Marine and Port Services
Winter 2025, 2(6), 39-68
journalspmco.ir

The Future of Iranian Ports: Implementing Artificial Intelligence in Port Operations

Latifeh PourMohammad Bagher *
Assistant Professor, Department of Mathematics, Statistics and Computer Science, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Heliya Khalesi
MSc student, Department of Mathematics, Statistics and Computer Science, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Abstract

The use of artificial intelligence in the ports of the country helps to make the business of the ports more reliable, more advanced and more efficient. It also provides the possibility of serving at the national and international level in the shortest time. For this purpose, our first step is to study how to make ports smarter in other countries from the point of view of making the port's internal environment smarter. In this article, international smart ports are examined by focusing on solutions based on artificial intelligence technologies needed to optimize berth allocation and fleet deployment, reduce loading costs, optimize cargo flow, and plan transportation and loading costs. In addition, this article tries to model some of these processes and make Iran's ports smarter in order to increase efficiency and effectiveness. These technologies can turn Iran into a competitive pole in the global maritime transport architecture. In addition, it will help strengthen foreign trade by improving logistics processes and reducing operating costs.

Keywords: Artificial Intelligence, Optimization of Berth Allocation and Fleet Deployment, Optimization of Cargo Flow and Transportation Planning, Reduction of Loading Costs, Loading Costs.

*Corresponding Author: l_pmb@atu.ac.ir
How to Cite: PourMohammad Bagher, L., Khalesi, H. (2025). An Introduction to the Legal Study of Logistics Contracts in a Specific Sense and the Evolution of Logistics Service Providers. *Marine and Port Services, 2(6),* 39-68.

Original research
Received: 15 February 2024 Review: 02 May 2024 Accepted: 09 May 2024

فصلنامه «خدمات دریایی و بندری» (علمی-تخصصی)
دوره ۲، شماره ٦، زمستان ۱٤۰۳، ۳۹-٦۸
journalspmco.ir

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۰

آینده بنادر ایران: پیاده‌سازی هوش‌مصنوعی در عملیات درون بندری

لطیفه پورمحمدباقر * استادیار دانشکده علوم ریاضی، آمار و رایانه، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

هلیا خالصی دانشجوی کارشناسی ارشد محاسبات نرم و هوش مصنوعی دانشکده علوم ریاضی، آمار و رایانه، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

چکیده

هوش مصنوعی (AI) به‌عنوان یکی از فناوری‌های تحول‌آفرین قرن حاضر، پتانسیل بی‌نظیری برای ارتقای کارایی، قابلیت اطمینان و رقابت‌پذیری بنادر ایران در عرصه تجارت جهانی ارائه می‌دهد. این فناوری با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته و تحلیل داده‌های کلان، امکان بهینه‌سازی فرآیندهای کلیدی بندری نظیر تخصیص اسکله، مدیریت ناوگان، کاهش هزینه‌های بارگیری و تخلیه، بهینه‌سازی جریان بار و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را فراهم می‌کند. این مقاله با بررسی تجربیات بین‌المللی بنادر هوشمند، به‌ویژه در زمینه پیاده‌سازی فناوری‌های هوش مصنوعی، چارچوبی جامع برای هوشمندسازی بنادر ایران ارائه می‌دهد. هدف اصلی این پژوهش، مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیندهای عملیاتی بنادر با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند الگوریتم ژنتیک، یادگیری تقویتی و شبکه‌های عصبی عمیق است که می‌توانند زمان انتظار کشتی‌ها، هزینه‌های عملیاتی و اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پیاده‌سازی هوش مصنوعی نه‌تنها بهره‌وری بنادر ایران را افزایش می‌دهد، بلکه با تقویت زیرساخت‌های لجستیکی و کاهش هزینه‌ها، جایگاه ایران را به‌عنوان یک هاب ترانزیتی منطقه‌ای و بین‌المللی تقویت می‌کند. این تحول دیجیتال می‌تواند به توسعه پایدار، افزایش رقابت‌پذیری در تجارت جهانی و بهبود تجربه مشتریان در زنجیره تأمین منجر شود.

کلیدواژه‌ها: هوش مصنوعی، بنادر هوشمند، تخصیص اسکله، مدیریت ناوگان، بهینه‌سازی جریان بار، کاهش هزینه‌های عملیاتی، لجستیک دریایی.

* نویسنده مسئول: l_pmb@atu.ac.ir

مقدمه

در دنیای کنونی که تجارت جهانی با سرعت بی‌سابقه‌ای در حال گسترش است، بنادر به‌عنوان گره‌های حیاتی زنجیره تأمین جهانی، نقشی محوری در تسهیل تجارت بین‌المللی و تبادل کالا ایفا می‌کنند. با افزایش حجم تجارت دریایی و پیچیدگی‌های عملیاتی، بنادر با چالش‌های متعددی ازجمله ازدحام کشتی‌ها، تأخیر در عملیات بارگیری و تخلیه، هزینه‌های بالای لجستیکی و ضرورت کاهش اثرات زیست‌محیطی مواجه هستند. این چالش‌ها نیازمند راهکارهای نوآورانه‌ای هستند که بتوانند کارایی عملیاتی، پایداری و رقابت‌پذیری بنادر را تضمین کنند. در این راستا، هوش مصنوعی (AI) به‌عنوان یک فناوری پیشرو، با توانایی تحلیل داده‌های کلان، پیش‌بینی دقیق و خودکارسازی فرآیندها، راه‌حل‌هایی مؤثر برای بهینه‌سازی عملیات بندری ارائه می‌دهد.

هوش مصنوعی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته نظیر الگوریتم‌های ژنتیک، یادگیری تقویتی، جنگل تصادفی و بهینه‌سازی ازدحام ذرات(PSO) ، امکان مدیریت هوشمند منابع، کاهش زمان انتظار کشتی‌ها و بهبود جریان لجستیکی را فراهم می‌سازد. این فناوری‌ها نه‌تنها به بهینه‌سازی تخصیص اسکله و مدیریت ناوگان کمک می‌کنند، بلکه با پیش‌بینی تقاضای بار، تحلیل شرایط محیطی و مدیریت بحران‌های عملیاتی، بهره‌وری کلی بنادر را ارتقا می‌دهند. علاوه بر این، شبیه‌سازی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و مدل‌های یادگیری ماشینی بلادرنگ، امکان ارزیابی سناریوهای مختلف و شناسایی گلوگاه‌های عملیاتی را فراهم می‌کنند که این امر به کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت‌مندی مشتریان منجر می‌شود.

ایران، با موقعیت جغرافیایی استراتژیک و دسترسی به آب‌های بین‌المللی، از ظرفیت بالایی برای تبدیل‌شدن به یک هاب ترانزیتی منطقه‌ای برخوردار است. بااین‌حال، بنادر ایران برای رقابت در سطح جهانی نیازمند تحول دیجیتال و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین هستند. این مقاله باهدف ارائه چارچوبی جامع برای هوشمندسازی بنادر ایران، به بررسی کاربردهای هوش مصنوعی در بهینه‌سازی فرآیندهای بندری می‌پردازد. این پژوهش با

تمرکز بر چهار حوزه کلیدی شامل تخصیص اسکله و مدیریت ناوگان، کاهش هزینه‌های بارگیری، بهینه‌سازی جریان بار و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و کاهش هزینه‌های باراندازی، راهکارهایی عملی برای افزایش کارایی و رقابت‌پذیری بنادر ایران ارائه می‌دهد. انتظار می‌رود که پیاده‌سازی این فناوری‌ها نه‌تنها به بهبود عملکرد عملیاتی بنادر کمک کند، بلکه با کاهش هزینه‌ها و تقویت زیرساخت‌های لجستیکی، جایگاه ایران را در شبکه تجارت جهانی ارتقا دهد.

۱. مروری بر مسئله و کارهای انجام‌شده

محیط داخلی بنادر یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین حوزه‌های زنجیره تأمین جهانی است که مدیریت منابع، زمان‌بندی عملیات، کاهش هزینه‌های عملیاتی و کاهش اثرات زیست‌محیطی را در بر می‌گیرد. افزایش تقاضا برای خدمات بندری و پیچیدگی روزافزون فرآیندها، استفاده از فناوری‌های نوین مانند الگوریتم‌های بهینه‌سازی، هوش مصنوعی و شبیه‌سازی را برای ارتقای بهره‌وری و کارایی ضروری کرده است. در ادامه، مروری جامع بر پژوهش‌ها و مدل‌های مرتبط با این حوزه ارائه می‌شود.

مدیریت عملیات بندری شامل مسائلی همچون تخصیص اسکله، زمان‌بندی جرثقیل‌ها و هماهنگی میان منابع مختلف است. در مقاله‌ای ژانگ و لی (۲۰۰۷)[1] یک الگوریتم ممتیکی[2] را معرفی کرده‌اند که با ترکیب جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک، فرآیند جستجو را برای بهینه‌سازی تخصیص منابع و کاهش تأخیر در عملیات بندری بهبود می‌بخشد. این روش تا زمانی ادامه می‌یابد که معیارهای توقف برآورده شوند. در ضمن این روش کارایی بالایی را در محیط‌های پیچیده نشان می‌دهد.

مسائل تخصیص اسکله و مدیریت جرثقیل‌های بندری به‌طور گسترده‌ای در پژوهش‌ها بررسی شده‌اند. در این خصوص منگ و وانگ (۲۰۱۱)[3] در مقاله خودشان، مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی را برای برنامه‌ریزی عملیات وابسته در پایانه‌های کانتینری

1. Zhang J. and Li H. (2007)
2. Memetic Algorithm
3. Meng and Wang (2011)

توسعه داده‌اند. این مدل‌ها به تخصیص بهینه منابع، کاهش زمان‌های تأخیر در بارگیری و تخلیه و بهبود بهره‌وری عملیاتی کمک کرده‌اند. همچنین، این مطالعه تأکید دارد که شبیه‌سازی برای ارزیابی عملکرد و شناسایی نقاط ضعف مدل‌های پیشنهادی ضروری است.

در مطالعه دیگری کیم و پارک (۲۰۰۳)[1] به بررسی زمان‌بندی جرثقیل‌های اسکله پرداخته‌اند. این روش‌ها با کاهش زمان‌های انتظار و با بهبود بهره‌وری اسکله توانسته‌اند عملیات داخلی بنادر را بهینه کنند. به‌طور مشابه، می‌سل و بیرویرث (۲۰۱۰)[2] در مطالعه خود بر تخصیص اسکله و جرثقیل‌های اسکله تمرکز کرده و راه‌حل‌های یکپارچه‌ای را برای هماهنگی بهتر منابع ارائه داده‌اند.

در مقاله‌ای نوشته کووالیشین و همکاران (۲۰۲۳)[3]، استفاده از سیستم‌های هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی و شبکه‌های انرژی تجدیدپذیر برای کاهش اثرات زیست‌محیطی بنادر بررسی شده است. این پژوهش نشان داده است که ترکیب این فناوری‌ها با الگوریتم‌های پیشرفته می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داده و بهره‌وری انرژی را افزایش دهد.

مدیریت بحران نیز یکی از موضوعات مهم در عملیات داخلی بندر است. دالاکلیس و همکاران (۲۰۲۳)[4] در مقاله‌ای به بررسی کاربرد هوش مصنوعی در پیش‌بینی شرایط اضطراری پرداخته‌اند. این پژوهش نشان داده است که استفاده از داده‌های بلادرنگ و الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند به کاهش تأخیر در واکنش به حوادث و بهبود مدیریت بحران کمک کند.

در مقاله‌ای نوشته ژائو و همکاران (۲۰۰۳)[5]، از الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای کاهش زمان محاسباتی و افزایش بهره‌وری استفاده کرده‌اند. این پژوهش، الگوریتم‌های کلاسیک را با روش‌های جدید ترکیب کرده و نتایج قابل‌توجهی در کاهش هزینه‌ها و بهبود عملیات لجستیکی به دست آورده است.

1. Kim and Park (200)
2. Meisel and Bierwirth (2010)
3. Kovalishin and et Al (2023)
4. Dalaklis and et Al (2002)
5. Zhou and et Al (2003)

لی و همکاران (۲۰۱۲)[1]، کاربرد شبکه‌های عصبی برای مدیریت عملیات کانتینری را بررسی کرده‌اند. این مدل با استفاده از داده‌های تاریخی، تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر و مؤثرتری را در مدیریت پایانه‌های کانتینری امکان‌پذیر کرده است.

مسئله تخصیص اسکله[2] که یکی از اصلی‌ترین چالش‌های عملیات بندری است، نیازمند راهکارهای یکپارچه است. پژوهش‌های ویس و دکاستر (۲۰۰۳)[3] و واکا و همکاران (۲۰۰۷)[4] نشان داده‌اند که ادغام مدل‌های تخصیص اسکله و زمان‌بندی جرثقیل‌ها می‌تواند زمان‌های انتظار را کاهش داده و بهره‌وری عملیات را افزایش دهد. علاوه بر این، این مطالعات بر تأثیر طراحی اسکله و تخصیص تجهیزات بر عملیات داخلی بندر تأکید داشته‌اند.

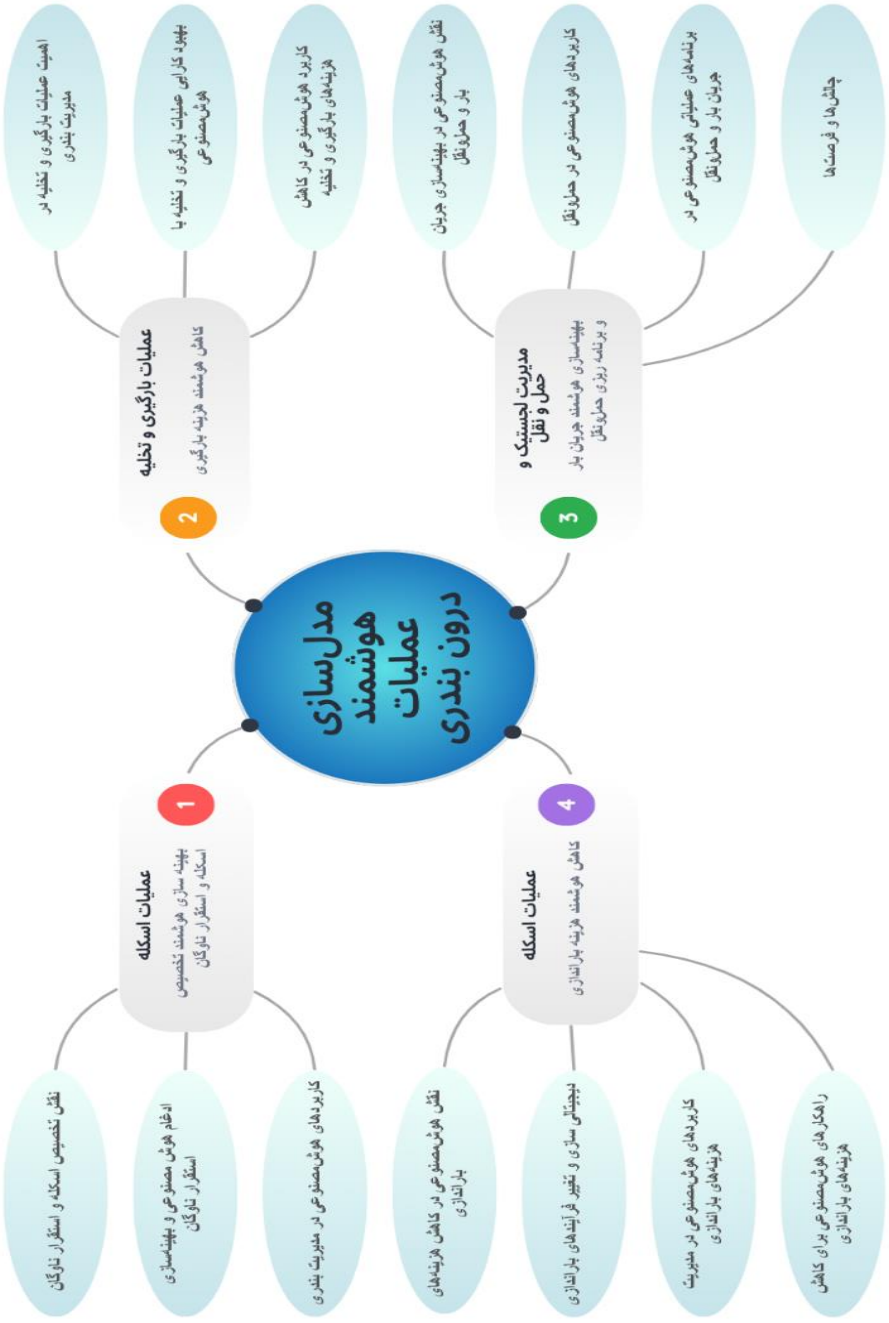
مقاله گامباردلا و دوریگو (۱۹۹۷)[5] و مقاله ژانگ و زنگ (۲۰۱۷)[6]، کاربرد الگوریتم‌های یادگیری تقویتی را در بهینه‌سازی مسیرها و تخصیص منابع بررسی کرده‌اند. این الگوریتم‌ها نشان داده‌اند که چگونه می‌توان بهره‌وری لجستیکی و دقت در زمان‌بندی را بهبود بخشید.

مروری بر این مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های پیشرفته نظیر الگوریتم‌های بهینه‌سازی، شبیه‌سازی و هوش مصنوعی، راهکاری اساسی برای بهبود عملکرد داخلی بنادر و کاهش هزینه‌های عملیاتی است. پژوهش‌های آینده می‌توانند با توسعه مدل‌های ترکیبی و رویکردهای یکپارچه، تأثیر بیشتری بر بهینه‌سازی عملیات بندری داشته باشند.

۲. مدل‌سازی فرآیندها در بندر هوشمند

مدل‌سازی داخل بندر هوشمند در شکل زیر تصویر شده است:

1. Lee and et al (2012)
2. BAP
3. Vis and de Koster(۲۰۰۳)
4. Vacca and et al (2007)
5. Gambardella and Dorigo (1997)
6. Zhang and Zeng (2017)



شکل ۱. مدل‌سازی هوشمند عملیات درون بندری

مدل‌سازی هوشمند عملیات درون‌بندری به دسته‌های زیر تقسیم می‌شود:

۱. بهینه‌سازی هوشمند تخصیص اسکله و ناوگان
۲. کاهش هوشمند هزینه‌های بارگیری
۳. بهینه‌سازی هوشمند جریان بار و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل
۴. کاهش هوشمند هزینه‌های باراندازی

۳-۱. بهینه‌سازی هوشمند تخصیص اسکله

بهبود تخصیص اسکله و مدیریت ناوگان به‌عنوان یکی از جنبه‌های حیاتی مدیریت بنادر، نقشی کلیدی در کاهش زمان انتظار کشتی‌ها و افزایش بهره‌وری عملیاتی دارد. در این راستا، الگوریتم‌های پیشرفته مانند جستجوی تابو[1] و بهینه‌سازی ازدحام ذرات[2]، با ارزیابی سناریوهای مختلف تخصیص و انتخاب بهترین گزینه‌ها بر اساس عواملی همچون زمان ورود، اندازه کشتی‌ها و اولویت‌های عملیاتی، راهکاری کارآمد ارائه می‌دهند. این روش‌ها، با کاهش ازدحام و بهینه‌سازی منابع بندری، عملکرد کلی بنادر را ارتقا می‌دهند.

در مقاله حاضر نشان می‌دهیم که چگونه ادغام هوش مصنوعی در تخصیص اسکله و استقرار ناوگان می‌تواند نه‌تنها زمان انتظار کشتی‌ها را کاهش دهد، بلکه از طریق هماهنگی بهتر عملیات، بهره‌وری و کارایی منابع بندری را نیز بهبود بخشد. با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، تخصیص اسکله به‌صورت بلادرنگ انجام می‌شود و تصمیم‌گیری در عملیات سر وقت[3] تسهیل می‌شود. به‌این‌ترتیب، هوش مصنوعی به‌طور مؤثر بنادر سنتی را به بنادر هوشمند تبدیل می‌کند و تحول بزرگی در مدیریت مدرن بنادر ایجاد می‌کند.

۳-۱-۱. نقش تخصیص اسکله و استقرار ناوگان

تخصیص اسکله و استقرار ناوگان از عوامل حیاتی در کاهش ازدحام و بهینه‌سازی منابع

---

1. Tabu
2. PSO
3. Just In Time (JIT)

بندری هستند. در مقاله حاضر بر اهمیت عملیات سر وقت تأکید شده است که با هماهنگی ورود کشتی‌ها و منابع بندری، تأخیرها را کاهش داده و مدیریت کارآمد اسکله و ناوگان را تضمین می‌کند.

عملیات سروقت به کمک مدل‌های هوش مصنوعی، زمان‌های ورود کشتی‌ها را پیش‌بینی کرده و از طریق زمان‌بندی بهینه، تراکم بندر را کاهش داده و استفاده از منابع را بهبود می‌بخشد.

۳-۱-۲. ادغام هوش مصنوعی و بهینه‌سازی استقرار ناوگان

بهینه‌سازی استقرار ناوگان در مدیریت شبکه‌های وسیع‌تر نقش کلیدی دارد و از تصمیم‌گیری بلادرنگ پشتیبانی می‌کند. اگرچه به‌طور مستقیم در این مقاله شرح نداده‌ایم، اما استقرار ناوگان از روش‌هایی مانند برنامه‌ریزی مسیر و مدیریت لجستیک بهره می‌برد. الگوریتم‌های پیشرفته نظیر الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات، برنامه‌ریزی پویا و کارآمد را ممکن می‌سازند.

۳-۱-۳. کاربردهای هوش مصنوعی در مدیریت بندری

۳-۱-۳-۱. پیش‌بینی و مدیریت سناریوهای پرخطر

مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند تراکم ترافیک، شرایط کشتی و عوامل محیطی (مانند وضعیت آب‌وهوا و شرایط آبراه) را تحلیل کرده و سناریوهای پرخطر را پیش‌بینی کنند. این پیش‌بینی‌ها به بنادر کمک می‌کند تا اسکله‌ها را به‌گونه‌ای اختصاص دهند که ازدحام کاهش‌یافته و مدیریت ناوگان بهینه شود و خطرات برخورد یا زمین‌گیر شدن به حداقل برسد.

۳-۱-۳-۲. خودکارسازی فرایندها و بنادر هوشمند

هوش مصنوعی با خودکارسازی فرآیندهایی نظیر جابه‌جایی محموله و مدیریت حرکت کشتی‌ها، بنادر سنتی را به بنادر هوشمند تبدیل می‌کند. سیستم‌های رایانه‌ای بلادرنگ با

تحلیل برنامه‌های کشتی، تقاضای محموله و عوامل محیطی، تخصیص اسکله را بهینه‌سازی می‌کنند.

۳-۱-۳-۳. پیش‌بینی مسیر و هماهنگی ناوگان

سیستم‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی، حرکات کشتی‌ها را تحلیل کرده و تنظیمات پویا را برای جلوگیری از برخورد و بهبود هماهنگی ناوگان ارائه می‌دهند. تحلیل الگوهای ترافیک و رفتار کشتی‌ها توسط این سیستم‌ها، تخصیص کارآمد اسکله‌ها و مدیریت بهینه ناوگان را امکان‌پذیر می‌سازد.

۳-۲. کاهش هوشمند هزینه‌های بارگیری

کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی عملیاتی در مدیریت بنادر، از اهداف اصلی بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته است .الگوریتم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های بلادرنگ و پیش‌بینی ناکارآمدی‌ها، راهکارهایی برای بهینه‌سازی عملیات بارگیری و تخلیه ارائه می‌دهند. این فناوری‌ها با کاهش تأخیرها و بهبود تخصیص منابع، به کاهش هزینه‌های عملیاتی و ارتقای بهره‌وری کمک می‌کنند.

۳-۲-۱. اهمیت بارگیری و تخلیه در مدیریت بندری

بارگیری و تخلیه، از مهم‌ترین مراحل در عملیات بندری هستند که به جابه‌جایی سریع و کارآمد کالاها از کشتی به بندر و بالعکس کمک می‌کنند. این فرآیندها معمولاً شامل تجهیزاتی مانند جرثقیل‌ها، نوار نقاله‌ها و وسایل حمل‌ونقل درون‌بندری هستند که برای انتقال بارها به شکلی منظم و دقیق به‌کار می‌روند. ناکارآمدی در این مراحل می‌تواند منجر به افزایش تأخیرها، تراکم در بنادر و هزینه‌های عملیاتی بالا شود. استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی، این چالش‌ها را از طریق خودکارسازی و بهینه‌سازی فرآیندها کاهش می‌دهد.

در این مطالعه به‌طور غیرمستقیم به کاهش هزینه‌ها از طریق بهبود کارایی در عملیات

بندری پرداخته شده است. راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، نظیر بهینه‌سازی جریان محموله و الگوریتم‌های تخصیص منابع، تنگناها و هزینه‌های مرتبط را کاهش می‌دهند. اگرچه هزینه‌های خاص بارگیری به‌تفصیل بررسی نشده‌اند، اما بر کاهش هزینه‌ها از طریق بهبود کارایی عملیاتی تأکید شده است که به‌طور غیرمستقیم بر هزینه‌های بارگیری تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان نمونه، با بهینه‌سازی برنامه‌های پهلوگیری و کاهش تأخیرها، می‌توان هزینه‌های عملیاتی کلی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد.

۳-۲-۲. بهبود کارایی بارگیری و تخلیه با هوش‌مصنوعی

مدل‌های هوش مصنوعی با پیش‌بینی و مدیریت ریسک‌هایی نظیر خطاهای عملیاتی یا عوامل محیطی که ممکن است موجب تأخیر شوند، کارایی بارگیری و تخلیه را بهبود می‌بخشند.

سیستم‌های خودکار مجهز به هوش مصنوعی، عملیات‌هایی همچون بارگیری، تخلیه و انباشتن کانتینرها را بهینه می‌کنند و تأخیرها و هزینه‌های مرتبط را به حداقل می‌رسانند.

همچنین در پایانه‌های خودکار، رادارهای لیزری ساختار کشتی را اسکن کرده و دقت و کارایی بارگیری را افزایش می‌دهند، به‌علاوه، وابستگی به کارهای دستی و هزینه‌های مربوطه را کاهش می‌دهند. تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینی ناکارآمدی‌های فرآیندهای جابجایی محموله را شناسایی و رفع کرده و هزینه‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد.

۳-۲-۳. کاربرد هوش مصنوعی در کاهش هزینه‌های بارگیری و تخلیه

- بهینه‌سازی فرآیندهای بارگیری و تخلیه: هوش مصنوعی با بهبود تخصیص منابع و کاهش ناکارآمدی‌های عملیاتی، هزینه‌های مرتبط را کاهش می‌دهد.
- فناوری‌های اتوماسیون و رادارهای لیزری: این فناوری‌ها دقت در جابجایی محموله را افزایش داده و باعث کاهش هزینه‌ها و زمان عملیات می‌شوند.

۳-۳. بهینه‌سازی هوشمند جریان بار و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل

یکی از چالش‌های بزرگ در مدیریت بنادر، بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل برای کاهش زمان و هزینه است. این فرآیند شامل استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای تحلیل الگوهای ترافیکی، پیش‌بینی تقاضای بار و انتخاب بهینه‌ترین مسیرها برای حمل‌ونقل کالا است. ناکارآمدی در این بخش می‌تواند منجر به افزایش زمان حمل‌ونقل، هزینه‌های اضافی و کاهش رقابت‌پذیری بنادر شود. هوش مصنوعی با ارائه راهکارهای بلادرنگ و پیش‌بینی دقیق، این چالش‌ها را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد.

۳-۳-۱. نقش هوش مصنوعی در بهینه‌سازی جریان بار و حمل‌ونقل

مدل‌های هوش مصنوعی الگوهای ترافیک، شرایط محیطی و رفتار کشتی‌ها را تجزیه‌وتحلیل می‌کنند تا ایمن‌ترین و کارآمدترین مسیرها را برای حمل‌ونقل کالا پیشنهاد کنند.

سیستم‌های پیش‌بینی با یکپارچه‌سازی ارزیابی ریسک و برنامه‌ریزی لجستیک، جریان محموله را به‌صورت پویا تنظیم می‌کنند تا اختلالات را به حداقل برسانند.

هماهنگی بلادرنگ شبکه‌های لجستیک توسط هوش مصنوعی، جریان کالا را افزایش داده و بهبود کارایی کلی حمل‌ونقل را تضمین می‌کند.

۳-۳-۲. کاربردهای هوش مصنوعی در حمل‌ونقل

- بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل: هوش مصنوعی با تجزیه‌وتحلیل بلادرنگ تراکم ترافیک، زمان‌بندی کشتی‌ها و عوامل محیطی، بهترین مسیرها را برای کاهش هزینه و زمان پیشنهاد می‌دهد.
- پیش‌بینی تقاضای محموله: ابزارهای یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های بزرگ، تقاضا را پیش‌بینی کرده و امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر حمل‌ونقل را فراهم می‌کنند.
- مدیریت خطرات و ایمنی: هوش مصنوعی با پیش‌بینی خطرات مانند تصادفات و شرایط بحرانی، سفرهای ایمن‌تر و کارآمدتری را امکان‌پذیر می‌کند.

۳-۳-۳. برنامه‌های عملیاتی هوش مصنوعی

- بهبود مسیریابی کانتینرها: تحلیل داده‌های بزرگ و پیش‌بینی تقاضا به بهینه‌سازی مسیریابی کمک می‌کند.
- افزایش کارایی حمل‌ونقل میان‌وجهی: ادغام حمل‌ونقل زمینی و دریایی با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی، هماهنگی را بهبود می‌بخشد.
- تنظیم بلادرنگ برنامه‌های حمل‌ونقل: سیستم‌های پیش‌بینی بلادرنگ هوش مصنوعی، اختلالات را مدیریت و جریان محموله را تسهیل می‌کنند.

۳-۳-٤. چالش‌ها و فرصت‌ها

درحالی‌که هوش مصنوعی در حال تغییر عملیات دریایی است، چالش‌هایی مانند کیفیت داده‌ها، انطباق با مقررات و هزینه‌های بالای پیاده‌سازی همچنان ادامه دارد. بااین‌حال، نمونه‌های موفقی مانند کشتی‌های خودران، پورت‌های هوشمند و سیستم‌های تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده، پتانسیل عظیم هوش مصنوعی را برای متحول کردن صنعت و همسو کردن آن با اهداف پایداری و کارایی نشان می‌دهند. پیشرفت‌های مستمر در یادگیری ماشین، اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ، اثربخشی و پذیرش هوش مصنوعی را در برنامه‌های دریایی افزایش می‌دهد.

۳-٤. کاهش هوشمند هزینه‌های باراندازی

دیگر مسئله‌ی مهم در مدیریت بنادر، هزینه‌های باراندازی است که زمانی رخ می‌دهد که کشتی‌ها بیش از زمان برنامه‌ریزی‌شده در بندر تأخیر می‌کنند. این هزینه‌ها شامل جریمه‌های مالی می‌شود که تأثیر مستقیمی بر کارایی بندر و هزینه‌های حمل‌ونقل دارد. کاهش این هزینه‌ها نیازمند راهکارهایی کارآمد برای پیش‌بینی تأخیرها و بهینه‌سازی عملیات بندری است.

۳-٤-۱. نقش هوش مصنوعی در کاهش هزینه‌های باراندازی

هوش مصنوعی با ارائه ابزارهایی برای تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینی‌کننده و تنظیمات عملیاتی بلادرنگ، نقش کلیدی در کاهش هزینه‌های باراندازی ایفا می‌کند. مدل‌های یادگیری ماشینی، داده‌های تاریخی مربوط به حمل‌ونقل و پهلوگیری را تحلیل کرده و تأخیرهای احتمالی را پیش‌بینی می‌کنند. این فناوری بینش‌هایی برای جلوگیری از تضادهای زمان‌بندی ارائه داده و به بهبود برنامه‌ریزی کمک می‌کند.

۳-٤-۲. دیجیتالی‌سازی و تغییر فرآیندهای باراندازی

در مقاله‌های مختلف تأکید شده است که دیجیتالی‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی، فرآیند باراندازی را از حالت واکنشی به فعال تبدیل می‌کند. راهکارهایی مانند مشوق‌های حمل‌ونقل میان‌وجهی و فرآیندهای مذاکره بهبودیافته در کنار مدل‌های پیش‌بینی هوش مصنوعی می‌توانند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های باراندازی داشته باشند.

۳-٤-۳. کاربردهای هوش مصنوعی در مدیریت هزینه‌های باراندازی

- پیش‌بینی شرایط بحران: هوش مصنوعی شرایطی مانند تراکم ترافیک یا آب‌وهوای نامناسب را پیش‌بینی کرده و امکان برنامه‌ریزی بهتر برای جلوگیری از تأخیرها را فراهم می‌کند.
- تصمیم‌گیری بلادرنگ: سیستم‌های هوش مصنوعی تأخیرهای عملیاتی و خطرات احتمالی را شناسایی کرده و عملیات را برای جلوگیری از تنگناها تنظیم می‌کنند.
- ابزارهای پیشرفته هوشمند: کشتی‌های بدون سرنشین، پهپادها و ابزارهای مجهز به هوش مصنوعی زمان واکنش اضطراری را تسریع کرده و به‌طور غیرمستقیم تأخیرها و هزینه‌های مرتبط را کاهش می‌دهند.

۳-٤-٤. راهکارهای هوش‌مصنوعی در کاهش هزینه‌های باراندازی

- تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینی‌کننده: مدل‌های یادگیری ماشینی داده‌های تاریخی و داده‌های

بلادرنگ بندر را تحلیل می‌کنند تا تأخیرهای احتمالی را پیش‌بینی کرده و امکان اقدامات پیشگیرانه را فراهم کنند.

- اتوماسیون اعلان‌ها: سیستم‌های هوش مصنوعی به‌طور خودکار به ارسال‌کنندگان و مقامات بندری درباره انقضای زمان آزاد هشدار می‌دهند تا از هزینه‌های غیرضروری جلوگیری شود.
- یکپارچه‌سازی و اشتراک‌گذاری داده‌ها: پلتفرم‌های هوش مصنوعی منابع داده‌های مختلف در پایانه‌ها، حامل‌ها و ارسال‌کنندگان را یکپارچه می‌کنند تا ناکارآمدی‌ها و اشتباهات ارتباطی کاهش یابد.
- بهینه‌سازی زمان‌بندی: هوش مصنوعی داده‌های مربوط به ترافیک بندر، برنامه‌های کشتی‌ها و اطلاعات حمل‌ونقل داخلی را تحلیل کرده و زمان‌بندی بهینه برای حرکت کانتینرها را ارائه می‌دهد.

۳. تکنولوژی‌ها و الگوریتم‌های بکار گرفته‌شده هوش مصنوعی در بنادر

مدیریت کارآمد بنادر، مستلزم بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته و روش‌های تحلیلی برای دستیابی به تخصیص بهینه منابع، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری کلی است. این الگوریتم‌ها شامل روش‌های ژنتیک، جنگل تصادفی، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، برنامه‌ریزی پویا، یادگیری تقویتی و شبکه‌های عصبی عمیق هستند که در حوزه‌هایی نظیر تخصیص اسکله، استقرار ناوگان، مدیریت جریان بار و کنترل هزینه‌های بارانداری به کار گرفته می‌شوند. این رویکردها امکان پیش‌بینی دقیق، تنظیمات بلادرنگ و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های بزرگ را فراهم می‌آورند.

٤-١. بهینه‌سازی تخصیص اسکله و استقرار ناوگان

الگوریتم‌های مورداستفاده عبارت‌اند از:

- **الگوریتم‌های ژنتیک**[1]:

الگوریتم‌های ژنتیک مبتنی بر اصول تکامل طبیعی مانند انتخاب، جابجایی و جهش هستند و برای مسائل پیچیده تخصیص منابع مانند تخصیص اسکله بهینه استفاده می‌شوند. این الگوریتم‌ها سناریوهای مختلف تخصیص اسکله را باهدف کاهش تأخیرها و افزایش بهره‌وری تحلیل می‌کنند. برای مثال، در بندر روتردام، از این روش‌ها برای تخصیص اسکله‌ها به‌صورت بلادرنگ استفاده شده است تا بهره‌وری ناوگان را افزایش دهد و هزینه‌های عملیاتی کاهش یابد. در شبیه‌سازی‌های بندر روتردام، این الگوریتم‌ها ترکیب داده‌های زنده و تاریخی را برای کاهش زمان انتظار و افزایش کارایی استفاده کرده‌اند. شبیه‌سازی‌ها شامل ۱۰۰۰ ترکیب مختلف برای تخصیص اسکله‌ها بود که بهترین تخصیص با استفاده از الگوریتم NSGA-II انتخاب شد. نتایج نشان داد که زمان کلی عملیات بندری تا ۲۰ درصد کاهش یافته است.

- **جستجوی ممنوعه:**

این روش یک الگوریتم بهینه‌سازی تکراری است که از حافظه‌ای برای جلوگیری از بازدید دوباره حالت‌های قبلی استفاده می‌کند. این الگوریتم به‌ویژه در بهینه‌سازی‌های بلادرنگ مفید است و برای اصلاح برنامه‌های تخصیص اسکله و مدیریت ناوگان در شرایط پویا استفاده می‌شود. به‌عنوان‌مثال در بندر سنگاپور، جستجوی Tabu برای هماهنگی برنامه‌های زمانی اسکله‌ها در شرایط پرترافیک و مدیریت تغییرات غیرمنتظره در ورود کشتی‌ها استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم توانسته است زمان اصلاح برنامه‌ریزی را به کمتر از ۵ دقیقه کاهش داده و تأخیرهای عملیاتی را تا ۲۵ درصد کاهش دهد.

---

1. Genetic Algorithms

- **شبکه‌های عصبی عمیق**[1]:

شبکه‌های عصبی عمیق با تحلیل داده‌های تاریخی می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیقی درباره زمان‌بندی و تخصیص منابع ارائه دهند. در بندر سنگاپور، از مدل‌های یادگیری عمیق برای تحلیل الگوهای حرکتی کشتی‌ها و کاهش تأخیرها استفاده شده است. این مدل‌ها اطلاعاتی مانند اندازه کشتی، نوع کالا و شرایط آب‌وهوایی را تحلیل کردند. شبیه‌سازی‌ها نشان داد که این روش توانایی پیش‌بینی تأخیرها با دقت ۹۰ درصد و کاهش زمان انتظار کشتی‌ها تا ۳۰ درصد را دارد.

- **کاربردها:**

- **بندر روتردام** (Xingqiang chen، ۲۰۲۴):
  - الگوریتم‌های ژنتیک: برای تخصیص بهینه اسکله‌ها و مدیریت ناوگان به کار رفته‌اند. این الگوریتم‌ها ترکیب داده‌های زنده و تاریخی را برای کاهش زمان انتظار و افزایش کارایی استفاده می‌کنند.
  - نتایج: کاهش زمان کلی عملیات بندری تا ۲۰ درصد و کاهش هزینه‌های عملیاتی مرتبط.
  - شبیه‌سازی: داده‌های ۵ ساله تاریخی و داده‌های بلادرنگ برای تحلیل سناریوهای تخصیص اسکله‌ها به کار گرفته شد و بهترین ترکیب تخصیص انتخاب شد.

- **بندر سنگاپور** (Xingqiang chen، ۲۰۲۴)
  - شبکه‌های عصبی عمیق و جستجوی ممنوعه برای کاهش: در تأخیرها و بهبود زمان‌بندی اسکله‌ها استفاده شده‌اند.
  - نتایج: کاهش ۳۰ درصد زمان‌های انتظار و بهبود دقت پیش‌بینی‌ها تا ۹۰ درصد
  - شبیه‌سازی: داده‌های AIS برای تحلیل و پیش‌بینی دقیق زمان ورود و خروج کشتی‌ها استفاده شده است. ترکیب مدل‌های یادگیری عمیق و جستجوی ممنوعه توانسته است بهره‌وری عملیاتی را به شکل قابل‌توجهی افزایش دهد.

1. Deep Neural Networks

- ترکیب چند الگوریتم برای مدیریت ناوگان و تخصیص اسکله: یک سیستم ترکیبی از الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوعه و شبکه‌های عصبی عمیق برای مدیریت بهینه ناوگان و تخصیص اسکله‌ها طراحی شد.
- نتایج: افزایش بهره‌وری ۱۵ درصد و کاهش ۲۰ درصد در هزینه‌های مرتبط با زمان انتظار.
- شبیه‌سازی: داده‌های مشترک از بنادر روتردام و سنگاپور برای بررسی قابلیت ترکیب الگوریتم‌ها استفاده شد و مدل ترکیبی توانست بهترین عملکرد را در شرایط مختلف عملیاتی ارائه دهد.

٤-۲. کاهش هزینه‌های بارگیری

الگوریتم‌های مورداستفاده عبارت‌اند از: (Xingqiang chen، ۲۰۲۴)

- **جنگل تصادفی**[1]:

الگوریتم جنگل تصادفی یک روش یادگیری ماشین است که با ترکیب چندین درخت تصمیم‌گیری و استفاده از نتایج آن‌ها، برای پیش‌بینی نیازهای عملیاتی مانند تخصیص منابع و تجهیزات به کار می‌رود. این الگوریتم می‌تواند داده‌های تاریخی و بلادرنگ را تحلیل کرده و تقاضاهای آینده را با دقت بالا پیش‌بینی کند. در بندر آنتورپ، از این روش برای تخصیص بهینه منابع استفاده شده است که منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش بهره‌وری شده است.

- **برنامه‌نویسی پویا**[2]:

برنامه‌نویسی پویا یک تکنیک بهینه‌سازی است که برای مدیریت فرآیندهایی با مراحل وابسته استفاده می‌شود. این روش می‌تواند با تحلیل مرحله‌به‌مرحله فرآیند بارگیری و تخلیه، زمان توقف تجهیزات و کشتی‌ها را کاهش داده و هزینه‌ها را به حداقل برساند. این الگوریتم در مدیریت منابع بندری کاربردهای گسترده‌ای داشته و بهبودهای قابل‌توجهی در

1. Random Forest
2. Dynamic Programming

زمان‌بندی و تخصیص منابع ارائه داده است.

- **یادگیری تقویتی**[1]:

الگوریتم یادگیری تقویتی از بازخورد محیط برای تصمیم‌گیری‌های بهینه در شرایط پویا استفاده می‌کند. این روش به‌خصوص در مدیریت منابع و واکنش‌های اضطراری بسیار کارآمد است. در پروژه‌هایی مانند روبوگارد[2]، الگوریتم یادگیری تقویتی مسیرهای بهینه را برای پهپادها جهت مدیریت بحران طراحی کرده و عملکرد را در شرایط واقعی بهبود داده است.

- **کاربردها:**
- **بندر آنتورپ:**
  - روش مورداستفاده: ترکیب جنگل تصادفی و برنامه‌ریزی پویا.
  - شرح: با استفاده از این الگوریتم‌ها، بندر آنتورپ توانسته است تقاضاهای عملیاتی را با دقت بالا پیش‌بینی کند. این فرآیند شامل تحلیل داده‌های تاریخی مربوط به الگوهای حمل‌ونقل و استفاده از داده‌های بلادرنگ برای شناسایی نیازهای فوری منابع بوده است. سپس با تخصیص هوشمندانه تجهیزات و نیروی انسانی به مراحل مختلف عملیات بارگیری و تخلیه، بهره‌وری کلی افزایش‌یافته و تأخیرها به حداقل رسیده است.
  - نتایج: کاهش هزینه‌های عملیاتی تا ۱۵ درصد و افزایش بهره‌وری کلی عملیات. (Xingqiang chen، ۲۰۲۴)
- **پروژه روبوگارد:**
  - روش مورداستفاده: یادگیری تقویتی.
  - شرح: این پروژه از پهپادهای هوشمند برای مدیریت بحران و پاسخگویی سریع به

1. Reinforcement Learning
2. Roboguard

شرایط اضطراری استفاده کرده است. این الگوریتم‌ها توانسته‌اند زمان واکنش را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهند.

- نتایج: کاهش ۳۰ درصد در زمان واکنش به بحران و افزایش دقت عملیات. (Xingqiang chen، ۲۰۲۴)

- **شبیه‌سازی‌ها:**

- در بندر آنتورپ، شبیه‌سازی‌ها نشان داده‌اند که ترکیب الگوریتم‌های جنگل تصادفی و برنامه‌نویسی پویا می‌تواند بهره‌وری عملیاتی را تا ۲۰ درصد افزایش دهد.
- در پروژه روبوگارد، شبیه‌سازی‌های یادگیری تقویتی نشان داده است که مسیرهای بهینه می‌توانند در شرایط بحرانی به‌طور مؤثر مدیریت شوند و واکنش سریع‌تری ارائه دهند.

٤-٣. بهینه‌سازی جریان بار و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل

الگوریتم‌های مورداستفاده شامل موارد زیر هستند:

- **الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات:**

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مبتنی بر رفتار گروهی ذرات است که در فضای جستجو حرکت می‌کنند و به سمت موقعیت بهینه هدایت می‌شوند. در بندر هامبورگ، از الگوریتم مذکور برای ارزیابی و انتخاب بهترین مسیرهای حمل‌ونقل دریایی استفاده شده است. این الگوریتم با تحلیل داده‌های ترافیکی و جریان بار، مسیرهایی با کمترین هزینه زمانی را شناسایی می‌کند. به‌این‌ترتیب، مسیرهای پرترافیک به‌طور بلادرنگ تغییریافته و مسیرهای جایگزین بهینه پیشنهاد می‌شوند. همچنین، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای هماهنگی بین ورود و خروج کشتی‌ها و کاهش زمان توقف اسکله‌ها استفاده شده است. (Xingqiang chen، ۲۰۲۴)

- **الگوریتم‌های ژنتیک**:

الگوریتم‌های ژنتیک با شبیه‌سازی فرایند تکامل طبیعی، بهترین راه‌حل را برای مدیریت جریان بار و تنظیم سرعت حمل‌ونقل ارائه می‌دهند. در بندر هامبورگ، این الگوریتم‌ها با داده‌های تاریخی و بلادرنگ از ترافیک بندری و مسیرهای حمل‌ونقل ترکیب شده‌اند تا مسیرهای بهینه و زمان‌بندی‌های دقیق‌تری ارائه دهند. علاوه بر این، الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسائل چندهدفه مانند بهینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل و کاهش زمان تأخیر استفاده شده‌اند. (chen، ۲۰۲۴)

- **شبکه‌های بازگشتی حافظه کوتاه‌مدت بلندمدت**[1]:

شبکه‌های بازگشتی (LSTM) به دلیل قابلیت‌هایشان در تحلیل داده‌های سری زمانی، در پیش‌بینی تقاضای محموله‌ها و تحلیل شرایط ترافیکی کاربرد گسترده‌ای دارند. در شرکت ام اس سی (MSC)، از این شبکه‌ها برای پیش‌بینی نیازهای حمل‌ونقل در دوره‌های زمانی مختلف استفاده شده است. مدل شبکه‌های بازگشتی با داده‌های تاریخی حمل‌ونقل و داده‌های بلادرنگ از سیستم‌های AIS آموزش داده شده و توانسته است تغییرات در تقاضای محموله‌ها را پیش‌بینی کند. این پیش‌بینی‌ها به مدیریت دقیق جریان بار و برنامه‌ریزی بهتر حمل‌ونقل کمک کرده‌اند (Xingqiang chen، ۲۰۲۴).

- **کاربردها:**
- **بندر هامبورگ:**
  - روش مورداستفاده: الگوریتم بهنیه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک
  - شرح: بندر هامبورگ از الگوریتم بهنیه‌سازی ازدحام ذرات برای تنظیم مسیرهای حمل‌ونقل و کاهش تراکم بندری استفاده کرده است. این الگوریتم توانسته است با تحلیل داده‌های بلادرنگ ترافیکی، مسیرهای جایگزین بهینه را در مواقع اضطراری پیشنهاد دهد. همچنین، الگوریتم ژنتیک برای ترکیب داده‌های تاریخی و بلادرنگ

1. LSTM

به‌منظور ارائه زمان‌بندی دقیق ورود و خروج کشتی‌ها به کار گرفته شده است. این مدل‌ها با کاهش زمان توقف اسکله‌ها، هزینه‌های عملیاتی را کاهش داده و بهره‌وری را افزایش داده‌اند.

- نتایج: کاهش ۲۰ درصدی زمان‌های انتظار و افزایش ۱۵ درصد بهره‌وری عملیاتی. ترکیب بهنیه‌سازی ازدحام ذرات و ژنتیک باعث بهبود جریان بار و کاهش تراکم مسیرهای کلیدی شده است. (Xingqiang chen، ۲۰۲۴)

- **شرکت ام اس سی**[1]:
  - روش مورداستفاده: شبکه‌های بازگشتی حافظه کوتاه‌مدت بلندمدت.
  - شرح: شرکت اماس‌سی از شبکه‌های بازگشتی حافظه کوتاه‌مدت بلندمدت برای پیش‌بینی تقاضای محموله و تنظیم جریان بار در مسیرهای حمل‌ونقل استفاده کرده است. داده‌های تاریخی و بلادرنگ سیستم‌های AIS به‌عنوان ورودی مدل شبکه‌های بازگشتی حافظه کوتاه‌مدت بلندمدت به کار گرفته شده‌اند. این مدل‌ها توانسته‌اند تغییرات تقاضای بار را پیش‌بینی کنند و برنامه‌ریزی حرکت کانتینرها را بهبود بخشند. علاوه بر این، استفاده از شبکه‌های بازگشتی حافظه کوتاه‌مدت بلندمدت در تنظیم سرعت کانتینرها در مسیرهای حمل‌ونقل باعث کاهش زمان تأخیر و هزینه‌های کلی شده است.
  - نتایج :کاهش ۲۵ درصد هزینه‌های حمل‌ونقل و افزایش دقت برنامه‌ریزی. (Xingqiang chen، ۲۰۲۴)

- **شبیه‌سازی‌ها:**
  - در بندر هامبورگ، شبیه‌سازی‌های ترکیبی از الگوریتم بهنیه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک نشان داده‌اند که استفاده از این روش‌ها می‌تواند هزینه‌های زمانی را به میزان ۳۰ درصد کاهش دهد و تراکم ترافیکی را در مسیرهای کلیدی بکاهد.

1. MSC

- در شرکت امای‌سی، شبکه‌های بازگشتی حافظه کوتاه‌مدت بلندمدت برای شبیه‌سازی تغییرات تقاضای بار و تحلیل شرایط ترافیکی به کار گرفته شده‌اند. این شبیه‌سازی‌ها توانسته‌اند پیش‌بینی‌های دقیقی از تغییرات ترافیکی ارائه دهند و به بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی کمک کنند.

٤-٤. کاهش هزینه‌های باراندازی

الگوریتم‌های مورداستفاده به شرح زیر هستند:

- **مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر جنگل تصادفی:**

الگوریتم جنگل تصادفی یک روش یادگیری ماشین است که از ترکیب چندین درخت تصمیم‌گیری برای پیش‌بینی عوامل پیچیده استفاده می‌کند. این الگوریتم توانایی تحلیل حجم زیادی از داده‌های تاریخی و بلادرنگ را دارد و می‌تواند الگوهای تأخیر و هزینه‌های مرتبط را شناسایی کند. در بندر لس‌آنجلس، این مدل برای پیش‌بینی تأخیرهای احتمالی و پیشنهاد اقداماتی برای کاهش هزینه‌های باراندازی استفاده شده است. داده‌هایی شامل وضعیت اسکله‌ها، ترافیک کانتینری و شرایط جوی به عنوان ورودی مدل عمل کرده و نتایج آن به صورت بلادرنگ به مدیران ارائه می‌شود (ونگنگ مائو،۲۰۲۳).

- **زمان‌بندی پویا**[1]:

الگوریتم زمان‌بندی پویا برای بهینه‌سازی برنامه‌های عملیاتی کشتی‌ها و اسکله‌ها طراحی شده است. این الگوریتم با استفاده از داده‌های لحظه‌ای، برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیری ارائه می‌دهد که به کاهش تأخیرها و مدیریت بهتر ترافیک بندری کمک می‌کند. در بندر روتردام، زمان‌بندی پویا برای تنظیم زمان ورود و خروج کشتی‌ها و اولویت‌بندی عملیات بر اساس تراکم کاری اسکله‌ها استفاده شده است (ونگنگ مائو،۲۰۲۳).

1. Dynamic Scheduling

- **تحلیل سناریوی خلاف واقع**[1]:

• این روش شامل شبیه‌سازی و تحلیل سناریوهای مختلف برای درک پیامدهای بالقوه اقدامات مدیریتی است. در این فرآیند، شرایطی مانند تغییر در ظرفیت اسکله‌ها، تنظیم جریان کانتینری یا مدیریت ترافیک بندری شبیه‌سازی می‌شود. این تکنیک به مدیران بنادر امکان می‌دهد بهترین تصمیمات را برای کاهش هزینه‌های دموراژ اتخاذ کنند. در بندر روتردام، تحلیل سناریوی خلاف واقع به همراه فناوری دوقلوهای دیجیتال به شناسایی راهکارهای بهینه در زمان واقعی کمک کرده است (ونگنگ مائو،۲۰۲۳).

- **کاربردها:**

• **بندر لس‌آنجلس:**

  - روش مورداستفاده: مدل‌های جنگل تصادفی.
  - شرح: سیستم‌های هوشمند در بندر لس‌آنجلس با تحلیل داده‌های تاریخی و بلادرنگ از مدل جنگل تصادفی برای پیش‌بینی تأخیرهای عملیاتی و کاهش هزینه‌های باراندازی استفاده کرده‌اند. این سیستم داده‌هایی نظیر حجم ترافیک، شرایط اسکله‌ها و وضعیت جوی را پردازش کرده و به مدیران پیشنهادهایی در خصوص تغییرات برنامه‌ریزی ارائه می‌دهد. همچنین، با شناسایی گلوگاه‌های عملیاتی، برنامه‌های اصلاحی بلادرنگ اعمال می‌شود.
  - نتایج: کاهش ۱۵ درصد هزینه‌های باراندازی و افزایش ۲۰ درصدی دقت برنامه‌ریزی (ونگنگ مائو،۲۰۲۳).

• **بندر روتردام:**

  - روش مورداستفاده: زمان‌بندی پویا و تحلیل سناریوی خلاف واقع.
  - شرح: در بندر روتردام، فناوری دوقلوهای دیجیتال به همراه الگوریتم‌های زمان‌بندی پویا برای مدیریت بلادرنگ عملیات بندری استفاده شده است. این

1. Counterfactual scenario analysis

سیستم قادر است با استفاده از داده‌های زنده از وضعیت اسکله‌ها و کشتی‌ها، بهترین زمان‌بندی را پیشنهاد دهد. علاوه بر این، تحلیل سناریوی خلاف واقع به مدیران این امکان را داده است که تغییرات پیشنهادی در ظرفیت اسکله یا جریان بار را شبیه‌سازی کرده و بهترین راهکارها را برای کاهش تأخیرها انتخاب کنند.

- نتایج: کاهش زمان‌های انتظار تا ۲۵ درصد و افزایش بهره‌وری اسکله‌ها تا ۳۰ درصد (کاترین استورمز،۲۰۲۳).

- **شبیه‌سازی‌ها:**
  - در بندر لس‌آنجلس، شبیه‌سازی‌های مبتنی بر مدل جنگل تصادفی نشان داده است که این سیستم می‌تواند پیش‌بینی هزینه‌های دموراژ را با دقت ۹۰ درصد انجام دهد. این پیش‌بینی‌ها به مدیران کمک کرده است تا تصمیمات سریع‌تر و دقیق‌تری بگیرند.
  - در بندر روتردام، ترکیب دوقلوهای دیجیتال و تحلیل سناریوی خلاف واقع نشان داده است که می‌توان تأخیرهای عملیاتی را به میزان ۲۵ درصد کاهش داد و بهره‌وری عملیات بندری را بهبود بخشید. (ونگنگ مائو،۲۰۲۳)

	الگوریتم‌های بکار گرفته شده	زمینه‌های استفاده	کاربرد	نتایج
بهینه‌سازی هوشمند تخصیص اسکله و استقرار ناوگان	الگوریتم ژنتیک	تخصیص بهینه‌ی اسکله‌ها و مدیریت ناوگان	بندر روتردام	کاهش زمان کلی عملیات بندری تا ۲۰٪ و کاهش هزینه‌های مرتبط
	جستجوی ممنوعه + شبکه‌های عصبی عمیق	کاهش تأخیرها و بهبود زمان‌بندی اسکله‌ها	بندر سنگاپور	کاهش ۳۰٪ زمان انتظار و بهبود دقت پیش‌بینی‌ها تا ۹۰٪
کاهش هوشمند هزینه بارگیری	جنگل تصادفی + برنامه‌نویسی پویا	پیش‌بینی تقاضاهای عملیاتی	بندر آنتروپ	کاهش هزینه‌های عملیاتی تا ۱۵٪ و افزایش بهره‌وری کلی عملیات

	الگوریتم‌های بکار گرفته شده	زمینه‌های استفاده	کاربرد	نتایج
	یادگیری تقویتی	مدیریت بحران و پاسخگویی سریع به شرایط اضطراری با استفاده از پهپادها	پروژه‌ی «روبوگارد»	کاهش ۳۰ درصدی در زمان واکنش به بحران و افزایش دقت عملیات
بهینه‌سازی هوشمند جریان بار و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل	الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات + الگوریتم ژنتیک	تنظیم مسیرهای حمل‌ونقل و کاهش تراکم بندری	بندر هامبورگ	کاهش ۲۰٪ زمان انتظار و افزایش ۱۵٪ بهره‌وری عملیاتی
	شبکه عصبی بازگشتی حافظه کوتاه‌مدت بلندمدت	پیش‌بینی تقاضای محموله و تنظیم جریان بار	شرکت «ام اس سی»	کاهش ۲۵٪ هزینه‌های حمل‌ونقل و افزایش دقت برنامه‌ریزی
کاهش هوشمند هزینه باراندازی	مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر جنگل‌های تصادفی	پیش‌بینی تأخیرهای عملیاتی و کاهش هزینه‌ی باراندازی	بندر لس‌آنجلس	کاهش ۱۵٪ هزینه‌های باراندازی و افزایش ۲۰٪ دقت برنامه‌ریزی
	زمان‌بندی پویا + تحلیل سناریوی خلاف واقع	پیشنهاد بهترین زمان‌بندی و کاهش تأخیرها	بندر روتردام	کاهش زمان انتظار تا ۲۵٪ و افزایش بهره‌وری اسکله‌ها تا ۳۰٪

نتیجه‌گیری

این مقاله نشان می‌دهد که استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت بنادر، تحول بزرگی در بهینه‌سازی عملیات بندری، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری ایجاد می‌کند. با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته‌ای همچون الگوریتم‌های ژنتیک، جنگل تصادفی، شبکه‌های عصبی عمیق و یادگیری تقویتی، امکان پیش‌بینی دقیق‌تر، تخصیص بهینه منابع و تصمیم‌گیری بلادرنگ فراهم می‌شود.

به‌طور خاص، این الگوریتم‌ها توانسته‌اند تأثیرات قابل‌توجهی در حوزه‌های زیر داشته باشند:

- بهینه‌سازی تخصیص اسکله و استقرار ناوگان: کاهش زمان‌های انتظار کشتی‌ها و

افزایش بهره‌وری اسکله‌ها، به‌ویژه با استفاده از الگوریتم‌هایی مانند جستجوی Tabu و مدل‌های یادگیری عمیق.

- کاهش هزینه‌های بارگیری: پیش‌بینی دقیق تقاضاها و تخصیص منابع با الگوریتم‌های جنگل تصادفی و برنامه‌نویسی پویا که منجر به کاهش ناکارآمدی‌ها و هزینه‌های عملیاتی شده است.
- بهینه‌سازی جریان بار و حمل‌ونقل: ارائه مسیرهای بهینه و پیش‌بینی دقیق تقاضای محموله با استفاده از الگوریتم‌های ازدحام ذرات و شبکه‌های بازگشتی.
- کاهش هزینه‌های باراندازی: پیش‌بینی تأخیرها و مدیریت عملیاتی با کمک فناوری‌هایی مانند زمان‌بندی پویا و دوقلوهای دیجیتال.

این فناوری‌ها نه‌تنها باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری شده‌اند، بلکه امکان مدیریت بلادرنگ و پاسخگویی به تغییرات سریع محیطی را نیز فراهم کرده‌اند. به‌عنوان‌مثال، بنادری مانند روتردام، سنگاپور و هامبورگ توانسته‌اند با استفاده از این فناوری‌ها به مراکز هوشمند و کارآمدتری تبدیل شوند.

نتایج بررسی‌های این مطالعه حاکی از آن است که هوش مصنوعی نه‌تنها چالش‌های عملیاتی نظیر ازدحام، تأخیر و ناکارآمدی‌های لجستیکی را کاهش می‌دهد، بلکه با ارائه قابلیت‌های پیش‌بینی دقیق و تصمیم‌گیری بلادرنگ، انعطاف‌پذیری بنادر را در برابر تغییرات محیطی و تقاضای بازار افزایش می‌دهد. تجربیات موفق بنادر پیشرو جهانی مانند روتردام، سنگاپور، هامبورگ و لس‌آنجلس نشان‌دهنده تأثیر مثبت این فناوری‌ها در کاهش هزینه‌ها (تا ۳۰ درصد در برخی موارد) و افزایش بهره‌وری (تا ۲۰ درصد) است. این دستاوردها می‌توانند به‌عنوان الگویی برای بنادر ایران مورداستفاده قرار گیرند.

با توجه به موقعیت استراتژیک ایران در منطقه خلیج‌فارس و دسترسی به کریدورهای تجاری بین‌المللی، هوشمندسازی بنادر می‌تواند ایران را به یک قطب ترانزیتی کلیدی در منطقه تبدیل کند. این تحول نه‌تنها به تقویت تجارت خارجی و افزایش سهم ایران در زنجیره تأمین جهانی کمک می‌کند، بلکه با کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهبود پایداری

عملیات بندری، به تحقق اهداف توسعه پایدار نیز یاری می‌رساند.

برای تحقق این چشم‌انداز، پیشنهاد می‌شود که سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال، آموزش نیروی انسانی متخصص در حوزه هوش مصنوعی و تقویت همکاری‌های بین‌المللی با بنادر هوشمند جهانی در اولویت قرار گیرد. همچنین، توسعه مدل‌های ترکیبی هوش مصنوعی و یکپارچه‌سازی آن‌ها با فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیا (IoT) و دوقلوهای دیجیتال می‌تواند کارایی این سیستم‌ها را بیش‌ازپیش افزایش دهد. درنهایت، هوش مصنوعی به‌عنوان یک ابزار استراتژیک، نه‌تنها چالش‌های کنونی بنادر ایران را مرتفع می‌سازد، بلکه زمینه‌ساز تحولی عمیق در صنعت حمل‌ونقل دریایی و ارتقای جایگاه ایران در تجارت جهانی خواهد بود.

References

1. Chen, X., Ma, D., & Liu, R. W. (2024). Application of artificial intelligence in maritime transportation. *Journal of Marine Science and Engineering, 12*(439). https://doi.org/10.3390/jmse12040439
2. Dalaklis, D., et al. (2023). Research on improving maritime emergency management based on AI. *Journal of Maritime Studies*.
3. Feng, Y., Wang, X., Chen, Q., Yang, Z., Wang, J., Li, H., Xia, G., & Liu, Z. (2024). Prediction of the severity of marine accidents using improved machine learning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103817
4. Gambardella, L. M., & Dorigo, M. (1997). Ant-Q: A reinforcement learning approach to the traveling salesman problem. *Journal of Operations Research*.
5. Kovalishin, P., Nikitakos, N., Svilicic, B., Zhang, J., Nikishin, A., Dalaklis, D., Kharitonov, M., & Stefanakou, A.-A. (2023). Using artificial intelligence (AI) methods for effectively responding to climate change at marine ports. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping, 7*(1), 2186589. https://doi.org/10.1080/23748899.2023.2186589
6. Lee, H., et al. (2012). A neural network for container terminal operation. *Proceedings of the International Conference on Maritime Logistics*.
7. Mao, W., & Larsson, S. (2023). Increase shipping efficiency using ship data analytics and AI to assist ship operations. *Lighthouse*.
8. Munim, Z. H., Dushenko, M., Jaramillo Jimenez, V., Shakil, M. H., & Imset, M. (2020). Big data and artificial intelligence in the maritime industry: A bibliometric review and future research directions. *Maritime Policy and Management, 47*(5), 577-597. https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1781375
9. Park, C., & Kim, H. (2003). A scheduling method for berth and quay cranes. *Maritime Economics & Logistics*.
10. Storms, K., Sys, C., Vanelslander, T., & Van Deuren, R. (2023). Demurrage and detention: From operational challenges towards solutions. *Journal of Shipping and Trade, 8*(3). https://doi.org/10.1007/s41072-023-00137-3
11. Sun, S. (2020). Research on improving maritime emergency management based on AI and VR in Tianjin Port. *World Maritime University: The Maritime Commons*.
12. Xiao, G., Wang, Y., Wu, R., Li, J., Cai, Z. (2024). Sustainable maritime transport: A review of intelligent shipping technology and green port construction applications. *Journal of Marine Science*

and Engineering, *12*(1728). https://doi.org/10.3390/jmse121728

13. Zhang, Z., & Zeng, J. (2017). A deep reinforcement learning approach to optimize the vehicle dispatching process in container terminals. *Journal of Operations Research*.
14. Zheng, J., & Li, H. (2007). Memetic algorithm for resource-constrained project scheduling. *Computers & Operations Research*.
15. Zhou, Z., et al. (2003). Hybrid genetic algorithm for optimizing integrated process planning and scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering*.

استناد به این مقاله: پورمحمدباقر، لطیفه.، خالصی، هلیا. (۱۴۰۳). آینده بنادر ایران: پیاده‌سازی هوش‌مصنوعی در عملیات درون بندری، *فصلنامه خدمات دریایی و بندری، ۲ (۶)*، ۳۹-۶۸.

Marine and Port Services Journalis licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.