



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

Mohamadjavad Samaeifard\*<sup>ID</sup>

Mehdi Fathabadi\*\*<sup>ID</sup>

Masood Soufi Majidpour\*\*\*<sup>ID</sup>

Saleh Ghavidel Doostkouei\*\*\*\*<sup>ID</sup>

### Extended Abstract

**Introduction and purpose:** The petrochemical industry in Iran, as a flagship sector, plays a pivotal role in the national economy, supplying a substantial share of its output to downstream industries. In recent decades, advancements in technology and research within the petrochemical sector have led to substantial improvements, reducing costs and enhancing efficiency. Therefore, considering the importance of the petrochemical industry and its role in economic growth, this article aims to evaluate the efficiency of petrochemical companies using the bootstrap-DEA approach. This method provides statistical inference regarding technical efficiency criteria in non-parametric frontier models.

**Methods:** To achieve this objective, a comprehensive two-stage approach was adopted. First, input-oriented efficiency scores were estimated under the assumptions of constant, variable, and non-increasing returns to scale for all companies, using radial (Debro-Farrell efficiency) and non-radial (Russell efficiency) methodologies to provide a robust evaluation. Then, a non-parametric independence test was conducted to identify the appropriate bootstrap implementation approach. Finally, considering the test results, the efficiency scores of petrochemical companies were estimated using the bootstrap-DEA approach. The bootstrap process allows for bias estimation and the calculation of confidence intervals for initial estimates.

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

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

\*\* Assistant professor, Department of Economic, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.

Corresponding Author: [fathabadi.mehdi@iau.ac.ir](mailto:fathabadi.mehdi@iau.ac.ir)

\*\*\* Assistant professor, Department of Economic, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.

\*\*\*\* Assistant professor, Department of Economic, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.



**Findings:** The results indicate that Tondgoyan Company achieved Debro-Farrell efficiency under all three scenarios: constant, variable, and non-increasing returns to scale. Additionally, Zagros and Fanavaran companies exhibited Debro-Farrell efficiency under variable returns to scale. However, 18 other companies were inefficient, with Ghadir Petrochemical Company displaying the worst performance, achieving an efficiency score of 0.68 under constant returns to scale. Bias-corrected radial technical efficiency scores across homogeneous, heterogeneous, and subsampling bootstrap methods revealed that none of the 21 petrochemical companies exhibited full technical efficiency. Among them, Fanavaran and Tondgoyan showed better performance, while Aria, Pardis, Shiraz, and Isfahan Oil companies demonstrated the lowest input-oriented technical efficiency. Output-oriented technical efficiency findings indicated that Tondgoyan and Zagros were efficient, while Ghadir had the worst performance, with an efficiency score of 1.37, signifying 37% excess input consumption. The results further demonstrate that radial efficiency estimates are prone to overestimation, as confirmed by heterogeneous smooth bootstrap and subsampling techniques.

**Conclusion:** One of the primary objectives of Iran's 7th Development Plan is achieving 8% economic growth, with 2.8% attributed to productivity and efficiency improvements in production factors, including capital, human resources, technology, and management. Emphasis has been placed on bolstering the value-added chain within the petrochemical industry. Therefore, attention to the development of midstream and downstream petrochemical industries through reinvesting revenues from the export of upstream products is crucial for completing the value chain of the petrochemical sector.

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

**How to Cite:** Samaeifard, Mohamad javad; Fathabadi, Mehdi; Soufi Majidpour, Masood; Ghavidel Doostkouei, Saleh (2024). Estimating and Assessment of Technical Efficiency in Listed Petrochemical Companies: Bootstrap-DEA Approach. *Ind. Manag. Persp.*, 14(4), 121-141 (*In Persian*).



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

محمدجواد سمیعی فرد\*<sup>ID</sup>

مهدی فتح‌آبادی\*\*<sup>ID</sup>

مسعود صوفی مجیدپور\*\*\*<sup>ID</sup>

صالح قویدل دوستکویی\*\*\*\*<sup>ID</sup>

### چکیده گسترده

**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 بوری در دوره ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۲ تخمین و ارزیابی گردیده است. 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.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۳۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱.

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

\*\* استادیار، گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

نویسنده مسئول: fathabadi.mehdi@iau.ac.ir

\*\*\* استادیار، گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

\*\*\*\* استادیار، گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

**یافته‌ها:** نتایج بخش نخست مقاله نشان داد که 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 که 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 که 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 ارزش افزوده در صنعت پتروشیمی تأکید 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.

**استناددهی:** سمیعی‌فرد، محمدجواد؛ فتح‌آبادی، مهدی؛ صوفی مجیدپور، مسعود؛ قویدل دوستکویی، صالح (۱۴۰۳). تخمین و ارزیابی کارایی فنی شرکت‌های پتروپالایش بوری: رویکرد تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴(۴)، ۱۲۱-۱۴۱.



## 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، ۲۰۲۲). در ایران نیز این صنعت با صادرات غیرنفتی گسترده خود و ارزش آوری 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 پایین دستی 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 پایین دستی، 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 کارایی 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<sup>۲</sup> (۱۹۵۷) براساس مطالعات کوپمنز<sup>۳</sup> (۱۹۵۱) و دبرو<sup>۴</sup> (۱۹۵۱) ارائه نمود [۲۶، ۳۴، ۱۸] و در ادامه، توسط چارنز و همکاران<sup>۵</sup> (۱۹۷۸) و بانکر و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۸۴) توسعه یافت [۷، ۱۲]. سپس افرادی هم‌چون فار<sup>۷</sup> (۱۹۸۸)؛ فار و همکاران (۱۹۹۴) و فار و پریمونت<sup>۸</sup> (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<sup>۹</sup> (۱۹۹۸) همچنین بیان کردند که میانگین کارایی فنی تخمینی به مقادیر پارامتر بستگی دارد [۵۷]. بانکر<sup>۱۰</sup> (۱۹۹۳) سازگاری ضعیف برآورد DEA را تأیید کرد، به ویژه زمانی که اندازه‌گیری شامل یک ورودی و خروجی است [۸]. در نتیجه، آنها بر نیاز به یک تحلیل جایگزین برای تصحیح رویکرد DEA برای اندازه‌گیری کارایی تأکید کردند. در این زمینه، کامینز و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۳) و سیمار و ویلسون<sup>۱۲</sup> (۱۹۹۸) معتقدند که نتایج تخمین کارایی با روش DEA بخصوص در نمونه‌های محدود می‌تواند تورش‌دار باشد [۴۷، ۱۶]. 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 غیرآماري است که هیچ عامل تصادفی

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

11 . Cummins et al

12 . Simar and Wilson

در داده‌ها مانند نوین تصادفی یا خطاهای اندازه‌گیری را در نظر نمی‌گیرد و با برنامه‌ریزی خطی ریاضی تخمین زده می‌شود [۳، ۳۸، ۳۳]. رویکرد بوت‌استرپ یا خودراه‌انداز<sup>۱</sup> یک روش پذیرفته‌شده در علوم اجتماعی و اقتصادسنجی برای ارائه نتایج و راه‌حل‌های واقعی‌تر است [۲]. روش بوت‌استرپ مزایای زیادی دارد که مهمترین 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 ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۲ 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 نیروی کار، انرژی و سرمایه) را به ستانده یا کالاها یا خدمات تولید تبدیل می‌کنند. مرز تولید کاراً 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 دیرو (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 به دست آمده 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 کاملاً پارامتریک تا کاملاً 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 تحذب هستند را به عنوان تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۲</sup> (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

1. Bootstrap-DEA

2. Data Envelopment Analysis

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، در خصوص ورودی‌ها و خروجی‌های بکار رفته در این روش اتفاق نظر وجود ندارد [۴۰، ۴۳].

تخمین مرز کارایی در روش DEA در قالب دو رویکرد ممکن است؛ رویکرد نخست، مدل‌های ورودی‌محور 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  $CCR^1$  و  $BCC^2$  اشاره کرد. مدل  $CCR$  با هدف کاهش مفروضات بازدهی مقیاس ثابت  $CRS^3$  ارائه شد [۷]. در ادامه کارایی واحدهای تصمیم‌گیر با فرض بازدهی مقیاس متغیر  $VRS^4$  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 این صورت فرض بازدهی مقیاس متغیر برای تخمین کارایی اعمال خواهد شد [۱۲، ۱۴، ۱۵، ۴۶].

بازرگان و همکاران<sup>۵</sup> (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<sup>۶</sup> (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 تقریباً بین ۴۰ تا ۸۰ درصد است. نتایج آنها همچنین بیانگر یک فرآیند یادگیری است، زیرا میانگین کارایی طی سه سال افزایش یافته است [۱۳]. وانگ و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۲۲) با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و روش‌های  $BCC$  و  $CCR$  به ارزیابی 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<sup>۸</sup> (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<sup>۹</sup> (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؛ احتمالاً 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<sup>۱۰</sup> (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<sup>۱۱</sup> (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<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۸) با بررسی شرکت‌های

1 . Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR)

2 . Banker, Charnes, Cooper (BCC)

3 . constant returns to scale

4 . variable returns to scale

5 . Bazargan et al

6 . Coelho et al

7 . Wang et al

8 . Fallah and Hosseinzadeh Lotfi

9 . Atris

10 . Hosseini and Stefaniec

11 . Sueyoshi and Wang

12 . Li et al

سوخت فسیلی در ۳۰ استان چین از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲ و با استفاده از شاخص‌های کارایی یکپارچه فرامرزی مال‌کوئیست 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<sup>۱</sup> (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 [۵۲].

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، 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 بوسی 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 بوسی را مورد بررسی قرار داده و دریافتند که تقریباً 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 بوسی 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 میبیدی و همکاران (۱۳۹۰) به اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری مجتمع‌های پتروشیمی در ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مال‌کوئیست 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 ۱۳۸۶-۱۳۸۲ پرداختند. نتایج مقاله نشان داد بانک‌های دولتی ایران در محدوده بازدهی فزاینده قرار دارند [۴۱]. پورکازمی (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 در خصوص ورودی‌ها و خروجی با سایر مطالعات که خلاصه آنها در جدول ۱ آمده است، به شرح زیر است؛ نخست اینکه در مورد نهاده نیروی کار به عنوان یکی از ورودی‌ها، تقریباً 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 به عنوان متغیر نیز در مطالعات مختلف استفاده شده، در این مقاله، به عنوان پراکسی موجودی سرمایه استفاده شده است. این دو ورودی براساس نظریه‌های رشد، نهاده‌های کلاسیک تولید می‌باشند. از آنجا که 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، ورودی‌ها 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 این رو 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 که 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. بهترین 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 خلاصه‌ای از مطالعات پیشین را نمایش می‌دهد.

جدول ۱. اهم مطالعات اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های پتروشیمی

نام نویسندگان	روش	نتیجه	ورودی	خروجی
بازرگان و همکاران (۲۰۲۳)	تحلیل پوششی داده‌ها، ۲۰۱۶-۲۰۱۹	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 بوری 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 مالم کوئیبست	شرکت‌ها از نظر کارایی تفاوت‌های زیادی دارند، و در استان‌های ساحلی کارایی بیشتر است	ظرفیت تولید، نیروی کار، 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، نیروی کار، هزینه ثابت	درآمد کل

نام نویسندگان	روش	نتیجه	ورودی	خروجی
الفت و همکاران (۱۴۰۲)	تحلیل پوششی داده‌ها و روش CCR ورودی‌محور	از میان ۲۰ شرکت پتروشیمی بوردی 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 بوردی 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 مال‌کوئیسیت، ۱۳۸۶-۱۳۸۰	متوسط کارایی فنی مجتمع‌های پتروشیمی بین ۵۵.۷ تا ۶۴.۴ درصد بوده است.	مواد مصرفی، ارزش دارایی‌ها، تعداد نیروی کار	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، بر مبنای معیارهای شعاعی قراردادی دبرو-فارل هستند [۱۸، ۲۷]. برای هر نقطه داده  $k$  ( $k = 1, \dots, K$ )، بردار  $x_k(x_{k1}, \dots, x_{kN}) \in \mathbb{R}^N$  نشان‌دهنده  $N$  نهاد و بردار  $y_k(y_{k1}, \dots, y_{kN}) \in \mathbb{R}^M$  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؛

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

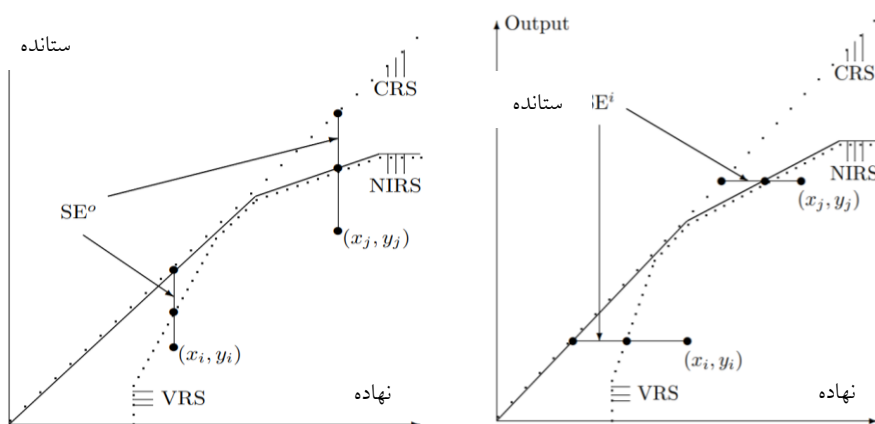
یا مجموعه نهاده‌های مورد نیاز،

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

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؛

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

$\gamma$  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 است که داده‌های مشاهده شده 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 بازدهی مقیاس با تعدیل سطوح عملیاتی فرآیند  $Z_k$  مدل‌سازی می‌شوند؛ به طوری که برای بازدهی مقیاس متغیر (VRS)، یک قید تحدب‌پذیری اضافه می‌شود  $\sum_{k=1}^K Z_k = 1$ ، در حالی که برای بازدهی مقیاس غیرفزاينده (NIRS) نابرابری  $\sum_{k=1}^K Z_k \leq 1$  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 VRS، CRS، NIRS 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  $F_k^i(y_k, x_k) \times y_{mk} [F_k^i(y_k, x_k) \times x_{nk}]$  در ستانده  $y_m$  (نهاده  $x_n$ ) اسلک دارد. اندازه غیرشعاعی کارایی فنی، معیار راسل  $(RM)^4$ ، چنین اسلک‌هایی را در خود جای می‌دهد [۲۴، ۲۵]. 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:

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

۱. free-disposal hull

۲. 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.

۳. 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.

۴. Russell measure

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

$$RM_k^0(y_k, x_k, y, x | CRS) = M^{-1} \max_{\theta, z} \sum_{m=1}^M \theta_m$$

$$s. t. \sum_{k=1}^K z_k y_{km} \geq y_{km} \theta_m, \quad m = 1, \dots, M$$

$$\sum_{k=1}^K z_k x_{kn} \leq x_{kn}, \quad n = 1, \dots, N$$

$$z_k \geq 0$$
(۵)

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

$$\widehat{RM}_k^i(y_k, x_k, y, x | CRS) = N^{-1} \min_{\theta, z} \sum_{n=1}^N \lambda_n$$

$$s. t. \sum_{k=1}^K z_k y_{km} \geq y_{km}, \quad m = 1, \dots, M$$

$$\sum_{k=1}^K z_k x_{kn} \leq x_{kn} \lambda_n, \quad n = 1, \dots, N$$

$$z_k \geq 0$$
(۶)

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. در جدول ۲ تشریح متغیرها، پارامترها و اندیس‌های مدل آمده است. در مدل، تعداد ۱ خروجی، ۳ ورودی و ۲۱ واحد تصمیم‌گیر (شرکت‌ها) وجود دارد.

**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 لزوماً زیرمجموعه ضعیفی از مجموعه تولید واقعی تحت فروض استاندارد زیربنایی DEA است. استنتاج آماری در خصوص 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. بادونکو 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 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 $m$ ام واحد تصمیم‌گیر $k$ ام
$X_{kn}$	ورودی $n$ ام واحد تصمیم‌گیر $k$ ام
$z$	نوع بازدهی مقیاس

**داده‌ها.** با توجه به محدودیت‌های موجود، داده‌های ۲۱ شرکت پتروپالایش بوری در دوره ۱۳۹۷-۱۴۰۲ 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

نهادها و ستانده	شاخص	نحوه اندازه‌گیری
ستانده	تولید	کل محصولات تولید شده (تعداد)
نهادها	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 بوری در دوره ۱۳۹۷-۱۴۰۲ حدود ۵۳۹۳۳ بوده است. همچنین میانگین دارایی ثابت این شرکت‌ها در این دوره حدود ۲۰۸۲۱ میلیارد 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 نهادها 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 سازند (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

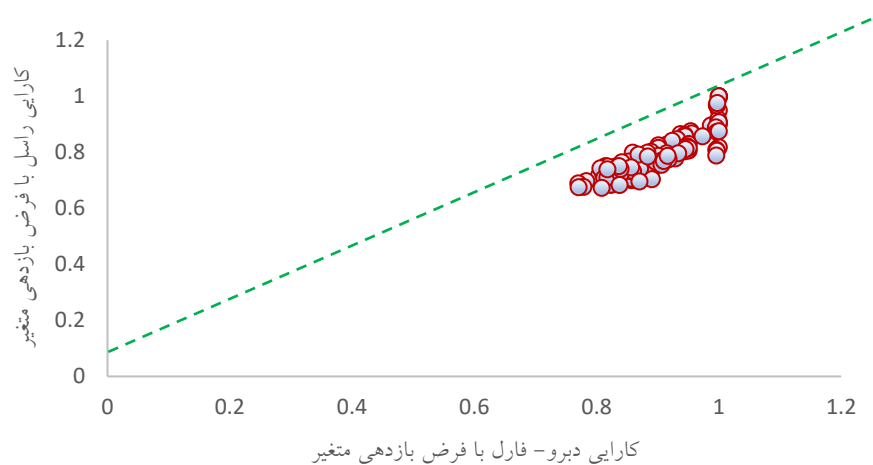
با توجه به روش‌شناسی مقاله، نتایج به چند بخش تقسیم می‌شود. در بخش نخست نمرات کارایی نهاده‌محور تحت فروض فناوری CRS، VRS و NIRS برای ۲۱ پتروپالایش در دوره ۱۳۹۷-۱۴۰۲ با دو رویکرد شعاعی (کارایی دبرو-فارل) و غیرشعاعی (کارایی راسل) برآورد شده است. نتایج در جدول ۵ نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهند در 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 بزرگ، ۱۳۹۷-۱۴۰۲

شرکت	کارایی شعاعی (کارایی دبرو-فارل)			کارایی غیرشعاعی (کارایی راسل)		
	VRS	NIRS	CRS	VRS	NIRS	CRS
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	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۹۸
شیراز	۰.۸۱	۰.۸۱	۰.۸۳	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۷۶
کرمانشا	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	۰.۷۲	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	۰.۷۱	۰.۷۹

منبع: یافته‌های پژوهش

در شکل ۲ 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.



شکل ۲. پراکتندگی کارایی شعاعی (دبرو- فارل) و کارایی غیرشعاعی (راسل) با فرض بازدهی مقیاس متغیر

همان گونه که در روش شناسی 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

نوع بازدهی			مدل مرزی
متغیر (VRS)	غیرفزاینده (NIRS)	ثابت (CRS)	
۰.۰۰۰۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۱	ستانده‌محور
۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	نهاده‌محور

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 بالایی 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 مقدار BV کوچک باشد، یعنی واریانس مقادیر بوت‌استرپ نسبتاً 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 در خصوص کارایی فنی نهاده‌محور شعاعی با فرض VRS

نمره کارایی*	شرکت	بوت‌استرپ هموار همگن				بوت‌استرپ هموار ناهمگن				بوت‌استرپ زیرنمونه‌گیری (ناهمگن)			
		UB	LB	BV	BC	UB	LB	BV	BC	UB	LB	BV	BC
۰.۸۱	آریا	۰.۸۱	۰.۷۹	۱۶.۱۳	۰.۸۰	۰.۸۱	۰.۷۸	۱۰.۲۷	۰.۷۹	۰.۸۱	۰.۷۶	۲.۴۳	۰.۷۹
۰.۹۳	بوعلی	۰.۹۳	۰.۸۹	۱۱.۳۵	۰.۹۱	۰.۹۲	۰.۸۸	۴.۲۱	۰.۹۱	۰.۹۳	۰.۸۷	۲.۴۱	۰.۹۰
۰.۹۲	پارس	۰.۹۲	۰.۸۹	۱۱.۳۴	۰.۹۱	۰.۹۲	۰.۸۹	۸.۴۵	۰.۹۱	۰.۹۲	۰.۸۷	۲.۹۵	۰.۹۰
۰.۸۶	جم	۰.۸۶	۰.۸۳	۱۶.۱۷	۰.۸۴	۰.۸۶	۰.۸۲	۱۲.۶۷	۰.۸۴	۰.۸۵	۰.۸۱	۲.۸۷	۰.۸۳
۰.۹۶	خراسان	۰.۹۶	۰.۹۲	۱۳.۵۳	۰.۹۴	۰.۹۶	۰.۹۲	۶.۷۶	۰.۹۴	۰.۹۶	۰.۹۰	۲.۵۱	۰.۹۴
۱	زاگرس	۱	۰.۸۹	۶.۰۲	۰.۹۵	۰.۹۹	۰.۸۴	۳.۱۲	۰.۹۴	۱	۰.۸۱	۰.۸۱	۰.۹۱
۰.۸۶	شاراک	۰.۸۶	۰.۸۲	۱۴.۰۴	۰.۸۴	۰.۸۵	۰.۸۱	۸.۵۲	۰.۸۳	۰.۸۶	۰.۸۰	۲.۳۹	۰.۸۳
۰.۸۲	شیدیس	۰.۸۲	۰.۷۹	۱۳.۹۳	۰.۸۱	۰.۸۲	۰.۷۸	۹.۴۸	۰.۸۰	۰.۸۲	۰.۷۶	۲.۶۷	۰.۷۹
۰.۸۶	شخارک	۰.۸۶	۰.۸۳	۱۴.۳۳	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۲	۵.۹۳	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۱	۲.۳۵	۰.۸۴
۰.۹۵	شغدیر	۰.۹۵	۰.۹۲	۱۳.۱۷	۰.۹۳	۰.۹۵	۰.۹۱	۷.۰۱	۰.۹۳	۰.۹۵	۰.۹۱	۲.۸۷	۰.۹۳
۱	شغن	۱	۰.۹۳	۱۲.۹۴	۰.۹۶	۱	۰.۹۴	۵.۱۲	۰.۹۸	۱	۰.۹۳	۱.۳۶	۰.۹۷
۱	شگویا	۱	۰.۸۷	۷.۲۳	۰.۹۳	۰.۹۹	۰.۸۸	۱۰.۰۱	۰.۹۴	۱	۰.۹۷	۱.۴۸	۰.۹۸
۰.۸۳	شیراز	۰.۸۳	۰.۷۸	۹.۹۴	۰.۸۱	۰.۸۳	۰.۷۵	۵.۴۸	۰.۸۰	۰.۸۳	۰.۷۴	۲.۵۶	۰.۷۸
۰.۸۵	کرمانشا	۰.۸۵	۰.۸۲	۱۲.۰۷	۰.۸۴	۰.۸۵	۰.۸۰	۴.۴۴	۰.۸۳	۰.۸۵	۰.۷۹	۲.۲۸	۰.۸۲
۰.۸۶	مارون	۰.۸۶	۰.۸۴	۱۴.۶۸	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۳	۱۰.۴۵	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۸۱	۲.۷۸	۰.۸۴
۰.۸۵	نوری	۰.۸۵	۰.۸۳	۱۴.۰۸	۰.۸۴	۰.۸۵	۰.۸۲	۱۰.۰۶	۰.۸۴	۰.۸۵	۰.۸۰	۲.۷۳	۰.۸۳
۰.۸۸	شبریز	۰.۸۸	۰.۸۶	۱۳.۱۹	۰.۸۷	۰.۸۸	۰.۸۴	۷.۴۲	۰.۸۷	۰.۸۸	۰.۸۱	۲.۴۴	۰.۸۵
۰.۹۳	شپاس	۰.۹۳	۰.۹۰	۱۲.۲۹	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۸۹	۶.۶۹	۰.۹۱	۰.۹۳	۰.۸۸	۲.۳۸	۰.۹۱
۰.۸۳	شپنا	۰.۸۳	۰.۷۹	۱۰.۴۳	۰.۸۱	۰.۸۳	۰.۷۸	۵.۷۸	۰.۸۱	۰.۸۳	۰.۶۹	۱.۰۳	۰.۷۹
۰.۸۷	شتران	۰.۸۷	۰.۸۴	۱۴.۵۸	۰.۸۵	۰.۸۷	۰.۸۴	۵.۸۶	۰.۸۶	۰.۸۷	۰.۷۷	۱.۳۹	۰.۸۴
۰.۹۰	شراز	۰.۹۰	۰.۸۷	۱۶.۰۷	۰.۸۸	۰.۹۰	۰.۸۵	۹.۸۶	۰.۸۸	۰.۹۰	۰.۸۴	۲.۸۲	۰.۸۷

\* نمره کارایی فنی 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 شغن و شگویا وضعیت بهتری نسبت به سایر شرکت‌ها دارند. در مقابل شرکت‌های آریا، شیدیس، 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، شیدیس 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)			
		UB	LB	BV	BC	UB	LB	BV	BC	UB	LB	BV	BC
آریا	۱۳۴	۱۳۹	۱۳۴	۱۱۰۵	۱۳۶	۱۳۸	۱۳۴	۶۰۵	۱۳۵	۱۴۷	۱۳۴	۰۷۳	۱۳۷
بوعلی	۱۱۷	۱۲۷	۱۱۸	۱۱۴۹	۱۲۱	۱۲۹	۱۱۷	۳۵۷	۱۲۰	۱۲۸	۱۱۷	۱۴۶	۱۲۱
پارس	۱۰۹	۱۱۶	۱۱۰	۱۰۱۱	۱۱۲	۱۱۴	۱۱۰	۵۹۵	۱۱۱	۱۱۷	۱۱۰	۲۰۷	۱۱۲
جم	۱۲۳	۱۲۸	۱۲۴	۱۳۳۷	۱۲۵	۱۲۸	۱۲۴	۱۰۲۴	۱۲۵	۱۳۴	۱۲۳	۱۲۲	۱۲۷
خراسان	۱۰۸	۱۲۴	۱۰۹	۱۲۳۶	۱۱۵	۱۲۳	۱۱۰	۴۳۳	۱۱۵	۱۲۷	۱۰۸	۱۱۲	۱۱۲
زاگرس	۱	۱۲۴	۱۰۱	۸۷۵	۱۰۹	۱۰۹	۱۰۲	۹۳۰	۱۰۴	۱۰۹	۱	۰۳۵	۱۰۲
شاراک	۱۳۰	۱۳۸	۱۳۰	۱۰۸۲	۱۳۳	۱۳۷	۱۳۰	۴۹۹	۱۳۲	۱۴۵	۱۳۰	۱۴۰	۱۳۴
شیدیس	۱۳۲	۱۳۹	۱۳۳	۱۲۶۹	۱۳۵	۱۳۹	۱۳۳	۵۶۰	۱۳۴	۱۴۶	۱۳۲	۱۰۳	۱۳۶
شخارک	۱۳۱	۱۳۹	۱۳۳	۱۳۸۷	۱۳۵	۱۳۹	۱۳۱	۷۲۱	۱۳۳	۱۴۶	۱۳۱	۱۱۹	۱۳۵
شغدیر	۱۳۷	۱۵۱	۱۳۸	۹۷۸	۱۴۳	۱۶۵	۱۳۸	۵۵۸	۱۴۶	۱۶۳	۱۳۷	۱۰۴	۱۴۴
شغن	۱۱۱	۱۴۴	۱۱۱	۹۴۸	۱۲۳	۱۴۷	۱۰۳	۶۵۰	۱۱۳	۱۳۰	۱۱۱	۳۸۷	۱۱۷
شگویا	۱	۱۱۲	۱	۱۰۷۷	۱۰۵	۱۰۹	۱۰۱	۱۰۴۸	۱۰۴	۱۱۶	۱	۰۶۳	۱۰۴
شیراز	۱۱۸	۱۲۴	۱۱۸	۸۸۹	۱۲۱	۱۲۹	۱۱۸	۳۸۳	۱۲۰	۱۲۸	۱۱۸	۱۳۴	۱۲۲
کرمانشا	۱۲۸	۱۳۴	۱۲۸	۱۲۵۵	۱۳۱	۱۳۷	۱۲۸	۵۶۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۲۸	۱۸۰	۱۳۲
مارون	۱۲۰	۱۲۴	۱۲۰	۱۱۴۱	۱۲۱	۱۲۳	۱۲۰	۸۰۸	۱۲۱	۱۳۰	۱۲۰	۱۰۴	۱۲۳
نوری	۱۲۲	۱۲۶	۱۲۲	۱۱۹۲	۱۲۴	۱۳۳	۱۲۲	۷۹۸	۱۲۳	۱۳۳	۱۲۲	۰۸۷	۱۲۵
شبریز	۱۱۶	۱۲۱	۱۱۶	۱۳۵۷	۱۱۸	۱۲۲	۱۱۶	۷۳۹	۱۱۸	۱۲۷	۱۱۶	۱۳۹	۱۲۰
شپاس	۱۱۹	۱۲۹	۱۱۹	۹۰۵	۱۲۳	۱۲۸	۱۱۹	۶۷۵	۱۲۵	۱۳۵	۱۱۹	۲۰۲	۱۲۴
شپنا	۱۱۵	۱۲۳	۱۱۶	۸۳۶	۱۱۸	۱۲۲	۱۱۶	۳۳۴	۱۱۷	۱۲۸	۱۱۵	۰۹۳	۱۱۹
شتران	۱۲۱	۱۳۱	۱۲۱	۹۶۳	۱۲۵	۱۲۸	۱۲۱	۴۶۴	۱۲۳	۱۳۶	۱۲۱	۱۰۱	۱۲۵
شراز	۱۱۲	۱۲۶	۱۱۳	۱۲۵۳	۱۱۸	۱۱۹	۱۱۵	۶۸۳	۱۱۸	۱۱۹	۱۱۲	۱۵۶	۱۱۵

\* 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 ۱۳۹۷-۱۴۰۲ بوده است. 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 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 ۸۰۲ 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 تأکید شده است که حمایت از زنجیره ارزش افزوده 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 بوری 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 این اجبار وجود داشت که با دانلود صورت‌های مالی حسابرسی شده تمامی این ۲۱ شرکت در دوره مورد بررسی، تک تک داده‌ها استخراج شوند 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 مالِم کوئیس-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 شاهدهی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

## منابع

- Adelinik, H. (2021). 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). <http://trindoc.itsr.ir/ProductPlanDetail.aspx?ID=7151>
- Allen, P.G., Fildes, R. (2001). *Econometric Forecasting*. In: Armstrong, J.S. (eds) Principles of Forecasting. International Series in Operations Research & Management Science, vol 30. Springer, Boston, MA.
- Alrashidi, A. N. (2015). *Data envelopment analysis for measuring the efficiency of head trauma care in England and Wales*. University of Salford (United Kingdom).
- 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)
- Atris, A. M. (2020). Assessment of oil refinery performance: Application of data envelopment analysis-discriminant analysis. *Resources Policy*, 65, 101543.
- 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.
- 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.
- Banker, R. D. (1993). Maximum likelihood, consistency and data envelopment analysis: A statistical foundation. *Management Science*, 39(10), 1265-1273.
- 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.
- Cefic. (2022). Chemicals Trends Report. <https://cefic.org/cefic-chemicals-trends-report/>
- 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.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- 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.
- 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 Analysis, Working Paper*, 6.

15. Coelli, T., Lauwers, L., Van Huylbroeck, 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* (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. *MPRA Paper 41573, University Library of Munich, Germany*.
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.*, 62(247), 625-628.
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. Maghyreh, 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. *Management Science*, 44, 49-61.
48. Simar, L. Wilson, P.W. (2000). A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. *Journal of Applied Statistics*, 27, 779-802.
49. Simar, L. Wilson, P.W. (2008). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of productive efficiency. *Journal of Econometrics*, 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.