



Original Article

## Evaluating Environmental Efficiency of Iranian Provinces Using Fuzzy Window Data Envelopment Analysis (FWDEA) with Undesirable Output

Mohammad Zarei Mahmoudabadi\*<sup>ID</sup>

Reza Norouzi Avergani\*\*<sup>ID</sup>

### Extended Abstract

**Introduction:** Over the past three decades, environmental challenges have become a global concern due to growing worries about the irreversible consequences of environmental degradation. Consequently, addressing environmental issues has increasingly become a priority for policymakers. Today, all countries are striving to achieve a balance between environmental protection and socioeconomic stability through the development of effective policies.

**Objective:** This study aims to examine and evaluate the environmental efficiency of Iran's provinces over different time periods, considering the inherent uncertainty in the data. In the real world, data is not always precise and deterministic, and deviations in data can significantly alter the results of efficiency evaluations. Therefore, it is essential to employ suitable methods to address data uncertainty when assessing efficiency. In this research, a Fuzzy Window Data Envelopment Analysis (FWDEA) model is utilized to evaluate the environmental efficiency of Iran's provinces. This model effectively accounts for data uncertainty and provides more accurate and reliable results.

**Methodology:** The approach used in this study incorporates undesirable outputs and can be applied to various structures in fuzzy data envelopment analysis. Based on a literature review, consultations with experts in the fields of the environment and data envelopment analysis, and available data, the input variables of the study were determined to be per capita energy consumption and per capita vehicles, while the output variable was defined as per capita pollutant emissions. Given the uncertainty about whether all units operate at optimal scale, the BCC model was employed. Furthermore, since it is easier to control outputs compared to inputs, an output-oriented data envelopment analysis model with variable returns to scale was assumed. Finally, the proposed fuzzy window data envelopment analysis model was implemented for 29 provinces of Iran over four time periods from 2017 to 2020, and the results were analyzed.

Received: May. 25, 2024; Revised: Jul. 15, 2024; Accepted: Sep. 18, 2024; Published Online: Sep. 21, 2024.

\* Associate Professor, Department of Industrial Management. Faculty of Humanities, Meybod University, Meybod, Iran.  
Corresponding Author: [zareim@meybod.ac.ir](mailto:zareim@meybod.ac.ir)

\*\* Master's student, Department of Industrial Management. Faculty of Humanities, Meybod University, Meybod, Iran.



## Original Article

**Findings:** Data analysis using the proposed model revealed that East Azerbaijan province had the best environmental performance with an efficiency score of 0.837407, while Hormozgan province had the worst performance with an efficiency score of 0.332543 during the four years of the study. Examining the annual average efficiency of the provinces indicated that the trend of efficiency improvement or decline varied across provinces over the years and was not stable. Additionally, the results of the fuzzy window data envelopment analysis model showed that the efficiency of provinces varied in each consecutive time window and did not follow a fixed pattern.


**Conclusion:** In this study, a fuzzy DEA approach was employed to evaluate efficiency considering the ambiguous, unavailable, and imprecise nature of the data. Overall, the use of fuzzy window DEA in assessing the environmental efficiency of Iran's provinces is one of the best methods due to its high accuracy, ability to model fuzzy data, and identification of complex patterns. This approach can assist policymakers in identifying the strengths and weaknesses of provinces in terms of environmental efficiency and formulating appropriate policies to improve environmental performance. To enhance the environmental efficiency of provinces, it is necessary to develop dynamic environmental policies tailored to the specific conditions of each province. Moreover, given that environmental challenges are global, the application of similar approaches to evaluate environmental efficiency in other countries can also contribute to improving global environmental performance.


**Keywords:** Data Envelopment Analysis (DEA); Window Analysis; Fuzzy Logic; Environmental Efficiency; Undesirable Output.

**How to Cite:** Zarei Mahmoudabadi, Mohammad; Norouzi Avergani, Reza (2024). Evaluating Environmental Efficiency of Iranian Provinces Using Fuzzy Window Data Envelopment Analysis (FWDEA) with Undesirable Output. *Ind. Manag. Persp.*, 14(3), 212-235 (*In Persian*).



## ارزیابی کارایی زیست محیطی استان‌های کشور با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی (FWDEA) با حضور خروجی نامطلوب

محمد زارعی محمودآبادی\* 

رضا نوروزی آورگانی\*\* 

### چکیده گسترده

**مقدمه:** در سه دهه اخیر، با افزایش نگرانی‌ها در مورد پیامدهای جبران‌ناپذیر تخریب محیط‌زیست، چالش‌های زیست‌محیطی به دغدغه‌ای جهانی تبدیل شده است؛ بنابراین، حل معضلات زیست‌محیطی به‌طور فزاینده‌ای در دستور کار سیاست‌گذاران قرار گرفته است. امروزه، همه کشورها در تلاش‌اند تا با تدوین سیاست‌های کارآمد، به تعادل بین حفاظت از محیط‌زیست و ثبات اجتماعی-اقتصادی دست یابند.

**هدف:** هدف پژوهش حاضر، بررسی و ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استان‌های کشور در دوره‌های زمانی مختلف با در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در داده‌ها است. در دنیای واقعی، داده‌ها همیشه دقیق و قطعی نیستند و انحرافات موجود در آنها می‌تواند نتایج ارزیابی کارایی را به‌طور قابل توجهی تغییر دهد. از این‌رو، استفاده از روش‌های مناسب برای مقابله با عدم قطعیت داده‌ها در هنگام ارزیابی کارایی ضروری است. در این پژوهش، از مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی (FWDEA) برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استان‌های ایران استفاده شده است. این مدل قادر است عدم قطعیت موجود در داده‌ها را به‌طور مؤثر در نظر بگیرد و نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری ارائه دهد.

**روش‌شناسی پژوهش:** رویکرد مورد استفاده در این پژوهش شامل خروجی نامطلوب نیز می‌شود و برای ساختارهای مختلف در تحلیل پوششی داده‌های فازی قابل استفاده است. با بررسی ادبیات موضوع و نیز مشورت با خبرگان حوزه زیست‌محیطی و تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و همچنین براساس داده‌های موجود، متغیرهای ورودی پژوهش شامل سرانه مصرف انرژی و سرانه وسایل نقلیه و متغیر خروجی شامل سرانه گازهای آلاینده تعیین شد. با توجه به عدم اطمینان از اینکه همه واحدها در مقیاس بهینه عمل می‌کنند یا خیر از مدل بازده متغیر نسبت به مقیاس (BCC) استفاده شد. همچنین، از آنجا که امکان کنترل بر خروجی‌ها نسبت به ورودی‌های پژوهش بیشتر است، از مدل تحلیل پوششی داده‌ها با ماهیت خروجی‌محور استفاده شد. در نهایت، مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی پیشنهادی در ۲۹ استان کشور طی چهار دوره زمانی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ اجرا شد و نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱.

\* دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران.

نویسنده مسئول: zareim@meybod.ac.ir

\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران.

## نوع مقاله: پژوهشی

**یافته‌ها:** تحلیل داده‌ها با مدل پیشنهادی نشان داد که در طول ۴ سال مورد مطالعه، استان آذربایجان شرقی با کارایی  $0/۸۳۷۴۰۷$  بهترین و استان هرمزگان با کارایی  $0/۳۳۲۵۴۳$  بدترین عملکرد را در زمینه زیست‌محیطی داشته‌اند. بررسی میانگین کارایی سالانه استان‌ها نشان داد که روند صعودی یا نزولی کارایی در هر استان در طول سال‌ها متفاوت بوده و ثبات نداشته است. همچنین، نتایج مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی نشان داد که کارایی استان‌ها در هر پنجره زمانی متوالی سیر متفاوتی داشته و از یک الگوی ثابت پیروی نمی‌کند.

**نتیجه‌گیری:** در این مطالعه با توجه به شرایط ابهام، در دسترس نبودن و نادقیق بودن داده‌ها از رویکرد DEA فازی برای ارزیابی کارایی استفاده شده است. در کل، استفاده از DEA فازی پنجره‌ای در ارزیابی کارایی زیست‌محیطی در استان‌های کشور، به دلیل دقت بالا، توانایی مدل‌سازی داده‌های فازی و شناسایی الگوهای پیچیده، یکی از بهترین روش‌ها است. این رویکرد می‌تواند به سیاستگذاران در شناسایی نقاط قوت و ضعف استان‌ها در زمینه زیست‌محیطی و تدوین سیاست‌های مناسب برای ارتقای کارایی زیست‌محیطی کمک کند. به منظور ارتقای کارایی زیست‌محیطی استان‌ها، لازم است که سیاست‌های زیست‌محیطی به صورت پویا و متناسب با شرایط هر استان تدوین و اجرا شوند. همچنین با توجه به اینکه چالش‌های زیست‌محیطی چالشی جهانی هستند، استفاده از رویکردهای مشابه برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی در سایر کشورها نیز می‌تواند به ارتقای عملکرد زیست‌محیطی در سطح جهانی کمک کند.

**کلیدواژه‌ها:** تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)؛ تحلیل پنجره‌ای؛ منطق فازی؛ کارایی زیست‌محیطی؛ خروجی نامطلوب.

**استناددهی:** زارعی محمودآبادی، محمد؛ نوروزی آورگانی، رضا (۱۴۰۳). ارزیابی کارایی زیست محیطی استان‌های کشور با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی (FWDEA) با حضور خروجی نامطلوب. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴(۳)، ۲۱۲-۲۳۵.



## ۱. مقدمه

روند صنعتی شدن کشورها و ترکیب ناکارآمد سیاست‌های صنعتی و مدیریتی، ریشه بسیاری از مشکلات زیست‌محیطی کنونی است [۳۲]. امروزه، همه کشورها در تلاش‌اند تا با تدوین سیاست‌های کارآمد، به تعادلی بین حفاظت از محیط‌زیست و ثبات اجتماعی-اقتصادی دست یابند. این چالش‌ها شامل مواردی مانند مصرف انرژی، مسائل زیست‌محیطی مرتبط با کار، انباشت سرمایه، تولید ناخالص داخلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. این امر به‌طور قابل‌توجهی سیاست‌گذاری را بهبود می‌بخشد [۳۸]. گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن تولید شده توسط فعالیت‌های اقتصادی و انسانی، به‌طور فزاینده‌ای به گرمایش جهانی و تبدیل شدن آن به یک تهدید بین‌المللی دامن می‌زند. در عین حال، این پدیده به‌طور مستقیم بر سلامت انسان نیز تأثیر منفی می‌گذارد [۳]. بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت بین سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰، گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی سالانه باعث مرگ ۲۵۰ هزار نفر در اثر قرار گرفتن در معرض گرما، اسهال، مالاریا و سوء تغذیه در کودکان خواهد شد (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۲۱). علاوه بر این، تا سال ۲۰۳۰ هزینه‌های بهداشتی مستقیم گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی ۲ تا ۴ میلیارد دلار در سال خواهد بود؛ بنابراین، کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای و بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای برای جلوگیری از پیامدهای زیست‌محیطی ضروری است [۴۹].

آلودگی یکی از معضلات زیست‌محیطی است که از دهه ۱۹۶۰ گریبان‌گیر بشر شده و نقشی اساسی در چالش دستیابی به توسعه پایدار ایفا می‌کند [۲۵]. هدف از توسعه پایدار در زمینه تغییر اقلیم، کاهش انتشار آلاینده‌ها و افزایش کارایی زیست‌محیطی است. کارایی زیست‌محیطی که تحت تأثیر عواملی مانند گسترش جمعیت، مصرف انرژی، رشد اقتصادی و عملکرد مؤسسات قرار دارد، به عنوان شاخصی از عملکرد زیست‌محیطی و راهنمای عمل در این زمینه محسوب می‌شود [۳]. با این حال، پژوهش‌های کمی در مورد عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی وجود دارد. سازمان‌ها، فناوری‌ها، زیرساخت‌ها و صنایع، همگی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر کارایی زیست‌محیطی تأثیر می‌گذارند [۱۰]. در سال‌های اخیر، بحث‌های مداومی در مورد اقدامات زیست‌محیطی وجود داشته است. کارایی زیست‌محیطی در دهه ۱۹۹۰ معرفی و به‌عنوان "روابط تجاری با توسعه پایدار" تعریف شد [۲۳]. بعد از آن، پژوهشگران با شیوه‌های مختلف به اندازه‌گیری و ارزیابی کارایی زیست‌محیطی توجه داشته‌اند. به‌طور خاص، مدل‌های اندازه‌گیری و ارزیابی توسط محققان تحقیق در عملیات [۲۶] و مدل‌هایی در زمینه‌های مختلف توسعه یافته‌اند [۲۵، ۱۲]. مفهوم کارایی زیست‌محیطی در سطوح مختلف، از ملی گرفته تا سازمانی، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در سطح ملی، ارزیابی کارایی به منظور بررسی عملکرد کلی کشور در زمینه محیط‌زیست انجام می‌شود. در سطح صنعت یا بخش، این ارزیابی به منظور سنجش کارایی بخش‌های مختلف اقتصادی در استفاده از منابع و حفظ محیط‌زیست صورت می‌گیرد. در سطح سازمانی نیز، اندازه‌گیری کارایی به منظور بهبود عملکرد زیست‌محیطی و اقتصادی سازمان‌ها به کار می‌رود. صرف‌نظر از سطح ارزیابی، هدف اصلی از اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی، کاهش اثرات مخرب بر محیط‌زیست، بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقای عملکرد اقتصادی است [۲۵]. در دوران مدرن، آلودگی یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی بوده است؛ بنابراین، ارزیابی کارایی زیست‌محیطی بسیار مهم است. در سال‌های اخیر، ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی به کانون تحقیقات در سراسر جهان تبدیل شده است. در سال ۱۹۷۰، برای اولین بار مفهوم «حفاظت از محیط‌زیست» معرفی شد. از آن زمان، پارامترهای مختلف و ارزیابی‌های عملکرد زیست‌محیطی توسط محققان تجزیه و تحلیل شده است. برخی از محققان ترجیح می‌دهند عملکرد زیست‌محیطی را با استفاده از شاخص‌های عملکرد زیست‌محیطی ارزیابی کنند [۲۴، ۴۶]. ارزیابی کارایی زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های توسعه پایدار است. همچنین با توجه به ضرورت فزاینده برای کاهش اثرات مخرب بر محیط‌زیست، کارایی زیست‌محیطی به موضوع مهمی در سطح جهانی تبدیل شده است [۳۶]. کارایی زیست‌محیطی به بررسی و سنجش اثرات توسعه اقتصادی بر محیط‌زیست می‌پردازد. هدف این مفهوم، ایجاد تعادل و هماهنگی بین حفاظت از محیط‌زیست و توسعه اقتصادی است [۲۵]؛ بنابراین دولت‌ها و سازمان‌های مختلف به دنبال راهبردها و اقدامات کاهشی و یا پیشگیری برای اجتناب و کاهش این اثرات زیست‌محیطی هستند [۴۳]. انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی در ایران نیز رو به افزایش است، به‌طوری‌که انتشار گاز CO<sub>2</sub> ناشی از مصرف انرژی کشور از حدود ۲۴۰ میلیون تن در سال ۱۳۷۵ به ۶۶۰ میلیون تن در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است (ترازنامه ملی انرژی، ۲۰۱۸).

از طرفی، روش تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۱</sup> (DEA) یکی از مؤثرترین و گسترده‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که می‌توان از آن برای دستیابی به اهداف ارزیابی کارایی استفاده کرد [۱۸،۳۴]. تحلیل پوششی داده‌ها یک رویکرد ناپارامتریک مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی است که برای نخستین بار در رساله دکترای ادوارد رودز و به راهنمایی کوپر تحت عنوان ارزیابی پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان مدارس ملی آمریکا در سال ۱۹۷۶، در دانشگاه کارنگی مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش، علاوه بر روش تحلیل پوششی داده‌ها، از دو رویکرد پرکاربرد دیگر نیز استفاده شده است. اولین رویکرد، روش تحلیل پنجره‌ای<sup>۲</sup> است و دیگری، منطق فازی است که برای مواجهه با عدم قطعیت داده‌ها استفاده می‌شود [۴۳]. با توجه به اینکه عدم اطمینان اجتناب‌ناپذیر است؛ بنابراین، ترکیب مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و مفاهیم فازی در مدل تحلیل پوششی داده‌ها، فرصتی برای ارزیابی عملکرد کارایی در حضور داده‌های مبهم فراهم می‌کند. استفاده از تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی، در نظر گرفتن خروجی نامطلوب، تحلیل دوره‌های زمانی مختلف و توجه به سیاست‌گذاری از جمله وجوه تمایز این پژوهش است که در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد.

برای تبیین جایگاه موضوع ارزیابی کارایی زیست محیطی استان‌ها در اسناد بالادستی کشور، می‌توان به چندین سند و برنامه کلان اشاره کرد که از اهمیت و اعتبار بالایی برخوردار هستند. این اسناد شامل برنامه‌های توسعه کشور، سیاست‌های کلی نظام و سند تحول دولت مردمی می‌باشند. در ادامه به تشریح جایگاه این موضوع در هر یک از این اسناد پرداخته می‌شود:

**۱. برنامه‌های توسعه کشور:** این پژوهش در راستای اهداف توسعه پایدار و بهبود کیفیت محیط زیست قرار دارد که در برنامه‌های توسعه پنج‌ساله کشور به آن پرداخته شده است. این برنامه‌ها بر اهمیت مدیریت منابع طبیعی و کاهش آلودگی‌ها تأکید دارند. برنامه‌های توسعه پنج‌ساله کشور ایران همواره به مسأله حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار توجه داشته‌اند.

**۲. سیاست‌های کلی نظام:** سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران بر حفظ محیط زیست و بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی تأکید دارند. این سیاست‌ها شامل کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی است و بر لزوم ایجاد سازوکارهای کارآمد برای مدیریت زیست‌محیطی و استفاده بهینه از منابع تأکید دارند. سیاست‌های کلی نظام توسط مقام رهبری تعیین و ابلاغ می‌شوند و نقش راهبردی در مدیریت کلان کشور دارند. در این سیاست‌ها نیز به اهمیت مسائل زیست‌محیطی اشاره شده است.

**۳. سند تحول دولت مردمی:** سند تحول دولت مردمی بر مبنای اصول انقلاب اسلامی و با هدف ایجاد تحولی بنیادین در حوزه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی تدوین شده است. این سند نیز به بهبود کارایی زیست‌محیطی و توسعه پایدار اشاره دارد. در این سند، توجه به محیط زیست و کاهش اثرات منفی فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست از اولویت‌های اصلی است. همچنین برنامه‌های اجرایی این سند در بخش محیط زیست، تدوین و اجرای برنامه‌های جامع برای کاهش آلاینده‌ها و بهینه‌سازی مصرف منابع است.

**۴. سیاست‌های کلی محیط زیست:** در بندهایی از سیاست‌های کلی محیط زیست ابلاغی مقام رهبری به "ارتقای کارایی در استفاده از منابع طبیعی و انرژی" و "بهبود کیفیت هوا و کاهش آلودگی‌های محیط زیست" تأکید شده است. این پژوهش به‌طور مستقیم با این سیاست‌ها مرتبط است و می‌تواند به عنوان ابزاری برای ارزیابی و پایش تحقق این سیاست‌ها در استان‌های مختلف عمل کند.

در نتیجه موضوع ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استان‌های کشور در راستای اهداف و سیاست‌های کلان کشور قرار دارد و می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر برای تحقق اهداف زیست‌محیطی در اسناد بالادستی کشور مورد استفاده قرار گیرد. ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استان‌ها با این روش می‌تواند به بهبود مدیریت و نظارت زیست‌محیطی، کاهش آلودگی‌ها و ارتقای بهره‌وری منابع طبیعی کمک کند. این موضوع در راستای اهداف ملی در زمینه حفاظت از محیط زیست، کاهش آلودگی‌ها و ارتقای بهره‌وری منابع قرار دارد و می‌تواند به عنوان ابزاری برای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در این زمینه مورد استفاده قرار گیرد.

بر اساس توضیحات ارائه شده، هدف این پژوهش ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استان‌های کشور با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی است. لازم به ذکر است که سؤالات اصلی پژوهش عبارتند از:

- مدل ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استان‌های کشور با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی چگونه است؟
- عوامل مؤثر بر عملکرد زیست‌محیطی استان‌های کشور کدامند؟

- عملکرد زیست‌محیطی استان‌ها در سال‌های مختلف چگونه است؟
  - میانگین کارایی زیست‌محیطی استان‌های کشور چقدر است؟
- مسئله اصلی این تحقیق، شناسایی و تحلیل چالش‌های زیست‌محیطی استان‌های کشور است که به دلیل ناکارآمدی در استفاده از منابع طبیعی و مدیریت آلودگی‌ها به وجود آمده‌اند. در واقع، این تحقیق به دنبال پاسخ به این سؤال است که "چگونه می‌توان کارایی زیست‌محیطی استان‌ها را بهبود بخشید و موانع موجود در این زمینه را شناسایی کرد؟". همچنین مسئله تحقیق شامل موارد زیر است:
- **شکاف در اطلاعات:** بسیاری از استان‌ها به دلیل عدم دسترسی به داده‌های دقیق و معتبر در مورد کارایی زیست‌محیطی خود، نمی‌توانند به درستی نقاط قوت و ضعف خود را شناسایی کنند. این تحقیق با استفاده از رویکرد DEA پنجره‌ای فازی، به این شکاف اطلاعاتی پاسخ می‌دهد.
  - **مدیریت ناکارآمد منابع:** استان‌هایی که کارایی پایین‌تری دارند، معمولاً در مدیریت منابع طبیعی و کاهش آلودگی‌ها ناکام هستند. این تحقیق به شناسایی این استان‌ها و ارائه راهکارهایی برای بهبود کارایی آنها می‌پردازد.
  - **تأثیرات زیست‌محیطی:** آلودگی و تخریب محیط زیست به عنوان یک مانع جدی برای توسعه پایدار در کشور مطرح است. این تحقیق به دنبال شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی و ارائه راهکارهایی برای کاهش این تأثیرات است.
- این پژوهش به دنبال اندازه‌گیری و ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استان‌های کشور است، به گونه‌ای که خروجی‌های نامطلوب (مانند آلودگی‌ها) نیز در تحلیل لحاظ شوند؛ همچنین شناسایی استان‌هایی که در استفاده از منابع و تولیدات زیست‌محیطی کارا هستند و استان‌هایی که ناکارآمد عمل می‌کنند. استفاده از رویکرد پیشنهادی این امکان را فراهم می‌کند که در یک چارچوب زمانی مشخص، تغییرات کارایی زیست‌محیطی استان‌ها مورد بررسی قرار گیرد و عدم قطعیت‌ها و نوسانات موجود در داده‌ها نیز مدیریت شود. در خصوص اهمیت اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی استان‌ها باید اشاره کرد که اندازه‌گیری کارایی واحدهای استانی مسائلی مختلفی از جمله موارد زیر را حل می‌کند:
۱. شناسایی نقاط قوت و ضعف: با ارزیابی کارایی زیست‌محیطی، استان‌هایی که عملکرد مطلوبی دارند و استان‌هایی که نیاز به بهبود دارند، شناسایی می‌شوند. این اطلاعات می‌تواند به مسئولان و مدیران استانی کمک کند تا استراتژی‌های مناسبی برای بهبود کارایی و کاهش آلودگی‌ها اتخاذ کنند.
  ۲. تخصیص بهینه منابع: داده‌های حاصل از ارزیابی کارایی می‌توانند در تخصیص منابع دولتی و سرمایه‌گذاری‌ها به کار گرفته شوند. استان‌هایی که کارایی بالایی دارند می‌توانند الگویی برای سایر استان‌ها باشند و منابع به‌طور مؤثرتری به بخش‌های نیازمند تخصیص یابد.
  ۳. تصمیم‌گیری بهتر در سیاست‌گذاری: نتایج این تحقیق می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا برنامه‌ها و سیاست‌های زیست‌محیطی مؤثرتری تدوین کنند. به‌ویژه، این تحلیل می‌تواند مشخص کند که کدام استان‌ها نیاز به توجه بیشتری دارند و کدام اقدامات می‌توانند بیشترین تأثیر را در بهبود کارایی زیست‌محیطی داشته باشند.
  ۴. افزایش آگاهی عمومی: ارزیابی کارایی زیست‌محیطی می‌تواند آگاهی عمومی را در مورد اهمیت مسائل زیست‌محیطی افزایش دهد و باعث مشارکت بیشتر جامعه در حفاظت از محیط زیست شود.
  ۵. پایش و ارزیابی مستمر: این تحقیق می‌تواند پایه‌ای برای ارزیابی‌های دوره‌ای باشد، که به پایش مستمر کارایی زیست‌محیطی استان‌ها و ارزیابی تأثیر سیاست‌ها و برنامه‌ها کمک می‌کند.
- بنابراین، این پژوهش نه تنها به شناسایی وضعیت فعلی کارایی زیست‌محیطی استان‌ها کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به عنوان ابزاری برای سیاست‌گذاران و مدیران در تصمیم‌گیری‌های مؤثر و بهبود مدیریت زیست‌محیطی در سطح ملی عمل کند.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

**کارایی.** کارایی نشان می‌دهد که یک سازمان تا چه حد از منابع خود برای تولید (در مقایسه با بهترین عملکرد در یک زمان خاص) به خوبی استفاده کرده است. به عبارت دیگر، کارایی را می‌توان به عنوان نسبت خروجی به ورودی یا میزان استفاده از منابع برای دستیابی به اهداف تعریف کرد [۲۲].

**کارایی زیست‌محیطی.** اصطلاح کارایی زیست‌محیطی برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ مطرح شد. با این حال، در سال ۱۹۹۱ بود که شورای تجارت جهانی برای توسعه پایدار<sup>۱</sup> (WBCSD) مسئول معرفی یکی از مفاهیم اصلی کارایی زیست‌محیطی به جهان بود. کارایی زیست محیطی به معنای تولید کالاها و خدمات رقابتی اقتصادی است که نیازهای جامعه را از نظر کیفیت زندگی برآورده کند. در عین حال، کل فرآیند تولید و مصرف این کالاها و خدمات، از ابتدای تولید تا پایان عمر مفید آنها، باید کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد کند [۲۵]. در چشم‌انداز بهبود کارایی زیست‌محیطی بیان می‌شود که افزایش بهره‌وری اقتصادی غالباً با کاهش سطح زیست‌محیطی همراه است. در مقابل، با استفاده از رویکرد کارایی زیست‌محیطی، می‌توان بدون آسیب به محیط‌زیست، به رشد و توسعه اقتصادی دست یافت [۳۵]. در حالی که دیدگاه‌های مختلفی در مورد کارایی زیست‌محیطی در محافل دانشگاهی وجود دارد، اصطلاحات به کار رفته برای بیان این دیدگاه‌ها همیشه یکسان نیستند. برای تعریف دقیق کارایی زیست‌محیطی و انجام یک تحلیل درست، باید آن را به عنوان نسبت ورودی‌های اندازه‌گیری شده (پس از در نظر گرفتن عوامل انرژی و زیست‌محیطی در فعالیت‌های تولیدی) به خروجی‌های یک شرکت، صنعت، منطقه یا کشور تعریف کرد [۲۶]. مفهوم عملکرد زیست‌محیطی از مفهوم توسعه پایدار کسب و کار نشأت گرفته است. این مفهوم توسط شورای تجارت جهانی برای توسعه پایدار ارائه شده و در سطح بین‌المللی مورد پذیرش قرار گرفته است. عملکرد زیست‌محیطی مفهومی ترکیبی از اکولوژی، اقتصاد و کارایی است. این اصل نظری در بسیاری از شرکت‌های تجاری به کار گرفته می‌شود و توسعه اقتصادی را با توسعه پایدار پیوند می‌دهد. عملکرد زیست‌محیطی به عنوان ابزاری رایج در مدیریت استراتژیک توسط شرکت‌ها برای دستیابی به منافع اقتصادی و زیست‌محیطی به کار می‌رود. WBCSD کارایی زیست‌محیطی را به عنوان توانایی تولید و ارائه خدمات برای برآوردن نیازهای انسانی و ارتقای کیفیت زندگی، با در نظر گرفتن تأثیرات بر اکوسیستم‌ها و منابع طبیعی، تعریف می‌کند [۱۲].

**تحلیل پوششی داده‌ها (DEA).** تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتری بر پایه برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی عملکرد مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری با نهاده‌ها و ستانده‌های چندگانه است [۲۸، ۶۴]. تحلیل پوششی داده‌ها که اولین بار توسط چارلز، کوپر و رودز در سال ۱۹۷۸ مطرح شد [۲] کارایی نسبی را اندازه‌گیری می‌کند. عدد کارایی هر واحد از مقایسه عملکرد آن واحد با سایر واحدهای تصمیم‌گیرنده به دست می‌آید [۴۱]. اغلب DEA را به عنوان ابزاری برای شناسایی بهترین عملکردها در زمانی که معیار یا معیارهای عملکردی متعدد برای سازمان‌ها وجود دارد، توصیف می‌کنند [۲۵]. DEA یک رویکرد جامع و پذیرفته‌شده برای ارزیابی عملکرد است. محبوبیت این رویکرد عمدتاً به دلیل ورودی‌ها و خروجی‌های متعدد موجود در این مدل و مناسب بودن آن برای بررسی روابط غیرخطی در تحلیل‌ها است [۲۶].

با فرض اینکه  $U_r$ : وزن ستانده  $r$  ام،  $V_i$ : وزن نهاده  $i$  ام،  $Y_{rj}$ : مقدار خروجی  $r$  ام از واحد  $j$  ام،  $X_{ij}$ : مقدار ورودی  $i$  ام از واحد  $j$  ام،  $Y_{r0}$ : مقدار خروجی  $r$  ام از واحد تحت بررسی،  $X_{i0}$ : مقدار ورودی  $i$  ام از واحد تحت بررسی،  $m$ : تعداد نهاده‌ها و  $s$ : تعداد ستانده‌ها باشد، رابطه (۱) مدل مضربی بازده متغیر نسبت به مقیاس (BCC) با گرایش خروجی محور را ارائه می‌دهد و تنها تفاوت آن با مدل بازده ثابت نسبت به مقیاس (CCR) در وجود متغیر آزاد در عملیات  $w_0$  است؛ در مدل BCC علامت متغیر  $w_0$ ، نوع بازده به مقیاس را برای هر واحد می‌تواند مشخص کند [۲۹].



$$\begin{aligned}
 e_0 = \text{Min} \quad & \sum_i v_i x_{i0} + w_0 \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_i u_r y_{r0} = 1 \\
 & \sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} - w_0 \leq 0, \quad \forall j \\
 & u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \text{all } r, i. \\
 & w_0 : \text{Free in Sign}
 \end{aligned}
 \tag{۱}$$

**تحلیل پنجره‌ای.** تحلیل پنجره‌ای بر اساس اصل میانگین‌های متحرک عمل می‌کند و برای یافتن روندهای کارایی یک واحد در طول زمان مفید است. تحلیل پنجره‌ای مدلی است که به‌موجب آن سطح کارایی برای مدل‌هایی که حجم نمونه کوچکی در طول زمان دارند اندازه‌گیری می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای برای اندازه‌گیری کارایی از طریق مقاطع مقطعی و داده‌های متغیر در طول زمان در نظر گرفته شده است. تحلیل پنجره‌ای به‌طور کلی عملکرد یک DMU را در طول زمان با در نظر گرفتن آن به‌عنوان یک موجودیت متفاوت در هر دوره ارزیابی می‌کند [۲۷].

### پیشینه پژوهش.

در این بخش برخی از تحقیقات مهم داخلی و بین‌المللی در زمینه به‌کارگیری تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی مطرح شده است.

الصباح<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به ارزیابی کارایی بیمارستان‌های دولتی در کویت با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای پرداختند [۶]. پیکانی و همکاران (۲۰۲۲) عملکرد پویای بیمارستان‌ها را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی ارزیابی کردند. الخارس<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی کاربردهای DEA پنجره‌ای پرداختند [۵]. پیکانی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی و تحلیل کتاب‌سنجی با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای پرداختند. ژو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۱) کارایی زیست‌محیطی صنعت هواپیمایی ایالات‌متحده را با استفاده از رویکرد DEA تابع فاصله جهت‌دار ارزیابی کردند [۴۸]. مشفق و رستمی مال‌خلیفه (۲۰۲۱) با مدل تحلیل پوششی داده‌ها به بررسی کارایی زیست‌محیطی کشورها پرداختند [۳۲]. وانگ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۰) کارایی پویای اقتصاد سبز منطقه‌ای چین را با رویکرد DEA پنجره‌ای ارزیابی کردند [۴۵]. لی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی صنعت خمیر و کاغذ ایالات‌متحده با استفاده از مدل SBM-DEA پرداختند [۲۴]. ون و لی<sup>۶</sup> (۲۰۱۹) بر اساس مدل DEA سه مرحله‌ای کارایی زیست‌محیطی صنعت پتروشیمی چین را ارزیابی کردند [۳۸]. لاکو و حاجدووا<sup>۷</sup> (۲۰۱۸) در مطالعه خود به بررسی عوامل تعیین‌کننده کارایی زیست‌محیطی کشورهای اتحادیه اروپا با استفاده از رویکرد DEA پنجره‌ای پرداختند. همچنین برخی از مهمترین مطالعات انجام شده در حوزه ارزیابی کارایی زیست‌محیطی در جدول ۱ خلاصه شده است.

1. Alsabah
2. Alkhars
3. Zhou
4. Wang
5. Li
6. Wen & Li
7. Lacko & Hajduová

جدول ۱. مطالعات پیشین در زمینه اندازه‌گیری کارایی زیست محیطی به روش DEA

عنوان	پژوهشگر و سال	نوع مدل	ورودی‌ها	خروجی‌ها
ارزیابی کارایی زیست محیطی در صنعت سیمان چین	(وانگ و همکاران، ۲۰۲۳)	CCR و BCC	- مصرف انرژی - تولید کلین کر	- انتشار CO <sub>2</sub> و آلودگی هوا
تجزیه و تحلیل کارایی زیست محیطی در چین	(ژانگ <sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۳)	SBM	- نیروی کار - سرمایه - منابع طبیعی	- تولید ناخالص داخلی منطقه‌ای
ارزیابی کارایی زیست محیطی ایالت‌ها در ایالات متحده: تحلیل ناپارامتریک دومرحله‌ای	(دمیرال و ساغلام <sup>۲</sup> ، ۲۰۲۱)	BCC و CCR	- سرمایه - مصرف انرژی - اشتغال	- تولید ناخالص داخلی
ارزیابی کارایی زیست محیطی بخش‌های صنعتی چین: رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا (DNDEA)	(وانگ و همکاران، ۲۰۲۱)	DEA پویا	- تعداد کل کارکنان - دارایی‌های ثابت - مصرف انرژی - ارزش افزوده	- انتشار دی‌اکسید گوگرد - دی‌اکسید نیتروژن
ارزیابی کارایی زیست محیطی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها: مورد کشورهای اروپایی	(ماتسوموتو <sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰)	تحلیل پنجره‌ای و مالمکوئیست	- جمعیت - سرمایه - مصرف انرژی	- دی‌اکسید کربن - تولید ناخالص داخلی
کارایی زیست محیطی منطقه‌ای در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای	(رن <sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۰)	DEA شبکه‌ای	- سرمایه - مصرف انرژی - مصرف آب	- تولید ناخالص داخلی
اندازه‌گیری کارایی زیست محیطی در مناطق اروپایی: شواهدی از چشم‌انداز سرزمینی	(بیانچی <sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۰)	DEA فرامرزی	- نرخ اشتغال - مصرف سرانه مواد داخلی	- تولید ناخالص داخلی (GDP)
ارزیابی کارایی زیست محیطی استانی در چین: مدل بهبود یافته تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با خروجی‌های نامطلوب	(یو <sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۰)	DEA شبکه‌ای	- سرمایه گذاری داخلی - مصرف انرژی - دارایی‌های ثابت	- دی‌اکسید گوگرد - دی‌اکسید کربن - پسماند صنعتی
ارزیابی کارایی زیست محیطی ۲۸ کشور عضو اتحادیه اروپا با رویکرد DEA	(هالکاس و پترو <sup>۷</sup> ، ۲۰۱۹)	BCC	- جمعیت - سرمایه - تراکم جمعیت	- تولید ناخالص داخلی - اکسید کربن - اکسید نیتروژن
ارزیابی کارایی زیست محیطی منطقه‌ای در چین با تشخیص خروجی‌های نامطلوب	(پیاو <sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۹)	CCR و مالمکوئیست	- جمعیت - سرمایه - مصرف انرژی - مصرف آب	- دی‌اکسید کربن - تولید ناخالص داخلی - دی‌اکسید نیتروژن
ارزیابی کارایی انرژی کشورهای اتحادیه اروپا با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پویا	(لو و لو <sup>۹</sup> ، ۲۰۱۹)	DEA پویا	- نیروی کار - موجودی سرمایه واقعی - مصرف انرژی	- انتشار CO <sub>2</sub> - سوخت فسیلی
کارایی زیست محیطی صنایع فعال در شهر تهران با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای	امید و همکاران (۱۴۰۰)	DEA شبکه‌ای	- ضریب آلاینده‌گی هوا، آب و خاک	- هزینه‌های زیست محیطی

1. Zhang
2. Demiral & Sağlam
3. Matsumoto
4. Ren
5. Bianchi
6. Yu
7. Halkos & Petrou
8. Piao
9. Lu & Lu

همان‌طور که در بررسی ادبیات این بخش مشاهده شد، تاکنون از روش تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای غیرقطعی برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استفاده نشده است. تمرکز بر این موضوع در تحقیقات آینده می‌تواند حائز اهمیت باشد. استفاده از داده‌های نادقیق و در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در آنها، اعتبار و پایایی نتایج تحلیل عملکرد را افزایش خواهد داد. وجه تمایز این پژوهش نسبت به سایر تحقیقات قبلی در چندین جنبه قابل توجه است:

- **استفاده از تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی:** این پژوهش به جای استفاده از روش‌های سنتی، از مدل FWDEA بهره می‌برد که قادر است عدم قطعیت موجود در داده‌ها را به‌طور مؤثر در نظر بگیرد. این ویژگی به پژوهش امکان می‌دهد تا نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری ارائه دهد، در حالی که بسیاری از مطالعات قبلی به تحلیل‌های خطی و بدون توجه به عدم قطعیت پرداخته‌اند.

- **در نظر گرفتن خروجی نامطلوب:** این پژوهش به‌طور خاص به ارزیابی خروجی‌های نامطلوب (مانند گازهای آلاینده) پرداخته است که در بسیاری از مطالعات پیشین نادیده گرفته شده یا کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این رویکرد به ما این امکان را می‌دهد که تصویر جامع‌تری از کارایی زیست‌محیطی استان‌ها ارائه دهیم.

- **تحلیل دوره‌های زمانی مختلف:** بررسی کارایی زیست‌محیطی استان‌ها در چهار دوره زمانی و تحلیل روندهای سالانه، این امکان را می‌دهد که تغییرات و نوسانات کارایی را به دقت بررسی کنیم. این جنبه از پژوهش می‌تواند به شناسایی الگوهای خاص در کارایی زیست‌محیطی کمک کند که در تحقیقات قبلی کمتر به آن پرداخته شده است.

- **توجه به سیاست‌گذاری:** نتیجه‌گیری این پژوهش بر اساس یافته‌ها، به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا نقاط قوت و ضعف استان‌ها را شناسایی کنند و سیاست‌های مناسبی برای ارتقای کارایی زیست‌محیطی تدوین کنند. این تمرکز بر کاربرد عملی نتایج، وجه تمایز دیگری نسبت به دیگر مطالعات است که ممکن است بیشتر به تحلیل‌های نظری محدود شوند.

به‌طور کلی، استفاده از روش‌های نوین و توجه به ابعاد مختلف کارایی زیست‌محیطی، این پژوهش را از سایر مطالعات متمایز می‌کند. **مدل‌سازی عوامل نامطلوب:** متغیرهای معمول در تحلیل پوششی داده‌ها به‌گونه‌ای هستند که مقدار بیشتر برای خروجی‌ها و مقدار کمتر برای ورودی‌ها باعث بهبود کارایی و عملکرد می‌شوند. در برخی از وضعیت‌ها یک عامل می‌تواند برخلاف این عمل کند؛ برای مثال آلودگی هوا به‌عنوان یکی از خروجی‌های نامطلوب است که مقادیر کمتر آن مطلوب‌تر است [۴۰].

اگر  $y_{rj}^g$  نشان‌دهنده خروجی مطلوب (خوب) و  $y_{rj}^b$  نشان‌دهنده خروجی نامطلوب (بد) باشد، خواهان افزایش  $y_{rj}^g$  و کاهش  $y_{rj}^b$  برای بهبود عملکرد هستیم؛ با این‌وجود در مدل‌های متعارف تحلیل پوششی داده‌ها هر دو خروجی خوب و بد افزایش داده می‌شود در اینجا به‌منظور افزایش خروجی‌های مطلوب و کاهش خروجی‌های نامطلوب ابتدا خروجی‌های نامطلوب را در منفی یک، ضرب کرده و مقدار  $t_r$  را به‌تمامی خروجی‌های نامطلوب اضافه می‌کنیم تا مقدار آن‌ها مثبت شود. مقدار  $t_r$  را می‌توان از رابطه  $Max\{y_{rj}^b\} + 1$  به دست آورد. سایر خروجی‌های مطلوب را با همان صورت قبل می‌توان وارد مدل کرد [۸، ۴۲].

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، از نوع تحقیقات کاربردی محسوب می‌شود. روش مورد استفاده در این پژوهش، روش توصیفی - تحلیلی است. اطلاعات مورد نیاز برای اجرای پژوهش با استفاده از انواع روش‌های میدانی (مشاهده، پرسشنامه و بعضاً مصاحبه) و کتابخانه‌ای (گزارشات مستند مرکز آمار ایران، ترازنامه انرژی کشور، سالنامه آماری کشور و جست‌وجو در اینترنت) به دست آمده است. جامعه آماری این پژوهش باتوجه به در دسترس نبودن اطلاعات دو استان، شامل ۲۹ استان کشور است.

به‌طور کلی در علم تحقیق در عملیات برای اجرای تجربه عملی از مدل‌سازی و عمدتاً از مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود. مدل، عبارتی در قالب ریاضی یا شبه ریاضی است که در معرفی موضوع مورد بحث آن را به‌صورت واقعیت تشریح می‌کند. به‌منظور مقابله با داده‌های کیفی یا نامشخص، همچنین با توجه به در دسترس نبودن، ابهام در داده‌ها و نادقیق بودن داده‌ها از منطق فازی برای ارزیابی کارایی استفاده شده است. برای حل و تحلیل مدل‌ها در این پژوهش از نرم‌افزار LINGO استفاده شده است.

### مدل پیشنهادی پژوهش.

در پژوهش حاضر جهت انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌های مربوطه از مرور گسترده ادبیات پژوهش و مطالعات پیشین و نظرسنجی از خبرگان موضوع و بررسی پیشینه‌های داخلی و خارجی بهره برده شده است. بر اساس رویکرد منتخب برای اندازه‌گیری کارایی در این پژوهش، از آنجایی که مطمئن نیستیم که همه واحدها در مقیاس بهینه عمل می‌کنند یا خیر؛ بنابراین مدل با بازده متغیر نسبت به مقیاس (BCC) انتخاب شد [۲۳]. همچنین اگر امکان کنترل بیشتری بر ورودی‌های واحدهای تحت بررسی وجود داشته باشد، مدل ورودی‌محور و در صورتی که امکان کنترل بیشتری بر خروجی‌ها باشد، مدل خروجی‌محور مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به مطالب گفته شده و با لحاظ کردن ورودی‌ها و خروجی‌های تحت بررسی در این تحقیق و از آنجا که امکان کنترل بر خروجی‌های پژوهش نسبت به ورودی‌های پژوهش بیشتر است، از ماهیت خروجی‌محور در مدل تحلیل پوششی داده‌ها با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس استفاده شده است تا کارایی نسبی تمامی استان‌های کشور در بخش زیست‌محیطی در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۹ اندازه‌گیری شود. سپس استان‌های کارا و ناکارا مشخص می‌شود و در نهایت با استفاده از روش تحلیل پنجره‌ای، کارایی نهایی استان‌ها مشخص خواهد شد.

**ارزیابی کارایی با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها.** در این مرحله به ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در جامعه آماری مورد مطالعه پرداخته شده است. همان‌طور که بیان شد واحدهای تصمیم‌گیری در این پژوهش شامل ۲۹ استان کشور است. محدوده زمانی در نظر گرفته شده برای پژوهش نیز سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ است.

**تشریح مدل جهت سنجش کارایی واحدها.** هدف از این بخش استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده است. مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق از نوع خروجی‌محور و بازده به مقیاس متغیر می‌باشند. همچنین با توجه به اینکه انتشار گازهای آلاینده روند رو به رشد دارد و برای بهبود کارایی زیست‌محیطی باید اقداماتی برای کاهش دی‌اکسید کربن انجام داد، بنابراین کاملاً روشن است که باید به فکر کاهش در مقدار این خروجی بود. در این مطالعه به منظور مقابله با داده‌های کیفی یا نامشخص، همچنین با توجه به شرایط ابهام و نادقیق بودن داده‌ها از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های فازی برای ارزیابی کارایی استفاده شده است؛ در کل، استفاده از تحلیل پوششی داده‌های فازی پنجره‌ای در ارزیابی کارایی زیست‌محیطی در استان‌های کشور، به دلیل دقت بالا، توانایی مدل‌سازی داده‌های فازی و شناسایی الگوهای پیچیده، یکی از بهترین روش‌ها است [۴۳].

**تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای.** تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای بر اساس دیدگاهی پویا بنا شده است، به این صورت که یک واحد تصمیم‌گیری (DMU) با امکان پذیر ساختن ترکیب مشاهدات در سری‌های زمانی و مقطعی تا حدودی مشکل ناکافی بودن مشاهدات را در ارزیابی‌های زمانی برطرف می‌کند [۴۴]. در تحلیل پنجره‌ای برای تعیین کارایی نسبی هر DMU از روش میانگین متحرک برای انتخاب مجموعه مرجع استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، هنگامی که پنجره مجموعه یک بار جابجا می‌شود، اولین دوره از هر پنجره حذف و یک دوره جدید به آن اضافه می‌شود. مزیت این روش، توصیف جامع تغییرات پویای کارایی هر DMU، به صورت افقی و عمودی است. نکته مهم‌تر اینکه، با استفاده از این روش تعداد واحدهای تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد و در نتیجه، با افزایش تعداد DMUها، قدرت تفکیک‌پذیری در شرایطی که تعداد محدودی DMU در دسترس است، تقویت می‌شود [۴۵]. فرض کنید مجموعه‌ای از  $N$  ( $N=1, \dots, n$ ) واحد تصمیم‌گیری (DMU) در بازه زمانی  $T$  ( $T=1, \dots, t$ ) وجود داشته باشد. هر DMU دارای  $m$  نوع ورودی و  $s$  نوع خروجی است. فرض کنید  $DMU_n^t$  واحد تصمیم‌گیری  $n$  در دوره زمانی  $t$  را نشان دهد، در این صورت بردار ورودی  $x_n^t$  و بردار خروجی  $y_n^t$  به صورت زیر نمایش داده می‌شوند [۴۶].

$$\begin{aligned} (x_n^t &= x_n^{1t} \dots \dots) \\ (y_n^t &= y_n^{1t} \dots \dots) \end{aligned} \quad \text{رابطه (۲)}$$

با فرض اینکه تحلیل پنجره در زمان  $k$  ( $1 \leq k \leq t$ ) شروع می‌شود و طول پنجره (تعداد پنجره‌ها)  $w$  ( $1 \leq k \leq t - k$ ) است، ورودی‌ها و خروجی‌ها را می‌توان به صورت زیر نشان داد [۴۷].

$$x_{k+w} = \begin{bmatrix} x_1^k & x_2^k & x_n^k \\ x_1^{k+1} & x_2^{k+1} & x_n^{k+1} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_1^{k+w} & x_2^{k+w} & x_n^{k+w} \end{bmatrix} \quad y_{k+w} = \begin{bmatrix} y_1^k & y_2^k & y_n^k \\ y_1^{k+1} & y_2^{k+1} & y_n^{k+1} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_1^{k+w} & y_2^{k+w} & y_n^{k+w} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این روش، هر استان در هر سال به‌عنوان DMU متفاوت در نظر گرفته می‌شود. دوره زمانی مورد بررسی از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ است؛ بنابراین، تعداد کل DMU ها (۲۹ استان  $\times$  ۴ سال) است. در اینجا، DEA یک معیار خروجی را در نظر می‌گیرد، یعنی سرانه گازهای آلاینده و دو معیار ورودی. از آنجایی که برای یک مدل W-DEA، امتیاز کارایی را می‌توان از طریق عرض‌های مختلف پنجره‌ها ( $w$ ) تفسیر کرد، کارایی فنی را می‌توان به روش‌های مختلف با تغییر این پارامتر ارزیابی کرد؛ بنابراین،  $w$  به‌عنوان ۴ مقدار مختلف انتخاب شد ( $w = 1, 2, 3, 4$ ) که در آن  $w = 1$  یک DMU را در هر دوره ارزیابی می‌کند (هر پنجره شامل ۲۹ DMU است). با توجه به پیشینه پژوهش، تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی قبلاً برای اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی استان‌ها استفاده نشده است؛ بنابراین بر اساس همه ورودی‌ها و خروجی‌ها کارایی را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی محاسبه و سپس برای هر امتیاز کارایی متفاوت در هر پنجره، نسبت کارایی زیست محیطی را محاسبه می‌کنیم؛ بنابراین هر چه نسبت کارایی این پنجره بیشتر باشد، کارایی زیست‌محیطی استان بیشتر خواهد بود [۴۴].

مدل تحلیل پنجره‌ای امکان مشاهده روند تغییر کارایی را در طول زمان فراهم می‌آورد. از این ویژگی می‌توان برای فهم این موضوع استفاده کرد که آیا استان‌ها در جهت افزایش کارایی عمل کرده‌اند یا خیر. برای نمایش فرمولی این موضوع فرض کنید که  $N$  واحد تصمیم‌گیرنده در دوره زمانی  $T$  ( $T=1, \dots, t$ ) وجود دارد و همه DMU ها از  $m$  نهاده برای تولید  $s$  ستانده استفاده می‌کنند؛ بنابراین نمونه شامل  $T \times N$  مشاهده خواهد بود و واحد تصمیم‌گیرنده  $n$  در دوره  $t$  یعنی  $DMU_n^t$  دارای یک بردار  $m$  بعدی از نهاده‌ها ( $x_n^{1t}, x_n^{2t}, \dots, x_n^{mt}$ ) و همچنین یک بردار  $s$  بعدی از ستانده‌ها ( $y_n^{1t}, y_n^{2t}, \dots, y_n^{st}$ ) است. پنجره که از زمان  $k$  شروع می‌شود ( $1 \leq k \leq t$ ) و دارای عرض  $W$  ( $1 \leq W \leq T - K$ ) است با  $kw$  مشخص می‌شود و دارای  $N \times K$  مشاهده است. ماتریس نهاده‌ها و ستانده‌ها برای تحلیل پنجره‌ای را می‌توان به ترتیب در بردارهای زیر مشاهده کرد؛ بنابراین ماتریس ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌صورت رابطه (۴) است [۴۶، ۴۷].

$$x_{kw} = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k, x_1^{k+1}, \dots, x_n^{k+W}) \quad Y_{kw} = (Y_1^k, Y_2^k, \dots, Y_n^k, Y_1^{k+1}, \dots, Y_n^{k+W}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

**تحلیل پوششی داده‌های فازی.** تحلیل پوششی داده‌ها دارای سه مزیت اصلی است: (۱) این روش یک مدل غیرپارامتری است و اصل مدل‌سازی شهودی و مستقیم می‌باشد. (۲) مدل مربوطه را می‌توان به برنامه‌ریزی خطی تبدیل کرد؛ بنابراین، مقادیر بهینه را می‌توان به راحتی به دست آورد؛ و (۳) این روش می‌تواند برای تجزیه و تحلیل کارایی استفاده شود؛ بنابراین، DEA مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و در بسیاری از زمینه‌های عملی استفاده شده است. به دلیل پیچیدگی دنیای واقعی، مقادیر مشاهده شده در مسائل زندگی واقعی اغلب مبهم هستند و گاهی اوقات به دست آوردن مستقیم مقدار دقیق داده‌های ورودی و خروجی دشوار است. داده‌های نادقیق اغلب برحسب فواصل مرزی، داده‌های توصیفی یا ترتیبی یا اعداد فازی بیان می‌شوند [۵۰]. برای پرداختن به این موضوع، تحلیل پوششی داده‌های فازی (FDEA) را بر اساس برنامه‌ریزی ریاضی فازی پیشنهاد کردند [۴۸]؛ بنابراین، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با دقت و اطمینان بیشتری اطلاعات ارزیابی را ارائه دهند. به این دلیل، FDEA توجه تحقیقات زیادی را به خود جلب کرده است. در سال‌های اخیر، محققان چندین مدل از FDEA را برای مقابله با موقعیت‌هایی که برخی از داده‌های ورودی یا خروجی نادقیق یا مبهم هستند، فرموله کرده‌اند. به‌طور کلی، روش‌های DEA فازی را می‌توان به چهار دسته اصلی طبقه‌بندی کرد: (۱) رویکرد تحمل [۳۸]؛ (۲) رویکرد مبتنی بر سطح  $\alpha$  [۳۰، ۱۹]؛ (۳) رویکرد رتبه‌بندی فازی [۱۵] و (۴) رویکرد امکان [۳۰]. علیرغم وجود انواع مختلف رویکردهای فازی برای بررسی ابهام و عدم قطعیت در مدل DEA که اکثر آن‌ها دارای پیچیدگی محاسباتی و منطق ضعیف هستند، در این مطالعه از یک مدل FDEA قابل‌درک مبتنی بر عملیات جبری فازی استفاده شده است. عملیاتی که از پیچیدگی محاسباتی بسیار کمتر و منطق قوی‌تری نسبت به سایر مدل‌های فازی DEA برخوردار است [۱۴]. با معرفی متغیرهای ورودی و خروجی فازی، مدل‌های DEA فازی زیر برای اندازه‌گیری کارایی فازی DMU تحت بررسی استفاده می‌شوند [۵۳].

$$\begin{aligned} \text{Min } \theta_0^l &= \sum_{r=1}^s v_i x_{i0}^l \\ \text{s. t: } & \sum_{i=1}^m u_r y_{r0}^u = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^u - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^l \leq 0 \quad (j = 1.2. \dots n) \\ & u_r \cdot v_i \geq 0. \quad (i = 1. \dots m; r = 1. \dots s) \end{aligned}$$

رابطه (۵). مدل حد پایین کارایی

$$\begin{aligned} \text{Min } \theta_0^m &= \sum_{r=1}^s v_i x_{i0}^m \\ \text{s. t: } & \sum_{i=1}^m u_r y_{r0}^m = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^u - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^l \leq 0 \quad (j = 1.2. \dots n) \\ & u_r \cdot v_i \geq 0. \quad (i = 1. \dots m; r = 1. \dots s) \end{aligned}$$

رابطه (۶). مدل حد وسط کارایی

$$\begin{aligned} \text{Min } \theta_0^u &= \sum_{r=1}^s v_i x_{i0}^u \\ \text{s. t: } & \sum_{i=1}^m u_r y_{r0}^l = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^u - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^l \leq 0 \quad (j = 1.2. \dots n) \\ & u_r \cdot v_i \geq 0. \quad (i = 1. \dots m; r = 1. \dots s) \end{aligned}$$

رابطه (۷). مدل حد بالای کارایی

#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

**مرحله اول: شناسایی و معرفی شاخص‌های ورودی و خروجی.** در این تحقیق، سه شاخص اصلی شامل سرانه مصرف انرژی، سرانه وسایل نقلیه و سرانه گازهای آلاینده انتخاب شده‌اند. در خصوص انتخاب متغیرها، موارد زیر لحاظ شدند:

۱. **بررسی ادبیات موضوع و احصای متغیرهای ورودی و خروجی:** در مقالات مشابه، معمولاً شاخص‌های ورودی و خروجی متنوعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما بسیاری از آن‌ها بر روی متغیرهای مرتبط با مصرف انرژی و حمل و نقل تمرکز داشته‌اند. به عنوان مثال، در تحقیقاتی که به بررسی کارایی زیست محیطی در کشورهای مختلف پرداخته‌اند، متغیرهایی مانند مصرف انرژی، تعداد وسایل نقلیه و میزان آلاینده‌ها به عنوان شاخص‌های کلیدی در نظر گرفته شده‌اند. این روند، نشان‌دهنده اهمیت این متغیرها در ارزیابی کارایی زیست محیطی است. در این تحقیق، مقالات متعددی که به ارزیابی کارایی زیست محیطی پرداخته‌اند، مورد بررسی قرار گرفتند. به عنوان مثال ال‌وی و شانگ<sup>۱</sup> (۲۰۲۳) به بررسی اثرات سیستم‌های حمل‌ونقل بر حفظ انرژی و کاهش انتشار سیستم‌های حمل‌ونقل پرداختند. خان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی رابطه بین مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست در چین پرداختند. لی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود به ارزیابی تأثیر مصرف انرژی و تخصیص عوامل بر آلودگی هوای چین پرداختند. پودنکس<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر سیاست‌های حمل‌ونقل بر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای از حمل‌ونقل مسافر شهری پرداخت. ناظمی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه خود به بررسی کارایی انرژی در استان‌های ایران با استفاده از متغیرهای مشابه پرداختند. کریمی دهکردی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به

1. Lv & Shang  
2. Khan  
3. Poudenx

ارزیابی کارایی انرژی در استان‌های منتخب ایران با استفاده از متغیرهای مشابه پرداختند. این مطالعات نشان می‌دهند که متغیرهای مرتبط با مصرف انرژی و حمل و نقل به‌طور مکرر به عنوان شاخص‌های کلیدی در ارزیابی کارایی زیست‌محیطی انتخاب شده‌اند.

## ۲. انتخاب متغیرها بر اساس داده‌های در دسترس و ارتباط مستقیم آنها با تولید آلاینده‌ها:

**سرانه مصرف انرژی:** این متغیر به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی، به میزان مصرف انرژی در هر استان اشاره دارد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که افزایش مصرف انرژی به‌طور مستقیم با افزایش تولید گازهای آلاینده مرتبط است. به عنوان مثال، در تحقیقاتی که به بررسی تأثیر مصرف انرژی بر آلودگی هوا پرداخته‌اند، مشخص شده است که هر چه سرانه مصرف انرژی بیشتر باشد، میزان آلاینده‌های تولید شده نیز افزایش می‌یابد. این ارتباط قوی، انتخاب این متغیر را توجیه می‌کند.

**سرانه وسایل نقلیه:** تعداد وسایل نقلیه در هر استان نیز به عنوان ورودی دیگر، تأثیر مستقیمی بر میزان آلاینده‌ها دارد. افزایش تعداد وسایل نقلیه به معنای افزایش ترافیک و در نتیجه افزایش انتشار گازهای آلاینده است. در بسیاری از مقالات مشابه، این متغیر به عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی کارایی زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است.

**سرانه گازهای آلاینده:** این شاخص به عنوان خروجی اصلی، به ارزیابی مستقیم تأثیرات منفی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست می‌پردازد.

**۳. تأیید متغیرهای ورودی و خروجی توسط خبرگان:** انتخاب این سه شاخص (سرانه مصرف انرژی، سرانه وسایل نقلیه و سرانه گازهای آلاینده) بر اساس نظرات ۱۰ کارشناس خبره در حوزه زیست‌محیطی و انرژی انجام شده است. این کارشناسان شامل دانشگاهیان، محققان و مدیران دولتی با تجربه در زمینه‌های مربوطه بودند. اجماع نظر میان آنها از طریق یک روش دلفی انجام شد که شامل چندین دور پرسش و پاسخ بود. این روش به ما این امکان را داد که به یک توافق کلی در مورد انتخاب شاخص‌ها برسیم.

در نهایت، با بررسی ادبیات موضوع و نیز مصاحبه با خبرگان حوزه زیست‌محیطی و تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و همچنین براساس داده‌های موجود، متغیرها انتخاب شدند که عبارتند از ۲ متغیر ورودی شامل سرانه مصرف انرژی ( $x_n^{1t}$ : سرانه مصرف انرژی استان  $n$ )  $(DMU_n: n = 1, 2, \dots, 29)$  در دوره  $t$  ( $t = 1, 2, 3, 4$ ) (این متغیر نشان‌دهنده میزان مصرف انرژی در هر استان به ازای هر نفر است) و سرانه وسایل نقلیه ( $x_n^{2t}$ : سرانه وسایل نقلیه استان  $n$ )  $(DMU_n: n = 1, 2, \dots, 29)$  در دوره  $t$  ( $t = 1, 2, 3, 4$ ) (این متغیر به میزان وسایل نقلیه و استفاده از آنها در هر استان اشاره دارد) و ۱ متغیر خروجی شامل سرانه گازهای آلاینده ( $y_n^t$ : سرانه گازهای آلاینده استان  $n$ )  $(DMU_n: n = 1, 2, \dots, 29)$  در دوره  $t$  ( $t = 1, 2, 3, 4$ ) (این متغیر به میزان آلاینده‌های تولید شده به ازای هر نفر در هر استان اشاره دارد. این خروجی به عنوان نماینده‌ای از تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی در نظر گرفته شده است).

**مرحله دوم: جمع‌آوری داده‌ها.** داده‌های مربوط به ورودی و خروجی‌های استان‌ها طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ از سالنامه آماری کشور جمع‌آوری شده است.

**مرحله سوم: تبدیل خروجی‌های نامطلوب به مطلوب.** در این مرحله، با استفاده از روش بیان شده در بخش مدل‌سازی عوامل نامطلوب، خروجی نامطلوب (سرانه گازهای آلاینده) به خروجی مطلوب تبدیل شده است.

**مرحله چهارم: اجرای مدل مورد استفاده در پژوهش.** در این مرحله، برای هر یک از استان‌ها در هر سال یک مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی از نوع BCC خروجی‌محور به‌طور جداگانه مدل‌سازی شد.

**مرحله پنجم: اجرای مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای.** هدف از اجرای مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای این است که عملکرد هر یک از DMUها (استان‌ها) در یک دوره زمانی را با عملکرد همان واحد (استان) در دوره‌های زمانی دیگر مقایسه کنیم تا بتوانیم به مرز کارایی دقیق‌تری دست پیدا کنیم. همچنین از آنجایی که تحلیل پنجره‌ای یک واحد تصمیم‌گیری را در هر سال با هویتی متفاوت ارزیابی می‌کند، سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ شامل سه پنجره دو ساله است و هر پنجره برای ۲۹ استان معادل ۵۸ واحد تصمیم‌گیری است و چون ۳ پنجره در هر مدل وجود دارد به تعداد ۱۷۴ مدل با نرم‌افزار لینگو حل شد. نتایج حاصل از اجرای مدل‌های پژوهش در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲. نتایج اجرای مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای.

استان	سال	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	میانگین کارایی
آذربایجان شرقی	پنجره ۱	(/۶۹۲۸۲۰./۶۹۲۸۷۰./۶۹۲۹۲۰)	(/۹۳۳۱۹۳۰./۹۳۳۱۹۹۰./۹۳۳۲۰۴)		(/۸۰۶۲۳۷۵۰./۸۰۶۲۴۳۱۰./۸۰۶۲۴۸۳)	
	پنجره ۲	(/۹۳۳۸۵۸۰./۹۳۳۸۶۴۰./۹۳۳۸۶۹)	(/۸۹۳۳۱۰۰./۸۹۳۳۱۴۰./۸۹۳۳۱۹)		(/۹۱۳۰۸۳۳۰./۹۱۳۰۸۸۹۰./۹۱۳۰۹۳۹)	
	پنجره ۳	(/۷۵۸۵۴۱۰./۷۵۸۵۴۵۰./۷۵۸۵۴۹)	(/۸۲۷۲۲۲۰./۸۲۷۲۲۶۰./۸۲۷۲۲۹)		(/۷۹۲۸۸۱۷۰./۷۹۲۸۸۵۱۰./۷۹۲۸۸۸۹)	
	میانگین	(/۶۹۲۸۲۰./۶۹۲۸۷۰./۶۹۲۹۲۰)	(/۹۳۳۱۹۳۰./۹۳۳۱۹۹۰./۹۳۳۲۰۴)	(/۸۲۵۹۲۵۷۰./۸۲۵۹۲۹۶۰./۸۲۵۹۳۳۸)	(/۸۰۶۲۳۷۵۰./۸۰۶۲۴۳۱۰./۸۰۶۲۴۸۳)	(/۸۰۶۲۳۷۵۰./۸۰۶۲۴۳۱۰./۸۰۶۲۴۸۳)
آذربایجان غربی	پنجره ۱	(/۵۵۵۹۶۹۰./۵۵۵۹۷۳۰./۵۵۵۹۷۷)	(/۸۶۸۷۱۷۰./۸۶۸۷۲۰./۸۶۸۷۳۰)		(/۷۱۲۳۴۰۰./۷۱۲۳۴۴۰./۷۱۲۳۴۸)	
	پنجره ۲	(/۸۶۸۲۲۲۰./۸۶۸۲۲۹۰./۸۶۸۲۳۶)	(/۷۳۰۷۴۳۰./۷۳۰۷۴۷۰./۷۳۰۷۵۲)		(/۷۹۹۴۸۳۰./۷۹۹۴۸۸۱۰./۷۹۹۴۹۳۹)	
	پنجره ۳	(/۶۷۷۱۹۷۰./۶۷۷۲۰۱۰./۶۷۷۲۰۶)	(/۶۲۶۹۱۷۰./۶۲۶۹۲۱۰./۶۲۶۹۲۵)		(/۶۵۲۰۵۸۰./۶۵۲۰۵۹۰۰./۶۵۲۰۶۳۵)	
	میانگین	(/۵۵۵۹۶۹۰./۵۵۵۹۷۳۰./۵۵۵۹۷۷)	(/۸۶۸۷۱۷۰./۸۶۸۷۲۰./۸۶۸۷۳۰)	(/۷۰۳۶۹۸۰./۷۰۳۶۹۸۰./۷۰۳۶۹۸۰)	(/۶۲۶۹۱۷۰./۶۲۶۹۲۱۰./۶۲۶۹۲۵)	(/۶۲۶۹۱۷۰./۶۲۶۹۲۱۰./۶۲۶۹۲۵)
اردبیل	پنجره ۱	(/۶۶۱۰۸۳۰./۶۶۱۰۸۳۰./۶۶۱۱۱۵)	(/۸۶۸۸۱۰./۸۶۸۸۱۰./۸۶۸۸۱۵)		(/۷۶۴۹۸۲۱۰./۷۶۴۹۹۷۰./۷۶۵۰۱۵۲)	
	پنجره ۲	(/۸۶۸۲۱۷۰./۸۶۸۲۳۰./۸۶۸۲۵۰)	(/۸۳۴۷۴۲۰./۸۳۴۷۵۴۰./۸۳۴۷۶۷)		(/۸۵۱۲۶۹۴۰./۸۵۱۲۹۴۰۰./۸۵۱۳۱۸۵)	
	پنجره ۳	(/۷۶۳۵۹۰./۷۶۳۶۰۰./۷۶۳۶۱۳)	(/۸۱۹۸۲۰۰./۸۱۹۸۳۱۰./۸۱۹۸۴۱)		(/۷۹۱۷۱۰۰./۷۹۱۷۱۵۰۰./۷۹۱۷۲۰۰)	
	میانگین	(/۶۶۱۰۸۳۰./۶۶۱۰۸۳۰./۶۶۱۱۱۵)	(/۸۶۸۸۱۰./۸۶۸۸۱۰./۸۶۸۸۱۵)	(/۷۹۹۱۶۵۸۰./۷۹۹۱۷۰۰./۷۹۹۱۷۰۰)	(/۸۱۹۸۲۰۰./۸۱۹۸۳۱۰./۸۱۹۸۴۱)	(/۸۰۲۷۲۲۱۰./۸۰۲۷۲۶۰۰./۸۰۲۷۳۰۰)
اصفهان	پنجره ۱	(/۵۵۵۹۶۹۰./۵۵۵۹۷۳۰./۵۵۵۹۷۷)	(/۸۱۱۱۳۲۰./۸۱۱۱۳۴۰./۸۱۱۱۳۸)		(/۶۸۲۶۴۴۲۰./۶۸۲۶۴۸۰./۶۸۲۶۵۲۶)	
	پنجره ۲	(/۸۱۰۲۴۲۰./۸۱۰۲۴۴۰./۸۱۰۲۴۷)	(/۸۷۷۲۰۰./۸۷۷۲۰۵۰./۸۷۷۲۱۰)		(/۸۴۳۷۳۶۰./۸۴۳۷۴۰۰./۸۴۳۷۴۴۰)	
	پنجره ۳	(/۱۲۹۹۶۲۰./۱۲۹۹۶۲۰./۱۲۹۹۶۲۰)	(/۱۲۹۹۶۲۰./۱۲۹۹۶۲۰./۱۲۹۹۶۲۰)		(/۸۱۳۴۴۴۰./۸۱۳۴۴۴۰./۸۱۳۴۴۴۰)	
	میانگین	(/۵۵۵۹۶۹۰./۵۵۵۹۷۳۰./۵۵۵۹۷۷)	(/۸۱۰۲۴۲۰./۸۱۰۲۴۴۰./۸۱۰۲۴۷)	(/۱۰۱۱۶۸۳۱۰./۱۰۱۱۶۸۳۱۰./۱۰۱۱۶۸۳۱۰)	(/۸۱۳۴۴۴۰./۸۱۳۴۴۴۰./۸۱۳۴۴۴۰)	(/۸۱۳۴۴۴۰./۸۱۳۴۴۴۰./۸۱۳۴۴۴۰)
البرز	پنجره ۱	(/۶۸۶۵۵۲۰./۶۸۶۵۵۹۰./۶۸۶۵۶۶)	(/۱۵۷۳۳۰./۱۵۷۳۳۰./۱۵۷۳۳۰)		(/۴۲۲۱۳۷۰./۴۲۲۱۴۵۰./۴۲۲۱۵۳)	
	پنجره ۲	(/۱۵۶۸۴۴۰./۱۵۶۸۴۴۰./۱۵۶۸۴۴۰)	(/۸۲۴۱۸۱۰./۸۲۴۱۸۱۰./۸۲۴۱۸۱۰)		(/۴۹۰۵۰۸۳۰./۴۹۰۵۱۵۱۰./۴۹۰۵۲۱۹)	
	پنجره ۳	(/۶۸۶۵۵۲۰./۶۸۶۵۵۹۰./۶۸۶۵۶۶)	(/۷۵۷۵۴۰./۷۵۷۵۴۰./۷۵۷۵۴۰)		(/۸۱۶۲۷۵۱۰./۸۱۶۲۸۹۹۰./۸۱۶۳۰۴۳)	
	میانگین	(/۶۸۶۵۵۲۰./۶۸۶۵۵۹۰./۶۸۶۵۶۶)	(/۱۵۷۳۳۰./۱۵۷۳۳۰./۱۵۷۳۳۰)	(/۷۹۰۸۶۰۰./۷۹۰۸۶۰۰./۷۹۰۸۶۰۰)	(/۸۱۶۲۷۵۱۰./۸۱۶۲۸۹۹۰./۸۱۶۳۰۴۳)	(/۸۱۶۲۷۵۱۰./۸۱۶۲۸۹۹۰./۸۱۶۳۰۴۳)
ایلام	پنجره ۱	(/۹۹۹۹۸۰./۹۹۹۹۸۵۰./۹۹۹۹۹۰)	(/۸۷۸۸۴۱۰./۸۷۸۸۴۱۰./۸۷۸۸۴۱۰)		(/۹۳۴۹۱۳۰./۹۳۴۹۱۳۰./۹۳۴۹۱۳۰)	
	پنجره ۲	(/۸۷۸۱۰۰./۸۷۸۱۰۰./۸۷۸۱۰۰)	(/۷۶۹۰۵۴۰./۷۶۹۰۵۴۰./۷۶۹۰۵۴۰)		(/۸۳۲۵۶۱۰./۸۳۲۵۶۱۰./۸۳۲۵۶۱۰)	
	پنجره ۳	(/۷۱۱۰۲۰./۷۱۱۰۲۰./۷۱۱۰۲۰)	(/۷۱۱۰۲۰./۷۱۱۰۲۰./۷۱۱۰۲۰)		(/۶۰۰۰۰۰./۶۰۰۰۰۰./۶۰۰۰۰۰)	
	میانگین	(/۹۹۹۹۸۰./۹۹۹۹۸۵۰./۹۹۹۹۹۰)	(/۸۷۸۸۴۱۰./۸۷۸۸۴۱۰./۸۷۸۸۴۱۰)	(/۷۴۰۰۰۰./۷۴۰۰۰۰./۷۴۰۰۰۰)	(/۹۳۴۹۱۳۰./۹۳۴۹۱۳۰./۹۳۴۹۱۳۰)	(/۹۳۴۹۱۳۰./۹۳۴۹۱۳۰./۹۳۴۹۱۳۰)
بوشهر	پنجره ۱	(/۶۷۳۷۴۰./۶۷۳۷۴۰./۶۷۳۷۴۰)	(/۶۹۳۳۴۰./۶۹۳۳۴۰./۶۹۳۳۴۰)		(/۵۸۲۵۰۰۰./۵۸۲۵۰۰۰./۵۸۲۵۰۰۰)	
	پنجره ۲	(/۶۹۱۱۷۴۰./۶۹۱۱۷۴۰./۶۹۱۱۷۴۰)	(/۵۳۵۰۷۶۰./۵۳۵۰۷۶۰./۵۳۵۰۷۶۰)		(/۶۱۳۴۰۰۰./۶۱۳۴۰۰۰./۶۱۳۴۰۰۰)	
	پنجره ۳	(/۶۹۳۳۴۰./۶۹۳۳۴۰./۶۹۳۳۴۰)	(/۴۹۹۹۳۴۰./۴۹۹۹۳۴۰./۴۹۹۹۳۴۰)		(/۶۵۷۰۳۷۵۰./۶۵۷۰۳۷۵۰./۶۵۷۰۳۷۵۰)	
	میانگین	(/۶۷۳۷۴۰./۶۷۳۷۴۰./۶۷۳۷۴۰)	(/۶۹۳۳۴۰./۶۹۳۳۴۰./۶۹۳۳۴۰)	(/۵۱۷۴۱۰./۵۱۷۴۱۰./۵۱۷۴۱۰)	(/۶۱۳۴۰۰۰./۶۱۳۴۰۰۰./۶۱۳۴۰۰۰)	(/۶۱۳۴۰۰۰./۶۱۳۴۰۰۰./۶۱۳۴۰۰۰)
تهران	پنجره ۱	(/۶۸۵۵۷۰./۶۸۵۵۷۰./۶۸۵۵۷۰)	(/۹۲۷۲۸۰./۹۲۷۲۸۰./۹۲۷۲۸۰)		(/۸۰۶۴۲۵۰./۸۰۶۴۲۵۰./۸۰۶۴۲۵۰)	
	پنجره ۲	(/۹۲۶۷۲۴۰./۹۲۶۷۲۴۰./۹۲۶۷۲۴۰)	(/۸۰۷۱۴۵۰./۸۰۷۱۴۵۰./۸۰۷۱۴۵۰)		(/۸۶۶۹۳۳۹۰./۸۶۶۹۳۳۹۰./۸۶۶۹۳۳۹۰)	
	پنجره ۳	(/۶۸۵۵۷۰./۶۸۵۵۷۰./۶۸۵۵۷۰)	(/۷۴۷۳۴۰./۷۴۷۳۴۰./۷۴۷۳۴۰)		(/۷۹۸۶۴۷۰./۷۹۸۶۴۷۰./۷۹۸۶۴۷۰)	
	میانگین	(/۶۸۵۵۷۰./۶۸۵۵۷۰./۶۸۵۵۷۰)	(/۹۲۷۲۸۰./۹۲۷۲۸۰./۹۲۷۲۸۰)	(/۷۷۷۳۴۰./۷۷۷۳۴۰./۷۷۷۳۴۰)	(/۷۹۸۶۴۷۰./۷۹۸۶۴۷۰./۷۹۸۶۴۷۰)	(/۸۰۶۴۲۵۰./۸۰۶۴۲۵۰./۸۰۶۴۲۵۰)
چهارمحال و بختیاری	پنجره ۱	(/۶۹۰۹۲۱۰./۶۹۰۹۲۱۰./۶۹۰۹۲۱۰)	(/۹۴۰۰۴۳۰./۹۴۰۰۴۳۰./۹۴۰۰۴۳۰)		(/۸۱۵۴۷۱۰./۸۱۵۴۷۱۰./۸۱۵۴۷۱۰)	
	پنجره ۲	(/۹۳۹۶۲۰./۹۳۹۶۲۰./۹۳۹۶۲۰)	(/۸۷۷۱۸۵۰./۸۷۷۱۸۵۰./۸۷۷۱۸۵۰)		(/۸۰۸۴۱۵۰./۸۰۸۴۱۵۰./۸۰۸۴۱۵۰)	
	پنجره ۳	(/۶۹۰۹۲۱۰./۶۹۰۹۲۱۰./۶۹۰۹۲۱۰)	(/۷۶۶۰۲۴۰./۷۶۶۰۲۴۰./۷۶۶۰۲۴۰)		(/۷۳۹۷۵۴۰./۷۳۹۷۵۴۰./۷۳۹۷۵۴۰)	
	میانگین	(/۶۹۰۹۲۱۰./۶۹۰۹۲۱۰./۶۹۰۹۲۱۰)	(/۹۴۰۰۴۳۰./۹۴۰۰۴۳۰./۹۴۰۰۴۳۰)	(/۸۲۱۶۴۳۰./۸۲۱۶۴۳۰./۸۲۱۶۴۳۰)	(/۸۰۸۴۱۵۰./۸۰۸۴۱۵۰./۸۰۸۴۱۵۰)	(/۸۰۸۴۱۵۰./۸۰۸۴۱۵۰./۸۰۸۴۱۵۰)
خراسان رضوی	پنجره ۱	(/۶۳۰۲۲۳۰./۶۳۰۲۲۳۰./۶۳۰۲۲۳۰)	(/۸۶۵۹۷۵۰./۸۶۵۹۷۵۰./۸۶۵۹۷۵۰)		(/۷۴۸۰۹۸۰./۷۴۸۰۹۸۰./۷۴۸۰۹۸۰)	
	پنجره ۲	(/۸۶۵۴۱۳۰./۸۶۵۴۱۳۰./۸۶۵۴۱۳۰)	(/۷۰۲۹۳۶۰./۷۰۲۹۳۶۰./۷۰۲۹۳۶۰)		(/۸۴۱۱۷۳۰./۸۴۱۱۷۳۰./۸۴۱۱۷۳۰)	
	پنجره ۳	(/۸۶۵۹۷۵۰./۸۶۵۹۷۵۰./۸۶۵۹۷۵۰)	(/۶۴۸۴۴۰./۶۴۸۴۴۰./۶۴۸۴۴۰)		(/۶۹۰۵۲۶۹۰./۶۹۰۵۲۶۹۰./۶۹۰۵۲۶۹۰)	
	میانگین	(/۶۳۰۲۲۳۰./۶۳۰۲۲۳۰./۶۳۰۲۲۳۰)	(/۸۶۵۹۷۵۰./۸۶۵۹۷۵۰./۸۶۵۹۷۵۰)	(/۶۵۶۳۴۹۰./۶۵۶۳۴۹۰./۶۵۶۳۴۹۰)	(/۷۴۸۰۹۸۰./۷۴۸۰۹۸۰./۷۴۸۰۹۸۰)	(/۷۴۸۰۹۸۰./۷۴۸۰۹۸۰./۷۴۸۰۹۸۰)
خراسان شمالی	پنجره ۱	(/۶۳۸۱۱۱۰./۶۳۸۱۱۱۰./۶۳۸۱۱۱۰)	(/۹۰۵۳۵۰./۹۰۵۳۵۰./۹۰۵۳۵۰)		(/۷۷۱۷۲۷۰./۷۷۱۷۲۷۰./۷۷۱۷۲۷۰)	
	پنجره ۲	(/۹۰۴۸۳۰./۹۰۴۸۳۰./۹۰۴۸۳۰)	(/۷۳۹۰۲۱۰./۷۳۹۰۲۱۰./۷۳۹۰۲۱۰)		(/۸۲۱۹۱۰۰./۸۲۱۹۱۰۰./۸۲۱۹۱۰۰)	
	پنجره ۳	(/۶۳۰۲۲۳۰./۶۳۰۲۲۳۰./۶۳۰۲۲۳۰)	(/۶۶۶۳۴۷۰./۶۶۶۳۴۷۰./۶۶۶۳۴۷۰)		(/۷۰۰۰۰۰./۷۰۰۰۰۰./۷۰۰۰۰۰)	
	میانگین	(/۶۳۸۱۱۱۰./۶۳۸۱۱۱۰./۶۳۸۱۱۱۰)	(/۹۰۵۳۵۰./۹۰۵۳۵۰./۹۰۵۳۵۰)	(/۷۰۰۰۰۰./۷۰۰۰۰۰./۷۰۰۰۰۰)	(/۷۷۱۷۲۷۰./۷۷۱۷۲۷۰./۷۷۱۷۲۷۰)	(/۷۷۱۷۲۷۰./۷۷۱۷۲۷۰./۷۷۱۷۲۷۰)
قزوین	پنجره ۱	(/۶۵۴۵۵۹۰./۶۵۴۵۵۹۰./۶۵۴۵۵۹۰)	(/۸۱۳۴۵۰./۸۱۳۴۵۰./۸۱۳۴۵۰)		(/۷۶۸۹۹۷۳۰./۷۶۸۹۹۷۳۰./۷۶۸۹۹۷۳۰)	







استان‌ها	۱۳۹۸-۱۳۹۹	۱۳۹۷-۱۳۹۸	۱۳۹۶-۱۳۹۷
اصفهان	(.۰/۹۸۶۶۷۹۰۰/۹۸۳۴۱۴۸۰/۹۸۳۴۴۴۴)	(.۰/۸۴۳۷۱۹۸۰/۸۴۳۷۲۳۶۰/۸۴۳۷۲۹۱)	(.۰/۶۸۳۶۴۴۴۳۰/۶۸۳۶۴۸۶۰/۶۸۳۶۵۲۶)
البرز	(.۰/۸۱۶۳۷۵۱۰/۸۱۶۳۸۹۹۰/۸۱۶۴۰۳۹)	(.۰/۴۹۰۵۰۸۳۰/۴۹۰۵۱۵۱۰/۴۹۰۵۲۱۹)	(.۰/۴۲۲۱۳۷۷۰/۴۲۲۱۴۵۶۰/۴۲۲۱۵۳۱)
ایلام	(.۰/۶۰۴۹۰۰۰۰/۶۰۴۹۱۷۴۰/۶۰۴۹۳۶۴)	(.۰/۸۲۳۵۶۲۱۰/۸۲۳۵۹۳۵۰/۸۲۳۶۲۶۰)	(.۰/۹۳۹۳۹۱۳۰/۹۳۹۴۱۳۱۰/۹۳۹۴۳۸۴)
بوشهر	(.۰/۶۵۷۰۳۷۵۰/۶۵۷۰۴۳۸۰/۶۵۷۰۵۱۰)	(.۰/۶۱۳۴۰۱۷۰/۶۱۳۴۱۷۲۰/۶۱۳۴۱۹۲)	(.۰/۵۸۳۵۰۰۳۰/۵۸۳۵۱۹۰۰/۵۸۳۵۲۶۳)
تهران	(.۰/۷۹۸۶۴۷۶۰/۷۹۸۶۵۷۰۰/۷۹۸۶۶۵۹)	(.۰/۸۶۶۹۳۳۹۰/۸۶۶۹۳۵۴۰/۸۶۶۹۳۶۹)	(.۰/۸۰۶۴۲۹۵۰/۸۰۶۴۳۱۳۰/۸۰۶۴۳۲۹)
چهارمحال و بختیاری	(.۰/۷۳۹۷۵۴۳۰/۷۳۹۷۶۷۶۰/۷۳۹۷۷۱۸)	(.۰/۹۰۸۴۱۱۵۰/۹۰۸۴۳۱۲۰/۹۰۸۴۵۱۴)	(.۰/۸۱۵۴۷۱۰۰/۸۱۵۴۹۳۹۰/۸۱۵۵۱۴۷)
خراسان رضوی	(.۰/۶۹۰۵۲۶۹۰/۶۹۰۵۳۱۴۰/۶۹۰۵۳۴۰)	(.۰/۷۸۴۱۷۲۳۰/۷۸۴۱۷۵۰۰/۷۸۴۱۷۷۴)	(.۰/۷۴۸۰۹۸۰/۷۴۸۱۰۲۲۰/۷۴۸۱۰۴۷)
خراسان شمالی	(.۰/۷۰۲۷۰۹۲۰/۷۰۲۷۶۱۶۰/۷۰۲۷۷۰۵)	(.۰/۸۲۱۹۱۰۲۰/۸۲۱۹۳۲۳۰/۸۲۱۹۵۵۱)	(.۰/۷۷۱۷۲۲۷۰/۷۷۱۷۴۲۹۰/۷۷۱۷۷۲۳)
خوزستان	(.۰/۸۰۰۷۳۳۸۰/۸۰۰۷۳۴۱۰/۸۰۰۷۳۵۶)	(.۰/۹۴۱۳۶۱۶۰/۹۴۱۳۶۵۰۰/۹۴۱۳۶۷۰)	(.۰/۷۶۸۹۹۷۳۰/۷۶۹۰۰۰۹۰/۷۶۹۰۰۶۳)
زنجان	(.۰/۵۸۵۰۱۳۵۰/۵۸۵۰۱۵۸۰/۵۸۵۰۱۷۶)	(.۰/۷۴۸۱۲۸۸۰/۷۴۸۱۴۵۵۰/۷۴۸۱۶۳۸)	(.۰/۷۰۸۱۸۵۸۰/۷۰۸۲۰۲۳۰/۷۰۸۲۲۶۳)
سمنان	(.۰/۶۱۷۳۷۷۵۰/۶۱۷۳۷۹۹۰/۶۱۷۳۸۳۰)	(.۰/۵۷۸۱۷۴۴۰/۵۷۸۳۰۷۵۰/۵۷۸۳۳۵۵)	(.۰/۵۱۶۸۱۵۱۰/۵۱۶۸۴۰۰۰/۵۱۶۸۷۶۱)
سیستان و بلوچستان	(.۰/۶۸۹۱۸۷۳۰/۶۸۹۱۸۹۶۰/۶۸۹۱۹۱۵)	(.۰/۷۷۸۶۹۳۲۰/۷۷۸۷۰۰۲۰/۷۷۸۷۰۷۱)	(.۰/۶۰۵۶۴۵۷۰/۶۰۵۶۴۱۹۰/۶۰۵۶۵۸۲)
فارس	(.۰/۵۳۹۱۳۸۷۰/۵۳۹۱۴۰۲۰/۵۳۹۱۴۱۷)	(.۰/۷۷۶۱۵۴۴۰/۷۷۶۱۵۸۳۰/۷۷۶۱۵۸۳)	(.۰/۷۳۵۶۴۷۴۰/۷۳۵۶۵۱۲۰/۷۳۵۶۵۶۲)
قزوین	(.۰/۵۳۶۵۴۱۹۰/۵۳۶۵۴۳۷۰/۵۳۶۵۴۵۴)	(.۰/۵۷۹۲۶۷۲۰/۵۷۹۲۸۸۶۰/۵۷۹۳۰۳۹)	(.۰/۵۱۰۱۴۹۴۰/۵۱۰۱۶۳۲۰/۵۱۰۱۸۲۹)
قم	(.۰/۷۰۰۹۳۳۳۰/۷۰۰۹۳۹۶۰/۷۰۰۹۳۳۳)	(.۰/۷۱۳۵۲۰۵۰/۷۱۳۵۳۵۵۰/۷۱۳۵۵۰۹)	(.۰/۶۶۱۷۵۲۳۰/۶۶۱۷۶۶۳۰/۶۶۱۷۸۶۳)
کردستان	(.۰/۶۷۹۷۱۸۷۰/۶۷۹۷۳۵۲۰/۶۷۹۷۴۳۸)	(.۰/۸۶۶۷۵۲۹۰/۸۶۶۷۶۵۳۰/۸۶۶۷۷۷۷)	(.۰/۷۷۷۸۸۸۹۰/۷۷۷۸۹۹۷۰/۷۷۷۹۱۵۴)
کرمان	(.۰/۶۷۳۴۰۲۳۰/۶۷۳۴۱۲۶۰/۶۷۳۴۳۵۶)	(.۰/۶۵۰۶۵۷۰/۶۵۰۶۶۱۰۰/۶۵۰۶۶۹۰)	(.۰/۶۱۰۸۳۷۰/۶۱۰۸۴۲۵۰/۶۱۰۸۵۲۳)
کرمانشاه	(.۰/۷۱۶۹۵۶۴۰/۷۱۶۹۶۰۵۰/۷۱۶۹۶۳۱)	(.۰/۷۴۸۴۰۰۳۰/۷۴۸۴۰۸۹۰/۷۴۸۴۲۲۴)	(.۰/۵۸۱۷۰۵۵۰/۵۸۱۷۲۱۸۰/۵۸۱۷۳۵۴)
کهگیلویه و بویراحمد	(.۰/۷۴۵۱۳۳۵۰/۷۴۵۱۳۹۴۰/۷۴۵۱۴۳۲)	(.۰/۸۹۲۵۷۹۷۰/۸۹۲۶۰۲۲۰/۸۹۲۶۳۶۰)	(.۰/۸۵۴۶۷۱۷۰/۸۵۴۷۱۴۲۰/۸۵۴۷۴۸۳)
گلستان	(.۰/۷۳۶۰۷۸۵۰/۷۳۶۰۸۰۳۰/۷۳۶۰۸۳۳)	(.۰/۸۸۱۵۶۳۹۰/۸۸۱۵۷۲۳۰/۸۸۱۵۸۱۶)	(.۰/۸۲۶۸۷۶۳۰/۸۲۶۸۹۳۲۰/۸۲۶۹۰۷۴)
گیلان	(.۰/۷۵۲۰۳۴۸۰/۷۵۲۰۴۰۱۰/۷۵۲۰۴۳۶)	(.۰/۷۹۰۳۷۶۱۰/۷۹۰۳۸۲۸۰/۷۹۰۳۹۳۱)	(.۰/۹۱۸۵۹۲۲۰/۹۱۸۶۱۰۹۰/۹۱۸۶۲۵۱)
لرستان	(.۰/۷۲۰۸۹۸۵۰/۷۲۰۹۰۲۴۰/۷۲۰۹۰۴۶)	(.۰/۸۷۲۶۱۹۹۰/۸۷۲۶۲۹۳۰/۸۷۲۶۳۸۸)	(.۰/۸۰۵۶۰۲۸۰/۸۰۵۶۲۰۳۰/۸۰۵۶۳۴۸)
مازندران	(.۰/۳۸۴۷۰۵۶۰/۳۸۴۷۱۱۲۰/۳۸۴۷۱۶۸)	(.۰/۷۷۳۵۵۶۷۰/۷۷۳۵۶۲۶۰/۷۷۳۵۶۷۸)	(.۰/۶۳۳۷۲۶۷۰/۶۳۳۷۳۶۲۰/۶۳۳۷۴۶۴)
هرمزگان	(.۰/۵۶۶۱۶۶۲۰/۵۶۶۱۶۶۷۰/۵۶۶۱۶۷۲)	(.۰/۲۱۱۹۲۸۱۰/۲۱۱۹۳۸۲۰/۲۱۱۹۵۰۶)	(.۰/۲۱۹۵۰۸۸۰/۲۱۹۵۲۶۵۰/۲۱۹۵۴۱۴)
همدان	(.۰/۴۸۶۹۵۳۲۰/۴۸۶۹۶۱۷۰/۴۸۶۹۶۹۴)	(.۰/۶۰۸۹۸۳۰/۶۰۹۰۸۷۰/۶۰۹۲۱۶)	(.۰/۵۸۱۴۶۷۸۰/۵۸۱۴۸۶۱۰/۵۸۱۵۰۱۵)
یزد	(.۰/۳۰۴۷۹۲۷۰/۳۰۴۷۹۶۹۰/۳۰۴۷۹۷۴)	(.۰/۴۰۴۳۱۹۲۰/۴۰۴۳۳۴۹۰/۴۰۴۳۵۴۵)	(.۰/۴۱۰۴۸۲۹۰/۴۱۰۵۱۰۷۰/۴۱۰۵۳۴۳)

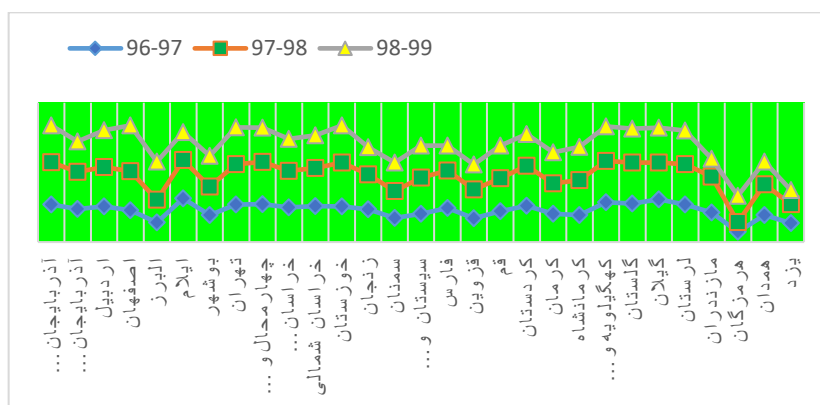
**مرحله هفتم: رتبه‌بندی استان‌ها بر حسب میانگین کارایی پنجره‌ای.** در این مرحله برای رتبه‌بندی کامل DMUها، روش فازی‌زادایی با استفاده از تابع بتا (رابطه ۸) استفاده شده است [۵۳]. با استفاده از رابطه (۸) کارایی قطعی استان‌ها در هر پنجره محاسبه شده و به همراه رتبه‌بندی کامل استان‌ها در جدول ۵ ارائه شده است، همچنین نمایش کارایی سالانه هر استان در هر پنجره در شکل ۱ نمایش داده شده است.

$$\theta = \frac{\tilde{\theta}_L + 4\tilde{\theta}_M + \tilde{\theta}_U}{6} \tag{۸} \text{رابطه}$$

جدول ۵. کارایی قطعی در هر پنجره و رتبه‌بندی استان‌ها بر حسب میانگین کارایی پنجره‌ای

رتبه	میانگین کارایی	پنجره ۹۸-۹۹	پنجره ۹۷-۹۸	پنجره ۹۶-۹۷	استان‌ها
۱	۰/۸۳۷۴۰۷	۰/۷۹۲۸۸۵۱	۰/۹۱۳۰۸۸۹	۰/۸۰۶۲۴۸	آذربایجان شرقی
۱۵	۰/۷۲۱۲۹۸۵	۰/۶۵۲۰۵۹۰	۰/۷۹۹۴۸۸۱	۰/۷۱۲۳۴۸۴	آذربایجان غربی
۹	۰/۸۰۲۷۳۶۴	۰/۷۹۱۷۱۵۴	۰/۸۵۱۴۹۴۰	۰/۷۶۴۹۹۹۷	اردبیل
۳	۰/۸۳۶۹۳۹۰	۰/۹۸۳۴۱۴۸	۰/۸۴۳۷۲۳۶	۰/۶۸۳۶۴۸۶	اصفهان
۲۵	۰/۵۷۶۳۵۰۲	۰/۸۱۶۳۸۹۹	۰/۴۹۰۵۱۵۱	۰/۴۲۲۱۴۵۶	البرز
۱۱	۰/۷۸۹۳۰۸۰	۰/۶۰۴۹۱۷۴	۰/۸۲۳۵۹۳۵	۰/۹۳۹۴۱۳۱	ایلام
۲۲	۰/۶۱۷۹۹۳۳	۰/۶۵۷۰۴۳۸	۰/۶۱۳۴۱۷۲	۰/۵۸۳۵۱۹۰	بوشهر
۵	۰/۸۲۴۰۰۷۹	۰/۷۹۸۶۵۷۰	۰/۸۶۶۹۳۵۴	۰/۸۰۶۴۳۱۳	تهران

رتبه	میانگین کارایی	پنجره ۹۸-۹۹	پنجره ۹۷-۹۸	پنجره ۹۶-۹۷	استان‌ها
۶	۰/۸۲۱۲۳۰۹	۰/۷۳۹۷۶۷۶	۰/۹۰۸۴۳۱۲	۰/۸۱۵۴۹۳۹	چهارمحال و بختیاری
۱۴	۰/۷۴۰۹۳۶۲	۰/۶۹۰۵۳۱۴	۰/۷۸۴۱۷۵۰	۰/۷۴۸۱۰۲۲۰	خراسان رضوی
۱۳	۰/۷۶۵۴۷۹۰	۰/۷۰۲۷۶۱۶	۰/۸۲۱۹۳۲۳	۰/۷۷۱۷۴۲۹	خراسان شمالی
۲	۰/۸۳۷۰۳۲۷	۰/۸۰۰۷۳۴۱	۰/۹۴۱۳۶۵۰	۰/۷۶۹۰۰۰۹	خوزستان
۲۰	۰/۶۸۰۴۵۴۵	۰/۵۸۵۰۱۵۸	۰/۷۴۸۱۴۵۵	۰/۷۰۸۲۰۲۳	زنجان
۲۶	۰/۵۷۰۸۴۲۵	۰/۶۱۷۳۷۹۹	۰/۵۷۸۳۰۷۵	۰/۵۱۶۸۴۰۰	سمنان
۱۷	۰/۶۹۱۱۸۰۶	۰/۶۹۱۱۸۹۶	۰/۷۷۸۷۰۰۲	۰/۶۰۵۶۴۵۱۹	سیستان و بلوچستان
۱۸	۰/۶۸۳۶۴۸۶	۰/۵۳۹۱۴۰۲	۰/۷۷۶۱۵۴۴	۰/۷۳۵۶۵۱۲	فارس
۲۷	۰/۵۴۱۹۹۸۵	۰/۵۳۶۵۴۳۷	۰/۵۷۹۲۸۸۶	۰/۵۱۰۱۶۳۲	قزوین
۱۶	۰/۶۹۲۰۷۷۱	۰/۷۰۰۹۲۹۶	۰/۷۱۳۵۳۵۵	۰/۶۶۱۷۶۶۳	قم
۱۲	۰/۷۷۵۰۳۳۴	۰/۶۷۹۷۳۵۲	۰/۸۶۶۷۶۵۳	۰/۷۷۸۵۹۹۷	کردستان
۲۱	۰/۶۴۴۹۷۲۳	۰/۶۷۳۴۱۲۶	۰/۶۵۰۶۶۱۷	۰/۶۱۰۸۴۲۵	کرمان
۱۹	۰/۶۸۲۳۶۳۷	۰/۷۱۶۹۶۰۵	۰/۷۴۸۴۰۸۹	۰/۵۸۱۷۲۱۸	کرمانشاه
۴	۰/۸۳۰۸۱۸۶	۰/۷۱۶۹۶۰۵	۰/۸۹۲۶۰۲۲	۰/۸۵۴۷۱۴۲	کهگیلویه و بویراحمد
۸	۰/۸۱۴۸۴۸۶	۰/۷۴۵۱۳۹	۰/۸۸۱۵۷۲۳	۰/۸۲۶۸۹۳۲	گلستان
۷	۰/۸۲۰۳۴۴۶	۰/۷۳۶۰۸۰۳	۰/۷۹۰۳۸۲۸	۰/۹۱۸۶۱۰۹	گیلان
۱۰	۰/۷۹۹۷۱۷۳	۰/۷۵۲۰۴۰۱۰	۰/۸۷۲۶۲۹۳	۰/۸۰۵۶۲۰۳	لرستان
۲۳	۰/۵۹۷۳۳۶۷	۰/۷۲۰۹۰۲۴	۰/۷۷۳۵۶۲۶	۰/۶۳۳۷۳۶۲	مازندران
۲۹	۰/۳۳۲۵۴۳۱	۰/۵۶۶۱۶۴۷	۰/۲۱۱۹۳۸۲	۰/۲۱۹۵۲۶۵	هرمزگان
۲۴	۰/۵۷۶۴۵۲۲	۰/۴۸۶۹۶۱۷	۰/۶۶۰۹۰۸۷	۰/۵۸۱۴۸۶۱	همدان
۲۸	۰/۳۷۳۲۱۳۵	۰/۳۰۴۷۹۴۹	۰/۴۰۴۳۳۴۹	۰/۴۱۰۵۱۰۷	یزد



شکل ۱. نمایش کارایی سالانه هر استان در هر پنجره

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای ارزیابی کارایی زیست محیطی استان‌های کشور از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها از نوع BCC خروجی محور استفاده شد. در این مطالعه به منظور مقابله با داده‌های کیفی یا نامشخص، همچنین با توجه به شرایط ابهام و در دسترس نبودن و نادقیق بودن داده‌ها از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های فازی برای ارزیابی کارایی استفاده شده است. در کل، استفاده از تحلیل پوششی داده‌های فازی پنجره‌ای در ارزیابی کارایی زیست محیطی در استان‌های کشور، به دلیل دقت بالا، توانایی مدل‌سازی داده‌های فازی و شناسایی الگوهای پیچیده، یکی از بهترین روش‌ها است. همچنین بر اساس نتایج حاصل از پژوهش مشخص شد که در طی ۴ سال مورد بررسی، استان آذربایجان شرقی بهترین کارایی (۰/۸۳۷۴۰۷) و استان هرمزگان (۰/۳۳۲۵۴۳) بدترین کارایی را دارا بوده است. همچنین میانگین کارایی سالانه استان‌ها نشان داد که روند صعودی یا نزولی کارایی در هر استان در طول سال‌ها متفاوت بوده و ثباتی نداشته است. همچنین، نتایج

مدل پیشنهادی نشان داد که کارایی استان‌ها در هر پنجره زمانی متوالی سیر متفاوتی داشته و از یک الگوی ثابت پیروی نمی‌کند. در ادامه به سوالات پژوهش پاسخ داده می‌شود.

بر اساس یافته‌های این مطالعه، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استان‌ها ابزاری مناسب و کارآمد است. این رویکرد می‌تواند به سیاست‌گذاران در شناسایی نقاط قوت و ضعف استان‌ها در زمینه زیست‌محیطی و تدوین سیاست‌های مناسب برای ارتقای کارایی زیست‌محیطی کمک کند. به منظور ارتقای کارایی زیست‌محیطی استان‌ها، لازم است که سیاست‌های زیست‌محیطی به صورت پویا و متناسب با شرایط هر استان تدوین و اجرا شوند. همچنین، لازم است که عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی استان‌ها به طور دقیق شناسایی و مورد بررسی قرار گیرند. علاوه بر این، یافته‌های این مطالعه می‌تواند برای سایر کشورها نیز مفید باشد. با توجه به اینکه چالش‌های زیست‌محیطی چالشی جهانی هستند، استفاده از رویکردهای مشابه برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی در سایر کشورها نیز می‌تواند به ارتقای عملکرد زیست‌محیطی در سطح جهانی کمک کند. در نهایت مهم‌ترین دستاوردهای پژوهشی این تحقیق را می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

**۱. استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای فازی:** این پژوهش با بهره‌گیری از مدل FWDEA، امکان ارزیابی کارایی زیست‌محیطی با در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در داده‌ها را فراهم آورده است. این رویکرد نوآورانه، به جای استفاده از روش‌های سنتی، به نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری منجر شده است و خلأ موجود در سایر تحقیقات که عمدتاً به تحلیل‌های خطی و بدون توجه به عدم قطعیت پرداخته‌اند را پر کرده است.

**۲. در نظر گرفتن خروجی نامطلوب:** این پژوهش به طور خاص به ارزیابی خروجی‌های نامطلوب (گازهای آلاینده) پرداخته است. این رویکرد در مقایسه با بسیاری از مطالعات پیشین که یا به این موضوع نپرداخته‌اند یا کمتر به آن توجه کرده‌اند، تصویر جامع‌تری از کارایی زیست‌محیطی استان‌ها ارائه می‌دهد و خلأ موجود در این زمینه را پر می‌کند. به عنوان مثال مطالعه ارورال<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹) نیز به ارزیابی کارایی انرژی استان‌های ترکیه با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها پرداخت، اما خروجی‌های نامطلوب را در نظر نگرفت.

**۳. تحلیل دوره‌های زمانی مختلف:** این پژوهش با بررسی کارایی زیست‌محیطی استان‌ها در چهار دوره زمانی متوالی، امکان تحلیل روندها و الگوهای زمانی را فراهم آورده است. این رویکرد در مقایسه با مطالعات قبلی که عمدتاً به یک دوره زمانی محدود شده بودند، امکان شناسایی تغییرات و نوسانات کارایی را در طول زمان فراهم می‌کند

همچنین مهم‌ترین دستاوردهای کاربردی این پژوهش برای مدیران کشور را می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

**۱. شناسایی نقاط قوت و ضعف استان‌ها:** نتایج این پژوهش به مدیران و سیاست‌گذاران کشور کمک می‌کند تا نقاط قوت و ضعف هر استان در زمینه کارایی زیست‌محیطی را شناسایی کنند. این شناخت می‌تواند به تدوین سیاست‌های هدفمند و متناسب با شرایط هر استان منجر شود و به تحقق اهداف زیست‌محیطی در اسناد بالادستی کمک کند. به عنوان مثال، بندهایی از برنامه ششم و هفتم توسعه به کاهش آلودگی‌ها و بهبود کیفیت محیط زیست تأکید دارد که نتایج این تحقیق می‌تواند به تحقق این اهداف در سطح استانی کمک کند.

**۲. ارائه الگوی ارزیابی کارایی زیست‌محیطی:** این پژوهش با ارائه یک مدل ارزیابی کارایی زیست‌محیطی مبتنی بر FWDEA، به مدیران کشور این امکان را می‌دهد تا به طور مستمر و با استفاده از داده‌های موجود، کارایی زیست‌محیطی استان‌ها را ارزیابی کنند. این الگو می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید در تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرد و به تحقق اهداف سند تحول دولت مردمی در زمینه بهبود وضعیت زیست‌محیطی کمک کند.

در مجموع، این تحقیق با ارائه رویکردی نوآورانه و جامع به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی استان‌ها، خلأ موجود در سایر تحقیقات را پر کرده و نتایج کاربردی مهمی برای مدیران کشور در زمینه سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری زیست‌محیطی ارائه می‌دهد که به تحقق اهداف زیست‌محیطی در اسناد بالادستی کمک می‌کند.

در ادامه، برخی از پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده و همچنین رسیدگی به خلأ تحقیق اشاره می‌شود:

- استفاده از مدل‌های چندمرحله‌ای، شبکه‌ای و پویا و همچنین به کارگیری متغیرهای ناقل؛

- بررسی عوامل مؤثر بر کارایی زیست محیطی استان‌ها با متغیرهای بیشتر؛
  - بررسی مقایسه‌ای کارایی زیست محیطی ایران با سایر کشورها؛
  - ارائه مدل‌های جدید برای ارتقای کارایی زیست محیطی استان‌ها.
- در نهایت؛ امیدواریم که این مطالعه گامی در جهت ارتقای کارایی زیست محیطی کشور باشد.

**تعارض منافع.** برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ گونه 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 بی طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ گونه تعارض منافی ندارند.

## منابع

1. Al-Refaie, A., Wu, C.-W., & Sawalheh, M. (2019). DEA window analysis for assessing efficiency of blistering process in a pharmaceutical industry. *Neural Computing and Applications*, 31, 3703-3717.
2. Alayya, U., & Rani, L. N. (2019). Intertemporal Efficiency Analysis of Indonesian Sharia Commercial Bank after Spin off Period 2013-2017: Data Envelopment Analysis (Window Analysis). *KnE Social Sciences*, 330-345-330-345.
3. Appiah-Twum, F., & Long, X. (2023). Human Capital, Trade Competitiveness and Environmental Efficiency Convergence Across Asia Pacific Countries. *Environmental and Resource Economics*, 1-24.
4. Appiah, M., Onifade, S. T., & Gyamfi, B. A. (2022). Building critical infrastructures: Evaluating the roles of governance and institutions in infrastructural developments in Sub-Saharan African countries. *Evaluation Review*, 46(4), 391-415.
5. AlKhars, M. A., Alnasser, A. H., & AlFaraj, T. (2022). A Survey of DEA Window Analysis Applications. *Processes*, 10(9), 1836.
6. Alsabah, A. M., Alatawi, A. D., & Koornneef, E. (2023). Efficiency evaluation of public hospitals in Kuwait: an application of data envelopment analysis.
7. Alayya, U., & Rani, L. N. (2019). Intertemporal efficiency analysis of Indonesian sharia commercial bank after spin off period 2013-2017: Data Envelopment Analysis (Window Analysis). *KnE Social Sciences*, 330-345.
8. Azar, A., mohebbi, H., Khadivar, A., & Heydari, A. (2017). A New Mathematical Model to Solve the Assignment Problems Caused by Multiple Heterogeneous Inputs and Outputs. *Industrial Management Journal*, 9(1), 1-18.
9. Bahzire, G. M., Fanglin, L., Appiah, M., & Xicang, Z. (2022). Research on the advance role of institutional quality on achieving environmental efficiency in Sub Sahara Africa. *Frontiers in Environmental Science*, 10:845433.
10. Banna, H., Mia, M. A., Nourani, M., & Yarovaya, L. (2022). Fintech-based financial inclusion and risk-taking of microfinance institutions (MFIs): Evidence from Sub-Saharan Africa. *Finance Research Letters*, 45, 102-149.
11. Caiado, R. G. G., Heymann, M. C., da Silveira, C. L. R., Meza, L. A., & Quelhas, O. L. G. (2020). Measuring the eco-efficiency of Brazilian energy companies using DEA and directional distance function. *IEEE Latin America Transactions*, 18(11), 1844-1852
12. Caiado, R. G. G., de Freitas Dias, R., Mattos, L. V., Quelhas, O. L. G., & Leal Filho, W. (2017). Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency-A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 165, 890-904 .
13. Cao, M., Zhang, D., Wang, Y., Lu, Y., Zhu, X., Li, Y., . . . Sun, Y. (2020). Clinical features of patients infected with the 2019 novel coronavirus (Candia & Pirlone) in Shanghai, China. *MedRxiv*, 2020.2003. 2004.20030395.
14. Emrouznejad, A., & Tavana, M. (2013). *Performance measurement with fuzzy data envelopment analysis*, Springer.
15. Guo, P., & Tanaka, H. (2001). Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method. *Fuzzy sets and Systems*, 119(1), 149-160.
16. Hua, Y., Xie, R., & Su, Y. (2018). Fiscal spending and air pollution in Chinese cities: Identifying composition and technique effects. *China Economic Review*, 47, 156-169.
17. Hosseinzadeh Lotfi, F., Ebrahimnejad, A., Vaez-Ghasemi, M., Moghaddas, Z., Hosseinzadeh Lotfi, F., Ebrahimnejad, A., Moghaddas, Z. (2020) Introduction to data envelopment analysis and fuzzy sets. *Data Envelopment Analysis with R*, 1-17 .
18. Halkos, G. E., & Tzeremes, N. G. (2009). Exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis. *Ecological Economics*, 68(7), 2168-2176.

19. Hatami-Marbini, A., Saati, S., & Tavana, M. (2010). An ideal-seeking fuzzy data envelopment analysis framework. *Applied Soft Computing*, 10(4), 1062-1070.
20. Halkos, G., & Petrou, K. N. (2019). Treating undesirable outputs in DEA: A critical review. *Economic Analysis and Policy*, 62, 97-104.
21. Jia, T., & Yuan, H. (2017). The application of DEA (Data Envelopment Analysis) window analysis in the assessment of influence on operational efficiencies after the establishment of branched hospitals. *BMC health services research*, 17, 1-8.
22. Jauhar, S. K., Singh, N., Rajeev, A., & Pant, M. (2022). Measuring paper industry's ecological performance in an imprecise and vague scenario: a fuzzy DEA-based analytical framework. *Benchmarking: an International Journal*, 29(8), 2494-2471.
23. Kounetas, K. E., Polemis, M. L., & Tzeremes, N. G. (2021). Measurement of eco-efficiency and convergence: Evidence from a non-parametric frontier analysis. *European Journal of Operational Research*, 291(1), 365-378.
24. Lee, P. (2022). Ranking decision making for eco-efficiency using operational, energy, and environmental efficiency. *Sustainability*, 14(6), 3489.
25. Liu, X., Chu, J., Yin, P., & Sun, J. (2017). DEA cross-efficiency evaluation considering undesirable output and ranking priority: A case study of eco-efficiency analysis of coal-fired power plants. *Journal of Cleaner Production*, 142, 877-885.
26. Li, X.-N., Feng, Y., Wu, P.-Y., & Chiu, Y.-H. (2021). An Analysis of Environmental Efficiency and Environmental Pollution Treatment Efficiency in China's Industrial Sector. *Sustainability*. 13(5), 2579.
27. Li, Y., & Xiao, J. (2020). Environmental efficiency assessment of the US pulp and paper industry using an SBM-DEA model. *BioResources*, 15(4), 7796.
28. Lu, C.-C., Lu, L.-C., 2019. Evaluating the energy efficiency of European Union countries: The dynamic data envelopment analysis. *Energy & Environment* 30, 27-43.
29. 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).
30. Pahsapour, S., Bozorgi Amiri, A., & Ghaderi, S. F. (2019). Performance Optimization of Industrial Units in Crisis Considering Economic Resilience Factors: A Case Study of a Petrochemical Plant. *Journal of Industrial Management Perspective*, 8(4), 149-183. (In Persian).
31. Lertworasirikul, S., Fang, S.-C., Joines, J. A., & Nuttle, H. L. (2003). Fuzzy data envelopment analysis: a possibility approach. *Fuzzy sets and Systems*, 139(2), 379-394.
32. Mahmoudabadi, M. Z., & Emrouznejad, A. (2019). Comprehensive performance evaluation of banking branches: A three-stage slacks-based measure (SBM) data envelopment analysis. *International Review of Economics & Finance*, 64, 359-376.
33. Mohfegh, M., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2021). Evaluation of Countries Environmental Efficiency Using Data Envelopment Analysis. *Iranian Journal of Optimization*, 13(4), 255-269.
34. Mohebbi, H., azar, A., Heidari, A., Khadivar, A. (2019). Designing a Mathematical Model for Optimum Assignment in the Two-stage Green Supply Chain using Network Data Envelopment Analysis and Electrical Circuits. *Industrial Management Studies*, 17(54), 1-23. (In Persian).
35. Olfati, M., Yuan, W., Khan, A., & Nasser, S. H. (2020). A new approach to solve fuzzy data envelopment analysis model based on uncertainty. *Ieee Access*. 8, 167300-167307.
36. Omid, A., Azar, A., Dehghan Nayeri, M., Moghbel, A. (2021). Developing a network Data Envelopment Analysis approach to compare the environmental efficiency of active industries in Tehran. *Management Research in Iran*, 25(3), 193-216. (In Persian).
37. Orjuela, K. G., Gaona-García, P. A., & Marin, C. E. M. (2021). Towards an agriculture solution for product supply chain using blockchain: Case study Agro-chain with BigchainDB. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 71(1), 1-16.
38. Ratner, S., Lychev, A., Rozhnov, A., & Lobanov, I. (2021). Efficiency evaluation of regional environmental management systems in russia using data envelopment analysis. *Mathematics*, 9(18), 2210.
39. Sánchez-Ortiz, J., Garcia-Valderrama, T., Rodríguez-Cornejo, V., & Cabrera-Monroy, F. (2021). DEA window analysis and Malmquist index to assess efficiency and productivity in the Spanish electricity sector. *International Journal of Energy Sector Management*, 15(4), 765-788.
40. Sarkhosh-Sara, A., Tavassoli, M., Heshmati, A., 2020. Assessing the sustainability of high-, middle-, and low-income countries: A network DEA model in the presence of both zero data and undesirable outputs. *Sustainable Production and Consumption* 21, 252-268.
41. Surasak, T., Wattanavichean, N., Preuksakarn, C., & Huang, S. C. (2019). Thai agriculture products traceability system using blockchain and internet of things. *System*. 14.
42. Sengupta, J. K. (1992). Measuring efficiency by a fuzzy statistical approach. *Fuzzy sets and Systems*, 46(1), 73-8.

43. Towards the road of eco-efficiency improvement: evidence from China's economic and technological development zone. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 43522-43535.
44. Tahanian, A. R., Haleh, H., Etebari, F., & Vahdani, B. (2021). Analysis of large projects based on sustainability dimensions and with an agility approach using data envelopment analysis; case study of large projects of Isfahan Municipality. *Journal of Decisions and Operations Research*, 6(3), 382-407.
45. Toniri, M., Alem Tabriz, A., & Ayough, A. (2022). Upstream Oil Process Plants Turnaround Projects Risk Evaluation Using a Hybrid Fuzzy MADM Method. *Journal of Industrial Management Perspective*, 12(2), 135-173. (In Persian).
46. Vásquez, J., Aguirre, S., Fuquene-Retamoso, C. E., Bruno, G., Priarone, P. C., & Settineri, L. (2019). A conceptual framework for the eco-efficiency assessment of small-and medium-sized enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117660.
47. Wang, M., Chen, Y., & Zhou, Z. (2021). Assessing environmental efficiency of China's industry system using two-stage range-adjusted measure model. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 32(6), 1401-1421.
48. Wang, Q., Tang, J., Choi, G., 2021. A two-stage eco-efficiency evaluation of China's industrial sectors: A dynamic network data envelopment analysis (DNDEA) approach. *Process Safety and Environmental Protection* 148, 879-892.
49. Wang, K., Yu, S., & Zhang, W. (2013). China's regional energy and environmental efficiency: A DEA window analysis based dynamic evaluation. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5-6), 1117-1127.
50. Xu, T., You, J., Li, H., & Shao, L. (2020). Energy efficiency evaluation based on data envelopment analysis: A literature review. *Energies*, 13(14), 35-48.
51. Xu, J., Jiang, Y., Guo, X., Jiang, L., 2021a. Environmental efficiency assessment of heavy pollution industry by data envelopment analysis and Malmquist index analysis: Empirical evidence from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 5761.
52. Yan, Q., Zhao, F., Wang, X., & Balezentis, T. (2021). The Environmental Efficiency Analysis Based on the Three-Step Method for Two-Stage Data Envelopment Analysis. *Energies*, 14(21), 7028.
53. Yao, Z., Zhao, H., Liu, X., Yu, Q., Zhuang, H., Shen, N., 2020. Research on the Spatial-temporal Differences and Influencing Factors of Anhui Industrial Environmental Efficiency, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, p. 032031.
54. Lv, Z., & Shang, W. (2023). Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100002.
55. Khan, M. K., Khan, M. I., & Rehan, M. (2020). The relationship between energy consumption, economic growth and carbon dioxide emissions in Pakistan. *Financial Innovation*, 6(1), 1.
56. Li, L., Hong, X., & Wang, J. (2020). Evaluating the impact of clean energy consumption and factor allocation on China's air pollution: A spatial econometric approach. *Energy*, 195, 116842.
57. Poudenx, P., 2008. The effect of transportation policies on energy consumption and greenhouse gas emission from urban passenger transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 42, 901-909.
58. Ervural, B.C., Ervural, B., Zaim, S., 2019. Energy efficiency evaluation of provinces in Turkey using data envelopment analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 235, 139-148.
59. Yu, S., Liu, J., Li, L., 2020. Evaluating provincial eco-efficiency in China: an improved network data envelopment analysis model with undesirable output. *Environmental Science and Pollution Research* 27, 6886-6903.
60. Zhu, Y., Yang, F., Wei, F., & Wang, D. (2022). Measuring environmental efficiency of the EU based on a DEA approach with fixed cost allocation under different decision goals. *Expert Systems with Applications*, 208, 118183.
61. Zeng, X., & Niu, M. (2019). Environmental efficiency evaluation of Chinese cities under the condition of high quality development. *China Environ. Sci*, 1(8) 2667- 2677.
62. Mahmoudabadi, M., & Emrouznejad, A. (2022). Balanced performance assessment under uncertainty: an integrated CSW-DEA and balanced scorecard (BSC). *Annals of Operations Research*, 1-16.
63. Zhang, Y., & Li, Y. (2023). Regional Differences in Tourism Eco-Efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei Region: Based on Data from 13 Cities. *Sustainability*, 15(4), 2907.
64. Mahmoudabadi, M. Z., Azar, A., & Emrouznejad, A. (2018). A novel multilevel network slacks-based measure with an application in electric utility companies. *Energy*, 158, 1120-1129.