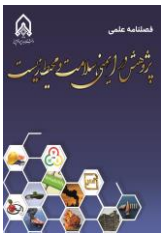
فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست / سال ۱۴۰۴/ دوره ۳/ شماره۲/ صفحه ۱-۱۳

فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست



اهمیت طراحی و بکارگیری هوش مصنوعی در پیاده سازی سیستم کمک ناوبری بویه های مجازی به جهت ارتقاء سطح ایمنی دریانوردی در بنادر

فروزان فرخیان [*1]، ابوطالب گرایلو [2]

[1] استادیار، گروه محیط زیست و HSE، دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، اهواز، ایران

[2] دانشجوی دکتری گروه محیط زیست و HSE، دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، اهواز، ایران

چکیده

بیش از ۹۰ درصد تجارت خارجی کالاها به واسطه شیوه حمل و نقل دریایی صورت می پذیرد و گلوگاه ابتدائی و انتهایی کشتی ها به جهت بارگیری/ تخلیه کالاها در بنادر کشورها می باشد، لذا تامین ایمنی دریانوردی در مسیر کریدور آبراه ورودی و خروجی بنادر به جهت کاهش ریسک انواع مخاطرات قابل تصور برای یک شناور، همواره حایز اهمیت و جزء دغدغه های لاینفک مدیران بنادر در تمامی بنادر جهان بشمار می آید. از اینرو با توجه به آنکه بویه های دریایی سنتی فیزیکی موجود بعنوان مشخص کننده مسیر ترافیک ورود و خروج کشتی ها در کریدور آبراهه های بنادر ایفای نقش می نمایند، لذا بهره گیری از هوش مصنوعی در جهت ارتقاء عملکرد بویه های فیزیکی به واسطه پیاده سازی بویه های مجازی می تواند نقش بسزائی در ارتقاء سطح ایمنی دریانوردی در آبراهه های بنادر بعنوان گلوگاه های اصلی عبور و مرور کشتی ها ایفای نقش نمایند. از اینرو در این پژوهش به عنوان مطالعه موردی ضرورت پیاده سازی سیستم علایم کمک ناوبری مجازی و یکپاچه سازی عملکرد آنها بوسیله هوش مصنوعی با بویه های فیزیکی مستقر در آبراه بنادر و سامانه های شناسائی خودکار کشتی ها موسوم به AIS، سیستم نقشه های الکترونیکی یا ECDIS و رادار آرپا در کانال خورموسی مجتمع بندری امام خمینی به عنوان طویل ترین و یکی از پرچالش ترین آبراهه های ورودی بنادر کشور با فاصله حدوداً ۴۲ مایل دریایی از دهانه خورموسی تا محل اسکله های پهلودهی جهت کاهش خطای انسانی در هدایت کشتی ها پرداخته شده است.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۳۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵

ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

[*]نویسنده مسئول:

کلید واژه ها:

بویه های مجازی، هوش مصنوعی، ریسک، ایمنی دریانوردی، خورموسی

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License- CC BY) در دسترس شما قرار گرفته است.

۱- مقدمه

تجارت و حمل و نقل کالا تاریخچه ای به بلندای حیات متمدنانه بشر دارد و به طور روزافزون اهمیت و ضرورت آن در پیشرفت و بهبود زندگی بشر نمود بیشتری می یابد، در این میان امروزه ۹۰ درصد تجارت بین المللی از طریق دریا و از مسیر بنادر کشور ها انجام می شود[۱]. این تجارت از طریق حمل و نقل دریایی و توسط بیش از ۹۲ هزار کشتی اقیانوس پیما و بیش از یک میلیون و دویست هزار دریانورد و همچنین بیش از ۶۵۰۰ بندر و پایانه نفتی و غیر نفتی در سطح بین المللی انجام می گیرد[۲]. در این میانبرخلاف جاده‌ها و بزرگراه‌هایی که در آن‌ها رانندگی می‌کنیم، مسیرهای آبی، علائم جاده‌ای را ندارند که موقعیت، مسیر یا فاصله تا مقصد یا خطرات موجود در مسیر را به ما نشان دهند. در آب ها علائم کمک ناوبری[1] و چراغ های دریایی متصل به بویه ها[2]، سامانه های سیستم شناسائی خودکار[3]، سیستم نقشه های الکترونیکی[4] یا سایر موارد وجود دارند که همه آنها ساخته دست بشر بوده و توسط دریانوردان برای تعیین موقعیت یا مسیر ایمن ورودی و خروجی از بنادر و آبراهه های داخلی مورد استفاده قرار می گیرند. این علائم حسب به نمایش گذاشتن مسیر صحیح و کم خطر عبور و مرور خطرات دریانوردی موجود در مسیر را نشان می دهند و فرمانده شناور یا پایلوت بندر را قادر میسازد که به واسطه پیروی از کریدور عبور و مرور مشخص شده ترددی ایمن و بدور از تصادم با سایر شناورهای عبوری بالاخص در زمان شرایط نامساعد جوی را ممکن سازد. در این میان از یک سو با توجه به آنکه بسیاری از بنادر بزرگ و مهم در جهان دارای کریدور یا همان آبراه طبیعی یا مصنوعی ساخته دست بشر جهت ورود و خروج شناورها برای پهلودهی و جداسازی شناورها در کنار اسکله ها می باشند و از سوی دیگر با توجه به افزایش سایز کشتی های تجاری به جهت بهره‌مندی هرچه بیشتر از مزیت صرفه جویی ناشی از مقیاس در صنعت حمل و نقل دریایی به نسبت سایر شیوه های حمل و نقل، لذا همواره فرایند ورود و خروج شناورها از دهانه ورودی بنادر به محل اسکله ها جهت پهلودهی شناورها و بالعکس با افزایش ریسک عملیاتی بهمراه بوده است. اهمیت این موضوع و رشد و توسعه تکنولوژی در سالیان اخیر سبب گشته تا با استفاده از بکارگیری هوش مصنوعی و تلفیق آن با سامانه های راداری موجود بر روی کشتی های تجاری ضمن کاهش ریسک عملیاتی تا حد ممکن خطای انسانی ناشی از فعالیت فرماندهان شناورها و یا پایلوت های بنادر در امر ورود و خروج و پهلودهی و جداسازی شناورها در بنادر را به حداقل برساند. در این خصوص یکی از مواردی که امروزه روز مورد توجه مدیران بنادر و فعالان صنعت حمل و نقل دریایی در سراسر جهان قرار گرفته است مقوله بکارگیری هوش مصنوعی در طراحی و جانمایی بویه های مجازی با توجه به کریدور آبراه مختص به هر بندر می باشد[۳]. از اینرو طراحی و بومی سازی همچین سامانه ای با استفاده از هوش مصنوعی می تواند نقش بسزائی در کاهش خطای انسانی و ارتقاء سطح ایمنی دریانوردی در بنادر تجاری ایران بالاخص در بندر امام خمینی بعنوان بزرگترین بندر تجاری کانونی غلات ایران با ظرفیت عملکرد سالانه بیش از ۲۰۰۰ عملیات ورود و خروج کشتی های تجاری از طریق کریدور آبراه خور موسی به طول تقریبی ۴۲ مایل دریائی، بهمراه داشته باشد. لذا هدف از انجام این پژوهش نیز پرداختن به رویکردهای نوین در بکارگیری هوش مصنوعی در صنعت حمل و نقل دریایی کشور بالاخص در حوزه ایمنی در راستای کاهش سطح ریسک تصادم شناور در آبراهه های ورود و خروج بنادر می باشد، که در این میان با توجه به حجم عملیات سالیانه تردد شناورها و برخورداری از طویل ترین کانال دسترسی طبیعی از محل لنگرگاه بیرونی تا محل اسکله ها به جهت پهلودهی شناورها، بندر امام خمینی هدف مطالعه این پژوهش قرار گرفته شده است.

۲- علائم و سامانه های کمک ناوبری

علائم کمک ناوبری و چراغ های دریایی، سیگنال و تجهیزات کمک کننده به دریانوردان هستند که به آن ها در تعیین و محاسبه موقعیت و مسیر امن دریانوردی و همچنین هشدار در خصوص خطرات و موانع دریایی، یاری می رسانند[۴]. این علایم به عنوان راهنمای آب های ایمن در نقاط مختلف طول سواحل و در آب های قابل

[1] Aton (Aid to Navigation)
[2] Buoy
[3] AIS (Automatic Identification System)
[4] ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)

کشتیرانی تعبیه می شوند. علائم کمک ناوبری و چراغ های دریایی، در اشکال مختلف ساخته شده و استفاده از آن ها در موقعیت های گوناگون معانی خاصی را دارد و دریانوردان را قادر می سازد تا با شناسایی آن ها مسیر ایمن را در پیش گرفته و از خطرات احتمالی جلوگیری نمایند[۵]. علائم کمک ناوبری شامل شناورها، چراغ‌ها، بیکن ها، چراغ‌های رادیویی، سیگنال‌های مه، علائم و سایر وسایلی است که برای ارائه علائم روی آب استفاده می‌شوند. علائم کمک ناوبری و چراغ های دریایی شامل تمام نمادهای قابل مشاهده، شنیداری و الکترونیکی است که برای انجام یک فعالیت کشتیرانی ایمن ایجاد می شوند، که در ادامه ضمن آنکه به معرفی انواع علائم کمک ناوبری پرداخته می شود تلاش شده است تا ضمن توضیح شرایط حال حاضر ایمنی آبراهه های کشور و بنادر به ضرورت و لزوم بکارگیری هوش مصنوعی در جانمائی و استفاده از بویه های مجازی جهت تقویت ایمنی دریانوردی در کریدورهای ورودی و خروجی بنادر کشور پرداخته شده است.

در این میان با توجه به توسعه و رشد علم مهندسی و تلفیق آن با علم اقتصاد که منجر به تغییر سیاست گذاری شرکت های کشتیرانی بسوی تقاضای برای ساخت کشتی های تجاری با قابلیت تناژ حمل ناخالص[۵] بیشتر و در عین حال نیازمند به نیروی انسانی کمتر بوده است و از سوئی دیگر افزایش جمعیت جهانی موجب افزایش سفر کشتی های تجاری شده است و به تبع آن افزایش ترافیک ورودی و خروج بنادر تجاری را بدنبال داشته است، لذا ضروری است به جهت کاهش خطای انسانی و قریب رساندن آن به صفر در امر تردد دریانوردی در آبراهه های ورودی بنادر اقدام به بکارگیری هوش مصنوعی به جهت بهره مندی از امکانات آن اقدامات مربوطه صورت پذیرد[۶].

۲-۱- انواع بویه ها و سیر تکاملی آنها

بویه های دریایی توسط لنگر در نقطه ای ثابت از دریا مهار شده اند و در شکل ها و رنگ های متمایزی وجود دارند که هر کدام از آن ها نشان دهنده هدف و نحوه حرکت در اطراف آن ها است. بویه های دریایی جدید مجهز به دستگاه هایی برای انعکاس امواج رادار می باشند. اینگونه بویه های دریایی امواج فرستاده شده از رادار را به خوبی منعکس نموده و روی صفحه رادار به صورت یک نقطه نورانی مشاهده می شوند.

در این میان سیر تکاملی بویه‌های دریایی یک فرآیند پیچیده و متنوع است که به نیازهای مختلف بشر در زمینه‌های ناوبری، جزر و مد، مانیتورینگ و دیگر کاربردهای دریایی پاسخ داده است. در ادامه سیر تکاملی بویه‌ها و کاربرد آنها آورده شده است.

۱- بویه‌های ابتدایی: در دوران‌های باستان، انسان‌ها از مواد طبیعی مانند چوب یا سنگ برای ساخت شناورهایی ساده استفاده می‌کردند که به عنوان نشانه‌های دریایی یا ابزارهای ناوبری در آب‌ها قرار می‌گرفتند. این بویه‌ها غالباً برای نشانه‌گذاری مسیرها یا خطرات دریایی استفاده می‌شدند.

۲- توسعه بویه‌های ساده (بویه های چوبی): با پیشرفت تکنولوژی، بویه‌های چوبی با ساختارهای ساده و شکل‌های خاص ساخته شدند که به امر شناور ماندن در سطح آب کمک می‌کردند. این بویه‌ها به تدریج رنگ آمیزی شدند تا در شرایط مختلف آب و هوایی توسط خدمه کشتی قابل مشاهده باشند.

۳- بویه‌های مدرن (فلزی و پلی اتیلن): با پیشرفت علم مواد، بویه‌ها از پلاستیک‌ها و فلزات سبک ساخته شدند که مقاومت بیشتری در برابر شرایط جوی دارند. بویه‌های مدرن مجهز به سیستم‌های الکترونیکی مانند جی پی اس، حسگرهای جزر و مد و سیستم‌های ارتباطی هستند که به مانیتورینگ دقیق‌تر و بهتر کمک می‌کنند.

۴- بویه‌های هوشمند: بویه‌های نسل جدید با استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌تری مانند اینترنت اشیاء[۶] و حسگرهای چندگانه به جمع‌آوری داده‌های محیطی و ارسال آن به مراکز کنترل کمک می‌کنند. این بویه‌ها می‌توانند در حوزه‌های مختلفی مانند ناوبری، پیش‌بینی آب و هوا، جریانات جزر و مدی، مدیریت منابع دریایی و نظارت بر کیفیت آب استفاده شوند.

۱-۱-۲- رنگ بویه ها و مولفه های ترافیکی آنها

مشخصه های متفاوتی برای بویه هایی که در روز کاربرد دارند وجود دارد. یکی از مهمترین آنها رنگ بویه است که این رنگ ها در سیستم های مختلف بویه گذاری، تعابیر و

[۵] DWT (Deadweight tonnage)

[۶] IOT (Internet of Things)

معانی مختلفی در دریانوردی دارند. زمانی که شناور از دریا به طرف خشکی یا کانال در حال حرکت است، معانی رنگ آنها ها برای شناخت بویه ها حائز اهمیت بوده که به شرح ذیل می باشد[۷, ۸].

بویه های قرمز رنگ برای نشان دادن محدوده سمت چپ کانال است و در بعضی از مناطق نشان دهنده خطرناک بودن آن ناحیه بوده و دریانوردان هنگام ورود به کانال باید آن را در سمت چپ شناور خود مشاهده کنند.

بویه های سبز رنگ برای نشان دادن محدوده سمت راست کانال است و دریانوردان هنگام ورود به کانال یا بندر باید آن را در سمت راست شناور خود مشاهده کنند[۷, ۸].

۲-۱-۲- علائم شماره و حرف بر روی بویه ها و مولفه های ترافیکی آنها

اغلب بویه ها دارای مشخصه خاصی هستند که ممکن است به صورت رنگ، شماره، حرف و یا ترکیبی از هر دو باشند. که در شکل شماره ۱ یک نمونه از آن نمایش داده شده است. در ادامه به چند ویژگی و معنی شماره ها یا حروف روی بویه ها اشاره شده است[۹].

۱- شماره بویه ها از دهانه ورودی کانال به طرف داخل کانال افزایش می یابد.

۲- شماره های فرد معمولاً روی بویه های سمت چپ کانال نوشته می شود.

۳- شماره های زوج معمولا روی بویه های سمت راست کانال نوشته می شود.

شکل ۱. تصویر بویه ها به همراه چراغ دریایی [۹]

۲-۱-۲- علائم کاردینال بویه ها

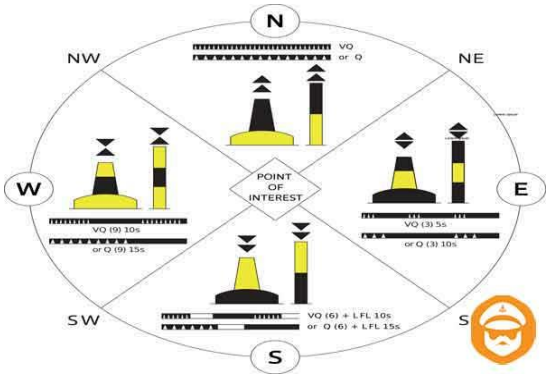
سیستم بویه گذاری کاردینال همانند قطب نما نشان دهنده چهار جهت اصلی یعنی شمال، جنوب، شرق و غرب می باشد و دریانوردان را به طرف آب های امن هدایت می کند. در صورت مشاهده علائم کاردینال باید به سمت جهت نامگذاری شده، دریانوردی کرد که در شکل شماره ۲ این موضوع نشان داده شده است[۱۰].

علامت شمال: دو مخروط سیاه با رأس به طرف بالا روی هم قرار می گیرند. قسمت بالایی و پایینی به ترتیب سیاه و زرد رنگ می باشد. به شکل برج با رنگ نور سفید با مشخصه نورانی به صورت تناوب چشمک زن خیلی سریع (۱۰۰ تا ۱۲۰ چشمک در دقیقه) یا سریع (۵۰ تا ۶۰ چشمک در دقیقه) است.

علامت شرق: دو مخروط سیاه به گونه ای قرار گرفتند که رأس یکی بطرف بالا و رأس دیگری بطرف پایین است، یعنی قاعده ها به سمت یک دیگرند. به شکل تیرک یا برج و رنگ بدنه سیاه با یک نوار زرد پهن در وسط، با رنگ نور سفید با ریتم فلاش یا مشخصه نورانی تناوب چشمک زن خیلی سریع (۳ چشمک در هر ۵ ثانیه) یا چشمک زن سریع (۳ چشمک در هر ۱۰ ثانیه) است.

علامت جنوب: دو مخروط سیاه به شکلی که راس هر دو به طرف پایین است روی هم قرار گرفته اند و به شکل برج یا تیرک بوده که قسمت پایین و بالای آن به ترتیب سیاه رنگ و زرد رنگ می باشد. مشخصه علامت جنوب با رنگ نور سفید و با تناوب چشمک زن خیلی سریع (۶ چشمک خیلی سریع و ۱ چشمک بلند در هر ۱۰ ثانیه) و یا چشمک زن سریع (۶ چشمک سریع و ۱ چشمک بلند در هر ۱۵ ثانیه) شناخته می شود.

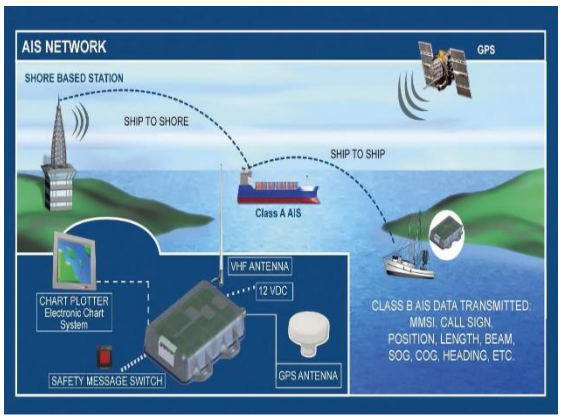
علامت غرب: دو مخروط سیاه به گونه ای قرار گرفته اند که رأس آن ها بطرف یکدیگر می باشد و به شکل برج یا تیرک هستند و رنگ بدنه به رنگ زرد با یک نوار پهن سیاه در وسط می باشد. رنگ نور علامت غرب سفید با ریتم یا تناوب چشمک زن خیلی سریع (۹چشمک خیلی سریع در ۱۰ ثانیه) و یا چشمک زن سریع (۹چشمک سریع در هر ۱۵ ثانیه) است.



شکل ۲. آشنائی با علائم کاردینال بویه ها [۱۰]

۲-۲- سیستم شناسائی خودکار یا AIS[۷]

سیستم شناسایی خودکار یک فناوری است که برای شناسایی و ردیابی کشتی‌ها و دیگر وسایل نقلیه دریایی استفاده می‌شود. این سیستم به ویژه در بهبود ایمنی دریانوردی و مدیریت ترافیک دریایی بسیار مؤثر است[۱۱]. یکی از مواردی که در کنوانسیون سولاس[۸] به منظور ایمنی جان انسان در دریا، ایمنی ناوبری و حفظ محیط زیست دریایی برای آن تأکید گردیده است، تجهیز شناورهای دریایی به سیستم شناسایی اتوماتیک یا همان AIS است. وظیفه اصلی این سیستم تبادل اطلاعات میان یگان های شناور با یکدیگر و با ساحل می باشد که در شکل شماره ۳ این موضوع نشان داده شده است.



شکل ۳. نمایش نحوه عملکرد سیستم AIS [۱۱]

از مزایای نصب این سیستم می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سهولت بیشتر در شناسائی یگان ها
- سهولت در رهگیری شناورهای سطحی
- مبادله اطلاعات ضروری میان کشتی ها بدون دخالت انسان و به صورت خودکار
- کاهش ترافیک بر روی مدارهای VHF
- افزایش اطلاعات فرمانده و افسران نگهبان پل فرماندهی از وضعیت پیرامونی خود

این سیستم مشتمل بر یک فرستنده VHF، دو گیرنده VHF TDMA، یک گیرنده VHF DSC، سیستم های استاندارد ارتباطات مخابرات الکترونیکی دریایی و سایر سنسورها است. موقعیت و اطلاعات زمانی عموماً توسط یک گیرنده GPS/GNSS به سیستم اعمال می گردد و دیگر اطلاعاتی که توسط سیستم AIS پخش می گردد به صورت الکترونیکی از دیگر تجهیزات موجود بر روی کشتی و از طریق سیستم های ارتباطی استاندارد موجود دریافت می گردد. اطلاعات هدینگ، مسیر و سرعت نسبت به کف عموماً در تمام کشتی های مجهز به سیستم AIS وجود دارد. اطلاعات دیگری نظیر زوایای رول، پیچ و هیل، سرعت چرخش، مقصد و زمان تقریبی ورودشناور[۹] نیز باید به سیستم تغذیه گردد. در واقع این سیستم اطلاعاتی مانند موقعیت جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی)، سرعت، جهت حرکت، نام کشتی، نوع کشتی و سایر اطلاعات مربوط به وضعیت کشتی را به صورت خودکار به دیگر کشتی‌ها و ایستگاه‌های ساحلی ارسال می‌کند[۱۲].

هر کشتی مجهز به یک ترمینال AIS است که شامل یک گیرنده GPS، فرستنده و گیرنده رادیویی است. این ترمینال اطلاعات را از GPS دریافت کرده و آن را به دیگر کشتی‌ها و ایستگاه‌های ساحلی ارسال می‌کند. همچنین برای ارسال و دریافت سیگنال‌ها، کشتی‌ها به آنتن‌های مخصوص AIS مجهز هستند.

برد این سیستم مشابه دیگر تجهیزات که در باند فرکانسی VHF کار می کنند می باشد و ذاتاً بستگی به ارتفاع آنتن دارد. لذا با توجه به آنچه ذکر شد برد این دستگاه بین ۳۰ الی ۴۰ مایل می باشد که با بهره گیری از ایستگاه های تکرار کننده می توان این برد را افزایش نیز داد[۱۲, ۱۳].

در واقع سیستم شناسایی خودکار، یک سیستم فرستنده – گیرنده کشتی است که یک شناسه، موقعیت و سایر اطلاعات حیاتی شناور را که می تواند برای کمک به ناوبری، بهبود امنیت دریایی و ردیابی کشتی ها برای مدیریت ناوگان یا اجرای قانون دریایی استفاده کند را انتقال می دهد. اکثر AIS ها متشکل از انواع مختلفی از دستگاه هایی هستند که همه با استفاده از پروتکل هایAIS و پایبندی به استانداردهای عملکرد بین المللی تعامل دارند. سیگنال هایAIS محدوده افقی حدود ۴۰ مایل دریایی را پوشش می دهند، به این معنی که اطلاعات ترافیک AIS فقط در مناطق ساحلی یا در ناحیه کشتی به کشتی در دسترس است. داده های اضافه ارایه

[۷] AIS (Automatic Identification System)

[۸] SOLAS (Safety of Life at Sea)

[۹] ETA (Estimated arrival time)

شده توسط AIS می تواند به رادار و سیستم های رسم نمودار اضافه شوند، تلفیق این سیستم ها برای شرایط بحرانی بسیار موثر است. این سیستم مبتنی بر فضا به واسطه ماهواره های مخابراتی امکان ردیابی کشتی های دریایی را در خارج از مناطق ساحلی که مجهز به دستگاه های ردیابیAIS هستند را امکان پذیر می سازد که این امر یک راه حل امیدوار کننده برای غلبه بر محدودیت های پوشش زمینی است، که امکان ارایه خدماتAIS را برای هر منطقه خاص روی زمین فراهم می کند.

۲-۳- بکارگیری سیستم نقشه های الکترونیکی یا ECDIS[۱۰] در ایمنی آبراه

اکدیس به معنی سیستم اطلاعات و نمایشگر نقشه الکترونیک است. سیستم نقشه‌های الکترونیکی کشتی، یک ابزار ناوبری پیشرفته است که به‌ویژه در صنایع دریایی و حمل و نقل دریایی استفاده می‌شود. این سیستم به ناوبران کمک می‌کند تا با استفاده از نقشه‌های الکترونیکی، اطلاعات دقیقی درباره محیط دریایی و وضعیت کشتی داشته باشند[۱۴].

در واقع اکدیس یک سیستم اطلاعات ناوبری است که اگر به حسگرهایی نظیر سیستم موقعیت یاب جهانی[۱۱]و جایرو[۱۲] متصل شود، قابلیت نمایش موقعیت لحظه‌ای کشتی و اعلام اخطار ضد تصادم با کف را دارد. همچنین اگر این سیستم به یک رادار آرپا متصل شود، قادر به اعلام اخطار ضد تصادم با دیگر شناورها نیز است. سیستم اکدیس توسط سازمان جهانی دریانوردی[۱۳] به عنوان جایگزین نقشه‌های کاغذی مورد قبول واقع شده و کشتی‌های مجهز به این سیستم دیگر نیازی به نقشه‌های کاغذی ندارند. تمام کشتی‌هایی که از این سیستم بهره‌برداری نمی‌کنند، براساس قوانین کنوانسیون سولاس ملزم به همراه داشتن نقشه‌های کاغذی مربوط به سفر خود هستند.

۱-۲-۳- بخش‌های تشکیل‌دهنده ECDIS

این سیستم متشکل از سه بخش اصلی است:

۱- داده‌های نقشه الکترونیکی رسمی که اصطلاحاً نقشه ناوبری الکترونیک[۱۴] خوانده می‌شود. نقشه ناوبری الکترونیک در حقیقت یک بانک اطلاعاتی است، بانکی که اطلاعات تمامی نقشه‌ها بر اساس مشخصات و استانداردهای سازمان جهانی هیدروگرافی[۱۵] در آن نگهداری می‌شود[۱۵].

۲- سخت‌افزار که شامل رایانه، نمایشگر و غیره می شود

۳- نرم افزار به جهت قرائت نقشه‌ها و نمایش آنها روی صفحه نمایشگر

۲-۲-۳- نحوه کمک رسانی ECDIS به ارتقاء سطح ایمنی دریانوردی

اکدیس از نقشه‌های الکترونیکی استاندارد (مانند S-57 و S-100) استفاده می‌کند. این نقشه‌ها اطلاعات دقیق و به روز درباره عمق آب، موانع، سواحل و سایر ویژگی‌های دریایی را فراهم می‌کنند.این سیستم با استفاده از فناوری‌های موقعیت‌یابی مانند GPS، موقعیت کشتی را به‌طور دقیق نشان می‌دهد و امکان ردیابی حرکت کشتی را فراهم می‌کند. اکدیس با بهره‌گیری از یک سیستم موقعیت یاب لحظه‌ای نظیر GPS قادر به بهبود دقت موقعیت‌یابی کشتی به صورت پیوسته و در شرایط جوی مختلف است.

این عمل شناورها را قادر می‌سازد تا در صورت احتمال بروز تصادم با کف، مسیر خود را تغییر دهند. اکدیس به ناوبران این امکان را می‌دهد که مسیرهای دریایی را برنامه‌ریزی و تجزیه و تحلیل کنند و بهترین و ایمن‌ترین مسیرها را انتخاب کنند. این سیستم یک ابزار ناوبری قوی برای دستیابی به اطلاعات لحظه‌ای درخصوص موقعیت دقیق شناور بوده و با توجه به این‌که به‌صورت ۲۴ ساعته دز طول شبانه روز و در تمامی شرایط جوی قابل بهره‌برداری است به دریانوردان قابلیت اطمینان خوبی را خصوصاً هنگام دریانوردی در آب‌های کم عمق می‌دهد [۱۶].

بهره‌گیری از سیستم اخطار ناوبری ENC همراه با ECDIS باعث جلوگیری از برخورد شناورها با کف دریا یا با دیگر شناورها شده و ایمنی لازم را برای دریانوردان و محیط دریانوردی فراهم می‌آورد. این سیستم قادر است

[۱۰] Electronic Chart Display and Information System

[۱۱] GPS (global position system)

[۱۲] Gyroscope

[۱۳] IMO (International Maritime Organization)

[۱۴] ENC (Electronic Navigation Chart)

[۱۵] IHO (International Hydrographic Organization)

هشدارهایی را در مورد خطرات نزدیک، تغییرات در شرایط جوی و دیگر اطلاعات بحرانی به ناوبران ارائه دهد.

۴- عملیات پهلودهی و جداسازی شناورها

در بنادر بزرگ دنیا بویژه آندسته از بنادر که دارای کریدور یا آبراهه ورودی و خروجی می باشند مکان هایی در درون این آبراهه ها تحت عنوان لنگرگاه بیرونی تعریف شده است. کشتی ها پس از رسیدن به این لنگرگاه ها می بایست طبق قوانین کشور ساحلی مربوطه هدایت و فرماندهی کشتی خود را به یک افسر ناوبر که از آن بندر به عرشه کشتی ملحق می شود بسپارد. به این افسران که مسئولیت فرماندهی شناور از لنگرگاه بیرونی تا هنگام پهلودهی شناور به اسکله های بنادر را بر عهده دارند پایلوت[۱۶] یا فرمانده و به این عملیات اصطلاحاً عملیات پایلوتیج[۱۷] اطلاق می شود. پایلوت ها افرادی هستند که به طول مسیر کانال و مخاطرات آن و جانمائی تک تک بویه ها در طول مسیر اشراف و آگاهی کامل دارند و به نوعی نقش فرماندهان محلی را دارند. لذا با توجه به آنکه به جهت گسترش تجارت جهانی و به طبع آن شاهد افزایش تردد کشتی ها و همچنین افزایش ساز آنها به جهت بهره گیری از صرفه جوئی ناشی از مقیاس هستیم، لذا ترافیک بنادر و ریسک مخاطرات دریایی در آبراه های ورودی بنادر همواره رو به افزایش است. از اینرو بنادر در سرتاسر دنیا اقدام به جذب و آموزش افسران دریایی بصورت انحصاری و تخصصی جهت فعالیت در بنادر خود می نمایند تا به جهت اشرافیت کامل آنها به مسیر ورود و خروج بنادر، ریسک عملیات فرماندهی و پایلوتیج به حداقل ممکن برسد. اما همانطور که هر ساله شاهد آن هستیم علی رغم در نظر گرفتن تمامی این تمهیدات و تربیت نیروی انسانی متخصص در سرتاسر دنیا تحت یک استاندارد آموزشی متحد الشکل تحت عنوان کنوانسیون بین‌المللی استانداردهای آموزش، گواهینامه و نگهبانی دریانوردی[۱۸]، اما باز هم شاهد تصادم ها و سوانح دریایی چه در دریاهای آزاد توسط فرماندهان کشتی ها و چه در کریدورهای ورود-خروج بنادر توسط پایلوت ها می باشیم که در تمامی این موارد خطای انسانی[۱۹] با سهمی بیش از ۹۰٪ در میان سایر عوامل، پر رنگ ترین نقش را در بروز این سوانح یاد شده همواره داشته است [۱۷].

۵- آشنائی با بندر تجاری امام خمینی

همزمان با احداث راه آهن سراسری کشور در سال ۱۳۰۷ هجری شمسی، ۲ پست اسکله چوبی در شمال غربی خلیج فارس و در انتهای آبراه خورموسی (با موقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۵ دقیقه شرقی) ساخته شد. پس از چندی به بندر شاپور موسوم گشت و سه سال بعد به مهم‌ترین مرکز ورود و خروج کالا تبدیل شد. در سال ۱۳۵۲ محل سکونت اهالی این نقطه، از کنار اسکله‌ها به شهر بندر امام خمینی انتقال یافت و زمینه برای توسعه هرچه بیشتر بندر مهیا گردید؛ پس از پیروزی انقلاب، این بندر به بندر امام خمینی تغییر نام یافت و در سال ۱۳۶۱ با تصویب هیات وزیران رسماً بندر امام خمینی نام گرفت و شروعی نو را پایه نهاد. بندر امام خمینی حرکت به سوی تحول را از همان دو اسکله چوبی آغاز نمود و امروز با انجام بیش از ۱۵٪ از کل تجارت دریایی کشور، نوید توسعه‌ای پایدار را برای منطقه از طریق صنعت حمل و نقل می‌دهد. بندر امام خمینی در اوایل دهمین دهه از آغاز فعالیتش، اکنون به عنوان یکی از مهم‌ترین قطب‌های حمل و نقل منطقه‌ای به ایفای نقش می‌پردازد. این بندر در سال ۱۳۹۰ پس از تغییر رژیم حقوقی خود از یک بندر عادی به منطقه ویژه اقتصادی و الحاق اراضی مجاور، هم اکنون با بالغ بر ۱۱ هزار هکتار مساحت، بزرگ ترین منطقه ویژه اقتصادی کشور را تشکیل می‌دهد [۱۸].

۶- حجم ترافیک تردد شناورها در آبراه خور موسی

آبراه خور موسی در منتهی الیه شمال غربی حوضه رسوبی خلیج فارس، وسیع‌ترین و طولانی ترین پیشروی دریا به درون خشکی در تمام محدوده سواحل کشور در حال حاضر به حساب می‌آید. این ناحیه شامل مجموعه پیچیده‌ای از محیط‌های دریایی، حد واسط و گاها خشکی است که رسوب‌گذاری در آن متأثر از فرایندهای رودخانه‌ای، بادی، جزر و مدی و بیولوژیکی است. منطقه

[۱۶] Pilot

[۱۷] Pilotage operation

[۱۸] STCW (Standards of Training, Certification and Watchkeeping)

[۱۹] Human Error

مورد نظر در رأس شمال غربی خلیج فارس و حاشیه جنوبی استان خوزستان حد فاصل دلتای اروند رود در غرب، رودخانه زهره در شرق و بندر امام خمینی در شمال واقع شده است. آبراه خور موسی یک شاخه مثلثی شکل است که در منتهی الیه شمال غربی خلیج فارس قرار دارد. راس این مثلث درست در گوشه شمالی است و قاعده آن بر عرض ۳۰ درجه شمالی منطبق می شود. این آبراه تنها مسیری است که بندر امام خمینی را به دریای آزاد خلیج فارس وصل می نماید. عمق آبراه خور موسی بین ۱۳ تا ۵۰ متر است که در برخی از نقاط به ۷۳ متر نیز می رسد. وجود چنین عمقی باعث شده است تا کشتی های با ظرفیت ۷۵ هزار تنی نیز بتوانند به سهولت در این ابراه رفت و آمد نمایند. سالیانه بیش از ۱۸۰۰ فروند کشتی اقیانوس پیما جهت صادرات، وارادات و یا ترانزیت به این بندر تردد می نمایند. عمیق ترین نقطه این خور در راستای خطی است که از راس به قاعده شکل مثلث کشیده می شود. زمین های اطراف این خور گلزار می باشند و ارتفاع آنها از سطح دریا حدوداً ۲ تا ۴ متر می باشد. حداقل عرض خور موسی ۳۰۰ متر و پهنای دهانه آن بین ۳۷ تا ۴۰ کیلومتر است و طول خطی آن از دهانه تا بندر امام خمینی ۹۰ کیلومتر می باشد[۱۸, ۱۹] . در طول این کانال به طول تقریبی ۴۲ مایل بیش از ۶۳ بویه و بیکن نوری نصب شده است که به واسطه جانمایی و استقرار این تجهیزات نقاط پر خطر و مسیر تردد ایمن را برای کشتی های ورودی و خروجی به بندر مشخص نموده اند. استقرار این بویه ها سبب می شود تا از بروز سوانح دریایی از قبیل تصادم شناورهای ورودی، به گل نشستن شناورها و سایر سوانح مرتبط به نحو موثری جلوگیری نمایند. علیرغم اهمیت بسیار زیاد بندر امام خمینی در زمینه مبادلات کالا و ترانزیت، وجود یک کانال باریک و پر پیچ و خم خور موسی به عنوان تنها راه ارتباطی، دسترسی شناورها را به این بندر با مشکلاتی مواجه می سازد. این موانع و مشکلات عملیاتی عبارتند:

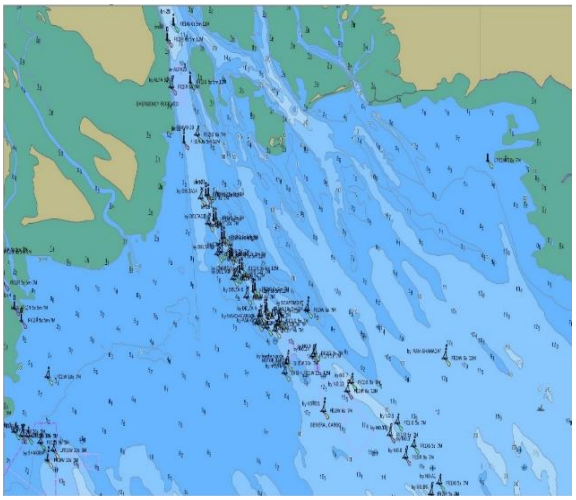
۱- عرض کم آبراه و وجود نقاط کم عمق در مسیر

۲- پیچ های خطرناک در مسیر و وجود جریانات جزر و مدی بسیار شدید (تا ۵ گره دریایی)

۳- بروز مه غلیظ و شرایط نامساعد جوی در برخی از فصول سال

۴- تراکم تردد عبور و مرور کشتی های تجاری بالاخص کالاهای خطرناک

علاوه بر موارد فوق الذکر با توجه به هم جواری بندر امام خمینی با بندر صنایع پتروشیمی و هم چنین بندر صادراتی مجیدیه که حجم بسیار عظیمی از محصولات تولیدی صنایع پتروشیمی همجوار و محصولات و مشتقات نفتی کشور از این بنادر و از کریدور دسترسی مشترک کانال خور موسی می گذرد باعث بالا بودن سطح ریسک ناشی از تردد بسیار بالای شناورهای ورودی و خروجی در این مسیر را در پی دارد. در شکل شماره ۴ مسیر آبراه طبیعی خور موسی و محل قرارگیری بویه ها و مسیر تردد ایمن برای کشتی های ورودی و خروجی از/ به بندر امام خمینی به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۴. موقعیت جغرافیائی و نمایش بویه های فیزیکی موجود در مسیر آبراه خور موسی [۲۰]

در جدول شماره ۱ آمار سوانح دریایی ۵ سال اخیر حادث شده در طول کانال خور موسی با ذکر محل دقیق کروکی سانحه حسب شماره بویه آن نشان داده شده است.

جدول ۱. آمار سوانح بویه های مستقردر کریدور خور موسی بندر امام خمینی [۲۰]

ردیف	نام بویه	تاریخ سانحه	علت سانحه	محل سانحه
۱	بویه D6	۱۳۹۹/۱۱/۰۶	شکستگی دکل	بویه D6
۲	بویه ۲۱	۱۴۰۰/۰۳/۰۲	شکستگی دکل	بویه ۲۱
۳	بویه C3	۱۴۰۰/۰۲/۱۸	شکستگی دکل	بویه C3
۴	بویه A32	۱۴۰۰/۰۲/۱۲	شکستگی دکل	بویه A32
۵	بویه D4	۱۴۰۰/۰۵/۱۸	شکستگی دکل	بویه D4
۶	بویه ۱۷	۱۴۰۰/۰۴/۰۲	شکستگی دکل	بویه ۱۷
۷	بویه C1	۱۴۰۰/۰۵/۱۸	شکستگی دکل	بویه C1
۸	بویه کردوان	۱۴۰۰/۰۶/۱۲	شکستگی دکل	بویه کردوان
۹	بویه D8	۱۴۰۰/۰۶/۱۳	شکستگی دکل	بویه D8
۱۰	بویه ناوچه	۱۴۰۰/۰۶/۱۳	شکستگی دکل	بویه ناوچه
۱۱	بویه D2	۱۴۰۰/۰۶/۱۱	مفقود شده	بویه D2
۱۴	بویه A1	۱۴۰۰/۰۷/۲۴	شکستگی دکل	بویه A1
۱۵	بویه اسکیپ مونت	۱۴۰۰/۱۰/۰۱۸	شکستگی دکل	بویه اسکیپ مونت
۱۶	بویه ۷	۱۴۰۰/۱۰/۱۸	شکستگی دکل	بویه ۷
۱۷	بویه ۵۰	۱۴۰۰/۱۱/۰۳	شکستگی دکل	بویه ۵۰
۱۸	بویه ۲۳	۱۴۰۰/۱۱/۰۴	شکستگی دکل	بویه ۲۳
۱۹	بویه ۸	۱۴۰۰/۱۱/۰۵	شکستگی دکل	بویه ۸
۲۰	بویه ۱۲	۱۴۰۱/۰۲/۰۲	شکستگی دکل	بویه ۱۲
۲۱	بویه ۱۴	۱۴۰۱/۰۵/۱۹	شکستگی دکل	بویه ۱۴
۲۲	بویه ۶	۱۴۰۱/۰۷/۲۶	شکستگی دکل	بویه ۶
۲۳	بویه A32	۱۴۰۱/۰۹/۰۵	شکستگی دکل	بویه A32
۲۴	بویه A37	۱۴۰۲/۰۳/۰۷	شکستگی دکل	بویه A37
۲۵	بویه D6	۱۴۰۲/۰۵/۰۵	شکستگی دکل	بویه D6
۲۶	بویه B46	۱۴۰۲/۰۵/۰۹	شکستگی دکل	بویه B46
۲۷	بویه ۲	۱۴۰۲/۱۱/۱۰	مفقود شده	بویه ۲
۲۸	بویه پانوشن	۱۴۰۲/۰۸/۰۷	مفقود شده	بویه پانوشن
۲۹	بویه A1	۱۴۰۲/۰۸/۲۹	شکستگی دکل	بویه A1
۳۰	بویه D2	۱۴۰۲/۰۸/۱۴	شکستگی دکل	بویه D2

۷- بکارگیری هوش مصنوعی در بویه گذاری مجازی

نحوه بکارگیری بویه‌های مجازی[۲۰] در تأمین امنیت دریانوردی یکی از مباحث نوین و حیاتی در حوزه مدیریت دریایی و حفاظت از محیط زیست دریاها محسوب می‌شود. بویه‌های مجازی ابزارهای دیجیتالی هستند که به کمک فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیاء و حسگرهای هوشمند، قابلیت نظارت و کنترل وضعیت دریاها و سواحل را فراهم می‌کنند.

این بویه‌ها می‌توانند به طور خودکار اطلاعاتی نظیر وضعیت محیطی و ترافیک دریایی را جمع‌آوری و به سیستم‌های اطلاعاتی انتقال دهند، که این امر می‌تواند به ایمنی و امنیت دریانوردی کمک شایانی کند. استفاده از بویه‌های مجازی به کارشناسان دریایی اجازه می‌دهد تا نظارت بهتری بر روی وضعیت محیط زیست و شرایط دریایی داشته باشند. سیستم‌های هشدار دهی که مبتنی بر اطلاعات دریافتی از بویه‌ها عمل می‌کنند، می‌توانند به سرعت به کشتی‌ها و به طور کلی ناوبران این اطلاعات را منتقل کنند. به‌این‌ترتیب، ناوبری در شرایط جوی نامساعد، زمان‌هایی که ترافیک دریایی زیاد است و یا در مواقعی که خطراتی مانند طوفان یا آلودگی وجود دارد، بهبود می‌یابد. بویه‌های مجازی همچنین امکان یکپارچه سازی داده‌ها را فراهم می‌آورند. با تجزیه و تحلیل داده‌های دریافتی از چندین بویه، می‌توان الگوهای خطر و فعالیت‌های مشکوک را شناسایی کرد [۲۱]. این الگوها می‌توانند با بکارگیری هوش مصنوعی به سرعت و به راحتی در سیستم های مدیریتی تحلیل شده و پاسخ های مناسب به منظور کاهش ریسک حوادث دریایی ارائه گردند. علاوه بر این، این بویه‌ها می‌توانند در ارتقاء سطح همکاری بین کشورهای مختلف در زمینه دریانوردی و حفظ امنیت دریایی بویژه آندسته از کشورهایی که دارای مرز دریایی مشترک با فاصله کم می باشند اثرگذار باشند بعنوان مثال کانال اروند رود که دارای مرز دریایی مشترک فی مابین ایران و عراق است.

در مجموع، تلفیق بکارگیری بویه‌های مجازی با پیاده سازی هوش مصنوعی به عنوان ابزارهای مدیریت هوشمند دریایی، یک گام مهم در راستای ارتقاء ایمنی، کاهش حوادث دریایی و بهبود مدیریت منابع دریایی می‌باشند. این تکنولوژی‌ها می‌توانند به عنوان یک راهکار نوین برای ایجاد امنیت در مسیرهای دریایی و ارتقاء کیفیت خدمات دریانوردی محسوب شوند [۲۱, ۲۲].

۸- مزایای حاصل از بکارگیری هوش مصنوعی و تلفیق آن با بویه گذاری مجازی

هوش مصنوعی در بویه ها می‌تواند به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گیرد. بویه‌ها معمولاً برای نظارت بر شرایط آب و هوایی، جریان‌های دریایی، کیفیت آب و دیگر پارامترهای محیطی استفاده می‌شوند[۲۳]. به واسطه تلفیق هوش مصنوعی با مکانیسم بویه های مجازی می‌توان کارایی و دقت آن‌ها را افزایش داد. در زیر چند کاربرد مورد انتظار حاصل از بکارگیری مدل های مختلف هوش مصنوعی در بویه‌های مجازی آورده شده است. شایان ذکر است انتخاب مدل هوش مصنوعی مد نظر وابسته به این است که اگر داده‌های ورودی به صورت تصاویر یا نقشه‌های دوبعدی باشند مانند نقشه‌های رادار یا تصاویر ماهواره‌ای از ترافیک دریایی و یا آنکه اگر داده‌ها دارای جنبه زمانی باشند مانند مسیر حرکت کشتی‌ها در طول زمان یا پیش‌بینی آب و هوا، آنگاه انتخاب مدل متفاوت خواهد بود.

۱- سیستم‌های ناوبری هوشمند: استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تجزیه و تحلیل داده‌های دریایی، نقشه‌های دریایی و شرایط جوی به منظور بهینه‌سازی مسیر حرکت کشتی‌ها می تواند بسیار موثر باشد [۲۳].

[۲۰] Virtual Buoys

۲- شبیه سازی و پیش‌بینی ترافیک دریایی: هوش مصنوعی می‌تواند به شبیه سازی شرایط ترافیک شناورها در بنادر و پیش بینی ترافیک کشتی‌ها در سری های مختلف زمانی سال کمک کند، که این امر می‌تواند منجر به بهبود برنامه‌ریزی و کاهش زمان انتظار کشتی‌ها شود [۲۴].

۳- سیستم‌های کنترل خودکار: با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین، می‌توان سیستم‌های کنترل خودکار برای هدایت کشتی‌ها در بنادر ایجاد کرد که می‌توانند به طور خودکار و با دقت بالا، کشتی‌ها را به محل لنگر انداختن هدایت کنند.

۴- تشخیص و شناسایی موانع: توان با استفاده از سنسورهای مختلف برای شناسایی موانع در مسیر تردد کشتی‌ها و ارائه هشدار به سیستم ناوبری هوشمند بر روی شناور به منظور جلوگیری از تصادم های دریایی اقدامات موثری انجام داد. گاهاً حتی می توان نسبت به تغییر مسیر شناور حسب مسیر ایمن تر تشخیص داده شده به واسطه تحلیل اطلاعات مسیر بوسیله هوش مصنوعی طراحی شده بکار گرفت [۲۴, ۲۵].

۵- تحلیل داده‌های بزرگ: با جمع‌آوری و تحلیل داده‌های بزرگ بصورت سری های زمانی طولانی از تردد کشتی‌ها، بنادر و شرایط محیطی، هوش مصنوعی می‌تواند الگوهای بهینه‌سازی را شناسایی کند و به تصمیم‌گیری بهتر آن کمک کند و یا آنکه اقدام به تصحیح الگوها و ساختارهای پیشین خود نیز نماید و در واقع به نوعی سیستم خود ترمیمی یا ارتقاء درونی در آن را شاهد باشیم.

۶- پیش‌بینی و مدیریت شرایط اضطراری: هوش مصنوعی می‌تواند در پیش‌بینی شرایط اضطراری و ارائه راهکارهای مناسب برای مدیریت بحران‌ها در بنادر قبل از وقوع آنها بسیار موثر و کارگذار باشد.

۷- تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده: هوش مصنوعی می‌تواند به تجزیه و تحلیل داده‌هایی که از بویه‌ها جمع‌آوری می‌شود کمک نماید که این موارد شامل داده‌های مربوط به دما، شوری، عمق و جریان‌های جزر و مد دریایی است.

۸- نظارت بر آلودگی: هوش مصنوعی می‌تواند به شناسایی الگوهای آلودگی در آب کمک کند و بدین وسیله به مقامات محیط زیست در مدیریت و بهبود کیفیت آب یاری رساند. لذا این موضوع می تواند به نظارت بهتر و بیشتر بنادر و کشتی ها در خصوص پیاده سازی الزامات کنواسیون مارپل[۲۱] و سولاس در این خصوص کمک شایانی نماید [۲۶].

۹- بهینه‌سازی موقعیت بویه‌ها: با توجه به شکل جغرافیائی متفاوت مسیر آبراهه ای ورودی بنادر در سراسر دنیا لذا با استفاده از جمع آوری سری داده های زمانی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، می‌توان حسب جغرافیای خاص هر بندر موقعیت‌های مناسب‌تری برای نصب بویه‌ها پیشنهاد داد تا اطلاعات بهتر و اختصاصی تر متناسب با هر بندر بومی سازی و اطلاعات آن در این خصوص جمع‌آوری شود [۲۷].

۱۰- پیش‌بینی شرایط جوی و دریایی: با استفاده از الگوریتم‌های تعریف شده در هوش مصنوعی، می‌توان پیش بینی‌های دقیق تری درباره وضعیت جوی و دریایی ارائه داد. این اطلاعات می‌تواند به کشتی‌ها و قایق‌های تجاری و حتی صیادی در برنامه ریزی سفرهای خود جهت ورود یا خروج از/به بنادر کمک شایانی نماید.

۱۱- تشخیص الگوها و انحرافات: هوش مصنوعی قادر است الگوهای حرکت غیرمعمول در مسیر از قبل بهینه سازی و ترسیم شده را شناسایی کند، که این امر می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات ناگهانی از سوی فرمانده کشتی ها یا تغییرات زیست محیطی در محیط پیرامون یا بیانگر بروز سایر مشکلات باشد [۲۸].

۹- مدل های هوش مصنوعی قابل بکارگیری

برای پیاده‌سازی بویه‌های مجازی در تأمین ایمنی دریانوردی، می‌توان از مدل های هوش مصنوعی مختلفی استفاده کرد. انتخاب مدل به عوامل متعددی بستگی دارد، از جمله نوع داده‌های موجود و یا آنکه آیا داده‌های مربوط به حرکت کشتی‌ها، شرایط آب و هوایی، عمق آب، و موانع دریایی در دسترس هستند یا خیر، و یا آنکه آیا بویه های مجازی فقط برای هشدار ساده هستند یا باید مسیرهای بهینه را نیز پیشنهاد دهند.

[۲۱] MARPOL (Prevention of Pollution from Ships)

پارامتر دیگر منابع محاسباتی هستند، به گونه ای که آیا منابع کافی برای آموزش و استقرار مدل‌های پیچیده مانند شبکه‌های عصبی عمیق وجود دارد یا خیر.

از اینرو در ادامه به چند مدل هوش مصنوعی اشاره می‌شود که می‌توانند در این زمینه مفید باشند.

۹-۱- یادگیری تقویتی[۲۲]

کاربرد این مدل برای تصمیم‌گیری در محیط‌های پویا و نامشخص بسیار مناسب است. می‌توان از آن برای آموزش یک عامل استفاده کرد که با توجه به وضعیت فعلی (موقعیت کشتی‌ها، بویه‌ها، موانع و غیره)، بهترین اقدامات را برای حفظ ایمنی (مانند تغییر موقعیت بویه‌ها یا هشدار به کشتی‌ها) انجام دهد[۲۴ , ۲۷].

بعنوان مثال عامل می‌تواند یاد بگیرد که چگونه با جابجایی بویه‌های مجازی، از برخورد کشتی‌ها جلوگیری کند یا آن‌ها را به سمت مسیرهای ایمن‌تر هدایت کند.

از مجموعه مدل‌های خاص این گروه می توان به Q-learning, SARSA, Deep Q-Networks (DQN), Proximal Policy Optimization (PPO) اشاره داشت.

۹-۲- مدل شبکه‌های عصبی کانولوشنال[۲۳]

اگر داده‌های ورودی به صورت تصاویر یا نقشه‌های دو بعدی مانند نقشه‌های رادار یا تصاویر ماهواره‌ای از ترافیک دریایی باشند، آنگاه این مدل می تواند برای شناسایی الگوها و ویژگی‌های مهم مانند محل تجمع کشتی‌ها یا مسیرهای پرخطر مورد استفاده قرار گیرند [۲۳].

بعنوان مثال شبکه های عصبی کانولوشنال می‌تواند الگوهای ترافیک دریایی را تشخیص دهد و مناطق پرخطر را مشخص کند که نیاز به بویه‌های مجازی بیشتری دارند.

۹-۳- مدل شبکه‌های عصبی بازگشتی[۲۴]

اگر داده‌ها دارای جنبه زمانی باشند مانند مسیر حرکت کشتی‌ها در طول زمان یا پیش‌بینی آب و هوا، آنگاه شبکه های عصبی بازگشتی برای تحلیل و پیش‌بینی روندهای زمانی بسیار مناسب هستند [۲۸].

به عنوان مثال می توان از این مدل برای پیش بینی مسیر حرکت کشتی‌ها و شرایط آب و هوایی استفاده کرد تا بویه‌های مجازی به صورت پویا و پیشگیرانه در مسیرهای احتمالی خطر قرار گیرند.

۹-۴- سیستم مبتنی بر قوانین و منطق فازی[۲۵]

برای مسائل ساده‌تر یا زمانی که قوانین مشخصی برای تصمیم‌گیری وجود دارد، می‌توان از این سیستم استفاده کرد. منطق فازی به خصوص برای مواجهه با ابهام و عدم قطعیت در داده‌ها مفید است. بعنوان مثال می‌توان قوانینی مانند "اگر دو کشتی در فاصله X متری از هم قرار گرفتند آنگاه بویه مجازی هشدار دهنده ایجاد شود، تعریف کرد [۲۴ , ۲۵].

۹-۵- مدل الگوریتم‌های خوشه‌بندی[۲۶]

این مدل برای شناسایی الگوهای رفتاری در ترافیک دریایی یا گروه‌بندی مناطق با ریسک بالا کاربرد دارد [۲۴].

به عنوان مثال با استفاده از این مدل می‌توان کشتی‌هایی که رفتارهای مشابهی دارند یا مناطقی که بیشترین حوادث را دارند، خوشه‌بندی کرد تا استراتژی‌های بهتری برای قرار دادن بویه‌ها اتخاذ شود.

حسب توضیحات و کاربرد هر یک از مدل های اشاره شده، ابتدا لازم است داده‌های کافی جمع‌آوری شود، سپس با توجه به پیچیدگی و نیازمندی‌های خاص پروژه، می‌توان مدل مناسب یا ترکیبی از مدل‌ها را انتخاب و توسعه داد.

۱۰- نتیجه گیری

از آنجایی که ساخت، نصب و بکارگیری بویه های فیزیکی فلزی یا پلی اتیلنی موجود و هزینه خرید و نصب چراغ های دریایی موسوم به لنترن[۲۷] هر ساله بخش زیادی از منابع مالی و فعالیت های معاونت فنی و نگهداری در سازمان بنادر و دریانوردی را به خود اختصاص می دهد و در ضمن پایش و رصد این بویه های فیزیکی که اغلب به جهت برخورد شناورها یا خرابی لنترن و یا آزاد شدن لنگر و اصطلاحاً فرار کردن بویه مواجه می باشند و لذا کارایی مطلوب را برای بنادر در پی ندارند و علی رغم صرف هزینه های گزاف، از این بویه ها فقط به جهت علائم ترافیکی آبراه ورودی بنادر در عملیات ورود، پهلودهی و جداسازی شناورها استفاده می شود و عملاً اینترنت اشیاء

[۲۲] Reinforcement Learning (RL)
[۲۳] Convolutional Neural Networks (CNNs)
[۲۴] Recurrent Neural Networks (RNNs)
[۲۵] Fuzzy Logic System
[۲۶] Clustering Algorithms
[۲۷] lantern

و ثبت اطلاعات از طریق این بویه ها صورت نمی پذیرد، بنابراین با توجه به توسعه تکنولوژی در شناورها و بنادر ضروری است تا با استفاده از بکارگیری هوش مصنوعی و طراحی و جانمایی بویه های مجازی در آبراهه های ورودی بنادر نسبت به افزایش سطح ایمنی در تردد کشتی ها و سایر شناورهای عبوری و مهم تر از آن ایجاد الگوریتم عبور و مرور و ثبت اطلاعات ورود و خروج شناورها و اطلاعات محیط زیستی منطقه از جمله جریانات جزر و مدی، هواشناسی و . . . پرداخت.

داده‌های حاصل از سامانه شناسایی خودکار کشتی‌ها (AIS) می‌توانند در کنار رادار و سیستم‌های ترسیم نمودار به‌کار گرفته شوند و بدین ترتیب دقت و جامعیت پایش ترافیک دریایی افزایش یابد. علاوه بر این، نقشه‌های الکترونیک (ECDIS) در صورتی که به حسگرهایی مانند سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و جایروسکوپ متصل شوند، قابلیت نمایش موقعیت لحظه‌ای کشتی و ارائه هشدارهای پیشگیرانه در خصوص خطر برخورد با بستر دریا را خواهند داشت. همچنین اتصال این سیستم به رادار آرپا (ARPA) امکان شناسایی و هشدار در خصوص خطر تصادم با سایر شناورها را فراهم می‌سازد.

با توجه به آنکه فرآیند ورود و خروج کشتی‌ها به بنادر به‌صورت شبانه‌روزی و در تمام طول سال انجام می‌شود، دسترسی به داده‌ها و پایش لحظه‌ای شرایط آبراه‌های ورودی بنادر شامل وضعیت جوی، جریانات جزر و مدی و سایر عوامل محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این اطلاعات نه‌تنها در تسهیل مدیریت ترافیک دریایی نقش اساسی دارند، بلکه به ارتقای سطح ایمنی آبراه‌ها، به‌ویژه در شرایط بحرانی یا هنگام حداکثر بودن ترافیک ورودی و خروجی شناورها، کمک شایانی می‌کنند.

ازاین‌رو، با توجه به کاربردهای متعدد قابل تحقق از طریق پیاده‌سازی بویه‌های مجازی و تحلیل داده‌های حاصل از آن‌ها با استفاده از هوش مصنوعی، می‌توان استنباط کرد که بهره‌گیری از یک رویکرد تلفیقی در انتخاب مدل‌های هوش مصنوعی کارآمدتر خواهد بود. به بیان دیگر، با توجه به توانمندی‌ها و دامنه کاربرد هر یک از مدل‌های معرفی‌شده در بخش ۹، ترکیب مناسب این مدل‌ها ـ متناسب با نوع داده‌ها و خروجی‌های مورد انتظار، می‌تواند بهترین نتایج را در مدیریت ایمنی دریانوردی به همراه داشته باشد.

به بیان دیگر داده‌های دریافت شده از طریق سامانه ها، قابلیت تلفیق با الگوریتم‌ها و مدل‌های مختلف هوش مصنوعی را دارند و می‌توانند خروجی‌های هوشمندانه متناسب با نوع الگوریتم به‌کار گرفته‌شده فراهم سازند. بدین ترتیب، به تناسب نوع داده‌های ورودی و نیازهای کاربر، الگوی مناسب هوش مصنوعی انتخاب یا پیشنهاد می‌شود. در مرحله اجرای پروژه نیز، بسته به سطح نیازهای پروژه و با تعریف ماژول‌های مشخص، می‌توان تعیین کرد که کدام مدل یا ترکیبی از چند مدل هوش مصنوعی بهترین پاسخگویی را خواهد داشت.

از سوی دیگر، تلفیق بویه‌های مجازی با فناوری‌های نوین امکان تحلیل کلان‌داده‌های دریایی، شناسایی الگوهای خطر و ارائه پیشنهادهای عملیاتی به کشتی‌ها را فراهم می‌آورد. این رویکرد نه‌تنها موجب افزایش ایمنی و کاهش احتمال بروز سوانح دریایی می‌شود، بلکه به بهینه‌سازی مسیرهای کشتیرانی، کاهش هزینه‌های عملیاتی و مدیریت بهتر شرایط محیط زیستی نیز کمک خواهد کرد.

با وجود این مزایا، پیاده‌سازی بویه‌های مجازی با چالش‌هایی نظیر دسترسی محدود به داده‌های واقعی ترافیک و سوانح دریایی در کشور، نیاز به زیرساخت‌های ارتباطی پایدار برای تبادل داده‌ها و ضرورت همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی در زمینه ایمنی دریانوردی، روبه‌رو است.

بر این اساس، پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده بر اجرای آزمایشی (پایلوت) بویه‌های مجازی براساس هوش مصنوعی در بنادر پرترافیک مانند بندر امام خمینی متمرکز شود و در کنار آن، تحلیل‌های اقتصادی و زیست‌محیطی در این زمینه انجام گیرد. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که تلفیق بویه‌های مجازی با هوش مصنوعی، به‌عنوان یک رویکرد جامع و آینده‌نگر، ظرفیت بالایی برای ارتقای ایمنی و پایداری در بنادر کشور دارد و می‌تواند الگویی قابل تعمیم برای سایر حوزه‌های حمل‌ونقل نیز محسوب گردد.

منابع:

1. Sèbe, M., et al., *Maritime transportation: Let's slow down a bit.* Sci Total Environ, 2022. 811: p. 152262.
2. Manasbay, A., et al., *Impact of the Marine Transport System and Public Administration on the Environmental Protection.* Journal of Environmental Management and Tourism, 2021. 12: p. 654.
3. Baksh, A.-A., et al., *Marine transportation risk assessment using Bayesian Network: Application to Arctic waters.* Ocean Engineering, 2018. 159: p. 422-436.
4. Bu, A.A., *AIS-Data For Increased Insight Into Navigational Impacts Post Installation of Man-made Structures at Sea*. 2019, NTNU.
5. Alexandrov, C., et al. *Application of Radar Observation on Improvement of Buoyage System in Bulgarian Teritorial Waters*. in *2024 23rd International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*. 2024. IEEE.
6. Lisowski, J., *Artificial intelligence methods in safe ship control based on marine environment remote sensing.* Remote Sensing, 2022. 15(1): p. 203.
7. Suranari, H., *Shipping and threats to the Antarctic marine environment.* Journal of Maritime Management Science Studies, 2023. 4(2): p. 75-97.
8. Chuah, L.F., et al., *Marine environment and maritime safety assessment using Port State Control database.* Chemosphere, 2022. 304: p. 135245.
9. Hakimzade khoei, P. and S. Sotode, *The legal system governing the conservation of the marine environment.* Modern Jurisprudence and Law, 2023. 3(12): p. 1-17.
10. Chen, P., et al., *Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: State-of-the-art.* Safety science, 2019. 117: p. 108-122.
11. Biolcheva, P. and E. Valchev, *SAFETY THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE MARITIME INDUSTRY.* Strategies for Policy in Science & Education/Strategii na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika, 2023. 31(3).
12. Abouata, M., *THE ROLE OF THE CONTRACTING GOVERNMENTS IN SECURING THE COMPLETE AND EFFECTIVE APPLICATION OF THE INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE SAFETY OF LIFE AT SEA.* Law Quarterly, 2012. 42(2): p. 21-37.
13. Klanac, A. and P. Varsta, *Design of marine structures with improved safety for environment.* Reliability Engineering & System Safety, 2011. 96(1): p. 75-90.
14. Blasco, J., I. Corsi, and V. Matranga, *Particles in the oceans: Implication for a safe marine environment*. 2015, Elsevier. p. 1-4.
15. Eliopoulou, E., A. Papanikolaou, and M. Voulgarellis, *Statistical analysis of ship accidents and review of safety level.* Safety science, 2016. 85: p. 282-292.
16. Kunaka, C. and R. Carruthers, *Trade and transport corridor management toolkit*. 2014: World Bank Publications.
17. Walton, C.M., et al., *Pavement, bridge, and safety cost evaluation tool for overweight truck corridors serving coastal port regions and border ports of entry*. 2017, University of Texas at Austin. Center for Transportation Research.
18. Sayareh, et al., *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Evaluating the Causes of Delays in BIK's Dry Bulk Cargo Operation.* Journal of Oceanography, 2011. 2(6): p. 49-.
19. Zargar, A. and Z. Nouruzi, *The Persian Gulf Countries' Responsibilities and Their Roles in Environmental Protection.* International Relations Studies, 2016. 33(9): p. 251-281.
20. Ghanaatian, H., et al., *The Fate of Terns in the Course of Development at Musa Multi-Branch Creek, Northwest of the Persian Gulf.* 2023. 1: p. 1-6.
21. Zhang, L., et al., *Ship accident consequences and contributing factors analyses using ship accident investigation reports.* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of risk and reliability, 2019. 233(1): p. 35-47.
22. Veitch, E. and O.A. Alsos, *A systematic review of human-AI interaction in autonomous ship systems.* Safety science, 2022. 152: p. 105778.
23. Durlik, I., et al., *Artificial intelligence in maritime transportation: a comprehensive review of safety and risk management applications.* Applied Sciences, 2024. 14(18): p. 8420.
24. Jurkovič, M., et al., *Operational Research of AIS AtoNs in Inland Waterways: A Case Study of a Selected Stretch on the Danube.* Transactions on Maritime Science, 2025. 14(1).
25. Wu, H., et al., *Construction safety risk assessment of bridges in the marine environment based on CRITIC and TOPSIS models.* Journal of Coastal Research, 2020. 108(SI): p. 206-210.
26. ghasemi, m., H.R. Motamed, and P. Mashayekh, *Presenting a model of factors affecting the management of health, safety and environmental crises in maritime areas: a data-based approach.* Journal of Maritime Management Science Studies, 2025. 5(4): p. 51-68.
27. Ugurlu, O., U. Yildirim, and E. Yuksekyildiz, *Marine accident analysis with GIS.* Journal of Shipping and Ocean Engineering, 2013. 3(1-2): p. 21.
28. Ugurlu, H. and I. Cicek, *Analysis and assessment of ship collision accidents using Fault Tree and Multiple Correspondence Analysis.* Ocean Engineering, 2022. 245: p. 110514.

The importance of designing and implementing artificial intelligence in the deployment of virtual buoy navigation assistance systems to enhance the safety level of navigation in ports

ARTICLE INFO

Article history:
Article Type:
Received:
Received in revised form:
Accepted:
Available online:
*Correspondence:

Keywords:
Virtual buoys, artificial intelligence, risk, maritime safety, KHOWR-E MUSA

ABSTRACT

Since more than 90% of foreign trade in goods is conducted through maritime transport, and the initial and final bottlenecks of ships are related to loading and unloading goods at the ports of countries, ensuring maritime safety in the waterway corridor of port entrances and exits to reduce the risk of various imaginable hazards for a vessel is always of paramount importance and a fundamental concern for port managers worldwide. Therefore, considering that traditional physical buoys serve as indicators for the traffic routes of incoming and outgoing ships in the port waterways, the utilization of artificial intelligence to enhance the performance of these physical buoys through the implementation of virtual buoys can play a significant role in improving the level of maritime safety in the waterways of ports, which are the main bottlenecks for ship traffic. Consequently, this research, as a case study, emphasizes the necessity of implementing a virtual navigational aid signal system and integrating their functionality using artificial intelligence with the physical buoys located in the ports' waterways and the Automatic Identification Systems (AIS), Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS), and ARPA radar systems in the KHOWR-E MUSA Channel of Imam Khomeini Port Complex—one of the longest and most challenging entry waterways to the country's ports, with a distance of approximately 42 nautical miles from the mouth of KHOWR-E MUSA to the berthing areas—aims to reduce human error in ship navigation.