



Developing a Theoretical Framework for Smart Ports

Floria Khonsary

PhD Student in Technology Management, Technology Transfer, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author).

Email: khonsary@gmail.com

Mohammadreza Movahedi Sefat

Associate Professor and Faculty Member, Supreme National Defense University, Tehran, Iran.

Hossein Adab

PhD in Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Despite the growing body of literature on smart ports, existing studies have predominantly focused on the technological, operational, or managerial dimensions of this phenomenon, while relatively limited attention has been paid to an integrated explanation of its theoretical constructs and the conceptual relationships among them. Given that the smart port is an interdisciplinary concept encompassing technological, process-related, and institutional dimensions, the present study aimed to identify its theoretical constructs and develop an integrated theoretical framework for smart ports. The study is developmental-applied in terms of purpose and qualitative in terms of the nature of its data. Data were collected through the search, selection, and review of scientific sources and the extraction of relevant concepts and themes. Data analysis was conducted using directed thematic analysis with MAXQDA Analytics Pro 2020. An initial theoretical framework was first developed based on the literature, after which the selected studies were systematically coded and examined through frequency and co-occurrence analyses. The findings showed that the theoretical framework for smart ports is based on four main constructs: Industry 4.0, the evolutionary process of digital transformation, technological and infrastructural enablers, and the institutional and governance framework. Frequency and co-occurrence analyses indicated that the evolutionary process of digital transformation and technological and infrastructural enablers constitute the central core of the theoretical framework. Industry 4.0 was identified as a bridging construct, while the institutional and governance framework was found to play an institutional-regulatory role. Accordingly, the proposed framework was organized into a three-layer structure. The novelty of the study lies in identifying and organizing the key constructs of smart ports and explaining the relationships among them within an integrated three-layer theoretical framework.

Keywords: Smart Port; Theoretical Framework; Industry 4.0; Digital Transformation; Digital Technologies; Governance





فصلنامه مطالعات بین‌رشته‌ای دانش راهبردی

سال شانزدهم، ویژه‌نامه (پیاپی ۶۳)، بهار ۱۴۰۵، صص. ۷۷-۱۱۴
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۹

مقاله پژوهشی

ارائه یک چهارچوب نظری برای بنادر هوشمند

فلوریا خونساری

دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت تکنولوژی، گرایش انتقال تکنولوژی، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
Email: khonsary@gmail.com

محمد رضا موحدی صفت

دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران

حسین ادب

دکتری مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

با وجود گسترش ادبیات علمی در حوزه بنادر هوشمند، مطالعات موجود عمدتاً بر ابعاد فناورانه، عملیاتی یا مدیریتی این پدیده متمرکز بوده‌اند و تبیین یکپارچه سازه‌های نظری و روابط مفهومی میان آن‌ها کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. از آنجاکه بنادر هوشمند مفهومی میان‌رشته‌ای است که ابعاد فناورانه، فرایندی و نهادی را در برمی‌گیرد، پژوهش با هدف شناسایی سازه‌های نظری و تدوین چهارچوب نظری یکپارچه برای بنادر هوشمند انجام شد. این پژوهش از نوع توسعه‌ای-کاربردی و از نظر ماهیت داده‌ها کیفی است. داده‌ها از طریق جست‌وجو، انتخاب و بررسی منابع علمی و استخراج مفاهیم و مضامین آن‌ها گردآوری شدند. تحلیل داده‌ها با روش تحلیل مضمون جهت‌دار و نرم‌افزار MAXQDA Analytics Pro 2020 انجام شد. بدین منظور، ابتدا چهارچوب نظری اولیه بر پایه ادبیات تدوین و سپس مطالعات منتخب به‌صورت نظام‌مند کدگذاری و از طریق تحلیل فراوانی و هم‌رخدادی بررسی شدند. یافته‌ها نشان داد که چهارچوب نظری بنادر هوشمند بر چهار سازه اصلی شامل صنعت ۴٫۰، فرایند تکاملی تحول دیجیتال، توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی و چهارچوب نهادی و حکمرانی استوار است. تحلیل فراوانی و هم‌رخدادی نشان داد دو سازه «فرایند تکاملی تحول دیجیتال» و «توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی» هسته مرکزی چهارچوب نظری بنادر هوشمند را تشکیل می‌دهند. همچنین، «صنعت ۴٫۰» به‌عنوان سازه پیوندی و «چهارچوب نهادی و حکمرانی» به‌عنوان سازه تنظیم‌گر نهادی شناسایی شدند. براین اساس، چهارچوب پژوهش در قالب ساختاری سه‌لایه سازمان‌دهی شد. نوآوری پژوهش در شناسایی و سازمان‌دهی سازه‌های کلیدی بنادر هوشمند و تبیین روابط میان آن‌ها در قالب چهارچوب نظری سه‌لایه است.

کلیدواژه‌ها: بنادر هوشمند، چهارچوب نظری، صنعت ۴٫۰، تحول دیجیتال، فناوری‌های دیجیتال، حکمرانی

دانشگاه عالی دفاع ملی ♦ پژوهشکده مطالعات راهبردی و امنیت ملی / فصلنامه مطالعات بین‌رشته‌ای دانش راهبردی



<https://smsnds.sndu.ac.ir/> E-ISSN: 2980-8413



صحت مطالب بر عهده نویسنده مقاله است و باینگر دیدگاه دانشگاه عالی دفاع ملی نیست.



مقدمه

بنادر به‌عنوان گره‌های حیاتی در تجارت جهانی و رشد اقتصادی کشورها، نقش اساسی در عملکرد زنجیره‌های تأمین بین‌المللی ایفا می‌کنند.

با توجه به این‌که حدود ۸۰ درصد از حجم تجارت جهانی از طریق حمل‌ونقل دریایی جابه‌جا می‌شود، بنادر به‌درستی به‌عنوان ارکان حیاتی اقتصاد جهانی شناخته می‌شوند (Paraskevas et al., 2024). با این سهم از تجارت جهانی و رشد ثابت سالیانه ۴٪ در تجارت بین‌المللی دریایی، علاقه فزاینده به توسعه یک زیست‌بوم بندر هوشمند با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای پاسخ‌گویی به تقاضاهای بندری آشکار است (Yau et al., 2020).

در عصر انقلاب صنعتی چهارم، ادغام فناوری‌های نوین دیجیتال در عملیات بندری موجب شکل‌گیری مفهوم بندر هوشمند شده است. این رویکرد منجر به افزایش استفاده از فناوری‌های دیجیتال مانند اینترنت اشیا، کلان‌داده، رایانش ابری و هوش مصنوعی در زنجیره‌های تأمین شده است (Paraskevas et al., 2024). با نوآوری‌های سریع تکنولوژیک ناشی از انقلاب صنعتی چهارم، بنادر امروزی تحت فشار هستند تا نحوه عملکرد خود را برای مدیریت جریان‌های ترافیکی متحول کنند. چنین تحولی مستلزم توسعه یک سامانه بندر هوشمند است (Min, 2022). این سیستم‌ها، ساختار سنتی بنادر را به زیست‌بوم‌های دیجیتال یکپارچه و داده‌محور تبدیل می‌کنند (Yau et al., 2020).

هدف بندر هوشمند، به‌عنوان یکی از اجزای شهر هوشمند، بهره‌گیری از نوآوری‌های فناورانه برای بهبود فعالیت‌ها و خدمات بندری و تقویت توسعه اجتماعی-اقتصادی شهرها و مناطق از طریق ارتقای رقابت‌پذیری در تجارت بین‌المللی است. همچنین زیست‌بوم بندر هوشمند مصرف انرژی و ترافیک را به حداقل می‌رساند (Yau et al., 2020).

مفهوم بندر هوشمند محدوده‌ای از ویژگی‌ها را در برمی‌گیرد، ازجمله اتوماسیون، ارتباطات داده‌های بلادرنگ و یکپارچه‌سازی اینترنت اشیا برای تسهیل عملیات یکپارچه. به‌طور خاص، بنادر هوشمند به‌عنوان بندری تعریف می‌شوند که از فناوری‌های دیجیتال



برای افزایش کارایی عملیاتی، اصلاح فرایندهای تصمیم‌گیری و بهبود تجربه کلی برای ذی‌نفعان درگیر در حمل‌ونقل دریایی استفاده می‌کنند (Koritarov & Dimitrakiev, 2024).

با وجود رشد قابل‌توجه تعداد پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه بنادر هوشمند، فقدان یک چهارچوب نظری تلفیقی و مفهوم‌محور برای تبیین این پدیده همچنان از مهم‌ترین شکاف‌های موجود در ادبیات پژوهش به شمار می‌رود. مرور نظام‌مند ادبیات توسط Belmoukari و همکاران (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که اگرچه پژوهش‌ها در حوزه بنادر هوشمند به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته‌اند؛ اما همچنان اجماع نظری روشنی درباره تعریف، ابعاد و چهارچوب نظری این پدیده وجود ندارد و بخش عمده‌ای از مطالعات با رویکردی صرفاً فناوری‌محور، به آن پرداخته‌اند (Belmoukari et al., 2023). این عدم توافق در مطالعات دیگری نیز مورد تأکید قرار گرفته است. برای مثال، Pham (2023) تأکید می‌کند که هنوز توافقی درباره تعریف دقیق بندر هوشمند شکل نگرفته است. وجود این شکاف در مطالعه Charlampowicz و همکاران (2024) نیز مورد تأکید واقع شده است. آنان بیان می‌کنند مدل‌های موجود عمدتاً برای عملیات لجستیکی سنتی طراحی شده و به‌طور جامع به اهداف دیجیتال و زیست‌محیطی بنادر مدرن هوشمند نمی‌پردازند (Charlampowicz & Karas, 2024). مجموعه این شواهد نشان می‌دهد که علی‌رغم رشد مطالعات بنادر هوشمند، هنوز چهارچوب نظری منسجمی برای تبیین سازه‌ها و روابط مفهومی تشکیل‌دهنده مفهوم بندر هوشمند شکل نگرفته است. به‌علاوه، علی‌رغم ذکر مکرر توسط محققان، تعاریف و فناوری‌های مرتبط با بنادر هوشمند همچنان پراکنده باقی‌مانده و فاقد آثار علمی واضح و جامع هستند (Hawari et al., 2024).

ازاین‌رو، خلأ اصلی در این حوزه نه کمبود مطالعات تجربی، بلکه فقدان یک ساختار نظری است که بتواند تعامل ابعاد فناورانه، فرایندی و نهادی را به‌صورت یکپارچه توضیح دهد. براین‌اساس، مسئله اصلی پژوهش حاضر تدوین چهارچوبی نظری است که بتواند سازه‌ها، زیرسازه‌ها و روابط مفهومی میان آن‌ها را در قالب یک ساختار منسجم تبیین کند.

اهمیت پژوهش حاضر در آن است که با ارائه یک چهارچوب نظری منسجم، به یکپارچه‌سازی مفاهیم و سازه‌های پراکنده حوزه بنادر هوشمند کمک می‌کند. چنین چهارچوبی می‌تواند مبنایی برای توسعه مدل‌های مفهومی، طراحی پژوهش‌های تجربی و تحلیل نظام‌مند فرایند هوشمندسازی بنادر فراهم سازد. ضرورت انجام پژوهش از آنجا ناشی می‌شود که با وجود رشد سریع مطالعات مرتبط با بنادر هوشمند، هنوز سازه‌ها و روابط مفهومی تشکیل‌دهنده این پدیده در قالب یک چهارچوب نظری منسجم سامان‌دهی نشده‌اند. این وضعیت موجب پراکندگی مفهومی در ادبیات شده و توسعه مدل‌های تحلیلی و پژوهش‌های آینده را با دشواری مواجه می‌کند.

هدف اصلی این پژوهش، تدوین و تبیین چهارچوب نظری بنادر هوشمند از طریق شناسایی سازه‌ها، زیرسازه‌ها و روابط مفهومی میان آن‌ها است.

مقاله حاضر به دنبال پاسخ به این پرسش بنیادین است که چهارچوب نظری بنادر هوشمند از چه سازه‌ها و زیرسازه‌هایی تشکیل شده و روابط میان آن‌ها چگونه قابل تبیین است؟

۱. مبانی نظری پژوهش

۱-۱. چهارچوب نظری

«چهارچوب نظری»^۱ مجموعه‌ای سازمان‌یافته از سازه‌ها، مفاهیم و روابط میان آن‌ها است که بر پایه نظریه‌ها و مطالعات پیشین شکل می‌گیرد و به پژوهشگر کمک می‌کند پدیده مورد مطالعه را به صورت نظام‌مند تبیین و تحلیل کند. چهارچوب نظری در حوزه‌های مختلف علمی از جمله مدیریت، مهندسی، علوم اجتماعی و علوم پزشکی کاربرد گسترده‌ای دارد، با این حال درباره تعریف دقیق و حدود مفهومی آن اتفاق نظر کاملی وجود ندارد.

پژوهشگران مختلف از زوایای متفاوتی به تعریف چهارچوب نظری پرداخته‌اند. Varpio (2020) چهارچوب نظری را به منزله یک داربست مفهومی می‌داند که از مفاهیم و پیش‌فرض‌های برگرفته از یک یا چند نظریه تشکیل شده و مطالعه را هدایت می‌کند. Luft و



همکاران (2022) نیز آن را لنزی تفسیری برای فهم و تبیین پدیده‌ها معرفی می‌کنند که بر نحوه درک و تفسیر پژوهشگر از موضوع اثر می‌گذارد. در مقابل، Hiebert و همکاران (2023) بر ماهیت پویای چهارچوب نظری تأکید داشته و آن را ساختاری متناسب با مسئله پژوهش می‌دانند که می‌تواند در طول فرایند تحقیق و متناسب با تحلیل داده‌ها تکمیل و بازنگری شود. این تعاریف اگرچه بر جنبه‌های متفاوتی تأکید دارند، همگی چهارچوب نظری را ابزاری برای سامان‌دهی مفاهیم و تبیین پدیده مورد مطالعه تلقی می‌کنند.

در حوزه‌های نوظهور و بین‌رشته‌ای مانند بنادر هوشمند، مفاهیم و مرزهای نظری هنوز به‌طور کامل تثبیت نشده‌اند و پژوهشگران از منظرهای گوناگون به تبیین این پدیده می‌پردازند. در چنین شرایطی، تدوین چهارچوب نظری می‌تواند به سازمان‌دهی مفاهیم، روشن شدن روابط میان آن‌ها و کاهش پراکندگی نظری در ادبیات کمک کند. همچنین چهارچوب نظری بستری برای توسعه مدل‌های تحلیلی و شکل‌گیری فهم مشترک از پدیده مورد مطالعه فراهم می‌سازد.

براساس مباحث مطرح‌شده، در این پژوهش چهارچوب نظری بنادر هوشمند به‌عنوان یک ساختار مفهومی نظام‌مند در نظر گرفته می‌شود که با هدف سازمان‌دهی سازه‌ها، زیرسازه‌ها و روابط مفهومی مرتبط با بنادر هوشمند توسعه‌یافته و مبنای تحلیل یافته‌های پژوهش قرار می‌گیرد. در این پژوهش، تأکید بر تبیین مفهومی و نظری پدیده است و از ورود به سطوح عملیاتی، شاخص‌سازی یا آزمون تجربی پرهیز شده است.

۱-۲. مفهوم بندر هوشمند

مفهوم بندر هوشمند را نمی‌توان جدا از تحولات کلان فناورانه و اقتصادی تبیین کرد. این مفهوم حاصل مسیری تکاملی است که تحت تأثیر انقلاب‌های صنعتی، گسترش فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات و پیچیده‌تر شدن زنجیره‌های تأمین جهانی شکل گرفته است. در چهار دهه اخیر، بنادر از مراکز سنتی به ساختارهایی دیجیتال، یکپارچه و مشارکتی حرکت کرده‌اند. این روند تکاملی در ادبیات علمی معمولاً در قالب نسل‌های مختلف بندری توصیف شده

است. بنادر در نخستین مراحل توسعه خود عمدتاً به‌عنوان نقاط تخلیه و بارگیری کالا عمل می‌کردند. با توسعه تجارت جهانی و شبکه‌های لجستیکی، نقش آن‌ها به‌تدریج از انجام عملیات فیزیکی فراتر رفت و به مراکز توزیع، هماهنگی و ارائه خدمات ارزش‌افزوده تبدیل شد. سپس گسترش فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، زمینه ظهور مفاهیمی مانند بندر دیجیتال، بندر خودکار و بندر سبز را فراهم کرد که هر یک بر جنبه‌ای از تحول بندری تأکید داشتند. این تحولات در نهایت زمینه شکل‌گیری بندر هوشمند را فراهم کردند (Hawari et al., 2024).

۳-۱. تعریف و ویژگی‌های بندر هوشمند

در ادامه این روند تکاملی، مفهوم بندر هوشمند به‌عنوان رویکردی جامع برای یکپارچه‌سازی فناوری‌های نوین، فرایندهای مدیریتی و تعامل میان ذی‌نفعان مطرح شد. این بنادر با بهره‌گیری از فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، زنجیره بلوکی، کلان‌داده، رباتیک و سامانه‌های خودکار، اهدافی همچون افزایش بهره‌وری عملیاتی، ارتقای ایمنی، بهبود عملکرد زیست‌محیطی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری هوشمند را دنبال می‌کنند. از این منظر، بندر هوشمند صرفاً مجموعه‌ای از فناوری‌های پیشرفته نیست، بلکه سیستمی پویا و داده‌محور است که عملکرد خود را از طریق تصمیم‌گیری هوشمند و تعامل میان ذی‌نفعان بهینه می‌سازد (Hawari et al., 2024; Min, 2022).

با وجود نبود تعریفی واحد و مورد توافق برای بندر هوشمند، مطالعات مختلف بر حرکت بنادر به‌سوی سطوح بالاتر هوشمندی، خودکارسازی و پایداری تأکید دارند (Pham, 2023). براین‌اساس، بندر هوشمند را می‌توان مرحله‌ای پیشرفته از تکامل بنادر دانست که در آن فناوری‌های دیجیتال، فرایندهای مدیریتی و سازوکارهای همکاری میان ذی‌نفعان به‌صورت یکپارچه برای ارتقای عملکرد و پایداری بندر به‌کار گرفته می‌شوند (Min, 2022; Hawari et al., 2024).



۲. پیشینه پژوهش

بنادر هوشمند از حوزه‌های میان‌رشته‌ای و نوظهوری هستند که در سال‌های اخیر توجه فزاینده پژوهشگران را به خود جلب کرده‌اند. با وجود گسترش مطالعات، بیشتر پژوهش‌ها بر فناوری‌های دیجیتال، شاخص‌های عملکردی و مدل‌های ارزیابی بلوغ و هوشمندی بنادر متمرکز بوده‌اند و به جنبه‌های مفهومی و چهارچوب‌های نظری این پدیده توجه کمتری شده است. در ادامه، برخی از مهم‌ترین مطالعات این حوزه مرور می‌شوند.

موسوی سرشت (۱۴۰۳) در مطالعه «چهارچوبی برای هوشمندسازی بنادر، با رویکرد تلفیق بلاکچین و هوش مصنوعی» معماری هوشمند بندری مبتنی بر تلفیق بلاکچین و هوش مصنوعی را ارائه کرده و نقش این فناوری‌ها را در بهبود امنیت داده‌ها، افزایش سرعت پردازش و کاهش وابستگی به ساختارهای متمرکز تبیین می‌کند.

Paraskevas و همکاران (2024) در مطالعه «بنادر هوشمند در صنعت ۴,۰: مروری سیستماتیک بر ادبیات» چهار حوزه اصلی پژوهش شامل شاخص‌های عملکرد، عوامل مؤثر بر عملکرد بندر، تعریف مفهومی بندر هوشمند و فناوری‌های دیجیتال را شناسایی کردند. آنان نبود چهارچوب استاندارد ارزیابی عملکرد، کمبود پژوهش‌های تجربی در بنادر کشورهای در حال توسعه و ضرورت توجه بیشتر به حکمرانی، پایداری و تحول دیجیتال را از مهم‌ترین شکاف‌های پژوهشی این حوزه دانستند.

Alzate و همکاران (2024) در پژوهش «بهره‌وری عملیاتی و پایداری در بنادر هوشمند: یک بررسی جامع» به بررسی روندهای پژوهشی در حوزه بنادر هوشمند پرداخته‌اند. آنان سه حوزه پژوهشی اصلی شامل تطبیق بنادر با صنعت ۴,۰ و پایداری، تحول بنادر به موجودیت‌های هوشمند در زنجیره تأمین جهانی و تکامل به‌سوی بنادر سبز و هوشمند را شناسایی کردند. مطالعه آنان بیشتر بر اثربخشی عملیاتی، پایداری و فناوری‌های دیجیتال متمرکز دارد.

Charlampowicz و همکاران (2024) در مطالعه «مدل بلوغ فرایند بنادر هوشمند- چهارچوب نظری» مدلی مبتنی بر پنج بُعد زیرساخت دیجیتال، کارایی عملیاتی، پایداری

محیط‌زیستی، مشارکت ذی‌نفعان و ایمنی و امنیت ارائه کردند و نشان دادند که مدل‌های بلوغ سستی برای تبیین پیچیدگی‌های دیجیتال و محیط‌زیستی بنادر هوشمند کافی نیستند. Koritarov و همکاران (2024) در مطالعه «تأثیر دیجیتالی شدن بر بنادر هوشمند: افزایش کارایی، پایداری و رقابت‌پذیری در صنعت دریانوردی» به بررسی نقش فناوری‌های دیجیتال در تحول بنادر هوشمند پرداخته‌اند. تمرکز اصلی مطالعه بر بهبود کارایی عملیاتی، پایداری محیطی و رقابت‌پذیری از طریق فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و تحلیل کلان‌داده است.

Toomeoja و همکاران (2025) در مطالعه «بررسی سیستماتیک بنادر هوشمند: روندها و مسیرهای تحقیقاتی آینده» نشان دادند که اگرچه ادبیات بنادر هوشمند به‌طور قابل توجهی گسترش یافته است، اما همچنان پراکنده بوده و تعریف واحدی از این مفهوم وجود ندارد. بااین‌حال، مؤلفه‌هایی مانند اتوماسیون، اتصال، پایداری و مشارکت ذی‌نفعان به‌طور فزاینده‌ای در مطالعات مختلف به‌عنوان عناصر کلیدی بنادر هوشمند شناسایی شده‌اند. مرور پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که مطالعات موجود عمدتاً بر فناوری‌های نوین، ارزیابی بلوغ دیجیتال و تحلیل عملکرد و پایداری بنادر متمرکز بوده‌اند. کم‌تر مطالعه‌ای به تبیین ساختار مفهومی و روابط میان جنبه‌های فناورانه، فرایندی و نهادی پرداخته است. ازاین‌رو، فقدان یک چهارچوب نظری منسجم برای تبیین سازه‌ها و روابط مفهومی تشکیل‌دهنده بندر هوشمند همچنان به‌عنوان یکی از شکاف‌های اصلی این حوزه قابل شناسایی است.

مطالعات بررسی‌شده نشان می‌دهد که اگرچه ادبیات بنادر هوشمند از نظر حجم و تنوع موضوعی توسعه‌یافته است، هنوز چهارچوب نظری منسجمی برای سازمان‌دهی سازه‌ها، زیرسازه‌ها و روابط مفهومی این پدیده وجود ندارد. درعین‌حال، مفاهیم مرتبط با صنعت ۴٫۰، تحول دیجیتال، توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی و سازوکارهای حکمرانی به‌صورت مکرر در ادبیات مطرح شده‌اند که بیانگر اهمیت آن‌ها در تبیین مفهوم بندر هوشمند است. بااین‌حال، نحوه مفهوم‌سازی و ارتباط میان این مفاهیم در مطالعات مختلف یکسان نیست.



براین اساس، در بخش بعد چهارچوب نظری اولیه پژوهش بر پایه تحلیل مطالعات منتخب تدوین و ارائه می شود.

۳. چهارچوب نظری اولیه بنادر هوشمند

در حوزه بین رشته ای و نسبتاً جدید بنادر هوشمند، نظریه های تثبیت شده و مدل های قطعی وجود ندارد؛ بنابراین، شروع با یک مرور ادبیات و ارائه یک چهارچوب نظری اولیه، روشی پذیرفته شده برای ورود نظام مند به موضوع است. بنابراین در این بخش، چهارچوب نظری اولیه بنادر هوشمند بر پایه مرور ادبیات ارائه می شود.

مرور مطالعات منتشر شده در حوزه بنادر هوشمند طی سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ نشان داد که مجموعه ای از مفاهیم و مضامین مشترک به طور مکرر در ادبیات این حوزه مطرح شده اند. بر پایه تحلیل و دسته بندی این مفاهیم، چهارچوب نظری اولیه پژوهش در قالب چهار سازه اصلی و زیرسازه های مرتبط تدوین شد.

جدول ۱: سازه ها و زیرسازه های چهارچوب نظری اولیه بنادر هوشمند

زیر سازه	سازه اصلی
-	صنعت ۴,۰ (الگوی فنی-اقتصادی) (Industry 4.0)
دیجیتالی سازی (Digitization)	فرایند تکاملی تحول دیجیتال (Digital Transformation Evolution Process)
دیجیتالی شدن (Digitalization)	
تحول دیجیتال (Digital Transformation)	
فناوری های دیجیتال نوین (New Digital Technologies)	توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی (Technological & Infrastructural Enablers)
زیرساخت های دیجیتال و سایبر-فیزیکی (Digital & Cyber-Physical Infrastructure)	
توانمندسازهای عملیاتی (Operational Enablers)	
حکمرانی بیرونی (External Governance)	چهارچوب نهادی و حکمرانی هوشمند (Institutional & Smart Governance Framework)
حکمرانی درون سازمانی (Internal Port Governance)	

۳-۱. نمودار چهارچوب نظری اولیه بنادر هوشمند

شکل زیر چهارچوب نظری اولیه بنادر هوشمند را نشان می‌دهد. این چهارچوب بر پایه مرور ادبیات و از طریق تحلیل، جمع‌بندی و انتزاع مفاهیم استخراج‌شده از مطالعات پیشین تدوین شده است. با این حال، جایگاه نسبی سازه‌ها و زیرسازه‌ها و روابط میان آن‌ها در این مرحله نهایی تلقی نمی‌شود و در ادامه پژوهش از طریق تحلیل مضمون جهت‌دار بررسی و تبیین خواهد شد.



شکل ۱: چهارچوب نظری اولیه بنادر هوشمند

در ادامه پژوهش، این چهارچوب نظری اولیه به‌عنوان مبنای کدگذاری و تحلیل داده‌ها در فرایند تحلیل مضمون جهت‌دار مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۳-۲. تبیین سازه‌های چهارچوب نظری اولیه بنادر هوشمند

در این بخش، چهار سازه کلان چهارچوب نظری اولیه به‌همراه زیرسازه‌های مرتبط، براساس ادبیات پژوهش تبیین می‌شوند.

۳-۲-۱. صنعت ۴,۰

صنعت ۴,۰ به‌عنوان چهارمین انقلاب صنعتی، یک الگوی فنی-اقتصادی نوین مبتنی بر اتصال هوشمند، یکپارچگی سیستم‌های سایبرفیزیکی، داده‌محوری و خودکارسازی فرایندها



محسوب می‌شود. این الگو زمینه توسعه فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده و رایانش ابری را فراهم کرده و بستر لازم برای تحول دیجیتال در صنایع مختلف، از جمله بنادر را ایجاد نموده است.

حمل‌ونقل دریایی یکی از ارکان اصلی زنجیره تأمین جهانی است و بنادر برای پاسخ‌گویی به الزامات فزاینده کارایی، رقابت‌پذیری و پایداری ناگزیر به بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال شده‌اند. گسترش فناوری‌های مرتبط با صنعت ۴,۰ موجب شده است دیجیتالی‌سازی و هوشمندسازی عملیات بندری از یک انتخاب اختیاری فراتر رفته و به ضرورتی راهبردی تبدیل شود. در نتیجه، بنادر در مسیر گذار از الگوهای سنتی به بنادر هوشمند قرار گرفته‌اند تا بتوانند به چالش‌هایی نظیر تراکم عملیاتی، الزامات انطباقی، رقابت‌پذیری و ملاحظات زیست‌محیطی پاسخ دهند (Jović et al., 2022; Min, 2022; Boullauazan et al., 2022).

صنعت ۴,۰ بر یکپارچگی سیستم‌های فیزیکی و دیجیتال، ارتباطات هوشمند و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده استوار است و فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده، رایانش ابری و زنجیره بلوکی را در برمی‌گیرد. در بنادر هوشمند، این فناوری‌ها امکان تبادل داده میان تجهیزات، سامانه‌ها و زیرساخت‌های بندری را فراهم می‌کنند و زمینه تصمیم‌گیری بلادرنگ و بهبود عملکرد زنجیره تأمین را به وجود می‌آورند (Yau et al., 2020).

Basulo-Ribeiro و همکاران (2024) صنعت ۴,۰ را یکی از محرک‌های اصلی تحول بنادر به سمت بنادر هوشمند معرفی می‌کنند. به اعتقاد آنان، انقلاب صنعتی چهارم با تکیه بر دیجیتالی شدن، فناوری‌های ارتباطی و سامانه‌های هوشمند، بنادر را به بازنگری در شیوه‌های عملیاتی و مدیریتی خود واداشته و زمینه گذار از ساختارهای سنتی به بنادر هوشمند را فراهم کرده است. در ادبیات بنادر هوشمند، صنعت ۴,۰ به‌عنوان مبنای فناورانه و یکی از مهم‌ترین محرک‌های تحول بنادر به سمت هوشمندسازی شناخته می‌شود. پژوهشگران معتقدند بدون پذیرش اصول این صنعت، تحقق بندر هوشمند امکان‌پذیر نخواهد بود.

۳-۲-۲. فرایند تکاملی تحول دیجیتال

در این پژوهش فرایند تکاملی تحول دیجیتال به‌عنوان یک سازه مفهومی و کلان چند مرحله‌ای تعریف می‌شود. این فرایند مسیر بلوغ دیجیتال سازمان‌ها و سیستم‌های بندری را در گذار از مراحل ابتدایی دیجیتالی‌سازی، به دیجیتالی شدن و در نهایت به مرحله تحول دیجیتال تبیین می‌کند. در این چهارچوب، تحول دیجیتال نه مترادف با کل فرایند بلکه مرحله‌ای متمایز و پیشرفته در این مسیر تکاملی تلقی می‌شود. برهمین اساس، فرایند تکاملی تحول دیجیتال جریانی پیوسته از بلوغ دیجیتال است که به‌عنوان یکی از عناصر بنیادین چهارچوب نظری بنادر هوشمند در نظر گرفته می‌شود.

برای تبیین این سازه، ابتدا مفاهیم تشکیل‌دهنده این فرایند و روابط میان آن‌ها تشریح می‌شود. همچنین از آنجا که هوشمندسازی در بسیاری از مطالعات به‌عنوان یکی از پیامدها یا سطوح پیشرفته تحول دیجیتال مطرح شده است، ارتباط این زنجیره مفهومی با هوشمندسازی نیز تبیین خواهد شد.

❖ دیجیتال‌سازی

دیجیتال‌سازی به فرایند تبدیل داده‌های آنالوگ به داده‌های دیجیتال اشاره دارد (Rachinger, M., et al., 2019). در این مرحله، هدف صرفاً تبدیل داده‌ها به شکل قابل ذخیره، پردازش و انتقال توسط سامانه‌های دیجیتال است و هنوز تغییری در فرایندها یا مدل‌های کسب‌وکار ایجاد نمی‌شود.

❖ دیجیتالی شدن

درحالی‌که دیجیتالی‌سازی بر داده تمرکز دارد، دیجیتالی شدن به سطح فرایندها و مدل‌های کسب‌وکار گسترش می‌یابد. دیجیتالی شدن به بهره‌گیری از فرصت‌های ناشی از فناوری‌های دیجیتال اشاره دارد که شامل تغییرات در سازمان و مدل کسب‌وکار به‌دلیل استفاده فزاینده از فناوری‌های دیجیتال برای بهبود عملکرد و گسترش دامنه کسب‌وکار می‌شود (Rachinger, M., et al., 2019).



در بنادر، دیجیتالی شدن با یکپارچه‌سازی فرایندها، افزایش شفافیت عملیاتی، بهبود هماهنگی میان ذی‌نفعان و بهره‌گیری گسترده‌تر از فناوری‌های دیجیتال همراه است. این فرایند زمینه لازم را برای ارتقای کارایی عملیاتی، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده و گذار به مراحل پیشرفته‌تر تحول دیجیتال فراهم می‌کند (Hawari et al., 2024; Alzate et al., 2024; Koritarov & Dimitrakiev, 2024).

❖ تحول دیجیتال

بسیاری از پژوهشگران تحول دیجیتال را مرحله‌ای فراتر از دیجیتالی شدن تلقی کرده و آن را دگرگونی در ساختارها، فرایندها، نقش‌ها و مدل‌های کسب‌وکار سازمان می‌دانند. تحول دیجیتال به دگرگونی در شیوه انجام فعالیت‌ها، خلق ارزش و عملکرد سازمان از طریق به‌کارگیری راهبردی فناوری‌های دیجیتال اشاره دارد (Sadiku et al., 2022). این تحول تنها به استفاده از فناوری محدود نیست، بلکه فرایندها، ساختارها، مدل‌های کسب‌وکار، شیوه‌های همکاری و فرهنگ سازمانی را نیز متحول می‌کند. فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و واقعیت افزوده زمینه ایجاد قابلیت‌ها و مدل‌های جدید کسب‌وکار را فراهم می‌سازند؛ ازاین‌رو تحول دیجیتال به بازآفرینی نحوه خلق ارزش و عملکرد سازمان منجر می‌شود (Plekhanov et al., 2023).

❖ ارتباط مفاهیم دیجیتال‌سازی، دیجیتالی شدن، تحول دیجیتال، هوشمندسازی

دیجیتال‌سازی به تبدیل داده‌ها و اطلاعات فیزیکی به قالب دیجیتال اشاره دارد. دیجیتالی شدن فراتر از آن، استفاده نظام‌مند از داده‌ها و فناوری‌های دیجیتال برای بهبود و بازطراحی فرایندها را در برمی‌گیرد. تحول دیجیتال نیز بیانگر تغییرات ساختاری، نهادی و راهبردی ناشی از به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال در سازمان‌ها و سیستم‌های بندری است. درخصوص جایگاه هوشمندسازی، اجماع کاملی در ادبیات وجود ندارد. برخی پژوهشگران آن را بخشی از تحول دیجیتال، برخی مرحله‌ای هم‌پوشان با آن و برخی سطحی فراتر از تحول دیجیتال تلقی می‌کنند. برای نمونه، Kowalski و همکاران (2026) هوشمندسازی را ادغام هوش مصنوعی برای ایجاد راه‌حل‌های مستقل، خودکار، آگاه از زمینه و خودبهبودی می‌دانند که از

توسعه مدل‌ها و راهبردهای کسب‌وکار پشتیبانی می‌کنند (Kowalski et al., 2026). شکل زیر رابطه این مفاهیم را نشان می‌دهد.



شکل ۲: رابطه بین مفاهیم دیجیتال‌سازی، دیجیتالی شدن، تحول دیجیتال و هوشمندسازی

با وجود تفاوت دیدگاه‌ها، می‌توان این مفاهیم را به‌عنوان سطوحی از یک مسیر بلوغ دیجیتال در نظر گرفت:

۱. دیجیتال‌سازی: تمرکز بر داده و فناوری (سطح فنی)؛
۲. دیجیتالی شدن: تمرکز بر فرایند و مدل کسب‌وکار (سطح عملیاتی-مدیریتی)؛
۳. تحول دیجیتال: تمرکز بر ساختار، راهبرد و شایستگی‌های سازمان (سطح راهبردی)؛
۴. هوشمندسازی: تمرکز بر تصمیم‌گیری خودکار و سیستم‌های شناختی (سطح پیشرفته).

با این حال، در پژوهش حاضر هوشمندسازی به‌عنوان یکی از پیامدها یا سطوح پیشرفته بلوغ دیجیتال تلقی می‌شود و به‌عنوان سازه‌ای مستقل در چهارچوب نظری اولیه بنادر هوشمند در نظر گرفته نشده است.

❖ جمع‌بندی مفهومی سیر بلوغ دیجیتال

براین اساس، فرایند تکاملی تحول دیجیتال در این پژوهش به‌عنوان سازه‌ای کلان تعریف می‌شود که گذار سازمان‌ها و سیستم‌های بندری را از دیجیتال‌سازی داده‌ها به دیجیتالی شدن فرایندها و در نهایت تحول دیجیتال در ساختارها، راهبردها و شیوه‌های حکمرانی تبیین می‌کند. در این رویکرد، تحول دیجیتال نتیجه یک فرایند تدریجی بلوغ دیجیتال است. مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که برخی پژوهش‌ها بر تبیین ویژگی‌ها و مرزهای مفهومی تحول دیجیتال تمرکز داشته‌اند، درحالی‌که گروهی دیگر این پدیده را در قالب یک مسیر



تدریجی بلوغ دیجیتال بررسی کرده‌اند. در پژوهش حاضر، رویکرد دوم مبنای مفهوم‌پردازی سازه «فرایند تکاملی تحول دیجیتال» قرار گرفته است.

♦ توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی

بنادر هوشمند نمونه‌ای از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰، زیرساخت‌های دیجیتال و سیستم‌های سایبرفیزیکی در محیط‌های صنعتی بزرگ هستند. این بنادر با بهره‌گیری از فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، داده‌کاوی، زنجیره بلوکی و دوقلوهای دیجیتال، کارایی، امنیت، پایداری و عملکرد عملیاتی خود را ارتقا می‌دهند (Paraskevas et al., 2024). در نتیجه گسترش دیجیتالی‌سازی و ظهور پارادایم صنعت ۴,۰، بنادر به‌عنوان گره‌های کلیدی زنجیره تأمین جهانی به سمت استفاده از فناوری‌ها، زیرساخت‌ها و شیوه‌های مدیریتی نوین برای افزایش اتصال‌پذیری و پاسخ‌گویی به نیازهای ذی‌نفعان حرکت کرده‌اند (Paraskevas et al., 2024; Belmoukari et al., 2023).

♦ دسته‌بندی توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی بنادر هوشمند

براساس ادبیات علمی جدید، توانمندسازهای بنادر هوشمند را می‌توان در سه دسته کلان فناوری‌های دیجیتال نوین، زیرساخت‌های دیجیتال و سایبر- فیزیکی، توانمندسازهای عملیاتی طبقه‌بندی کرد.

فناوری‌های دیجیتال نوین شامل هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، داده‌های کلان، رایانش ابری، یادگیری ماشین و سایر فناوری‌های نوین است (Paraskevas et al., 2024). این دسته به ابزارها و سیستم‌های هوشمند برای جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌ها اشاره دارد. زیرساخت‌های دیجیتال و سایبر- فیزیکی شامل زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، شبکه‌های ارتباطی، ساختارهای اطلاعاتی، اتصال دارایی‌های فیزیکی به سیستم‌های دیجیتال و سایبر- فیزیکی است (Paraskevas et al., 2024, Pham, 2023). بدون این زیرساخت‌ها، فناوری‌های نوین نمی‌توانند به‌صورت یکپارچه عمل کنند.

توانمندسازهای عملیاتی بندر هوشمند به مجموعه قابلیت‌ها، سازوکارها و ترتیبات عملیاتی اطلاق می‌شود که امکان بهره‌برداری مؤثر از فناوری‌ها و زیرساخت‌های دیجیتال را در محیط بندری فراهم می‌کند (Belmoukari et al., 2023).

♦ ارتباط بین سه دسته توانمندسازهای بنادر هوشمند

مطالعات بنادر هوشمند نشان می‌دهند که فناوری‌های دیجیتال نوین، زیرساخت‌های دیجیتال و سایر- فیزیکی و توانمندسازهای عملیاتی، به‌صورت مجزا عمل نمی‌کنند، بلکه در تعامل با یکدیگر زمینه تحقق بندر هوشمند را فراهم می‌سازند. فناوری‌های دیجیتال نوین برای استقرار و بهره‌برداری مؤثر، به زیرساخت‌های دیجیتال و سایر-فیزیکی متکی هستند و بدون وجود چنین زیرساخت‌هایی امکان جمع‌آوری، انتقال، پردازش و تبادل داده‌ها به شکل یکپارچه فراهم نخواهد شد (Paraskevas et al., 2024; Pham, 2023). در مقابل، زیرساخت‌های دیجیتال و سایر- فیزیکی نیز زمانی می‌توانند نقش مؤثر خود را ایفا کنند که در قالب فرایندها و سازوکارهای عملیاتی مورد استفاده قرار گیرند. در این زمینه، توانمندسازهای عملیاتی نظیر خودکارسازی فرایندها، اشتراک‌گذاری بلادرنگ اطلاعات، همکاری میان ذی‌نفعان، مدیریت هوشمند و تصمیم‌گیری پیش‌بینانه، امکان بهره‌برداری عملی از ظرفیت‌های فناورانه و زیرساختی را فراهم می‌کند (Belmoukari et al., 2023).

ازاین‌رو، فناوری‌های دیجیتال نوین، زیرساخت‌های دیجیتال و سایر-فیزیکی و توانمندسازهای عملیاتی را می‌توان اجزای مکمل یک نظام واحد در بنادر هوشمند دانست. فناوری‌های دیجیتال قابلیت‌های فنی لازم را فراهم می‌کنند، زیرساخت‌های دیجیتال بستر استقرار و یکپارچه‌سازی این قابلیت‌ها را مهیا می‌سازند و توانمندسازهای عملیاتی زمینه به‌کارگیری آن‌ها را در فرایندهای واقعی بندری فراهم می‌کنند؛ بنابراین، تحقق بندر هوشمند نه به هر یک از این عناصر به‌تنهایی، بلکه به تعامل و هم‌افزایی میان آن‌ها وابسته است. در چنین چهارچوبی، فناوری، زیرساخت و عملیات در قالب یک نظام به‌هم‌پیوسته عمل می‌کنند که نتیجه آن ارتقای کارایی، پایداری و هوشمندی بنادر است (Paraskevas et al., 2024; Alzate et al., 2024).



❖ شرح توانمندسازهای بنادر هوشمند

➤ فناوری‌های دیجیتال نوین

ازجمله نقاط اشتراک مطالعات بنادر هوشمند، تأکید بر نقش محوری فناوری‌های دیجیتال نوین در تحول عملکرد بنادر است. پژوهشگران بیان می‌کنند که توسعه فناوری‌های مرتبط با صنعت ۴,۰، زمینه‌گذار از الگوهای سنتی مدیریت بندری به الگوهای هوشمند را فراهم کرده است. در این چهارچوب، بندر هوشمند با بهره‌گیری از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، سامانه‌های پشتیبان تصمیم و ابزارهای دیجیتال، به دنبال ارتقای کارایی عملیاتی، افزایش رقابت‌پذیری، بهبود پایداری و ارائه خدمات ارزش‌افزوده است (Belmoukari et al., 2023; Yau et al., 2020).

در پژوهش‌های جدید، فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، رایانش ابری، امنیت سایبری و فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات از مهم‌ترین اجزای تحول دیجیتال بنادر معرفی شده‌اند. این فناوری‌ها امکان جمع‌آوری، انتقال، پردازش و تحلیل داده‌های عملیاتی را فراهم کرده و از تصمیم‌گیری آگاهانه، بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش هزینه‌ها، مدیریت ریسک و ارتقای کارایی عملیات بندری پشتیبانی می‌کنند. ازاین‌رو، بسیاری از پژوهشگران آن‌ها را از مهم‌ترین محرک‌های توسعه بنادر هوشمند می‌دانند (Paraskevas et al., 2024; Yau et al., 2020; Koritarov & Dimitrakiev, 2024). افزون بر این، کارکرد فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی تنها به پردازش داده‌ها محدود نمی‌شود، بلکه با خودکارسازی فرایندهای تحلیل، استخراج الگوهای نهفته، افزایش سرعت تحلیل کلان‌داده‌ها و پشتیبانی از تصمیم‌گیری، امکان ارتقای کیفیت مدیریت و واکنش سریع‌تر به شرایط عملیاتی را نیز فراهم می‌کند. از این منظر، هوش مصنوعی نقش مهمی در افزایش کارایی و اثربخشی سامانه‌های هوشمند و داده‌محور ایفا می‌کند (ترسلی و همکاران، ۱۴۰۳).

در میان فناوری‌های یادشده، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و تحلیل کلان‌داده از تأثیرگذارترین‌ها در این حوزه هستند. اینترنت اشیا از طریق شبکه‌ای از حسگرها و تجهیزات متصل، امکان پایش لحظه‌ای جابه‌جایی کانتینرها، عملکرد تجهیزات و شرایط محیطی را

فراهم کرده و زمینه نگهداری پیشگیرانه و بهینه‌سازی عملیات را ایجاد می‌کند. همچنین تحلیل کلان‌داده با بهره‌گیری از داده‌های تاریخی و جاری، امکان شناسایی الگوها، پیش‌بینی تقاضا و بهبود عملکرد زنجیره تأمین را فراهم می‌سازد. در تکمیل این دیدگاه، مطالعات اخیر نشان می‌دهند که تلفیق هوش مصنوعی با روش‌های یادگیری ماشین و تحلیل داده، با افزایش دقت پیش‌بینی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری مبتنی بر داده، امکان پردازش حجم عظیمی از اطلاعات و شناسایی الگوهای پنهان را فراهم می‌آورد (محمدی منفرد و ترسلی، ۱۴۰۴). علاوه بر افزایش انعطاف‌پذیری، بهره‌وری و رقابت‌پذیری بنادر، فناوری‌های دیجیتال نقش مهمی در تقویت همکاری و تبادل اطلاعات میان بازیگران زنجیره تأمین دریایی ایفا می‌کنند. ایجاد اکوسیستم به‌هم‌پیوسته و مبتنی بر تبادل داده، هماهنگی میان ذی‌نفعان را تسهیل کرده و به جابه‌جایی کارآمدتر کالاها و کاهش تأخیرهای عملیاتی کمک می‌کند (Koritarov & Dimitrakiev, 2024).

➤ زیرساخت‌های دیجیتال و سایبرفیزیکی

در تعریف بندر هوشمند، وجود زیرساخت نقش محوری دارد. بندر هوشمند شامل کل زیرساخت مورد نیاز، یک زیرساخت اطلاعاتی و دیجیتال مبتنی بر فناوری اطلاعات برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها و به‌کارگیری جدیدترین فناوری‌ها در حوزه‌های مخابرات، الکترونیک و مهندسی است (Paraskevas et al., 2024). این ساختار اطلاعاتی، بستر لازم برای جمع‌آوری و مدیریت داده‌ها را فراهم می‌کند و امکان اتصال اجزای مختلف بندر را ایجاد می‌نماید.

زیرساخت‌های دیجیتال ستون فقرات بنادر هوشمند را تشکیل می‌دهند و شامل شبکه‌های ارتباطی، حسگرها، سکوها، مدیریت داده، مراکز پردازش اطلاعات، خدمات ابری و سامانه‌های یکپارچه اطلاعاتی هستند که امکان گردآوری، انتقال و پردازش داده‌ها را فراهم می‌کنند. این زیرساخت‌ها بستر لازم برای تصمیم‌گیری هوشمند و گذار به بندر هوشمند را ایجاد می‌کنند. Min (2022) زیرساخت هوشمند را متشکل از پنج عنصر کلیدی شامل حسگرها، خدمات رایانش ابری، اینترنت اشیا، سکوها، دیجیتال و تحلیل کسب‌وکار می‌داند.



که به صورت یک سامانه یکپارچه عمل می کنند. تجمیع این عناصر در کنار تجهیزات فیزیکی بندر در ادبیات اخیر در قالب سیستم های سایبر-فیزیکی تبیین شده است.

سیستم های سایبر-فیزیکی در بنادر هوشمند سامانه هایی هستند که عملیات فیزیکی بندر را با اجزای محاسباتی و شبکه ای ادغام می کنند. Fang و همکاران (2025) بیان می کنند که با شتاب گیری دیجیتالی سازی، بنادر به سمت سیستم های سایبر-فیزیکی در حال تکامل هستند. از آنجا که بندر یک سامانه پیچیده و چندذی نفعی است، عملکرد آن به زیرساخت سایبری وابسته است. وجه تمایز این سیستم ها، یکپارچه سازی جریان اطلاعات و کنترل تجهیزات فیزیکی در قالب یک چهارچوب واحد است که امکان مدیریت هم زمان اطلاعات و انرژی را برای بهینه سازی عملکرد و بازیابی سامانه در شرایط بحرانی فراهم می کند (Fang et al., 2025). در مجموع، سیستم های سایبر-فیزیکی بستر پیوند میان زیرساخت دیجیتال و عملیات فیزیکی بندر را فراهم کرده و یکی از پایه های اصلی تحقق بنادر هوشمند محسوب می شوند.

➤ توانمندسازهای عملیاتی بندر هوشمند

از آنجا که هنوز تعریف واحد و مورد اجماعی از بندر هوشمند ارائه نشده و مطالعات از منظرهای مختلف به این مفهوم پرداخته اند، پژوهشگران نیز توانمندسازهای عملیاتی آن را با رویکردها و طبقه بندی های متفاوتی تبیین کرده اند.

Alzate و همکاران (2024) با بررسی دیدگاه های پژوهشی مرتبط با بنادر هوشمند، فناوری ها و راهکارهای مؤثر در تحقق عملیات هوشمند بندری را در قالب سه جهت گیری پژوهشی اصلی دسته بندی کرده اند. این جهت گیری ها شامل سازگاری بنادر با الزامات صنعت ۴،۰، پایداری و چالش های تجارت جهانی، تبدیل بنادر به موجودیت های هوشمند در زنجیره تأمین جهانی و همچنین حرکت به سوی بنادر سبز و هوشمند است. لازم به تأکید است که این محورها بیش از آنکه خود توانمندسازهای عملیاتی باشند، چهارچوب های تحلیلی مطالعات بنادر هوشمند را شکل می دهند و در ذیل آن ها توانمندسازهای عملیاتی مختلف تعریف و بررسی می شوند (Alzate et al., 2024).

Paraskevas و همکاران (2024) پنج دسته اصلی شامل فناوری‌های دیجیتال، چهارچوب‌های ارزیابی و اندازه‌گیری، ساختار اطلاعاتی یکپارچه برای مدیریت داده، یکپارچگی زنجیره تأمین و اکوسیستم لجستیک و همچنین سیستم‌های مدیریت انرژی و محیط‌زیست را به‌عنوان عوامل کلیدی مطرح می‌کنند. در این دیدگاه، تأکید اصلی بر فناوری‌ها و چهارچوب‌های ارزیابی است و سایر مؤلفه‌ها به‌عنوان بسترهای پشتیبان تحقق بندر هوشمند در نظر گرفته می‌شوند (Paraskevas et al., 2024).

Belmoukari و همکاران (2023) توانمندسازهای عملیاتی بندر هوشمند را از منظر عملکرد و فرایند بررسی کرده و عواملی مانند مشارکت ذی‌نفعان، کارایی عملیات، ارتباط و تبادل داده میان بنادر، مدیریت ترافیک و برنامه‌ریزی و اشتراک اطلاعات بلادرنگ را به‌عنوان مؤلفه‌های کلیدی مطرح می‌کنند.

از مقایسه دیدگاه‌های ارائه‌شده در مطالعات مختلف می‌توان دریافت که اگرچه پژوهشگران از طبقه‌بندی‌ها و چهارچوب‌های متفاوتی برای تبیین توانمندسازهای عملیاتی بندر هوشمند استفاده کرده‌اند؛ اما در تمامی این دیدگاه‌ها بر نقش عواملی نظیر خودکارسازی، تبادل داده، هماهنگی میان ذی‌نفعان، یکپارچگی فرایندها و پایداری عملیاتی تأکید شده است. براین اساس، توانمندسازهای عملیاتی بندر هوشمند می‌توان در سه دسته کلان فناوری محور شامل: (۱) فناوری‌های خودکارسازی و هوشمندسازی عملیات، (۲) فناوری‌های اطلاعات و تحلیل داده‌ها و (۳) فناوری‌های تعامل و هماهنگی ذی‌نفعان قرار داد. این دسته‌بندی با تجمیع و هم‌پوشانی مفهومی طبقه‌بندی‌های ارائه‌شده در مطالعات پیشین استخراج شده و توانمندسازهای عملیاتی را به‌عنوان سازوکارهایی در نظر می‌گیرد که امکان تبدیل ظرفیت‌های فناورانه و زیرساختی به عملکرد عملیاتی مؤثر را در محیط بندری فراهم می‌کند (Alzate et al., 2024; Paraskevas et al., 2024; Belmoukari et al., 2023).

❖ چهارچوب نهادی و حکمرانی هوشمند

Lin و همکاران (2022) حوزه حکمرانی بندر را در دو سطح متمایز بررسی می‌کنند: نخست، حکمرانی بندر که به نحوه مدیریت خدمات، پایانه‌ها و روابط میان بازیگران بندری مربوط



است؛ و دوم، حکمرانی سازمان بندری که به سازوکارهای مدیریتی درون سازمان بندر و روابط آن با دولت و سایر نهادهای بیرونی اشاره دارد. در پژوهش حاضر، این دو سطح به صورت یکپارچه و تحت عنوان «چهارچوب نهادی و حکمرانی هوشمند» در نظر گرفته شده‌اند. در ادبیات بنادر هوشمند، حکمرانی صرفاً به مدیریت روزمره عملیات بندری محدود نمی‌شود، بلکه چهارچوبی را در برمی‌گیرد که نحوه تعامل بازیگران مختلف، فرایندهای تصمیم‌گیری و جهت‌گیری‌های راهبردی توسعه بندر را تعیین می‌کند. Lin و همکاران (2022) نشان می‌دهند که حکمرانی بندر را نمی‌توان یک الگوی ثابت و یکسان برای همه بنادر در نظر گرفت، زیرا ساختارهای حکمرانی تحت تأثیر شرایط اقتصادی، اجتماعی، نهادی و منطقه‌ای شکل می‌گیرند و متناسب با تحولات محیطی و نیازهای توسعه‌ای تکامل می‌یابند. ازاین‌رو، حکمرانی بندر هوشمند ماهیتی پویا و زمینه‌محور دارد.

مطالعات نشان می‌دهد که ساختار حکمرانی نقش مهمی در تعیین اولویت‌های توسعه بندر هوشمند ایفا می‌کند. میزان مشارکت دولت، بخش خصوصی و سطح استقلال سازمان بندری می‌تواند جهت‌گیری‌های راهبردی بندر را تحت تأثیر قرار داده و انتخاب اهدافی چون افزایش کارایی، ارتقای ایمنی، توسعه پایدار یا تقویت رقابت‌پذیری را شکل دهد. در این معنا، حکمرانی صرفاً یک سازوکار مدیریتی نیست، بلکه عاملی است که مسیر توسعه و رقابت بنادر را شکل می‌دهد (Lin et al., 2022).

از سوی دیگر، یکی از کارکردهای اصلی حکمرانی در بنادر هوشمند، ایجاد توازن میان اهداف عمومی و اقتصادی است. بنادر باید هم‌زمان الزامات پایداری، ایمنی، امنیت و مسئولیت اجتماعی را رعایت کنند و درعین‌حال پاسخ‌گوی الزامات رقابت‌پذیری، بهره‌وری و سودآوری باشند. ازاین‌رو، اثربخشی حکمرانی به میزان توانایی آن در همسوسازی این اهداف وابسته است (Lin et al., 2022).

افزون بر این، حکمرانی بنادر هوشمند ماهیتی چندسطحی دارد و تصمیمات بندری در تعامل با قوانین، سیاست‌ها و نهادهای بین‌المللی، ملی، منطقه‌ای و محلی شکل می‌گیرد. ازاین‌رو، توسعه بنادر هوشمند باید در بستر شبکه‌ای از روابط نهادی و سیاستی تحلیل شود.

در چنین چهارچوبی، حکمرانی از طریق هماهنگی میان الزامات فناورانه، نهادی و سیاستی، زمینه همسوسازی نوآوری‌های دیجیتال با اهداف توسعه پایدار را فراهم می‌کند.

۴. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، توسعه‌ای-کاربردی است و از نظر ماهیت داده‌ها، کیفی است. داده‌های پژوهش از طریق جست‌وجو، انتخاب و تحلیل منابع علمی مرتبط و استخراج مفاهیم و مضامین موجود در آن‌ها گردآوری شدند.

جامعه پژوهش شامل تمامی مطالعات علمی منتشرشده در حوزه بنادر هوشمند بود که با مفاهیم کلیدی پژوهش ارتباط داشتند. واحد تحلیل، مفاهیم، مضامین و گزاره‌های مرتبط با سازه‌ها و زیرسازه‌های بنادر هوشمند در متون منتخب بود. با توجه به هدف پژوهش، منابعی انتخاب شدند که به مفهوم‌سازی بنادر هوشمند، تحول دیجیتال، فناوری‌های توانمندساز و سازوکارهای حکمرانی پرداخته و اطلاعات لازم برای شناسایی سازه‌ها، زیرسازه‌ها و روابط نظری مرتبط را فراهم می‌کردند. برای شناسایی منابع، کلیدواژه‌های تخصصی حوزه بنادر هوشمند در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ در پایگاه‌های علمی معتبر جست‌وجو شدند. پس از شناسایی مطالعات مرتبط، منابع براساس معیارهای ورود شامل انتشار در مجلات علمی معتبر، ارتباط مستقیم با مفهوم بنادر هوشمند، پرداختن به ابعاد مفهومی، فناورانه، عملیاتی یا حکمرانی و دسترسی به متن کامل غربال شدند. در مقابل، مطالعاتی که صرفاً بر توسعه الگوریتم‌های فنی، مطالعات موردی فاقد بحث مفهومی، گزارش‌های صنعتی و منابع غیرعلمی تمرکز داشتند، از فرایند تحلیل کنار گذاشته شدند. در مرحله نهایی، پس از حذف مطالعات تکراری و منابع نامرتبط، ۱۹ مقاله به‌عنوان نمونه نهایی تحلیل انتخاب شدند. بررسی تدریجی منابع نشان داد که مضامین و سازه‌های شناسایی شده به تکرار و ثبات مفهومی رسیده‌اند و در مراحل پایانی تحلیل، افزودن منابع جدید منجر به شناسایی سازه‌ها یا مضامین مفهومی جدیدی نشد.



با توجه به ماهیت اکتشافی و نوظهور حوزه بنادر هوشمند و با هدف تدوین و ارزیابی چهارچوب نظری آن، در این پژوهش از روش «تحلیل مضمون جهت‌دار»^۱ استفاده شده است. در این رویکرد، با اتکا به چهارچوب نظری اولیه برگرفته از ادبیات، کدگذاری و تحلیل داده‌ها انجام شد و سپس براساس یافته‌های حاصل، چهارچوب نظری اولیه مورد بازبینی قرار گرفت و چهارچوب نظری نهایی تدوین گردید. بر مبنای این روش، فرایند تحلیل در چهار مرحله اصلی اجرا شد:

مرحله اول: تدوین چهارچوب نظری اولیه

در گام نخست، با مرور ادبیات منتخب بنادر هوشمند، سازه‌ها و زیرسازه‌های پرتکرار و دارای انسجام مفهومی شناسایی و در قالب یک چهارچوب نظری اولیه سازمان‌دهی شدند.

مرحله دوم: کدگذاری نظام‌مند منابع

سازه‌ها و زیرسازه‌های استخراج‌شده از چهارچوب نظری اولیه، به‌عنوان کدهای اولیه در نرم‌افزار MAXQDA Analytics Pro 2020 تعریف شدند. سپس مقالات منتخب به‌صورت نظام‌مند مورد کدگذاری قرار گرفتند. کدگذاری با رویکرد غالباً قیاسی و مبتنی بر چهارچوب نظری اولیه انجام شد، با این حال امکان ثبت مفاهیم و روابط جدیدی که در چهارچوب اولیه پیش‌بینی نشده بودند نیز در فرایند تحلیل حفظ شد.

مرحله سوم: استخراج گزارش‌های تحلیلی از نرم‌افزار

در این مرحله، گزارش‌های تحلیلی نرم‌افزار شامل ماتریس فراوانی کدها و ماتریس هم‌رخدادی کدها استخراج گردید. تحلیل فراوانی برای بررسی میزان توجه ادبیات به سازه‌ها و زیرسازه‌های مختلف و تحلیل هم‌رخدادی برای شناسایی الگوهای هم‌زمانی و ارتباط مفهومی میان سازه‌ها و زیرسازه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

شکل ۳: ماتریس فراوانی سازه‌ها



۵-۲. توزیع فراوانی و سهم نسبی هر سازه

جدول ۲: توزیع فراوانی سازه‌ها

سازه کلان	فراوانی کل	سهم نسبی از کل
صنعت ۴,۰	۲۸	۶/۳۶٪
فرایند تکاملی تحول دیجیتال	۱۶۵	۳۷/۵۰٪
توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی	۲۰۴	۴۶/۳۶٪
چهارچوب نهادی و حکمرانی	۴۳	۹/۷۷٪

نتایج جدول نشان می‌دهد که توزیع فراوانی سازه‌ها در ادبیات بنادر هوشمند یکنواخت نیست. سازه توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی با ۲۰۴ مورد بیشترین فراوانی را دارد و پس از آن سازه فرایند تکاملی تحول دیجیتال با ۱۶۵ مورد قرار گرفته است. دو سازه چهارچوب نهادی و حکمرانی و صنعت ۴,۰ فراوانی کمتری را به خود اختصاص داده‌اند.

۵-۳. تحلیل در سطح زیرسازه‌ها

در سطح زیرسازه‌ها نیز تفاوت‌هایی مشاهده شد. صنعت ۴,۰ عمدتاً در پیوند با تحول دیجیتال و فناوری‌های نوین مطرح شده است. در سازه فرایند تکاملی تحول دیجیتال، تمرکز مطالعات بر سطوح پیشرفته‌تر تحول دیجیتال بوده و در سازه توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی، فناوری‌های دیجیتال نوین بیشترین سهم را داشته‌اند. در مقابل، در سازه چهارچوب نهادی و حکمرانی، اغلب مطالعات مفهوم حکمرانی را در سطحی کلی بررسی کرده‌اند.

۵-۴. جمع‌بندی کمی

در سازه فرایند تکاملی تحول دیجیتال، زیرسازه‌های تحول دیجیتال (۷۷ مورد؛ ۴۶/۷ درصد)، دیجیتالی شدن (۶۷ مورد؛ ۴۰/۶ درصد) و دیجیتالی سازی (۹ مورد؛ ۵/۴ درصد) بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین ۱۲ مورد کدگذاری (۷/۳ درصد) در سطح خود سازه اصلی ثبت شده است. در سازه توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی، زیرسازه فناوری‌های دیجیتال نوین با ۹۹ مورد (۴۸/۵ درصد) بیشترین فراوانی را داشته و پس از آن توانمندسازهای عملیاتی با ۵۶ مورد (۲۷/۴ درصد) و زیرساخت‌های دیجیتال و سایر-

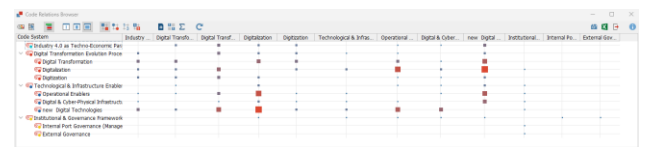
فیزیکی با ۳۴ مورد (۱۶/۷ درصد) قرار دارند. همچنین ۱۵ مورد کدگذاری (۷/۴ درصد) در سطح خود سازه اصلی ثبت شده است. در سازه چهارچوب نهادی و حکمرانی، ۳۴ مورد (۷۹٪) در سطح کد اصلی ثبت شده و زیرسازهای حاکمیت داخلی و حاکمیت خارجی به ترتیب ۳ مورد (۷٪) و ۶ مورد (۱۴٪) را شامل می‌شوند. در مجموع، توزیع کدگذاری‌ها نشان می‌دهد که تمرکز اصلی مطالعات بررسی شده بر دو سازه توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی و فرایند تکاملی تحول دیجیتال قرار داشته است، درحالی‌که سازه‌های صنعت ۴،۰ و چهارچوب نهادی و حکمرانی سهم کمتری از کل کدگذاری‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

۵-۵. جمع‌بندی تحلیلی

الگوی فراوانی نشان می‌دهد که ادبیات بنادر هوشمند در سال‌های اخیر عمدتاً بر ابعاد فناورانه و تحول دیجیتال متمرکز بوده است، درحالی‌که حکمرانی و صنعت ۴،۰ سهم کمتری در کدگذاری‌ها داشته‌اند.

۵-۶. تحلیل روابط هم‌رخدادی سازه‌ها

برای بررسی روابط مفهومی میان سازه‌ها و زیرسازه‌های چهارچوب نظری، ماتریس هم‌رخدادی کدها استخراج و تحلیل شد. این ماتریس نشان می‌دهد که مفاهیم مورد بررسی چند بار در متون به صورت هم‌زمان ظاهر شده‌اند؛ به گونه‌ای که مقادیر بالاتر بیانگر ارتباط مفهومی قوی‌تر میان آن‌ها هستند.



Code System	Industry 4.0 as Techno-Economic Paradigm	Digital Transformation Evolution Process	Digital Transformation	Digitalization	Digitalization	Technological & Infrastructure Enablers	Operational Enablers	Digital & Cyber-Physical Infrastructure	new Digital Technologies	Institutional & Governance Frameworks	Internal Port Governance (Managerial/Organizational)	External Governance
Industry 4.0 as Techno-Economic Paradigm	0	8	13	6	0	0	2	2	12	0	0	0
Digital Transformation Evolution Process	6	0	11	7	8	1	1	0	4	0	0	0
Digital Transformation Evolution Process/Digital Transformation	13	11	0	14	9	0	9	9	20	0	0	0
Digital Transformation Evolution Process/Digitalization	6	7	14	0	8	5	26	5	32	1	0	0
Digital Transformation Evolution Process/Digitalization	6	8	9	8	0	0	2	1	5	0	0	0
Technological & Infrastructure Enablers	0	1	0	5	0	0	2	1	7	1	0	0
Technological & Infrastructure Enablers/Operational Enablers	2	1	9	26	2	2	0	1	20	1	0	0
Technological & Infrastructure Enablers/Digital & Cyber-Physical Infrastructure	2	0	9	5	1	1	1	0	14	1	0	0
Technological & Infrastructure Enablers/new Digital Technologies	12	4	20	32	5	7	20	14	0	1	0	0
Institutional & Governance Frameworks	0	0	0	1	0	1	1	1	3	0	2	1
Institutional & Governance Frameworks/Internal Port Governance (Managerial/Organizational)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Institutional & Governance Frameworks/External Governance	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

شکل ۴: ماتریس روابط هم‌رخدادی سازه‌ها



۵-۲. الگوهای کلیدی روابط در شبکه هم‌رخدادی

۵-۲-۱. شبکه هم‌رخدادی صنعت ۴,۰

صنعت ۴,۰ بیشترین هم‌رخدادی را با تحول دیجیتال (۱۳) و فناوری‌های دیجیتال نوین (۱۲) داشته است و ارتباط آن با دیجیتالی شدن و دیجیتالی سازی نیز در هر دو مورد برابر با ۶ بوده است. این الگو نشان می‌دهد که صنعت ۴,۰ در مطالعات بررسی شده عمدتاً در پیوند با فناوری‌های نوین و سطوح مختلف تحول دیجیتال مطرح شده است.

۵-۲-۲. ارتباط فناوری‌های نوین و سطوح تحول دیجیتال

فناوری‌های دیجیتال نوین بیشترین هم‌رخدادی را با دیجیتالی شدن (۳۲) داشته‌اند که بالاترین مقدار در کل ماتریس است. همچنین هم‌رخدادی این زیرسازه با تحول دیجیتال و توانمندسازهای عملیاتی در هر دو مورد برابر با ۲۰ بوده و ارتباط دیجیتالی شدن با تحول دیجیتال نیز مقدار ۱۴ را نشان می‌دهد. این الگو بیانگر آن است که قوی‌ترین پیوند مفهومی در ادبیات میان فناوری‌های دیجیتال نوین، توانمندسازهای عملیاتی و سطوح مختلف فرایند تکاملی تحول دیجیتال شکل گرفته است؛ به‌ویژه دیجیتالی شدن نقشی محوری در توسعه بنادر هوشمند دارد.

۵-۲-۳. توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی

در سازه توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی، بیشترین هم‌رخدادی میان فناوری‌های دیجیتال نوین و توانمندسازهای عملیاتی (۲۰) مشاهده شد. همچنین فناوری‌های دیجیتال نوین با زیرساخت‌های دیجیتال و سایبرفیزیکی هم‌رخدادی ۱۴ داشته‌اند، درحالی‌که ارتباط زیرساخت‌های دیجیتال و سایبر-فیزیکی با توانمندسازهای عملیاتی تنها ۱ بوده است. نتایج نشان می‌دهد که در شبکه مفهومی مطالعات، فناوری‌های دیجیتال نوین و توانمندسازهای عملیاتی هسته اصلی روابط درونی این سازه را تشکیل می‌دهند.

۵-۸. چهارچوب نهادی و حکمرانی

در سازه چهارچوب نهادی و حکمرانی، هم‌رخدادی حاکمیت داخلی با سازه اصلی برابر با ۲ و حاکمیت خارجی برابر با ۱ بوده و سایر روابط مقادیر ۱ یا صفر را نشان می‌دهند. این الگو بیانگر آن است که در مطالعات بررسی‌شده، سازه حکمرانی نسبت به سایر سازه‌ها حضور محدودتری در شبکه روابط مفهومی داشته و کمتر در کانون توجه ادبیات قرار گرفته است.

۵-۹. انسجام درونی سازه فرایند تکاملی تحول دیجیتال

در سازه فرایند تکاملی تحول دیجیتال، هم‌رخدادی تحول دیجیتال با دیجیتالی شدن برابر با ۱۴، با دیجیتالی‌سازی برابر با ۹ و هم‌رخدادی دیجیتالی شدن با دیجیتالی‌سازی برابر با ۸ بوده است. این مقادیر نشان می‌دهد که زیرسازه‌های این فرایند در متون مورد بررسی به‌طور مکرر در کنار یکدیگر مطرح شده‌اند و از انسجام مفهومی قابل توجهی برخوردارند.

۵-۱۰. جمع‌بندی و تبیین شبکه مفهومی

تحلیل هم‌رخدادی نشان می‌دهد که شبکه مفهومی ادبیات بنادر هوشمند عمدتاً پیرامون تعامل میان فرایند تکاملی تحول دیجیتال و توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی شکل گرفته است. بیشترین هم‌رخدادی‌ها میان فناوری‌های دیجیتال نوین، دیجیتالی شدن، تحول دیجیتال و توانمندسازهای عملیاتی مشاهده شد که جایگاه محوری این مفاهیم را نشان می‌دهد. در مقابل، سازه حکمرانی حضور محدودتری در شبکه مفهومی دارد که بیانگر تمرکز بیشتر مطالعات بر ابعاد فناورانه و تحول دیجیتال است. درمجموع، نتایج تحلیل هم‌رخدادی وجود روابط مفهومی معنادار و منسجم میان سازه‌های چهارچوب نظری را تأیید کرد و مبنای بازبینی و سازمان‌دهی ساختار نهایی چهارچوب قرار گرفت.



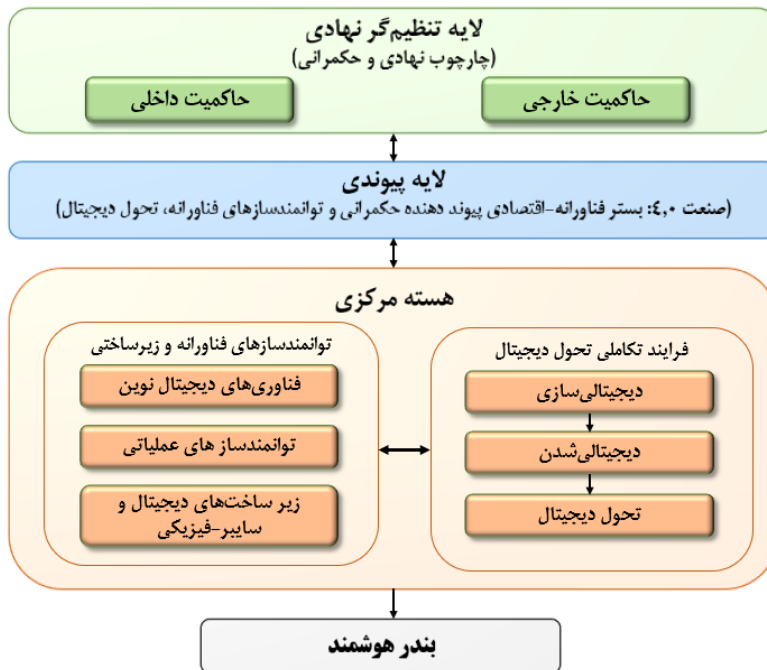
۵-۱۱. ارزیابی ساختار نهایی چهارچوب براساس یافته‌های کمی

در این پژوهش، جایگاه سازه‌ها در ساختار نهایی چهارچوب براساس ترکیب سه معیار شامل فراوانی کدها، شدت هم‌رخدادی با سایر سازه‌ها و میزان انسجام روابط درونی هر سازه تعیین شد.

در مقایسه با مدل نظری اولیه، تحلیل شبکه‌ای نشان داد که دو سازه توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی و فرایند تکاملی تحول دیجیتال نه تنها بیشترین فراوانی، بلکه بیشترین تمرکز روابط شبکه‌ای را دارا هستند. براین اساس، در ساختار نهایی چهارچوب، این دو سازه به عنوان هسته مرکزی شبکه مفهومی بنادر هوشمند در نظر گرفته شدند، درحالی که سازه چهارچوب نهادی و حکمرانی که در مدل نظری اولیه هم‌سطح سایر سازه‌ها قرار داشت، به لایه تنظیم‌گر نهادی تبدیل شد. اگرچه سازه چهارچوب نهادی و حکمرانی از نظر فراوانی سهم کمتری دارد، اما در چهارچوب پیشنهادی نقش تنظیم شدت، جهت و پایداری تحول را بر عهده دارد. به بیان دیگر، حکمرانی نه یک متغیر کم‌اهمیت، بلکه شرط نهادی تحقق و تثبیت هوشمندی بندری محسوب می‌شود. تمرکز بالای هم‌رخدادی میان زیرسازه‌های فناوری‌های دیجیتال نوین و سطوح مختلف تحول دیجیتال، بیانگر پیوند مفهومی نزدیک میان توانمندسازهای فناورانه و فرایند تکاملی تحول دیجیتال است و جایگاه محوری این دو سازه را در چهارچوب نظری پژوهش تأیید می‌کند. همچنین سازه صنعت ۴,۰ در موقعیتی پیوندی با هسته مرکزی قرار می‌گیرد. این سازه با زیرسازه‌های تحول دیجیتال و فناوری‌های دیجیتال نوین بیشترین هم‌رخدادی را دارد؛ اما فاقد ارتباط با سازه حکمرانی است. در مقابل، سازه چهارچوب نهادی و حکمرانی در لایه تنظیم‌گر نهادی ساختار قرار می‌گیرد و کم‌ترین شدت شبکه‌ای را نشان می‌دهد. در نتیجه، ساختار نهایی چهارچوب نظری پژوهش در سه لایه سامان یافته است: هسته مرکزی شامل دو سازه «توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی» و «فرایند تکاملی تحول دیجیتال» است، صنعت ۴,۰ در لایه پیوندی قرار می‌گیرد و «چهارچوب نهادی و حکمرانی» لایه تنظیم‌گر نهادی را تشکیل می‌دهد. این ساختار نهایی مستقیماً مبتنی

بر شواهد کمی استخراج شده از تحلیل فراوانی و هم‌رخدادی است و وجود نظم و ساختار منطقی در ادبیات موجود را نشان می‌دهد.

۵-۱۲. نمودار چهارچوب نظری بنادر هوشمند



شکل ۵: چهارچوب نظری بنادر هوشمند

۵-۱۳. شرح نمودار چهارچوب نظری بنادر هوشمند

نمودار چهارچوب نظری بنادر هوشمند، روابط میان سازه‌های اصلی شکل‌دهنده این مفهوم را نشان می‌دهد. در این چهارچوب، بندر هوشمند به عنوان یک سازه اجتماعی-فناورانه در نظر گرفته شده است که بر چهار سازه اصلی شامل صنعت ۴,۰، فرایند تکاملی تحول دیجیتال، توانمندسازهای فناوریانه و زیرساختی و چهارچوب نهادی و حکمرانی استوار است. این سازه‌ها در قالب یک ساختار سه‌لایه سازمان‌دهی شده‌اند. هسته مرکزی چهارچوب شامل دو



سازه فرایند تکاملی تحول دیجیتال و توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی است که براساس نتایج تحلیل فراوانی و هم‌رخدادی، بیشترین تمرکز مفهومی و قوی‌ترین ارتباطات را در ادبیات مورد بررسی داشته‌اند. این دو سازه در قالب یک رابطه دوسویه، هسته اصلی شکل‌گیری و توسعه بندر هوشمند را تشکیل می‌دهند. صنعت ۴,۰ در لایه پیوندی قرار گرفته و به‌عنوان بستری فناورانه-اقتصادی، ارتباط میان الزامات نهادی و فرایندهای تحول و هوشمندسازی بندر را تسهیل می‌کند. همچنین، چهارچوب نهادی و حکمرانی در لایه تنظیم‌گر نهادی قرار دارد و از طریق سازوکارهای حکمرانی داخلی و خارجی، جهت‌گیری، هماهنگی و پایداری فرایندهای تحول را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در پاسخ به سؤال اصلی پژوهش مبنی بر شناسایی سازه‌ها و روابط مفهومی تشکیل‌دهنده چهارچوب نظری بنادر هوشمند، یافته‌های حاصل نشان داد که روابط میان این سازه‌ها از الگوی منسجمی تبعیت می‌کند و برهمین اساس چهارچوب نهایی پژوهش در قالب ساختاری سه‌لایه سازمان‌دهی شد. هسته مرکزی این ساختار از تعامل دوسویه میان توانمندسازهای فناورانه و زیرساختی و فرایند تکاملی تحول دیجیتال تشکیل شده است. صنعت ۴,۰ در لایه پیوندی قرار دارد و چهارچوب نهادی و حکمرانی نقش تنظیم‌گر نهادی فرایند هوشمندسازی را ایفا می‌کند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که بندر هوشمند پدیده‌ای صرفاً فناورانه نیست، بلکه سازه‌ای اجتماعی-فناورانه است که تحقق آن مستلزم هم‌افزایی میان فناوری، فرایندهای تحول‌آفرین و بسترهای نهادی است. از منظر نظری، این پژوهش با ارائه یک ساختار شبکه‌ای مبتنی بر شواهد کمی، نشان می‌دهد که در مطالعات بررسی‌شده، توجه بیشتری به ابعاد فناورانه و تحول دیجیتال معطوف بوده و ابعاد حکمرانی حضور محدودتری در شبکه مفهومی ادبیات داشته‌اند. چهارچوب پیشنهادی این پژوهش با سازمان‌دهی این ابعاد در قالب ساختاری سه‌لایه، به انسجام‌بخشی نظری در این حوزه نوظهور کمک می‌کند. همچنین،

پژوهش حاضر با فاصله‌گرفتن از رویکردهای صرفاً فناوری‌محور، چهارچوبی برای تبیین روابط میان ابعاد فناورانه، تحول دیجیتال و حکمرانی ارائه می‌دهد.

۱-۶. پیشنهادهای پژوهش

۱-۱-۶. پیشنهادهای پژوهش‌های آتی

براساس یافته‌ها و شکاف‌های شناسایی شده، پیشنهادهای زیر برای مطالعات آتی ارائه می‌شود:

❖ در حوزه حکمرانی

با توجه به سهم محدود سازه حکمرانی در ادبیات موجود، محورهای زیر برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود:

۱. تدوین مدل‌های حکمرانی متناسب با سطوح مختلف (محلی، ملی، فراملی)؛
۲. تبیین تعامل میان انواع حکمرانی (داخلی و خارجی) در بنادر هوشمند؛
۳. تدوین چهارچوب جامع حکمرانی بنادر هوشمند در نظام مدیریتی بنادر ایران؛
۴. بررسی نقش حکمرانی در موفقیت پروژه‌های هوشمندسازی بنادر و تبیین سازوکارهای اثرگذاری آن بر فرایند تحول دیجیتال.

❖ در حوزه تحول دیجیتال

۱. مقایسه نقشه‌های راه تحول دیجیتال در بنادر کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه
۲. مقایسه الگوهای تحول دیجیتال در بنادر کوچک، متوسط و بزرگ

❖ ارزیابی و به‌کارگیری چهارچوب نظری

۱. ارزیابی آمادگی بنادر ایران براساس ابعاد چهارچوب نظری پیشنهادی
۲. اعتبارسنجی چهارچوب نظری در محیط‌های عملیاتی مختلف بنادر



۶-۱-۲. پیشنهادهای کاربردی و راهبردی

۱. مدیران بندری در کنار سرمایه‌گذاری در فناوری، به اصلاح سازوکارهای حکمرانی، هماهنگی میان ذی‌نفعان و ارتقای ظرفیت‌های نهادی نیز توجه داشته باشند.
۲. بنادر می‌توانند برنامه‌های تحول دیجیتال خود را به‌صورت مرحله‌ای و متناسب با سطوح دیجیتالی‌سازی، دیجیتالی‌شدن و تحول دیجیتال طراحی و اجرا کنند.
۳. توسعه همکاری‌های فناورانه و تبادل تجربه با بنادر پیشرو منطقه‌ای و بین‌المللی، متناسب با ظرفیت‌های موجود کشور و برنامه‌های توسعه دریامحور، مورد توجه قرار گیرد.
۴. توسعه زیرساخت‌های دیجیتال در بنادر کشور، ازجمله شبکه‌های ارتباطی پایدار، مراکز داده بندری و یکپارچه‌سازی سامانه‌های اطلاعاتی میان بازیگران زنجیره حمل‌ونقل دریایی مورد توجه قرار گیرد.
۵. آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی برای بهره‌برداری مؤثر از فناوری‌های نوین ازجمله هوش مصنوعی، تحلیل داده و سامانه‌های هوشمند در دستور کار قرار گیرد.

فهرست منابع

- ترسلی و همکاران (۱۴۰۳). کاربرد هوش مصنوعی در بهبود فرایند جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات. مطالعات بین‌رشته‌ای دانش راهبردی، ۱۴(۵۶).
- محمدی منفرد و همکاران (۱۴۰۴). الگوی مفهومی کاربری حکمرانی فناوری هوش مصنوعی با رویکرد ارتقا قدرت سایبری. مطالعات بین‌رشته‌ای دانش راهبردی، ۱۵(۶۰).
- موسوی سرشت (۱۴۰۳). چهارچوبی برای هوشمندسازی بنادر، با رویکرد تلفیق بلاکچین و هوش مصنوعی. در چهارمین کنفرانس بین‌المللی هوش مصنوعی و چشم‌انداز آینده آن در علوم مهندسی برق، کامپیوتر، مکانیک و مخابرات.



References

- Alzate, P., Isaza, G. A., Toro, E. M., Jaramillo-Garzón, J. A., Hernandez, S., Jurado, I., & Hernandez, D. (2024). *Operational efficiency and sustainability in smart ports: A comprehensive review*. *Marine Systems & Ocean Technology*, 19(1–2), 120–131. <https://doi.org/10.1007/s40868-024-00142-z>
- Basulo-Ribeiro, J., Pimentel, C., & Teixeira, L. (2024). *Digital transformation in maritime ports: Defining smart gates through process improvement in a Portuguese container terminal*. *Future Internet*, 16(10), 350. <https://doi.org/10.3390/fi16100350>
- Belmoukari, B., Audy, J.-F., & Forget, P. (2023). *Smart port: A systematic literature review*. *European Transport Research Review*, 15, Article 4. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00581-6>
- Boullauazan, Y., Sys, C., & Vanelslander, T. (2022). *Developing a smart port framework: A systematic literature review*. *Maritime Economics & Logistics*, 24(3), 451–477. <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00221-1>
- Charlampowicz, J., & Karas, A. (2024). *Smart ports process maturity model: Theoretical framework*. *European Research Studies Journal*, 27(Special Issue 3), 893–903. <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/131094>
- Fang, S., Guo, M., Chen, G., Niu, T., & Liao, R. (2025). *A two-stage emergency reconfiguration strategy for port cyber-physical systems during disasters considering the marginal value quantification of multi-service information flows*. *IET Renewable Power Generation*, 1–15. <https://doi.org/10.1049/rpg2.70049>
- Hawari, S. M., Hadiprawoto, T. R., Iriyanty, I., Alversia, Y., & Adiyono, S. (2024). *Smart port management in digital transformation: A review for future research*. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 9(3), 442–450. <https://doi.org/10.12962/j25481479.v9i3.21475>
- Jović, M., Tijan, E., Brčić, D., & Pucihar, A. (2022). *Digitalization in maritime transport and seaports: A systematic literature review*. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(4), Article 486. <https://doi.org/10.3390/jmse10040486>
- Koritarov, T., & Dimitrakiev, D. (2024). *The impact of digitalization on smart ports: Enhancing efficiency, sustainability, and competitiveness in the maritime industry*. *The Scientific Heritage*, 152, 28–35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14603507>
- Kowalski, M. E., Gomes, L. A. V., Borini, F. M., & Bernardes, R. C. (2026). *Business-to-business ecosystem smartification for manufacturing: A definition, an integrative framework, and future directions*. *Technovation*, 151, 103425. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2025.103425>
- Lin, S.-C., Chang, H.-K., & Chung, Y.-F. (2022). *Exploring the impact of different port governances on smart port development strategy in Taiwan and Spain*. *Sustainability*, 14(15), 9158. <https://doi.org/10.3390/su14159158>
- Min, H. (2022). *Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0*. *Maritime Economics & Logistics*, 24(2), 189–207. <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00211-3>

- Paraskevas, A., Madas, M., Zeimpekis, V., & Fouskas, K. (2024). *Smart ports in Industry 4.0: A systematic literature review*. Logistics, 8(1), Article 28. <https://doi.org/10.3390/logistics8010028>
- Pham, T. Y. (2023). *A smart port development: Systematic literature and bibliometric analysis*. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 39(1), 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2023.06.005>
- Plekhanov, D., Franke, H., & Netland, T. H. (2023). *Digital transformation: A review and research agenda*. European Management Journal, 41(6), 821–844. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2022.09.007>
- Rachinger, M., Rauter, R., Müller, C., Vorraber, W., & Schirgi, E. (2019). *Digitalization and its influence on business model innovation*. Journal of Manufacturing Technology Management, 30(8), 1143–1160. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0020>
- Sadiku, M. N. O., Chukwu, U. C., Ajayi-Majebe, A., & Musa, S. M. (2022). *Digitalization: A primer*. International Journal of Trend in Scientific Research and Development, 6(4), 1765–1773.
- Toomeoja, E., Gülmez, S., & Tapaninen, U. (2025). *Systematic review of smart ports: Trends and future research directions*. In Proceedings of the International Conference on Smart Ports and Maritime Logistics. Estonian Maritime Academy of Tallinn University of Technology. <https://doi.org/10.12716/1001.19.03.24>
- Yau, K.-L. A., Peng, S., Qadir, J., Low, Y.-C., & Ling, M. H. (2020). *Towards smart port infrastructures: Enhancing port activities using information and communications technology*. IEEE Access, 8, 83387–83404. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990961>