Ind. Manag. Persp. 2025, 15(3), 118-140; doi: 10.48308/JIMP.15.3.118

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

A Hybrid Model for Enhancing Container Port Management with a Focus on Sustainable Development

Amir Hajian*
Maryam Hamedi**
Gholamreza Esmaeilian***

Extended Abstract

Introduction and Objectives: Given the critical role of ports in global trade and supply chains, the development of sustainable port management models has become a priority in the maritime industry. Focusing on existing research in sustainable management, this research aims to develop an integrated model for evaluating and prioritizing factors affecting the sustainability of container ports. The primary objective of this research is to examine and weigh sustainability criteria across three dimensions—environmental, social, and economic—to assist port authorities in making comprehensive and inclusive decisions in port management. Accordingly, this model is intended to reduce the complexity of sustainability assessments and increase the accuracy of measuring the key factors influencing the sustainable performance of ports.

Methodology: This study applied the fuzzy Delphi method to screen and validate basic sustainability factors. Initially, 26 sustainability criteria were reviewed and validated based on existing literature and a survey of 14 experts. Subsequently, the fuzzy Full Consistency Method (FUCOM) was used to weigh and prioritize these criteria. In this stage, eight experts with relevant experience in port management and sustainability provided the necessary data through designed questionnaires. The fuzzy FUCOM method was chosen because of its ability to reduce the number of pairwise comparisons and to take account of the uncertainties involved. Through this process, the criteria were ranked based on their relative importance, and the final weights of the main factors and their corresponding sub-criteria were calculated.

Findings: The results of this study show that among the sustainability dimensions related to container ports, the environmental dimension is the most important with a weight of 0.541, while the economic and social dimensions are the next most important with weights of 0.304 and 0.154 respectively.

Received: Oct. 03, 2024; Revised: May. 02, 2025; Accepted: Aug. 08, 2025; Published Online: Aug. 10, 2025.

*Ph.D. student, Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.

**Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.
Corresponding Author: hamedi@pnu.ac.ir

***Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.

Ind. Manag. Persp. 2025, 15(3), 118-140; doi: 10.48308/JIMP.15.3.118

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Among the environmental sub-criteria, water pollution management (with a relative weight of 0.1864) ranked highest, followed by air pollution management (relative weight of 0.1388) and the protection of ecosystems and habitats (relative weight of 0.1051). In the economic dimension, port operational efficiency (relative weight of 0.1760) was the most significant, followed by value-added productivity (relative weight of 0.1321) and port development financing (relative weight of 0.1192). It highlights the role of these factors in the economic development of ports. In the social dimension, health and safety (relative weight of 0.2228) were identified as the most critical criteria, while job creation and employment security (relative weight of 0.1577) and vocational skills training (relative weight of 0.1173) were also of high importance. Overall, the results of this study indicated that water and air pollution management factors, along with the protection of ecosystems and habitats, with final weights of 0.1008, 0.1388, and 0.1051, respectively, are the most influential factors in port sustainability. The findings suggest that focusing on these factors can significantly reduce the negative environmental impacts of port activities, increase stakeholder satisfaction, and enhance the global competitiveness of ports through improved environmental performance. Additionally, this approach can help ports achieve global sustainable development goals (SDGs) and align with international environmental regulations, ultimately leading to a more sustainable and responsible port system.

Conclusion: This study provides a structured method for assessing and prioritizing sustainability factors in container ports, which can help to identify areas for improvement and implement sustainable strategies. The proposed model serves as a practical tool for monitoring sustainability performance and aligning with international standards.

Keywords: Sustainability Management, Container Ports, Fuzzy Delphi, Fuzzy FUCOM, Performance Measurement.

How to Cite: Hajian, Amir; Hamedi, Maryam; Esmaeilian, Gholamreza (2025). A Hybrid Model for Enhancing Container Port Management with a Focus on Sustainable Development. *Ind. Manag. Persp.*, 15(3), 118-140 (*In Persian*).

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۳، صص ۱۱۸ - ۱۴۰، doi: 10.48308/JIMP.15.3.118

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

ارائه مدل تلفیقی بهبود مدیریت بنادر کانتینری با تمرکز بر توسعه پایدار

امیر حاجیان*

مریم حامدی* **

غلامرضا اسماعیلیان***

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف با توجه به نقش حیاتی بنادر در تجارت جهانی و زنجیره‌های تأمین، توسعه مدل‌های مدیریت پایدار بنادر به یکی از اولویت‌های اصلی در صنعت دریایی تبدیل شده است. این پژوهش با تمرکز بر یافته‌های تحقیقات صورت‌گرفته در زمینه مدیریت پایداری تلاش دارد تا یک مدل تلفیقی برای ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر پایداری بنادر کانتینری تدوین نماید. هدف اصلی این تحقیق، بررسی و وزن‌دهی معیارهای پایداری در سه بعد محیط-زیست، اجتماعی و اقتصادی است تا به حاکمیت بنادر در تصمیم‌گیری جامع در مدیریت بندر کمک کند. بر این مبنا، این مدل به دنبال کاهش پیچیدگی‌های ارزیابی پایداری و افزایش دقت در سنجش عوامل کلیدی مؤثر بر عملکرد پایدار بنادر است

روش‌ها: در این پژوهش، از روش دلفی فازی برای غربالگری و تأیید عوامل پایداری مبنا استفاده شده است. ابتدا با درنظر گرفتن یافته‌های موجود در ادبیات و نظرسنجی از ۱۴ خبره، ۲۶ معیار پایداری بررسی و تأیید شدند. سپس، از روش فوکام فازی برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی این معیارها استفاده شد. در این مرحله، ۸ خبره دارای تجربه مرتبط در حوزه مدیریت بنادر و پایداری، داده‌های لازم را از طریق پرسشنامه‌های طراحی‌شده ارائه کردند. روش فوکام فازی به دلیل کاهش تعداد مقایسات زوجی و امکان لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها، انتخاب شده است. طی این فرآیند، معیارها بر اساس اهمیت نسبی‌شان رتبه‌بندی شدند و وزن‌های نهایی عوامل اصلی و معیارهای متناظر آنها محاسبه گردید.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان می دهد که در بین ابعاد پایداری مرتبط با بنادر کانتینری، بعد زیست‌محیطی با وزن ۰.۵۴۱ بالاترین اهمیت را دارد، در حالی که ابعاد اقتصادی و اجتماعی به ترتیب با وزن‌های ۰.۳۰۴ و ۰.۱۵۴ در اولویت‌های بعدی قرار می گیرند. در بین زیرمعیارهای زیست‌محیطی، مدیریت آلودگی آب (با وزن نسبی ۰.۱۸۶۴) بالاترین رتبه را به خود اختصاص می دهد و پس از آن، مدیریت آلودگی هوا (با وزن نسبی ۰.۱۳۸۸) و حفاظت از اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌ها (با وزن نسبی ۰.۱۰۵۱) به لحاظ اهمیت در جایگاه‌های بعدی قرار می گیرند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۷، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۱۹.

*دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

**استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: hamedi@pnu.ac.ir

***استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۳، صص ۱۱۸ - ۱۴۰، doi: 10.48308/JIMP.15.3.118

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

در بعد اقتصادی، بازدهی عملیاتی بندر (وزن نسبی ۰.۱۷۶۰) بیشترین اهمیت را داشته، و پس از آن، بهره‌وری ارزش افزوده (وزن نسبی ۰.۱۳۲۱) و تأمین مالی توسعه بندر (وزن نسبی ۰.۱۱۹۲) در رتبه‌های بعدی قرار می گیرند که نشان‌دهنده نقش این عوامل در توسعه اقتصادی بندر است. در بعد اجتماعی، سلامت و ایمنی (با وزن نسبی ۰.۲۲۲۸) به عنوان مهم‌ترین معیار شناخته شد، در حالی که ایجاد اشتغال و امنیت شغلی (با وزن نسبی ۰.۱۵۷۷) و آموزش مهارت‌های شغلی (با وزن نسبی ۰.۱۱۷۳) نیز از اهمیت بالایی برخوردار بودند. به صورت کلی نیز، نتایج این پژوهش نشان می دهد که مدیریت آلودگی آب و هوا و حفاظت از اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌ها به ترتیب با اوزان نهایی ۰.۱۰۰۸، ۰٫۱۳۸۸ و ۰٫۱۰۵۱ مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر پایداری بنادر هستند. این یافته‌ها مبین آن است که تمرکز بر این عوامل می‌تواند به طور قابل توجهی به کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی فعالیت‌های بندری کمک کند، رضایت ذینفعان را افزایش دهد، و از طریق بهبود عملکرد زیست‌محیطی، رقابت‌پذیری بنادر را در سطح جهانی ارتقا بخشد. همچنین، این رویکرد می‌تواند به بنادر در دستیابی به اهداف توسعه پایدار جهانی (SDGs) و همسویی با مقررات بین‌المللی زیست‌محیطی کمک کند، که در نهایت منجر به ایجاد یک سیستم بندری پایدارتر و مسئولیت‌پذیرتر خواهد شد.

نتیجه‌گیری این پژوهش یک روش ساختاریافته برای ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل پایداری در بنادر کانتینری ارائه می‌دهد که می‌تواند در شناسایی حوزه‌های بهبود و اجرای استراتژی‌های پایدار کمک کند. مدل ارائه شده در این تحقیق به عنوان ابزاری کاربردی برای پایش عملکرد پایداری و همسویی با استانداردهای بین‌المللی پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: توسعه پایدار ؛ مدیریت بندر ؛ مدیریت سنجش عملکرد ؛ روش تصمیم‌گیری فوکام.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناددهی: حاجیان، امیر؛ حامدی، مریم؛ اسماعیلیان، غلامرضا (۱۴۰۴). ارائه مدل تلفیقی بهبود مدیریت بنادر کانتینری با تمرکز بر توسعه پایدار. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۵(۳)، ۱۱۸-۱۴۰.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

بنادر به‌عنوان مراکز مهم در شبکه‌های حمل‌ونقل و لجستیک جهانی شناخته می‌شوند. در حال حاضر، حمل‌ونقل دریایی نقش محوری در تجارت جهانی ایفا کرده و بیش از ۸۰ درصد از حجم کل محموله‌های بین‌المللی را به خود اختصاص می‌دهد [۴۴، ۴۶]. در طول زمان، بنادر از نقاط ابتدایی پهلوگیری کشتی‌ها به مراکز پیشرفته‌ای تبدیل شده‌اند که نیازهای متنوع تجارت، حمل‌ونقل و توسعه اقتصادی را برآورده می‌کنند [۳۷]. بنادر به‌عنوان دروازه‌های حیاتی، جریان کالاها را تسهیل کرده، رشد اقتصادی را امکان‌پذیر می‌سازند و همچنین جابه‌جایی مسافران را در مناطق مختلف برعهده دارند [۱۸]. اصطلاح "بندر" اغلب به‌طور متناوب با "لنگرگاه" به کار می‌رود، اما از نظر فنی، بندر شامل تمام زیرساخت‌های مربوط به مدیریت کشتی‌ها، محموله‌ها و مسافران است، در حالی که لنگرگاه به‌طور خاص به یک منطقه آبی محصور اشاره دارد [۳۷].

با افزایش تجارت بین‌المللی و ظهور نوآوری‌هایی در صنعت لجستیک، بنادر برای پاسخ به نیازهای تخصصی حمل و نقل کالا خود را تطبیق داده و این مساله منجر به توسعه بنادر کانتینری گردید. کانتینرسازی که در اواسط قرن بیستم معرفی شد، لجستیک دریایی را از طریق استانداردسازی فرآیندهای حمل‌ونقل کالا متحول کرد [۱۵]. بنادر کانتینری به‌عنوان بازیگران کلیدی در این تحول عملیات نگهداشت و حمل بار را ارتقا داده تا فرآیندهای کارآمد و مدرن جابه‌جایی و حمل کالا را از طریق سیستم‌های لجستیک دریایی مدیریت کنند [۳۷]. این بنادر نقش مهمی در تسهیل زنجیره‌های تأمین جهانی ایفا کرده و برای تجارت بین‌المللی و یکپارچگی اقتصادی ضروری هستند [۲۲].

بنادر کانتینری بر زیرساخت‌ها و فناوری‌های پیشرفته متکی هستند تا از تجارت جهانی پشتیبانی کنند. این بنادر اغلب به آب‌های عمیق، به‌ویژه در بنادر بین‌المللی و هاب‌ها، نیاز دارند تا پذیرای کشتی‌های بزرگ مانند کشتی‌های کانتینری فوق بزرگ[1] (ULCVs) باشند که ظرفیت حمل هزاران کانتینر را دارند و هزینه‌های حمل‌ونقل هر واحد را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهند. این قابلیت بنادر کانتینری را به عناصر کلیدی در حفظ زنجیره‌های تأمین کارآمد و مقرون‌به‌صرفه تبدیل کرده است [۲۴]. علاوه بر این، بنادر کانتینری به تجهیزات پیشرفته‌ای همچون جرثقیل‌های دروازه‌ای، جرثقیل‌های لاستیکی و وسایل نقلیه و انبارهای خودکار مجهز هستند که به بارگیری و تخلیه سریع کانتینرها کمک کرده و زمان انتظار کشتی‌ها را کاهش می‌دهند [۳۷].

اتصال چندوجهی[2] نیز یکی از ویژگی‌های کلیدی بنادر کانتینری است. این اتصال شامل ارتباطات ریلی، جاده‌ای و آبی به مناطق داخلی می‌شود و امکان انتقال روان و کارای کانتینرها بین روش‌های مختلف حمل‌ونقل را فراهم می‌کند. همچنین، بنادر کانتینری از محوطه‌های انبارش با سیستم‌های انباشته‌سازی پیشرفته بهره می‌برند تا حداکثر استفاده از فضا را امکان‌پذیر سازند و معمولا مناطق مخصوص کانتینرهای یخچالی برای جابه‌جایی ایمن کالاهای فسادپذیر فراهم شده است [۱۸]. علاوه بر این، مناطق لجستیکی نزدیک خدمات ارزش‌افزوده‌ای مانند مرتب‌سازی، برچسب‌گذاری و بسته‌بندی ارائه می‌دهند. این فعالیت‌های ارزش‌افزوده انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را افزایش داده و به مشتریان مجموعه‌ای از خدمات سفارشی ارائه می‌کنند که ارزش قابل‌توجهی به عملیات آنها اضافه می‌کند [۳۷].

سیستم‌های دیجیتال پیشرفته نیز در بهبود عملکرد بنادر کانتینری نقش اساسی دارند. فناوری‌هایی مانند سیستم‌های جامعه بندری[3] (PCS) و سیستم‌های عملیاتی پایانه‌ای[4] (TOS) امکان اشتراک داده‌ها به‌صورت بلادرنگ را فراهم می‌کنند و ارتباط و هماهنگی بین اپراتورهای بندری، خطوط کشتیرانی و مقامات گمرکی را بهبود می‌بخشند. این سیستم‌ها باعث کاهش تأخیرها، افزایش شفافیت عملیاتی و تقویت رقابت‌پذیری بنادر می‌شوند [۷، ۴۲].

با افزایش حجم تجارت دریایی، ارزیابی و بهبود عملکرد بنادر برای حفظ رقابت‌پذیری، کارایی و پایداری آن‌ها اهمیت بیشتری یافته است. مطالعات اخیر به موضوعاتی نظیر بهینه‌سازی کارایی بندر، راه‌حل‌های فناورانه، استراتژی‌های رقابت‌پذیری بندر و تعامل بندر–شهر پرداخته‌اند

1- Ultra Large Container Vessels
2- Intermodal connectivity
3- Port Community Systems
4- Terminal Operational Systems

[۲۲]. چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از فعالیت‌های بندری، نیاز به اتخاذ شیوه‌های پایدار را تشدید کرده است. بندرها به طور قابل توجهی از طریق انتشار آلاینده‌ها از کشتی‌ها، تجهیزات بارگیری و فعالیت‌های صنعتی نزدیک به آلودگی هوا، آب و خاک کمک می‌کنند. این چالش‌های زیست‌محیطی ضرورت استفاده از رویکردهای سبز همچون استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، تجهیزات با انتشار کم و سیستم‌های بهینه مصرف انرژی را برجسته می‌کنند [۳۶]. از منظر اجتماعی نیز، فعالیت‌های بندری اغلب جوامع محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، از جمله ایجاد سر و صدا، تراکم ترافیک و تغییرات در کاربری زمین. حل این مسائل نیازمند تقویت تعامل با جامعه، اطمینان از توزیع عادلانه منافع اقتصادی و ارتقای شمول اجتماعی در استراتژی‌های توسعه بندر است [۲۵]. این موارد نیاز به اتخاذ رویکردهای پایدار برای بندرها دلالت دارد، رویکردهایی که رشد اقتصادی را با حفاظت زیست‌محیطی و مسئولیت اجتماعی تلفیق کنند .

بر این اساس، ادغام ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی در عملکرد بندرها در سال‌های اخیر اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است. ابزارها و چارچوب‌های متعددی برای ارزیابی و مدیریت مؤثر عملکرد پایدار بندرها توسعه یافته‌اند [۲۱، ۲۵]. در عمل، بندرها مجموعه‌ای از ابتکارات محیط‌زیستی و اجتماعی را برای بهبود نتایج پایداری خود به کار گرفته‌اند [۱۷، ۱۹]. این تلاش‌ها شامل اطمینان از رعایت مقررات سختگیرانه زیست‌محیطی و تقویت فرهنگ پایداری در میان ذینفعان است [۲۵].

با این حال، با وجود این پیشرفت‌ها، چالش‌های قابل توجهی در توسعه مدل‌های اندازه‌گیری عملکرد که بهره‌وری عملیاتی را با اهداف پایداری تلفیق کنند، باقی مانده است. افزایش شناسایی نیاز به رویکردی جامع و عملی—که ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را متعادل کند—به طور فزاینده‌ای به عنوان عامل حیاتی برای توسعه پایدار بندرها شناخته می‌شود [۲۵، ۳۳].

در این راستا، این پژوهش به دنبال توسعه یک سیستم اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر عملکرد پایدار در بنادر دریایی است. چارچوب پیشنهادی با استفاده از عوامل پایداری استخراج‌شده از مرور نظام‌مند ادبیات، به‌ویژه مطالعاتی مانند [۸، ۱۱، ۲۸، ۴۵] طراحی می‌شود که ابعاد محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی پایداری در بنادر را به تفصیل بررسی کرده‌اند. این پژوهش با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی و نظرات خبرگان، به ارزیابی عوامل پیشنهادی می‌پردازد. داده‌های لازم از طریق نظرسنجی از متخصصان حوزه بنادر و حمل‌ونقل دریایی گردآوری می‌شود تا تحلیل‌هایی کمی در زمینه وزن‌دهی و اهمیت عوامل انجام گیرد. هدف نهایی، توسعه چارچوبی برای سنجش عملکرد پایدار بر اساس معیارهای وزن‌دار و ساختاریافته است که بتواند ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در راستای توسعه پایدار بنادر فراهم آورد

۲. مبانی نظری و پیشینه‌ی تحقیق

تکامل مدیریت عملکرد در بنادر. در گذشته، ارزیابی عملکرد بنادر عمدتاً بر معیارهای کارایی عملیاتی و خروجی اقتصادی متمرکز بود. این معیارها شامل شاخص‌هایی همچون استفاده از اسکله، زمان چرخش کشتی‌ها، و حجم بار جابجاشده بودند که مستقیماً با اهداف مالی و رقابت‌پذیری مرتبط هستند. به‌طور کلی، بنادر تلاش می‌کردند با بهینه‌سازی منابع و کاهش هزینه‌ها، کارایی خود را در شبکه تجارت جهانی ارتقاء دهند [۴۳، ۳۷]. مطالعات انجام‌شده درباره بنادر کانتینری نشان داده‌اند که کیفیت زیرساخت‌ها، شیوه‌های عملیاتی، و کارایی در جابجایی کالا به طور مستقیم بر عملکرد مالی بنادر تأثیر می‌گذارند [۴۰]. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در چارچوب‌های ارزیابی عملکرد، این مدل‌های سنتی اغلب عوامل زیست‌محیطی و اجتماعی را نادیده می‌گیرند و تمرکز اصلی خود را بر حجم بار و کارایی هزینه‌ای معطوف می‌کنند. این محدودیت‌ها منجر به توسعه مدل‌های جامع‌تری شده‌اند که معیارهای پایداری و تعامل با جامعه را نیز در نظر می‌گیرند [۲۱، ۲۵].

آگاهی فزاینده از تأثیرات زیست‌محیطی و نیاز فوری به مسئولیت‌پذیری اجتماعی به طور چشمگیری شیوه ارزیابی عملکرد بندرها را تغییر داد [۴۱]. ظهور مفهوم "بندرهای سبز" نمونه‌ای از این تغییر است و نشان‌دهنده ادغام راهبردهای زیست‌محیطی از جمله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و استفاده از انرژی‌های پاک است [۳۳].

چارچوب پایداری در سال‌های اخیر گسترش یافته است تا ابعاد اجتماعی را نیز شامل شود و اهمیت رشد عادلانه و فراگیر در کنار حفظ محیط زیست را به رسمیت بشناسد. تحقیقات نشان داده‌اند که آگاهی عمومی زیست‌محیطی و مشارکت فعال شهروندان نقشی کلیدی در

ترویج همکاری‌های مشترک بین دولت‌ها، شرکت‌های خصوصی و جوامع محلی برای دستیابی به اهداف پایداری دارند [۱۷]. در این راستا، بندرها بیش از پیش بر اساس شاخص‌هایی فراتر از کارایی عملیاتی ارزیابی می‌شوند و نقش آنها در کمک به جوامع محلی و پایبندی به شیوه‌های کسب‌وکار اخلاقی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. این تغییر دیدگاه، بندرها را به سمت پیاده‌سازی زیرساخت‌های نوآورانه سبز و برنامه‌های مشارکتی برای کاهش تأثیرات منفی زیست‌محیطی و تقویت تعاملات اجتماعی سوق داده است.

لذا ادغام پایداری در عملیات بندرها به عنوان یک حرکت استراتژیک، نقش حیاتی در افزایش رقابت‌پذیری و تاب‌آوری در یک چشم‌انداز جهانی به سرعت در حال تغییر ایفا می‌کند. این رویکرد نه تنها فشارهای ناشی از مقررات و مسئولیت‌های اجتماعی را کاهش می‌دهد، بلکه منجر به بهبود واکنش‌پذیری و توسعه یک سیستم بندری رقابتی‌تر می‌شود. اجرای شیوه‌های پایدار در عملیات بندری به تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین دریایی کمک می‌کند و به بندرها امکان می‌دهد اختلالات را بهتر مدیریت کنند و تداوم عملیات خود را حفظ کنند [۷]. تحقیقات همچنین نشان داده‌اند که بندرهایی که رویکردهای پایداری را به طور جدی دنبال می‌کنند، به طور خاص این رویکردها به عنوان ابزاری برای ایجاد مزیت رقابتی پایدار شناخته می‌شوند. این استراتژی‌ها نه تنها باعث کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌شوند، بلکه مشارکت‌های اجتماعی و حکمرانی کارآمد را نیز تقویت می‌کنند [۳۳]. در واقع، این تغییرات نشان‌دهنده یک روند گسترده‌تر به سمت تلفیق پایداری در چارچوب‌های مدیریت عملکرد بندر است.

چارچوب‌ها و مدل‌های سنجش پایداری. تمرکز بر مسئولیت زیست‌محیطی و اجتماعی بنادر، اهمیت هم‌راستایی فعالیت‌های آن‌ها با استانداردهای پایداری بین‌المللی را افزایش داده است. ابزارهایی مانند طرح حسابرسی و مدیریت محیط زیست[1] (EMAS) و سیستم بازنگری محیط‌زیستی بندر[2] (PERS) برای ارزیابی سیستماتیک عملکرد پایداری توسعه یافته‌اند [۳۳، ۲]. این ابزارها فرآیندهای استانداردی برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی ایجاد می‌کنند که به بهبود مستمر و مسئولیت‌پذیری در عملیات بندری کمک می‌کند. علاوه بر این، پذیرش چنین چارچوب‌هایی شفافیت را افزایش داده و اعتماد ذینفعان را تقویت می‌کند و به بندرها امکان می‌دهد از طریق سیستم‌های مدیریتی دارای گواهینامه، تعهد خود به پایداری را نشان دهند. با این حال، این استانداردها علی‌رغم مزایای خود، اغلب در پوشش کامل ابعاد پیچیده و متصل توسعه پایدار کفایت لازم را ندارند [۳۰].

از منظر آکادمیک نیز مدل‌های متعددی توسط محققین برای ارزیابی عملکرد پایدار توسعه یافته‌اند که به شناسایی عوامل کلیدی در این حوزه کمک می‌کنند. این مدل‌ها عمدتاً رویکردهای کیفی را اتخاذ کرده و ارزیابی‌های جامع‌تری با ادغام دیدگاه‌های چندبعدی پایداری ارائه می‌دهند [۲۵]. یکی از نقش‌های مهم مدل‌های دانشگاهی، ارائه چارچوب‌هایی برای انتخاب عوامل کلیدی عملکرد[3] (KPIs) است که باید به صورت جامع‌تری و منطبق با جنبه‌های خاص پایداری و زمینه‌های عملیاتی بندرها باشند. چنین رویکردی به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا استراتژی‌های موثری تدوین کرده و عملکرد بندر را در ابعاد مختلف پایداری کنترل کنند [۴۵]. از طریق این عوامل و شاخص‌های مرتبط، بندرها می‌توانند زمینه‌های بهبود را شناسایی کرده و پیشرفت خود را به سمت دستیابی به اهداف پایداری ردیابی کنند. همچنین چارچوب‌های پیشنهادی نوین، بر توسعه مدل‌های هوشمند و پایدار برای بهینه‌سازی عملیات بندری تمرکز دارند. این مدل‌ها عواملی مانند بهره‌وری انرژی، مدیریت ضایعات، و تعامل مؤثر با ذینفعان را دربر می‌گیرند که همسو با دستورکارهای جهانی پایداری هستند. استفاده از فناوری‌های هوشمند مانند مدل‌های پیش‌بینی داده و سیستم‌های مدیریتی دیجیتال می‌تواند نقش مؤثری در افزایش کارایی و انطباق با معیارهای پایداری ایفا کند. با این حال، این مدل‌ها هنوز در بخش بندرها به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. پیچیدگی در پیاده‌سازی، نبود معیارهای استاندارد و اعتبارسنجی محدود تجربی از جمله چالش‌های اصلی در این زمینه هستند [۱۴].

این تحقیق بر مبنای مرور نظام‌مند ادبیات و تحلیل منابع مختلف علمی، مجموعه‌ای متنوع از عوامل مؤثر را شناسایی کرده است. در بُعد زیست‌محیطی، معیارهایی مانند مدیریت آلودگی، مصرف انرژی و بازیافت مطالعات [۸، ۲۶، ۳۲، ۴۵] مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در بُعد اجتماعی،

1- Eco-Management and Audit Scheme
2- Port Environmental Review System
3- Key Performance Indicators

شاخص‌هایی نظیر سلامت و ایمنی کارکنان، آموزش و تعامل با جامعه محلی عوامل معرفی شده توسط [۴۶، ۳۸] لحاظ شده‌اند. در بُعد اقتصادی نیز عواملی همچون بازده عملیاتی، بهره‌وری سرمایه و سرمایه‌گذاری خارجی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند [۵، ۱۱، ۲۵]. این تنوع منابع نشان می‌دهد که چارچوب پیشنهادی تحقیق، بر پایه تلفیقی از شواهد تجربی و رویکردهای نظری متنوع طراحی شده و می‌تواند انعطاف‌پذیری بالایی در کاربردهای عملی داشته باشد. مطالعه اصلی بیشتر به جمع‌آوری و دسته‌بندی عوامل مرتبط متکی است. بر این اساس، چارچوب مدنظر از ساختاری سلسله‌مراتبی برخودار بوده و مبنایی برای اندازه‌گیری عملکرد ارائه می‌دهد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

لذا این تکامل، چارچوب کیفی را به ابزاری جامع برای اولویت‌بندی و اجرای استراتژی‌های پایداری تبدیل می‌کند. با هم‌راستایی دقیق با اصول سه‌گانه پایداری—پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی—چارچوب مذکور درک عمیق‌تر و عملی‌تری از پایداری ارائه می‌دهد. این امر به بنادر کانتینری امکان می‌دهد تا به طور مؤثر حوزه‌های قابل بهبود را شناسایی کنند، پیشرفت خود را ردیابی نمایند و استراتژی‌های هدفمندی برای دستیابی به اهداف پایداری بلندمدت پیاده‌سازی کنند. علاوه بر این، ماهیت سلسله‌مراتبی این مدل به تصمیم‌گیرندگان یک رویکرد ساختاریافته ارائه می‌دهد تا اهداف رقابتی را متعادل سازند و اطمینان حاصل کنند که پایداری در مرکز عملیات بنادر کانتینری باقی می‌ماند.

شکل ۱. عوامل مرتبط با پایداری در بنادر دریایی (بر اساس عوامل شناسایی شده در مرور ادبیات)

کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری و مدل‌های امتیازی در مدیریت عملکرد بنادر

به طور کلی، ابزارهای مختلفی مانند چارچوب کارت امتیازی متوازن[1] (BSC)، تحلیل پوششی داده‌ها[2] (DEA)، و استقرار عملکرد کیفیت[3] (QFD) برای ارزیابی کارایی و مدیریت عملکرد استفاده می‌شوند [۱، ۲۳، ۴۷]. روش DEA به طور گسترده‌ای برای ارزیابی عملکرد بنادر به کار

1- Balanced Scorecard
2- Data Envelopment Analysis
3- Quality Function Deployment

گرفته شده است. این روش غیرپارامتریک، کارایی واحدهای تصمیم‌گیری را از طریق مقایسه ورودی‌ها و خروجی‌ها مورد سنجش قرار می‌دهد [۱۳، ۲۳]. به عنوان مثال، در مطالعاتی که بر عملیات بندری در بنادر ASEAN و چین تمرکز داشته‌اند، از مدل‌های DEA برای شناسایی ناکارآمدی‌های فنی و عملیاتی استفاده شده است. این تحلیل‌ها اهمیت استفاده بهینه از زیرساخت‌ها و تخصیص منابع را در بهبود بهره‌وری نشان می‌دهند [۳۹].

روش BSC، به دلیل جامعیت و انعطاف‌پذیری خود، به طور فزاینده‌ای در طراحی سیستم‌های اندازه‌گیری عملکرد مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۳، ۲۱، ۲۷]. این روش از طریق یک سیستم امتیازدهی ساختاریافته، به ایجاد و حفظ تعادل میان مجموعه‌ای از معیارهای عملکرد کمک می‌کند. این معیارها شامل شاخص‌های مالی و غیرمالی، شاخص‌های پیشین و پسین، و ابعاد عملکرد داخلی و خارجی هستند [۲۰]. این چارچوب می‌تواند به عنوان ابزاری برای تمرکز مدیریت سازمان بر اهداف خاص و همچنین به عنوان روشی برای نقشه‌برداری و درک روابط علّی میان شاخص‌های مختلف استفاده شود. به طور کلی، سه رویکرد برای ادغام عوامل پایداری در کارت امتیازی متوازن پیشنهاد شده است. در رویکرد اول، جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی به چهار بعد اصلی BSC افزوده یا در آنها ادغام می‌شوند. در رویکرد دوم، یک بعد پنجم که معمولاً به دیدگاه پایداری اختصاص دارد، به مدل اضافه می‌شود. در رویکرد سوم، جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی به عنوان ابعاد جداگانه در چارچوب کارت امتیازی متوازن در نظر گرفته می‌شوند. مطالعات نشان می‌دهند که مدل‌های کارت امتیازی متوازن پایدار پتانسیل تبدیل شدن به یک ابزار کلیدی در مدیریت اندازه‌گیری عملکرد را دارند و نقش اساسی در هدایت سازمان‌ها به سوی پایداری ایفا می‌کنند [۲۷].

روش‌های سنتی تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] (MCDM)، به ویژه فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی[2] (AHP)، به طور گسترده‌ای در چارچوب‌های اندازه‌گیری عملکرد برای محاسبه وزن‌های نسبی شاخص‌های عملکرد استفاده شده‌اند [۲۵]. استفاده از AHP و تغییرات آن در چارچوب BSC، مکانیزمی برای محاسبه وزن نسبی هر معیار عملکرد فراهم می‌کند [۳۴]. مطالعاتی نیز روش AHP را با BSC ادغام نموده و به ارزیابی عملکرد بنادر از طریق ساختاربندی سلسله‌مراتبی معیارها کمک می‌کند [۲۷]. این ادغام به بنادر امکان می‌دهد تا یک رویکرد مبتنی بر داده برای دستیابی به پایداری اتخاذ کنند و اطمینان حاصل کنند که استراتژی‌ها هم موثر و هم کارآمد هستند. این روش‌ها به مقایسه معیارهای بهره‌وری عملیاتی و پایداری میان بنادر مختلف کمک می‌کنند و امکان شناسایی بهترین شیوه‌ها و زمینه‌های قابل بهبود را فراهم می‌کنند [۲۵]. به عنوان مثال، از طریق مقایسه بنادر، حوزه‌هایی که نیاز به سرمایه‌گذاری یا بهبود دارند می‌توانند مشخص شوند

علیرغم کاربرد وسیع مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در توسعه چارچوب‌های مدیریت عملکرد در راستای اهداف پایداری، لیکن روش‌های سنتی مانند AHP و روش بهترین-بدترین[3] (BWM) در ارزیابی عملکرد پایداری بنادر با محدودیت‌هایی مواجه هستند. این روش‌ها به تعداد زیادی مقایسه‌های زوجی نیاز دارند؛ به‌عنوان مثال، AHP به $n(n-1)/2$ مقایسه و BWM به $3n-2$ مقایسه نیازمند است. این امر در صورت افزایش تعداد عوامل، مستلزم صرف زمان زیاد در دریافت نظرات از نمونه آماری شده و همچنین حجم محاسبات به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد و حتی می‌تواند به عدم اعتبار داده‌های گردآوری شده و ناسازگاری در قضاوت‌ها منجر شود .

علاوه بر این، در محیط‌های واقعی که اغلب با عدم قطعیت و ابهام همراه هستند، روش‌های سنتی در مدل‌سازی این عدم قطعیت‌ها ناتوان بوده و ممکن است نتایج دقیقی ارائه ندهند. این امر به‌ویژه در ارزیابی عملکرد پایداری بنادر که شامل معیارهای کیفی و ذهنی متعددی است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند [۶].

لذا با توجه به هدف این تحقیق و تعداد نسبتا زیاد عوامل، روش‌های یاد شده از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشند. بنابراین کاربرد روش‌های جدیدتری که گردآوری اطلاعات از طریق خبرگان را تسهیل کرده، موجب کاهش میزان محاسبات گردیده و در عین حال اعتبار لازم را داشته باشند، می‌تواند راهگشا باشد. در میان روش‌های جدیدتر تصمیم‌گیری، روش سازگاری کامل یا اختصار لاتین آن فوکام[4] با کاهش تعداد

1- Multi Criteria Decision Making
2- Analytical Hierarchy Method
3- Best-Worst Method
4- Full Consistency Method (FUCOM)

داده‌های تصمیم‌گیری به n-1، کارایی فرآیند ارزیابی را بهبود می‌بخشد و احتمال ناسازگاری در قضاوت‌ها را کاهش می‌دهد [۳۱]. همچنین، با ترکیب این روش با منطق فازی، از طریق روش ترکیبی فوکام فازی امکان لحاظ‌کردن عدم قطعیت‌ها و ابهامات موجود در ارزیابی معیارهای پایداری فراهم می‌شود که منجر به دقت و اعتبار بیشتر نتایج در مقایسه با روش‌های سنتی می‌گردد. در نتیجه، استفاده از روش فوکام فازی می‌تواند به‌طور مؤثری محدودیت‌های روش‌های سنتی را در ارزیابی عملکرد پایداری بنادر برطرف کرده و به تصمیم‌گیرندگان در اتخاذ تصمیمات بهینه و کارآمد یاری رساند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

روش دلفی فازی

در ابتدا به منظور اطمینان از میزان مرتبط بودن عوامل معرفی شده با چارچوب پیشنهادی مدیریت عملکرد پایدار از روش دلفی فازی جهت تایید و یا غربالگری شاخص‌های پژوهش در محیط عدم قطعیت استفاده می‌شود که مراحل این روش در ادامه آورده شده است [۲۸].

۱- استفاده از شاخص‌های پژوهش با استفاده از مرور مبانی نظری پژوهش

۲- جمع‌آوری نظرهای متخصصان تصمیم گیرنده: تعیین اهمیت هر شاخص بر اساس طیف جدول ۱.

جدول ۱. عبارات زبانی و اعداد دلفی فازی [۲۸]

عبارات زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم	(۰، ۰، ۰/۲۵)
کم	(۰، ۰/۲۵، ۰/۵)
متوسط	(۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵)
زیاد	(۰/۵، ۰/۷۵، ۱)
خیلی زیاد	(۰/۷۵، ۱، ۱)

۳- تایید و غربالگری شاخص‌ها: برای هر عدد فازی که بر اساس رابطه (۱) باشد ابتدا میانگین هر کدام از کران‌های فازی بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود .

رابطه (۱)
$$\tilde{\tau}_{ij} = (a_{ij}\ b_{ij}\ c_{ij}) \quad i = 12 \dots n \quad j = 12 \dots m$$

رابطه (۲)
$$(a_j\ b_j\ c_j) = \left(\sum \frac{a_{ij}}{n} \sum \frac{b_{ij}}{n} \sum \frac{c_{ij}}{n}\right)$$

سپس با استفاده از رابطه (۳)، اعداد فازی نهایی به عدد غیرفازی تبدیل می‌شوند.

رابطه (۳)
$$\text{Crisp} = \frac{a + b + c}{3}$$

در این پژوهش مقدار آستانه حذف عدد ۰.۷ در نظر گرفته شده است به این صورت که هر کدام از شاخص‌ها عدد غیر فازی کمتر از ۰.۷ کسب کرده باشد حذف می‌شود .

روش سازگاری کامل (فوکام)

این روش برای اولین‌بار توسط پاموچار[1] و همکاران (۲۰۱۸) ارائه شد. رایج‌ترین کاربرد روش فوکام در فرآیند تعریف ضرایب وزن معیارها است. این روش همانطور که اشاره شد، اساساً مقایسه‌های زوجی کمتری نسبت به روش‌های مشابه مانند AHP و BWM دارد و پیچیدگی آن را در برخورد با مشکلاتی با معیارهای متعدد افزایش می‌دهد. توسعه روش فوکام در محیط عدم قطعیت با بکارگیری نظریه اعداد فازی به‌عنوان یک رویکرد ترکیبی محبوبت این روش را در بین محققین بیشتر کرده است. برای اجرای فازی فوکام، در ابتدا معیارهای ارزیابی $C_j, j= 1, 2, ..., n$تعیین می‌شوند و سپس بر اساس اهمیت آنها بر اساس نظرات کارشناسان رتبه‌بندی می‌شوند. در این راستا، خبرگان تحقیق نظرات خود را در مورد معیارها به‌صورت عبارات زبانی (LT_S)[2] جدول ۲ بیان می‌کنند [۲۹].

جدول ۲. قوانین تبدیل عبارات زبان اعداد فازی مثلثی برای مقایسات زوجی [۲۹]

عبارات کلامی	عدد فازی
اهمیت برابر	(۱، ۱، ۱)
اهمیت کم	(۰٫۶۷، ۱، ۱٫۵)
نسبتاً مهم	(۱٫۵، ۲، ۲٫۵)
خیلی مهم	(۲٫۵، ۳، ۳٫۵)
کاملا مهم	(۳٫۵، ۴، ۴٫۵)

گام اول) پس از به دست آوردن اهمیت‌های فازی معیارها $\varpi_{Cj(k)}$، بردارهای فازی اهمیت‌های مقایسه‌ای معیارها $\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots \varphi_{k/k+1})$ ، به‌دست می‌آیند که در آن $\varphi_{k/(k+1)}$ نشان‌دهنده اهمیت‌های مقایسه‌ای فازی معیار $C_{j(k)}$ نسبت به معیار $C_{j(k+1)}$است و با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود :

رابطه (۴)
$$\varphi_{k/(k+1)} = (\varphi^{l}_{k+1}\ \varphi^{m}_{k+1}, \varphi^{u}_{k+1}) = \frac{\varpi_{c_{j(k+1)}}}{\varpi_{c_{j(k)}}} = \frac{\varpi^{l}_{c_{j(k+1)}} \varpi^{m}_{c_{j(k+1)}} \varpi^{u}_{c_{j(k+1)}}}{\varpi^{l}_{c_{j(k)}} \varpi^{m}_{c_{j(k)}} \varpi^{u}_{c_{j(k)}}}$$

که در آن، l، m، u به‌ترتیب مقدار کران پایین، میانی و بالای یک رویداد فازی را نشان می‌دهند. در مرحله بعد، اهمیت ضرایب وزن w_k باید معادلات (۵) و (۶) را برآورده کند.

اولی رابطه (۵)
$$\frac{\omega_k}{\omega_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)}$$

نشان رابطه (۶)
$$\frac{\omega_k}{\omega_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{k/(k+1)/\ k/(k+2)}$$

می‌دهد که نسبت ضرایب وزن $C_{j(k)}$ و $C_{j(k+1)}$ باید برابر با اهمیت مقایسه‌ای آنها ($\varphi_{k/(k+1)}$) باشد دومی شرط گذارندگی[3] بین مقادیر ضرایب وزن را نشان می‌دهد که $\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{k/(k+1)/\ k/(k+2)}$ است، به این معنی که $\frac{\omega_{k+1}}{\omega_{k+2}} \frac{\omega_k}{\omega_{k+1}} \otimes = \frac{\omega_k}{\omega_{k+2}}$. در نهایت، برای دستیابی به وزن‌های نهایی، مدل رابطه (۷) می‌تواند به صورت زیر تشکیل شود.

1- Pamučar
2- Linguistic Term
۳- این شرط تضمین می‌کند که ترتیب اهمیت معیارها به صورت سازگار و منطقی باشد. مثلاً اگر بگوییم معیار A مهم‌تر از B و B مهم‌تر از C است، پس به طور منطقی باید نتیجه بگیریم که A مهم‌تر از C نیز هست. این شرط گذرا بودن نامیده می‌شود و در بسیاری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌شود.

که در رابطه (۷) w_j آن =

$$\min \chi$$
$$st:$$

$$\left|\frac{(\omega^l_{j(k)}\ \omega^m_{j(k)} u^u_{j(k)})}{(\omega^l_{j(k+1)}\ \omega^m_{j(k+1)} u^u_{j(k+1)})} - (\varphi^l_{k/(k+1)}\ \varphi^m_{k/(k+1)}\ \varphi^u_{k/(k+1)})\right| \leq \chi \quad \forall j$$

$$\left|\frac{\left(\omega^l_{j(k)}\ \omega^m_{j(k)} u^u_{j(k)}\right)}{\left(\omega^l_{j(k+2)}\ \omega^m_{j(k+2)} u^u_{j(k+2)}\right)} - \left(\varphi^{l}_{\frac{k}{k+1}}\ \varphi^{m}_{\frac{k}{k+1}}\ \varphi^{u}_{\frac{k}{k+1}}\right) \otimes \left(\varphi^{l}_{\frac{k+1}{k+2}}\ \varphi^{m}_{\frac{k+1}{k+2}}\ \varphi^{u}_{\frac{k+1}{k+2}}\right)\right| \leq \chi \quad \forall j$$

$$\sum_{j=1}^{n}(\omega_j) = 1$$
$$\omega^l_j \leq \omega^m_j \leq \omega^u_{j(k)} \qquad \forall_j, j = 1, 2, \ldots, n$$
$$\omega^l_j \geq 0 \qquad \forall_j, j = 1, 2, \ldots, n$$

$(\omega^l_j\ \omega^m_j\ \omega^u_{j(k)})$وزن‌های فازی C_j را تعریف می‌کند. این مدل به دنبال حداقل کردن انحراف از سازگاری کامل[1] (DFC) مقایسه نشان داده شده توسط χ است که هر چه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج سازگارتر هستند.

بدین ترتیب، به‌منظور اعتبارسنجی فرآیند تحقیق و اطمینان از دقت و روایی مدل مفهومی و روش‌های مورد استفاده، مجموعه‌ای از اقدامات ساختاریافته در این پژوهش اجرا شده است. ابتدا برای طراحی چارچوب اولیه، مرور نظام‌مند منابع معتبر و مطالعات کلیدی در حوزه پایداری بندری صورت گرفت تا جامعیت مفهومی مدل تضمین گردد. سپس در مرحله شناسایی و تأیید شاخص‌ها، از روش دلفی فازی با مشارکت خبرگان دارای تجربه علمی و عملی در بندر شهید رجایی استفاده شد. این اقدام باعث افزایش اعتبار محتوایی شاخص‌های پیشنهادی شد، زیرا نظرات تخصصی در محیط واقعی بندر لحاظ گردید.

در گام بعد، برای اولویت‌بندی شاخص‌ها، روش فوکام فازی مورد استفاده قرار گرفت که مزایای مهمی نسبت به روش‌های سنتی دارد که می‌توان به کاهش تعداد مقایسه‌های زوجی n-1 مقایسه به‌جای $n(n-1)/2$، کاهش زمان تصمیم‌گیری، و کاهش احتمال ناسازگاری در قضاوت‌ها توسط پاسخ‌دهندگان اشاره کرد. همچنین، بهره‌گیری از منطق فازی موجب شد که عدم‌قطعیت‌های موجود در نظرات انسانی به‌شکل ریاضی مدل‌سازی شود و پایایی نتایج افزایش یابد. برای اطمینان از پایایی عددی نتایج روش فوکام فازی، پس از به‌دست‌آوردن اوزان، آزمون پایداری مدل با تحلیل DFC انجام شد. نتایج حل مدل به کمک نرم‌افزار LINGO 18 نشان داد که مقدار DFC بسیار کوچک و نزدیک به صفر است که بیانگر سازگاری و دقت بالای مقایسات و وزن‌های نهایی است. علاوه بر این، انتخاب خبرگان بر اساس معیارهایی مانند تجربه بیش از ۱۰ سال در حوزه بندر شهید رجایی، تحصیلات مرتبط، مشارکت در پروژه‌های پایداری و آشنایی با روش‌های تصمیم‌گیری انجام شده است که روایی انتخاب مشارکت‌کنندگان را تضمین می‌کند. در مجموع، این پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی نظری-کاربردی، تحلیل داده‌محور، و استفاده از روش‌های مدرن و قابل‌اعتماد، از اعتبار علمی، روش‌شناسی دقیق، و قابلیت تعمیم مناسبی برخوردار است.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته های پژوهش

معرفی بندر مورد مطالعه

بندر شهید رجایی به‌عنوان بزرگ‌ترین و پیشرفته‌ترین بندر کانتینری ایران، در استان هرمزگان و در مجاورت تنگه هرمز واقع شده است. این بندر حدود ۹۰٪ از حمل‌ونقل کانتینری و بیش از ۵۵٪ از تجارت کشور را پوشش می‌دهد که نقش راهبردی آن در شبکه‌های لجستیکی منطقه‌ای و

1- Deviation from Full Consistency

جهانی را برجسته می‌سازد. با دارا بودن وسعتی معادل ۴۸۰۰ هکتار، ظرفیت جابجایی ۹۳ میلیون تن کالا و ۳ میلیون TEU در سال، و ۲۳ اسکله عملیاتی، زیرساخت‌های این بندر شامل پایانه‌های خودکار، محوطه‌های بار تخصصی، انبارهای مدرن، و اتصال به شبکه‌های ریلی و جاده‌ای، آن را به قطب اصلی در زنجیره تأمین دریایی کشور تبدیل کرده است [۱۶].

با توجه به روند افزایش حجم تجارت جهانی و ظهور کشتی‌های نسل جدید با ظرفیت بالا، این بندر با چالش‌هایی نظیر نیاز به ارتقاء تأسیسات و افزایش بهره‌وری عملیاتی روبه‌رو است. در همین راستا، پروژه‌های توسعه‌ای مانند توسعه غربی بندر، ارتقاء زیرساخت‌ها و بهسازی اسکله‌ها برای پذیرش کشتی‌های با آبخور ۱۷ متر در دست اجرا هستند. اداره بندر تحت نظارت سازمان بنادر و دریانوردی جمهوری اسلامی ایران انجام می‌شود و ذی‌نفعان اصلی آن شامل خطوط کشتیرانی، گمرک، شرکت‌های لجستیکی و کسب‌وکارهای محلی هستند که همگی نقش کلیدی در ارتقاء کارایی زنجیره تأمین دارند. این ویژگی‌ها، بندر شهید رجایی را به نمونه‌ای مناسب برای ارزیابی مدل‌های سنجش عملکرد پایدار تبدیل کرده‌اند و فرصت مناسبی برای تحلیل کاربردی چارچوب‌های پایداری در بستر واقعی فراهم می‌سازند.در این پژوهش، جمع‌آوری داده‌ها از طریق نظرات خبرگان و متخصصان حوزه مدیریت بنادر و توسعه پایدار، به‌ویژه از بندر شهید رجایی به‌عنوان مطالعه موردی انجام شده است. با توجه به اینکه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بر پایه روش‌های آماری کلاسیک نیستند، حجم نمونه بالا در این روش‌ها ضرورتی ندارد و کیفیت تخصصی مشارکت‌کنندگان اهمیت بیشتری دارد [۴، ۳۵]. به طور مثال در تحقیقات مشابه، تعداد خبرگان بسته به زمینه مطالعه متغیر بوده است؛ به‌عنوان مثال چن[1] و همکاران (۲۰۱۹) از ۵ نفر برای ارزیابی ارزش پایدار سیستم خدمات محصول[2] (PSS)، فِروتی[3] و همکاران (۲۰۱۹) از ۴ نفر برای ارزیابی‌های پایداری، ودِدشت[4] و همکاران (۲۰۱۷) از ۹ نفر برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت‌وساز استفاده کرده‌اند. این مطالعات نشان می‌دهند که تعداد خبرگان باید متناسب با ماهیت پژوهش تعیین شود و مهم‌ترین معیار، سطح دانش و تجربه مشارکت‌کنندگان است. لذا با توجه به رویکرد ترکیبی اتخاذشده در این تحقیق، از روش دلفی فازی برای شناسایی و تأیید شاخص‌های کلیدی استفاده گردید. در این مرحله، ۱۴ نفر از خبرگان برجسته شامل مدیران عملیاتی، کارشناسان ارشد و مشاوران حوزه حمل‌ونقل دریایی و مدیریت بنادر به‌ویژه از بندر کانتینری شهید رجایی مشارکت داشتند. این افراد دارای پیش‌زمینه‌های حرفه‌ای در حوزه‌هایی همچون برنامه‌ریزی استراتژیک بندر، ارزیابی زیست‌محیطی بنادر، توسعه زیرساخت‌های بندری و پیاده‌سازی استانداردهای بین‌المللی پایداری بوده‌اند. میانگین سابقه حرفه‌ای این خبرگان بیش از ۱۰ سال و تحصیلات حداقل در مقطع کارشناسی ارشد در حوزه‌های مرتبط بوده است. بدین ترتیب که ابتدا معیارها و زیرمعیارها در اختیار خبره‌ها قرار داده شد تا بر اساس طیف جدول ۱ به هر مولفه امتیاز دهند سپس دلفی فازی انجام شد. نتایج نهایی در جدول ۳ در قسمت پیوست آورده شده است که نشان می‌دهد سه معیار میانگین فازی؛ مدیریت بندر سبز، مزایای کسب شده از ذینفعان خارجی و تولید ناخالص داخلی[5] (GDP) کمتر از ۰/۷ کسب کرده‌اند و حذف می‌شوند و ۲۶ معیار تایید نهایی می‌شوند [۹، ۱۰، ۱۲].

در مرحله دوم، به‌منظور اولویت‌بندی شاخص‌های منتخب با استفاده از روش فوکام فازی، ۸ نفر از همین گروه که بیشترین تجربه تخصصی در حوزه ارزیابی عملکرد و تصمیم‌گیری چندمعیاره داشتند، انتخاب شدند. این گروه شامل مدیران و کارشناسان مرتبط با موضوع، به‌صورت خاص از بندر کانتینری شهید رجایی انتخاب شدند. این افراد دارای تجربه عملیاتی در حوزه‌هایی نظیر مدیریت عملکرد بندری، برنامه‌ریزی استراتژیک، پایش زیست‌محیطی و بهینه‌سازی فرآیندهای بندری بوده‌اند. انتخاب این گروه بر اساس معیارهایی چون سابقه بیش از ۱۰ سال فعالیت در بندر شهید رجایی، مشارکت در پروژه‌های توسعه پایداری و آشنایی با روش‌های تصمیم‌گیری فازی انجام شده است. حضور این خبرگان، اعتبار و کاربردپذیری نتایج تحقیق را در بستر واقعی عملیاتی بندر تضمین می‌کند. داده‌های جمع‌آوری‌شده از این افراد پس از پردازش و تحلیل با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، برای تعیین وزن و اهمیت نسبی هر یک از شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

1- Chen
2- Product Service System
3- Ferwati
4- Dedasht
5- Gross Domestic Product

نتایج روش فوکام فازی

در این بخش با اســتفاده از روش فوکام فازی به تعیین وزن مولفه‌ها پرداخته می‌شــود. در مرحله اول رتبه‌بندی مولفه‌ها بر اســاس میانگین غیرفازی روش دلفی فازی و همچنین اجماع خبره‌ها انجام می‌شود که به عنوان مثال برای مولفه‌های اجتماعی به صورت B<C<A> می‌باشد سپس با استفاده از مقیاس جدول ۲ مقایسات زوجی توسط خبره‌ها انجام می‌شود. سپس ادغام صورت می‌گیرد که نتایج در جدول ۴ آورده شده است

جدول ۴. مقایسه زوجی فازی عوامل اصلی

	A	C	B
ϕ	(۱، ۱، ۱)	(۱.۳۰۷، ۱.۷۶۹، ۲.۲۹۵)	(۳.۰۸۵، ۳.۵۹۱، ۴.۰۹۵)

روش تعیین وزن معیارها ابتدا اولویت مقایسه‌ای معیارها مشخص می‌شود که در زیر محاسبه شده است.

$$\varphi_{\frac{A}{C}} = \frac{(13071769\ 2295)}{(111)} = (1307\ 1769\ 2295) \qquad \varphi_{\frac{C}{B}} = \frac{(3085\ 3591\ 4095)}{(1307\ 1769\ 2295)} = (13442033133)$$

$$\varphi_{\frac{A}{B}} = \varphi_{\frac{A}{C}} \times \varphi_{\frac{C}{B}} = (1307\ 1769\ 2295) \otimes (0657\ 1189\ 2115) = (1757\ 3591\ 719)$$

سپس مدل نهایی تشکیل می‌شود که در زیر آورده شده است.

$$Min\ z$$

st:

$$|l1 - 1307 \times u3| \le z | l3 - 1344 \times u2| \le z | l1 - 1757 \times u2| \le z$$
$$|m1 - 1769 \times m3| \le z | m3 - 203 \times m2| \le z | m1 - 3591 \times m2| \le z$$
$$|u1 - 2295 \times l3| \le z | u3 - 3133 \times l2| \le z | u1 - 719 \times l2| \le z$$

$$0167 * l1 + 0668 * m1 + 0167 * u1 + 0167 * l2 + 0668 * m2 + 0167 * u2 + 0167 * l3 + 0668 * m3 + 0167 * u3 = 1$$

$$l1 <= m1;\ m1 <= u1; \qquad l1 >= 0;$$
$$l2 <= m2;\ m2 <= u2; \qquad l2 >= 0;$$
$$l3 <= m3;\ m3 <= u3; \qquad l3 >= 0;$$

سپس مدل بالا توسط نرم‌افزار لینگو نسخه ۱۸ حل گردید و وزن معیارهای اصلی حاصل شد که در جدول ۵ آورده شده است. بر این اساس معیار زیست محیطی با وزن ۰.۵۴۱ رتبه اول را کسب کرده است. معیار اقتصادی با وزن ۰.۳۰۴ رتبه دوم و معیار اجتماعی با وزن ۰.۱۵۴ رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول۵. وزن و رتبه معیارهای اصلی

کد	نام معیار	وزن فازی	وزن قطعی	رتبه
A	زیست محیطی	(۰.۶۹۷۱، ۰.۵۳۷۴، ۰.۳۹۷۱)	۰.۵۴۱	۱
B	اجتماعی	(۰.۲۲۶، ۰.۱۴۹۷، ۰.۰۹۷)	۰.۱۵۴	۳
C	اقتصادی	(۰.۳۰۳۸، ۰.۳۰۳۸، ۰.۳۰۳۷)	۰.۳۰۴	۲

به طریق مشابه برای زیرمعیارهای زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی نیز مقایسات زوجی انجام شده و توسط روش فوکام فازی وزن آن‌ها محاسبه می‌شود که به ترتیب در جدول ۶، جدول ۷ و جدول ۸ آورده شده است. بر این اساس در بین زیرمعیارهای زیست محیطی مدیریت آلودگی آب با وزن ۰/۱۸۶۴ رتبه اول را کسب کرده است. مدیریت آلودگی هوا با وزن ۰/۱۳۸۸ رتبه دوم و اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌ها با وزن ۰/۱۰۵۱ رتبه سوم را کسب کرده است. در بین زیرمعیارهای اجتماعی، سلامت و ایمنی با وزن ۰/۲۲۲۸ رتبه اول را کسب کرده است. ایجاد اشتغال و امنیت شغلی با وزن ۰/۱۵۷۷ رتبه دوم و آموزش مهارت‌های شغلی با وزن ۰/۱۱۷۳ رتبه سوم را کسب کرده است. در بین زیرمعیارهای اقتصادی، بازدهی عملیاتی بندر با وزن ۰/۱۷۶ رتبه اول را کسب کرده است. بهره‌وری ارزش افزوده با وزن ۰/۱۳۲۱ رتبه دوم و تأمین مالی توسعه بندر با وزن ۰/۱۱۹۲ رتبه سوم را کسب کرده است

جدول ۶. وزن و رتبه زیرمعیارهای زیست محیطی

کد	نام معیار	وزن فازی	وزن قطعی	رتبه
A1	مدیریت آلودگی آب	(۰.۲۰۰۷, ۰.۲۰۰۷, ۰.۱۱۴۷)	۰.۱۸۶۴	۱
A2	مدیریت آلودگی هوا	(۰.۱۴۹۴, ۰.۱۴۹۴, ۰.۰۸۵۶)	۰.۱۳۸۸	۲
A3	استفاده از انرژی و منابع	(۰.۱۱۳۸, ۰.۱۱۳۸, ۰.۰۵۲)	۰.۱۰۳۵	۴
A4	آلودگی صوتی	(۰.۱۰۳۸, ۰.۱۰۳۸, ۰.۰۴۴۸)	۰.۰۹۴۰	۶
A5	اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌ها	(۰.۱۱۷۴, ۰.۱۱۷۴, ۰.۰۴۳۷)	۰.۱۰۵۱	۳
A6	مدیریت آلودگی خاک و اشغال زمین	(۰.۰۹۲۵, ۰.۰۹۲۵, ۰.۰۴۵۷)	۰.۰۸۴۷	۹
A7	مدیریت آلودگی زباله	(۰.۱۱۲۹, ۰.۱۱۲۹, ۰.۰۴۳۸)	۰.۱۰۱۴	۵
A8	ساخت و ساز و تأسیسات سبز	(۰.۱۰۰۶, ۰.۱۰۰۶, ۰.۰۵۲۱)	۰.۰۹۲۵	۷
A9	مدیریت آلودگی بو	(۰.۰۹۸۷, ۰.۰۹۸۷, ۰.۰۵۶۲)	۰.۰۹۱۶	۸

جدول ۷. وزن و رتبه زیرمعیارهای اجتماعی

کد	نام معیار	وزن فازی	وزن قطعی	رتبه
B1	سلامت و ایمنی	(۰.۲۴۱۵, ۰.۲۴۱۵, ۰.۱۲۹۳)	۰.۲۲۲۸	۱
B2	ایجاد اشتغال و امنیت شغلی	(۰.۱۶۸۴, ۰.۱۶۸۴, ۰.۱۰۴۴)	۰.۱۵۷۷	۲
B3	آموزش مهارت‌های شغلی	(۰.۱۲۸۳, ۰.۱۲۸۳, ۰.۰۶۲)	۰.۱۱۷۳	۳
B4	روابط عمومی	(۰.۱۱۹۶, ۰.۱۱۹۶, ۰.۰۴۲۵)	۰.۱۰۶۸	۴
B5	عدم تبعیض جنسیتی	(۰.۰۹۷۸, ۰.۰۹۷۸, ۰.۰۵۱۳)	۰.۰۹۰۱	۸
B6	تصویر اجتماعی	(۰.۱۱۲۷, ۰.۱۱۰۵, ۰.۰۶۳۱)	۰.۱۰۳۰	۶
B7	کیفیت محیط زندگی	(۰.۱۱۵, ۰.۱۱۵, ۰.۰۴۷۷)	۰.۱۰۳۸	۵
B8	مشارکت در امور عام المنفعه	(۰.۱۰۵۱, ۰.۱۰۵۱, ۰.۰۵۳۹)	۰.۰۹۶۶	۷

جدول ۸. وزن و رتبه زیرمعیارهای اقتصادی

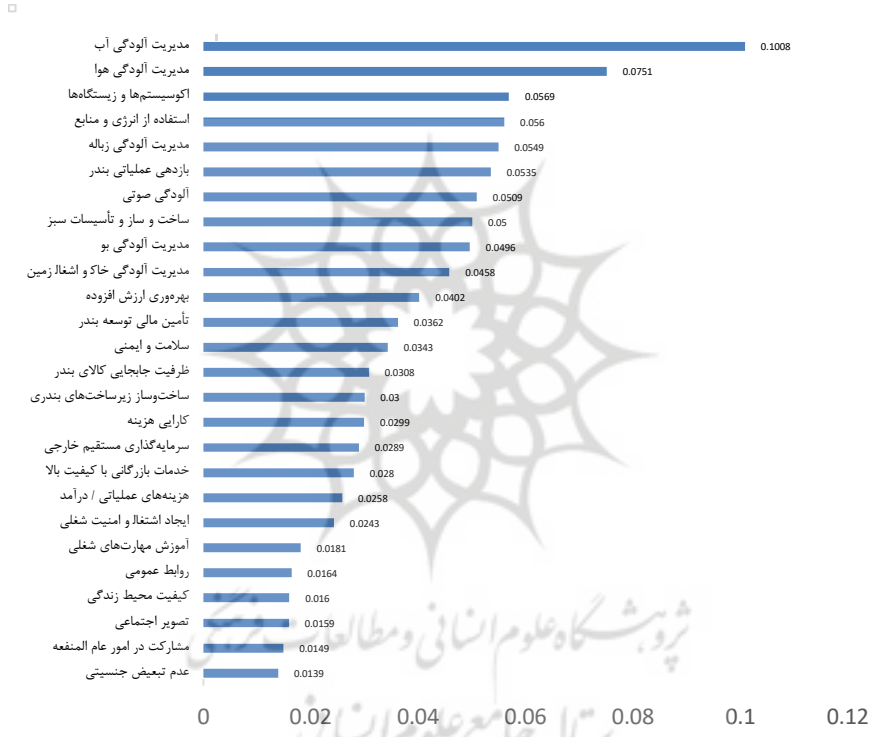
کد	نام معیار	وزن فازی	وزن قطعی	رتبه
C1	سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	(۰.۰۳۸۲, ۰.۱۰۶۶, ۰.۱۰۶۶)	۰.۰۹۵۲	۷
C2	بهره‌وری ارزش افزوده	(۰.۰۷۸۸, ۰.۱۴۲۷, ۰.۱۴۲۷)	۰.۱۳۲۱	۲
C3	بازدهی عملیاتی بندر	(۰.۱۰۵۵, ۰.۱۹۰۱, ۰.۱۹۰۱)	۰.۱۷۶۰	۱
C4	خدمات بازرگانی با کیفیت بالا	(۰.۰۴۳۲, ۰.۱۰۲, ۰.۱۰۲)	۰.۰۹۲۲	۸
C5	تأمین مالی توسعه بندر	(۰.۰۶۰۹, ۰.۱۳۰۹, ۰.۱۳۰۹)	۰.۱۱۹۲	۳
C6	ساخت‌وساز زیرساخت‌های بندری	(۰.۰۴۹۹, ۰.۱۰۸۵, ۰.۱۰۸۵)	۰.۰۹۸۷	۵
C7	ظرفیت جابجایی کالای بندر	(۰.۰۳۸۳, ۰.۱۱۳۲, ۰.۱۱۵۹)	۰.۱۰۱۲	۴
C8	هزینه‌های عملیاتی / درآمد	(۰.۰۵۱۶, ۰.۰۹۱۶, ۰.۰۹۱۶)	۰.۰۸۴۹	۹
C9	کارایی هزینه	(۰.۰۵۱۲, ۰.۱۰۸, ۰.۱۰۸)	۰.۰۹۸۵	۶

وزن نهایی زیرمعیارها نیز از ضرب وزن معیار اصلی در وزن نسبی زیرمعیارهایشان حاصل می‌شود وزن نسبی همان وزنی است که از روش فوکام فازی محاسبه شد. نتایج در جدول ۹ آورده شده است. بر این اساس در بین تمامی زیرمعیارها مدیریت آلودگی آب با وزن ۰/۱۰۰۸ رتبه اول را کسب کرده است. مدیریت آلودگی هوا با وزن ۰/۰۷۵۱ رتبه دوم و اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌ها با وزن ۰/۰۵۶۹ رتبه سوم را کسب کرده است

جدول ۹. وزن و رتبه نهایی زیرمعیارها

معیار	زیرمعیار	کد معیار	وزن نسبی	وزن نهایی	رتبه نهایی
زیست محیطی (۰/۵۴۱)	مدیریت آلودگی آب	A1	۰.۱۸۶۴	۰.۱۰۰۸	۱
	مدیریت آلودگی هوا	A2	۰.۱۳۸۸	۰.۰۷۵۱	۲
	استفاده از انرژی و منابع	A3	۰.۱۰۳۵	۰.۰۵۶۰	۴
	آلودگی صوتی	A4	۰.۰۹۴۰	۰.۰۵۰۹	۷
	اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌ها	A5	۰.۱۰۵۱	۰.۰۵۶۹	۳
	مدیریت آلودگی خاک و اشغال زمین	A6	۰.۰۸۴۷	۰.۰۴۵۸	۱۰
	مدیریت آلودگی زباله	A7	۰.۱۰۱۴	۰.۰۵۴۹	۵
	ساخت و ساز و تأسیسات سبز	A8	۰.۰۹۲۵	۰.۰۵۰۰	۸
	مدیریت آلودگی بو	A9	۰.۰۹۱۶	۰.۰۴۹۶	۹
اجتماعی (۰/۱۵۴)	سلامت و ایمنی	B1	۰.۲۲۲۸	۰.۰۳۴۳	۱۳
	ایجاد اشتغال و امنیت شغلی	B2	۰.۱۵۷۷	۰.۰۲۴۳	۲۰
	آموزش مهارت‌های شغلی	B3	۰.۱۱۷۳	۰.۰۱۸۱	۲۱
	روابط عمومی	B4	۰.۱۰۶۸	۰.۰۱۶۴	۲۲
	عدم تبعیض جنسیتی	B5	۰.۰۹۰۱	۰.۰۱۳۹	۲۶
	تصویر اجتماعی	B6	۰.۱۰۳۰	۰.۰۱۵۹	۲۴
	کیفیت محیط زندگی	B7	۰.۱۰۳۸	۰.۰۱۶۰	۲۳
	مشارکت در امور عام المنفعه	B8	۰.۰۹۶۶	۰.۰۱۴۹	۲۵

معیار	زیرمعیار	کد معیار	وزن نسبی	وزن نهایی	رتبه نهایی
اقتصادی (۰/۳۰۴)	سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	C1	۰.۰۹۵۲	۰.۰۲۸۹	۱۷
	بهره‌وری ارزش افزوده	C2	۰.۱۳۲۱	۰.۰۴۰۲	۱۱
	بازدهی عملیاتی بندر	C3	۰.۱۷۶۰	۰.۰۵۳۵	۶
	خدمات بازرگانی با کیفیت بالا	C4	۰.۰۹۲۲	۰.۰۲۸۰	۱۸
	تأمین مالی توسعه بندر	C5	۰.۱۱۹۲	۰.۰۳۶۲	۱۲
	ساخت‌وساز زیرساخت‌های بندری	C6	۰.۰۹۸۷	۰.۰۳۰۰	۱۵
	ظرفیت جابجایی کالای بندر	C7	۰.۱۰۱۲	۰.۰۳۰۸	۱۴
	هزینه‌های عملیاتی / درآمد	C8	۰.۰۸۴۹	۰.۰۲۵۸	۱۹
	کارایی هزینه	C9	۰.۰۹۸۵	۰.۰۲۹۹	۱۶



شکل ۲: وزن و اولویت نهایی زیرمعیارها

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پیشـــنهادهای کاربردی. این پژوهش یک چارچوب ترکیبی برای ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل پایداری در مدیریت بنادر با اســتفاده از روش‌های دلفی فازی و فوکام فازی ارائه داده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که بعد زیست‌محیطی با وزن نهایی ۰/۵۴۱ بالاترین اولویت را در میان ابعاد ســه‌گانه پایداری به خود اختصــاص داده اســت. این نتیجه نه تنها حاصــل ارزیابی‌های عددی و نظرات خبرگان بندری اســت، بلکه دارای پشــتوانه شــهودی و منطقی نیز می‌باشــد. از منظر عملیاتی، فعالیت‌های بندری—به‌ویژه در بنادر کانتینری پرترافیک مانند بندر شهید رجایی—تأثیر مستقیمی بر محیط زیست دارند. آلودگی هوا و آب ناشی از تخلیه و بارگیری کشتی‌ها، سوخت‌های سنگین دریایی، فعالیت تجهیزات سنگین بندری، و زباله‌های صنعتی از جمله تهدیدات زیست‌محیطی قابل توجه هستند .

مهم‌ترین اولویت‌های زیست‌محیطی شامل مدیریت آلودگی آب و هوا و حفاظت از اکوسیستم‌ها است، در حالی که سلامت و ایمنی، امنیت شغلی و توسعه مهارت‌ها در بعد اجتماعی بیشترین اهمیت را دارند. شایان ذکر است که وقوع حوادث در محوطه‌های کانتینری بندر شهید رجایی، اهمیت توجه به شاخص‌های زیست‌محیطی و ایمنی را بیش از پیش آشکار ساخته است. این رویدادها نشان می‌دهد که ضعف در کنترل ریسک‌های زیست‌محیطی و ایمنی می‌تواند نه تنها خسارات فیزیکی و زیست‌محیطی قابل توجهی ایجاد کند، بلکه اعتماد ذی‌نفعان و اعتبار عملیاتی بندر را نیز تحت تأثیر قرار دهد. در همین راستا، یافته‌های این پژوهش که شاخص‌هایی مانند مدیریت آلودگی، سلامت و ایمنی، و زیرساخت‌های سبز را در اولویت قرار داده‌اند و به‌وضوح نیاز به اتخاذ رویکردهای پیشگیرانه و پایدار در مدیریت بندر را تأیید می‌کنند.

افزون بر این، همانطور که در مرور ادبیات بیان شد، رعایت استانداردهای بین‌المللی زیست‌محیطی از جمله الزامات سازمان بین‌المللی دریانوردی[1] IMO و اهداف توسعه پایدار[2] (SDGs) سازمان ملل، فشار مضاعفی بر بنادر برای کنترل پیامدهای محیط‌زیستی وارد کرده است. بسیاری از ذی‌نفعان داخلی و خارجی از جمله خطوط کشتیرانی، بازرگانان بین‌المللی و نهادهای نظارتی نیز معیارهای زیست‌محیطی را در ارزیابی عملکرد بنادر لحاظ می‌کنند که همین مسئله نقش آن را در ارتقای رقابت‌پذیری بندر تقویت می‌کند. از منظر شهودی، آسیب‌های زیست‌محیطی نه‌تنها گستره وسیعی دارند بلکه اثرات آن‌ها بلندمدت و غیرقابل بازگشت است. به عنوان مثال، آلودگی آب در نزدیکی بنادر می‌تواند اکوسیستم‌های دریایی را به طور جبران‌ناپذیری مختل کند، و همین موضوع مستقیماً معیشت جوامع محلی و صنعت شیلات را تهدید می‌کند. از این رو، کنترل و بهبود عوامل زیست‌محیطی نه‌تنها در راستای حفاظت از طبیعت بلکه در جهت پایداری اقتصادی و اجتماعی نیز مؤثر است و نقش بنیادینی در توسعه متوازن بندر ایفا می‌کند. بنابراین، اولویت یافتن بعد زیست‌محیطی در این پژوهش، علاوه بر شواهد کمی، حاصل درک عمیق از ماهیت عملیاتی و اثرات بلندمدت تصمیمات زیست‌محیطی در مدیریت بنادر است.

در بعد اقتصادی نیز، کارایی عملیاتی بنادر، بهره‌وری ارزش افزوده و پایداری مالی به‌عنوان عوامل تأثیرگذار شناسایی شدند. مدل پیشنهادی یک ابزار ساختاریافته برای پایش عملکرد پایداری، شناسایی فرصت‌های بهبود و اجرای راهبردهای مدیریتی مبتنی بر داده فراهم می‌کند که دقت و کارایی ارزیابی‌های مربوط به پایداری را افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری. چارچوب پیشنهادی با اولویت‌بندی عوامل پایداری، به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا در شرایط محدودیت منابع، اقدامات راهبردی مؤثرتری را برنامه‌ریزی و اجرا کنند. همچنین، تأکید بر مدیریت زیست‌محیطی، بنادر را به‌سوی انطباق با الزامات بین‌المللی و ارتقاء اعتبار بین‌المللی سوق می‌دهد. استفاده از نتایج این تحقیق در تدوین سیاست‌های زیست‌محیطی، برنامه‌ریزی زیرساختی، و تخصیص منابع می‌تواند نقش کلیدی در ارتقاء عملکرد پایدار بندر ایفا کند

از دیدگاه آکادمیک، این پژوهش به توسعه ادبیات مربوط به ارزیابی عملکرد پایدار بنادر کمک کرده است. نوآوری روش‌شناختی استفاده از ترکیب دلفی فازی و فوکام فازی در یک زمینه کاربردی واقعی، به غنای مطالعات بین‌رشته‌ای در حوزه‌های مهندسی صنایع، مدیریت زنجیره تأمین و پایداری کمک می‌کند. این مدل می‌تواند مبنایی برای توسعه ابزارهای اندازه‌گیری عملکرد در سایر زیرساخت‌های حمل‌ونقلی نیز باشد. همچنین، وزن‌دهی داده‌محور به شاخص‌های پایداری امکان مقایسه میان بنادر مختلف را فراهم می‌سازد و بستر مناسبی برای تحلیل‌های تطبیقی در پژوهش‌های آینده مهیا می‌کند.

از دیدگاه صنعتی، یافته‌های این پژوهش دارای کاربردهای متنوعی برای مدیران بنادر، سیاست‌گذاران و فعالان حوزه لجستیک است. چارچوب ارائه‌شده به بنادر کمک می‌کند تا عملکرد پایداری خود را به‌صورت سیستماتیک ارزیابی کرده و با مقررات بین‌المللی همگام شوند سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های سبز، توسعه نیروی انسانی و دیجیتالی‌سازی فرآیندهای بندری می‌تواند کارایی، تاب‌آوری و رقابت‌پذیری بنادر را افزایش دهد .همچنین، ادغام مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی و اقتصادی در تصمیم‌گیری‌های بندری به کاهش اثرات منفی و تضمین پایداری عملیات کمک خواهد کرد.

1- International Maritime Organisation
2- Sustainable Development Goals

با توجه به اینکه چارچوب ارائه‌شده در این تحقیق بر اساس مطالعات موردی بندر شهید رجایی طراحی و تحلیل شده است، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی کاربرد این مدل در سایر بنادر ایران و منطقه با ویژگی‌های مختلف اقتصادی، جغرافیایی و عملیاتی مورد بررسی قرار بگیرد. این امر می‌تواند منجر به اعتبارسنجی تطبیقی و افزایش قابلیت تعمیم مدل گردد. همچنین، پیشنهاد می‌شود، امکان یکپارچه‌سازی مدل سنجش پایداری با استفاده از داده‌های بلادرنگ مانند حسگرهای آلودگی، سیستم‌های تردد وسایل نقلیه، و سامانه‌های دیجیتال عملیاتی مدنظر قرار گیرد. این تلفیق می‌تواند دقت ارزیابی عملکرد پایدار را به طرز معناداری افزایش دهد. می‌توان در تحقیقات آینده بررسی کرد که چگونه مدل‌های ارائه‌شده می‌توانند به‌طور مستقیم در تدوین برنامه‌های استراتژیک بندری و ارزیابی سیاست‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به‌کار روند. در نهایت، با توجه به نقش کلیدی ذینفعان مختلف در مدیریت پایداری بندر (مانند گمرک، خطوط کشتیرانی، اپراتورهای ترمینال و جامعه محلی)، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده به توسعه نسخه‌ای از مدل بپردازند که از ابزارهای مشارکتی برای ارزیابی همزمان دیدگاه‌های ذینفعان بهره گیرد.

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

پیوست‌ها

جدول ۳. نتایج دلفی فازی معیارها

معیار	زیرمعیار	کد معیار	میانگین فازی	میانگین غیرفازی	وضعیت
زیست محیطی (A)	مدیریت آلودگی آب	A1	(۰.۶۶۱ ,۰.۹۱۱ ,۱)	۰.۸۵۷	تایید
	مدیریت آلودگی هوا	A2	(۰.۵۸۹ ,۰.۸۳۹ ,۰.۹۸۲)	۰.۸۰۴	تایید
	استفاده از انرژی و منابع	A3	(۰.۵۸۹ ,۰.۸۳۹ ,۰.۹۶۴)	۰.۷۹۸	تایید
	آلودگی صوتی	A4	(۰.۵۵۴ ,۰.۸۰۴ ,۰.۹۶۴)	۰.۷۷۴	تایید
	مدیریت بندر سبز	-	(۰.۳۷۵ ,۰.۶۲۵ ,۰.۸۷۵)	۰.۶۲۵	رد
	اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌ها	A5	(۰.۵۵۴ ,۰.۸۰۴ ,۰.۹۶۴)	۰.۷۷۴	تایید
	مدیریت آلودگی خاک و اشغال زمین	A6	(۰.۴۸۲ ,۰.۷۳۲ ,۰.۹۱۱)	۰.۷۰۸	تایید
	مدیریت آلودگی زباله	A7	(۰.۵۵۴ ,۰.۸۰۴ ,۰.۹۶۴)	۰.۷۷۴	تایید
	ساخت و ساز و تأسیسات سبز	A8	(۰.۵ ,۰.۷۵ ,۰.۹۱۱)	۰.۷۲۰	تایید
	مدیریت آلودگی بو	A9	(۰.۴۸۲ ,۰.۷۳۲ ,۰.۹۲۹)	۰.۷۱۴	تایید
اجتماعی (B)	سلامت و ایمنی	B1	(۰.۶۹۶ ,۰.۹۴۶ ,۱)	۰.۸۸۱	تایید
	ایجاد اشتغال و امنیت شغلی	B2	(۰.۶۲۵ ,۰.۸۷۵ ,۰.۹۸۲)	۰.۸۲۷	تایید
	آموزش مهارت‌های شغلی	B3	(۰.۵۸۹ ,۰.۸۳۹ ,۱)	۰.۸۱۰	تایید
	روابط عمومی	B4	(۰.۵۷۱ ,۰.۸۲۱ ,۰.۹۸۲)	۰.۷۹۲	تایید
	عدم تبعیض جنسیتی	B5	(۰.۵۷۱ ,۰.۸۲۱ ,۰.۹۴۶)	۰.۷۸۰	تایید
	تصویر اجتماعی	B6	(۰.۵ ,۰.۷۵ ,۰.۹۶۴)	۰.۷۳۸	تایید
	کیفیت محیط زندگی	B7	(۰.۵۸۹ ,۰.۸۳۹ ,۰.۹۸۲)	۰.۸۰۴	تایید
	مشارکت در امور عام المنفعه	B8	(۰.۵ ,۰.۷۵ ,۰.۹۱۱)	۰.۷۲۰	تایید
اقتصادی	سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	C1	(۰.۵۳۶ ,۰.۷۸۶ ,۰.۹۴۶)	۰.۷۵۶	تایید

معیار	زیرمعیار	کد معیار	میانگین فازی	میانگین غیرفازی	وضعیت
(C)	بهره‌وری ارزش افزوده	C2	(۰.۶۰۷ ,۰.۸۵۷ ,۱)	۰.۸۲۱	تایید
	بازدهی عملیاتی بندر	C3	(۰.۶۷۹ ,۰.۹۲۹ ,۱)	۰.۸۶۹	تایید
	خدمات بازرگانی با کیفیت بالا	C4	(۰.۵ ,۰.۷۵ ,۰.۹۴۶)	۰.۷۳۲	تایید
	مزایای کسب شده از ذینفعان خارجی	-	(۰.۳۷۵ ,۰.۶۲۵ ,۰.۸۳۹)	۰.۶۱۳	رد
	تأمین مالی توسعه بندر	C5	(۰.۶۲۵ ,۰.۸۷۵ ,۰.۹۸۲)	۰.۸۲۷	تایید
	ساخت‌وساز زیرساخت‌های بندری	C6	(۰.۵۱۸ ,۰.۷۶۸ ,۰.۹۴۶)	۰.۷۴۴	تایید
	ظرفیت جابجایی کالای بندر	C7	(۰.۵۳۶ ,۰.۷۸۶ ,۰.۹۴۶)	۰.۷۵۶	تایید
	تولید ناخالص داخلی (GDP)	-	(۰.۳۷۵ ,۰.۶۲۵ ,۰.۸۰۴)	۰.۶۰۱	رد
	هزینه‌های عملیاتی / درآمد	C8	(۰.۵ ,۰.۷۵ ,۰.۹۲۹)	۰.۷۲۶	تایید
	کارایی هزینه	C9	(۰.۵۸۹ ,۰.۸۳۹ ,۰.۹۲۹)	۰.۷۸۶	تایید

منابع

1. Agarwal, A. (2020). Investigating design targets for effective performance management system : an application of balanced scorecard using QFD. *Journal of Advances in Management Research*, *18*(3), 353-367. https://doi.org/10.1108/JAMR-05-2020-0075/FULL/XML
2. Balbaa, A., & Liyanage, J. P. (2010). Environmental sustainability management process in a port of study in Egypt : compliance level and importance analysis towards an integrated methodology. *International Journal of Sustainable Strategic Management*, *2*(2), 111. https://doi.org/10.1504/IJSSM.2010.032555
3. Barjasteh Nezhad, S., Kazemi, M., & Pooya, A. (2022). Performance Evaluation with a Combination of Balanced Scorecard Model and the Fuzzy Best-Worst Method (Case Study : Mashhad City Train Operation Company). *Journal of Industrial Management Perspective*, *12*(3), 173-201. https://doi.org/10.52547/JIMP.12.3.173 (In Persian)
4. Becker, J., Becker, A., & Sałabun, W. (2017). Construction and Use of the ANP Decision Model Taking into Account the Experts' Competence. *Procedia Computer Science*, *112*, 2269-2279. https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2017.08.145
5. Behjat, S., & Nahavandi, N. (2020). Quay cranes and yard trucks scheduling problem at container terminals. *International Journal of Engineering Transactions C: Aspects*, *33*(9), 1751-1758. https://doi.org/10.5829/ije.2020.33.09c.08
6. Bhattacharya, A., Mohapatra, P., Kumar, V., Dey, P. K., Brady, M., Tiwari, M. K., & Nudurupati, S. S. (2014). Green supply chain performance measurement using fuzzy ANP-based balanced scorecard : a collaborative decision-making approach. *Production Planning & Control*, *25*(8), 698-714. https://doi.org/10.1080/09537287.2013.798088
7. Carlan, V., Sys, C., & Vanelslander, T. (2016). How port community systems can contribute to port competitiveness : Developing a cost-benefit framework. *Research in Transportation Business & Management*, *19*, 51-64. https://doi.org/10.1016/J.RTBM.2016.03.009

8. Chang, E. W., & Tai, H. H. (2021). An Investigation into Switching Vessel Sizes for Efficient Container Terminal Operations : A Case Study of Kaohsiung Port. *International Journal of Maritime Engineering*, *163*(A1), 101-118. https://doi.org/10.5750/IJME.V163IA1.9
9. Chen, Z., Ming, X., Zhang, X., Yin, D., & Sun, Z. (2019). A rough-fuzzy DEMATEL-ANP method for evaluating sustainable value requirement of product service system. *Journal of Cleaner Production*, *228*, 485-508. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.04.145
10. Dedasht, G., Zin, R. M., Ferwati, M. S., Abdullahi, M. M., Keyvanfar, A., & McCaffer, R. (2017). DEMATEL-ANP Risk Assessment in Oil and Gas Construction Projects. *Sustainability 2017, Vol. 9, Page 1420*, *9*(8), 1420. https://doi.org/10.3390/SU9081420
11. Fedorenko, R., Yakhneeva, I., Zaychikova, N., & Lipinsky, D. (2021). Evaluating the socio-economic factors impacting foreign trade development in port areas. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(15). https://doi.org/10.3390/su13158447
12. Ferwati, M. S., Al Saeed, M., Shafaghat, A., & Keyvanfar, A. (2019). Qatar Sustainability Assessment System (QSAS)-Neighborhood Development (ND) Assessment Model : Coupling green urban planning and green building design. *Journal of Building Engineering*, *22*, 171-180. https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2018.12.006
13. Ghasemzadeh Moghaddam, S., Zare Ahmadabadi, H., Naser Sadrabadi, A., Hosseini Bamakan, S. M., & Zamzam, F. (2025). A Model for the Distribution of Construction Credits Based on Network Data Envelopment Analysis. *Journal of Industrial Management Perspective*, *15*(1), 193-224. https://doi.org/10.48308/JIMP.15.1.193 (In Persian)
14. Hansen, E. G., & Schaltegger, S. (2016). The Sustainability Balanced Scorecard : A Systematic Review of Architectures. *Journal of Business Ethics*, *133*(2), 193-221. https://doi.org/10.1007/S10551-014-2340-3/TABLES/4
15. Haralambides, H. E. (2019). Gigantism in container shipping, ports and global logistics : a time-lapse into the future. *Maritime Economics and Logistics*, *21*(1), 1-60. https://doi.org/10.1057/S41278-018-00116-0/FIGURES/23
16. Home | Ports & Maritime Organization. (2025). Retrieved February 13, 2025, from https://shahidrajaeeport.pmo.ir/en/home1
17. Hossain, T., Adams, M., & Walker, T. R. (2019). Sustainability initiatives in Canadian ports. *Marine Policy*, *106*, 103519. https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2019.103519
18. Hou, J., Shi, J., Chen, L., Zhang, Z., & Kuang, E. (2024). Exploring the spatial spillover effects of Yangtze River Delta ports on urban economic growth. *PLoS ONE*, *19*(8). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307770
19. Ignaccolo, M., Inturri, G., Giuffrida, N., & Torrisi, V. (2020). *A Sustainable Framework for the Analysis of Port Systems*.
20. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action - Harvard Business School Press*. https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=8831

21. Karakas, S., Acar, A. Z., & Kirmizi, M. (2020). Development of a multidimensional performance evaluation model for container terminals at Marmara Sea. *Research in Transportation Business and Management*, *37*. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100498
22. Kishore, L., Pai, Y. P., Ghosh, B. K., & Pakkan, S. (2024). Maritime shipping ports performance: a systematic literature review. *Discover Sustainability 2024 5:1*, *5*(1), 1-23. https://doi.org/10.1007/S43621-024-00299-Y
23. Krmac, E., & Mansouri Kaleibar, M. (2023). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) methodology in port efficiency evaluation. *Maritime Economics & Logistics 2022 25:4*, *25*(4), 817-881. https://doi.org/10.1057/S41278-022-00239-5
24. Kurt, I., Aymelek, M., Boulougouris, E., & Turan, O. (2021). Operational cost analysis for a container shipping network integrated with offshore container port system: A case study on the West Coast of North America. *Marine Policy*, *126*, 104400. https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2021.104400
25. Lim, S., Pettit, S., Abouarghoub, W., & Beresford, A. (2019). Port sustainability and performance: A systematic literature review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *72*, 47-64. https://doi.org/10.1016/J.TRD.2019.04.009
26. Lu, C.-S., Shang, K.-C., & Lin, C.-C. (2016). Identifying crucial sustainability assessment criteria for container seaports. *Maritime Business Review*, *1*(2), 90-106. https://doi.org/10.1108/mabr-05-2016-0009
27. Mio, C., Costantini, A., & Panfilo, S. (2022). Performance measurement tools for sustainable business: A systematic literature review on the sustainability balanced scorecard use. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, *29*(2), 367-384. https://doi.org/10.1002/CSR.2206
28. Mousavi, P., Yousefi Zenouz, R., & Hassanpoor, A. (2015). *IDENTIFYING ORGANIZATIONAL INFORMATION SECURITY RISKS USING FUZZY DELPHI*. *7*(1), 163-184. https://sid.ir/paper/140465/en (In Persian)
29. Ocampo, L. (2022). Full consistency method (FUCOM) and weighted sum under fuzzy information for evaluating the sustainability of farm tourism sites. *Soft Computing*, *26*(22), 12481-12508. https://doi.org/10.1007/S00500-022-07184-8/TABLES/8
30. Okay, N. C., Sencer, A., & Taskin, N. (2024). Quantitative indicators for environmental and social sustainability performance assessment of the supply chain. *Environment, Development and Sustainability*, 1-21. https://doi.org/10.1007/S10668-024-05210-3/TABLES/4
31. Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM). *Symmetry 2018, Vol. 10, Page 393*, *10*(9), 393. https://doi.org/10.3390/SYM10090393
32. Puig, M., Wooldridge, C., Darbra, R. M., & Chair, E. (2023). *ESPO Environmental Report- EcoPortsinSights 2022 3 PREPARED BY*. www.ecoslc.eu
33. Rodrigues, K. T., & Ensslin, S. R. (2024). Environmental performance evaluation in ports: a literature review and future research guidelines. *Maritime Economics and Logistics*, *26*(2), 241-260. https://doi.org/10.1057/S41278-023-00268-8/METRICS

34. Saaty, T. L. (2004). Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering 2004 13:1*, *13*(1), 1-35. https://doi.org/10.1007/S11518-006-0151-5
35. Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2013). *Decision Making with the Analytic Network Process*. *195*. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7
36. 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. https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2022.112671
37. Sorgenfrei, J. (2018). *Port Business* (2nd ed.). EBSCO.
38. Stanković, J. J., Marjanović, I., Papathanasiou, J., & Drezgić, S. (2021). Social, economic and environmental sustainability of port regions: Mcdm approach in composite index creation. *Journal of Marine Science and Engineering*, *9*(1), 1-17. https://doi.org/10.3390/jmse9010074
39. Su, B., Zhao, R., & Xie, X. (2022). Measurement and comparative study of production and operation efficiency of Chinese ports under the background of high quality development. *Https://Doi.Org/10.1117/12.2645783*, *12302*, 1369-1374. https://doi.org/10.1117/12.2645783
40. Talley, W. K. (1994, December). *Performance indicators and port performance evaluation - ProQuest*. https://www.proquest.com/openview/645080c00b164958aa86649ebc47987c/1?pq-origsite=gscholar&cbl=35644
41. Teerawattana, R., & Yang, Y. C. (2019). Environmental Performance Indicators for Green Port Policy Evaluation: Case Study of Laem Chabang Port. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, *35*(1), 63-69. https://doi.org/10.1016/J.AJSL.2019.03.009
42. Tijan, E., Jović, M., Panjako, A., & Žgaljić, D. (2021). The role of port authority in port governance and port community system implementation. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(5), 1-14. https://doi.org/10.3390/su13052795
43. Tongzon, J. L., & Ganesalingam, S. (1994). An Evaluation of ASEAN Port Performance and Efficiency*. *Asian Economic Journal*, *8*(3), 317-330. https://doi.org/10.1111/J.1467-8381.1994.TB00020.X
44. UNCTAD. (2024). *Review of maritime transport 2024*.
45. Vega-Muñoz, A., Salazar-Sepulveda, G., Espinosa-Cristia, J. F., & Sanhueza-Vergara, J. (2021). How to measure environmental performance in ports. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 7). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/su13074035
46. Wang, H., Daoutidis, P., & Zhang, Q. (2023). Ammonia-based green corridors for sustainable maritime transportation. *Digital Chemical Engineering*, *6*, 100082. https://doi.org/10.1016/J.DCHE.2022.100082
47. Yaghoubi, A., Amiri, M., & Safi Samghabadi, A. (2014). Designing a Hybrid Approach to Predict the Performance of Decision Making Units Based on Fuzzy Stochastic DEA and PCA. *Journal of Industrial Management Perspective*, *4*(3), 157-176. https://jimp.sbu.ac.ir/article_87282_en.html (In Persian)