



Evaluation of the Sustainability of Iranian Ports Based on The Parsimonious Best-Worst Method (PBWM): Challenges and Opportunities for Sustainable Economic Development

Sara Valipour Parkouhi*^{id}
Hamidreza Fallah Lajimi**^{id}
Alireza Arab***^{id}

Extended Abstract

Introduction. Ports, as key points in global logistics networks, are constantly evolving and adapting due to developments in global trade and changes in related sectors such as shipping. In recent years, challenges such as growing environmental awareness, social responsibility pressures, and the necessity of sustainable economic practices have challenged ports. Iranian ports, due to their strategic geopolitical position and vital role in international transportation, are of particular significance. They play a key role in the country's economic growth and development. The development of port infrastructure, the application of modern technologies in operations management, improvements in energy efficiency, and the enhancement of trade interactions with neighboring countries create significant opportunities for sustainable economic development. Furthermore, the development of industries related to ports, such as logistics, transportation, and free trade zones, can lead to increased employment, foreign investment, and economic growth. This study aims to examine the sustainability of 14 major Iranian ports in all three dimensions of sustainability—economic, environmental, and social—and to propose strategies for optimal utilization of available capacities in order to achieve sustainable economic development.

Methods. In this study, the Parsimonious Best-Worst Method (PBWM) is used to assess the sustainability of ports. Similar to the classical BWM, this approach prevents the occurrence of equalization bias and anchoring bias by identifying the best and worst attributes through pairwise comparisons. However, its superiority over the classical version lies in the fact that, unlike the traditional BWM—which can only be applied to a maximum of nine criteria or alternatives—this method allows for cases involving more than nine criteria or alternatives. In such situations, reference alternatives can be selected, and pairwise comparisons are then conducted based on these references.

Received : Jan. 06, 2025; Revised : Feb. 19, 2025; Accepted : Apr. 17, 2026; Published Online : Apr. 17, 2026.

* Ph.D. Student, Department of Industrial Management, Faculty of Economics and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

** Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Corresponding Author : h.fallah@umz.ac.ir

*** Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.



Results and discussion. The results of this study indicate that, among the 14 ports examined, four Iranian ports performed favorably across all three dimensions of sustainability. This demonstrates the capacity of these ports to effectively manage resources while striking a balance between economic development and environmental preservation. Furthermore, positive engagement with local communities and attention to social responsibilities have played a significant role in enhancing their performance. Besides, three Iranian ports were ranked at the lower end as a result of shortcomings such as insufficient investment, ineffective management, or inadequate attention to environmental and social issues. Consequently, these ports require a reassessment of their policies and the adoption of innovative strategies to improve their current situation and enhance their competitiveness.

Conclusions. This study, by evaluating the sustainability of 14 major ports in Iran, emphasizes the importance of revisiting infrastructure, enhancing management processes, and adopting innovative strategies to improve sustainable competitiveness. These efforts could strengthen the role of Iranian ports in the global trade network and contribute to national and regional economic development, leading to greater productivity. Furthermore, considering the environmental and social dimensions in port development can help strike a balance between economic growth and environmental preservation, thereby contributing to the long-term sustainability of ports. Therefore, it is recommended that policymakers and port managers adopt comprehensive and sustainable strategies to enhance port performance. By doing so, they can secure a competitive position in the global arena and contribute to the sustainable development of the country.

Keywords: Port; Sustainability; Parsimonious Best-Worst Method (PBWM); Economical; Environmental; Social.

How to Cite: Valipour Parkouhi, Sara; Fallah Lajimi, Hamidreza; Arab, Alireza (2026). Evaluation of the Sustainability of Iranian Ports Based on The Parsimonious Best-Worst Method (PBWM): Challenges and Opportunities for Sustainable Economic Development. *Ind. Manag. Persp.*, 16(1), 248-280 (*In Persian*).



ارزیابی پایداری بنادر ایران بر پایه روش بهترین - بدترین کمینه‌گرا (PBWM): چالش‌ها و فرصت‌ها در راستای توسعه اقتصادی پایدار

سارا ولیپور پرکوهی *

حمیدرضا فلاح لاجیمی **

علیرضا عرب ***

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف: بنادر، به‌عنوان نقاط کلیدی در شبکه‌های لجستیکی جهانی، تحت‌تأثیر تحولات تجارت جهانی و تغییرات در حوزه‌های مرتبط مانند کشتیرانی همواره در حال تغییر و تطبیق است. در سال‌های اخیر، چالش‌هایی مانند افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی، فشارهای ناشی از مسئولیت اجتماعی و ضرورت اجرای عملیات اقتصادی پایدار، بنادر را به چالش کشیده‌اند. بنادر ایران به دلیل موقعیت ژئوپلیتیکی خاص و نقش کلیدی آن‌ها در حمل‌ونقل بین‌المللی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و نقش به‌سزایی در رشد و توسعه اقتصادی کشور ایفا می‌کنند. با توسعه زیرساخت‌های بندری، استفاده از فناوری‌های نوین در مدیریت عملیات، بهبود بهره‌وری انرژی و افزایش تعاملات تجاری با کشورهای همسایه، فرصت‌های قابل‌توجهی برای توسعه اقتصادی پایدار ایجاد می‌شود. همچنین، توسعه صنایع وابسته به بنادر، از جمله لجستیک، حمل‌ونقل و مناطق آزاد تجاری، می‌تواند به افزایش اشتغال، جذب سرمایه‌گذاری خارجی و رشد اقتصادی منجر شود. این تحقیق قصد دارد به بررسی پایداری ۱۴ بندر مهم ایران در هر سه بعد پایداری شامل اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی بپردازد و راهکارهایی برای استفاده بهینه از ظرفیت‌های موجود در جهت تحقق توسعه اقتصادی پایدار ارائه دهد.

روش‌ها: در این مطالعه برای ارزیابی پایداری بنادر از روش نوین بهترین - بدترین کمینه‌گرا استفاده شده است. این روش مانند روش کلاسیک خود با شناسایی بهترین و بدترین معیار در مقایسات زوجی از بروز سوگیری یکسان‌نگری و سوگیری لنگراندازی جلوگیری می‌کند. با این حال، برتری این روش نسبت به نوع کلاسیک خود این است که برخلاف BWM کلاسیک که تنها برای ۹ معیار یا گزینه استفاده می‌شود، در این روش در صورتی که تعداد گزینه یا معیار بیشتر از ۹ تا باشد می‌توان با انتخاب گزینه‌های مرجع و مقایسات زوجی آنان را بررسی نمود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۸، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۲۸.

* دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

** دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

نویسنده مسئول: h.fallah@umz.ac.ir

*** استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.



یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد از ۱۴ بندر، چهار بندر ایران در هر سه بعد پایداری، عملکردی مطلوب داشته‌اند. این امر نشان‌دهنده توانمندی این بنادر در مدیریت مؤثر منابع و ایجاد تعادل میان توسعه اقتصادی و حفظ محیط‌زیست می‌باشد. علاوه بر این، تعامل مثبت با جوامع محلی و توجه به مسئولیت‌های اجتماعی، نقش مهمی در بهبود وضعیت این بنادر ایفا کرده است. از سوی دیگر، سه بندر ایران به علت ضعف‌های ناشی از کمبود سرمایه‌گذاری، مدیریت ناکارآمد، یا عدم توجه کافی به مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی در رتبه‌های پایانی قرار گرفته‌اند. در نتیجه، این بنادر نیازمند بازنگری در سیاست‌ها و اتخاذ راهکارهای نوین برای بهبود وضعیت فعلی و افزایش رقابت‌پذیری خود هستند.

نتیجه‌گیری: این پژوهش با ارزیابی وضعیت پایداری ۱۴ بندر اصلی ایران، بر اهمیت بازنگری در زیرساخت‌ها، ارتقای فرآیندهای مدیریتی و اتخاذ راهبردهای نوآورانه تأکید دارد تا زمینه‌ساز بهبود رقابت‌پذیری پایدار شود. این امر می‌تواند نقش بنادر ایران را در زنجیره تجارت بین‌المللی تقویت کرده و به توسعه اقتصادی و بهره‌وری بیشتر در سطح ملی و منطقه‌ای منجر شود. همچنین، توجه به ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی در توسعه بنادر می‌تواند به ایجاد تعادل میان رشد اقتصادی و حفظ محیط‌زیست کمک کند، که این خود به پایداری بلندمدت بنادر یاری می‌رساند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران و مدیران بنادر با اتخاذ استراتژی‌های جامع و پایدار، گام‌های مؤثری در جهت بهبود عملکرد بنادر بردارند تا بتوانند در رقابت جهانی جایگاه مطلوبی کسب کنند و به توسعه پایدار کشور کمک نمایند.

کلمات کلیدی: بندر؛ پایداری؛ روش بهترین - بدترین کمینه‌گرا؛ اقتصادی؛ زیست‌محیطی؛ اجتماعی.

استناددهی: ولیپور پرکوهی، سارا؛ فلاح لاجیمی، حمیدرضا؛ عرب، علیرضا (۱۴۰۵). ارزیابی پایداری بنادر ایران بر پایه روش بهترین - بدترین کمینه‌گرا (PBWM): چالش‌ها و فرصت‌ها در راستای توسعه اقتصادی پایدار. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۶(۱)، ۲۴۸-۲۸۰.



۱. مقدمه

با جهانی شدن اقتصادی، تجارت بین‌الملل پر رونق شده و به زنجیره‌های تأمین طولانی و پیچیده نیاز دارد. سیستم حمل و نقل دریایی یک رکن مهم در زنجیره تأمین بین‌المللی است [۹]. بنادر بخش زیرساخت‌های لجستیکی جهان را تشکیل می‌دهند و قطع فعالیت‌های اصلی بندر می‌تواند به‌طور جدی بر اقتصاد جهان تأثیر بگذارد [۲۴]. بنادر حلقه‌های استراتژیکی هستند که برای تسهیل جریان کالا در عرصه بین‌المللی، به‌عنوان بخش مهمی از یک شبکه گسترده لجستیک، زمینه تجارت و تبادل کالا بین مناطق دور و نزدیک را فراهم می‌کنند. به‌طور کلی، عملکرد بنادر تحت تأثیر تحولات جهانی تجارت همواره در حال تغییر بوده و پیوسته خود را با تحولات ایجاد شده در سایر بخش‌ها مانند کشتیرانی انطباق می‌دهند. بندر در طول زمان از یک ابزار ساده به یک زیربنای پشتیبانی و ابزار مؤثر اقتصادی تبدیل شده و امروزه در مفهوم جدید به‌عنوان یکی از حلقه‌های اصلی و مهم در زنجیره تأمین اقتصادی کشورها به‌حساب می‌آید. با توجه به اهمیت بنادر، در نظر داشتن مفاهیمی همچون پایداری می‌تواند در بهبود عملکرد آن‌ها تأثیر به‌سزایی داشته باشد.

این اهمیت روزافزون بنادر، علاوه بر ابعاد اقتصادی، بر پایداری اجتماعی و زیست‌محیطی نیز تأثیر می‌گذارد. از یک‌سو، تسهیل جابه‌جایی کالا و تنوع نیروی کار در این مناطق، عاملی برای رشد اقتصادی و توسعه اشتغال محسوب می‌شود [۷]. از سوی دیگر، فعالیت‌های بندری با چالش‌هایی نظیر آلودگی هوا و آب، آلودگی صوتی و مسائل امنیتی همراه است که می‌تواند کیفیت زندگی ساکنان اطراف بنادر را تحت تأثیر قرار دهد [۷، ۳۴، ۱۹]. بنابراین، برای حفظ تعادل میان توسعه اقتصادی و کاهش اثرات منفی، بهبود زیرساخت‌های سبز، اجرای سیاست‌های زیست‌محیطی و بهره‌گیری از رویکردهایی همچون پایداری در مدیریت بنادر ضروری است.

پایداری راهی برای برآوردن نیازهای امروزی بدون به خطر انداختن نیازهای نسل‌های آینده است [۴۸]. جامعه پایدار به دنبال حفظ و بهبود ویژگی‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی یک منطقه است تا اعضای آن بتوانند به شیوه‌ای سالم و مولد زندگی کنند [۳۲]. در سال‌های اخیر، ایجاد بنادر پایدار در صنعت حمل و نقل یک موضوع مهم به‌شمار می‌رود [۴۰]. در این راستا، توسعه اقتصادی پایدار در بنادر می‌تواند فرصتی مناسب برای رشد و توسعه در کنار توجه به مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی باشد [۱۷]. این رویکرد به بنادر این امکان را می‌دهد که با استفاده از فناوری‌های نوین، به کاهش هزینه‌ها، بهبود بهره‌وری و کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست پرداخته و در عین حال به‌عنوان زیرساخت‌های حیاتی برای اقتصاد جهانی عمل کنند. به‌ویژه با توجه به نیاز به بهینه‌سازی فرآیندهای لجستیکی، کاهش آلودگی و استفاده از منابع تجدیدپذیر [۳۹]، دستیابی به توسعه پایدار می‌تواند به بهبود شرایط اجتماعی و اقتصادی در بنادر کمک کند [۷].

بنابراین از آنجایی که در پایداری به سه دسته از اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی پرداخته می‌شود، می‌توان این اهداف را در بنادر به‌صورت زیر تعریف کرد:

اهداف اقتصادی: به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی مانند هزینه‌های حمل و نقل و موجودی، اهداف اقتصادی هستند. بنادر با کاهش هزینه‌ها، با افزایش کیفیت خدمات بندری و به‌طور همزمان کاهش زمان انتظار در جذب مشتریان تأثیر اساسی دارد [۳۲]. اهداف زیست‌محیطی: بنادر به دلیل ماهیت، خدمات مختلف و طیف وسیعی از مسائل زیست‌محیطی مانند انتشار مواد آلاینده بسیار پیچیده هستند. آن‌ها از شرکت‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که با فعالیت‌های مختلف سروکار دارند و طیف وسیعی از خدمات را ارائه می‌دهند. بنادر دریایی به‌عنوان صنعت آلاینده بدنام هستند [۴۰]. با این حال، آن‌ها با کاهش اثرات مخرب بنادر و صنعت کشتیرانی بر اساس معیارهای زیست‌محیطی مختلفی برای ارزیابی آلودگی، مقررات زیست‌محیطی، بازیافت و استراتژی‌های توسعه آینده می‌توانند این اثرات مخرب را کاهش دهند [۳۲].

اهداف اجتماعی: توسعه بنادر و تبدیل آن‌ها به مناطق ویژه اقتصادی به‌طور مستقیم بر عدالت اجتماعی، بیکاری، نرخ رشد جمعیت، نرخ باسواد و مشارکت اجتماعی در منطقه تأثیر می‌گذارد [۳۲]. فعالیت‌های اجتماعی حول اطمینان از سلامت، ایمنی و رفاه تأمین‌کنندگان و نیروی کار می‌باشد [۱۲].

امروزه، نیاز به توسعه بیشتر بنادر باید در برنامه‌ریزی دریایی مورد توجه قرار گیرد، به‌ویژه در بنادر ایران که با چالش‌های متعددی روبه‌رو هستند. در این راستا، ضروری است که اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی تمامی برنامه‌ریزی‌هایی که تأثیر خاصی بر فعالیت کشتیرانی دارند، به‌طور دقیق ارزیابی شوند. این ارزیابی‌ها می‌توانند به تصمیم‌گیری‌های بهینه و انتخاب استراتژی‌های توسعه پایدار منجر شوند که نه تنها به بهبود عملکرد بنادر کمک می‌کند، بلکه در راستای پایداری آن‌ها و کاهش مشکلات موجود نیز گام‌های مؤثری برداشته می‌شود. در این چارچوب، توجه به مدیریت صحیح منابع و بهبود زیرساخت‌های بندری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳۲]. با توجه به چشم‌اندازهای تدوین‌شده در افق ۱۴۱۷ برای صنعت حمل و نقل دریایی ایران مانند تبدیل شدن به مرجع بی‌بدیل منطقه‌ای و بازیگر فعال جهانی در عرصه ایمنی، محیط‌زیست و امنیت دریایی و یا بنادر ایران به‌عنوان انتخاب نخست بازیگران جهانی و تسهیلگر کانون تجارت جهانی با ایران و منطقه؛ این تحولات می‌توانند در راستای دستیابی به اهداف بلندمدت و پایدار در بخش‌های مختلف بندری و دریایی کشور نقش مهمی ایفا کنند.

بنادر ایران به دلیل قرار گرفتن در مسیر حمل‌ونقل بین‌المللی و موقعیت ژئوپلیتیکی ویژه‌ای که دارند، بسیار حائز اهمیت هستند. این بنادر نقش اساسی در رشد و توسعه اقتصاد کشور ایفا می‌کنند [۳۲]. در چند سال اخیر، بنادر ایران با چالش‌های اساسی مواجه شده‌اند. به‌عنوان مثال، افزایش روابط ایران با کشورهای حاشیه دریای خزر منجر به افزایش صادرات و ارتباطات دریایی شده‌است، اما بنادر شمال کشور زیرساخت‌های بندری مناسب و کافی ندارند [۱۵]. همچنین، عدم وجود زیرساخت‌های مناسب منجر به تأخیر در زمان تخلیه و بارگیری کشتی‌ها و ازدحام شده‌است [۱۵، ۳۵]. علاوه بر آن، عدم وجود دستورالعمل‌ها و سیاست‌های مناسب هنگام بحران مدیران را در تصمیم‌گیری دچار مشکل کرده است. از آنجایی که بنادر ایران نقش به‌سزایی در توسعه کشور دارند، این چالش‌ها منجر می‌شود بنادر در زمینه پایداری به‌خوبی عمل نکرده و تأثیر مخربی برای کشور داشته باشند. به‌عنوان مثال، آلودگی آب ناشی از عدم رعایت مسائل زیست‌محیطی، عدم وجود امنیت برای مردم محلی به‌علت عدم وجود ثبات سیاسی و افزایش هزینه نسبت به درآمدی که بنادر ایجاد می‌کنند [۳۵]. از این رو، این پژوهش سعی دارد تا با بررسی بنادر در هر سه بعد پایداری، وضعیت هر بندر در رویکرد پایداری را بررسی کند تا در صورت ضعف هر یک از بنادر در هر یک از ابعاد پایداری، با ارائه راهکارهایی به آنان در بهبود، کمک نماید.

با مرور ادبیات در حوزه پایداری بنادر، سه شکاف اصلی شناسایی می‌شود. شکاف اول مربوط به رویکرد پژوهشگران در بررسی بنادر است. پژوهش‌های موجود، تنها یکی از ابعاد پایداری مانند زیست‌محیطی [۲۷، ۵۴، ۱۴] یا تنها به بررسی کلی و مفهومی از پایداری بنادر [۱۸، ۳۹، ۳۱] پرداختند. این در حالی است که توجه به تمامی ابعاد پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) در بهبود عملکرد بنادر مؤثر خواهد بود. شکاف دوم مربوط به مورد مطالعه است که تاکنون هیچ پژوهشی تمامی بنادر تأثیرگذار ایران را بررسی نکردند. پژوهش‌های موجود نشان می‌دهد که یا تنها یک بندر [۱۳، ۵۰] را بررسی کردند و یا تنها ۵ بندر را [۳۲] بررسی نمودند. شکاف سوم در روش انجام پژوهش می‌باشد. پژوهش‌های پیشین از روش‌هایی مانند تحلیل سلسله مراتبی^۱ جهت محاسبه اوزان شاخص‌ها استفاده کرده‌اند. اما در این پژوهش از روش نوین بهترین-بدترین کمینه‌گرا^۲ استفاده خواهد شد. علت استفاده از PBWM، این است که برخلاف BWM کلاسیک که تنها برای ۹ معیار یا گزینه استفاده می‌شد، در این روش در صورتی که تعداد گزینه یا معیار بیشتر از ۹ تا باشد می‌توان با انتخاب گزینه‌های مرجع و مقایسات زوجی آنان را بررسی نمود [۸]. همچنین این روش مانند روش BWM کلاسیک در آن مقایسات زوجی ساختارمندتری نسبت به سایر روش‌های MCDM مانند فرایند تحلیل سلسله مراتبی صورت می‌گیرد. در واقع، در این روش با شناسایی معیارهای بهترین و بدترین قبل از انجام مقایسه‌های زوجی از بروز سوگیری یکسان‌نگری [۴۴] و سوگیری لنگراندازی [۴۵] جلوگیری می‌شود [۵۸]. همچنین، در این روش تعداد مقایسات زوجی کمتری نسبت به سایر روش‌های مقایسه زوجی مانند AHP محاسبه می‌گردد [۴۳]. علاوه بر این، این روش علاوه بر صرفه‌جویی در زمان، منجر به مقایسات با سازگاری بیشتر می‌شود و نتایج معتبرتری خواهد داشت. در نتیجه با توجه به سه شکاف بیان‌شده،

1. Analytical Hierarchy Process (AHP)

2. Parsimonious Best-Worst Method (PBWM)

هدف این پژوهش بررسی بنادر ایران از منظر پایداری است تا ضعف‌های موجود در این رویکرد را شناسایی و تحلیل نماید و با ارائه راهکارها به بهبود آنان کمک نماید.

این پژوهش با تمرکز بر پایداری بنادر در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، چارچوبی تحلیلی برای شناسایی، تبیین و ارزیابی چالش‌ها و نقاط ضعف موجود ارائه می‌کند. سهم نظری تحقیق در بررسی همزمان ابعاد مختلف پایداری در ارتقای عملکرد بندر نهفته است؛ موضوعی که در ادبیات پیشین به‌صورت پراکنده و تک‌بعدی بررسی شده است. نتایج حاصل، علاوه بر فراهم آوردن شواهد تجربی برای تقویت بهره‌وری و کاهش اثرات منفی فعالیت‌های بندری، به توسعه مبانی نظری در حوزه مدیریت پایدار بنادر و زیرساخت‌های حمل‌ونقل دریایی نیز یاری می‌رساند. از این منظر، پژوهش حاضر نه تنها ارزش عملی برای سیاست‌گذاران و مدیران اجرایی دارد، بلکه می‌تواند مبنایی نظری برای طراحی مدل‌ها و چارچوب‌های جامع‌تر در تحقیقات آینده فراهم سازد و مسیر توسعه پایدار بنادر را در سطح ملی و بین‌المللی روشن‌تر کند.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پایداری

در فرهنگ لغت پایداری به معنی ایستادگی، استواری، مقاومت می‌باشد. مفهوم پایداری اولین بار در کنفرانس سازمان ملل متحد تحت عنوان توسعه پایدار در سال ۱۹۷۲ مطرح شده است [۳۸]. در سال ۱۹۸۹، کمیسیون جهانی محیط‌زیست، توسعه پایداری را این‌گونه بیان کرده است: ((... توسعه‌ای که نیازهای زمان حال را برآورده می‌کند بدون اینکه توانایی نسل‌های آینده را به خطر بیندازد. نیازهای آن‌ها را برآورده کند....))

دیلیک و هاگرتس^۱ (۲۰۰۲) پایداری شرکت را عنوان برآورده کردن نیازهای ذی‌نفعان مستقیم و غیرمستقیم یک شرکت (مانند سهام‌داران، کارکنان، مشتریان، گروه‌های فشار، جوامع و غیره) بدون به خطر انداختن توانایی آن برای برآوردن نیازهای ذی‌نفعان آینده تعریف کردند [۱۱]. همچنین، اسلاوینسکی و بانسال^۲ (۲۰۱۱) پایداری را توانایی شرکت‌ها برای پاسخ‌گویی به تقاضاهای مالی، اجتماعی و زیست‌محیطی کوتاه‌مدت، بدون به خطر انداختن عملکرد بلندمدت مالی، اجتماعی و زیست‌محیطی در کسب و کار تعریف کرده‌اند [۵۳]. در مطالعات محققان پایداری شامل سه بعد اجتماعی، محیطی و اقتصادی را شامل می‌شود [۳۸].

پایداری بنادر

پایداری به معنای عدم‌تغییر مطلق نیست؛ بلکه به حفظ و بهبود صنعت در سه بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی اشاره دارد [۳۲، ۴۲، ۲۲]. بنادر، به‌عنوان نقاط اصلی جابه‌جایی کالا و ارتباط بین کشورها، نقش بسیار مهمی در پایداری این سه بعد دارند [۷، ۴۹، ۵۱]. تنوع نیروی کار در بنادر و تسهیل در جابه‌جایی کالا در سراسر جهان، این نقش را تأکید می‌کند؛ از این رو، بنادر می‌توانند به‌عنوان محرکی برای رشد اقتصادی محسوب شوند [۷، ۴۹، ۲۲]. با این حال، فعالیت‌های بندری همراه با چالش‌های متعددی هستند، از جمله آلودگی آب و هوا، ناهنجاری‌های صوتی و مسائل امنیتی [۷، ۳۴]. این چالش‌ها آلودگی زیست‌محیطی را در پی داشته و اثرات منفی بر سلامت اجتماعی می‌گذارد [۳۴، ۱۹]. در سال‌های اخیر، بنادر برای توسعه پایدار با چالش‌هایی مانند افزایش آگاهی زیست‌محیطی، فشار مسئولیت اجتماعی و تلاش مداوم برای اجرای عملیات اقتصادی پایدار مواجه هستند [۴۶]. در نتیجه بررسی پایداری در این سه بعد بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

تغییرات در اقتصاد جهانی نشان دهنده افزایش چشمگیر جریان کالا در سراسر جهان و تولید غیرمتمرکز است. اطلاعات نشان می‌دهند که ۸۰ درصد از مقدار کل و ۷۰ درصد از ارزش کل جریان کالا توسط حمل و نقل دریایی انجام می‌شود [۵۶]. از نظر بعد اقتصادی، بنادر نقش بسیار مهمی در رشد اقتصادی و توسعه ملی و بین‌المللی دارند [۷، ۱۶، ۲۸]. بنادر می‌توانند به‌عنوان نقاط اصلی برای سرمایه‌گذاری‌های خارجی و توسعه صنعت گردشگری عمل کنند، که این امر به توسعه اقتصادی و افزایش درآمدهای ملی کمک می‌کند [۱۶]. علاوه بر این،

1. Dyllick & Hockerts

2. Slawinski & Bansal

بنادر به عنوان مراکز حمل و نقل بین‌المللی، فرصت‌های شغلی بسیاری را برای افراد محلی ایجاد می‌کنند، به خصوص برای افرادی که در شهرهای بندری زندگی می‌کنند. این فرصت‌های شغلی می‌توانند بهبود اقتصاد محلی را تحقق بخشند و به رشد و توسعه جامعه محلی کمک کنند [۷، ۱۶، ۲۸]. همچنین، یک بندر در صورتی در بعد اقتصادی به خوبی عمل می‌کند که نقش پررنگی در توسعه اقتصادی منطقه‌ای یعنی افزایش تولیدات، درآمدها و تسهیل تجارت در منطقه با فعالیت‌های تجاری بسیاری داشته باشد [۳۲، ۲۱، ۵۵، ۱۹]. علاوه بر این، بنادر باید از زیرساخت مانند اسکله و کشتی و زیرساخت‌های فناوری و تجهیزات مناسبی به منظور افزایش میزان بارگیری و تخلیه بار نفتی و غیرنفتی و کاهش هزینه‌ها برخوردار باشد [۱۰، ۵۶، ۳۲، ۵۲]. بنادر در جهت حصول به اهداف اقتصادی خود، می‌بایست اقداماتی همچون کاهش تراکم بندر و زمان انتظار، کاهش هزینه‌های حمل و نقل و موجودی، ارائه خدمات با ارزش افزوده و ارتقای کیفیت خدمات ارائه دهند [۱۹]. این تدابیر منجر به بهبود عملکرد اقتصادی بنادر و افزایش رضایت مردمان جوامع محلی و ذی‌نفعان آن‌ها می‌گردد.

در ابعاد اجتماعی، بنادر به دنبال ایجاد یک محیط کار سالم و آموزش کافی برای کارکنان خود هستند. علاوه بر این، آن‌ها سعی دارند تا برای ساکنان شهرهای بندری، امکانات رفاه عمومی را بهبود بخشند. افرادی که در این مناطق زندگی می‌کنند، به دلیل نزدیکی به بنادر، با مشکلاتی مانند آلودگی صوتی، آلودگی آب و مسائل امنیتی روبه‌رو هستند و بنابراین توجه به این مسائل از اهمیت بالایی برخوردار است [۷]. یک بندر زمانی در بعد اجتماعی به خوبی عمل می‌کند که علاوه بر ایجاد فرصت آموزشی و امنیت و حقوق کاری مناسب برای کارکنان [۳۶، ۵۶، ۲۱، ۳۹، ۵۵، ۴]، برای افراد محلی خود نیز اشتغال ایجاد کرده و ناامنی که در اثر ناهماهنگی‌ها، تضادهای داخلی یا خارجی، تهدیدهای امنیتی و سایر عوامل سیاسی برای آنان ایجاد می‌شود را رفع نماید و به نوعی دارای ثبات سیاسی کامل باشد [۵۶، ۳۲، ۲۱]. از آنجایی که بنادر به عنوان یکی از صنایع حیاتی جامعه، نقش بسیار مهمی در ایجاد توسعه اجتماعی و افزایش رفاه عمومی دارند [۱۶]، برای افزایش امکانات اجتماعی، بنادر باید با ذی‌نفعان، دولت مربوطه و جوامع محلی ارتباط و تعامل مؤثر داشته باشند [۵، ۱۶]. این ارتباطات می‌تواند از طریق رسیدگی به شکایات مردم و کارکنان، برگزاری جلسات منظم با جامعه محلی و حضور نمایندگان محلی در شورای بندر، از مسائل شهر بندری مطلع شود [۱۶]. علاوه بر این، بنادر به عنوان توانمندسازهای اقتصادی می‌توانند ثروت و اشتغال زایی را تحقق بخشند. بهبود اقتصادی توسط بنادر، علاوه بر تأثیرات مثبت اقتصادی، باعث ایجاد عملکرد اجتماعی مثبتی نیز می‌شود [۵].

در بعد زیست‌محیطی بنادر برای بهبود کیفیت زندگی افراد و حفاظت از منابع طبیعی باید اقدامات متعددی انجام دهند از جمله کاهش انتشار آلاینده‌ها، کنترل سر و صدا، کاهش گرد و غبار، مدیریت مناسب زباله و جلوگیری از لایروبی، حفاظت فعال از محیط‌زیست دریایی، سبز کردن تجهیزات و تأسیسات بندری، کاهش مصرف انرژی و افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر [۷، ۱۶، ۳۳، ۱۹]. آلودگی در بنادر عمدتاً به علت فعالیت‌های با انرژی بالای کشتی‌های تولیدی و حمل و نقل بندری به وجود می‌آید. هنگام بارگیری (پهلویی) در بنادر، بیشترین میزان گازهای گلخانه‌ای تولید می‌شود. این آلاینده‌ها منجر به آلودگی محیط‌زیست می‌شوند و زندگی افرادی که در نزدیکی بنادر ساکن هستند را به خطر می‌اندازند [۲۰، ۵۷]. همچنین، هزینه‌های انرژی برای بنادر و تأسیسات آن بسیار زیاد است. در اینجا، منظور از انرژی استفاده از منابع تجدیدناپذیر و منابع طبیعی می‌باشد. بنابراین، بنادر باید از طریق مدیریت مناسب در استفاده از منابع طبیعی و استفاده از منابع تجدیدپذیر استفاده از انرژی تجدیدناپذیر را به حداقل برسانند [۲۶]. یک بندر پایدار در بعد زیست‌محیطی می‌بایست سعی نماید تا حداقل مکان مصرف انرژی در عملیات بندر را کاهش دهد [۵۶، ۲۱، ۵۵، ۴، ۱۹]. علاوه بر این، بنادر باید سعی نمایند با برنامه ریزی دقیق، تأخیر عملیات تخلیه و بارگیری در جهت کاهش ترافیک و آلودگی ناشی از آن را به حداقل رسانند [۵۶، ۳۲، ۲۱]. همچنین آنان باید خدمات زیست بومی آبزیان ناشی از عملیات بندری را در نظر گیرند و به حداقل رسانند [۵۶، ۳۲]. از آنجایی که بنادر نقش حیاتی که در جابه‌جایی کالا در دنیا ایفا می‌کنند، باید به نحوی طراحی و مدیریت شوند که علاوه بر ایجاد فرصت‌های اقتصادی، نیازهای اجتماعی محلی را نیز برآورده کنند و همچنین به حفظ و حفاظت از محیط‌زیست دریایی و ساحلی متمرکز شوند. بنابراین بررسی بنادر از منظر رویکرد پایداری در بعد زیست‌محیطی می‌تواند منجر به توسعه پایدار بنادر شود که علاوه بر افزایش کیفیت زندگی مردم، به حفظ منابع طبیعی و حفظ تنوع زیستی نیز کمک کند.

در این راستا، بنادر ایران نیز به‌عنوان ارکان کلیدی تجارت و اقتصاد کشور، می‌توانند با اعمال اصول پایداری، علاوه بر حفظ کارایی و بهره‌وری، به توسعه پایدار کمک کنند. با بهینه‌سازی فرآیندها و کاهش آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های بندری، بنادر ایران می‌توانند در حفظ منابع طبیعی و بهبود شرایط زیست‌محیطی تأثیرگذار باشند. علاوه بر این، بنادر نقش مهمی در ایجاد اشتغال، بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل و تقویت تعاملات تجاری محلی و بین‌المللی ایفا می‌کنند. این اقدامات موجب رشد اقتصادی و افزایش درآمدهای ملی خواهند شد.

بنادر ایران

ایران با توجه به وجود بنادر بزرگ و کوچک بازگانی در سواحل شمالی و جزایر جنوبی و همچنین به‌لحاظ دارا بودن یکی از بزرگ‌ترین ناوگان‌های تجاری ملکی در منطقه خاورمیانه و نیز مالکیت یکی از بزرگ‌ترین ناوگان‌های نفتی در سطح دنیا، در کنار هزینه‌های بسیار پایین حمل و نقل دریایی در مقایسه با سایر روش‌های حمل و نقلی، امکان جابه‌جایی ایمن و انبوه انواع بار در ابعاد و ظرفیت‌های مناسب در این شیوه از حمل و نقل، توانسته است نقش اساسی و ویژه‌ای را در تجارت محلی خارجی و منطقه‌ای کشور ایفاء نماید به‌طوری که در حال حاضر حدود ۹۰ درصد از کالاهای تجارت خارجی کشور، توسط این سیستم، حمل و جابه‌جا می‌شود [۵۹] و از آن جایی که اقتصاد و تجارت داخلی کشور نیز از یک طرف کاملاً به مواد اولیه، ماشین آلات و محصولات صنعتی و مصرفی وارداتی وابسته است و از طرف دیگر نیازمند صادرات به‌موقع و بی‌وقفه نفت خام و فرآورده‌های آن و نیز مواد اولیه و معدنی - محصولات صادراتی است، نقش حیاتی این سیستم را در اقتصاد ایران دو چندان می‌نماید.

بنادر ایران از موقعیت جغرافیایی خوبی برخوردارند و به‌دلیل ارتباط با کشورهای حوزه دریای خزر، خلیج همیشگی فارس و دریای عمان نقش مهمی در حمل‌ونقل بین‌المللی ایفا می‌کنند. با این حال، این بنادر در سال‌های اخیر با مشکلات جدی روبه‌رو شده‌اند. افزایش تعاملات اقتصادی با کشورهای حاشیه دریای خزر، هرچند موجب رشد صادرات و ارتباطات دریایی شده، اما زیرساخت‌های ناکافی بنادر شمالی کشور، باعث ایجاد تأخیر در تخلیه و بارگیری کشتی‌ها و ازدحام در این بنادر شده‌است. همچنین، بنادر جنوبی ایران به‌دلیل فعالیت بیشتری که در تخلیه و بارگیری مواد نفتی دارند، در اقتصاد کشور بسیار اثرگذار هستند و فرصت‌های شغلی زیادی برای مردم محلی و کشور ایجاد می‌کنند اما به‌دلیل نوع بارگیری آن‌ها آلودگی زیست‌محیطی بیشتری دارند [۳۵]. علاوه بر این، عدم وجود راهنمایی‌های مناسب در مواقع بحرانی، مشکلات مدیریتی در تمامی بنادر ایران را تشدید کرده‌است.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های خارجی متعددی به‌خصوص در چند سال اخیر در زمینه پایداری بنادر انجام شده‌است. در سال ۲۰۲۵، پژوهش خلیف و کاليسكان^۱ (۲۰۲۵) به بررسی تأثیر هوشمندی و پایداری در بنادر پرداخته و نشان داده که تمرکز تنها بر فناوری ممکن است ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی را نادیده بگیرد. نتایج این پژوهش نیز حاکی از عملکرد بهتر بنادر اروپایی نسبت به بنادر آمریکای شمالی و آسیایی در زمینه‌های پایداری و هوشمندی است [۲۳]. همچنین، در تحقیق دیگری که توسط لیو و همکاران^۲ (۲۰۲۵) منتشر کردند مفهوم بنادر هوشمند و پایداری آن‌ها بررسی شده و با استفاده از روش بهترین - بدترین^۳ به ارزیابی سلامت بنادر هوشمند با استفاده از شاخص‌های نوآورانه انجام پرداختند. این تحقیق بر اهمیت تکمیل و پایش روند هوشمندسازی بنادر و بررسی پایداری آن‌ها در برابر تغییرات خارجی تأکید دارد [۳۱]. همچنین در سال گذشته، در تحقیقی، حسین و سونگ^۴ (۲۰۲۴) به بررسی پایداری زنجیره تأمین بندر پرداختند. آن‌ها در مقاله خود ادغام دو بعد اقتصادی و محیطی را در نظر گرفتند و با نظر خبرگان و روش تحلیل عامل اکتشافی^۵ ۳۲ عامل مؤثر برای این دو بعد ارائه نمودند. آن‌ها با روش مدل‌سازی معادلات ساختاری^۶ روابط بین این عوامل را تجزیه و تحلیل نمودند. نتایج نشان داد که بندرها با پیاده‌سازی یک استراتژی یکپارچه در زنجیره تأمین می‌توانند هزینه‌ها و کارایی عملیاتی را بهبود دهند و خدمات با کیفیتی را ارائه کنند [۱۹]. علاوه بر این، در همین سال

1. Khalifeh & Caliskan,

2. Liu & et al

3. Best-Worst method (BWM)

4. Hussien & Song

5. Exploratory Factor Analysis (EFA)

6. Structural Equation Modelling (SEM)

فادیگا و همکاران^۱ (۲۰۲۴)، به تحلیل جامع از اقدامات مختلف کاهش کربن در بنادر پرداخته‌اند. این تحقیق از یک بررسی سیستماتیک استفاده کرده و نشان داده که بنادر باید از ترکیب اقدامات مختلف در زمینه انرژی پاک، سیستم‌های انرژی، و مدیریت انتشارات استفاده کنند تا به پایداری در بخش زیست محیطی دست یابند. این پژوهش به وضوح پیچیدگی فرآیندهای کاهش کربن را برجسته کرده و همکاری بین ذینفعان را ضروری می‌داند [۱۴]. در سال ۲۰۲۳، بارتوسویچ و کوچارسکی^۲ (۲۰۲۳) [۴] و شیخ و همکاران^۳ (۲۰۲۳) [۵۲] در مقاله خود شاخصه‌هایی را برای ارزیابی بنادر ارائه نمودند. بارتوسویچ و کوچارسکی (۲۰۲۳) در تحقیق خود به شناسایی شاخصه‌های پایداری برای ۱۰ بندر در منطقه بالتیک^۴ پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود ۷ شاخصه در بعد اقتصادی مانند جذب سرمایه‌گذار خارجی، ۱۳ شاخصه در بعد محیطی مانند دفع زباله بندری و ۵ شاخصه برای بعد اجتماعی مانند ایجاد فرصت شغلی تعریف کردند [۴]. در تحقیقی شیخ و همکاران (۲۰۲۳) مدلی را برای ارزیابی عملکرد لجستیک دریایی ارائه نمودند. آن‌ها ۱۹ شاخصه عملکرد را در چهار بعد عملکرد بندر، اتصال کشتیرانی، لجستیک داخلی و ملاحظات پایداری و تاب‌آوری شناسایی کردند. سپس به کمک روش EFA به اعتبارسنجی این عوامل پرداختند [۵۲].

در سال‌های بین ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲ نیز مسئله پایداری در بنادر بسیار مورد توجه قرار گرفته و مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده‌است. در سال ۲۰۲۲، سه پژوهش مرتبط انجام شده‌است. اولین پژوهش توسط سوگوت و اردوغان^۵ (۲۰۲۲) انجام شده‌است. این محققان در مطالعه خود به دنبال یک چارچوب مفهومی مرتبط با رویکرد سبز برای حمایت از پایداری محیطی بودند. آن‌ها علاوه بر تأمین پایداری انرژی و زیست محیطی، به بررسی چگونگی بهبود بهره‌وری منابع و رشد سبز پرداخته و به این نتیجه رسیدند که آلودگی هوا و استفاده کارآمد از انرژی از شاخص‌های کلیدی برای مفهوم سبز هستند [۵۴]. دومین تحقیق در این سال، تحقیق عثمان و همکاران^۶ (۲۰۲۲) می‌باشد که با مرور سیستماتیک ادبیات^۷، چارچوبی برای یک بندر پایدار و هوشمند ارائه کردند. آن‌ها در پژوهش خود ۵ عامل مهم شامل عملیاتی، انسانی، امنیت و ایمنی، انرژی و محیطی را برای ارزیابی پایداری بنادر هوشمند بررسی کردند [۳۹]. در نهایت، سومین پژوهش توسط استیلیادیس و همکاران^۸ (۲۰۲۲) انجام شده‌است. این محققان در تحقیق خود به بررسی پایداری بنادر پرداختند. آن‌ها در گام اول با مرور ادبیات معیارها و اثرات خارجی بر بنادر را شناسایی کردند. در گام دوم آن‌ها با استفاده از این معیارها تأثیر منفی و مثبت آثار خارجی بنادر را ارزیابی کردند. در نهایت آن‌ها را در سه بعد پایداری یعنی اقتصادی، محیطی و اجتماعی طبقه‌بندی کردند [۵۵].

در سال ۲۰۲۱، مجیدی و همکاران^۹ (۲۰۲۱) در تحقیقی، بنادر ایران را از نظر پایداری بررسی کردند. آن‌ها در مقاله خود با هدف رتبه‌بندی پایداری بنادر بزرگ ایران با استفاده از روش‌های MCDM^{۱۰} به گردآوری شاخصه‌های کلیدی پایداری در سه بعد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی پرداختند و سپس به روش SWARA^{۱۱} درجه اهمیت شاخصه‌های شناسایی شده را محاسبه کردند. در گام بعد رتبه‌بندی پنج بندر مهم در ایران به روش‌های MARCOS^{۱۲}، CoCoSo^{۱۳} و TOPSIS انجام شد. در این تحقیق شاخصه‌های بارگیری و تخلیه نفت، طول اسکله و جمعیت بیشترین امتیاز را کسب کرده‌اند [۳۲]. در همان سال، حسین و همکاران^{۱۴} (۲۰۲۱) نیز به بررسی پایداری ۳۶ بندر در سراسر جهان پرداختند و ۲۵ شاخصه پایداری برای بررسی روندهای عملیاتی شناسایی کردند. نتایج نشان داد که بنادر اروپا بیشتر از بنادر آمریکای

1. Fadiga & et al
2. Bartosiewicz & Kucharski
3. Sheikh & et al.

۴. منطقه بالتیک (Baltic region) شامل کشورهای حوزه دریای بالتیک می‌شود. منطقه بالتیک کشورهای دانمارک، استونی، لتونی، فنلاند، آلمان، لیتوانی، لهستان، روسیه و سوئد می‌شود، اما هم‌اکنون این منطقه به‌اختصار توسط کشورهای استونی، لتونی و لیتوانی شناخته می‌شود.

5. Sogut & Erdoğan
6. Othman & et al.
7. Systematic Literature Review
8. Styliadis & et al.
9. Majidi & et al.
10. Multiple Criteria Decision Making
11. Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis
12. Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution
13. combined compromise solution
14. Hossain & et al.

شمالی و آسیا طرح‌های پایداری را اجرا می‌کنند [۱۸]. همچنین، در سال‌های ۲۰۲۰، مولینا-سرانو و همکاران^۱ (۲۰۲۰) یکی از محققانی بودند که در پژوهش خود به بررسی روابط میان شاخصه‌های پایداری پرداختند. آن‌ها در مقاله خود ۲۲ شاخصه را در چهار بعد محیطی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی شناسایی کردند. سپس با تحلیل روابط میان شاخصه‌ها و روش شبکه بیزی^۲ مدلی را برای بررسی بنادر اسپانیا ارائه نمودند. یافته‌ها نشان داد که مهم‌ترین بعد پایداری می‌باشد و پس از آن بعد اقتصادی و اجتماعی است که در یک سطح قرار دارند و آخرین بعد، بعد محیطی می‌باشد [۳۶]. علاوه بر این، تادیچ و همکاران^۳ (۲۰۲۰) نیز در سال ۲۰۲۰ در پژوهش خود زیر معیارهای ارزیابی بنادر در کشورهای اسلوونی، کرواسی و صربستان را در چهار دسته زیست‌محیطی، اقتصادی، زیرساخت، و سیاسی-اجتماعی طبقه‌بندی کردند. تحلیل اهمیت این زیر معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی خاکستری نشان داد که حجم تعاملات اقتصادی مهم‌ترین زیر معیار است. همچنین، پژوهشگران به ارزیابی موقعیت‌های بندر خشک با استفاده از روش GCODAS^۴ پرداخته‌اند [۵۶].

در ادامه، در سال ۲۰۱۹، یک پژوهش مرتبط با این موضوع توسط گونزالس لاکس و همکاران^۵ (۲۰۱۹) انجام شده است. آن‌ها در مطالعه خود به بررسی توسعه پایدار در بندر کره پرداختند. آن‌ها ۴۹ روش را در ۸ دسته شامل مدیریت محیط داخلی، برنامه ریزی بهینه عملیاتی، صرفه‌جویی در هزینه، برنامه اجتماعی داخلی، مدیریت محیط بیرونی، همکاری با شرکت‌های کشتیرانی، برنامه اجتماعی خارجی و همکاری ارزیابی خارجی دسته‌بندی کرده و سپس روش‌ها را با تحلیل سلسله مراتبی فازی^۶ وزن‌دهی کردند. یافته‌ها نشان داد که برنامه ریزی عملیاتی بهینه مهم‌ترین روش برای توسعه پایدار بندر و مدیریت محیط داخلی کمترین اهمیت روش برای توسعه پایدار بندر کره می‌باشد [۱۷]. همچنین، در سال ۲۰۱۸ اوزیسا و آرابلن^۷ (۲۰۱۸) در پژوهشی با مرور ادبیات به بررسی مسائل پایداری در بنادر پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود به موضوعاتی همچون توسعه پایدار، عملکرد پایداری، مدیریت پایدار، ساخت بندر پایدار و پایداری زیست‌محیطی پرداخته‌اند. در این پژوهش سیاست پایداری، توسعه ساحل پایدار، پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی، ردپای اکولوژیکی^۸، پایداری اجتماعی، گزارش پایداری و سنجش پایداری نیز به چشم می‌خورد [۴۰].

در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶، سه مقاله مرتبط انجام گردید. در سال ۲۰۱۶، لاکس و همکاران^۹ (۲۰۱۶) به شناسایی شاخصه‌های پایداری بنادر اسپانیا از دو بعد اقتصادی و محیطی پرداختند. آن‌ها ۵ شاخصه برای بعد اقتصادی مانند سطح سرمایه‌گذاری و سطح مالی و اقتصادی و ۸ شاخصه برای بعد محیطی مانند مصرف انرژی و بازیابی زباله‌ها ارائه نمودند. بر اساس این شاخصه‌ها، آن‌ها با استفاده از روش تجزیه و تحلیل کنگلومرای^{۱۰} به خوشه‌بندی بنادر اسپانیا پرداختند [۲۵]. در سال قبل، عسگری و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۵) در مقاله‌ای به رتبه‌بندی پایداری ۵ بندر مهم در انگلستان پرداختند و شاخصه‌هایی در دو بعد اقتصادی (هزینه و کیفیت) و محیطی (شامل سیاست‌های زیست‌محیطی و آموزش) ارائه کردند و این بندرها را با روش تحلیل سلسله مراتبی^{۱۲} رتبه‌بندی نمودند [۳]. همچنین در سال ۲۰۱۴، پویگ و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۴) با مرور ادبیات و نظرات خبرگان بنادر، ۳۰۴ شاخصه ارزیابی کردند و آن‌ها را در سه دسته عملکرد عملیاتی (مانند رفع گرد و غبار، سر و صدا، لایروبی و زباله)، مدیریتی (مانند صدور گواهینامه و رسیدگی به شکایات) و محیطی (مانند هوا و آب) تقسیم کردند [۴۱].

برخلاف پژوهش‌های خارجی، در زمینه پایداری، پژوهش‌های داخلی اندکی انجام شده است. در سال ۱۳۹۳ عماد و یگانه (۱۳۹۳) در پژوهش خود به شناسایی و ارزیابی شاخصه‌های توسعه پایدار بنادر پرداخته‌اند. در این مقاله اثرات مستقیم و غیر مستقیم فعالیت‌های عملیاتی

1. Molina-Serrano & et al.

2. Bayesian network

3. Tadić & et al.

4. Grey Combinative Distance-based Assessment

5. González Laxe & et al.

6. Fuzzy Analytical hierarchy process (FAHP)

7. Özispa & Arabelen

8. Ecological footprint

9. Laxe & et al

10. Conglomerate Analysis

11. Asgari & et al.

12. Analytical hierarchy process (AHP)

13. Puig & et al.

بندر مانند وجود کشتی‌ها و فعالیت‌های ناوبری آن‌ها، جابه‌جایی و انبار کردن کالاها و ... و فعالیت‌های توسعه پایدار مانند طرح‌های ایجاد بندر جدید، ساخت و سازهای ساختاری بنادر، لایروبی اساسی و اولیه کانال و حوضچه بندر بر مسائل زیست‌محیطی مانند کیفیت هوا و آب، تنوع زیست‌محیطی، انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید، رسوب و زباله، تغییرات آب و هوایی، مصرف انرژی و ... را نشان می‌دهد [۱۳]. علاوه بر این، در سال ۱۳۹۶ در تحقیقی شفیع آبادی و یوسفی (۱۳۹۶) به شناسایی و رتبه‌بندی شاخصه‌های ارزیابی پایداری بنادر خشک ایران پرداخته‌اند. در این مقاله، شاخصه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی، دسترسی، موقعیت، عملکرد در ارزیابی پایداری بنادر خشک مؤثر شناخته و با بهره‌گیری از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی ارزیابی شدند [۵۰].

خلاصه‌ای از پژوهش‌های ذکر شده در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱. پیشینه پژوهش پایداری بنادر

شماره منبع	سال	موضوع	نوع تحقیق	تکنیک	کشور
[۳۱]	۲۰۲۵	بررسی و ارزیابی مفهوم بنادر هوشمند و اثرات آن در پایداری	پیمایشی	BWM	بندر تیانجین چین ^۱
[۲۳]	۲۰۲۵	نقش هوشمندی بندر در دستیابی به اهداف توسعه پایدار	مفهومی	-	۲۱ بندر از مناطق مختلف جهان
[۱۴]	۲۰۲۴	دستیابی به اهداف پایدار و اهداف زیست محیطی با کربن زدایی در بنادر	مروری	Systematic Literature Review	-
[۱۹]	۲۰۲۴	بررسی یکپارچگی و پایداری زنجیره تأمین بندر	پیمایشی	SEM EFA	لجستیک دریایی مصر
[۴]	۲۰۲۳	بررسی شاخصه‌های پایداری بندر	مفهومی	-	دانمارک، استونی، فنلاند، لتونی، لیتوانی، لهستان و سوئد
[۵۲]	۲۰۲۳	ارائه مدلی برای سنجش پایداری عملکرد جامع لجستیک دریایی	مفهومی	EFA	-
[۳۹]	۲۰۲۲	ارائه چارچوبی برای اتخاذ یک شاخصه برای یک بندر پایدار و هوشمند	مروری	Systematic Literature Review	-
[۵۴]	۲۰۲۲	بررسی چارچوبی جامع از انتقال بندر سبز بر اساس انرژی و پایداری محیطی	مفهومی	-	-
[۵۵]	۲۰۲۲	بررسی سیستماتیک ارتقای پایداری از طریق ارزیابی و اندازه‌گیری عوامل خارجی بندر	مروری	Systematic Literature Review	-
[۱۸]	۲۰۲۱	بررسی نقش پایداری در بنادر دریایی جهانی	پیمایشی	آمار توصیفی	-

1. China's Tianjin port

شماره منبع	سال	موضوع	نوع تحقیق	تکنیک	کشور
[۳۲]	۲۰۲۱	رتبه‌بندی پایداری بنادر بزرگ ایران با استفاده از روش‌های MCDM	پیمایشی	SWARA MARCOS CoCoSo TOPSIS	بنادر بزرگ ایران
[۳۶]	۲۰۲۰	تجزیه و تحلیل پارامترهای پایداری بندر	پیمایشی	Bayesian network	بنادر اسپانیا
[۵۶]	۲۰۲۰	انتخاب محل ترمینال بندر خشک با استفاده از مدل MCDM خاکستری ترکیبی	پیمایشی	GCODAS	بندر اسلوونی، کرواسی و صربستان
[۱۷]	۲۰۱۹	بررسی توسعه پایدار در بندر کره	پیمایشی	FAHP	بندر کره
[۴۰]	۲۰۱۸	مسائل پایداری در بنادر: تحلیل محتوا و بررسی ادبیات (۱۹۸۷-۲۰۱۷)	مفهومی	-	-
[۲۵]	۲۰۱۶	تحلیل پایداری بنادر اسپانیا از دو بعد اقتصادی و محیطی	مفهومی	Conglomerate Analysis	بنادر اسپانیا
[۳]	۲۰۱۵	رتبه‌بندی پایداری بنادر بریتانیا	پیمایشی	AHP	بنادر انگلستان
[۴۱]	۲۰۱۴	شناسایی و انتخاب شاخصه‌های عملکرد زیست‌محیطی برای توسعه پایدار بندر	مفهومی	-	-
[۵۰]	۱۳۹۶	شناسایی و رتبه‌بندی شاخصه‌های مؤثر بر ارزیابی پایداری بنادر خشک ایران	پیمایشی	AHP	بنادر خشک ایران
[۱۳]	۱۳۹۳	شناسایی و ارزیابی‌های شاخصه توسعه پایدار و وضعیت اعمال آن‌ها در طرح توسعه بنادر ایران (مورد کاوی بندر شهید بهشتی چابهار)	مفهومی	-	بندر شهید بهشتی چابهار

با مرور ادبیات در حوزه پایداری بنادر مشخص گردید که پژوهش‌های موجود یکی از ابعاد پایداری مانند زیست‌محیطی [۴۱، ۵۴] و یا تنها دو بعد اقتصادی و محیطی [۲۵] را بررسی کردند. همچنین پژوهش‌های داخلی نیز یا تنها یک بعد در بعضی بنادر ایران [۱۳، ۵۰] را بررسی کردند و یا تنها ۵ بندر را در هر سه بعد بررسی نمودند [۳۲] و سایر بنادر را در نظر نگرفتند. همچنین پژوهش‌های پیشین از روش‌هایی مانند AHP و FAHP و TOPSIS استفاده کردند. در حالی که پژوهش حاضر، از روش PBWM برای انجام مقایسات دقیق‌تر و سازگارتر و نتایج معتبرتر استفاده می‌شود. در این روش برخلاف روش BWM کلاسیک می‌توان مقایسات را با انتخاب گزینه یا معیار مرجع برای معیار و گزینه‌های بیشتر از ۹ تا محاسبه نمود [۸]. در این روش با شناسایی مانند روش کلاسیک آن معیارهای بهترین و بدترین قبل از انجام مقایسه‌های زوجی از بروز سوگیری یکسان‌نگری [۴۴] و سوگیری لنگراندازی [۴۵] جلوگیری می‌شود [۵۸]. همچنین، در این روش تعداد مقایسات زوجی کمتری نسبت به سایر روش‌های مقایسه زوجی مانند AHP (برای مسأله‌ای با n شاخصه، AHP به $\frac{n(n-1)}{2}$ مقایسه زوجی نیاز دارد، اما PBWM به $n + (2r - 3)$ مقایسه زوجی نیازمند است) محاسبه می‌گردد [۴۳].

۳. روش شناسی پژوهش

بنادر ایران

ایران دارای ۱۸ بندر مهم تجاری است. اما این پژوهش به دلیل موقعیت جغرافیایی استراتژیک و نقش مهمی که در حمل و نقل بین المللی دارند، بر روی ۱۴ بندر ایران تمرکز دارد. در این ارزیابی چهار بندر حذف شد زیرا بررسی اسناد مربوطه و نظرات خبرگان نشان می‌دهد که دو بندر زیر مجموعه‌ای از هجده بندر هستند. یک بندر دیگر فقط ایستگاهی برای تخلیه و بارگیری است و دیگری در زمان ارزیابی تعطیل بوده است. این بنادر مانند سایر بنادر با چالش‌هایی مانند زیرساخت‌های ناکافی، تأخیر در بارگیری و تخلیه کشتی‌ها، آلودگی ناشی از لایروبی، تحریم‌ها و چالش‌های امنیتی مواجه هستند. در نتیجه بررسی آن از منظر پایداری موجب بهبود و رفع این چالش‌ها می‌شود.

نوع و فرایند پژوهش

این پژوهش پیمایشی است و به طور استقرایی با مشاهده و جمع‌آوری و نظر خبرگان به ارزیابی پایداری بنادر ایران می‌پردازد. این پژوهش از یکی از روش‌های وزندهی چندمعیاره ذهنی مبتنی بر مقایسات زوجی استفاده نموده است. این روش‌ها براساس ادبیات این دسته روش‌ها نیاز به تعداد خبرگان متعددی ندارد. به عنوان مثال پژوهش‌های [۲، ۴۷] از ۵ خبره، پژوهش‌های [۱، ۶۰، ۳۷] از ۴ خبره، [۳۰] از ۱ خبره استفاده کردند. با این حال، این پژوهش سعی نموده از این تعداد معمول خبره بیشتری را بکار گیرد. روش متداول نمونه‌گیری در اینگونه از پژوهش‌ها روش هدفمند قضاوتی است؛ چرا که به دنبال متخصص‌ترین و مرتبط‌ترین خبره در حوزه مسئله پژوهش است. بنابراین، خبرگان این پژوهش شامل ۶ نفر از کارشناسان و کارمندان سازمان بنادر و دریانوردی ایران و مهندسان بنادر کشور ایران می‌باشند. تمامی این خبرگان دارای بیش از ۱۵ سال سابقه کاری در سازمان بنادر یا بنادر ایران هستند. افراد منتخب در این مطالعه، همگی دارای مدرک کارشناسی ارشد در رشته‌های مدیریت دولتی، مدیریت صنعتی یا مهندسی عمران می‌باشند. در این مطالعه به دلیل حفظ منافع، نام بنادر از P_1 تا P_{14} نام گذاری کرده است.

این تحقیق قصد دارد با بررسی ۱۴ بندر تجاری و مهم ایران در بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، میزان پایداری آنان را بسنجد تا به مدیران و تصمیم‌گیرندگان بنادر در تصمیم‌گیری مناسب با رویکرد پایدار کمک نماید. در این مطالعه ابتدا ادبیات موجود بررسی شد. سپس با بررسی بنادر ایران ۱۴ بندر در این مطالعه انتخاب شدند. پس از آن با روش PBWM گزینه‌های این پژوهش که همان بنادر هستند بررسی و تحلیل شدند. چارچوب این مطالعه در شکل ۱ به اختصار بیان شده است.



شکل ۱. چارچوب پژوهش

روش PBWM

در این تحقیق برای مقایسه بنادر از روش PBWM که توسط [۸] در سال ۲۰۲۴ بیان شده است، استفاده گردید. این روش که به آن روش بهترین - بدترین کمینه‌گرا نیز می‌گویند، زمانی به کار می‌رود که تعداد گزینه‌ها یا شاخصه‌ها بیشتر از ۹ است. در حقیقت، این روش محدودیتی که در BWM کلاسیک بوده است را رفع کرده است. علاوه بر آن تعداد مقایسه‌های زوجی کمتری نسبت به BWM کلاسیک دارد. همچنین این روش نسبت به BWM کلاسیک و AHP اطلاعات ترجیحی کمتری نیاز دارد. گام‌های آن به شرح زیر می‌باشد:

گام اول: از خبرگان خواسته می‌شود که به همه گزینه‌ها امتیاز دهند. که A مجموعه‌ای از گزینه‌ها می‌باشد:

گام دوم: با توجه به امتیازات گام قبل، گزینه‌های مرجع طبق رابطه ۱ مشخص می‌گردد:

$$\begin{aligned} \max \varepsilon &= \varepsilon^* \\ \rho_j r(a_j) - \rho_{j'} r(a_{j'}) &\geq \varepsilon - (\gamma - \rho_j - \rho_{j'}) M \\ &\text{for all } j, j' = 1 \dots n \text{ such that } r(a_j) \geq r(a_{j'}) \\ \sum_{i=1}^n \rho_j &= t \\ \rho_{(1)} &= 1, \rho_{(n)} = 1 \\ \rho_{(j)} + \rho_{(j+1)} + \rho_{(j+2)} &\leq \gamma \text{ for all } j = 1 \dots n - 2 \\ \rho_j &\in \{0, 1\} \text{ for all } j = 1 \dots n \end{aligned} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه $r(a_j)$ نشان دهنده امتیاز اولیه، t تعداد گزینه‌های مرجع، M یک عدد خیلی بزرگ و ε و ρ_j متغیرهای مجهول این مدل می‌باشند. محدودیت اول تعداد گزینه‌های مرجع را نشان می‌دهد. معمولاً تعداد گزینه‌های مرجع (t) حداقل ۳ تا و حداکثر ۹ تا می‌باشد که این مقدار را می‌بایست خبرگان تعیین کنند. همچنین ρ_j یک متغیر باینری می‌باشد. بدین معنا که مقدار این متغیر تنها می‌تواند صفر یا یک باشد. اگر مقدار آن یک باشد، یعنی آن گزینه به عنوان گزینه مرجع انتخاب می‌شود و اگر مقدار آن صفر باشد، این گزینه گزینه مرجع نخواهد شد. بر همین اساس، محدودیت دوم نشان می‌دهد که حتماً می‌بایست بهترین و بدترین گزینه جز گزینه‌های مرجع باشند. در صورت نداشتن زمان کافی برای حل مدل فوق می‌توان از رابطه ۲ نیز استفاده نمود. البته محدودیت‌های مدل فوق مانند وجود بهترین و بدترین گزینه نیز در این رابطه اجرا می‌شود.

$$\begin{aligned} r(a_{(1)}) r(a_{(1)}) + \frac{1}{t-1} [r(a_{(n)}) - r(a_{(1)})] r(a_{(1)}) \\ + \frac{\gamma}{t-1} [r(a_{(n)}) - r(a_{(1)})] \dots r(a_{(n)}) \end{aligned} \quad \text{رابطه (۲)}$$

گام سوم: از خبرگان خواسته می‌شود ابتدا میان گزینه‌های مرجع، بهترین و بدترین گزینه را انتخاب کرده و سپس مانند روش BWM کلاسیک ابتدا ارجحیت بهترین گزینه مرجع را نسبت به سایر گزینه‌های مرجع با اعداد ۱ تا ۹ مشخص نمایند. پس از آن، ارجحیت سایر گزینه‌های مرجع را نسبت به بدترین گزینه مرجع را با اعداد ۱ تا ۹ مشخص نمایند. همان طور که در BWM کلاسیک می‌بایست اعتبار داده‌های دریافتی از خبرگان بررسی شود، در این روش نیز باید نرخ سازگاری محاسبه گردد.

نرخ سازگاری نیز برای مدل‌ها باید محاسبه شود. با استفاده از ξ^* که از حل مدل به دست می‌آید، نرخ سازگاری محاسبه می‌شود. هر چقدر ξ^* کوچک‌تر باشد نشان دهنده نرخ سازگاری بالاتر است. از طریق جدول ۲ و رابطه ۳ می‌توان نرخ سازگاری را محاسبه نمود. هرچه مقادیر نرخ سازگاری به صفر نزدیک‌تر باشد نتایج سازگاری بیشتری دارد. در یکی از پژوهش‌های انجام شده توسط ابداع کننده این روش، می‌توان

مقادیر آستانه بهینه نرخ سازگاری را طبق جدول ۳ برای حالت مبتنی بر خروجی مدل تعیین نمود. منظور از حالت مبتنی بر خروجی مدل این است که برای محاسبه این شاخص باید حتماً مدل بهینه‌سازی این روش حل شود و مقدار بهینه ξ^* به دست آید [۲۹].

جدول ۲. شاخص سازگاری $[f_{33}]$

a_{BW}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰/۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

$$\text{نرخ سازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

جدول ۳. مقادیر آستانه بهینه نرخ سازگاری حالت مبتنی بر خروجی روش بهترین - بدترین $[f_{99}]$

شاخص								
a_{BW}	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	
۳	۰/۲۰۸۷	۰/۲۰۸۷	۰/۲۰۸۷	۰/۲۰۸۷	۰/۲۰۸۷	۰/۲۰۸۷	۰/۲۰۸۷	۰/۲۰۸۷
۴	۰/۱۵۸۱	۰/۲۳۵۲	۰/۲۷۳۸	۰/۲۹۲۸	۰/۳۱۰۲	۰/۳۱۵۴	۰/۳۲۷۳	۰/۳۲۷۳
۵	۰/۲۱۱۱	۰/۲۸۴۸	۰/۳۰۱۹	۰/۳۳۰۹	۰/۳۴۷۹	۰/۳۶۱۱	۰/۳۷۴۱	۰/۳۷۴۱
۶	۰/۲۱۶۴	۰/۲۹۲۲	۰/۳۵۶۵	۰/۳۹۲۴	۰/۴۰۶۱	۰/۴۱۶۸	۰/۴۲۲۵	۰/۴۲۲۵
۷	۰/۲۰۹۰	۰/۳۳۱۳	۰/۳۷۳۴	۰/۳۹۳۱	۰/۴۰۳۵	۰/۴۱۰۸	۰/۴۲۹۸	۰/۴۲۹۸
۸	۰/۲۲۶۷	۰/۳۴۰۹	۰/۴۰۲۹	۰/۴۲۳۰	۰/۴۳۷۹	۰/۴۵۴۳	۰/۴۵۹۹	۰/۴۵۹۹
۹	۰/۲۱۲۲	۰/۳۶۵۳	۰/۴۰۵۵	۰/۴۲۲۵	۰/۴۴۴۵	۰/۴۵۸۷	۰/۴۷۴۷	۰/۴۷۴۷

همچنین می‌توان مقادیر آستانه بهینه نرخ سازگاری را طبق جدول ۴ برای حالت مبتنی بر ورودی مدل تعیین نمود. منظور از حالت مبتنی بر ورودی مدل، محاسبه نرخ سازگاری قبل از حل مدل و بر اساس داده‌های اولیه مقایسات شاخص‌ها توسط خبرگان است. برای بهره‌گیری از مقادیر جدول مبتنی بر ورودی مدل باید نرخ سازگاری به شرح روابط ۴ و ۵ محاسبه شود. این حالت قابل بهره‌گیری برای تمامی نسخه‌های این روش است [۲۹].

$$CR^I = \max_j CR_j^I \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$CR_j^I = \begin{cases} \frac{|a_{Bj} \times a_{jW} - a_{BW}|}{a_{BW} \times a_{BW} - a_{BW}} & a_{BW} > 1 \\ 0 & a_{BW} = 1 \end{cases} \quad \text{رابطه (۵)}$$

جدول ۴. مقادیر آستانه بهینه نرخ سازگاری حالت مبتنی بر ورودی روش بهترین - بدترین [29]

شاخص							
a_{BW}	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۳	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷
۴	۰/۱۱۲۱	۰/۱۵۲۹	۰/۱۸۹۸	۰/۲۲۰۶	۰/۲۵۲۷	۰/۲۵۷۷	۰/۲۶۸۳
۵	۰/۱۳۵۴	۰/۱۹۹۴	۰/۲۳۰۶	۰/۲۵۴۶	۰/۲۷۱۶	۰/۲۸۴۴	۰/۲۹۶۰
۶	۰/۱۳۳۰	۰/۱۹۹۰	۰/۲۶۴۳	۰/۳۰۴۴	۰/۳۱۴۴	۰/۳۲۲۱	۰/۳۲۶۲
۷	۰/۱۲۹۴	۰/۲۴۵۷	۰/۲۸۱۹	۰/۳۰۲۹	۰/۳۱۴۴	۰/۳۲۵۱	۰/۳۴۰۳
۸	۰/۱۳۰۹	۰/۲۵۲۱	۰/۲۹۵۸	۰/۳۱۵۴	۰/۳۴۰۸	۰/۳۶۲۰	۰/۳۶۵۷
۹	۰/۱۳۵۹	۰/۲۶۸۱	۰/۳۰۶۲	۰/۳۳۳۷	۰/۳۵۱۷	۰/۳۶۲۰	۰/۳۶۶۲

گام چهارم: با توجه به امتیازات مراحل قبل، در این گام مقادیر بهینه وزن‌ها $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ باید محاسبه شود. برای تعیین وزن بهینه هر یک از گزینه‌های مرجع باید راه‌حلی پیدا شود تا حداکثر عبارات $\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right|$ و $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_j \right|$ را برای همه j ها حداقل نماید. با توجه به غیر منفی بودن وزن‌ها و مجموع اوزان می‌توان مدل غیرخطی آن را به صورت رابطه ۶ فرموله نمود:

$$\begin{aligned}
 & \min \xi \\
 & \text{s.t.} \\
 & \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi \quad \text{For all } j \\
 & \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi \quad \text{For all } j \\
 & \sum_j w_j = 1 \\
 & w_j \geq 0 \quad \text{For all } j
 \end{aligned}
 \tag{۶} \text{ رابطه}$$

گام پنجم: پس از به دست آمدن وزن گزینه‌های مرجع از طریق محاسبه مدلسازی غیرخطی گام قبل، وزن گزینه‌های غیر مرجع طبق رابطه ۷ به دست می‌آید:

$$\begin{aligned}
 w_j &= u(r(a_j)) \\
 &= u(r(a_{\gamma_s})) + \frac{u(r(a_{\gamma_{s+1}})) - u(r(a_{\gamma_s}))}{r(a_{\gamma_{s+1}}) - r(a_{\gamma_s})} (r(a_j) - r(a_{\gamma_s}))
 \end{aligned}
 \tag{۷} \text{ رابطه}$$

۴. تحلیل داده و یافته‌های پژوهش

یافته‌ها

در این پژوهش در ابتدا از هر ۶ خبره خواسته شده‌است تا ابتدا از ۱ تا ۹ به هر ۱۴ بندر در هر سه بعد امتیاز بدهند. جداول ۵، ۶ و ۷ به ترتیب امتیازات اولیه خبرگان در بعد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. امتیازات اولیه خبرگان در بعد اقتصادی

بنادر	P _۱	P _۲	P _۳	P _۴	P _۵	P _۶	P _۷	P _۸	P _۹	P _{۱۰}	P _{۱۱}	P _{۱۲}	P _{۱۳}	P _{۱۴}
خبره ۱	۶	۹	۴	۱	۳	۱	۹	۳	۴	۳	۳	۸	۳	۲
خبره ۲	۴	۸	۳	۳	۴	۲	۹	۴	۴	۵	۴	۸	۳	۳
خبره ۳	۷	۹	۴	۱	۴	۱	۸	۲	۵	۳	۵	۸	۳	۲
خبره ۴	۵	۸	۳	۲	۲	۱	۹	۵	۴	۵	۴	۷	۴	۱
خبره ۵	۷	۹	۱	۲	۱	۱	۹	۴	۴	۵	۲	۹	۳	۱
خبره ۶	۴	۷	۳	۳	۳	۲	۸	۲	۲	۳	۶	۷	۵	۲

جدول ۶. امتیازات اولیه خبرگان در بعد زیست‌محیطی

بنادر	P _۱	P _۲	P _۳	P _۴	P _۵	P _۶	P _۷	P _۸	P _۹	P _{۱۰}	P _{۱۱}	P _{۱۲}	P _{۱۳}	P _{۱۴}
خبره ۱	۷	۶	۲	۲	۳	۱	۸	۶	۵	۳	۲	۸	۳	۲
خبره ۲	۸	۷	۳	۳	۲	۲	۹	۶	۵	۴	۲	۶	۲	۱
خبره ۳	۷	۸	۴	۳	۳	۱	۷	۴	۶	۵	۳	۸	۲	۱
خبره ۴	۶	۷	۵	۲	۱	۱	۷	۵	۴	۳	۴	۶	۴	۳
خبره ۵	۵	۸	۵	۱	۳	۲	۷	۴	۴	۴	۴	۶	۵	۲
خبره ۶	۷	۷	۴	۲	۲	۲	۶	۵	۳	۴	۵	۷	۵	۲

جدول ۷. امتیازات اولیه خبرگان در بعد اجتماعی

بنادر	P _۱	P _۲	P _۳	P _۴	P _۵	P _۶	P _۷	P _۸	P _۹	P _{۱۰}	P _{۱۱}	P _{۱۲}	P _{۱۳}	P _{۱۴}
خبره ۱	۶	۶	۱	۱	۱	۲	۷	۲	۴	۲	۲	۶	۲	۳
خبره ۲	۶	۷	۲	۱	۲	۲	۷	۴	۵	۲	۴	۵	۳	۲
خبره ۳	۴	۶	۳	۱	۳	۱	۶	۴	۴	۳	۴	۵	۲	۱
خبره ۴	۶	۸	۲	۲	۲	۲	۹	۳	۳	۲	۲	۸	۴	۳
خبره ۵	۸	۹	۳	۳	۲	۱	۹	۴	۲	۴	۴	۸	۳	۲
خبره ۶	۷	۸	۲	۲	۲	۱	۷	۵	۳	۴	۴	۷	۳	۱

بعد از امتیازدهی اولیه، با توجه به رابطه ۲ و امتیازات خبرگان، برای هر خبره در هر بعد ۵ مرجع انتخاب شدند. به عنوان نمونه، خبره ۱، بهترین بندر، بندر P_۷ و کم‌اهمیت‌ترین بندر، بندر P_۶ انتخاب شده است. در نتیجه با توجه به امتیاز آن‌ها، طبق رابطه ۸، ۳ بندر مرجع بعدی را به دست می‌آید. بدین ترتیب، برای سایر خبرگان هم در این بعد و هم در سایر ابعاد چنین رویه‌ای انجام شد.

$$۱۱ + \frac{۱}{۵-۱} [۹-۱] + \frac{۲}{۵-۱} [۹-۱] + \frac{۳}{۵-۱} [۹-۱] \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$۱ + \frac{۴}{۵-۱} [۹-۱] ۹$$

براساس امتیازات به‌دست آمده و جدول امتیاز اولیه، ۳ مرجع بعدی انتخاب می‌شوند. جدول ۸ پنج بندر مرجع انتخاب شده در بعد اقتصادی با توجه به امتیازات خبره ۱ را ارائه می‌دهد.

جدول ۸. پنج بندر مرجع در بعد اقتصادی براساس نظرات خبره ۱

بنادر مرجع	$P_۶$	$P_{۱۰}$	$P_۳$	$P_{۱۳}$	$P_۷$
امتیازات	۱	$۱ + \frac{۱}{۵-۱} [۹-۱] = ۳$	$۱ + \frac{۲}{۵-۱} [۹-۱] = ۵$	$۱ + \frac{۳}{۵-۱} [۹-۱] = ۷$	۹

بعد از تعیین مراجع، مجدد از خبرگان خواسته شد تا ۵ بندر مرجع را مانند BWM کلاسیک به‌صورت زوجی مقایسه کنند. جداول ۹ و ۱۰ مقایسات زوجی خبرگان در بعد اقتصادی را نشان می‌دهد. همچنین، مقایسات در بعد زیست محیطی و اجتماعی به ترتیب در جداول ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ ارائه شده است. بعد از آن، نرخ سازگاری این امتیازات با توجه به جدول ۴ بررسی گردید. این نرخ سازگاری در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۹. مقایسات زوجی مهم‌ترین بندر نسبت به سایر بنادر در بعد اقتصادی

خبره ۱	بهترین بندر: $P_۷$	$P_۷$	$P_۶$	$P_{۱۰}$	$P_۳$	$P_{۱۳}$
امتیازات	۱	۸	۶	۵	۲	
خبره ۲	بهترین بندر: $P_۷$	$P_۷$	$P_۶$	$P_۱$	$P_{۱۰}$	$P_۳$
امتیازات	۱	۸	۵	۶	۳	
خبره ۳	بهترین بندر: $P_۳$	$P_۳$	$P_۴$	$P_{۱۰}$	$P_۹$	$P_۱$
امتیازات	۱	۹	۶	۷	۴	
خبره ۴	بهترین بندر: $P_۷$	$P_۷$	$P_۶$	$P_۳$	$P_۱$	$P_{۱۳}$
امتیازات	۱	۸	۶	۴	۴	
خبره ۵	بهترین بندر: $P_۷$	$P_۷$	$P_۶$	$P_{۱۳}$	$P_{۱۰}$	$P_۱$
امتیازات	۱	۹	۷	۵	۳	
خبره ۶	بهترین بندر: $P_۷$	$P_۷$	$P_{۱۳}$	$P_۱$	$P_{۱۳}$	$P_۳$
امتیازات	۱	۸	۶	۴	۲	

جدول ۱۰. مقایسات زوجی سایر بنادر نسبت به کم‌اهمیت‌ترین بندر در بعد اقتصادی

خبره ۱		خبره ۲		خبره ۳		خبره ۴		خبره ۵		خبره ۶	
کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_2	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_{12}	امتیازات
P_7	۹	P_7	۹	P_2	۸	P_7	۹	P_7	۸	P_7	۹
P_6	۱	P_6	۱	P_4	۱	P_6	۱	P_6	۱	P_{13}	۱
P_{10}	۴	P_1	۴	P_{10}	۴	P_3	۴	P_{13}	۳	P_1	۴
P_3	۳	P_{10}	۴	P_9	۴	P_1	۶	P_{10}	۵	P_{13}	۵
P_{12}	۷	P_2	۸	P_1	۶	P_{12}	۷	P_1	۷	P_2	۸

جدول ۱۱. مقایسات زوجی مهم‌ترین بندر نسبت به سایر بنادر در بعد زیست‌محیطی

خبره ۱	بهترین بندر: P_7					
	P_1	P_9	P_{10}	P_6	P_7	امتیازات
	۳	۵	۶	۸	۱	
خبره ۲	بهترین بندر: P_7					
	P_2	P_9	P_3	P_{13}	P_7	امتیازات
	۲	۶	۵	۹	۱	
خبره ۳	بهترین بندر: P_2					
	P_7	P_{10}	P_{11}	P_{13}	P_2	امتیازات
	۱	۶	۵	۹	۱	
خبره ۴	بهترین بندر: P_2					
	P_{12}	P_9	P_{10}	P_6	P_2	امتیازات
	۱	۵	۶	۷	۱	
خبره ۵	بهترین بندر: P_2					
	P_7	P_3	P_5	P_4	P_2	امتیازات
	۱	۳	۷	۷	۱	
خبره ۶	بهترین بندر: P_2					
	P_7	P_{13}	P_{10}	P_6	P_2	امتیازات
	۲	۶	۵	۷	۱	

جدول ۱۲. مقایسات زوجی سایر بنادر نسبت به کم‌اهمیت‌ترین بندر در بعد زیست‌محیطی

خبره ۱		خبره ۲		خبره ۳		خبره ۴		خبره ۵		خبره ۶	
کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_{12}	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_{12}	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_2	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات
P_7	۸	P_7	۸	P_2	۸	P_2	۸	P_2	۷	P_2	۸
P_6	۱	P_{13}	۱	P_{13}	۱	P_6	۱	P_4	۱	P_6	۱
P_{10}	۴	P_3	۵	P_{11}	۵	P_{10}	۲	E	۱	P_{10}	۳
P_9	۴	P_9	۵	P_{10}	۵	P_9	۳	P_3	۶	P_{13}	۳
P_1	۷	P_2	۸	P_7	۸	P_{12}	۸	P_7	۶	P_7	۸

جدول ۱۳. مقایسات زوجی مهم‌ترین بندر نسبت به سایر بنادر در بعد اجتماعی

خبره	بهترین بندر: P_7					P_2
	امتیازات	P_7	P_4	P_{12}	P_9	
خبره ۱	امتیازات	۱	۷	۷	۴	۳
خبره ۲	بهترین بندر: P_7					P_1
	امتیازات	P_7	P_4	P_{13}	P_8	
خبره ۲	امتیازات	۱	۷	۵	۵	۶
خبره ۳	بهترین بندر: P_7					P_{12}
	امتیازات	P_7	P_4	P_3	P_1	
خبره ۳	امتیازات	۱	۷	۴	۵	۴
خبره ۴	بهترین بندر: P_7					P_2
	امتیازات	P_7	P_6	P_{12}	P_1	
خبره ۴	امتیازات	۱	۸	۷	۴	۲
خبره ۵	بهترین بندر: P_7					P_{12}
	امتیازات	P_7	P_6	P_{12}	P_{10}	
خبره ۵	امتیازات	۱	۷	۷	۶	۳
خبره ۶	بهترین بندر: P_2					P_{12}
	امتیازات	P_2	P_6	P_{12}	P_8	
خبره ۶	امتیازات	۱	۸	۷	۵	۳

جدول ۱۴. مقایسات زوجی سایر بنادر نسبت به کم‌اهمیت‌ترین بندر در بعد اجتماعی

خبره ۱		خبره ۲		خبره ۳		خبره ۴		خبره ۵		خبره ۶	
کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_2	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_2	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_4	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات	کم‌اهمیت‌ترین بندر: P_6	امتیازات
P_7	۸	P_7	۸	P_7	۸	P_7	۹	P_7	۸	P_2	۸
P_4	۱	P_4	۱	P_4	۱	P_4	۱	P_6	۱	P_6	۱
P_{12}	۲	P_{13}	۳	P_3	۴	P_{12}	۳	P_{12}	۲	P_{12}	۳
P_9	۴	P_8	۳	P_1	۳	P_1	۶	P_{10}	۳	P_8	۴
P_2	۶	P_1	۳	P_{12}	۴	P_2	۸	P_{12}	۶	P_{12}	۷

جدول ۱۵. نرخ سازگاری مقایسات زوجی این پژوهش

ابعاد	بعد اقتصادی		محیطی بعد زیست		بعد اجتماعی	
	نرخ سازگاری	حد آستانه	نرخ سازگاری	حد آستانه	نرخ سازگاری	حد آستانه
خبره ۱	۰/۲۸۵۷	۰/۲۹۸۵	۰/۲۸۵۷	۰/۲۹۵۸	۰/۲۶۱۹	۰/۲۸۱۹
خبره ۲	۰/۲۸۵۷	۰/۲۹۵۸	۰/۲۹۱۷	۰/۳۰۶۲	۰/۲۶۱۹	۰/۲۸۱۹
خبره ۳	۰/۲۶۳۹	۰/۳۰۶۲	۰/۲۹۱۷	۰/۳۰۶۲	۰/۲۱۴۳	۰/۲۸۱۹
خبره ۴	۰/۳۵۷۱	۰/۲۹۵۸	۰/۱۹۰۵	۰/۲۸۱۹	۰/۲۸۵۷	۰/۲۹۵۸
خبره ۵	۰/۲۲۲۲	۰/۳۰۶۲	۰/۲۶۱۹	۰/۲۸۱۹	۰/۲۶۱۹	۰/۲۸۱۹
خبره ۶	۰/۲۸۵۷	۰/۲۹۵۸	۰/۲۶۱۹	۰/۲۸۱۹	۰/۲۳۲۱	۰/۲۹۵۸

سپس وزن ۵ بندر مرجع براساس رابطه ۶ به‌دست می‌آید. به‌عنوان مثال، رابطه ۹ به‌ترتیب نشان دهنده مدل‌های غیرخطی در بعد اقتصادی است که با توجه به نظرات خبره ۱ طراحی شده‌است. بدین ترتیب، برای سایر خبرگان هم در این بعد و هم در سایر ابعاد چنین رویه‌ای انجام شد.

$\min \xi$

s.t.

$$\left| \frac{W_V}{W_V} - 1 \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{W_V}{W_\epsilon} - 8 \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{W_V}{W_{10}} - 6 \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{W_V}{W_r} - 5 \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{W_V}{W_{12}} - 2 \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{W_V}{W_\epsilon} - 9 \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{W_\epsilon}{W_\epsilon} - 1 \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{W_{10}}{W_\epsilon} - 4 \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{W_r}{W_\epsilon} - 3 \right| \leq \xi$$

$$\left| \frac{W_{12}}{W_\epsilon} - 7 \right| \leq \xi$$

$$W_V + W_\epsilon + W_{10} + W_r + W_{12} = 1$$

رابطه (۹)

پس از حل مدل‌های غیرخطی، وضعیت اولیه عملکردی بنادر مرجع در هر بعد برای هر خبره به‌دست می‌آید. جداول ۱۶، ۱۷ و ۱۸ به ترتیب وضعیت اولیه بنادر مرجع هر خبره در بعد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را نشان می‌دهند.

جدول ۱۶. وضعیت اولیه بنادر مرجع در بعد اقتصادی

خبره ۱	W_V	W_ϵ	W_{10}	W_r	W_{12}
$u(r(a_j))$	$u(9)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(4)$	$u(8)$
وضعیت اولیه	۰/۳۹۳۸	۰/۰۴۰۵	۰/۰۹۲۱	۰/۱۲۰۳	۰/۳۵۳۳
خبره ۲	W_V	W_ϵ	W_1	W_{10}	W_r
$u(r(a_j))$	$u(9)$	$u(2)$	$u(4)$	$u(5)$	$u(8)$
وضعیت اولیه	۰/۴۱۲۱	۰/۰۴۲۴	۰/۱۲۵۸	۰/۰۹۶۴	۰/۳۲۳۳
خبره ۳	W_r	W_{10}	W_1	W_9	W_1

$u(r(a_j))$	$u(9)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(5)$	$u(7)$
وضعیت اولیه	۰/۵۰۰۰	۰/۰۵۰۰	۰/۱۰۰۰	۰/۱۰۰۰	۰/۲۵۰۰
خبره ۴	W_v	W_6	W_r	W_1	W_{12}
$u(r(a_j))$	$u(9)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(5)$	$u(7)$
وضعیت اولیه	۰/۴۲۵۵	۰/۰۴۲۶	۰/۱۰۶۴	۰/۲۱۲۸	۰/۲۱۲۸
خبره ۵	W_v	W_6	W_{13}	W_{10}	W_1
$u(r(a_j))$	$u(9)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(5)$	$u(7)$
وضعیت اولیه	۰/۴۱۴۵	۰/۰۴۲۰	۰/۰۴۷۹	۰/۱۳۲۰	۰/۳۶۳۶
خبره ۶	W_v	W_{14}	W_1	W_{13}	W_r
$u(r(a_j))$	$u(8)$	$u(2)$	$u(4)$	$u(5)$	$u(7)$
وضعیت اولیه	۰/۴۰۷۵	۰/۰۴۱۹	۰/۰۹۵۳	۰/۱۷۹۱	۰/۲۷۶۱

جدول ۱۷. وضعیت اولیه بنادر مرجع در بعد زیست‌محیطی

خبره ۱	W_v	W_6	W_{10}	W_9	W_1
$u(r(a_j))$	$u(8)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(5)$	$u(7)$
وضعیت اولیه	۰/۴۲۴۶	۰/۰۴۳۷	۰/۰۹۹۳	۰/۰۹۹۳	۰/۳۳۳۱
خبره ۲	W_v	W_{14}	W_r	W_9	W_r
$u(r(a_j))$	$u(9)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(5)$	$u(7)$
وضعیت اولیه	۰/۴۵۶۳	۰/۰۴۴۵	۰/۱۲۱۹	۰/۱۲۱۹	۰/۲۵۵۴
خبره ۳	W_r	W_{14}	W_{11}	W_{10}	W_v
$u(r(a_j))$	$u(8)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(5)$	$u(7)$
وضعیت اولیه	۰/۴۴۹۶	۰/۰۴۳۸	۰/۱۲۰۵	۰/۱۲۰۲	۰/۲۶۶۰
خبره ۴	W_r	W_6	W_{10}	W_9	W_{12}
$u(r(a_j))$	$u(7)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(4)$	$u(6)$
وضعیت اولیه	۰/۴۰۹۰	۰/۰۵۱۱	۰/۰۷۹۸	۰/۱۰۲۲	۰/۳۵۷۸
خبره ۵	W_r	W_f	W_5	W_r	W_v
$u(r(a_j))$	$u(8)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(5)$	$u(6)$
وضعیت اولیه	۰/۴۰۹۲	۰/۰۴۹۶	۰/۰۷۱۳	۰/۲۳۵۰	۰/۲۳۵۰
خبره ۶	W_r	W_6	W_{10}	W_{13}	W_v
$u(r(a_j))$	$u(7)$	$u(2)$	$u(4)$	$u(5)$	$u(6)$
وضعیت اولیه	۰/۴۰۹۰	۰/۰۴۹۵	۰/۱۰۹۳	۰/۰۸۶۳	۰/۳۴۵۸

جدول ۱۸. وضعیت اولیه بنادر مرجع در بعد اجتماعی

خبره ۱	W_v	W_f	W_{1f}	W_q	W_r
$u(r(a_j))$	$u(7)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(4)$	$u(6)$
وضعیت اولیه	۰/۴۵۴۳	۰/۰۵۵۰	۰/۰۷۹۱	۰/۱۵۰۸	۰/۲۶۰۸
خبره ۲	W_v	W_f	P_{1r}	W_λ	W_1
$u(r(a_j))$	$u(7)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(4)$	$u(6)$
وضعیت اولیه	۰/۵۳۵۸	۰/۰۶۴۹	۰/۱۴۳۲	۰/۱۴۳۲	۰/۱۱۳۰
خبره ۳	W_v	W_f	W_r	W_1	W_{1r}
$u(r(a_j))$	$u(6)$	$u(1)$	$u(3)$	$u(4)$	$u(5)$
وضعیت اولیه	۰/۴۸۰۱	۰/۰۵۸۹	۰/۱۶۸۲	۰/۱۲۴۶	۰/۱۶۸۲
خبره ۴	W_v	W_ϵ	W_{1f}	W_1	W_r
$u(r(a_j))$	$u(9)$	$u(2)$	$u(3)$	$u(6)$	$u(8)$
وضعیت اولیه	۰/۳۶۸۶	۰/۰۳۷۹	۰/۰۶۳۰	۰/۱۶۲۰	۰/۳۶۸۶
خبره ۵	W_v	W_ϵ	W_{1f}	W_{10}	W_{1r}
$u(r(a_j))$	$u(9)$	$u(1)$	$u(2)$	$u(4)$	$u(8)$
وضعیت اولیه	۰/۴۸۱۶	۰/۰۵۸۳	۰/۰۸۱۹	۰/۱۰۱۶	۰/۲۷۶۵
خبره ۶	W_r	W_ϵ	W_{1f}	W_λ	W_{1r}
$u(r(a_j))$	$u(8)$	$u(1)$	$u(1)$	$u(5)$	$u(7)$
وضعیت اولیه	۰/۴۵۹۳	۰/۰۴۸۹	۰/۰۷۸۵	۰/۱۲۷۴	۰/۲۸۵۹

پس از به‌دست آمدن وضعیت عملکردی نهایی ۵ بندر مرجع، براساس رابطه ۷، وضعیت عملکردی سایر بنادر (بنادر غیر مرجع) را محاسبه کرده و نرمال می‌کنیم. به‌عنوان مثال با توجه به بنادر مرجع انتخاب شده طبق نظر خبره ۱، رابطه ۱۰ نشان دهنده وضعیت عملکردی بنادر غیر مرجع در بعد اقتصادی می‌باشد. وضعیت عملکردی بنادر در سایر ابعاد نیز به همین صورت محاسبه گردید. بدین ترتیب، برای سایر خبرگان هم در این بعد و هم در سایر ابعاد چنین رویه‌ای انجام شد.

$$w_1 = u(6) = u(4) + \frac{u(8) - u(4)}{8 - 4} (6 - 4) = 0.1203 + \frac{0.3533 - 0.1203}{8 - 4} (6 - 4) = 0.2368$$

$$w_r = u(9) = 0.3938$$

$$w_f = u(1) = 0.0405$$

$$w_\delta = u(3) = 0.0921$$

$$w_\lambda = u(3) = 0.0921$$

$$w_q = u(4) = 0.1203$$

$$w_{11} = u(3) = 0.0921$$

$$w_{1r} = u(3) = 0.0921$$

رابطه (۱۰)

بعد از محاسبات وزن بنادر در هر سه بعد، اکنون می‌بایست نظرات خبرگان با استفاده از میانگین هندسی ادغام شده و نرمال شود. جداول ۱۹، ۲۰، ۲۱ نشان دهنده‌ی وزن‌های نهایی بنادر در هر سه بعد پایداری با توجه به نظرات هر ۶ خبره می‌باشد.

جدول ۱۹. وضعیت عملکردی و رتبه نهایی بنادر در بعد اقتصادی

رتبه	وزن نرمال شده	میانگین هندسی	خبره ۶	خبره ۵	خبره ۴	خبره ۳	خبره ۲	خبره ۱	
۴	۰/۰۸۸۸	۰/۰۸۵۰	۰/۰۵۰۱	۰/۱۶۳۴	۰/۰۸۸۱	۰/۱۰۶۴	۰/۰۴۶۱	۰/۱۰۶۴	P _۱
۲	۰/۱۷۳۲	۰/۱۶۵۸	۰/۱۴۵۰	۰/۱۸۶۳	۰/۱۳۲۲	۰/۲۱۲۸	۰/۱۵۴۷	۰/۱۷۶۹	P _۲
۱۰	۰/۰۳۷۹	۰/۰۳۶۳	۰/۰۳۶۰	۰/۰۱۸۹	۰/۰۴۴۱	۰/۰۴۲۶	۰/۰۳۳۲	۰/۰۵۴۰	P _۳
۱۲	۰/۰۲۶۹	۰/۰۲۵۷	۰/۰۳۶۰	۰/۰۲۰۲	۰/۰۳۰۸	۰/۰۲۱۳	۰/۰۳۳۲	۰/۰۱۸۲	P _۴
۱۱	۰/۰۳۶۱	۰/۰۳۴۶	۰/۰۳۶۰	۰/۰۱۸۹	۰/۰۳۰۸	۰/۰۴۲۶	۰/۰۴۶۱	۰/۰۴۱۴	P _۵
۱۴	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۹۶	۰/۰۲۲۰	۰/۰۱۸۹	۰/۰۱۷۶	۰/۰۲۱۳	۰/۰۲۰۳	۰/۰۱۸۲	P _۶
۱	۰/۱۹۲۵	۰/۱۸۴۲	۰/۲۱۴۰	۰/۱۸۶۳	۰/۱۷۶۲	۰/۱۵۹۶	۰/۱۹۷۲	۰/۱۷۶۹	P _۷
۹	۰/۰۴۳۹	۰/۰۴۲۰	۰/۰۲۲۰	۰/۰۴۰۴	۰/۰۸۸۱	۰/۰۳۱۹	۰/۰۵۳۲	۰/۰۴۱۴	P _۸
۸	۰/۰۴۴۸	۰/۰۴۲۹	۰/۰۲۲۰	۰/۰۴۰۴	۰/۰۶۶۱	۰/۰۴۲۶	۰/۰۴۶۱	۰/۰۵۴۰	P _۹
۵	۰/۰۵۴۴	۰/۰۵۲۱	۰/۰۳۶۰	۰/۰۵۹۳	۰/۰۸۸۱	۰/۰۴۲۶	۰/۰۶۰۲	۰/۰۴۱۴	P _{۱۰}
۶	۰/۰۵۰۶	۰/۰۴۸۵	۰/۱۱۹۶	۰/۰۲۰۲	۰/۰۶۶۱	۰/۰۴۲۶	۰/۰۴۶۱	۰/۰۴۱۴	P _{۱۱}
۳	۰/۱۵۷۸	۰/۱۵۱۱	۰/۱۴۵۰	۰/۱۸۶۳	۰/۰۸۸۱	۰/۱۵۹۶	۰/۱۹۷۲	۰/۱۵۸۷	P _{۱۲}
۷	۰/۰۴۶۶	۰/۰۴۴۶	۰/۰۹۴۱	۰/۰۲۱۵	۰/۰۶۶۱	۰/۰۴۲۶	۰/۰۳۳۲	۰/۰۴۱۴	P _{۱۳}
۱۳	۰/۰۲۵۹	۰/۰۲۴۸	۰/۰۲۲۰	۰/۰۱۸۹	۰/۰۱۷۶	۰/۰۳۱۹	۰/۰۳۳۲	۰/۰۲۹۸	P _{۱۴}

جدول ۲۰. وضعیت عملکردی و رتبه نهایی بنادر در بعد زیست‌محیطی

رتبه	وزن نرمال شده	میانگین هندسی	خبره ۶	خبره ۵	خبره ۴	خبره ۳	خبره ۲	خبره ۱	
۴	۰/۱۳۷۶	۰/۱۳۲۲	۰/۱۷۵۷	۰/۰۹۶۴	۰/۱۳۶۲	۰/۱۰۵۷	۰/۱۵۴۰	۰/۱۴۲۲	P _۱
۲	۰/۱۴۸۴	۰/۱۴۲۵	۰/۱۷۵۷	۰/۱۶۷۸	۰/۱۵۵۶	۰/۱۷۸۷	۰/۱۱۰۶	۰/۰۹۲۳	P _۲
۶	۰/۰۵۸۲	۰/۰۵۵۹	۰/۰۴۷۰	۰/۰۹۶۴	۰/۰۸۷۵	۰/۰۴۷۸	۰/۰۵۲۸	۰/۰۳۰۵	P _۳
۱۲	۰/۰۳۱۹	۰/۰۳۰۷	۰/۰۲۱۳	۰/۰۲۰۳	۰/۰۲۴۹	۰/۰۴۷۹	۰/۰۵۲۸	۰/۰۳۰۵	P _۴
۱۱	۰/۰۳۲۳	۰/۰۳۱۰	۰/۰۲۱۳	۰/۰۲۹۲	۰/۰۱۹۵	۰/۰۴۷۹	۰/۰۳۶۰	۰/۰۴۲۴	P _۵
۱۴	۰/۰۲۳۱	۰/۰۲۲۲	۰/۰۲۱۳	۰/۰۲۴۸	۰/۰۱۹۵	۰/۰۱۷۴	۰/۰۳۶۰	۰/۰۱۸۶	P _۶
۱	۰/۱۴۸۵	۰/۱۴۲۷	۰/۱۴۸۶	۰/۰۹۶۴	۰/۱۵۵۶	۰/۱۰۵۷	۰/۱۹۷۵	۰/۱۸۱۳	P _۷
۵	۰/۰۶۷۴	۰/۰۶۴۷	۰/۰۳۷۱	۰/۰۶۲۸	۰/۰۸۷۵	۰/۰۴۷۸	۰/۰۸۱۷	۰/۰۹۲۳	P _۸
۷	۰/۰۵۱۳	۰/۰۴۹۳	۰/۰۳۴۱	۰/۰۶۲۸	۰/۰۳۸۹	۰/۰۷۶۷	۰/۰۵۲۸	۰/۰۴۲۴	P _۹
۸	۰/۰۴۸۰	۰/۰۴۶۱	۰/۰۴۷۰	۰/۰۶۲۸	۰/۰۳۰۴	۰/۰۴۷۸	۰/۰۵۲۸	۰/۰۴۲۴	P _{۱۰}
۱۰	۰/۰۴۲۷	۰/۰۴۱۰	۰/۰۳۷۱	۰/۰۶۲۸	۰/۰۳۸۹	۰/۰۴۷۹	۰/۰۳۶۰	۰/۰۳۰۵	P _{۱۱}
۳	۰/۱۴۰۷	۰/۱۳۵۲	۰/۱۷۵۷	۰/۰۹۶۴	۰/۱۳۶۲	۰/۱۷۸۷	۰/۰۸۱۷	۰/۱۸۱۳	P _{۱۲}
۹	۰/۰۴۵۵	۰/۰۴۳۷	۰/۰۳۷۱	۰/۰۹۶۴	۰/۰۳۸۹	۰/۰۳۲۶	۰/۰۳۶۰	۰/۰۴۲۴	P _{۱۳}
۱۳	۰/۰۲۴۴	۰/۰۲۳۴	۰/۰۲۱۳	۰/۰۲۴۸	۰/۰۳۰۴	۰/۰۱۷۴	۰/۰۱۹۳	۰/۰۳۰۵	P _{۱۴}

جدول ۲۱. وضعیت عملکردی و رتبه نهایی بنادر در بعد اجتماعی

رتبه	وزن نرمال شده	میانگین هندسی	خبره ۶	خبره ۵	خبره ۴	خبره ۳	خبره ۲	خبره ۱	
۴	۰/۰۹۶۶	۰/۰۹۲۵	۰/۱۳۶۴	۰/۱۱۹۴	۰/۱۲۲۴	۰/۰۵۱۴	۰/۰۴۶۰	۰/۱۳۲۶	P _۱
۲	۰/۰۲۰۳۵	۰/۱۹۴۸	۰/۲۱۹۱	۰/۲۰۸۰	۰/۲۰۹۰	۰/۱۹۸۲	۰/۲۱۸۲	۰/۱۳۲۶	P _۲
۱۰	۰/۰۳۶۸	۰/۰۳۵۲	۰/۰۳۰۴	۰/۰۳۵۴	۰/۰۲۱۵	۰/۰۶۹۵	۰/۰۴۲۴	۰/۰۲۸۰	P _۳
۱۴	۰/۰۲۸۵	۰/۰۲۷۳	۰/۰۳۰۴	۰/۰۳۵۴	۰/۰۲۱۵	۰/۰۲۴۳	۰/۰۲۶۴	۰/۰۲۸۰	P _۴
۱۱	۰/۰۳۵۸	۰/۰۳۴۳	۰/۰۳۰۴	۰/۰۳۰۳	۰/۰۲۱۵	۰/۰۶۹۵	۰/۰۴۲۴	۰/۰۲۸۰	P _۵
۱۳	۰/۰۲۸۹	۰/۰۲۷۶	۰/۰۲۳۳	۰/۰۲۵۲	۰/۰۲۱۵	۰/۰۲۴۳	۰/۰۴۲۴	۰/۰۳۴۱	P _۶
۱	۰/۰۲۰۶۳	۰/۱۹۷۴	۰/۱۳۶۴	۰/۲۰۸۰	۰/۲۰۹۰	۰/۱۹۸۲	۰/۲۱۸۲	۰/۲۳۰۹	P _۷
۵	۰/۰۴۵۷	۰/۰۴۳۸	۰/۰۶۰۸	۰/۰۳۹۶	۰/۰۲۸۶	۰/۰۵۱۴	۰/۰۵۸۳	۰/۰۳۴۱	P _۸
۶	۰/۰۴۵۳	۰/۰۴۳۴	۰/۰۳۷۵	۰/۰۳۰۳	۰/۰۲۸۶	۰/۰۵۱۴	۰/۰۵۲۲	۰/۰۷۶۷	P _۹
۷	۰/۰۴۲۷	۰/۰۴۰۸	۰/۰۴۹۱	۰/۰۴۳۹	۰/۰۲۱۵	۰/۰۶۹۵	۰/۰۴۲۴	۰/۰۳۴۱	P _{۱۰}
۹	۰/۰۴۲۱	۰/۰۴۰۳	۰/۰۴۹۱	۰/۰۳۹۶	۰/۰۲۱۵	۰/۰۵۱۴	۰/۰۵۸۳	۰/۰۳۴۱	P _{۱۱}
۳	۰/۱۱۳۴	۰/۱۰۸۵	۰/۱۳۶۴	۰/۱۱۹۴	۰/۲۰۹۰	۰/۰۶۹۵	۰/۰۵۲۲	۰/۱۳۲۶	P _{۱۲}
۸	۰/۰۴۲۳	۰/۰۴۰۵	۰/۰۳۷۵	۰/۰۳۵۴	۰/۰۳۵۷	۰/۰۴۶۹	۰/۰۵۸۳	۰/۰۳۴۱	P _{۱۳}
۱۲	۰/۰۳۲۱	۰/۰۳۰۷	۰/۰۲۳۳	۰/۰۳۰۳	۰/۰۲۸۶	۰/۰۲۴۳	۰/۰۴۲۴	۰/۰۴۰۲	P _{۱۴}

پس از محاسبه رتبه‌ها در هر یک از ابعاد با روش تسلط^۱ که در مقاله [۶] بیان شده است، رتبه نهایی هر یک از بنادر در رویکرد پایداری محاسبه می‌شود. جدول ۲۲ رتبه نهایی بنادر را نشان می‌دهد.

جدول ۲۲. رتبه نهایی بنادر در رویکرد پایداری

بنادر	رتبه در بعد اقتصادی	رتبه در بعد زیست‌محیطی	رتبه در بعد اجتماعی	رتبه نهایی
P _۱	۴	۴	۴	۴
P _۲	۲	۲	۲	۲
P _۳	۱۰	۶	۹	۱۰
P _۴	۱۲	۱۲	۱۴	۱۲
P _۵	۱۱	۱۱	۹	۱۱
P _۶	۱۴	۱۴	۱۳	۱۴
P _۷	۱	۱	۱	۱
P _۸	۹	۵	۶	۵
P _۹	۸	۷	۵	۷
P _{۱۰}	۵	۸	۸	۸
P _{۱۱}	۶	۱۰	۶	۶
P _{۱۲}	۳	۳	۳	۳
P _{۱۳}	۷	۹	۱۱	۹
P _{۱۴}	۱۳	۱۳	۱۲	۱۳

بحث

در پژوهش حاضر، رتبه بندی بنادر در هر سه بعد براساس وزن آنان به صورت جداگانه به دست آمده است. جدول ۲۳ این رتبه بندی را نشان می‌دهد. برای بررسی کلی پایداری، این مطالعه رتبه‌ها را با استفاده از روش تسلط، ادغام کرده است. همان طور که این رتبه بندی نشان می‌دهد بنادر P_7 ، P_2 و P_{12} در پایداری جز سه بندر برتر هستند. در واقع آنان وضعیت پایداری بهتری نسبت به سایر بنادر دارند. در صورتی که بنادر P_6 ، P_{14} و P_4 پایداری هستند که در هر سه بعد عملکردی ضعیف داشته‌اند.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که وضعیت پایداری در بنادر ایران در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارای تفاوت‌هایی است و برخی از بنادر در یک یا دو بعد از پایداری عملکرد مطلوب‌تری دارند، اما در بعد سوم دچار ضعف هستند. این یافته‌ها در مقایسه با پژوهش‌هایی چون [۴۱] و [۵۴] که تمرکز صرف بر پایداری زیست‌محیطی داشتند، رویکردی جامع‌تر ارائه می‌دهد. زیرا در این مطالعه هر سه بعد پایداری به صورت هم‌زمان بررسی شده‌اند. از سوی دیگر، مطالعاتی مانند [۲۵] تنها به دو بعد (اقتصادی و زیست‌محیطی) پرداخته‌اند. اما پژوهش حاضر با افزودن بعد اجتماعی، تصویری کامل‌تر از وضعیت پایداری را نشان می‌دهد. همچنین نتایج این مطالعه با پژوهش‌هایی که تنها بر یک بندر یا تعداد محدودی از بنادر ایران تمرکز داشته‌اند مانند [۱۳، ۵۰، ۳۲] تفاوت اساسی دارد. زیرا، پژوهش حاضر با گسترش دامنه مطالعه خود یعنی ۱۴ بندر اصلی ایران، زمینه تصمیم‌گیری جامع‌تری را برای مدیران فراهم می‌سازد. این مسئله به‌ویژه در شرایطی که تعاملات منطقه‌ای و نقش ژئوپلیتیک بنادر در حال تغییر است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در مقایسه روش‌شناسی نیز تفاوت قابل توجهی میان این پژوهش و پژوهش‌های پیشین وجود دارد. مطالعات قبلی عمدتاً از روش‌هایی نظیر AHP و DEMATEL استفاده کرده‌اند که هرچند کارایی‌هایی دارند، اما با محدودیت‌هایی از جمله افزایش تعداد مقایسه‌های زوجی و احتمال کاهش سازگاری همراه هستند. در مقابل، استفاده از روش بهترین-بدترین کمینه‌گرا در این مطالعه باعث شد تا ضمن کاهش خطای شناختی (مانند سوگیری لنگراندازی و یکنواخت‌نگری)، تعداد مقایسه‌های زوجی نیز کاهش یابد و در نتیجه داده‌هایی با دقت بیشتر و نرخ ناسازگاری پایین‌تر به دست آید. همچنین، توجه به ارتباطات میان ابعاد مختلف پایداری نکته مهمی است که در این پژوهش اشاره شده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که در برخی بنادر، عدم تعادل بین ابعاد می‌تواند منجر به اختلال در عملکرد کلی پایداری شود. این تحلیل بین‌ابعادی، که در بسیاری از مطالعات قبلی مورد غفلت قرار گرفته، به تصمیم‌گیران این هشدار را می‌دهد که به جای تمرکز صرف بر بهبود یک بعد (مثلاً اقتصادی)، باید به راهبردهای متوازن و تلفیقی توجه کنند.

با مصاحبه‌ای که با خبرگان انجام شده است نشان داده بنادر P_7 ، P_2 و P_{12} به این دلیل عملکرد بهتری داشته‌اند از سویی هر سه بندر موقعیت جغرافیایی منحصربه‌فرد دارند. از سویی دیگر بند P_{12} برخلاف بنادر همسایه در خارج از مناطق شهری قرار دارد و این خطر آسیب به ساکنان شهر را در صورت بروز اختلالات نفتی به حداقل می‌رساند. همچنین این بندر به امکانات حمل و نقل ریلی کارآمد مجهز است و به فرودگاه‌های شهرهای مجاور بسیار نزدیک است که فعالیت‌های حمل و نقل آن را به‌طور قابل توجهی افزایش داده است. بندر P_{12} با اسکله‌های متعدد و تجهیزات مدرن خود با موفقیت همکاری‌های قوی با کشورهای همسایه برقرار کرده و عملیات تجاری خود را گسترش داده است. علاوه بر این، اسناد و مدارک مربوطه و نظرات خبرگان نشان می‌دهد بندر P_7 و P_2 برخلاف سایر بنادر به دلیل نقش منحصربه‌فرد خود در توسعه اقتصادی کشور مورد حمایت و توجه بیشتر دولت قرار دارد. این بنادر همچنین مجهز به بهترین زیرساخت برای تخلیه و بارگیری هستند. در نتیجه، این مزیت امکان ایجاد فرصت‌های شغلی مناسب را فراهم می‌کند. همچنین، این بنادر سیستم اطلاعاتی بسیار قوی دارند که توانایی خود را در انجام به موقع بارگیری و تخلیه حتی با همکاری گسترده با سایر بنادر کشور و خارج از کشور حفظ می‌کنند. علاوه بر این، در زمینه فعالیت‌های نفتی، این بنادر نسبت به سایر بنادر ظرفیت‌های بیشتری داشته و بهترین عملکرد را نسبت به سایر بنادر دارند. این امر منجر به توسعه و ایجاد مزیت رقابتی در صنعت نفت و پتروشیمی شده است.

بررسی بیشتر نشان داده است که بنادر P_6 ، P_{14} و P_4 به دلیل سرمایه‌گذاری ناکافی در زیرساخت‌های بندری و تجهیزات مدرن قادر به مدیریت سریع و مؤثر چالش‌ها نیستند. همچنین زیرساخت‌های قدیمی این بنادر منجر به کاهش سرعت و کارایی در عملیات می‌شود. در نتیجه سهم کمی در توسعه و پیشرفت اقتصادی دارند. از سویی از ظرفیت بندر P_6 با توجه به دسترسی به آبراه‌های اصلی و شرایط مناسب

پهلویی و وسعت آن به خوبی استفاده نشده است. ضمن اینکه اگرچه این بندر می‌تواند فرصت‌های شغلی زیادی ایجاد کند، اما به دلیل عدم استفاده مناسب از ظرفیت‌ها، این فرصت‌ها به اندازه کافی ایجاد نمی‌شود. همچنین به دلیل دوری از مراکز تولیدی و صنعتی و عدم دسترسی به شبکه‌های حمل و نقل مناسب، این بندر برای برقراری ارتباط مؤثر با مشکل مواجه است. از سویی دیگر بندر P_4 از موقعیت گردشگری خوبی برخوردار است. با این حال، در تبلیغات و توسعه اقتصاد گردشگری خود عملکرد ضعیفی داشته است. علاوه بر این، بررسی بیشتر نشان می‌دهد که بندر P_{14} اگرچه دارای وسعت قابل توجهی است، اما از این ظرفیت در جهت توسعه عملیات تخلیه و بارگیری به خوبی استفاده نکرده است. همچنین، این بندر ضمن اینکه می‌تواند ارتباط خوبی با کشورهای همسایه برقرار کند، در زمینه تخلیه و بارگیری مشکلات زیادی دارد. یکی از مشکلات اساسی این بندر عدم لایروبی مناسب برای ورود و خروج کشتی‌ها از کشورهای همسایه است. این مشکل باعث شده که این بندر فعالیت کمی داشته باشد.

از نتایج بالا مشخص گردید که بنادر با موقعیت جغرافیایی مناسب و زیرساخت‌های پیشرفته، عملکرد بهتری در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارند. این ارزیابی نشان می‌دهد که چالش‌ها و ضعف‌های موجود در برخی بنادر می‌تواند به فرصت‌هایی برای بهبود و توسعه اقتصادی پایدار تبدیل شود. بهبود زیرساخت‌ها، استفاده بهینه از ظرفیت‌ها و توجه به ابعاد مختلف پایداری، می‌تواند به تقویت بنادر ایران کمک کند و نقش آن‌ها را به عنوان پیوندهای حیاتی در اقتصاد جهانی پررنگ‌تر نماید. در نهایت، این نتایج می‌تواند در راستای استراتژی‌های توسعه‌ای پایدار و تقویت پاینادر به عنوان موتورهای اصلی رشد اقتصادی کشور مفید واقع شود. بر اساس نظرات خبرگان و متخصصان حوزه بندری، توسعه پایدار بنادر نیازمند اتخاذ رویکردهای متناسب با سطح پایداری و زیرساخت‌های هر بندر است. از این رو، این پژوهش با بهره‌گیری از نظرات متخصصان و نتایج رتبه‌بندی بنادر، پیشنهادهای اجرایی را برای بهبود عملکرد بنادر در هر سه بعد پایداری ارائه می‌دهد.

بنادر با رتبه‌های بهتر از نظر پایداری، یعنی آن‌هایی که در جایگاه‌های ۱ تا ۳ قرار دارند (به ترتیب بنادر P_7 ، P_2 و P_{12})، معمولاً دارای زیرساخت‌های قوی‌تری، بهره‌وری بالاتر و تجهیزات مدرن‌تری هستند. این بنادر از لحاظ اقتصادی در سطح بالاتری قرار داشته و باید تمرکز خود را بر روی هوشمندسازی عملیات و افزایش رقابت‌پذیری جهانی بگذارند. یکی از مهم‌ترین اقدامات برای این بنادر، به کارگیری فناوری‌های هوش مصنوعی و داده‌های بزرگ در تحلیل فرآیندهای بارگیری و تخلیه است که می‌تواند به بهینه‌سازی عملیات، کاهش هزینه‌های غیرضروری و پیشگیری از تنگناهای عملیاتی کمک کند. علاوه بر این، این بنادر به دلیل حجم بالای تردد کشتی‌ها و فعالیت‌های گسترده، معمولاً آلاینده‌گی بیشتری تولید می‌کنند. بنابراین، ضروری است که در مسیر کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و استفاده از سوخت‌های پاک‌تر گام بردارند. ارتقا کیفیت سوخت مصرفی در تجهیزات بندری و اعمال محدودیت‌های توقف بی‌مورد برای کشتی‌ها و وسایل نقلیه می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش انتشار آلاینده‌ها داشته باشد. در بعد اجتماعی نیز، این بنادر باید توجه ویژه‌ای به نیروی انسانی خود داشته باشند، زیرا با افزایش اتوماسیون و پیشرفت‌های فناورانه، نیاز است که کارکنان مهارت‌های جدیدی بیاموزند تا بتوانند با تکنولوژی‌های نوین همگام شوند. افزایش سطح آموزش‌های فنی، تأمین تجهیزات ایمنی به‌روز و ایجاد تعادل بین کار و زندگی کارکنان از جمله اقداماتی است که می‌تواند به افزایش رضایت شغلی و بهره‌وری نیروی کار کمک کند.

بنادر با رتبه‌های متوسط، یعنی آن‌هایی که در جایگاه‌های ۴ تا ۸ قرار دارند (به ترتیب بنادر P_1 ، P_8 ، P_{11} ، P_9 و P_{10})، در مسیر توسعه قرار دارند و نیازمند افزایش بهره‌وری و بهبود زیرساخت‌های عملیاتی هستند. این بنادر از لحاظ اقتصادی و زیربنایی در وضعیت متوسطی قرار داشته و برای بهبود عملکرد خود، باید بر سرمایه‌گذاری در ارتقا زیرساخت‌های بندری تمرکز کنند. بهبود جاده‌های منتهی به بندر، توسعه شبکه‌های ریلی و ارتقا تجهیزات بارگیری و تخلیه می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش ظرفیت بندر برای مدیریت حجم بیشتری از کالاها شود. در کنار بهبود زیرساخت‌ها، این بنادر می‌توانند با استفاده از سیستم‌های بارگیری و تخلیه خودکار، فرآیندهای عملیاتی خود را تسریع کرده و میزان خطای انسانی را کاهش دهند. همچنین، توجه به رقابت‌پذیری جهانی بنادر برای این گروه بسیار مهم است، زیرا در صورت عدم توجه به استانداردهای جهانی در لجستیک و حمل و نقل دریایی، ممکن است سهم خود را در بازار بین‌المللی از دست بدهند. از این رو، سرمایه‌گذاری در توسعه خدمات دیجیتال و هماهنگ‌سازی فرآیندهای گمرکی می‌تواند به افزایش کارایی و جذب مشتریان جدید کمک

کند. در بعد اجتماعی، این بنادر باید ایمنی محیط کار و شرایط کارکنان را بهبود ببخشند، زیرا توسعه سریع ممکن است باعث افزایش فشار کاری بر نیروی انسانی شود. ایجاد ارتباطات مؤثر میان کارکنان و مدیریت، ارائه دوره‌های آموزشی برای توسعه مهارت‌ها و فراهم کردن شرایط کاری استاندارد، از جمله اقداماتی است که می‌تواند انگیزه کارکنان را افزایش داده و بهره‌وری کلی بندر را ارتقا دهد.

در مقابل، بنادر با رتبه‌های پایین، یعنی آن‌هایی که در جایگاه‌های ۹ تا ۱۴ قرار دارند (به‌ترتیب بنادر P_{13} ، P_3 ، P_5 ، P_4 ، P_{14} و P_6)، با چالش‌های اساسی در تمامی ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی مواجه‌اند. این بنادر فاقد زیرساخت‌های مناسب و استانداردهای کافی برای رقابت در سطح بین‌المللی هستند و در گام نخست باید روی توسعه ابتدایی و ارتقا امکانات پایه‌ای خود تمرکز کنند. سرمایه‌گذاری در بهبود جاده‌ها، اسکله‌ها، تجهیزات بارگیری و توسعه راه‌های ارتباطی اولین اقدام مهمی است که می‌تواند ظرفیت این بنادر را برای مدیریت حجم بیشتر کالاهای افزایش دهد. این بنادر در مقایسه با بنادر پیشرفته‌تر، بهره‌وری کمتری دارند و معمولاً فرآیندهای آن‌ها با تأخیر و هزینه‌های بالا همراه است. بنابراین، ضروری است که اصلاح فرآیندهای کاری و بهینه‌سازی سیستم‌های عملیاتی در اولویت قرار گیرد. آموزش نیروی انسانی برای بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌های غیرضروری و بهینه‌سازی مصرف انرژی از جمله اقداماتی است که می‌تواند به پیشرفت این بنادر کمک کند. از لحاظ زیست‌محیطی، این بنادر معمولاً با مشکلات آلودگی و مصرف بالای سوخت‌های غیر استاندارد مواجه هستند و به همین دلیل باید در اولین گام، روی ارتقا کیفیت سوخت و کاهش آلایندگی‌های زیست‌محیطی تمرکز کنند. اجرای قوانین سخت‌گیرانه‌تر برای کاهش انتشار گازهای آلاینده، بهبود کیفیت تجهیزات و استفاده از فناوری‌های کنترل آلودگی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی داشته‌باشد. در بعد اجتماعی نیز، این بنادر معمولاً با مشکلاتی مانند ایمنی پایین محیط کار، ساعات کاری نامنظم و نبود امکانات مناسب برای کارکنان مواجه‌اند. بنابراین، بهبود استانداردهای ایمنی، فراهم کردن تجهیزات حفاظتی مناسب و افزایش ارتباطات میان کارکنان و مدیریت، می‌تواند به بهبود شرایط کاری و افزایش رضایت نیروی انسانی منجر شود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه بنادر به‌عنوان نقاط حیاتی در زنجیره تأمین جهانی شناخته می‌شوند. این بنادر نه‌تنها نقشی اساسی در تسهیل تجارت و تقویت رشد اقتصادی ایفا می‌کنند، بلکه به‌عنوان مراکز کلیدی برای مبادلات کالا و خدمات در مقیاس جهانی عمل می‌نمایند. با توجه به تغییرات سریع در سیاست‌های تجاری، تحولات اقتصادی و چالش‌های جهانی همچون پاندمی‌ها و بحران‌های زنجیره تأمین، ضرورت بهبود عملکرد بنادر بیش از پیش نمایان شده است. ایران با برخورداری از موقعیت ژئوپلیتیکی ممتاز در منطقه، جایگاهی راهبردی در حمل‌ونقل بین‌المللی دارد و بنادر آن نقش ویژه‌ای در تسهیل تجارت با کشورهای همسایه و سایر نقاط جهان ایفا می‌کنند. با این حال، این بنادر با چالش‌هایی نظیر محدودیت‌های زیرساختی، ناکارآمدی در فرآیندهای مدیریتی و ضعف در بهینه‌سازی عملیات مواجه‌اند که تأثیر مستقیمی بر سطح رقابت‌پذیری آن‌ها دارند. در همین راستا، این پژوهش که به تحلیل وضعیت ۱۴ بندر اصلی ایران در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پرداخته است، نشان می‌دهد برخی بنادر عملکرد بهتری نسبت به سایرین دارند و می‌توانند به‌عنوان الگوهای برای ارتقای سایر بنادر مورد استفاده قرار گیرند. این یافته‌ها علاوه بر تأکید بر لزوم بازنگری و بهبود زیرساخت‌ها و فرآیندهای مدیریتی، اهمیت توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و ضرورت بهره‌گیری از فناوری‌های سبز در بنادر را نیز برجسته می‌کنند. بنابراین، دستیابی به کارایی بیشتر و افزایش توان رقابتی بنادر ایران در سطح بین‌المللی، مستلزم برنامه‌ریزی‌های استراتژیک جامع در حوزه توسعه زیرساخت‌ها، بهبود نظام‌های مدیریتی و انطباق با روندهای جهانی است.

از سوی دیگر، بنادر در سال‌های اخیر با اختلالاتی همچون همه‌گیری COVID-19 و تغییرات آب‌وهوایی مواجه بوده‌اند که توانایی آن‌ها در مقابله با چنین بحران‌ها و بازگشت به شرایط عملیاتی عادی را در معرض پرسش قرار می‌دهد. در این زمینه، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بررسی بنادر با رویکرد تاب‌آوری می‌تواند تصویری دقیق‌تر از قابلیت‌های آن‌ها در مواجهه با بحران‌ها ارائه دهد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی با تمرکز بر ارزیابی تاب‌آوری بنادر انجام گیرد تا امکان طراحی سیاست‌ها و راهبردهای کارآمدتر فراهم شود.

همچنین باید توجه داشت که این مطالعه صرفاً بخشی از زنجیره تأمین دریایی یعنی بنادر را مورد بررسی قرار داده است. از این رو، لازم است در تحقیقات آینده شاخصه‌های کلیدی هر یک از ابعاد پایداری در بخش‌های مختلف زنجیره تأمین دریایی - از جمله بنادر، کشتیرانی و سایر اجزای مرتبط - شناسایی و اهمیت نسبی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. افزون بر این، در بخش تحلیل داده‌ها، این پژوهش برای تعیین اوزان از روش PBWM بهره گرفته است. پژوهشگران علاقه‌مند می‌توانند در مطالعات بعدی از سایر روش‌های وزن‌دهی استفاده کرده و با مقایسه نتایج به تحلیل حساسیت بپردازند تا قابلیت اعتماد و عمق تحلیلی نتایج افزایش یابد.

تعارض منافع

برای نگارش و ارائه این مقاله، هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد یا سازمانی دریافت نشده است. تمامی نتایج، تحلیل‌ها و دستاوردهای ارائه‌شده در این مقاله به‌نحوی طراحی و تدوین شده‌اند که به نفع یا ضرر هیچ سازمان، فرد یا گروه خاصی نباشند. حضور نویسندگان در این پژوهش صرفاً به‌عنوان شاهدانی بی‌طرف اما متخصص بوده است. نویسندگان تأکید می‌کنند که در ارتباط با موضوع این مقاله، هیچ‌گونه تعارض منافع ندارند و تمامی تلاش خود را برای ارائه اطلاعات علمی و بی‌طرفانه به کار گرفته‌اند.

منابع

1. Abkenar, Z. A., Lajimi, H. F., Hamed, M., & Parkouhi, S. V. (2022). Determining the importance of barriers to IoT implementation using bayesian best-worst method. *Advances in Best-Worst Method: Proceedings of the Second International Workshop on Best-Worst Method (BWM2021)* ,
2. Ak, M. F., Yucsan, M., & Gul, M. (2022). Occupational health, safety and environmental risk assessment in textile production industry through a Bayesian BWM-VIKOR approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(2), 629-642 .
3. Asgari, N., Hassani, A., Jones, D., & Nguye, H. H. (2015). Sustainability ranking of the UK major ports: Methodology and case study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 78, 19-39 .
4. Bartosiewicz ,A., & Kucharski, A. (2023). Indicators of port sustainability: The example of Baltic Sea container ports. *Sustainable Development* .
5. Batalha, E., Chen, S.-L., Pateman, H., & Zhang, W. (2023). Defining a social role for ports: managers' perspectives on whats and whys. *Sustainability*, 15(3), 2646 .
6. Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2011). MULTIMOORA optimization used to decide on a bank loan to buy property. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(1), 174-188 .
7. Caliskan, A. (۲۰۲۲). Seaports participation in enhancing the sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134715 .
8. Corrente, S., Greco, S., & Rezaei, J. (2024). Better decisions with less cognitive load: The Parsimonious BWM. *Omega*, 126, 10307 .
9. Dui, H., Zheng, X., & Wu, S. (2021). Resilience analysis of maritime transportation systems based on importance measures. *Reliability Engineering & System Safety*, 209, 107461 .
10. Dushenko, M., Thærie Bjorbæk, C., & Steger-Jensen, K. (2018). Application of a sustainability model for assessing the relocation of a container terminal: A case study of kristiansand port. *Sustainability*, 11(1), 87 .
11. Dyllick, T., & Hockerts, K. (2002). Beyond the business case for corporate sustainability. *Business strategy and the environment*, 11(2), 130-141 .
12. Eggert, J., & Hartmann, J. (2023). Sustainable supply chain management—a key to resilience in the global pandemic. *Supply Chain Management: An International Journal*, 28(3), 486-507 .
13. Emad, G., & Yeganeh, S. (2015). *Identify and assessment of Sustainable Development Indexes and Their Implementation level in Iranian Port Development Plans (Case Study: ShahidBeheshti Port) (in persian)* The first national conference on sea-based sustainable development ,

14. Fadiga, A., Ferreira, L. M. D., & Bigotte, J. F. (2024). Decarbonising maritime ports: A systematic review of the literature and insights for new research opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 142209 .
15. Fattahi, M., & Kaveh, M. (2021). (Applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) to examine the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of transit at Amirabad Port with a blue ocean approach (in persian). *Imam Khomeini University University of Marine Science and Technology*, 25 .^(۹۹) <https://doi.org/10.22034/ijmst.2021.240164>
16. Felício, J. A., Batista, M., Dooms, M., & Caldeirinha, V. (2023). How do sustainable port practices influence local communities' perceptions of ports? *Maritime Economics & Logistics*, 25(2), 351-380 .
17. González Laxe, F., Martín Bermúdez, F., Martín Palmero, F., & Novo-Corti, I. (2019). Sustainability at Spanish ports specialized in liquid bulk: evolution in times of crisis (2010–2015). *Maritime Policy & Management*, 46(4), 491-507 .
18. Hossain, T ., Adams, M., & Walker, T. R. (2021). Role of sustainability in global seaports. *Ocean & Coastal Management*, 202, 105435 .
19. Hussein, K., & Song, D.-W. (2024). Port supply chain integration and sustainability: a resource-based view. *The International Journal of Logistics Management*, 35(2), 504-530 .
20. Jugović, A., Sirotić, M., & Poletan Jugović, T. (2022). Identification of pivotal factors influencing the establishment of green port governance models: A bibliometric analysis, content analysis, and DPSIR Framework. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1701 .
21. Junior, I. C. L., de Oliveira, U. R., de Almeida Guimarães, V., Ribeiro, L. G., & Fernandes, V. A. (2022). Probabilistic analysis of the sustainable performance of container terminals. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100725 .
22. Karimi, F., Haghighat Monfared, J., & Keramati, M. (2024). Evaluating the resilience and sustainability of the supply chain with the integrated approach of the theory of constraints, process approach and multi-criteria decision making (Case of study: Offshore sector of the Oil Industry). *Journal of Industrial Management Perspective*, 14(2), 34-65 .
23. Khalifeh, M., & Caliskan, A. (2025). The role of port smartness in achieving sustainable development goals. *Maritime Policy & Management*, 52(1), 106-120 .
24. Kim, S., Choi, S., & Kim, C. (2021). The framework for measuring port resilience in Korean port case. *Sustainability*, 13(21), 11883 .
25. Laxe, F. G., Bermúdez, F. M., Palmero, F. M., & Novo-Corti, I. (2016). Sustainability and the Spanish port system. Analysis of the relationship between economic and environmental indicators. *Marine pollution bulletin*, 113(1-2), 232-239 .
26. Le, T. T., Nguyen, H. P., Rudzki, K., Rowiński, L., Bui, V. D., Truong, T. H., Le, H. C., & Pham, N. D. K. (2023). Management strategy for seaports aspiring to green logistical goals of IMO: Technology and policy solutions. *Polish Maritime Research*, 30(2), 165-187 .
27. León-Mateos, F., Sartal, A., López-Manuel, L., & Quintas, M. A. (2021). Adapting our sea ports to the challenges of climate change: Development and validation of a Port Resilience Index. *Marine Policy*, 130, 104573 .
28. Lian, Z. (2024). Sustainable synergistic development of marine economic degree growth and marine art industry. *Journal of Sea Research*, 198, 102474 .
29. Liang, F., Brunelli, M., & Rezaei, J. (2020). Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds. *Omega*, 96, 102175 .
30. Liang, F., Brunelli, M., & Rezaei, J. (2022). Best-worst tradeoff method. *Information sciences*, 610, 957-976 .
31. Liu, M., Lai, K.-h., Wong, C. W., Xin, X., & Lun, V. Y. (2025). Smart ports for sustainable shipping: concept and practices revisited through the case study of China's Tianjin port. *Maritime Economics & Logistics*, 27(1), 50-95 .
32. Majidi, A., Mirzapour Al-e-Hashem, S. M., & Hashemkhani Zolfani, S. (2021). Sustainability ranking of the Iranian major ports by using MCDM methods. *Mathematics*, 9(19), 2451 .

33. Makarova, I., Buyvol, P., Mukhametdinov, E., & Boyko, A. (2023). The Construction of Seaports in the Arctic: Prospects and Environmental Consequences. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(10), 1902 .
34. Moeremans, B., Dooms, M., & Haezendonck, E. (2023). Long-term analysis of traffic flows in European inland ports: implications for the port-city interface. *Maritime Economics & Logistics*, 25(2), 272-300 .
35. Moghaddam, M., & Sadaghi, S. M. (2022). Developing the strategic orientation of Jask Port using the SWOT model (in persian). *Journal of Oceanography*, 13(49), 26-37 .
36. Molina-Serrano, B., González-Cancelas, N., & Soler-Flores, F. (2020). Analysis of the port sustainability parameters through Bayesian networks. *Environmental and Sustainability Indicators*, 6, 100030 .
37. Moslem, S. (2025). Evaluating commuters' travel mode choice using the Z-number extension of Parsimonious Best Worst Method. *Applied Soft Computing*, 173, 112918 .
38. Negri, M., Cagno, E., Colicchia, C., & Sarkis, J. (۲۰۲۱). Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda. *Business strategy and the environment*, 30(7), 2858-2886 .
39. Othman, A., El-gazzar, S., & Knez, M. (2022). A framework for adopting a sustainable smart sea port index. *Sustainability*, 14(8), 4551 .
40. Özispa, N., & Arabelen, G. (2018). Sustainability issues in ports: content analysis and review of the literature (1987-2017). SHS Web of Conferences ,
41. Puig, M., Wooldridge, C & ,Darbra, R. M. (2014). Identification and selection of environmental performance indicators for sustainable port development. *Marine pollution bulletin*, 81(1), 124-130 .
42. Rafiei, M., Movahedi Sobhani, F., & Hadji Molana, M. (2023). Sustainable Supply Chain Planning of a Pharmaceutival Holding using Supply Hub. *Journal of Industrial Management Perspective*, 13(1), 241-279 .
43. Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57 .
44. Rezaei, J., Arab, A., & Mehregan, M. (2022). Equalizing bias in eliciting attribute weights in multiattribute decision-making: experimental research. *Journal of Behavioral Decision Making*, 35(2), e2262 .
45. Rezaei, J., Arab, A., & Mehregan, M. (2024). Analyzing anchoring bias in attribute weight elicitation of SMART, Swing, and best-worst method. *International Transactions in Operational Research*, 31(2), 918-948 .
46. Roh, S., Thai, V. V., Jang, H., & Yeo, G.-T. (2023). The best practices of port sustainable development: a case study in Korea. *Maritime Policy & Management*, 50(2), 254-280 .
47. Saner, H. S., Yucesan, M., & Gul, M. (2022). A Bayesian BWM and VIKOR-based model for assessing hospital preparedness in the face of disasters. *Natural hazards*, 111(2), 1603-1635 .
48. Sarker, M. R., Moktadir, M. A., & Santibanez-Gonzalez, E. D. (2021). Social sustainability challenges towards flexible supply chain management: Post-COVID-19 perspective. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 22(Suppl 2), 199-218 .
49. Seifbarghy, M. (۲۰۲۲) .A Multi-Objective Sustainable Closed Loop Supply Chain Model Considering Suppliers Evaluation and using SWARA-WASPAS Method. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 12 (3), 63-88 .
50. Shafiabadi, H., & Yousefi, H. (2017). *Identifying and ranking the indicators that affect the sustainability assessment of Iranian dry ports (in persian)* 19th Marine Industries Conference ,
51. Sharaan, M., Ibrahim, M. G., Moubarak, H., ElKut, A. E., Romya, A. A., Hamouda, M., Soliman, A., & Iskander, M. (۲۰۲۴) .A Qualitative Analysis of Climate Impacts on Egyptian Ports. *Sustainability*, 16(3), 1015 .
52. Sheikh, W., Chowdhury, M. M. H., & Mahmud, K. K. (2023). A comprehensive performance measurement model for maritime Logistics: Sustainability and policy approach. *Case Studies on Transport Policy*, 14, 101097 .
53. Slawinski, N., & Bansal, P. (2011). Managing the time paradox in business sustainability. *Academy of Management Proceedings* ,

54. Sogut, M. Z., & Erdoğan, O. (2022). An investigation on a holistic framework of green port transition based on energy and environmental sustainability. *Ocean Engineering*, 266, 112671 .
55. Styliadis, T., Angelopoulos, J., Leonardou, P., & Pallis, P. (2022). Promoting sustainability through assessment and measurement of port externalities: a systematic literature review and future research paths. *Sustainability*, 14(14), 8403 .
56. Tadić, S., Krstić, M., Roso, V., & Brnjac, N. (2020). Dry port terminal location selection by applying the hybrid grey MCDM model. *Sustainability*, 12(17), 6983 .
57. Tang, D., Chen, Z., Xu, C., Yuan, Y., Zhong, X., & Yuan, C. (2023). Energy consumption and emissions analysis of large container seaports considering the impact of COVID-19: A case study of Ningbo Zhoushan Port. *Ocean & Coastal Management*, 244, 106781 .
58. Wu, Q., Liu, X., Zhou, L., Qin, J., & Rezaei, J. (2024). An analytical framework for the best–worst method. *Omega*, 123, 102974 .
59. www.pmo.ir .(۲۰۱۸) .
60. Yalcin Kavus, B., Ayyildiz, E., Gulum Tas, P., & Taskin ,A. (2023). A hybrid Bayesian BWM and Pythagorean fuzzy WASPAS-based decision-making framework for parcel locker location selection problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(39), 90006-90023 .