به‌کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی و مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر

مقاله علمی-پژوهشی

*محمدامین ابراهیم‌زاده (نویسنده مسئول)، گروه عمران برنامه ریزی حمل ونقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
عرشیا عطار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران
صبا مایل، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران
ملیکا زینی احمد آباد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: **ma.ebrahimzadeh@eng.ikiu.ac.ir**

دریافت:۱۴۰۴/۰۹/۲۰- پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۲
صفحه ۳۸-۲۷

چکیده

در این پژوهش، به کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی در بهینه‌سازی و مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر مورد بررسی قرار گرفته است. چالش‌های اساسی در عملیات بندری، از جمله ازدحام، تخصیص نامناسب منابع، هزینه‌های بالای عملیاتی و تأخیر در پردازش بار، مشکلاتی هستند که می‌توانند با استفاده از فناوری‌های هوشمند بهبود یابند. سیستم‌های هوشمند با استفاده از تحلیل داده‌های کلان، مدل‌های یادگیری ماشین و پردازش اطلاعات در زمان واقعی، کارایی عملیاتی بنادر را افزایش داده و بهره‌وری را بهبود می‌بخشند. نتایج کمی این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسیر کامیون‌های کانتینری منجر به کاهش ۳۳/۳٪ در زمان حمل‌ونقل و کاهش ۲۵٪ در مصرف سوخت شده است. همچنین، مدل پیش‌بینی ترافیک مبتنی بر LSTM با دقت ۸۸٪، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های سنتی مانند ARIMA (با دقت ۸۲٪) نشان داده است. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) نیز در تخصیص منابع، بهبودی معادل ۲۰٪ در بهره‌وری عملیاتی را به همراه داشته است. علاوه بر این، سیستم‌های هوشمند قادرند تأخیرهای غیرضروری را کاهش داده، هزینه‌های عملیاتی را مدیریت کرده و تأثیرات زیست‌محیطی را به حداقل برسانند. نتایج کیفی پژوهش حاکی از آن است که فناوری‌های هوش مصنوعی می‌توانند با کاهش وابستگی به فرآیندهای سنتی، خطاهای انسانی را کاهش داده و کارایی نیروی انسانی را افزایش دهند. با وجود مزایای چشمگیر، پیاده‌سازی این فناوری‌ها با چالش‌هایی مانند هزینه‌های اولیه بالا، نیاز به زیرساخت‌های دیجیتال قوی و مقاومت در برابر تغییرات سازمانی روبرو است. این پژوهش راهکارهای عملی برای غلبه بر این چالش‌ها و توسعه بنادر هوشمند ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: هوش مصنوعی، بنادر هوشمند، بهینه‌سازی، مدیریت حمل‌ونقل، یادگیری ماشین

۱-مقدمه

در دهه‌های اخیر، با گسترش تجارت بین‌المللی و افزایش وابستگی اقتصاد جهانی به حمل‌ونقل دریایی، بنادر به یکی از مهم‌ترین عناصر زنجیره تأمین تبدیل شده‌اند. امروزه، بیش از ۸۰ درصد تجارت جهانی از طریق حمل‌ونقل دریایی انجام می‌شود و بنادر به‌عنوان دروازه‌های ورود و خروج کالاها، نقش حیاتی در رشد اقتصادی کشورها ایفا می‌کنند. با این حال، رشد سریع تجارت دریایی، چالش‌های متعددی را برای مدیریت بنادر ایجاد کرده است. افزایش حجم کالاهای ورودی و خروجی، کمبود فضا برای انبارداری، ازدحام در عملیات بارگیری و تخلیه، تخصیص نامناسب منابع، هزینه‌های بالای عملیاتی و تأخیرهای ناخواسته از جمله مشکلاتی هستند که بهره‌وری بنادر را تحت تأثیر

قرار داده و منجر به کاهش کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل دریایی می‌شوند. علاوه بر چالش‌های عملیاتی، ملاحظات زیست‌محیطی نیز از دیگر مسائلی هستند که مدیریت بنادر مدرن را پیچیده‌تر کرده‌اند. آلودگی ناشی از تردد کشتی‌ها، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، و انتشار گازهای گلخانه‌ای، بنادر را به یکی از منابع مهم آلودگی محیطی تبدیل کرده است. بنابراین، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش ردپای کربنی در فعالیت‌های بندری، از جمله اولویت‌های اصلی صنعت حمل‌ونقل دریایی محسوب می‌شود. در چنین شرایطی، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و دیجیتالی‌سازی فرایندهای بندری به‌عنوان راهکاری کارآمد برای حل مشکلات موجود پیشنهاد شده است. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، با قابلیت پردازش حجم وسیعی از داده‌ها، توانایی ارائه راه‌حل‌های هوشمند برای بهینه‌سازی ترافیک بندری، مدیریت دقیق‌تر منابع، کاهش هزینه‌ها، افزایش سرعت بارگیری و تخلیه، و بهبود ایمنی و امنیت در بنادر را دارند. این فناوری‌ها همچنین می‌توانند با استفاده از سیستم‌های پیش‌بینی هوشمند و تحلیل داده‌های کلان، برنامه‌ریزی عملیات بندری را بهبود بخشیده و از بروز مشکلاتی نظیر تأخیرهای غیرضروری جلوگیری کنند. با وجود مزایای گسترده‌ای که فناوری‌های هوش مصنوعی ارائه می‌دهند، اجرای آن‌ها در مدیریت بنادر با چالش‌هایی همراه است. نیاز به زیرساخت‌های دیجیتال پیشرفته، هزینه‌های اولیه بالا، مسائل امنیت سایبری، و مقاومت در برابر تغییرات سازمانی از جمله موانعی هستند که می‌توانند سرعت پذیرش این فناوری‌ها را کاهش دهند. بسیاری از بنادر هنوز از سیستم‌های سنتی و روش‌های دستی برای مدیریت عملیات خود استفاده می‌کنند، که این موضوع باعث کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. از سوی دیگر، استفاده از داده‌های غیرساختاریافته و عدم هماهنگی میان بخش‌های مختلف بندری، یکی از چالش‌های کلیدی در به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند محسوب می‌شود. بنابراین، این پژوهش بر آن است تا به بررسی نقش هوش مصنوعی در بهینه‌سازی مدیریت بنادر بپردازد و راهکارهای مؤثری را برای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های عملیاتی و زیست‌محیطی، و بهبود مدیریت ترافیک دریایی ارائه دهد. در نهایت، هدف اصلی این مطالعه، بررسی موانع و چالش‌های موجود در مسیر اجرای فناوری‌های هوش مصنوعی در بنادر و ارائه پیشنهاداتی برای رفع این چالش‌ها است. هوش مصنوعی از طریق بهینه‌سازی مصرف سوخت، برنامه‌ریزی مسیر و مدیریت هوشمند انرژی، به بهبود بهره‌وری حمل‌ونقل دریایی کمک می‌کند. پیاده‌سازی موفق این فناوری در بنادری مانند بندر روتردام موجب کاهش انتشار آلاینده‌ها و ارتقاء نظارت زیست‌محیطی شده است. از کاربردهای اصلی هوش مصنوعی در بنادر می‌توان به مدیریت لجستیک مستقل و تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده اشاره کرد که به کاهش زمان توقف و افزایش بهره‌وری منجر می‌شود. با این حال، چالش‌هایی نظیر هزینه‌های بالا و پیچیدگی‌های نظارتی همچنان مانع از توسعه سریع این فناوری هستند. با این وجود، پیشرفت‌های مستمر و همکاری‌های بین بخش‌های دولتی و خصوصی می‌توانند صنعت دریایی را به سمت افزایش پایداری و کارایی هدایت کنند. (Durlik et al., 2024). الگوریتم‌های هوش مصنوعی نقش حیاتی در بهینه‌سازی و مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر ایفا می‌کنند. استفاده از وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار در پایانه‌های کانتینری می‌تواند با بهبود عملکرد، کاهش هزینه‌های عملیاتی بین ۲۵ تا ۵۵ درصد، و افزایش بهره‌وری تا ۲۱۵ درصد همراه باشد. تحقیقات نشان می‌دهند که هوش مصنوعی از طریق الگوریتم‌های اکتشافی و فراابتکاری قادر به بهینه‌سازی مسیریابی AGVها، بهبود زمان‌بندی عملیات، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. با این حال، تنها ۳ درصد از پایانه‌های کانتینری در سطح جهانی از اتوماسیون بهره می‌برند و پذیرش گسترده آن به دلیل چالش‌های سرمایه‌گذاری و مخالفت‌های اتحادیه‌های کارگری محدود شده است. (Tsolakis et al., 2022). هوش مصنوعی نقش کلیدی در دیجیتالی‌سازی و هوشمندسازی حمل‌ونقل در بنادر ایفا می‌کند و می‌تواند به کاهش خطای انسانی و افزایش سرعت عملیات کمک کند. با تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین امکان بهینه‌سازی مسیرها، کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و کاهش انتشار کربن را فراهم می‌آورند. همچنین، هوش مصنوعی به بنادر این امکان را می‌دهد که با استفاده از داده‌های کلان، روندهای بازار را شناسایی کرده و فرآیندهای لجستیکی را بهبود بخشند. کیفیت داده‌ها چالشی اساسی برای استفاده مؤثر از هوش مصنوعی در بنادر است، چرا که داده‌های نادرست می‌توانند عملکرد الگوریتم‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. در نهایت، سیستم‌های هوشمند می‌توانند به خودکارسازی تجهیزات بندری کمک کرده و عملیات را بدون نیاز به نظارت دائمی از مرکز کنترل انجام دهند. (Ghazaleh, 2023). در ادامه این پژوهش به دو پرسش زیر پاسخ می دهد:

-چگونه استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌تواند کارایی و بهره‌وری بنادر را افزایش دهد؟

-چه چالش‌ها و موانعی در مسیر پیاده‌سازی فناوری‌های هوش مصنوعی در مدیریت بنادر وجود دارد و چگونه می‌توان آن‌ها را برطرف کرد؟

۲-پیشینه تحقیق

الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی و مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر در سه سطح برنامه‌ریزی استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی به‌کار گرفته می‌شوند. برنامه‌ریزی خطی به‌عنوان یک روش اصلی در بهینه‌سازی مسیریابی و زمان‌بندی کشتی‌ها، تخصیص ناوگان و مدیریت بار استفاده می‌شود. ترکیب برنامه‌ریزی استراتژیک و تاکتیکی با الگوریتم‌های پیشرفته مانند جستجوی محلی اکتشافی و برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط به کاهش زمان اجرا و افزایش کارایی

منجر شده است. برخی از تحقیقات بر تجمیع بنادر و یکپارچه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل برای بهینه‌سازی ظرفیت و کاهش هزینه‌ها تمرکز داشته‌اند. همچنین، ابزارهای کتاب‌سنجی و تحلیل شبکه برای بررسی روندهای تحقیقاتی و توسعه مدل‌های کارآمدتر در حمل‌ونقل دریایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. (Pradana & Noche, 2019). بنادر هوشمند با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی به بهینه‌سازی حمل‌ونقل و مدیریت عملیات خود پرداخته و عملکردی کارآمدتر و ایمن‌تر را فراهم می‌آورند. این فناوری‌ها شامل تجزیه‌وتحلیل داده‌های حسگرها، سیستم‌های مکان‌یابی بلادرنگ و پردازش داده‌های حجیم برای پیش‌بینی ترافیک و بهینه‌سازی مصرف انرژی هستند. همچنین، سیستم‌های خودکار مانند IPMS و SmartPort امکان اشتراک‌گذاری اطلاعات، کاهش تأخیرها و بهبود بهره‌وری را فراهم می‌سازند. برخی از بنادر مانند هامبورگ و روتردام از فناوری‌های جدید برای ردیابی کشتی‌ها و بهینه‌سازی حرکت بار استفاده کرده‌اند. علاوه بر این، بنادر مختلف از پلتفرم‌های دیجیتال و هکاتون‌ها برای توسعه ایده‌های نوآورانه و راهکارهای هوشمند بهره می‌برند. (Molavi et al., 2020). مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی بخشی از لجستیک هوشمند است که در واکنش به چالش‌های پیچیده زنجیره تأمین توسعه یافته است. این مفهوم از طریق فناوری‌های Industry 4.0 مانند اینترنت اشیا و داده‌های بزرگ، عملیات ترمینالی را خودکار کرده و ارتباطات میان بازیگران زنجیره بندری را در زمان واقعی تسهیل می‌سازد. پروژه‌های نوآورانه‌ای همچون بندر هوشمند روتردام و هامبورگ نشان داده‌اند که این فناوری‌ها می‌توانند پیچیدگی‌های بندری را کاهش دهند و رقابت‌پذیری را ارتقاء دهند. هدف از این رویکرد، بهینه‌سازی حمل‌ونقل، افزایش بهره‌وری انرژی و یکپارچه‌سازی فرآیندهای بندری است. (Douaioui et al., 2018). بنادر هوشمند با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، مدیریت کشتی‌ها و کانتینرها را بهینه کرده و بهره‌وری را افزایش می‌دهند. این بنادر با کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، پایداری محیطی را بهبود می‌بخشند. توسعه اکوسیستم بندری هوشمند شامل سیستم‌های اطلاعاتی، مکان‌یابی و مدیریت خوشه‌ای است که موجب هماهنگی بهتر بین سهامداران و شرکت‌های حمل‌ونقل می‌شود. نسل پنجم بنادر بر اتوماسیون عملیات، پردازش داده‌های بزرگ و بهبود ارتباطات تمرکز دارد تا عملکرد زنجیره تأمین را تقویت کند. این فناوری‌ها رقابت‌پذیری جهانی بنادر را افزایش داده و نقش کلیدی در اقتصاد دریایی ایفا می‌کنند. (Yau et al., 2020). در این پژوهش، استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و فناوری‌های نوین برای بهینه‌سازی و مدیریت حمل‌ونقل در بنادر هوشمند مورد بررسی قرار گرفته است. بنادر هوشمند از فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا و داده‌های بزرگ برای ارتقاء ارتباطات و هماهنگی بین کشتی‌ها و بنادر بهره می‌برند. این فناوری‌ها باعث بهبود عملکرد بنادر، کاهش تراکم ترافیک، و افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند. شاخص‌های پورت هوشمند به عنوان ابزاری برای ارزیابی عملکرد بنادر هوشمند در این تحقیق برای توسعه مدل مفهومی مدیریت بندر هوشمند در بنادر شرقی تایلند (EEC) به کار رفته است. این مدل به بنادر کمک می‌کند تا استانداردهای بین‌المللی بهره‌وری و پایداری را رعایت کنند. (Makkawan & Muangpan, 2021). این مطالعه از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهبود پیش‌بینی جریان ترافیک دریایی استفاده می‌کند. مدل پیشنهادی ترکیبی از شبکه عصبی کانولوشن و شبکه واحد بازگشتی دردار دوطرفه است که به استخراج ویژگی‌های مهم و درک وابستگی‌های زمانی کمک می‌کند. علاوه بر این، از الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ برای تنظیم پارامترهای مدل و افزایش دقت پیش‌بینی بهره گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهند که این مدل توانسته خطاهای پیش‌بینی را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و دقت را بهبود بخشد. این رویکرد می‌تواند در بهینه‌سازی منابع بندری و مدیریت ترافیک دریایی مؤثر باشد و به توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل دریایی کارآمدتر و پایدارتر کمک کند. (Xie et al., 2024). این مطالعه به بررسی مسئله کنترل ترافیک کشتی پرداخته و از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی مسیریابی و زمان‌بندی کشتی‌ها در بنادر استفاده می‌کند. هدف این روش، برنامه‌ریزی ترافیک دوطرفه و یافتن مسیرهای سریع‌تر با ادغام الگوریتم‌های جلوگیری از برخورد است. مدل پیشنهادی از ترکیب دو رویکرد همزمان و متوالی برای تخصیص بهینه منابع شبکه و پیشگیری از برخورد کشتی‌ها بهره می‌برد. نتایج آزمایش‌های انجام‌شده بر داده‌های واقعی نشان داده‌اند که این الگوریتم در مقایسه با روش‌های دستی، دقت تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشد. این رویکرد علاوه بر مدیریت ترافیک دریایی، می‌تواند در زمان‌بندی قطارها و بهینه‌سازی شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی نیز به کار گرفته شود. (Lübbecke et al., 2019). مطالعه ای دیگر به بررسی استفاده از هوش مصنوعی و تحقیق در عملیات برای بهینه‌سازی لجستیک دریایی پرداخته و نشان می‌دهد که ترکیب این روش‌ها می‌تواند به پیشرفت‌های بزرگی منجر شود. با افزایش داده‌های دیجیتالی در حمل‌ونقل دریایی، روش‌های یادگیری ماشین امکان استخراج اطلاعات ارزشمند و بهبود تصمیم‌گیری را فراهم می‌کنند. با این حال، تحقیقات نشان می‌دهد که الگوریتم‌های یادگیری ماشین هنوز به طور کامل با چالش‌های لجستیک دریایی سازگار نشده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که فرصت‌های قابل‌توجهی برای ترکیب هوش مصنوعی و تحقیق در عملیات در بهینه‌سازی مسیریابی، زمان‌بندی و مدیریت ترافیک دریایی وجود دارد. در نهایت، شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی می‌تواند به توسعه مدل‌های یادگیری جدید برای حمل‌ونقل هوشمند دریایی کمک کند. (Dornemann et al., 2020). الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی و مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر نقش مهمی ایفا می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند در تحلیل پیش‌بینی و بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی در لجستیک دریایی مورد استفاده قرار گیرد. یادگیری ماشین و تحقیقات عملیات برای خودکارسازی فرآیندهای بهینه‌سازی و کاهش نیاز به نیروی انسانی کارآمدتر شده‌اند. همچنین، سیستم‌های هوش مصنوعی قادرند کشتی‌های خودران را طراحی و مدیریت کنند که موجب کاهش خطاها و افزایش کارایی می‌شود. در نهایت، دیجیتالی شدن و تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ، راهکارهای نوآورانه‌ای برای افزایش بهره‌وری و پایداری در صنعت حمل‌ونقل دریایی فراهم کرده است. (Aylak, 2022). هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های بزرگ و

دیجیتالی‌سازی، مدیریت حمل‌ونقل در بنادر را بهینه‌سازی کرده و بهره‌وری را افزایش می‌دهد. یادگیری ماشین و تحقیقات عملیات امکان خودکارسازی فرآیندهای بهینه‌سازی را فراهم کرده و نیاز به نیروی انسانی را کاهش داده‌اند. سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند کشتی‌های خودران را مدیریت کنند و با کاهش خطاها، ایمنی و کارایی را بهبود بخشند. همچنین، تحلیل پیش‌بینی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در لجستیک دریایی از دیگر کاربردهای مهم این فناوری است. در مجموع، هوش مصنوعی فرصت‌های جدیدی برای بهبود عملکرد، پایداری و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل دریایی فراهم کرده است. (Liu, 2024). هوش مصنوعی با استفاده از برنامه‌ریزی پویا تصادفی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، تخصیص بهینه اسکله به کشتی‌های ورودی را مدیریت می‌کند. این روش با در نظر گرفتن عدم قطعیت در زمان ورود و جابجایی کشتی‌ها، بهره‌وری بنادر را افزایش داده و هزینه‌های اضافی را کاهش می‌دهد. استفاده از سیاست‌های کنترل هوشمند، تخصیص منابع را بسته به تعداد کشتی‌ها در یک گروه اسکله مشخص بهینه می‌کند. این الگوریتم‌ها به جای روش‌های سنتی مانند "اولین ورود، اولین خدمت"، تصمیمات تطبیقی ارائه می‌دهند که تأثیر مستقیمی بر عملیات پایانه‌های کانتینری دارد. در مجموع، کاربرد این رویکردها باعث بهبود عملکرد، کاهش تأخیرها و افزایش رقابت‌پذیری بنادر می‌شود. (Ursavas & Zhu, 2016). با توجه به افزایش ترافیک کانتینری، مدیریت هوشمند بنادر با الگوریتم‌های هوش مصنوعی بهبود می‌یابد. مدل BACAP یک برنامه‌ریزی یکپارچه برای تخصیص اسکله و جرثقیل ارائه می‌دهد که کارایی بالایی دارد، اما مدل BACASP برای حل مسائل بزرگ‌تر نیازمند پس‌پردازش و الگوریتم‌های برشی است. ادغام تخصیص اسکله، جرثقیل و زمان‌بندی عملیات تخلیه و بارگیری باعث بهینه‌سازی عملکرد بنادر می‌شود. مدل‌های ریاضی مانند برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای این ادغام توسعه یافته‌اند، اما محدودیت‌های محاسباتی دارند. استفاده از روش‌های اکتشافی و هوش مصنوعی مانند Tabu Search به بهبود کارایی این مدل‌ها کمک می‌کند. (Türkoğulları et al., 2014). الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی مدیریت حمل‌ونقل در بنادر از طریق برنامه‌ریزی تخصیص اسکله پیاده‌سازی شده‌اند. با استفاده از الگوریتم جستجوی محلی و تعریف ساختار همسایگی، سیستم‌های زمان‌بندی پویا برای تخصیص بهینه اسکله توسعه یافته‌اند که تأخیر پهلوگیری کشتی‌ها را کاهش داده و بهره‌وری اسکله را افزایش می‌دهند. این الگوریتم‌ها با در نظر گرفتن داده‌های تاریخی، زمان ورود، میزان بارگیری و تخلیه، و منابع موجود، بهترین تخصیص را ارائه می‌دهند. هدف اصلی، به حداکثر رساندن توان عملیاتی و به حداقل رساندن زمان انتظار کشتی‌ها با تنظیم پنجره‌های برنامه‌ریزی بهینه است. در شرایط بار سنگین، امکان بهبود بهره‌وری از طریق تأخیر عمدی در پهلوگیری برخی کشتی‌ها نیز بررسی شده است. (Dai et al., 2008). الگوریتم‌های هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در مدیریت هوشمند حمل‌ونقل بنادر با جمع‌آوری و پردازش داده‌های لحظه‌ای از کشتی‌ها، بنادر و محموله‌ها، کارایی عملیاتی را افزایش می‌دهند. این فناوری‌ها به بهینه‌سازی مصرف سوخت، کنترل تعمیر و نگهداری کشتی‌ها، تنظیم حرکت محموله و رعایت مقررات زیست‌محیطی کمک می‌کنند. همچنین، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا با ارائه تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده، زمان خرابی تجهیزات را کاهش داده و طول عمر ابزارها را افزایش می‌دهند. استفاده از این فناوری‌ها در لجستیک دریایی باعث افزایش شفافیت زنجیره تأمین، کاهش تأخیرها و بهبود برنامه‌ریزی حمل‌ونقل می‌شود. دیجیتالی‌سازی در صنایع حمل‌ونقل و لجستیک، روش‌های سنتی را به چالش کشیده و نیاز به راهکارهای جدید برای تصمیم‌گیری و مدیریت بهینه را افزایش داده است. (Nathisiya & Radhakrishnan, 2024). استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی در بنادر باعث بهینه‌سازی عملیات بندری، افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها از طریق پردازش و تحلیل کلان‌داده‌ها می‌شود. فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، و اتوماسیون بر زنجیره تأمین جهانی تأثیرگذار بوده و بنادر را به انطباق با محیط دیجیتال وادار کرده‌اند. تحلیل داده‌های بزرگ به مدیران بندر کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری برای کاهش آلودگی، افزایش بهره‌وری و بهبود پایداری اتخاذ کنند. مدل‌های مدیریتی جدید با استفاده از هوش مصنوعی و کلان‌داده، فرآیندهای سنتی بندری را تغییر داده و کارایی عملیاتی را افزایش می‌دهند. برای بهره‌برداری کامل از این فناوری‌ها، مقامات بندری باید قابلیت جمع‌آوری، پردازش و استفاده از داده‌های بندر را تقویت کنند. (Xie, 2023). الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند نقش مهمی در مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر ایفا کنند. این فناوری‌ها می‌توانند برای تجزیه و تحلیل داده‌های ترافیکی و بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل برای کاهش تراکم و افزایش ایمنی استفاده شوند. همچنین، با تحلیل داده‌های حمل‌ونقل دریایی، هوایی، جاده‌ای و ریلی، یک سیستم مدیریتی یکپارچه ایجاد می‌شود که عملکرد و هماهنگی بین شاخه‌های مختلف حمل‌ونقل را بهبود می‌بخشد. استفاده از هوش مصنوعی در کنترل وزن کامیون‌ها از طریق سامانه‌های پیش‌انتخاب و تجزیه و تحلیل خرابی‌های جاده‌ای، می‌تواند مانع از آسیب‌های زیرساختی شود. در نهایت، هوش مصنوعی با شناسایی الگوهای خطر و ارائه راهکارهای پیشگیرانه، می‌تواند ایمنی حمل‌ونقل در بنادر را افزایش دهد. (Budzyński et al., 2017). الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به بهینه‌سازی و مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر کمک کنند. با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات، می‌توان ترافیک زمینی و دریایی را به‌طور همزمان مدیریت کرد، که موجب کارایی بیشتر عملیات بندری و جابجایی آسان‌تر ساکنان شهر می‌شود. این سیستم‌ها با برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و کنترل لجستیک، می‌توانند کیفیت خدمات بندری را افزایش دهند. همچنین، با تحلیل داده‌های ترافیکی و اقتصادی، به بنادر کمک می‌کنند تا زیرساخت‌های خود را مطابق با نیازهای تجاری و حمل‌ونقل به‌طور مؤثر توسعه دهند. در نهایت، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند راهکارهایی برای مقابله با چالش‌های محیط‌زیستی و بارهای ترافیکی در بنادر ارائه دهند. (Gurzhiy et al., 2021). الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند نقش مهمی در بهینه‌سازی حمل‌ونقل دریایی ایفا کنند. با شناسایی فناوری‌های نوآورانه و مدل‌های تجاری، می‌توان سیستم‌های حمل‌ونقل دریایی را پایدارتر و کارآمدتر کرد. استفاده از هوش مصنوعی در سیاست‌گذاری و تحلیل تقاضای حمل‌ونقل به تصمیم‌گیری‌های استراتژیک کمک می‌کند و می‌تواند موانع نوآوری را کاهش دهد.

همچنین، بهبود عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل با استفاده از الگوریتم‌ها در مدیریت انرژی، فناوری و امور مالی امکان‌پذیر است. در نهایت، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به توسعه ساختارهای حاکمیتی مؤثر برای تقویت نوآوری در سیستم‌های حمل‌ونقل کمک کنند. (Rodrigue, 2010). الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به بهینه‌سازی حمل‌ونقل در بنادر داخلی کمک کنند. با تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی فرآیندها، این الگوریتم‌ها می‌توانند هزینه‌های حمل‌ونقل را کاهش داده و زمان‌های تأخیر را مدیریت کنند. ترکیب خدمات مختلف در بنادر داخلی می‌تواند با استفاده از هوش مصنوعی، کارایی و رقابت‌پذیری را بهبود بخشد. همچنین، استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی در فرآیندهای گمرکی و مرزی می‌تواند عدم قطعیت‌ها را کاهش داده و جریان کالاها را تسریع کند. در نهایت، این الگوریتم‌ها می‌توانند به برنامه‌ریزی مؤثرتر و مدیریت منابع در بنادر داخلی کمک کنند. (Harrison et al., 2002). الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند در بهینه‌سازی حمل‌ونقل در بنادر با استفاده از شاخص‌های مختلف ویژگی‌های بندر کمک کنند. تحقیق‌ها نشان داده‌اند که ویژگی‌هایی مانند کارایی بندر، زیرساخت‌ها، مشارکت بخش خصوصی و اتصال بین بندری تأثیر زیادی بر هزینه‌های حمل‌ونقل دریایی دارند. با افزایش کارایی بندر، هزینه‌های حمل‌ونقل کاهش می‌یابد، که مشابه تأثیر کاهش فاصله بین بنادر است. همچنین، بهبود زیرساخت‌های بندری و خصوصی‌سازی می‌تواند به کاهش هزینه‌ها منجر شود. الگوریتم‌ها می‌توانند با پردازش این ویژگی‌ها، به تصمیم‌گیری‌های هوشمند و بهینه‌سازی زمان و هزینه در بندرها کمک کنند. (Wilmsmeier et al., 2006). مقاله به بررسی تاثیرات کارایی بندر بر هزینه‌های حمل و نقل آبی و بهینه‌سازی آن می‌پردازد. با استفاده از تجزیه و تحلیل اجزای اصلی، معیارهای مختلف کارایی بندر شناسایی و بررسی شده‌اند که به طور معناداری در تعیین هزینه‌های حمل و نقل موثرند. مدل برآورد شده نشان می‌دهد که کارایی بندر به خصوص با کشش تخمینی بالا بر هزینه‌های حمل و نقل تاثیر زیادی دارد. این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که عواملی مانند مسافت، خدمات لاینر ماهانه و ارزش کالا در هر تن، تاثیرات معناداری بر هزینه‌های حمل و نقل دارند. بهبود در کارایی بندر می‌تواند رقابت‌پذیری کشورها را تقویت کند و این موضوع تحت تاثیر سیاست‌های عمومی قابل تغییر است. (Sánchez et al., 2003). با توجه به رشد سریع تجارت بین‌الملل و افزایش ازدحام در بنادر، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به بهینه‌سازی انتخاب بنادر و مدیریت حمل‌ونقل کمک کنند. این الگوریتم‌ها با تحلیل داده‌های اقتصادی و شرایط مختلف حمل‌ونقل، می‌توانند الگوهای بهینه مسیریابی و تخصیص منابع را شبیه‌سازی کنند. یکی از جنبه‌های مهم، استفاده از مدل‌های تحلیلی برای پیش‌بینی تاثیر عواملی مانند هزینه حمل‌ونقل داخلی و خارجی، کارایی بنادر، و تراکم بار در انتخاب بندر مناسب است. همچنین، ارزیابی ویژگی‌های بنادر و زمان لازم برای تخلیه نیز می‌تواند توسط این الگوریتم‌ها بهبود یابد، که در نهایت منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری می‌شود. در این راستا، توسعه مدل‌هایی که به‌طور مستمر داده‌ها را تحلیل و تصمیمات هوشمندانه‌ای در مورد انتخاب بندر به منظور بهینه‌سازی زمان و هزینه‌ها می‌گیرند، ضروری است. (Blonigen & Wilson, 2006). این مطالعه به بررسی به‌کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی و اصول مدیریت ذینفعان برای بهینه‌سازی عملکرد بنادر در زمینه حمل‌ونقل کانتینری می‌پردازد. هدف اصلی آن ارائه ابزاری برای اندازه‌گیری عملکرد بنادر بر اساس منافع ذینفعان مختلف است. استفاده از تحلیل اهمیت-عملکرد و فرآیند سلسله‌مراتبی تحلیلی برای به دست آوردن اهمیت ویژگی‌ها، به مدیران بندر کمک می‌کند تا منابع را به‌طور موثر تخصیص دهند. این رویکرد به مدیران کمک می‌کند تا اهداف مختلف ذینفعان را هماهنگ کرده و عملکرد کلی را بهبود بخشند. الگوریتم‌ها و مدل‌های هوش مصنوعی در این زمینه می‌توانند به شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتارهای مختلف ذینفعان کمک کرده و استراتژی‌های بهینه برای تصمیم‌گیری در مدیریت بنادر ارائه دهند. (Ha et al., 2019). الگوریتم‌های هوش مصنوعی در بهینه‌سازی و مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر با استفاده از شبیه‌سازی‌های پیشرفته کمک می‌کنند تا عملیات پیچیده بنادر، از جمله حمل‌ونقل کانتینرها توسط کشتی‌ها، کامیون‌ها و قطارها، بهبود یابد. شبیه‌سازی رویداد گسسته برای مدل‌سازی منابع مختلف مانند جرثقیل‌ها، قطارها و کامیون‌ها استفاده می‌شود و به تحلیل سناریوهای مختلف برای ارزیابی تأثیر آن‌ها بر عملکرد سیستم مانند توان عملیاتی و زمان انتظار می‌پردازد. به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی، نظیر الگوریتم‌های ژنتیک، برای بهبود زمان‌بندی و تخصیص منابع در پایانه‌های کانتینری به کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی کمک می‌کند. این روش‌ها همچنین می‌توانند برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه و واکنشی را برای تخصیص اسکله‌ها و مدیریت عدم قطعیت‌ها در زمان‌بندی‌های عملیاتی انجام دهند. (Kotachi et al., 2013). الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به بهینه‌سازی و مدیریت هوشمند حمل‌ونقل در بنادر کمک کنند. هماهنگی موثر بین بازیگران مختلف در زنجیره حمل‌ونقل داخلی، نظیر اپراتورهای پایانه‌ها، گمرک‌ها و سازمان‌های دولتی، می‌تواند باعث بهبود برنامه‌ریزی و صرفه‌جویی در مقیاس شود. مشکلات هماهنگی مانند نبود روابط قراردادی و عدم تقارن اطلاعاتی می‌توانند با استفاده از مشوق‌ها، اتحادهای بین شرکتی، تغییر ساختار سازمانی و اقدامات جمعی حل شوند. این مسائل در حمل‌ونقل کانتینری داخلی، به ویژه در بنادری مانند روتردام، قابل بررسی و تحلیل هستند. راه‌حل‌ها و ترتیبات هماهنگی می‌توانند بر اساس چارچوب‌های اقتصادی نهادی، به بهبود عملکرد زنجیره‌های تأمین داخلی کمک کنند. (Van Der Horst & De Langen, 2008). برای بهینه‌سازی حمل‌ونقل در بنادر، به یک ابزار برنامه‌ریزی کارآمد نیاز است که قادر باشد بارگیری و تخلیه را به بهترین نحو انجام دهد و هزینه‌های حمل‌ونقل را کاهش دهد. الگوریتم اکتشافی پیاده‌سازی‌شده به‌طور مؤثر مسیریابی را برای حداکثر سود و حداقل هزینه‌ها در مسیر با چندین بندر انجام می‌دهد. این الگوریتم به‌ویژه برای مدیریت بارهای مختلف با ظرفیت محدود کشتی‌ها طراحی شده و می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد و سود حمل‌ونقل را تضمین کند. این ابزار به‌راحتی می‌تواند در سیستم‌های حمل‌ونقل دیگر مانند قطار و هواپیما نیز گسترش یابد. استفاده بهینه از ظرفیت کشتی و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل با توجه به انتخاب صحیح بندرها در مسیر، از مزایای این الگوریتم است (Krile, 2013).

در فعالیت‌های بندری، به‌کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای مدیریت ریسک‌ها و بهینه‌سازی فرآیندها ضروری است. یکی از کاربردهای این الگوریتم‌ها در کنترل ریسک‌های مرتبط با نقشه‌برداری محموله‌ها است، جایی که الگوریتم‌های نمونه‌برداری آماری برای انتخاب واحدهای معیوب و کاهش ریسک استفاده می‌شوند. همچنین، در مدیریت ریسک‌های مرتبط با آسیب کانتینرها در هنگام بارگیری و تخلیه، الگوریتم‌ها می‌توانند به ارزیابی و بهینه‌سازی بیمه مسئولیت حمل‌ونقل بپردازند. این الگوریتم‌ها برای به حداقل رساندن ریسک‌ها و حداکثر کردن سود، به‌طور مؤثری از فناوری اطلاعات استفاده می‌کنند (Balobanov & Postan, 2020). در این متن، به‌کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی حمل‌ونقل در بنادر مطرح شده است. این الگوریتم‌ها می‌توانند با شناسایی کاستی‌ها و محدودیت‌ها در زیرساخت‌های حمل‌ونقل و بندری، کارایی حمل‌ونقل بار را افزایش دهند و اثرات مثبت سرریز را در سطح منطقه‌ای و شهری به حداکثر برسانند. همچنین، این الگوریتم‌ها می‌توانند به کاهش تراکم در بنادر و اطراف آن کمک کرده و با بهره‌برداری از بنادر متوسط و کوچک، فشار حمل‌ونقل زمینی را کاهش دهند. استفاده از ابزارهای تحلیلی و سیاستی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به بهبود هماهنگی و برطرف کردن مشکلات زیرساختی کمک کند. در نهایت، هدف نهایی این است که حمل‌ونقل بار در بنادر و کریدورهای حمل‌ونقل سطحی بهینه‌سازی شود. (Lonza & Marolda, 2016). این تحقیق به بررسی به‌کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی مسیریابی و تخصیص کشتی در بنادر می‌پردازد. مدل پیشنهادی با هدف مدیریت تراکم بنادر، زمان انتظار و هزینه‌های حمل‌ونقل، تخصیص کشتی‌ها به بنادر با توجه به ازدحام و گزینه‌های جایگزین را بهینه می‌کند. این مدل نابرابری متغیر را برای حل مشکلات مسیریابی و تخصیص کشتی‌ها به‌ویژه در شرایط ازدحام بنادر معرفی می‌کند. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که با افزایش ازدحام بندر، شرکت‌های کشتیرانی نیاز به انحراف کشتی‌ها به بنادر جایگزین دارند. الگوریتم مورب پیشنهادی به کاهش هزینه‌ها و زمان حمل‌ونقل کمک می‌کند و به شرکت‌های کشتیرانی اجازه می‌دهد تا تصمیمات بهینه‌تری برای تخصیص کشتی‌ها در مسیرها اتخاذ کنند. (Meng et al., 2023). در این مقاله به بررسی چالش‌های بهینه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل بار مبتنی بر بنادر خشک پرداخته شده است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای برنامه‌ریزی تاکتیکی و بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل بار با استفاده از ناوگان وسایل نقلیه با ظرفیت بالا در نظر گرفته می‌شود. یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه خدمات اصلی با هدف کاهش هزینه‌های لجستیکی معرفی شده است. با استفاده از این مدل، تصمیمات بهینه‌ای برای اتصال پایانه‌ها و برنامه‌ریزی زمان‌بندی خدمات اتخاذ می‌شود. این رویکرد به‌ویژه در شرایطی که چندین پایانه نامزد و انواع مختلف کالا وجود دارند، برای بهبود عملکرد لجستیک و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل مؤثر است. (Crainic et al., 2015) کاربرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی شامل الگوریتم ژنتیک و شبکه LSTM را در بهینه‌سازی عملیات و پیش‌بینی ترافیک بنادر بررسی می‌کند که منجر به کاهش زمان، هزینه، مصرف سوخت و افزایش دقت پیش‌بینی شده است.همچنین یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی اثرات اقتصادی، عملیاتی و زیست‌محیطی هوش مصنوعی در بنادر ارائه داده و بر نقش آن در توسعه بنادر هوشمند و پایدار تأکید دارد(Ebrahimzadeh et al,.2025).

۳-روش‌شناسی تحقیق

این پژوهش با هدف بررسی و تحلیل روش‌های هوشمند مدیریت حمل‌ونقل بندری انجام شده است. در این راستا، دو سناریوی مجزا طراحی و مورد بررسی قرار گرفت تا تأثیر به‌کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی در بهینه‌سازی فرآیندهای حمل‌ونقل ارزیابی شود. فرآیند انجام پژوهش شامل مراحل زیر بوده است: در ابتدا، به‌منظور شناخت بهتر چالش‌های موجود در حوزه مدیریت حمل‌ونقل بندری، مطالعات پیشینه انجام شد. در این مرحله، مقالات علمی، گزارش‌های فنی، و مطالعات موردی مرتبط با بنادر هوشمند و فناوری‌های بهینه‌سازی داده محور مورد بررسی قرار گرفت. هدف این بخش، شناسایی رویکردهای مؤثر و الگوریتم‌های پرکاربرد در حوزه مدیریت ترافیک و تخصیص منابع در بنادر بود. پس از بررسی ادبیات، دو سناریوی اصلی برای ارزیابی عملکرد روش‌های پیشنهادی طراحی شد. در سناریوی اول، تمرکز بر بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل درون‌بندری با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی بود. در این راستا، داده‌های مربوط به جابجایی کانتینرها، ترافیک درون‌بندری، و میزان تأخیر در فرآیندهای تخلیه و بارگیری جمع‌آوری شد. سپس، الگوریتم‌های بهینه‌سازی نظیر الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای کاهش زمان حمل‌ونقل و هزینه‌های عملیاتی به کار گرفته شدند. مدل‌های ارائه‌شده در شرایط مختلف شبیه‌سازی و نتایج آن با روش‌های سنتی مقایسه شد. در سناریوی دوم، هدف پیش‌بینی ترافیک بندری و تخصیص هوشمندانه منابع عملیاتی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین بود. برای این منظور، داده‌های تاریخی مربوط به ورود و خروج کشتی‌ها، حجم بارگیری و تخلیه، و شرایط آب‌وهوایی جمع‌آوری شد. سپس، مدل‌های شبکه عصبی LSTM و مدل‌های آماری سنتی مانند ARIMA برای پیش‌بینی میزان ترافیک در بازه‌های زمانی مختلف پیاده‌سازی شد. دقت و کارایی مدل‌های پیشنهادی با شاخص‌هایی نظیر میانگین خطای مطلق و جذر میانگین مربعات خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از اجرای این دو سناریو نشان داد که بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل درون‌بندری با استفاده از الگوریتم ژنتیک، زمان جابجایی را تا ۳۳٪ کاهش داده و مصرف سوخت را به میزان ۲۵٪ بهینه کرده است. در سناریوی دوم، مدل پیش‌بینی ترافیک مبتنی بر LSTM توانست با دقت ۸۸٪ عملکرد بهتری نسبت به مدل ARIMA (با دقت ۸۲٪) ارائه دهد که این موضوع نشان‌دهنده کارایی بالاتر شبکه‌های عصبی در پردازش داده‌های پیچیده است.

علاوه بر تحلیل فنی، چالش‌های اجرایی پیاده‌سازی این روش‌ها نیز بررسی شد. از جمله مسائل شناسایی‌شده می‌توان به نیاز به زیرساخت‌های دیجیتال پیشرفته، هزینه‌های بالای پیاده‌سازی، و لزوم تغییر در فرآیندهای عملیاتی سنتی اشاره کرد. به‌منظور غلبه بر این چالش‌ها، راهکارهایی نظیر توسعه سیستم‌های هوشمند یکپارچه، آموزش نیروی انسانی، و همکاری با شرکت‌های فناوری‌محور پیشنهاد شد. در نهایت، نتایج این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری روش‌های

هوش مصنوعی می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیندهای حمل‌ونقل بندری، کاهش هزینه‌های عملیاتی، و افزایش بهره‌وری سیستم‌های لجستیکی منجر شود. پیشنهادات ارائه‌شده در این پژوهش می‌توانند به‌عنوان مبنایی برای تحقیقات آینده در زمینه مدیریت هوشمند بنادر مورد استفاده قرار گیرند و مسیرهای جدیدی را برای بهینه‌سازی هرچه بیشتر عملکرد بنادر فراهم کنند.

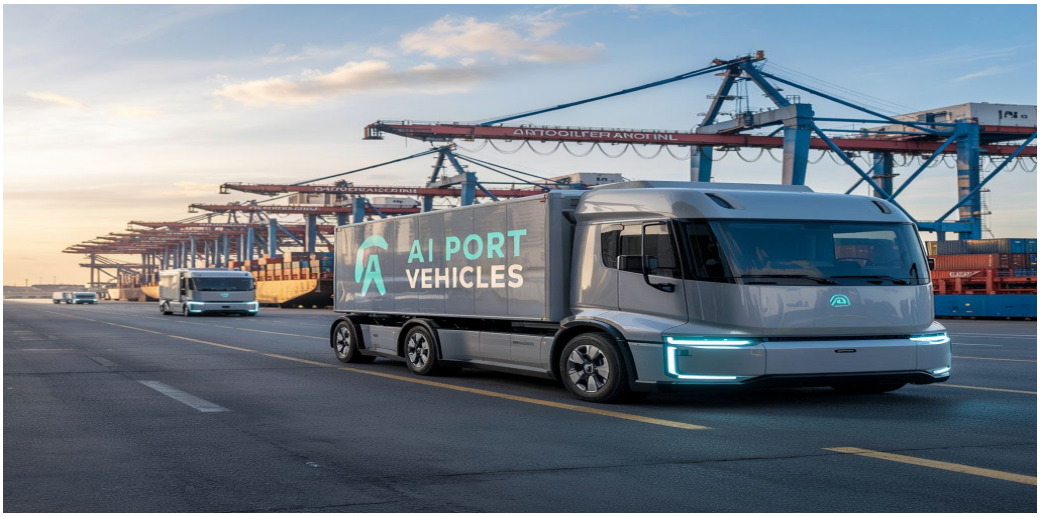
٤-شبیه سازی و تحلیل داده‌ها

٤-١-شبیه سازی

در این پژوهش برای شبیه سازی شرایط مختلف و داده پردازی آنها ٤ سناریو طراحی شد و تمامی داده‌ها با توجه به المان‌های مختلف مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته‌اند.

٤-١-١-سناریو اول: بهینه‌سازی مسیر کامیون‌های کانتینری با الگوریتم ژنتیک

در این سناریو، ما یک سیستم شبیه‌سازی شده برای مدیریت ناوگان حمل کانتینر در بندر طراحی کردیم. هدف اصلی کاهش زمان حمل و نقل و مصرف سوخت بود. برای این کار، ابتدا یک مدل مجازی از شبکه راه‌های بندر با ۲۰ گره اصلی (شامل اسکله‌ها، انبارها و تقاطع‌های حیاتی) در نرم‌افزار AnyLogic ایجاد کردیم. داده‌های مورد نیاز شامل اطلاعات مسافت بین نقاط، سرعت متوسط کامیون‌ها و الگوهای ترافیکی به صورت مصنوعی تولید شدند. ما شرایط مختلفی مانند ساعات اوج بارگیری، خرابی‌های احتمالی و محدودیت‌های سرعت را در مدل در نظر گرفتیم. الگوریتم ژنتیک با پارامترهای خاصی پیاده‌سازی شد که شامل جمعیت اولیه ۱۰۰ کروموزوم، احتمال ترکیب ٪۸۰ و احتمال جهش ٪۱۰ بود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که این سیستم می‌تواند زمان حمل را تا ٪۳۳ کاهش دهد و مصرف سوخت را تا ٪۲۵ بهبود بخشد. در مدل‌سازی ما، کامیون‌ها به طور متوسط از ٤٥ دقیقه به ۳۰ دقیقه برای هر سفر رسیدند و مصرف سوخت روزانه از ۱۲۰۰ لیتر به ۹۰۰ لیتر کاهش یافت.



فرمول‌ها و مدل‌سازی

تابع هدف

$$\min Z = \alpha \sum_{k=1}^{K} T_k + \beta \sum_{k=1}^{K} F_k + \gamma \sum_{k=1}^{K} C_k +$$

که در آن متغیرها به صورت زیر می‌باشد.

$$T_k = \sum_{(i,j)\epsilon \text{مسیر}} \left(\frac{d_{ij}}{v_k} + t_{ij}^{\text{ترافیک}}\right)$$

v_k : سرعت کامیون k بر اساس داده‌های شبیه سازی شده GPS

$t_{ij}^{\text{ترافیک}}$: زمان تاخیر ناشی از ترافیک بر اساس داده‌های شبیه سازی شده سنسورهای IoT

$$F_k = \sum_{(i,j)\epsilon \text{مسیر}} d_{ij} \cdot r_k \cdot (1 + \frac{\text{بار}}{C_{max}})$$

r_k : نرخ مصرف سوخت (لیتر/کیلومتر)

C_{max}: ظرفیت ماکسیمم کامیون

C_k: هزینه‌های عملیاتی (دلار/کیلومتر)

همچنین پارامترهای الگوریتم ژنتیک نیز در جدول زیر قابل مشاهده می‌باشند.

پارامتر	مقدار	توضیحات
اندازه جمعیت	۱۰۰	تعداد کروموزوم‌های اولیه
نرخ ترکیب	۸۰٪	احتمال اعمال ترکیب
نرخ جهش	۱۰٪	احتمال اعمال جهش
تعداد نسل‌ها	۱۰۰	معیار توقف

نتایج عملی و تحلیل داده‌ها

معیار	قبل از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی	بهبود (٪)	فرمول محاسبه بهبود
زمان حمل (دقیقه)	۴۵	۳۰	۳۳,۳	$\frac{45-30}{45} \times 100$
مصرف سوخت (لیتر/روز)	۱۲۰۰	۹۰۰	۲۵	$\frac{1200-900}{1200} \times 100$
هزینه عملیاتی (دلار/روز)	۵۰۰	۳۵۰	۳۰	$\frac{500-350}{500} \times 100$

سناریو دوم: پیش‌بینی ترافیک با LSTM

برای پیش‌بینی الگوهای ترافیکی در بندر، یک مدل یادگیری عمیق بر اساس شبکه‌های عصبی LSTM طراحی کردیم. ابتدا یک مجموعه داده مصنوعی با ۱۰۰،۰۰۰ رکورد ایجاد کردیم که شامل اطلاعات ترافیکی، شرایط آب‌وهوایی و تقویم عملیاتی بندر بود.

داده‌ها به گونه‌ای تولید شدند که الگوهای ترافیکی مختلف در ساعات شبانه‌روز و روزهای هفته را شبیه‌سازی کنند. مدل LSTM با معماری خاصی طراحی شد که شامل دو لایه LSTM با ۵۰ نورون در هر لایه و یک لایه خروجی متراکم بود. داده‌ها به نسبت ۷۰ به ۳۰ برای آموزش و آزمون تقسیم شدند. در طول فرآیند آموزش، از تابع زیان MSE و بهینه‌ساز Adam استفاده کردیم. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مدل ما با دقت ۸۸٪ می‌تواند ترافیک را پیش‌بینی کند که نسبت به روش‌های سنتی مانند ARIMA که دقت ۸۲٪ داشت، بهبود قابل توجهی نشان می‌داد. این سیستم قادر بود الگوهای ترافیکی پیچیده را در شرایط مختلف شناسایی کند.

فرمول‌ها و مدل سازی

معماری شبکه LSTM:

$$f_t = \sigma\,(W_f\,.\,[h_t\text{-}1, xt] + b_f)$$

$$i_t = \sigma\,(W_i\,.\,[h_t\text{-}1, xt] + b_i)$$

$$o_t = \sigma\,(W_o\,.\,[h_t\text{-}1, xt] + b_o)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c\,.\,[h_{t-1}, x_t] + b_c)$$

$$C_t = f_t \circ C_{t\text{-}1} + i_t \circ \tilde{C}_t$$

$$h_t = o_t \circ \tanh(C_t)$$

پارامترهای مدل:

- لایه‌های پنهان: ۱۰۰، ۵۰، ۲۰ نورون
- نرخ یادگیری: ۰،۰۰۱ با کاهش تصاعدی

داده‌های آموزشی

پارامتر	مقدار	منبع داده
تعداد نمونه‌ها	۱۰۰،۰۰۰	سنسورهای IoT بندر
بازه زمانی	هر ۵ دقیقه	سیستم مانیتورینگ
ویژگی‌های ورودی	۱۰	ترافیک، دما، بارندگی

نتایج عملی و تحلیل داده‌ها

جدول ارزیابی مدل

مدل	RMSE	MAE	R^2	دقت (%)
LSTM	۰،۱۲	۰،۱۰	۰،۹۵	۸۸
GRU	۰،۱۴	۰،۱۲	۰،۹۳	۸۵
ARIMA	۰،۱۸	۰،۱۵	۰،۸۸	۸۲

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش حجم تبادلات تجاری و نقش کلیدی بنادر در زنجیره تأمین جهانی، بهینه‌سازی فرآیندهای مدیریتی و عملیاتی در این مراکز به یک ضرورت تبدیل شده است. چالش‌هایی همچون ازدحام در عملیات بارگیری و تخلیه، تأخیرهای ناخواسته، تخصیص نامناسب منابع، هزینه‌های بالای عملیاتی و اثرات زیست‌محیطی، لزوم به‌کارگیری فناوری‌های نوین را بیش از پیش نمایان می‌سازد. در این میان، هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین راهکارهای فناوری می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود مدیریت بنادر داشته باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که الگوریتم‌های هوش مصنوعی با قابلیت پردازش و تحلیل داده‌های کلان، می‌توانند فرآیندهای مختلف بندری را بهینه‌سازی کنند. مدل‌های یادگیری ماشین و سیستم‌های پیش‌بینی قادرند با تحلیل روندهای گذشته، میزان ترافیک دریایی و زمینی را برآورد کرده و تخصیص بهینه منابع را تسهیل کنند. همچنین، اتوماسیون و خودکارسازی عملیات کلیدی نظیر مدیریت اسکله، بارگیری، تخلیه و لجستیک، باعث افزایش دقت در برنامه‌ریزی و کاهش خطاهای انسانی می‌شود. یکی از مزایای

مهم این فناوری‌ها، بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی است. سیستم‌های هوشمند با تنظیم بهینه مصرف سوخت و کنترل الگوهای حرکتی کشتی‌ها، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده و به کاهش ردپای کربنی در فعالیت‌های بندری کمک می‌کنند. علاوه بر این، یکپارچه‌سازی داده‌ها و استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی بلادرنگ امکان شناسایی سریع مشکلات و اجرای اقدامات اصلاحی فوری را فراهم می‌آورد که در نهایت موجب بهبود کیفیت خدمات بندری و افزایش رضایت ذینفعان خواهد شد. با وجود تمامی این مزایا، اجرای فناوری‌های هوش مصنوعی در بنادر با چالش‌های متعددی همراه است. هزینه‌های بالای توسعه و پیاده‌سازی، نیاز به زیرساخت‌های دیجیتال پیشرفته، ملاحظات امنیت سایبری و مقاومت سازمانی در برابر تغییرات از جمله موانع اصلی در این مسیر هستند. همچنین، عدم دسترسی به داده‌های باکیفیت و استانداردسازی‌شده می‌تواند عملکرد مدل‌های هوشمند را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، برای موفقیت در پیاده‌سازی این فناوری‌ها، لازم است که مدیران بنادر و سیاست‌گذاران یک راهبرد جامع و مرحله‌ای را تدوین کنند که شامل ارتقای زیرساخت‌های دیجیتال، توسعه نیروی انسانی متخصص و اتخاذ سیاست‌های حمایتی برای پذیرش این تغییرات باشد. بنابراین، در پاسخ به سوالات اصلی این پژوهش، مشخص شد که هوش مصنوعی می‌تواند به‌طور مؤثری بهره‌وری و کارایی بنادر را افزایش داده و مشکلات مدیریتی و عملیاتی را کاهش دهد. در عین حال، برای دستیابی به یک بندر هوشمند، لازم است که چالش‌های پیاده‌سازی این فناوری‌ها از طریق سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال، ارتقای امنیت سایبری، آموزش نیروی انسانی و افزایش همکاری‌های بین‌المللی مدیریت شود. اجرای این راهکارها می‌تواند بنادر را به مراکزی هوشمند، پایدار و کارآمد تبدیل کند که نقش کلیدی در آینده حمل‌ونقل دریایی و تجارت جهانی خواهند داشت. با توجه به یافته‌های پژوهش، چندین راهکار برای بهبود و تسریع فرآیند هوشمندسازی بنادر پیشنهاد می‌شود.

-توسعه و بهبود زیرساخت‌های دیجیتال: پیاده‌سازی فناوری‌های هوش مصنوعی نیازمند سرورهای قدرتمند، شبکه‌های ارتباطی پایدار و سیستم‌های پردازش داده کارآمد است. بنابراین، سرمایه‌گذاری در این حوزه برای اطمینان از عملکرد صحیح سیستم‌های هوشمند ضروری است.

-آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی: پذیرش فناوری‌های جدید در سازمان‌ها مستلزم تغییر نگرش و افزایش دانش کارکنان است. برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های تخصصی می‌تواند مقاومت در برابر تغییر را کاهش داده و کارکنان را برای کار با سیستم‌های هوشمند آماده کند.

-سرمایه‌گذاری در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها: اجرای موفق سیستم‌های هوش مصنوعی مستلزم دسترسی به داده‌های دقیق، جامع و به‌روز است. ایجاد یک بانک اطلاعاتی جامع و سیستم‌های پردازش داده پیشرفته می‌تواند دقت مدل‌های پیش‌بینی را افزایش داده و کارایی آن‌ها را بهبود بخشد.

-توسعه همکاری‌های بین‌المللی و بخش خصوصی: دیجیتالی‌سازی بنادر نیازمند همکاری میان نهادهای دولتی، شرکت‌های خصوصی و سازمان‌های تحقیقاتی است. مشارکت در پروژه‌های مشترک می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های پیاده‌سازی و تسریع در توسعه فناوری‌های هوشمند شود.

اجرای آزمایشی پروژه‌های هوش مصنوعی: به‌منظور کاهش ریسک‌های احتمالی، پیشنهاد می‌شود که سیستم‌های هوش مصنوعی در مقیاس کوچک و به‌صورت پروژه‌های آزمایشی اجرا شوند. این روش به مدیران بندری اجازه می‌دهد تا قبل از پیاده‌سازی گسترده، عملکرد سیستم‌ها را ارزیابی کرده و مشکلات احتمالی را شناسایی کنند.

با اجرای این پیشنهادات، می‌توان روند هوشمندسازی بنادر را تسریع کرده و از تمام ظرفیت‌های هوش مصنوعی برای بهبود مدیریت حمل‌ونقل دریایی بهره برد.

٦- مراجع

-Ebrahimzadeh, M. A., Attar, A., Mayeli, S., & Zeyni Ahmadabad, M. (2025). Utilizing Artificial Intelligence-Based Algorithms for Optimizing Logistical Operations in Ports. *Civil and Project*, *7*(6), e224261.

-Durlik, I., Miller, T., Kostecka, E., Łobodzińska, A., & Kostecki, T. (2024). Harnessing AI for sustainable shipping and green ports: Challenges and opportunities. *Applied Sciences*, *14*(14), 5994.

-Tsolakis, N., Zissis, D., Papaefthimiou, S., & Korfiatis, N. (2022). Towards AI driven environmental sustainability: an application of automated logistics in container port terminals. *International Journal of Production Research*, *60*(14), 4508-4528.

-Ghazaleh, M. A. *(2023)*. Smartening up ports digitalization with artificial intelligence (AI): A study of artificial intelligence business drivers of smart port digitalization. *Management and Economics Review*, *8*(1), 78-97.

-Pradana, M. F., & Noche, B. (2019). A Systematic literature review on maritime transportation optimization using linear programming. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,* IOP Publishing. Vol. *673*, No. *1*, 012041).

-Molavi, A., Lim, G. J., & Race, B. (2020). A framework for building a smart port and smart port index. *International Journal of Sustainable Transportation*, *14*(9), 686-700.

-Douaioui, K., Fri, M., Mabrouki, C., & Semma, E. A. (2018). Smart port: Design and perspectives. In *2018 4th international conference on logistics operations management (GOL),* IEEE. 1-6.

-Rodrigue, J. P. (2010). Maritime Transportation: Drivers for the Shipping and Port Industries, International transport forum. *Transport and Innovation: Unleashing the Potential, Paper Commissioned for the Experts Session on Innovation and the Future of Transport*.
-Harrison, R., McCray, J. P., Henk, R., & Prozzi, J. (2002). Inland port transportation evaluation guide. *Center for Transportation Research,* The University of Texas at Austin, USA.
-Wilmsmeier, G., Hoffmann, J., & Sanchez, R. J. (2006). The impact of port characteristics on international maritime transport costs. *Research in transportation economics*, *16*, 117-140.
-Sánchez, R. J., Hoffmann, J., Micco, A., Pizzolitto, G. V., Sgut, M., & Wilmsmeier, G. (2003). Port efficiency and international trade: port efficiency as a determinant of maritime transport costs. *Maritime economics & logistics*, *5*, 199-218.
-Blonigen, B. A., & Wilson, W. W. (2006). International trade, transportation networks and port choice. *Transportation Journal*, *34*, 32-47.
-Ha, M. H., Yang, Z., & Lam, J. S. L. (2019). Port performance in container transport logistics: A multi-stakeholder perspective. *Transport Policy*, *73*, 25-40.
-Kotachi, M., Rabadi, G., & Obeid, M. F. (2013). Simulation modeling and analysis of complex port operations with multimodal transportation. *Procedia Computer Science*, *20*, 229-234.
-Kotachi, M., Rabadi, G., & Obeid, M. F. (2013). Simulation modeling and analysis of complex port operations with multimodal transportation. *Procedia Computer Science*, *20*, 229-234.
-Van Der Horst, M. R., & De Langen, P. W. (2008). Coordination in hinterland transport chains: a major challenge for the seaport community. *Maritime Economics & Logistics*, *10*, 108-129.
-Krile, S. (2013). Efficient heuristic for non-linear transportation problem on the route with multiple ports. *Polish Maritime Research*, *20*(4 (80)), 80-86.
-Balobanov, O. O., & Postan, M. Y. (2020). Some problems of risk-managenet in sea port activity. *Publishing House Baltija Publishing.*
-Lonza, L., & Marolda, M. C. (2016). Ports as drivers of urban and regional growth. *Transportation Research Procedia*, *14*, 2507-2516.
-Meng, L., Ge, H., Wang, X., Yan, W., & Han, C. (2023). Optimization of ship routing and allocation in a container transport network considering port congestion: A variational inequality model. *Ocean & Coastal Management*, *244*, 106798.
-Crainic, T. G., Dell'Olmo, P., Ricciardi, N., & Sgalambro, A. (2015). Modeling dry-port-based freight distribution planning. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *55*, 518-534
-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.
-Makkawan, K., & Muangpan, T. *(2021).* A conceptual model of smart port performance and smart port indicators in Thailand. *Journal of International Logistics and Trade*, *19*(3), 133-146.
-Xie, H., Ding, R., Qiao, G., Dai, C., & Bai, W. (2024). Research on Ship Traffic Flow Prediction using CNN-BIGRU and WOA with Multi-Objective Optimization. *IEEE Access*.
-Lübbecke, E., Lübbecke, M. E., & Möhring, R. H. (2019). Ship traffic optimization for the Kiel Canal. *Operations Research*, *67*(3), 791-812.
-Dornemann, J., Rückert, N., Fischer, K., & Taraz, A. (2020). Artificial intelligence and operations research in maritime logistics. In *Data Science in Maritime and City Logistics: Data-driven Solutions for Logistics and Sustainability. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL),* Berlin: epubli GmbH., *Vol. 30*, 337-381.
-Aylak, B. L. (2022). The impacts of the applications of artificial intelligence in maritime logistics. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 217-225.
-Liu, Y. (2024). Efficiency and Sustainability in International Maritime Logistics: The Role of Artificial Intelligence. In *SHS Web of Conferences,* EDP Sciences. Vol. 207, 03004-03005.
-Ursavas, E., & Zhu, S. X. (2016). Optimal policies for the berth allocation problem under stochastic nature. *European Journal of Operational Research*, *255*(2), 380-387.
-Türkoğulları, Y. B., Taşkın, Z. C., Aras, N., & Altınel, İ. K. (2014). Optimal berth allocation and time-invariant quay crane assignment in container terminals. *European Journal of Operational Research*, *235*(1), 88-101.
-Dai, J., Lin, W., Moorthy, R., & Teo, C. P. (2008). Berth allocation planning optimization in container terminals. *Supply Chain Analysis: a handbook on the interaction of information, system and optimization*, 69-104.
-Nathisiya, B. M., & Radhakrishnan, A. (2024). Leveraging IoT Technology for Transformative Impact in the Maritime Sector. *Salud, Ciencia y Tecnología-Serie de Conferencias*, *3*, 1253.
-Xie, X. (2023). Exploring the impact of Big Data analytics capability on port performance, *The mediating role of sustainability.*
-Budzyński, M., Ryś, D., & Kustra, W. (2017). Selected problems of transport in port towns–tri-city as an example. *Polish Maritime Research*.
-Gurzhiy, A., Kalyazina, S., Maydanova, S., & Marchenko, R. (2021). Port and city integration: transportation aspect. *Transportation Research Procedia*, *54*, 890-899.

Utilizing AI Algorithms for Optimizing and Intelligently Managing Transportation in Ports

Mohammadamin Ebrahimzadeh, *Department of Civil Engineering, Transportation Planning, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

Arshia Attar, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Iran.

Saba Mayeli, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Iran.

Melika Zeyni Ahmadabad, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Iran.

E-mail: ma.ebrahimzadeh@eng.ikiu.ac.ir

Received: February 2026- Accepted: May 2026

ABSTRACT

In this study, the application of artificial intelligence algorithms in optimizing and intelligently managing transportation in ports has been examined. Major challenges in port operations, including congestion, improper resource allocation, high operational costs, and delays in cargo processing, are issues that can be improved using smart technologies. Intelligent systems, through big data analysis, machine learning models, and real-time information processing, enhance port operational efficiency and improve productivity. The quantitative results of this study indicate that utilizing the Genetic Algorithm (GA) for optimizing container truck routes has led to a 33.3% reduction in transportation time and a 25% decrease in fuel consumption. Additionally, the LSTM-based traffic prediction model, with an accuracy of 88%, outperformed traditional methods such as ARIMA (with an accuracy of 82%). The Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm also improved operational efficiency by 20% in resource allocation. Furthermore, smart systems can reduce unnecessary delays, manage operational costs, and minimize environmental impacts. The qualitative findings suggest that AI technologies can reduce reliance on traditional processes, minimize human errors, and enhance workforce efficiency. Despite their significant advantages, implementing these technologies faces challenges such as high initial costs, the need for robust digital infrastructure, and resistance to organizational changes. This study provides practical solutions to overcome these challenges and facilitate the development of smart ports.

Keywords: Artificial Intelligence, Smart Ports, Optimization, Transportation Management, Machine Learning