEA است. در واقع از نظر عملی، رویکرد تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ امکان خالص‌سازی نمرات کارایی روش DEA را فراهم می‌کند، بنابراین مشکلات تخمین در اندازه‌گیری جبری را به حداقل می‌رساند.

هدف اصلی این مقاله، برآورد و ارزیابی کارایی فنی شرکت‌های پتروپالایش بورس اوراق بهادار می‌باشد. بدین منظور از روش تحلیل کارایی شعاعی و غیرشعاعی برای ۲۱ شرکت در دوره ۱۴۰۲-۱۳۹۷ استفاده می‌شود. هم‌چنین برای برآورد کارایی از فناوری‌های بازدهی ثابت، غیرفزاینده، متغیر و روش بوت‌استرپ بهره گرفته خواهد شد. ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. بخش دوم به مرور ادبیات می‌پردازد. بخش سوم به روش‌شناسی و داده‌ها اختصاص دارد. در بخش چهارم نتایج مقاله بیان می‌شود و در نهایت در بخش پنجم به جمع‌بندی و بحث پرداخته می‌شود.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نظریه تولید و تحلیل کارایی به این موضوع می‌پردازد که چگونه بنگاه‌ها یا واحدهای تولیدی در یک بخش خاص، نهاده‌های خود (مانند نیروی‌کار، انرژی و سرمایه) را به ستانده یا کالاها یا خدمات تولید تبدیل می‌کنند. مرز تولید کارآ در فضای داده- ستانده به صورت حداکثر سطح قابل دستیابی ستانده با توجه به نهاده‌های موجود تعریف می‌شود. از طرف دیگر، اگر قیمت نهاده‌ها در دسترس باشد، می‌توان مرز هزینه را نیز در نظر گرفت که بیانگر حداقل هزینه تولید سطوح مختلف ستانده می‌باشد. در همه موارد، مساله اصلی نحوه تخمین سطح مرزی در فضای مربوطه (مانند فضای نهاده-ستانده در حالت مرز تولید یا فضای ستانده-هزینه برحسب مرز هزینه) تحت محدودیت‌های شکلی ناشی از برخی مفروضات اقتصادی است(مانند یکنواختی یا تقعر). کارایی فنی یک برنامه تولید بخصوص (که از نظر هندسی با یک نقطه در فضای نهاده-ستانده مشخص می‌شود) با اندازه‌گیری مناسب فاصله بین این نقطه و مرز بهینه تعیین می‌شود. پیشینه نظریه اقتصادی پشت این تحلیل به مطالعات کوپمن(۱۹۵۱) و دبرو(۱۹۵۱) برمی‌گردد[۳۴، ۱۸].

در مطالعات تجربی، مجموعه قابل دستیابی در فضای نهاده- ستانده مشاهده نشده است، و از این رو، کارایی بنگاه نیز نامعلوم است. این مقادیر باید از نمونه‌ای از ترکیبات مشاهده‌شده مقادیر نهاده و ستانده به‌دست‌آمده از واحدهای تولیدی موجود در بخش مورد مطالعه برآورد شوند. رویکردهای بسیاری در ادبیات از جمله مدل‌های آماری با درجات پیچیدگی متفاوت و با رویکردهای کاملا پارامتریک تا

[1] . Cummins et al
[2] . Simar and Wilson

کاملا ناپارامتریک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اندازه‌گیری‌های کارایی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی معرفی شده به وسیله چارنز و همکاران(۱۹۷۷، ۱۹۷۸) و فار و لاول(۱۹۷۸) به طور گسترده در تحلیل کارایی تولید استفاده می‌شوند[۱۱، ۱۲، ۲۵]. این روش‌ها مبتنی بر تعاریفی از کارایی فنی و تخصیصی در تولید است که توسط فارل(۱۹۵۷) ارائه شده است[۲۷]. در میان این ادبیات، رویکردهایی که شامل فرض تحدب هستند را به عنوان تحلیل پوششی داده‌ها[1](DEA) شناخته می‌شوند. تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتریک است که کارایی را نسبت به تخمین حداکثر درستنمایی یک مرز واقعی مشاهده نشده، مشروط به داده‌های مشاهده شده منتج از یک فرآیند تولید داده (DGP) اندازه‌گیری می‌کند. این روش‌ها به طور گسترده برای ارزیابی کارایی فنی و تخصیصی در صنایع مختلف به کار گرفته شده‌اند[۳۹]. رویکرد DEA همانند سایر روش‌های ریاضی مزایا و معایب خود را دارد. در خصوص مزایا می‌توان این موارد را بیان نمود؛ نخست، این روش به واحدهای اندازه‌گیری حساس نیست و ورودی‌ها با هر نوع واحد اندازه‌گیری می‌توانند وارد مدل شوند؛ دوم، این روش در مقایسه با روش‌های دیگر، قابلیت تعمیم‌دهی و مقیاس‌پذیری بسیار بالایی دارد و بکارگیری آن برای یک واحد می‌تواند اساس کارهای بعدی باشد؛ سوم، روش DEA یک رویکرد مدیریتی است که کارایی نسبی واحدهای تولیدی را اندازه‌گیری می‌کند. اما معایب این روش شامل موضوعات زیر هستند؛ نخست، روش DEA یک تکنیک کاملاً ریاضی و عددی است و خطاهای اندازه‌گیری می‌تواند تغییرات قابل توجهی در نتایج به وجود آورد، بنابراین کنترل ورودی‌ها و خروجی‌ها ضرورت بالایی دارد؛ دوم، این روش نمی‌تواند متغیرهای کیفی را مقایسه کند؛ سوم، اگر تنها یک ورودی یا خروجی در واحدهای تصمیم‌گیر(DMU) تغییر کند، تغییرات اساسی در امتیازات کارایی رخ خواهد داد، و در نهایت، درخصوص ورودی‌ها و خروجی‌های بکار رفته در این روش اتفاق نظر وجود ندارد[۴۳].

تخمین مرز کارایی در روش DEA در قالب دو رویکرد ممکن است؛ رویکرد نخست، مدل‌های وروردی‌محور هستند که در آن مقدار ورودی‌ها باید به طور متناسب کاهش یابند تا مقدار مشخصی خروجی تولید شود؛ رویکرد دوم، مدل‌های خروجی‌محور هستند که در این مدل‌ها بدون تغییر ورودی‌ها، خروجی‌ها تا جایی افزایش می‌یابند که واحد تصمیم‌گیر کارا گردد[۴۶]. از مدل‌های پایه DEA می‌توان به CCR [2] و BCC [3] اشاره کرد. مدل CCR با هدف کاهش مفروضات بازدهی مقیاس ثابت[4](CRS) ارائه شد[۷]. در ادامه کارایی واحدهای تصمیم‌گیر با فرض بازدهی مقیاس متغیر[5](VRS) با استفاده از مدل BCC ارزیابی شد. براساس فرض بازدهی مقیاس ثابت، ورودی‌ها و خروجی‌ها به یک نسبت افزایش می‌یابند[۱۲]. در مقابل اگر تغییر در ورودی‌ها و خروجی‌ها به یک نسبت نباشد، در این‌صورت فرض بازدهی مقیاس متغیر برای تخمین کارایی اعمال خواهد شد[۱۲، ۱۴، ۱۵، ۴۶].

بازرگان و همکاران[6](۲۰۲۳) با بهره‌گیری از روش تحلیل پوششی داده‌ها و مدل پوششی و ضریب مربوط به ساختار زنجیره تامین، کارایی ۲۰ شرکت پتروشیمی را در دوره ۲۰۱۹-۲۰۱۶ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که هیچ یک از این ۲۰ شرکت از کارایی کلی برخوردار نبودند[۹]. کوئلهو و همکاران[7](۲۰۲۳) در مطالعه خود از تحلیل پوششی داده‌ها(DEA) برای محاسبه کارایی نسبی شرکت‌های پتروشیمی کشور برزیل در یک دوره چهار ساله استفاده کردند. نتایج نشان داد که میانگین کارایی در این شرکت‌ها تقریبا بین ۴۰ تا ۸۰ درصد است. نتایج آنها همچنین بیانگر یک فرآیند یادگیری است، زیرا میانگین کارایی طی سه سال

[1] . Data Envelopment Analysis
[2] . Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR)
[3] . Banker, Charnes, Cooper (BCC)
[4] . constant returns to scale
[5] . variable returns to scale
[6] . Bazargan et al
[7] . Coelho et al

افزایش یافته است[۱۳]. وانگ و همکاران[1](۲۰۲۲) با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها(DEA) و روش‌های BCC و CCR به ارزیابی کارایی نسبی محیطی و کارایی عملیاتی ۱۰ شرکت پتروشیمی منطقه شمال شرق چین پرداختند. آنها دریافتند هیچ یک از این شرکت‌ها از کارایی زیست‌محیطی و فنی برخوردار نبودند[۵۳]. فلاح و حسین‌زاده‌لطفی[2](۲۰۲۰) با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها کارایی ۷ شرکت پتروشیمی پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار ایران را در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد تنها شرکت پتروشیمی مارون در تمامی زمینه‌ها و سال‌ها کارا بوده است. علاوه بر این ۴ شرکت نیز از نظر مالی کارا بوده‌اند. براساس نتایج کلی مقاله، شرکت‌های مارون در رتبه نخست، جم در رتبه دوم و زاگرس در رتبه سوم قرار گرفتند[۲۲]. آتریس[3](۲۰۲۰) در مقاله خود کارایی عملیاتی پالایشگاه‌های نفت و گاز را در چهار منطقه جهانی (آمریکا و کانادا، اروپا، آسیا–اقیانوسیه، منا) با روش تحلیل پوششی داده‌ها در دوره ۲۰۱۷–۲۰۰۸ بررسی نمودند. نتایج بیان داشت میانگین کارایی تعدیل‌شده بین این مناطق در طی ۱۰ سال گذشته متفاوت بوده است؛ احتمالا به این دلیل که در مناطق آمریکا و کانادا و اروپا شرکت‌های بزرگ و پالایشگاه‌های پیچیده‌ای وجود دارند که از فناوری بسیار پیشرفته استفاده می‌کنند [۵]. حسینی و استفانیک[4] (۲۰۱۹) با استفاده از یک روش تحلیل پوششی داده‌ها دو مرحله‌ای به ارزیابی کارایی صنعت پالایش نفت ایران در دوره ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ پرداختند. نتایج تجربی نشان داد کارایی در بین پالایشگاه‌های ایران پایین است که نشان‌دهنده رابطه منفی بین نمرات کارایی کلی و میزان مازوت تولیدی در پالایشگاه‌ها است[۳۱]. سویوشی و وانگ[5] (۲۰۱۸) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل پنجره در صنایع نفت آمریکا به این نتیجه رسیدند که نرخ‌های رشد کارایی در دوره‌های سالانه تغییر عمده‌ای را نشان نداده است و اینکه با ورود محصولات نامطلوب مانند انتشار کربن، سطح کارایی شرکت‌ها کمتر است [۵۲]. لی و همکاران[6] (۲۰۱۸) با بررسی شرکت‌های سوخت فسیلی در ۳۰ استان چین از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲ و با استفاده از شاخص‌های کارایی یکپارچه فرامرزی مالم‌کوئیست به این نتیجه رسیدند این شرکت‌ها از نظر کارایی با یکدیگر تفاوت‌های زیادی دارند، و اینکه در استان‌های ساحلی سطح کارایی بیشتر است [۳۶]. هان و همکاران[7] (۲۰۱۶) با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه عصبی مصنوعی یکپارچه، وجود کارایی را در صنایع پتروشیمی چین تایید نمودند [۳۲]. سویوشی و وانگ(۲۰۱۸) در صنعت نفت آمریکا و با بهره‌گیری از روش تحلیل پوششی داده‌ها بیان داشتند با در نظر گرفتن تولیدات نامطلوب در کنار محصولات مطلوب، سطح کارایی کاهش می‌یابد.

مطالعاتی در ایران به ارزیابی کارایی شرکتها پرداخته‌اند. الفت و همکاران (۱۴۰۲) عملکرد ۲۰ شرکت پتروشیمی پذیرفته شده در بورس را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و روش CCR ورودی‌محور ارزیابی نمودند. نتایج مقاله نشان داد با حذف همبستگی بین شاخص‌ها، تنها شرکت خارک به بیشترین کارایی دست یافته است [۴۲]. یاری‌فرد و همکاران (۱۴۰۲) کارایی بانک‌های تجاری و تخصصی ایران را در دوره ۱۳۹۸–۱۳۸۵ با استفاده از مدل مرزی تصادفی برآورد نمودند. آنها نشان دادند متوسط کارایی بانک‌های ایران ۸۰ درصد می‌باشد [۵۶]. ابراهیمی و همکاران (۱۴۰۲) با بهره‌گیری از تحلیل پوششی داده‌های شعاعی و غیرشعاعی به ارزیابی کارایی ۹ شرکت پرداختند. آنها دریافتند در حالت CRS هیچ واحدی کارا نبوده و در حالت VRS تنها دو واحد کارا هستند[۲۰]. مجیدی و همکاران (۱۴۰۰) با روش تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی عملکرد دانشگاه‌ها و مؤسسه‌های آموزش عالی پرداختند. نتایج نشان داد در سال‌های اخیر عملکرد دانشگاه‌ها در فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی مناسب بوده، و فعالیت‌های کارآفرینی و ارتباط با صنعت آنها در حال پیشرفت است[۳۷]. استادی و زرین‌کلاه(۱۳۹۹) کارایی ۱۴ شرکت پتروشیمی فعال در بورس را برپایه کارکردهای منابع انسانی،

[1] . Wang et al
[2] . Fallah and Hosseinzadeh Lotfi
[3] . Atris
[4] . Hosseini and Stefaniec
[5] . Sueyoshi and Wang
[6] . Li et al
[7] . Han et al

عملیات و فروش با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد از ۱۴ شرکت مورد بررسی، تنها ۳ شرکت کارا بودند [۴۴]. درویش‌متولی و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی کارایی زنجیره تامین شرکت‌های سیمان بورسی در دوره ۱۳۹۵-۱۳۹۳ با بهره‌گیری از روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که در میان شرکت‌های سیمان، تنها ۷ شرکت کارایی خود را حفظ کرده و سایر شرکت‌ها نوسان عملکرد داشته‌اند [۱۷]. امیری (۱۳۹۷) کارایی ۱۵ بانک منتخب ایران را در دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۵ با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها اندازه‌گیری نمود. نتایج پژوهش نشان داد به طور میانگین، کارایی بانک‌های دولتی ۸۷ درصد، کارایی بانک‌های خصوصی ۹۴ درصد و کارایی بانک‌های دولتی خصوصی‌شده ۹۸ درصد است [۴]. قاسمی و همکاران(۱۳۹۷) کارایی ۹۶ شرکت بورسی را مورد بررسی قرارداده و دریافتند که تقریبا بیشتر شرکت‌ها در دوره مورد بررسی ناکارا بوده‌اند [۲۹]. سلیمانی دامنه و همکاران (۱۳۹۶) از یک رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا برای ارزیابی کارایی ۱۴ بانک ایران در دوره ۱۳۹۳-۱۳۹۱ استفاده کردند. نتایج نشان داد هیچ یک از این ۱۴ بانک از کارایی کلی برخوردار نبوده‌اند[۵۰]. دعائی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی کارایی ۶۰ شرکت بورسی پرداختند و نشان دادند تمامی شرکت‌ها در دوره ۶ ساله به طور مثبت فناوری خود را ارتقاء داده‌اند که این موضوع منجر به بهبود در کارایی کلی آنها شده است [۱۹]. امامی میبدی و همکاران (۱۳۹۰) به اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری مجتمع‌های پتروشیمی در ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم‌کوئیست در دوره ۱۳۸۶-۱۳۸۰ پرداختند. نتایج نشان داد متوسط کارایی فنی مجتمع‌های پتروشیمی تحت فرض بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس به ترتیب برابر ۵۵.۷ و ۶۴.۴ درصد بوده است. هم‌چنین مجتمع‌های پتروشیمی برزویه و خوزستان به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین کارایی فنی را در بین مجتمع‌های پتروشیمی دارا بودند [۲۱]. نامداری و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به بررسی کارایی ده بانک دولتی ایران در دوره ۱۳۸۶-۱۳۸۲پرداختند. نتایج مقاله نشان داد بانک‌های دولتی ایران در محدوده بازدهی فزاینده قرار دارند [۴۱]. پورکاظمی (۱۳۸۵) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به تعیین کارایی مجتمع‌های پتروشیمی در دوره ۱۳۸۲-۱۳۷۹ پرداخت. وی نشان داد مجتمع‌های پتروشیمی ایران در مجموع دارای کارایی ۸۴ درصد بوده و مجتمع پتروشیمی بندر امام خمینی و خارک کارا عمل نموده‌اند [۴۵].

مقایسه روش این مقاله درخصوص ورودی‌ها و خروجی با سایر مطالعات که خلاصه آنها در جدول ۱ آمده است، به شرح زیر است؛ نخست اینکه در مورد نهاده نیروی‌کار به عنوان یکی از ورودی‌ها، تقریبا در بیشتر مطالعات به عنوان ورودی در نظر گرفته شده است[۹، ۲۲، ۳۶، ۵۱، ۴۴، ۲۱، ۴۵]. اما در خصوص نهاده دارایی‌های ثابت که متغیر نیز در مطالعات مختلف استفاده شده، در مقاله ما این متغیر به عنوان پراکسی موجودی سرمایه استفاده شده است. این دو ورودی براساس نظریه‌های رشد، نهاده‌های کلاسیک تولید می‌باشند[سولو، ۱۹۵۷]. از آنجا کار اصلی این مقاله برآورد کارایی فنی شرکت‌ها است که به فرآیند تولید اشاره دارند، بنابراین این دو متغیر، ورودی‌های اصلی به حساب می‌آیند. این در حالی است که اگر هدف برآورد سایر کارایی‌ها از جمله کارایی تخصیصی، کارایی مالی، کارایی مدیریتی، کارایی سبز و غیر باشد، ورودی و خروجی‌ها می‌توانند متفاوت باشند[۳۶، ۵۲].

مطالعاتی که به ارزیابی کارایی شرکت‌های پتروشیمی پرداخته‌اند، از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) استفاده کرده‌اند. روش DEA فرض می‌کند که پارامترهای ورودی و خروجی استفاده شده در تخمین مدل به اندازه‌گیری کامل کارایی ختم می‌شوند. از اینرو روش DEA یک روش تحلیلی کاملاً جبری است و در رویکرد برنامه‌ریزی خطی بهینه آن، جمله تصادفی وجود ندارد [۲۸]. با توجه به این مسئله امکان تورش‌دار بودن نتایج روش DEA وجود دارد. در حالی در روش تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ این نقیصه برطرف می‌شود. در واقع در این مقاله از روش تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ برای اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های پتروشیمی بهره گرفته می‌شود که مزایای زیادی دارد. مهترین مزیت آن تصحیح نمرات کارایی روش DEA است. از نظر عملی، رویکرد تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ امکان خالص‌سازی نمرات کارایی روش DEA را فراهم می‌کند، بنابراین مشکلات تخمین در اندازه‌گیری جبری را به حداقل می‌رساند.

جدول ۱: اهم مطالعات اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های پتروشیمی

| نام نویسندگان | روش | نتیجه | ورودی | خروجی |
|---|---|---|---|---|
| بازرگان و همکاران (۲۰۲۳) | تحلیل پوششی داده‌ها، ۲۰۱۹-۲۰۱۶ | ۲۰ شرکت پتروشیمی کارا نبودند | تعداد کارکنان، هزینه تولید | ارزش تولید محصولات |
| کوئلهو و همکاران (۲۰۲۳) | تحلیل پوششی داده‌ها | میانگین کارایی شرکت‌های پتروشیمی برزیل بین ۴۰ تا ۸۰ درصد است | سرمایه‌گذاری، هزینه انرژی، ابزارآلات تولید | ارزش تولید |
| وانگ و همکاران (۲۰۲۲) | تحلیل پوششی داده‌ها و روش‌های BCC و CCR | ۱۰ شرکت پتروشیمی منطقه شمال شرق چین از کارایی محیط‌زیستی و عملیاتی برخوردار نبودند | کل دارایی‌ها، ارزش آب مصرفی، ارزش برق مصرفی، نفت خام، ارزش سوخت فسیلی مصرفی | ارزش تولید، سود کل |
| فلاح و حسین‌زاده‌لطفی (۲۰۲۰) | تحلیل پوششی داده‌ها، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ | از ۷ شرکت پتروشیمی بورسی ایران تنها شرکت مارون در تمامی زمینه‌ها و سال‌ها کارا بوده است. | منابع انسانی، سرمایه، تجربه مدیریت | تنوع تولید، ظرفیت تولید، سود عملیاتی |
| حسینی و استفانیک (۲۰۱۹) | تحلیل پوششی داده‌های دو مرحله‌ای، ۱۳۹۴-۱۳۹۰ | پایین بودن کارایی پالایشگاه‌های ایران | نفت خام، ظرفیت تولید، کل دارایی‌ها | درآمد کل |
| سویوشی و وانگ (۲۰۱۸) | تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل پنجره | عدم تغییر نرخ‌های رشد کارایی | دارایی کل، هزینه عملیاتی، هزینه ثابت | درآمد خالص، تولید نفت، انتشار کربن |
| لی و همکاران (۲۰۱۸) | کارایی یکپارچه فرامرزی مالم‌کوئیست | شرکت‌ها از نظر کارایی تفاوت‌های زیادی دارند، و در استان‌های ساحلی کارایی بیشتر است | ظرفیت تولید، نیروی‌کار ، ارزش سوخت فسیلی | ارزش محصولات، انتشار کربن |
| هان و همکاران (۲۰۱۶) | تحلیل پوششی داده‌های شبکه عصبی مصنوعی یکپارچه | صنایع پتروشیمی چین دارای کارایی هستند | نفت خام، مصرف برق، مصرف آب، مصرف سوخت فسیلی | تولید محصولات |
| سویوشی و وانگ (۲۰۱۴) | تحلیل پوششی داده‌ها | کاهش کارایی با در نظر گرفتن تولیدات نامطلوب | هزینه تحقیق و توسعه، کل دارایی‌ها، نیروی‌کار، هزینه ثابت | درآمد کل |
| الفت و همکاران (۱۴۰۲) | تحلیل پوششی داده‌ها و روش CCR ورودی‌محور | از میان ۲۰ شرکت پتروشیمی بورسی ایران تنها شرکت خارک به بیشترین کارایی دست یافته است. | هزینه مواد مستقیم، هزینه دستمزد مستقیم، هزینه سربار تولید، سایر هزینه‌ها | ارزش فروش کل، سود خالص |
| استادی و زرین‌کلاه (۱۳۹۹) | تحلیل پوششی داده‌ها | از ۱۴ شرکت پتروشیمی بورسی ایران، تنها ۳ شرکت کارا بودند. | هزینه آموزش کارکنان، هزینه مواد اولیه، هزینه دستمزد | کل تولید، کل فروش |
| امامی میبدی و همکاران (۱۳۹۰) | تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم‌کوئیست،۱۳۸۶-۱۳۸۰ | متوسط کارایی فنی مجتمع‌های پتروشیمی بین ۵۵.۷ تا ۶۴.۴ درصد بوده است. | مواد مصرفی، ارزش دارایی‌ها، تعداد نیروی‌کار | ارزش فروش داخلی، ارزش صادرات |
| پورکاظمی (۱۳۸۵) | روش تحلیل پوششی داده‌ها ، ۱۳۷۹-۱۳۸۲ | کارایی مجتمع‌های پتروشیمی ایران ۸۴ درصد بوده و پتروشیمی بندر امام خمینی و خارک کارا بوده‌اند. | نیروی انسانی، هزینه سرمایه‌گذاری، مواد اولیه، هزینه مواد شیمیایی | ارزش فروش داخلی، ارزش صادرات |

## ۳. روش‌شناسی پژوهش

در این بخش، دو نوع معیار کارایی ناپارامتریک شعاعی و غیرشعاعی بیان می‌شود.

**تحلیل کارایی شعاعی.** معیارهای کارایی فنی برای نقاط داده‌های تولید، برمبنای معیارهای شعاعی قرادادی دبرو–فارل هستند[۱۸، ۲۷]. برای هر نقطه داده $k\ (k = 1, \dots, K)$، بردار $x_k(x_{k1}, \dots, x_{kN}) \in \Re^N$ نشان‌دهنده $N$ نهاده و بردار $y_k(y_{k1}, \dots, y_{kN}) \in \Re^M$ بیانگر $M$ ستانده می‌باشد. فرض می‌گردد تحت فناوری $T$، داده‌ها $(x, y)$ به گونه‌ای هستند که ستانده‌ها توسط نهاده‌ها تولید می‌شوند.

$$T = \{(x, y): y \text{ توسط } x \text{ قابل تولید هستند}\} \quad (۱)$$

فناوری تولید به طور کامل توسط مجموعه امکانات تولید آن مشخص می‌شود؛

$$P(x) \equiv \{y \ : \ (x, y) \in T\} \quad (۲)$$

یا مجموعه نهاده‌های مورد نیاز،

$$L(y) \equiv \{x \ : \ (x, y) \in T\} \quad (۳)$$

شرایط (۲) و (۳) نشان می‌دهند ستانده‌ها و نهاده‌های در دسترس شدنی هستند. حد بالایی مجموعه امکانات تولید و حد پایینی مجموعه مورد نیاز نهاده‌ها، مرز را مشخص می‌کنند. اینکه یک نقطه داده مشخص چقدر از مرز فاصله دارد نشان‌دهنده کارایی آن است. در اندازه‌گیری کارایی شعاعی ستانده‌محور، میزان توسعه (نسبی) لازم ستانده‌ها برای جابجایی یک نقطه داده به مرز مجموعه امکانات تولید $P(x)$ به عنوان معیاری برای کارایی فنی عمل می‌کند. در مقابل، در اندازه‌گیری کارایی شعاعی نهاده‌محور، مقدار کاهش ضروری (نسبی) نهاده‌ها برای انتقال یک نقطه داده به مرز مجموعه مورد نیاز نهاده‌ها $L(y)$ است. از نظر تجربی، کارایی فنی از طریق مدل‌های تحلیل فعالیت، که به عنوان مدل‌های DEA شناخته می‌شوند، اندازه‌گیری می‌شوند. برای $K$ نقاط داده، $M$ ستانده و $N$ نهاده، برآورد معیار کارایی فنی شعاعی ستانده‌محور دبرو– فارل را می‌توان با حل یک مسئله برنامه‌ریزی خطی برای هر نقطه داده $k\ (k = 1, \dots, K)$ محاسبه کرد؛

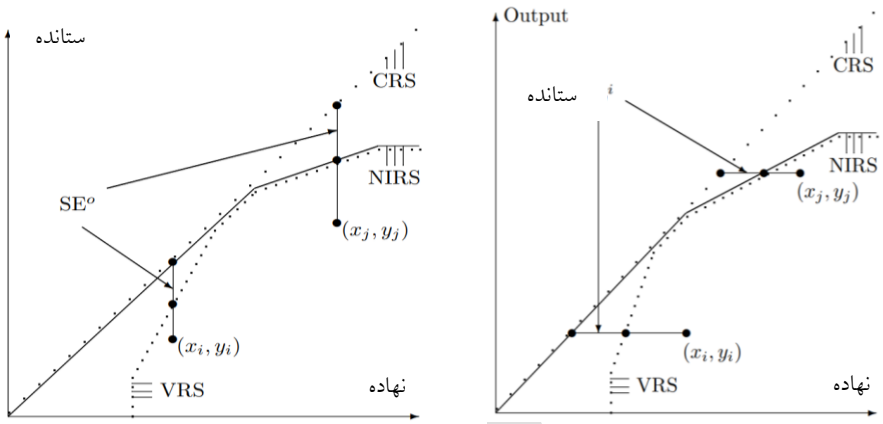
$$\begin{aligned} \hat{F}_k^O(y_k, x_k, y, x|CRS) &= \max_{\theta, z} \theta \\ s.t. \sum_{k=1}^{K} z_k y_{km} &\geq y_{km}\theta_m, \qquad m = 1, \dots, M \\ \sum_{k=1}^{K} z_k x_{kn} &\leq x_{kn}, \qquad n = 1, \dots, N \\ z_k &\geq 0 \end{aligned} \quad (۴)$$

$y$ یک ماتریس $K \times M$ از داده‌های موجود در ستانده‌ها و $x$ یک ماتریس $K \times N$ از داده‌های موجود در نهاده‌ها است. تخمین $P(x)$ کوچک‌ترین مدل FDH[1]است که داده‌های مشاهده‌شده را شامل می‌شود، و حد بالایی آن، تخمین خطی تکه‌ای از مرز بهترین عملکرد واقعی $P(x)$ است. معادله (۴) با فرض بازدهی مقیاس ثابت(CRS) است. سایر بازده‌های مقیاس با تعدیل سطوح عملیاتی فرآیند $z_k$

[1] . free-disposal hull

مدل‌سازی می‌شوند؛ به طوری که برای بازدهی مقیاس متغیر(VRS)، یک قید تحدب‌پذیری اضافه می‌شود $\sum_{k=1}^{K} z_k = 1$[1]، در حالی که برای بازدهی مقیاس غیرفزاینده(NIRS) نابرابری $\sum_{k=1}^{K} z_k \leq 1$[2] به مجموعه قیود مسئله برنامه‌ریزی خطی (۴) اضافه می‌شود.

در سمت چپ شکل ۱ (سمت راست) فاصله عمودی (افقی) از یک نقطه داده $(x_i, y_i)$ یا $(x_j, y_j)$ تا مرز بهترین عملکرد CRS، VRS و NIRS بیانگر کارایی فنی ستانده‌محور (نهاده‌محور) تحت فرض فناوری‌های مختلف است. در حالت چند بعدی، فاصله لازم مسیر شعاعی از یک نقطه داده است که موازی با محورهایی است که در امتداد آن همه ستانده‌ها (نهاده‌ها) اندازه‌گیری شده‌اند.




*شکل ۱: کارایی فنی و مقیاس ستانده‌محور و نهاده‌محور*

**تحلیل کارایی غیرشعاعی.** برای نقطه داده $(x_k, y_k)$، اندازه شعاعی تمامی $M$ ستانده$(y_k = y_{k1}, \dots, y_{kM})$ و $N$ نهاده$(x_k = x_{k1}, \dots, x_{kN})$ را به طور متناسب افزایش می‌دهد تا زمانی که به مرز برسد. در نقطه مرزی، برخی از ستانده‌ها (نهاده‌ها) اما نه همه آنها را می‌توان افزایش داد، در حالی که هم‌چنان شدنی باشد. اگر چنین امکانی برای یک نقطه داده معین مانند $k$ برای ستانده $m$ (نهاده $n$) وجود داشته باشد، آنگاه گفته می‌شود که نقطه مرجع $F_k^O(y_k, x_k) \times y_{mk}\left[F_k^i(y_k, x_k) \times x_{nk}\right]$ در ستانده $y_m$ (نهاده $x_n$) اسلک دارد. اندازه غیرشعاعی کارایی فنی، معیار راسل[3](RM)، چنین اسلک‌هایی را در خود جای می‌دهد[۲۵، ۲۴]. اندازه‌گیری غیرشعاعی ستانده‌محور برای نقطه داده $j$ به صورت زیر تعریف می‌شود؛

$$RM_k^O(y_k, x_k, y, x|CRS) = max\left\{M^{-1}\sum_{m=1}^{M}\theta_m:\ \begin{matrix}(\theta_1 y_{k1}, \dots, \theta_M y_{kM}) \in P(x) \\ \theta_m \geq 0, m = 1, \dots, M\end{matrix}\right\}$$

و اندازه‌گیری غیرشعاعی نهاده‌محور به قرار زیر است؛

$$RM_k^i(y_k, x_k, y, x|CRS) = min\left\{N^{-1}\sum_{n=1}^{N}\lambda_n:\ \begin{matrix}(\lambda_1 x_{k1}, \dots, \lambda_N x_{kN}) \in L(y) \\ \lambda_n \geq 0, n = 1, \dots, N\end{matrix}\right\}$$

---

[1] . این برابری تضمین می‌کند که نقطه داده $k$ فقط با نقاط داده با اندازه مشابه مقایسه می‌شود. براساس فرض CRS، نقاط داده با اندازه‌های مختلف ممکن است با یکدیگر مقایسه شوند.

[2] . این نابرابری تضمین می‌کند که نقطه داده $k$ با سایر نقاط داده که به طور قابل توجهی بزرگتر هستند مقایسه نمی‌شود. اما ممکن است با نقاط داده کوچکتر مقایسه شود.

[3] . Russell measure

معیار راسل(RM) ستانده‌محور را می‌توان برای ستانده‌های مثبت به عنوان راه‌حلی برای مسئله برنامه‌ریزی خطی محاسبه کرد؛

$$RM_k^O(y_k, x_k, y, x|CRS) = M^{-1} \max_{\theta,z} \sum_{m=1}^{M} \theta_m$$
$$s.t. \sum_{k=1}^{K} z_k y_{km} \geq y_{km}\theta_m, \qquad m = 1, \dots, M$$
$$\sum_{k=1}^{K} z_k x_{kn} \leq x_{kn}, \qquad n = 1, \dots, N \tag{۵}$$
$$z_k \geq 0$$

و معیار راسل(RM) داده‌محور را می‌توان برای نهاده‌های مثبت به عنوان راه‌حلی برای مسئله برنامه‌ریزی خطی محاسبه کرد؛

$$\widehat{RM}_k^i(y_k, x_k, y, x|CRS) = N^{-1} \min_{\theta,z} \sum_{n=1}^{N} \lambda_n$$
$$s.t. \sum_{k=1}^{K} z_k y_{km} \geq y_{km}, \qquad m = 1, \dots, M$$
$$\sum_{k=1}^{K} z_k x_{kn} \leq x_{kn}\lambda_n, \qquad n = 1, \dots, N \tag{۶}$$
$$z_k \geq 0$$

اگر ستانده $y_{km} = 0$ $(x_{kn} = 0)$ باشد، آنگاه مسئله برنامه‌ریزی خطی (۵) و (۶) اصلاح شده و $\theta_m$ $(\lambda_n)$ برابر یک قرار می‌گیرد. فناوری‌ها را تحت VRS و NIRS می‌توان با اعمال قیود مربوطه بر بردار شدت، $z$، در فناوری خطی تکه‌ای، یعنی در (۵) و (۶) مدل‌سازی کرد. سپس معیار راسل(RM) را می‌توان نسبت به این فناوری‌ها محاسبه کرد. وقتی فقط یک نهاده(ستانده) وجود دارد، معیار راسل(RM) نهاده‌محور(ستانده‌محور) برابر با معیار کارایی فنی شعاعی دبرو- فارل است.

**استنتاج آماری در مدل مرزی شعاعی.** اگرچه روش DEA معمولاً جبری در نظر گرفته می‌شود، اما کارایی هم‌چنان هنوز نسبت به مرز تخمینی و نه مرز واقعی محاسبه می‌شود. نمرات کارایی به‌دست‌آمده از یک نمونه محدود منوط به تغییرپذیری نمونه‌گیری مرز تخمینی است. معیارهای کارایی فنی تخمینی بسیار خوش‌بینانه هستند، زیرا برآورد DEA از مجموعه تولید لزوما زیرمجموعه ضعیفی از مجموعه تولید واقعی تحت فروض استاندارد زیربنایی DEA است. استنتاج آماری درخصوص برآوردهای DEA شعاعی را می‌توان از طریق تکنیک بوت‌استرپ ارائه نمود[۴۷، ۴۸، ۳۵]. فرآیند بوت‌استرپ امکان تخمین تورش و فاصله اطمینان برآورد اولیه را فراهم می‌کند[۱]. بادوننکو و همکاران(۲۰۱۲) ویژگی‌های آماری برآوردگر تصحیح‌شده تورش را در نمونه‌های محدود مطالعه کردند[۶]. تکنیک بوت‌استرپ مبتنی بر چند فرض است. در مدل کارایی ستانده‌محور، فرض اصلی به این بستگی دارد که آیا معیارهای کارایی فنی تخمینی ستانده‌محور مستقل از ترکیب ستانده‌ها هستند یا خیر. در مدل کارایی نهاده‌محور، فرض اصلی وابسته به این است آیا معیارهای کارایی فنی تخمینی نهاده‌محور مستقل از ترکیب نهاده‌ها هستند یا خیر. این وابستگی را می‌توان با توجه به فرض بازدهی مقیاس فناوری جهانی آزمون نمود[۵۴]. اگر معیارهای کارایی فنی ستانده‌محور مستقل از ترکیب ستانده‌ها باشد، می‌توان از بوت‌استرپ همگن هموار استفاده کرد. در مقابل اگر، معیارهای کارایی فنی ستانده‌محور مستقل از ترکیب ستانده‌ها نباشند، باید از بوت‌استرپ ناهمگن برای ارائه

[۱] . برای جزئیات بیشتر به مقاله سیمار و ویلسون(۲۰۰۷) رجوع کنید.

استنتاج آماری معتبر استفاده شود. نوع دوم بوت‌استرپ از نظر محاسباتی بسیار سخت است و ممکن است برای مجموعه داده‌های بزرگ مدت زمان زیادی طول بکشد.

*جدول ۲: تشریح متغیرها، پارامترها و اندیس‌های مدل*

| متغیر | شرح |
|---|---|
| $m$ | اندیس بیانگر خروجی مدل است که برابر ۱ است |
| $n$ | اندیس بیانگر ورودی‌های مدل است که برابر ۳ است |
| $\theta$ | پارامتر کارایی |
| $k$ | اندیس بیانگر تعداد واحدهای تصمیم‌گیر(DUM) که ۲۱ شرکت است |
| $y_{km}$ | خروجی mام واحد تصمیم‌گیر kام |
| $x_{kn}$ | ورودی nام واحد تصمیم‌گیر kام |
| $z$ | نوع بازدهی مقیاس |

**داده‌ها.** با توجه به محدودیت‌های موجود، داده‌های ۲۱ شرکت پتروپالایش بورسی در دوره ۱۴۰۲-۱۳۹۷ به صورت سالانه جمع‌آوری شد. در جدول(۳) متغیرهای ورودی و خروجی برای اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های پتروپالایش ارائه شده است. داده‌های موردنظر از سامانه جامع اطلاع‌رسانی ناشران اوراق بهادار(کدال) استخراج شده است.

*جدول ۳: متغیرهای ورودی، خروجی و نحوه اندازه‌گیری آنها*

| نهاده‌ها و ستانده | شاخص | نحوه اندازه‌گیری |
|---|---|---|
| ستانده | تولید | کل محصولات تولید شده (تعداد) |
| نهاده‌ها | موجودی سرمایه | خالص دارایی‌های ثابت(میلیون ریال) |
| | اشتغال | تعداد کارکنان تولیدی(نفر) |
| | انرژی | هزینه انرژی شامل آب، برق، گاز و سوخت(میلیون ریال) |

در جدول(۴) آمار توصیفی متغیرهای تحقیق ارائه شده است. میانگین تولید شرکت‌های پتروپالایش بورسی در دوره ۱۴۰۲-۱۳۹۷ حدود ۵۳۹۳۳ بوده است. هم‌چنین میانگین دارایی ثابت این شرکت‌ها در این دوره حدود ۲۰۸۲۱ مکیلیارد ریال بوده است که کمترین آن مربوط به شرکت پتروشیمی فناوران(شفن) در سال ۱۴۰۰ بوده که حدود ۶۲۸ میلیارد ریال است.

*جدول ۴: آمار توصیفی نهاده‌ها و ستانده، ۱۳۹۷-۱۴۰۲*

| متغیرها | **میانگین** | **انحراف استاندارد** | **بیشترین** | **کمترین** | **مشاهدات** |
|---|---|---|---|---|---|
| تولید(تعداد) | ۵۳۹۳۳ | ۲۲۵۰۰۰ | ۱۱۷۰۰۰۰ | ۱۰۸۶ | ۱۲۶ |
| دارایی ثابت(میلیارد ریال) | ۲۰۸۲۱ | ۳۷۵۲۶ | ۳۲۰۰۰۰ | ۶۲۸ | ۱۲۶ |
| تعداد کارکنان(نفر) | ۶۰۰ | ۶۰۸ | ۲۴۱۵ | ۵۸ | ۱۲۶ |
| هزینه انرژی(میلیارد ریال) | ۱۲۰۰۸ | ۱۲۷۲۰ | ۴۹۰۹۱ | ۴۰۱۱ | ۱۲۶ |

منبع: کدال و محاسبات نویسنده

میانگین تعداد کارکنان نیز در دوره مورد بررسی حدود ۶۰۰ نفر می‌باشد که بیشترین آن مربوط به پتروشیمی شازند(شاراک) در سال ۱۴۰۲ می‌باشد که ۲۴۱۵ نفر تعداد کارکنان تولیدی شرکت بوده است. کمترین مقدار نیز به پتروشیمی فناوران(شفن) در سال ۱۳۹۷ اختصاص دارد که حدود ۵۸ نفر کارکن تولیدی داشته است. در نهایت میانگین هزینه انرژی این شرکت‌ها حدود ۱۲۰۰۸ میلیارد ریال بوده است که شرکت پالایش نفت تهران(شتران) با ۴۹۹۰۱ میلیارد ریال بیشترین هزینه انرژی را در سال ۱۴۰۲ انجام داده است.

## ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

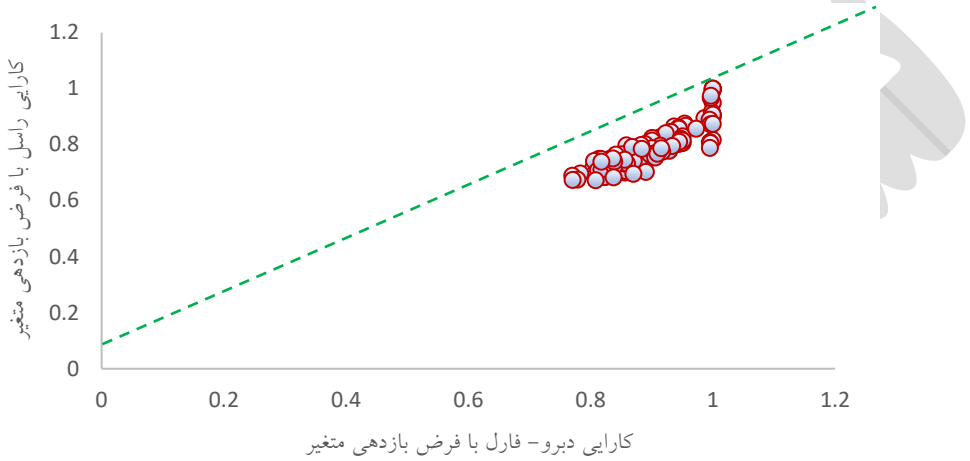
با توجه به روش‌شناسی مقاله، نتایج به چند بخش تقسیم می‌شود. در بخش نخست نمرات کارایی نهاده‌محور تحت فروض فناوری CRS، VRS و NIRS برای ۲۱ پتروپالایش در دوره ۱۴۰۲-۱۳۹۷ با دو رویکرد شعاعی(کارایی دبرو- فارل) و غیرشعاعی(کارایی راسل) برآورد شده است. نتایج در جدول ۵ نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهند در دوره مورد بررسی، پتروشیمی تندگویان(شگویا) در هر سه فرض بازدهی ثابت، متغیر و غیرفزاینده از کارایی دبرو- فارل برخوردار است. هم‌چنین پتروشیمی زاگرس و فناوران(شفن) در فرض بازدهی متغیر دارای کارایی دبرو- فارل است؛ اما سایر شرکت‌ها ناکارا هستند. بدترین وضعیت را در میان این ۲۱ شرکت، در کارایی دبرو-فارل مربوط به پتروشیمی غدیر(شغدیر) با نمره کارایی ۰.۶۸ با فرض بازدهی ثابت می‌باشد. هم‌چنین در کارایی غیرشعاعی راسل نیز بدترین وضعیت به شرکت شغدیر اختصاص دارد. مطابق انتظار، معیارهای شعاعی بدتر از معیارهای غیرشعاعی برای هر دو نوع بازدهی مقیاس CRS و VRS نیستند.

*جدول ۵: متوسط کارایی شعاعی و غیرشعاعی شرکت‌های پتروپالایش بورسی، ۱۴۰۲-۱۳۹۷*

| | کارایی شعاعی(کارایی دبرو- فارل) | | | کارایی غیرشعاعی(کارایی راسل) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| شرکت | CRS | NIRS | VRS | CRS | NIRS | VRS |
| آریا | ۰.۷۴ | ۰.۷۴ | ۰.۸۱ | ۰.۶۴ | ۰.۶۴ | ۰.۷۲ |
| بوعلی | ۰.۸۴ | ۰.۸۴ | ۰.۹۳ | ۰.۷۲ | ۰.۷۲ | ۰.۸۳ |
| پارس | ۰.۹۱ | ۰.۹۱ | ۰.۹۲ | ۰.۷۶ | ۰.۷۶ | ۰.۸۱ |
| جم | ۰.۸۱ | ۰.۸۱ | ۰.۸۶ | ۰.۶۹ | ۰.۶۹ | ۰.۷۵ |
| خراسان | ۰.۹۰ | ۰.۹۰ | ۰.۹۶ | ۰.۷۶ | ۰.۷۶ | ۰.۸۷ |
| زاگرس | ۰.۹۹ | ۰.۹۹ | ۱ | ۰.۸۶ | ۰.۸۶ | ۰.۸۷ |
| شاراک | ۰.۷۵ | ۰.۷۵ | ۰.۸۶ | ۰.۶۴ | ۰.۶۴ | ۰.۷۱ |
| شپدیس | ۰.۷۵ | ۰.۷۵ | ۰.۸۲ | ۰.۶۵ | ۰.۶۵ | ۰.۷۳ |
| شخارک | ۰.۷۶ | ۰.۷۶ | ۰.۸۶ | ۰.۶۶ | ۰.۶۶ | ۰.۷۷ |
| شغدیر | ۰.۶۸ | ۰.۶۸ | ۰.۹۵ | ۰.۵۹ | ۰.۵۹ | ۰.۸۱ |
| شفن | ۰.۸ | ۰.۸ | ۱ | ۰.۶۵ | ۰.۶۵ | ۰.۹۱ |
| شگویا | ۱ | ۱ | ۱ | ۰.۸۸ | ۰.۹۸ | ۰.۹۸ |
| شیراز | ۰.۸۱ | ۰.۸۱ | ۰.۸۳ | ۰.۷۲ | ۰.۷۲ | ۰.۷۶ |
| کرماشا | ۰.۷۷ | ۰.۷۷ | ۰.۸۵ | ۰.۶۷ | ۰.۶۷ | ۰.۷۷ |
| مارون | ۰.۸۳ | ۰.۸۳ | ۰.۸۶ | ۰.۷۰ | ۰.۷۰ | ۰.۷۴ |
| نوری | ۰.۸۲ | ۰.۸۲ | ۰.۸۵ | ۰.۷۰ | ۰.۷۰ | ۰.۷۳ |
| شبریز | ۰.۸۶ | ۰.۸۶ | ۰.۸۸ | ۰.۷۴ | ۰.۷۴ | ۰.۷۶ |
| شپاس | ۰.۷۹ | ۰.۷۹ | ۰.۹۳ | ۰.۶۹ | ۰.۶۹ | ۰.۷۹ |
| شپنا | ۰.۸۲ | ۰.۸۲ | ۰.۸۳ | ۰.۷۲ | ۰.۷۴ | ۰.۷۴ |
| شتران | ۰.۸۱ | ۰.۸۱ | ۰.۸۷ | ۰.۷۱ | ۰.۷۱ | ۰.۷۱ |
| شراز | ۰.۸۶ | ۰.۸۶ | ۰.۹۰ | ۰.۷۴ | ۰.۷۴ | ۰.۸۰ |
| متوسط | ۰.۸۲ | ۰.۸۲ | ۰.۸۹ | ۰.۷۱ | ۰.۷۲ | ۰.۷۹ |

منبع: یافته‌های پژوهش

در نمودار (۱) نیز این موضوع به تصویر کشیده شده است. با این حال، برای معیارهای شعاعی و غیرشعاعی، نمرات کارایی تحت فرض VRS نیز بدتر از نمرات کارایی تحت فرض NIRS نیستند. هم‌چنین نمرات کارایی تحت فرض NIRS نیز بدتر از نمرات کارایی تحت فرض CRS نیستند.




*نمودار ۱: پراکندگی کارایی شعاعی(دبرو- فارل) و کارایی غیرشعاعی(راسل) با فرض بازدهی مقیاس متغیر*

همانگونه که در روش‌شناسی بیان شد، به دلیل اشکالاتی که در برآوردهای DEA شعاعی، استنتاج آماری را می‌توان از طریق تکنیک بوت‌استرپ انجام داد. پیش از اجرای روش بوت‌استرپ، ابتدا باید بدانیم از کدام نوع بوت‌استرپ استفاده کنیم. بنابراین آزمون ناپارامتریک استقلال را انجام می‌دهیم. بدین منظور، این آزمون برای همه فروض بازدهی مقیاس برای هر دو مدل مرزی ستانده‌محور و نهاده‌محور انجام گرفت که نتایج در جدول (۶) آمده است.

*جدول ۶: مقادیر احتمال آزمون‌های ناپارامتریک استقلال*

| مدل مرزی | نوع بازدهی | | |
|---|---|---|---|
| | ثابت(CRS) | غیرفزاینده(NIRS) | متغیر(VRS) |
| ستانده‌محور | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۰۰ | ۰.۰۰۹ |
| نهاده‌محور | ۰.۰۰۰ | ۰.۰۰۰ | ۰.۰۰۳ |

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد در هر دو مدل کارایی ستانده‌محور و نهاده‌محور، فرض استقلال در سطح معناداری ۵ درصد برای هر سه فناوری رد می‌شود. باتوجه به نتایج آزمون استقلال، در ادامه نتایج بوت‌استرپ برای هر سه حالت همگن هموار، ناهمگن هموار و زیرنمونه‌گیری(ناهمگن) برای فناوری VRS ارائه شده است. هم‌چنین معیارهای کارایی فنی تصحیح‌شده تورش، آماره‌ای که تورش و واریانس بوت‌استرپ را مقایسه می‌کند و کرانه‌های پایین و بالای فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای هر یک از سه نوع بوت‌استرپ نیز برآورد می‌شوند. در جدول(۷) نتایج کارایی نهاده‌محور ارائه شده است. لازم به ذکر است تمامی بوت‌استرپ‌ها با ۱۰۰۰ بار تکرار انجام یافته‌اند. آماره BV بیانگر سه برابر نسبت مجذور تورش به واریانس مقادیر بوت‌استرپ برای معیارهای کارایی فنی شعاعی است. تصحیح تورش و استنتاج آماری تنها در صورتی باید انجام شود که این آماره بیشتر از یک باشد. برای بوت‌استرپ‌های همگن هموار و

زیرنمونه‌گیری، مقادیر BV بسیار کوچکتر از بوت‌استرپ ناهمگن هموار هستند. اگر مقدارBV کوچک باشد، یعنی واریانس مقادیر بوت‌استرپ نسبتا زیاد است و میانگین مجذور خطای برآورد تصحیح‌شده تورش معیار کارایی فنی بسیار بیشتر از نمره کارایی ابتدایی خواهد بود. در این وضعیت معیارهای تصحیح‌شده تورش به طور دقیق برآورد نمی‌شوند و لذا نباید آن نتایج را تحلیل نمود.

*جدول ۷: استنتاج آماری درخصوص کارایی فنی نهاده‌محور شعاعی با فرض VRS*

| شرکت | نمره کارایی* | بوت‌استرپ هموار همگن | | | | بوت‌استرپ هموار ناهمگن | | | | بوت‌استرپ زیرنمونه‌گیری(ناهمگن) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | BC | BV | LB | UB | BC | BV | LB | UB | BC | BV | LB | UB |
| آریا | ۰.۸۱ | ۰.۸۰ | ۱۶.۱۳ | ۰.۷۹ | ۰.۸۱ | ۰.۷۹ | ۱۰.۲۷ | ۰.۷۸ | ۰.۸۱ | ۰.۷۹ | ۲.۴۳ | ۰.۷۶ | ۰.۸۱ |
| بوعلی | ۰.۹۳ | ۰.۹۱ | ۱۱.۳۵ | ۰.۸۹ | ۰.۹۳ | ۰.۹۱ | ۴.۲۱ | ۰.۸۸ | ۰.۹۲ | ۰.۹۰ | ۲.۴۱ | ۰.۸۷ | ۰.۹۳ |
| پارس | ۰.۹۲ | ۰.۹۱ | ۱۱.۳۴ | ۰.۸۹ | ۰.۹۲ | ۰.۹۱ | ۸.۴۵ | ۰.۸۹ | ۰.۹۲ | ۰.۹۰ | ۲.۹۵ | ۰.۸۷ | ۰.۹۲ |
| جم | ۰.۸۶ | ۰.۸۴ | ۱۶.۱۷ | ۰.۸۳ | ۰.۸۶ | ۰.۸۴ | ۱۲.۶۷ | ۰.۸۲ | ۰.۸۶ | ۰.۸۳ | ۲.۸۷ | ۰.۸۱ | ۰.۸۵ |
| خراسان | ۰.۹۶ | ۰.۹۴ | ۱۳.۵۳ | ۰.۹۲ | ۰.۹۶ | ۰.۹۴ | ۶.۷۶ | ۰.۹۲ | ۰.۹۶ | ۰.۹۴ | ۲.۵۱ | ۰.۹۰ | ۰.۹۶ |
| زاگرس | ۱ | ۰.۹۵ | ۶.۰۲ | ۰.۸۹ | ۱ | ۰.۹۴ | ۳.۱۲ | ۰.۸۴ | ۰.۹۹ | ۰.۹۱ | ۰.۸۱ | ۰.۸۱ | ۱ |
| شاراک | ۰.۸۶ | ۰.۸۴ | ۱۴.۰۴ | ۰.۸۲ | ۰.۸۶ | ۰.۸۳ | ۸.۵۲ | ۰.۸۱ | ۰.۸۵ | ۰.۸۳ | ۲.۳۹ | ۰.۸۰ | ۰.۸۶ |
| شپدیس | ۰.۸۲ | ۰.۸۱ | ۱۳.۹۳ | ۰.۷۹ | ۰.۸۲ | ۰.۸۰ | ۹.۴۸ | ۰.۷۸ | ۰.۸۲ | ۰.۷۹ | ۲.۶۷ | ۰.۷۶ | ۰.۸۲ |
| شخارک | ۰.۸۶ | ۰.۸۵ | ۱۴.۳۳ | ۰.۸۳ | ۰.۸۶ | ۰.۸۵ | ۵.۹۳ | ۰.۸۲ | ۰.۸۶ | ۰.۸۴ | ۲.۳۵ | ۰.۸۱ | ۰.۸۶ |
| شغدیر | ۰.۹۵ | ۰.۹۳ | ۱۳.۱۷ | ۰.۹۲ | ۰.۹۵ | ۰.۹۳ | ۷.۰۱ | ۰.۹۱ | ۰.۹۵ | ۰.۹۳ | ۲.۸۷ | ۰.۹۱ | ۰.۹۵ |
| شفن | ۱ | ۰.۹۶ | ۱۲.۹۴ | ۰.۹۳ | ۱ | ۰.۹۸ | ۵.۱۲ | ۰.۹۴ | ۱ | ۰.۹۷ | ۱.۳۶ | ۰.۹۳ | ۱ |
| شگویا | ۱ | ۰.۹۳ | ۷.۲۳ | ۰.۸۷ | ۱ | ۰.۹۴ | ۱۰.۰۱ | ۰.۸۸ | ۰.۹۹ | ۰.۹۸ | ۱.۴۸ | ۰.۹۷ | ۱ |
| شیراز | ۰.۸۳ | ۰.۸۱ | ۹.۹۴ | ۰.۷۸ | ۰.۸۳ | ۰.۸۰ | ۵.۴۸ | ۰.۷۵ | ۰.۸۳ | ۰.۷۸ | ۲.۵۶ | ۰.۷۴ | ۰.۸۳ |
| کرمانشا | ۰.۸۵ | ۰.۸۴ | ۱۲.۰۷ | ۰.۸۲ | ۰.۸۵ | ۰.۸۳ | ۴.۴۴ | ۰.۸۰ | ۰.۸۵ | ۰.۸۲ | ۲.۲۸ | ۰.۷۹ | ۰.۸۵ |
| مارون | ۰.۸۶ | ۰.۸۵ | ۱۴.۶۸ | ۰.۸۴ | ۰.۸۶ | ۰.۸۵ | ۱۰.۴۵ | ۰.۸۳ | ۰.۸۶ | ۰.۸۴ | ۲.۷۸ | ۰.۸۱ | ۰.۸۶ |
| نوری | ۰.۸۵ | ۰.۸۴ | ۱۴.۰۸ | ۰.۸۳ | ۰.۸۵ | ۰.۸۴ | ۱۰.۰۶ | ۰.۸۲ | ۰.۸۵ | ۰.۸۳ | ۲.۷۳ | ۰.۸۰ | ۰.۸۵ |
| شبریز | ۰.۸۸ | ۰.۸۷ | ۱۳.۱۹ | ۰.۸۶ | ۰.۸۸ | ۰.۸۷ | ۷.۴۲ | ۰.۸۴ | ۰.۸۸ | ۰.۸۵ | ۲.۴۴ | ۰.۸۱ | ۰.۸۸ |
| شپاس | ۰.۹۳ | ۰.۹۲ | ۱۲.۲۹ | ۰.۹۰ | ۰.۹۳ | ۰.۹۱ | ۶.۶۹ | ۰.۸۹ | ۰.۹۳ | ۰.۹۱ | ۲.۳۸ | ۰.۸۸ | ۰.۹۳ |
| شپنا | ۰.۸۳ | ۰.۸۱ | ۱۰.۴۳ | ۰.۷۹ | ۰.۸۳ | ۰.۸۱ | ۵.۷۸ | ۰.۷۸ | ۰.۸۳ | ۰.۷۹ | ۱.۰۳ | ۰.۶۹ | ۰.۸۳ |
| شتران | ۰.۸۷ | ۰.۸۵ | ۱۴.۵۸ | ۰.۸۴ | ۰.۸۷ | ۰.۸۶ | ۵.۸۶ | ۰.۸۴ | ۰.۸۷ | ۰.۸۴ | ۱.۲۹ | ۰.۷۷ | ۰.۸۷ |
| شراز | ۰.۹۰ | ۰.۸۸ | ۱۶.۰۷ | ۰.۸۷ | ۰.۹۰ | ۰.۸۸ | ۹.۸۶ | ۰.۸۵ | ۰.۹۰ | ۰.۸۷ | ۲.۸۲ | ۰.۸۴ | ۰.۹۰ |

* نمره کارایی ابتدایی نهاده‌محور با فرض بازدهی مقیاس متغیر؛ BC معیار کارایی فنی شعاعی تصحیح‌شده تورش، BV سه برابر نسبت مجذور تورش به واریانس برای معیارهای کارایی فنی شعاعی، LB و UB به ترتیب کرانه‌های پایین و بالا برای معیارهای کارایی فنی شعاعی

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج جدول(۷) نشان می‌دهد آماره BV در هر سه بوت‌استرپ بزرگتر از یک است و بنابراین می‌توان استنتاج آماری قابل اعتمادی داشت. مقدار تورش در بوت‌استرپ ناهمگن هموار کمتر از بوت‌استرپ همگن هموار است، که بیانگر تخمین‌های معیارهای کارایی تصحیح‌شده تورش کوچک‌تر هستند؛ این بدان معناست که بوت‌استرپ ناهمگن تخمین‌های خوش‌بینانه‌تری از مرز بوت‌استرپ ارائه می‌دهد. در این وضعیت، فاصله اطمینان ۹۵ درصد نیز گسترده‌تر می‌گردد، اما نه به اندازه بوت‌استرپ زیرنمونه‌گیری؛ که این می‌تواند به دلیل واریانس زیاد مقادیر بوت‌استرپ برای بوت‌استرپ زیرنمونه‌گیری باشد. نمرات کارایی فنی شعاعی تصحیح‌شده تورش در هر سه بوت‌استرپ بیان می‌دارد هیچ یک از ۲۱ شرکت پتروپالایش از کارایی فنی برخوردار نیستند. طبق نتایج، شرکت‌های شفن و شگویا وضعیت بهتری نسبت به سایر شرکت‌ها دارند. در مقابل شرکت‌های آریا، شپدیس، شیراز و شپنا بدترین وضعیت را از نظر کارایی فنی

نهاده‌محور دارا هستند. در جدول(۸) نتایج معیارهای کارایی فنی تصحیح‌شده تورش، آماره‌ای که تورش و واریانس بوت‌استرپ را مقایسه می‌کند و کرانه‌های پایین و بالای فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای هر یک از سه نوع بوت‌استرپ در حالت ستانده‌محور با ۱۰۰۰ بار تکرار نمایش داده شده است. یافته‌ها بیان می‌دارند براساس نمره کارایی تحت بازدهی مقیاس متغیر، دو شرکت شگویا و زاگرس از کارایی برخوردارند. مشابه نتایج بخش قبلی، شرکت شغدیر با نمره کارایی ۱.۳۷ بدترین وضعیت را دارا می‌باشد که بدان معناست این شرکت ۳۷ درصد در نهاده‌های خود اضافه مصرف دارد. هم‌چنین براساس نتایج کارایی بوت‌استرپ هموار همگن، مجدد شرکت‌های زاگرس و شگویا به ترتیب با نمره‌های ۱.۰۹ و ۱.۰۵ بهترین وضعیت را از نظر کارایی فنی دارا هستند که یعنی به ترتیب ۹ و ۵ درصد در نهاده‌های خود اضافه مصرف دارند. بدترین وضعیت نیز متعلق به شرکت‌های شغدیر، شپدیس و شخارک است. لازم به ذکر است نتایج تخمین کارایی بوت‌استرپ بیان می‌دارند کارایی شعاعی از بیش‌برآوردی رنج می‌برد. نمرات کارایی بوت‌استرپ هموار ناهمگن و زیرنمونه‌گیری ناهمگن نیز تاییدی بر همین موضوع می‌باشند.

*جدول ۸: استنتاج آماری درخصوص کارایی فنی ستانده‌محور شعاعی با فرض VRS*

| شرکت | نمره کارایی* | بوت‌استرپ هموار همگن | | | | بوت‌استرپ هموار ناهمگن | | | | بوت‌استرپ زیرنمونه‌گیری(ناهمگن) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | BC | BV | LB | UB | BC | BV | LB | UB | BC | BV | LB | UB |
| آریا | ۱.۳۴ | ۱.۳۶ | ۱۱.۰۵ | ۱.۳۴ | ۱.۳۹ | ۱.۳۵ | ۶.۰۵ | ۱.۳۴ | ۱.۳۸ | ۱.۳۷ | ۰.۷۳ | ۱.۳۴ | ۱.۴۷ |
| بوعلی | ۱.۱۷ | ۱.۲۱ | ۱۱.۴۹ | ۱.۱۸ | ۱.۲۷ | ۱.۲۰ | ۳.۵۷ | ۱.۱۷ | ۱.۲۹ | ۱.۲۱ | ۱.۴۶ | ۱.۱۷ | ۱.۲۸ |
| پارس | ۱.۰۹ | ۱.۱۲ | ۱۰.۱۱ | ۱.۱۰ | ۱.۱۶ | ۱.۱۱ | ۵.۹۵ | ۱.۱۰ | ۱.۱۴ | ۱.۱۲ | ۲.۰۷ | ۱.۱۰ | ۱.۱۷ |
| جم | ۱.۲۳ | ۱.۲۵ | ۱۳.۳۷ | ۱.۲۴ | ۱.۲۸ | ۱.۲۵ | ۱۰.۲۴ | ۱.۲۴ | ۱.۲۸ | ۱.۲۷ | ۱.۲۲ | ۱.۲۳ | ۱.۳۴ |
| خراسان | ۱.۰۸ | ۱.۱۵ | ۱۲.۳۶ | ۱.۰۹ | ۱.۲۴ | ۱.۱۵ | ۴.۳۳ | ۱.۱۰ | ۱.۳۲ | ۱.۱۲ | ۱.۱۲ | ۱.۰۸ | ۱.۲۷ |
| زاگرس | ۱ | ۱.۰۹ | ۸.۷۵ | ۱.۰۱ | ۱.۲۴ | ۱.۰۴ | ۹.۳۰ | ۱.۰۲ | ۱.۰۹ | ۱.۰۲ | ۰.۳۵ | ۱ | ۱.۰۹ |
| شاراک | ۱.۳۰ | ۱.۳۳ | ۱۰.۸۲ | ۱.۳۰ | ۱.۳۸ | ۱.۳۲ | ۴.۹۹ | ۱.۳۰ | ۱.۳۷ | ۱.۳۴ | ۱.۴۰ | ۱.۳۰ | ۱.۴۵ |
| شپدیس | ۱.۳۲ | ۱.۳۵ | ۱۲.۶۹ | ۱.۳۳ | ۱.۳۹ | ۱.۳۴ | ۵.۶۰ | ۱.۳۳ | ۱.۳۹ | ۱.۳۶ | ۱.۰۳ | ۱.۳۲ | ۱.۴۶ |
| شخارک | ۱.۳۱ | ۱.۳۵ | ۱۳.۸۷ | ۱.۳۲ | ۱.۳۹ | ۱.۳۳ | ۷.۲۱ | ۱.۳۱ | ۱.۳۹ | ۱.۳۵ | ۱.۱۹ | ۱.۳۱ | ۱.۴۶ |
| شغدیر | ۱.۳۷ | ۱.۴۳ | ۹.۷۸ | ۱.۳۸ | ۱.۵۱ | ۱.۴۶ | ۵.۵۸ | ۱.۳۸ | ۱.۶۵ | ۱.۴۴ | ۱.۰۴ | ۱.۳۷ | ۱.۶۳ |
| شفن | ۱.۱۱ | ۱.۲۳ | ۹.۴۸ | ۱.۱۱ | ۱.۴۴ | ۱.۱۳ | ۶.۵۰ | ۱.۰۳ | ۱.۴۷ | ۱.۱۷ | ۳.۸۷ | ۱.۱۱ | ۱.۳۰ |
| شگویا | ۱ | ۱.۰۵ | ۱۰.۷۷ | ۱ | ۱.۱۲ | ۱.۰۴ | ۱۰.۴۸ | ۱.۰۱ | ۱.۰۹ | ۱.۰۴ | ۰.۶۳ | ۱ | ۱.۱۶ |
| شیراز | ۱.۱۸ | ۱.۲۱ | ۸.۸۹ | ۱.۱۸ | ۱.۲۴ | ۱.۲۰ | ۳.۸۳ | ۱.۱۸ | ۱.۲۹ | ۱.۲۲ | ۱.۳۴ | ۱.۱۸ | ۱.۲۸ |
| کرمانشا | ۱.۲۸ | ۱.۳۱ | ۱۲.۵۵ | ۱.۲۸ | ۱.۳۴ | ۱.۳۰ | ۵.۶۰ | ۱.۲۸ | ۱.۳۷ | ۱.۳۲ | ۱.۸۰ | ۱.۲۸ | ۱.۴۰ |
| مارون | ۱.۲۰ | ۱.۲۱ | ۱۱.۴۱ | ۱.۲۰ | ۱.۲۴ | ۱.۲۱ | ۸.۰۸ | ۱.۲۰ | ۱.۲۳ | ۱.۲۳ | ۱.۰۴ | ۱.۲۰ | ۱.۳۰ |
| نوری | ۱.۲۲ | ۱.۲۴ | ۱۱.۹۲ | ۱.۲۲ | ۱.۲۶ | ۱.۲۳ | ۷.۹۸ | ۱.۲۲ | ۱.۲۶ | ۱.۲۵ | ۰.۸۷ | ۱.۲۲ | ۱.۳۳ |
| شبریز | ۱.۱۶ | ۱.۱۸ | ۱۳.۵۷ | ۱.۱۶ | ۱.۲۱ | ۱.۱۸ | ۷.۳۹ | ۱.۱۶ | ۱.۲۲ | ۱.۲۰ | ۱.۳۹ | ۱.۱۶ | ۱.۲۷ |
| شپاس | ۱.۱۹ | ۱.۲۳ | ۹.۰۵ | ۱.۱۹ | ۱.۲۹ | ۱.۲۵ | ۶.۷۵ | ۱.۱۹ | ۱.۳۸ | ۱.۲۴ | ۲.۰۲ | ۱.۱۹ | ۱.۳۵ |
| شپنا | ۱.۱۵ | ۱.۱۸ | ۸.۳۶ | ۱.۱۶ | ۱.۲۳ | ۱.۱۷ | ۳.۳۴ | ۱.۱۶ | ۱.۲۲ | ۱.۱۹ | ۰.۹۳ | ۱.۱۵ | ۱.۲۸ |
| شتران | ۱.۲۱ | ۱.۲۵ | ۹.۶۳ | ۱.۲۱ | ۱.۳۱ | ۱.۲۳ | ۴.۶۴ | ۱.۲۱ | ۱.۲۸ | ۱.۲۵ | ۱.۰۱ | ۱.۲۱ | ۱.۳۶ |
| شراز | ۱.۱۲ | ۱.۱۸ | ۱۲.۵۳ | ۱.۱۳ | ۱.۲۶ | ۱.۱۸ | ۶.۸۳ | ۱.۱۵ | ۱.۲۶ | ۱.۱۵ | ۱.۵۶ | ۱.۱۲ | ۱.۱۹ |

* نمره کارایی فنی ابتدایی ستانده‌محور با فرض بازدهی مقیاس متغیر؛ BC معیار کارایی فنی شعاعی تصحیح‌شده تورش، BV سه برابر نسبت مجذور تورش به واریانس برای معیارهای کارایی فنی شعاعی، LB و UB به ترتیب کرانه‌های پایین و بالا برای معیارهای کارایی فنی شعاعی

منبع: یافته‌های پژوهش

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

صنعت پتروشیمی به عنوان یکی از حوزه‌های حیاتی صنعتی، نقش مهمی در توسعه اقتصادی کشور و بهبود کیفیت زندگی جامعه دارد. با استفاده از منابع نفت و گاز طبیعی، این صنعت تولید مواد شیمیایی مورد نیاز در صنایع مختلف را بر عهده دارد. صنعت پتروشیمی در دهه‌های اخیر توسعه قابل توجهی را تجربه کرده است. این توسعه علاوه بر ایجاد اشتغال و افزایش تولیدات، بهبود تعادل تجاری کشور را نیز به همراه داشته است. تولید محصولات پتروشیمی باعث ایجاد زنجیره‌های تأمین و ارزش افزوده در داخل کشور می‌شود و به دلیل مقیاس بزرگ تولید و ارزش اقتصادی بالا، می‌تواند منبعی پایدار از درآمد و صادرات برای کشور باشد. همچنین، توسعه صنعت پتروشیمی می‌تواند به عنوان عاملی موثر در جذب سرمایه و فناوری نیز عمل کند[۱].

هدف این مقاله برآورد و ارزیابی کارایی شرکت‌های پتروپالایش بورس اوراق بهادار در دوره ۱۴۰۲-۱۳۹۷ بود. نتایج تخمین کارایی شعاعی و غیرشعاعی نشان دادند در دوره مورد بررسی، پتروشیمی تندگویان(شگویا) در هر سه فرض بازدهی ثابت، متغیر و غیرفزاینده از کارایی دبرو- فارل برخوردار است. هم‌چنین پتروشیمی زاگرس و فناوران(شفن) در فرض بازدهی متغیر دارای کارایی دبرو- فارل است؛ اما سایر شرکت‌های پتروپالایش ناکارا هستند. به دلیل اشکالاتی که در برآوردهای DEA شعاعی وجود دارد، بدین منظور استنتاج آماری کارایی شرکت‌ها به کمک تکنیک بوت‌استرپ انجام یافت. نمرات کارایی فنی شعاعی تصحیح‌شده تورش در هر سه بوت‌استرپ همگن، ناهمگن و زیرنمونه‌گیری حکایت از آن داشتند که هیچ یک از ۲۱ شرکت پتروپالایش از کارایی فنی برخوردار نیستند. به عبارت دیگر، نتایج تخمین بوت‌استرپ نشان داد که تخمین‌های کارایی شعاعی و غیرشعاعی از بیش‌برآوردی رنج می‌برند؛ یعنی وضعیت کارایی شرکت‌ها را بهتر از آن چیزی است که نشان می‌دهند. با توجه به نتایج تمامی روش‌ها، می‌توان بیان داشت شرکت‌های پتروشیمی تندگویان(شگویا)، پتروشیمی فناوران(شفن) و پتروشیمی زاگرس بهتر از سایر شرکت‌ها عمل کرده‌اند. هم‌چنین باید بیان داشت هیچ یک از شرکت‌های پالایشی از نظر کارایی وضعیت مناسبی ندارند. نتایج این مقاله با یافته‌های مقالاتی هم‌چون بازرگان و همکاران(۲۰۲۳)، فلاح و حسین‌زاده لطفی(۲۰۲۰)، حسینی و استفانیک(۲۰۱۹)، الفت و همکاران(۱۴۰۲)، استادی و زرین‌کلاه(۱۳۹۹)، امامی‌میبدی و همکاران(۱۳۹۰) و پورکاظمی(۱۳۸۵) همسو است. تمامی این مقالات به ارزیابی کارایی شرکت‌های پتروشیمی و پالایشگاهی ایران پرداخته‌اند و تمامی آنها به کارا بودن شرکت‌های این صنعت اذعان داشته‌اند.

با وجود رونق و پیشرفت‌های صنعت پتروشیمی، این صنعت نیز با چالش‌هایی روبه‌رو بوده است که می‌تواند بر عملکرد شرکت‌های این صنعت اثرگذار باشد. چالش مهم این صنعت، نیاز به سرمایه‌گذاری بزرگ است. برای توسعه و به‌روزرسانی صنعت پتروشیمی، سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی در زمینه تجهیزات، فناوری‌های جدید و تحقیق و توسعه صورت می‌گیرد. این نیاز به سرمایه‌گذاری بزرگ، نیاز به همکاری بین بخش خصوصی و دولت و همچنین تامین منابع مالی مورد نیاز را ایجاب می‌کند. در سال‌های گذشته به دلیل محدودیت‌های ارزی و هم‌چنین مساله تحریم، سرمایه‌گذاری جدید در این حوزه یا انجام نیافته و یا روند آن نزولی بوده است و به همین دلیل به شدت بر عملکرد آنها تاثیر داشته است. در نهایت سومین چالش، رقابت جهانی است. صنعت پتروشیمی به دلیل تأمین نیازهای شیمیایی جهان و بازار بین‌المللی، با رقبایی از سراسر جهان روبرو است. رقابت در قیمت، کیفیت و نوآوری، نیازمند راهبردهای کسب و کار قوی، توسعه فناوری و بازاریابی مناسب است. بنابراین از آنجا که صنعت پتروشیمی نقش مهمی در رشد اقتصادی دارد، لذا اجرای استراتژی‌های مناسب برای مدیریت و توسعه این صنعت، همراه با رعایت مسائل محیط زیست و استفاده از فناوری‌های پاک، می‌تواند به استفاده بهینه از منابع طبیعی و ایجاد یک صنعت پایدار کمک کند.

هدف کلی برنامه هفتم، رشد اقتصادی ۸ درصدی با تأکید بر بهره‌وری عوامل تولید شامل سرمایه، منابع انسانی، فناوری و مدیریت است که ۸.۲ درصد این رشد از طریق بهره‌وری و کارایی باید محقق شود که این از طریق اصلاح و ساختار تولید ملی، کاهش هزینه تولید، اتخاذ سیاست‌های تشویقی و بهینه‌سازی عوامل تولید تأکید شده و در کنار آن، موضوع اقتصاد مقاومتی در بند سه این برنامه آمده است. در این برنامه بر تمرکززدایی از دولت و توجه به مزیت‌های نسبی در ارتقای بهره‌وری تاکید شده است که حمایت از زنجیره ارزش‌افزوده در نفت و صنعت پتروشیمی در همین راستا آمده است. در این راستا برای توسعه و تکمیل زنجیره ارزش صنعت

پتروپالایش لازم است سیاست‌هایی در جهت توسعه صنایع میان‌دست و پایین‌دست پتروشیمی از طریق انباشت درآمدهای ناشی از صادرات محصولات بالادست اتخاذ گردد.

براساس نتایج، توصیه‌های سیاستی مختلفی برای افزایش کارایی پیشنهاد می‌گردد. نخست، از آنجا که بخشی از تحقق رشد اقتصادی در برنامه هفتم، در توسعه ارزش افزوده بخش پالایش و پتروشیمی نهفته است. بنابراین، شرکت‌های صنعت پتروپالایش باید با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های خود، بخش پایین‌دست را گسترش داده تا بتواند نفت خام خود را در داخل کشور پالایش کنند، که این سبب ایجاد ارزش افزوده بیشتری از ظرفیت نفت خام خواهد شد. توصیه دوم، به کارگیری فناوری‌های جدید در پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها با سرعت انجام گیرد؛ چراکه تبدیل نفت سنگین به محصولات باکیفیت نیازمند پردازش مولکولی پیشرفته‌تری نسبت به پالایش یا تقطیر ساده است. توصیه سوم، سیاست‌گذار نباید هزینه‌های بیشتری را بر بخش پتروپالایش تحمیل کند و در مقابل باید به این صنعت کمک نماید تا بخش تحقیق و توسعه خود را گسترش داده تا از طریق نوآوری جدید به فناوری‌های با کربن پایین دست یابند.

مهمترین محدودیت این مقاله در جمع‌آوری داده‌ها بود. اطلاعات شرکت‌های بورسی بجز قیمت و حجم و ارزش معاملات که به صورت سری زمانی در سامانه سازمان بورس در دسترس هستند، سایر اطلاعات شرکت‌ها در قالب صورت مالی در سایت کدال بارگذاری می‌گردد. بنابراین ما مجبور بودیم با دانلود صورت‌های مالی حسابرسی شده تمامی این ۲۱ شرکت در دوره مورد بررسی، تک تک داده‌ها را استخراج نماییم که زمان بسیار زیادی صرف این کار شد. بنابراین به نظر می‌رسد اگر شرکت‌ها اطلاعات خود را به صورت سری زمانی نیز منتشر کنند، در وقت محققان بسیار صرفه‌جویی خواهد شد.

با توجه به اینکه در فرآیندهای تولید صنعت پتروشیمی، تولید محصولات مطلوب می‌تواند با تولید و انتشار محصولات نامطلوب یا محصولات بد، مانند گازهای گلخانه‌ای، فاضلاب و پسماندهای جامد و مایع همراه باشد؛ بنابراین برای تحقیقات آتی به محققان پیشنهاد می‌شود برای اندازه‌گیری دقیق‌تر کارایی و بهره‌وری، این محصولات نامطلوب یا بد را مدنظر قرار دهند. بدین منظور آنها می‌توانند از شاخص بهره‌وری جهانی مالم‌کوئیست- لیونبرگر که مبتنی بر روش تحلیل پوششی داده‌ها است، استفاده کرده و به کمک آن کارایی و بهره‌وری محیط‌زیستی را برآورد و با کارایی و بهره‌وری متداول مقایسه نمایند تا اثرات محصولات منفی بهتر نمایان شود.

**تعارض منافع.** برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

## منابع

1. Adelinik, H. (2019). Compilation of industrial and mineral policies, value chain analysis report of petrochemical industry in Iran. Business Studies and Research Institute, Technology and Innovation Studies and Research Department (In Persian)

2. Allen, P. G. & R. Fildes. (2001). Econometric Forecasting. In Principles of Forecasting. US: Springer, 303-362.

3. Alrashidi, A. N. (2015). *Data envelopment analysis for measuring the efficiency of head trauma care in England and Wales*. University of Salford (United Kingdom).

4. Amiri, H. (2018). Evaluation the Effectiveness of Selected Banks in Iran and its Relationship with Banking Internal and Macroeconomic Variables. *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, *7*(26), 89-114 (In Persian)

5. Atris, A. M. (2020). Assessment of oil refinery performance: Application of data envelopment analysis-discriminant analysis. *Resources Policy*, *65*, 101543.

6. Badunenko, O., Henderson, D. J., & Kumbhakar, S. C. (2012). When, where and how to perform efficiency estimation. Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society, 175(4), 863-892.

7. 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.

8. Banker, R. D. (1993). Maximum likelihood, consistency and data envelopment analysis: A statistical foundation. Management Science, 39(10), 1265-1273.

9. Bazargan, A. R., Najafi, S. E., Hosseinzadeh Lotfi, F., & Fallah, M. (2023). Technical analysis of petrochemical industries of Iran using a network data envelopment analysis model. *International journal of research in industrial engineering*, *12*(4), 337-363.

10. Cefic. (2022). Chemicals Trends Report. https://cefic.org/cefic-chemicals-trends-report/

11. Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1977). *Measuring the efficiency of decision-making units with some new production functions and estimation methods*. Center for Cybernetic Studies, University of Texas at Austin.

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

13. Coelho, M. B., Lacerda, D. P., Piran, F. A. S., Silva, D. O. D., & Sellitto, M. A. (2023). Project Management Efficiency Measurement with Data Envelopment Analysis: A Case in a Petrochemical Company. *Applied System Innovation*, *7*(1), 2.

14. Coelli, T., Lauwers, L., & Van Huylenbroeck, G. (2005). Formulation of technical, economic and environmental efficiency measures that are consistent with the materials balance condition. *Centre for Efficiency and Productivity AnalysisWorking Paper*, *6*.

15. Coelli, T., Lauwers, L., & Van Huylenbroeck, G. (2007). Environmental efficiency measurement and the materials balance condition. *Journal of productivity analysis*, *28*, 3-12.

16. Cummins, D. J., Weiss, M. A. & Zi, H. (2003). Economies of Scope in Financial Services: A DEA Bootstrapping Analysis of the US Insurance Industry. The Wharton School, University of Pennsylvania.

17. Darvish motevally, M., SHOJA, N., HOSSEINZADEH LOTFI, F., & Gholam Abri, A. (2019). Calculating the Sustainable Supply Chain Performance in the Cement Industry (Application of Network Data Envelopment Analysis Model). ECONOMIC MODELLING, 13(2 (46)), 73-99 (In Persian)

18. Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 273-292.

19. Doaei, M., Shavazipour, B., & Zamani Sabzi, M. (2016). Efficiency and Productivity in Tehran Stock Exchange based on Diversification Strategy. *Journal of Investment Knowledge*, *5*(18), 229-251 (In Persian)

20. Ebrahimi, A; Soleymani Damaneh, R; Shoul, A. (2023). Deriving the Efficiency Frontier for Two-Stage Structures: Input – Output Oriented Approach of Radial and Non-Radial, *Journal of Industrial Management Perspective*, 13(3), 195-222 (In Persian)

21. Emami Meibodi, A. Karimian, Z. & Rahmani Sefati, M.H. (2011). Measuring Technical Efficiency and Productivity of Iranian Petrochemical Plants over the Period 2002 to 2008. Energy Economics Review, 8(29), 61-81 (In Persian)

22. Fallah, M., & Hosseinzadeh Lotfi, F. (2020). Sustainability assessment of Iranian petrochemical companies in stock exchange: A data envelopment analysis-based approach. *Expert systems*, *37*(3), e12359.

23. Färe, R. (1988). Fundamentals of production theory (Vol. 22). Berlin: Springer-Verlag.

24. Färe, R., Grosskopf, S., & Lovell, C. K. (1994). Production frontiers. Cambridge university press.

25. Färe, R., & Lovell, C. K. (1978). Measuring the technical efficiency of production. Journal of Economic theory, 19(1), 150-162.

26. Färe, R., & Primont, D. (1994). Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications: Theory and Applications. Springer Science & Business Media.

27. Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society, 120(3), 253-281.

28. Filippou, M., & Zervopoulos, P. (2011). Developing a short-term comparative optimization forecasting model for operational units' strategic planning.

29. Ghasmi, H. R., Zahmatkesh, A., Fayaz, A., & Mortazavi, M. (2019). role of government dependence in analyzing the efficiency and transparency of the company. *Governmental Accounting*, *5*(1), 69-84 (In Persian)

30. Gijbels, I., Mammen, E., Park, B. U. & Simar, L. (1999). On estimation of monotone and concave frontier functions. Journal of the American Statistical Association, 94(445), 220-228.

31. Hosseini, K., & Stefaniec, A. (2019). Efficiency assessment of Iran's petroleum refining industry in the presence of unprofitable output: A dynamic two-stage slacks-based measure. *Energy*, *189*, 116112.

32. Han, Y. M., Geng, Z. Q., & Zhu, Q. X. (2016). Energy optimization and prediction of complex petrochemical industries using an improved artificial neural network approach integrating data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, *124*, 73-83.

33. Jacobs, R. (2001). Alternative methods to examine hospital efficiency: data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. Health Care Management Science, 4(2), 103-115.

34. Koopmans, T. C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities. Activity analysis of production and allocation.

35. Kneip, A., Simar, L., & Wilson, P. W. (2008). Asymptotics and consistent bootstraps for DEA estimators in nonparametric frontier models. Econometric Theory, 24(6), 1663-1697.

36. Li, A., Zhang, A., Huang, H., & Yao, X. (2018). Measuring unified efficiency of fossil fuel power plants across provinces in China: An analysis based on non-radial directional distance functions. *Energy*, *152*, 549-561.

37. Majidi, S., Fallah Lajimi, H., & Safaei ghadikolaei, A. (2021). The Application of Data Envelopment Analysis in Evaluating the Performance of Universities and Higher Education Institutions: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Industrial Management Perspective*, *11*(1), 53-80 (In Persian)

38. Maghyereh, A. I. & Awartani, B. (2012). Financial integration of GCC banking markets: A non-parametric bootstrap DEA estimation approach. Research in International Business and Finance, 26(2), 181-195.

39. Marinho, A., & Araújo, C. A. S. (2021). Using data envelopment analysis and the bootstrap method to evaluate organ transplantation efficiency in Brazil. *Health Care Management Science*, *24*(3), 569-581.

40. Murillo-Zamorano, L. R. (2004). Economic efficiency and frontier techniques. Journal of Economic Surveys, 18(1), 33-77.

41. Namdari, R., Eghbali, A. R., & Usefi, R. (2010). Performance Evaluation on State Banks Using DEA. Financial Knowledge of Security Analysis (Financial Studies), 3(7), 97-121 (In Persian)

42. Olfat L, Amiri M, Roshan Meymandi Z. (2023). Performance Evaluation of the Petrochemical Companies Accepted in Tehran Stock Exchange with Integrated Data Envelopment Analysis Approach with Common Set of

Weight and Principal Component Analysis. Journal of Operational Research in its Applications, 20 (2) :1-23 (In Persian)

43. Osman, I. H. (Ed.). (2013). Handbook of research on strategic performance management and measurement using data envelopment analysis. IGI global.

44. Ostadi, B., & Zarinkolah, M. (2020). Evaluating the Efficiency of petrochemical companies based on human resource, operations and sales functions using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. *Journal of Quality Engineering and Management*, *10*(3), 259-267 (In Persian)

45. POURKAZEMI, M.H. (2006). EVALUATING EFFICIENCY IN THE CONFEDERATES OF IRANIAN PETROCHEMICAL INDUSTRIES BY USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS. PEYKE NOOR JOURNAL, 4(2 (ECONOMICS 2)), 34-43 (In Persian)

46. See, K. F., & Coelli, T. (2012). An analysis of factors that influence the technical efficiency of Malaysian thermal power plants. *Energy Economics*, *34*(3), 677-685.

47. Simar, L. & Wilson, P.W. (1998). Sensitivity analysis of efficiency scores: how to bootstrap in nonparametric frontier models. Manage. Sci., 44, 49–61.

48. Simar, L. & Wilson, P.W. (2000). A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. J. Appl. Stat., 27, 779–802.

49. Simar, L. & Wilson, P.W. (2008). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of productive efficiency. J. Economet., 136, 31–64.

50. Soleimani Damaneh, R., Momeni, M., Mostafaei, A., & Rostami Malkhalife, M. (2017). Developing of a Dynamic Network Data Envelopment Analysis Model for Performance Evaluating Banking Sector. *Journal of Industrial Management Perspective*, *7*(1), 67-89 (In Persian)

51. Sueyoshi, T., & Wang, D. (2014). Sustainability development for supply chain management in US petroleum industry by DEA environmental assessment. *Energy Economics*, *46*, 360-374.

52. Sueyoshi, T., & Wang, D. (2018). DEA environmental assessment on US petroleum industry: Non-radial approach with translation invariance in time horizon. *Energy Economics*, *72*, 276-289.

53. Wang, Y., Yao, L., Cui, S., & Zhu, Z. (2022). Eco-efficiency Assessment of Chinese Petrochemical Enterprises: A Data Envelopment Analysis Approach. *Energy & Environment*, *33*(6), 1160-1180.

54. Wilson, P.W., (2003). Testing independence in models of productive efficiency. Journal of Productivity Analysis 20, 361–390.

55. Xue, M. & Harker, P. T. (1999). Overcoming the inherent dependency of DEA efficiency scores: A bootstrap approach. Unpublished Working Paper, Wharton Financial Institutions Center, University of Pennsylvania.

56. Yarifard, S., Salem, A. A., Mohammadi, T., & Shakeri, A. (2023). The inter-temporal relationship between risk, capital and efficiency: Evidences from Iranian Banks. *Stable Economy Journal*, *4*(2), 1-33 (In Persian)

57. Zhang, Y. & Bartels, R. (1998). The effect of sample size on the mean efficiency in DEA with an application to electricity distribution in Australia, Sweden and New Zealand. Journal of Productivity Analysis, 9(3), 187-204.