

ارزیابی مواجهه‌های نزدیک به تصادم شناورها با در نظر گرفتن شناورهای غیرکوانسیون در شمال شرقی جزیره‌ی قشم

رضا ادراکی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

روزبه پناهی (استادیار)

حسن اکبری* (استادیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

سعید خورشندی (کارشناس)

مهدی دانشجو (کارشناس)

سازمان بنادر و دریانوردی

مهندسی عمران شریف، زمستان (۱۳۹۹)
دوره ۲ - ۳۶، شماره ۲/۴، ص. ۱۱۱-۱۱۹، (پادداست نشی)

تصادم شناورها از مهم‌ترین سوانح دریایی است که ایمنی تردد شناورها به ویژه در تنگه‌ها، آبراهه‌ها و آب‌های ساحلی را تهدید می‌کند. به منظور پیشگیری از وقوع تصادم، ارزیابی مواجهه‌های نزدیک به تصادم حائز اهمیت است. داده سیستم شناسایی خودکار، امکان ارزیابی مواجهه‌های نزدیک به تصادم را در کشتی‌های باری و نفتی فراهم می‌کند. با این حال به علت عدم دسترسی به داده، تاکنون تحقیقات کمی درباره ارزیابی مواجهه‌های نزدیک به تصادم شناورهای فاقد این سیستم انجام شده است. از این رو مقاله‌ی حاضر بر روی ارائه‌ی مدلی به منظور شبیه‌سازی ترافیک شناورهای فاقد سیستم شناسایی خودکار، بر اساس روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، تمرکز دارد. همچنین برای تعیین تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم مدلی بر اساس نظریه‌ی دامنه‌ی ایمن فازی ساخته شده است. در انتها، مواجهه‌های نزدیک به تصادم در دو حالت بدون و با در نظر گرفتن شناورهای فاقد سیستم شناسایی خودکار ارزیابی و نتایج مقایسه می‌شود.

reza.edraki@modares.ac.ir
rpanahi@modares.ac.ir
akbari.h@modares.ac.ir
saeidkhorsandi@yahoo.com
mdaneshjou@yahoo.com

واژگان کلیدی: مواجهه‌های نزدیک به تصادم، شناورهای غیرکوانسیون، سیستم شناسایی خودکار (AIS)، شبیه‌سازی مونت‌کارلو.

۱. مقدمه و پیشینه‌ی تحقیقات

در طی دهه‌های گذشته برای تعیین تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم مدل‌های مختلفی ارائه شده است. شاخص‌های کلاسیک ریسک یعنی فاصله‌ی نزدیکترین نقطه‌ی مجاورت^۱ و زمان رسیدن به نزدیکترین نقطه‌ی مجاورت^۲ در بسیاری از تحقیقات مرتبط با ریسک تصادم کشتی‌ها به‌عنوان معیاری برای تعیین مواجهه‌های نزدیک به تصادم استفاده شده است که این معیارها بر اساس داده‌های موقعیت، سرعت و زاویه‌ی مسیر کشتی‌ها محاسبه می‌شوند.^[۱-۳] لئارت (۲۰۱۵) زمان رسیدن به فاصله‌ی ایمن^۳ را به‌عنوان جایگزینی برای زمان رسیدن به نزدیکترین نقطه‌ی مجاورت ارائه کرد.^[۴] همچنین سلاپچینسکی و همکاران (۲۰۱۶) نقص دامنه‌ی ایمن^۴ و زمان رسیدن به آن^۵ را به‌عنوان جایگزینی برای شاخص‌های کلاسیک ریسک ارائه کردند.^[۵] گروهی دیگر از مدل‌ها بر اساس جریان ترافیکی و ویژگی‌های آن (مثل حجم و سرعت و توزیع مکانی و...) و ویژگی‌های شناور (بعاد و سرعت) و قطر تصادم یعنی حداقل فاصله‌ی بین دو کشتی که هنوز می‌توان با انجام مانور فرار از تصادم جلوگیری کرد، تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم را تعیین می‌کنند.^[۶-۹] همچنین از

صنعت حمل‌ونقل دریایی نقش مهمی در تجارت و اقتصاد جهان دارد و تقریباً ۹۰٪ جابه‌جایی کالا از طریق دریا صورت می‌گیرد. از این رو ناوبری امن کشتی‌ها اولویت ذی‌نفعان این تجارت شامل مقامات دریایی، صاحبان کالا، شرکت‌های حمل‌ونقل و شرکت‌های بیمه محسوب می‌شود. یکی از مهم‌ترین سوانحی که امنیت تردد کشتی‌ها را به خطر می‌اندازد، تصادم بین کشتی‌ها است. از آن‌جا که تعداد سوانح دریایی واقعی ناچیز است، امکان ارزیابی احتمال رخداد این سوانح بر اساس آمارهای پیشین دشوار است. بنابراین ارزیابی مواجهه‌های نزدیک به تصادم بر اساس داده‌های ترافیکی کشتی‌ها جایگزینی مناسب برای ارزیابی تصادم واقعی بین کشتی‌هاست. در واقع، مواجهه‌های نزدیک به تصادم نشان‌دهنده کشتی‌هایی است که در مسیر تصادم قرار دارند که در صورتی عدم مانور فرار تصادم رخ خواهد داد.

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۷/۲، اصلاحیه ۱۳۹۹/۱/۳۰، پذیرش ۱۳۹۹/۳/۱۰

DOI:10.24200/J30.2020.53967.2604

جدول ۱. مدل‌های دامنه‌ی ایمن.

مدل	طول کشتی	سرعت کشتی	مانورپذیری	نوع تصادم	آب و هوا	ترافیک	COLREGS	عامل انسانی
فوجی و تانکا (۱۹۷۱) [۱۲]								
گودوین (۱۹۷۵) [۱۰]								
کولدول (۱۹۸۳) [۱۳]								
پیتروکوسکی (۲۰۰۸) [۳۰]								
پیتروکوسکی و اورپاز (۲۰۰۹) [۱۵]								
ونگ و همکاران (۲۰۲۰) [۱۶]								
هنسن و همکاران (۲۰۱۳) [۳۱]								
راسون و همکاران (۲۰۱۴) [۳۲]								
ونگ و شین (۲۰۱۶) [۱۸]								
لیو و همکاران (۲۰۱۶) [۳۳]								
دین و ایم (۲۰۱۶) [۳۴]								

دامنه‌ی ایمن فازی^[۲۴] و برای مواجهه‌ی همزمان چند کشتی توسعه داده شد.^[۲۵] به علت عدم دسترسی به داده تاکنون مطالعات کمی در زمینه‌ی ارزیابی مواجهه‌های نزدیک به تصادم شناورها فاقد سیستم شناسایی خودکار شامل شناورهای کوچک باری و ماهی‌گیری انجام شده است. سو و شینودا (۲۰۰۹) مدلی برای ارزیابی ایمنی سانحه‌ی تصادم بین یک شناور ماهی‌گیری^۷ و یک شناور باری^۸ مطابق با راهنمای ارزیابی رسمی ایمنی ارائه داده‌اند.^[۲۶] اوه و همکاران (۲۰۱۵) یک روش آماری به‌منظور تحلیل ریسک تصادم بین شناورهای ماهی‌گیری و غیرماهی‌گیری ارائه داده‌اند. در این مطالعه از دانش خبرگان و روند سلسله مراتبی^۹ استفاده شده است.^[۲۷] آن (۲۰۱۶) مطالعاتی با هدف ارائه‌ی خدمات ناوبری الکترونیکی لازم برای جلوگیری از حوادث دریایی برای کشتی‌های فاقد سیستم شناسایی خودکار در آب‌های ساحلی کره‌ی جنوبی انجام داد.^[۲۸] یوو (۲۰۱۸) روشی را برای شناسایی و تعیین چگالی مناطق مواجهه‌ی نزدیک به تصادم ارائه داد. در این مطالعه از شاخص‌های کلاسیک ریسک یعنی فاصله‌ی نزدیک‌ترین نقطه‌ی مجاورت و زمان رسیدن به نزدیک‌ترین نقطه‌ی مجاورت برای تعیین مواجهه‌های نزدیک به تصادم استفاده شده است.^[۲۹]

هدف این مطالعه بررسی تأثیر شناورهای فاقد سیستم شناسایی خودکار در ارزیابی مواجهه‌های نزدیک به تصادم است. از این رو در این مطالعه، مدلی به‌منظور شبیه‌سازی ترافیک شناورهای فاقد سیستم شناسایی خودکار، براساس روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو و روش مجموع میانگین وزنی براساس قوانین نیوتن ارائه می‌شود. همچنین مدلی براساس نظریه‌ی دامنه‌ی ایمن فازی برای تعیین تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم ساخته شده است.

بقیه‌ی این مقاله به سه بخش تقسیم می‌شود: بخش ۲، منطقی‌ی مورد مطالعه، تحلیل داده‌ها و روش‌های تحقیق را توضیح می‌دهد. نتایج به دست آمده در بخش ۳ مورد بحث قرار می‌گیرد و در نهایت خلاصه‌ی از کار و نتیجه‌گیری در بخش ۴ ارائه می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقی‌ی مورد مطالعه

برای مطالعه‌ی حاضر منطقه‌ی در شمال تنگه‌ی هرمز در نظر گرفته شده است. تنگه‌ی هرمز آب‌راهی است بین استان هرمزگان ایران و استان مسندم^{۱۰} عمان که دریای عمان را به خلیج فارس متصل می‌کند. این گذرگاه یکی از راهبردی‌ترین مسیرهای بین‌المللی کشتی‌رانی در جهان به‌شمار می‌آید. مطابق شکل ۱ منطقه‌ی مورد مطالعه، منطقه‌ی با طول جغرافیایی بین ۲۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۹ دقیقه و عرض جغرافیایی بین ۵۶ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه با مساحت تقریبی ۳۹۸ کیلومتر مربع است. که محصور بین جزایر قشم، لارک و هرمز است. دو بندر مهم تجاری ایران در نزدیکی این منطقه قرار دارند: بندر شهید رجایی، بزرگ‌ترین بندر تجاری ایران، در شمال غربی این منطقه قرار گرفته است و بندر شهید باهنر که در شمال این منطقه قرار دارد و دارای ناوگان شناورهای سنتی است که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرند.

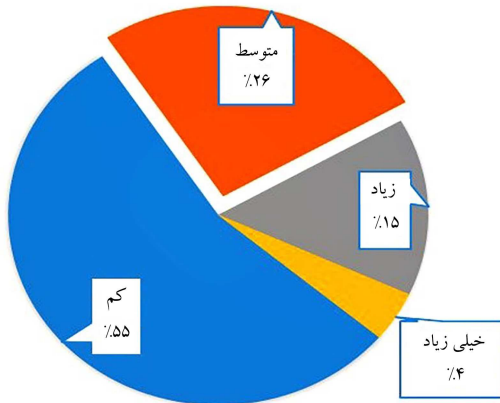
۲.۲. داده‌های AIS

سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO) از سال ۲۰۰۲ کشتی‌های مشمول کنوانسیون بین‌المللی ایمنی جان افراد در دریا (سولاس)، که در این مطالعه به اختصار کشتی‌های

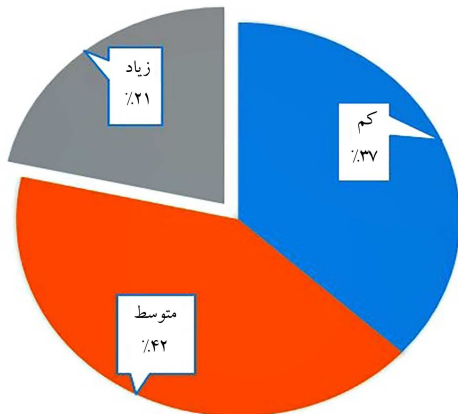
مفهوم دامنه‌ی ایمن برای تعیین مواجهه‌های نزدیک به تصادم استفاده می‌کنند. دامنه‌ی ایمن ناحیه‌ی از اطراف شناور است که ناوبر تمایل دارد از شناورهای دیگر و اجسام ثابت خالی بماند.^[۱۰] عامل‌های مؤثر در تعیین اندازه و شکل دامنه‌های ایمن شامل عامل‌های مرتبط با کشتی (طول، سرعت و قابلیت مانور کشتی) و عامل‌های مرتبط با منطقه‌ی دریایی یا محیط (نوع تصادم، شرایط آب‌وهوایی، شرایط ترافیکی، قوانین و عوامل انسانی) است.^[۱۱] عامل‌های مؤثر در مدل‌های رایج دامنه‌های ایمن در جدول ۱ مقایسه شده‌اند. به‌منظور استفاده از دامنه‌ی ایمن در تعیین تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم دو رویکرد کلی وجود دارد. در رویکرد اول برای یکی از جفت کشتی‌ها دامنه‌ی ایمن تعیین می‌شود و نقص آن توسط کشتی دیگر معیاری برای تعیین مواجهه‌ی نزدیک به تصادم است.^[۱۲-۱۳] در رویکرد دوم برای هر دو کشتی دامنه‌ی ایمن تعیین می‌شود و هم‌پوشانی دامنه‌ها معیاری برای تعیین مواجهه‌ی نزدیک به تصادم است.^[۱۴] همچنین از شاخص‌های کلاسیک ریسک یعنی فاصله‌ی نزدیک‌ترین نقطه‌ی مجاورت و زمان رسیدن به نزدیک‌ترین نقطه‌ی مجاورت به‌عنوان معیاری برای ارزیابی مواجهه‌های نزدیک به تصادم استفاده می‌شود. سیستم شناسایی خودکار^۶ در طیف وسیعی از تحقیقات مرتبط با تعیین مواجهه‌های نزدیک به تصادم، به‌ویژه در آبراهه‌های شلوغ، استفاده می‌شود.^[۱۷-۱۹] ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) تابعی برای شناسایی مواجهه‌های نزدیک به تصادم با در نظر گرفتن ۴ عامل فاصله‌ی نسبی، سرعت نسبی، جهت‌گیری نسبی و اندازه‌ی کشتی ارائه دادند.^[۲۳] بعداً این تابع براساس

جدول ۲. گروه‌بندی سرعت شناورها.

طبقه‌بندی	محدوده‌ی سرعت (کیلومتر بر ساعت)
کم	۳ تا ۵
متوسط	۱۴ تا ۳
زیاد	۱۴ تا ۲۳
خیلی زیاد	۲۳ تا ۹۹
استثنا	بیش از ۹۹

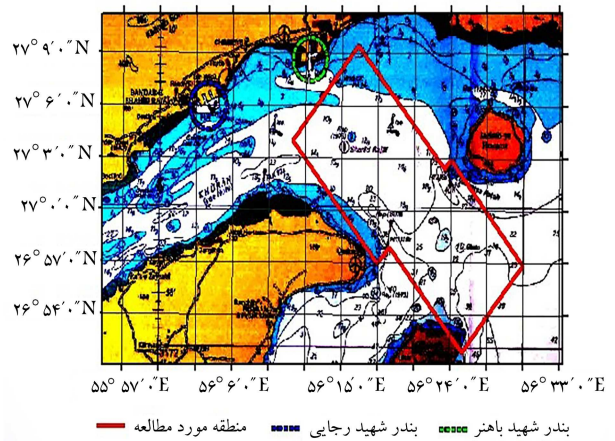


شکل ۳. نمودار توزیع سرعت لحظه‌یی شناورها در منطقه‌ی مورد مطالعه.

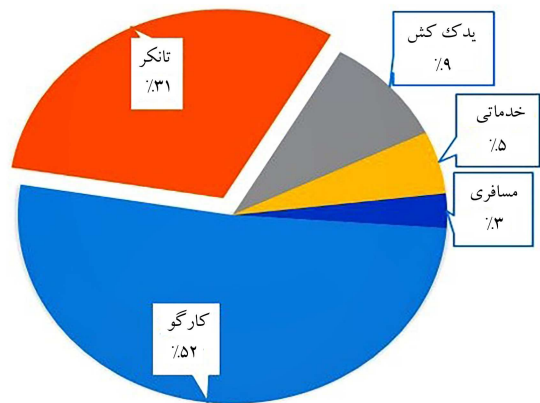


شکل ۴. نمودار توزیع طول شناورها در منطقه‌ی مورد مطالعه.

شناورها از نظر طول به ۳ گروه تقسیم می‌شود: شناورهای کوچک با طول کمتر از ۱۲۰ متر، شناورهای متوسط با طول بین ۱۲۰ تا ۲۰۲ متر و شناورهای بزرگ با طول بیشتر از ۲۰۲ متر. مطابق شکل ۴، ۴۲٪ شناورها با اندازه‌ی کوچک، ۳۷٪ با اندازه‌ی متوسط، ۲۱٪ با اندازه‌ی بزرگ در منطقه در حال تردد هستند. در ترافیک دریایی جهت حرکت شناورها با زاویه‌ی سنجیده می‌شود که قطب شمال در جهت عقربه‌های ساعت با مسیر حرکت شناور می‌سازد که به آن course over ground گفته می‌شود. مطابق جدول ۳ جهت حرکت شناورها به ۸ گروه تقسیم می‌شود. که بر طبق شکل ۵، جهت شمال غربی با ۱۸٪ و جهت جنوب شرقی با ۱۷٪ بیشترین سهم را در ترافیک منطقه دارند. جهت‌های شمال و غرب و شرق و جنوب به ترتیب با ۱۴٪، ۱۳٪، ۱۲٪ و ۱۰٪ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. دو جهت جنوب غربی و شمال شرقی هرکدام با ۹٪ کم‌ترین سهم را در ترافیک منطقه دارند.



شکل ۱. منطقه‌ی مورد مطالعه.



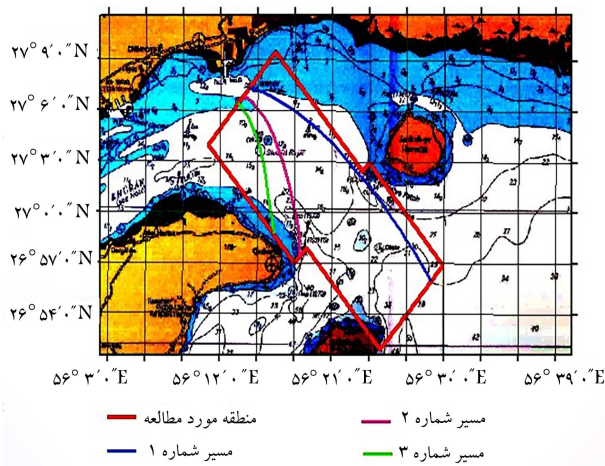
شکل ۲. نمودار توزیع شناورها در منطقه‌ی مورد مطالعه.

کنوانسیون نامیده می‌شود، شامل کشتی‌های باری بزرگ‌تر از ۵۰۰ GT، همه‌ی کشتی‌های بزرگ‌تر از ۳۰۰ GT که اقدام به سفر بین‌المللی می‌کنند و همه‌ی کشتی‌های مسافری را ملزم به نصب سیستم شناسایی خودکار (AIS) کرد. [۳۵] اطلاعات AIS از طریق امواج رادیویی با بسامد بالا^{۱۱} بین دو کشتی یا بین کشتی با ساحل و همچنین با فناوری‌های جدید بین کشتی‌ها و ماهواره‌ها منتقل می‌شود. اطلاعات منتقل شده شامل دو دسته اطلاعات ایستا و پویاست که از مهم‌ترین اقلام اطلاعات می‌توان به سرعت شناور، نام شناور، موقعیت شناور^{۱۲}، ابعاد شناور، کد MMSI، شماره IMO و زاویه‌ی بین قطب شمال با مسیر شناور^{۱۳} اشاره کرد. [۳۶] در این مطالعه از داده‌های AIS یک ماهه (ماه جولای ۲۰۱۸) استفاده شده است. این داده‌ها مشتمل بر ۸۷۲۴ داده‌ی ضبط شده برای ۱۶۹ کشتی است. شناورهای در حال تردد در منطقه‌ی مورد مطالعه به ۵ گروه تقسیم می‌شوند: کارگوها، تانکرها، کشتی‌های مسافری، یدک‌کش‌ها و شناورهای خدماتی؛ مطابق شکل ۲ کارگوها با ۵۲٪ بیشترین سهم را از ترافیک منطقه‌ی مورد مطالعه دارند. بعد از کارگوها، تانکرها با ۳۷٪ در رتبه‌ی بعدی قرار دارند. همچنین یدک‌کش‌ها ۹٪، کشتی‌های خدماتی ۵٪ و کشتی‌های مسافری ۳٪ ترافیک منطقه را تشکیل می‌دهند.

قابلیت مانور شناورها با تغییر سرعت تغییر می‌کند. مطابق جدول ۲ سرعت شناورها به ۴ گروه تقسیم می‌شود. که بر طبق شکل ۳، ۵۵٪ کل داده‌های AIS در منطقه با سرعت آهسته و ۲۶٪ با سرعت متوسط و ۱۵٪ با سرعت زیاد و ۴٪ با سرعت خیلی زیاد است.

جدول ۳. گروه‌بندی زاویه‌ی معرف مسیر شناورها.

طبقه‌بندی	زاویه معرف مسیر (درجه)
شمال	۲۲,۵ تا ۳۳۷,۵
شمال شرقی	۶۷,۵ تا ۱۱۲,۵
شرق	۱۱۲,۵ تا ۱۵۷,۵
جنوب شرقی	۱۵۷,۵ تا ۲۰۲,۵
جنوب	۲۰۲,۵ تا ۲۴۷,۵
جنوب غربی	۲۴۷,۵ تا ۲۹۲,۵
غرب	۲۹۲,۵ تا ۳۳۷,۵
شمال غربی	۳۳۷,۵ تا ۳۸۲,۵



شکل ۶. مسیر شناورهای سنتی در منطقه‌ی مورد مطالعه.

جدول ۴. مشخصات لنج باری.

طول (متر)	عرض (متر)	آب‌خور (متر)	سرعت میانگین (گره دریایی)
۳۶,۵	۱۱,۹۳	۳,۳۱	۱۰

- با توجه به اطلاعات ورود/خروج شناورها از بندر شهید باهنر، زمان حرکت شناور در مرزهای منطقه‌ی مورد مطالعه به تفکیک روز تعیین می‌شود؛
- منطقه‌ی مورد مطالعه به تعداد نواحی مساوی تقسیم می‌شود. در هر ناحیه موقعیت شناور به صورت مختصات جغرافیایی طولی و عرضی،^{۱۸} به صورت تصادفی، با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو (رجوع به بخش ۱.۳.۲) تعیین می‌شود؛
- زاویه‌ی معرف مسیر (COG)^{۱۹} به‌ازای هر دو مختصات متوالی (تعیین شده با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو) با روابط زیر محاسبه می‌شود؛

$$X = x_{i+1} - x_i, Y = y_{i+1} - y_i \quad (1)$$

$$\theta = \arctg \left| \frac{Y}{X} \right|, \alpha = Degree(\theta) \quad (2)$$

$$\begin{cases} \text{if } X > 0, Y > 0 \rightarrow cog = \alpha - 90 \\ \text{if } X > 0, Y < 0 \rightarrow cog = \alpha + 90 \\ \text{if } X < 0, Y > 0 \rightarrow cog = \alpha + 270 \\ \text{if } X < 0, Y < 0 \rightarrow cog = \alpha - 270 \end{cases}$$

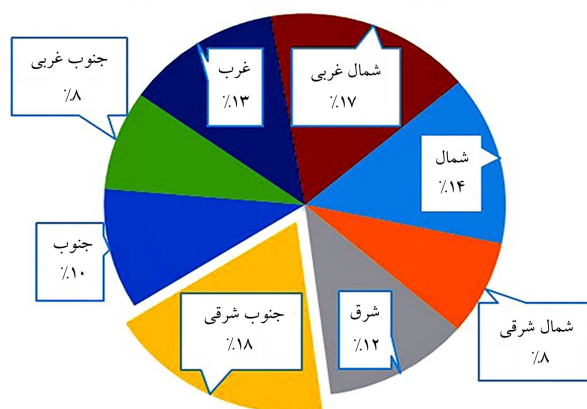
- با فرض سرعت ۱۰ گره دریایی به‌عنوان سرعت معمول شناورهای سنتی، اختلاف زمانی بین هر دو مختصات متوالی ($\Delta t_{i,i+1}$) به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$D_{i,i+1} = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (3)$$

$$\Delta t_{i,i+1} = \frac{D_{i,i+1}}{V_\alpha}$$

که در این رابطه $D_{i,i+1}$ ، فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی متوالی و V_α ، سرعت متوسط شناور فاقد AIS است.

- با توجه به زمان حرکت شناور در مرزهای منطقه‌ی متناظر با نقاط بعدی به صورت زیر محاسبه می‌شوند؛



شکل ۵. نمودار توزیع جهت شناورها در منطقه‌ی مورد مطالعه.

۳.۲. شبیه‌سازی ترافیک شناورهای غیرکوانتسیمیونی

طبق آمار سازمان بنادر و دریانوردی ایران حدود ۸۳٪ شناورهای کوچک ثبت شده در ناوگان حمل‌ونقل دریایی ایران را شناورهای سنتی به نام لنج تشکیل می‌دهند که شامل لنج‌های باری و صیادی هستند. این شناورها در زمره‌ی شناورهای غیرکوانتسیمیونی قرار دارند و فاقد سیستم شناسایی خودکار هستند. از سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS)،^{۱۴} چارت دریایی^{۱۵} و قطب‌نمای مغناطیسی^{۱۶} برای ناوبری استفاده می‌کنند. لنج‌های باری که ظرفیت حمل بارشان بین ۱۵۰ تا ۴۰۰ تن است نقش مهمی در جابه‌جایی کالا بین بنادر واقع در سواحل شمالی و جنوبی خلیج فارس دارند. سرعت این شناورها از ۷ تا ۱۶ گره دریایی (با سرعت معمول ۱۰ گره دریایی) متغیر است. در این پژوهش بندر شهید باهنر به‌عنوان بندر طرح در نظر گرفته شده است؛ اطلاعات خروج لنج‌های باری از این بندر در بازه‌ی زمانی ۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد سال ۱۳۹۷ (مقارن با ماه جولای ۲۰۱۸) مورد تحلیل قرار گرفته است. بر اساس این اطلاعات ۱۷۲ ورود/خروج لنج باری در این بازه‌ی زمانی ثبت شده است. همچنین بر اساس تحقیقات میدانی و مصاحبه با ناوبرها حدود سه مسیر اصلی تردد در منطقه‌ی مورد مطالعه برای این نوع شناورها مطابق شکل ۶ تعیین شده است.

همچنین مطابق جدول ۴ این اسناد، مشخصات مربوط به یک نمونه از لنج باری را نشان می‌دهد که به‌عنوان شناور طرح در این پژوهش در نظر گرفته شده است. در این پژوهش مدلی برای شبیه‌سازی ترافیک این نوع شناورها به صورت گام‌های زیر ارائه می‌شود.

۴.۲. تعیین تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم

برای آنکه مواجهه‌ی دو کشتی به عنوان مواجهه‌ی نزدیک به تصادم لحاظ شود، دو شرط لازم است:

- شرط اول: دامنه‌ی ایمن کشتی میزبان توسط کشتی هدف نقض شود (شرط نقض دامنه):
 - شرط دوم: دو کشتی در حال نزدیک شدن به یکدیگر باشند (شرط هم‌گرایی).
- در این مطالعه مدل دامنه‌ی ایمن چهاربخشی فازی 2° ونگ (۲۰۱۰) به عنوان معیاری (شرط اول) برای تعیین تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم پیشنهاد می‌شود. روابط این دامنه‌ی ایمن به صورت زیر است: [۱۶]

$$f_{ce}(x, y, Q(r)) = \left(\frac{r_x}{(1+\text{sgn}x)R_{for}(r) - (1-\text{sgn}x)R_{aft}(r)} \right)^2 + \left(\frac{r_y}{(1+\text{sgn}y)R_{starb}(r) - (1-\text{sgn}y)R_{port}(r)} \right)^2 \quad (9)$$

If $f(x, y, Q(r)) \leq 1 \rightarrow$ Domain violation

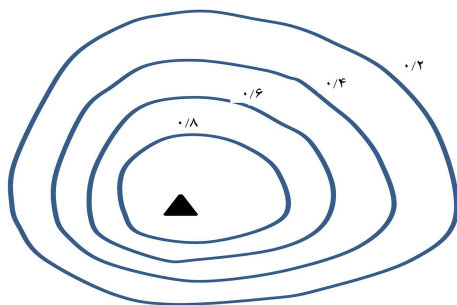
$$R_i(r) = \left(\frac{\ln \frac{1}{r_i}}{\ln \frac{1}{r_0}} \right)^{\frac{1}{4}} R_i, \quad i \in \{fore, aft, starb, port\} \quad (10)$$

$r_0 = 0.5$

$$\begin{cases} R_{fore} = \left(1 + 1.34 \sqrt{1.55 V_{own}^{0.72} + 0.17 V_{own}^{1.04}} \right) L \\ R_{aft} = \left(1 + 0.67 \sqrt{1.55 V_{own}^{0.72} + 0.17 V_{own}^{1.04}} \right) L \\ R_{starb} = (0.2 + 0.83 V_{own}^{0.5441}) L \\ R_{port} = (0.2 + 0.62 V_{own}^{0.5441}) L \end{cases} \quad (11)$$

R_{for} و R_{aft} و R_{starb} و R_{port} به ترتیب شعاع‌های دامنه‌ی ایمن

در جلوی کشتی و عقب کشتی و سمت راست کشتی و سمت چپ کشتی است. ونگ (۲۰۱۰) در مدل خود از یک عامل فازی (r) استفاده می‌کند که مقیاس دامنه‌ی کشتی را تعیین می‌کند. به طوری که با افزایش این عامل شعاع‌های دامنه‌ی ایمن کوچک‌تر و وضعیت مواجهه‌ی بین دو کشتی شدیدتر می‌شود. برای طبقه‌بندی وضعیت‌های مواجهه‌ی دو کشتی به چهار وضعیت با شدت کم، شدت متوسط، شدت زیاد و شدت خیلی زیاد مطابق شکل ۷ عامل فازی (r) در رابطه‌ی ۹ به ترتیب ۰.۲، ۰.۴، ۰.۶، ۰.۸ و ۱ در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۷. دامنه‌ی ایمن فازی.

$$\begin{cases} t_i = t_{start} \\ t_{i+1} = t_i + \Delta t_{i,i+1} \end{cases} \quad (4)$$

۵. به منظور تعیین سایر مختصات حرکت شناور بین هر دو مختصات متوالی تعیین شده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو، درون‌یابی با استفاده از روش مجموع میانگین وزنی بر اساس قوانین حرکت نیوتن (رجوع به بخش ۲.۳.۲) انجام می‌شود.

۲.۳.۲. شبیه‌سازی مونت کارلو

به منظور تعیین موقعیت شناور به صورت مختصات جغرافیایی طولی و عرضی در هر ناحیه، از یکی از روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده می‌شود. تعدادی روش برای شبیه‌سازی مونت کارلو وجود دارد مثل: نمونه‌برداری Gibbs، نمونه‌برداری Metropolis-Hastings و نمونه‌برداری Slice. [۳۷] در این پژوهش از روش نمونه‌برداری Slice استفاده می‌شود که این روش نمونه‌برداری می‌تواند داده‌های تصادفی از یک تابع توزیع احتمال دلخواه تولید کند. روش نمونه‌برداری Slice در مقایسه با دو روش دیگر ساده‌تر و کارآمدتر است. مراحل این روش نمونه‌برداری، به صورت زیر است. [۳۸]

- ابتدا یک مقدار اولیه x_0 از دامنه‌ی تابع توزیع احتمال $f(x)$ انتخاب می‌شود. توزیع احتمال در این پژوهش به صورت توزیع یکنواخت فرض می‌شود. دامنه‌های این توزیع مختصات جغرافیایی نواحی تعیین شده در منطقه‌ی مورد مطالعه است؛
- یک سطح قائم y ، به صورت یکنواخت بین $(0, f(x_0))$ برای تعریف Slice افقی کشیده می‌شود. متغیر کمکی y در هر مرحله تکرار می‌شود؛

$$Shorizontal = \{x | y < f(x)\}$$

- یک بازه، $I = (L, R)$ ، به دور مقدار اولیه‌ی (x_0) تعریف می‌کنیم. این بازه تا حد امکان باید شامل Slice افقی باشد تا اجازه دهد مقدار جدید (x_1) متفاوت از مقدار اولیه (x_0) باشد. البته باید از این که بازه خیلی بزرگ‌تر از Slice افقی باشد، اجتناب شود؛ زیرا باعث کاهش کارآمدی مرحله‌ی بعدی نمونه‌برداری می‌شود. در این مقاله $L = \inf(s)$ و $R = \sup(s)$ در نظر گرفته می‌شود؛

- مقدار جدید x_1 در بازه‌ی I انتخاب می‌شود.

۲.۳.۲. درون‌یابی داده‌ها

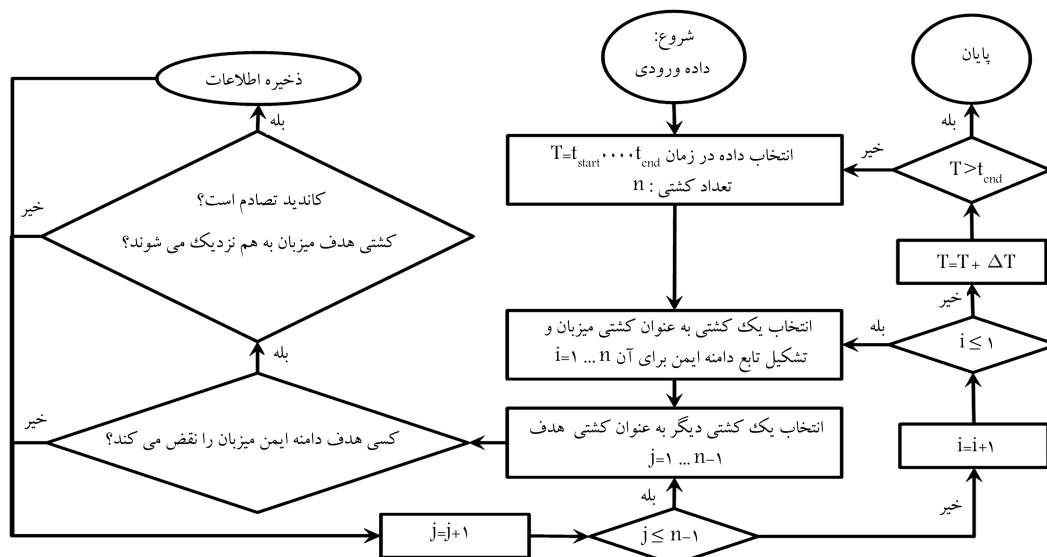
برای افزایش تعداد داده لازم عمل درون‌یابی بین هر دو مختصات متوالی شناور (x_i, y_i, t_i, cog_i) و $(x_{i+1}, y_{i+1}, t_{i+1}, cog_{i+1})$ و برای تخمین موقعیت شناور در گام‌های زمانی ۱ دقیقه انجام شود. پیشنهاد این مطالعه استفاده از روش مجموع میانگین وزنی بر اساس قوانین حرکت نیوتن به صورت زیر است. [۱۷]

$$x_{t_j} = \begin{cases} x_j, & \text{if } x_j < x_{i+1} \text{ or } x_j > x_i \\ x_i + \frac{(t_j - t_i) \times (x_{i+1} - x_i)}{t_{i+1} - t_i}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$y_{t_j} = \begin{cases} y_j, & \text{if } y_j < y_{i+1} \text{ or } y_j > y_i \\ y_i + \frac{(t_j - t_i) \times (y_{i+1} - y_i)}{t_{i+1} - t_i}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$x_j = \frac{1}{3} \left(\left(x_i + \frac{(t_j - t_i) \times (x_{i+1} - x_i)}{t_{i+1} - t_i} \right) + \left(x_i + v \times \sin(cog_i) \times (t_j - t_i) \right) + \left(x_{i+1} - v \times \sin(cog_i) \times (t_{i+1} - t_j) \right) \right) \quad (7)$$

$$y_j = \frac{1}{3} \left(\left(y_i + \frac{(t_j - t_i) \times (y_{i+1} - y_i)}{t_{i+1} - t_i} \right) + \left(y_i + v \times \cos(cog_i) \times (t_j - t_i) \right) + \left(y_{i+1} - v \times \cos(cog_i) \times (t_{i+1} - t_j) \right) \right) \quad (8)$$



شکل ۸. الگوریتم تعیین تعداد مواجهه‌های (کاندیداهای) نزدیک به تصادم.

جدول ۵. نتایج تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم در دو حالت: حالت اول: بدون در نظر گرفتن شناورهای غیرکنوانسیون؛ حالت دوم: با در نظر گرفتن شناورهای غیرکنوانسیون.

شدت مواجهه	حالت اول	حالت دوم	نرخ افزایش (درصد)
کم	۲۵	۳۰	۲۰
متوسط	۱۷	۲۱	۲۳٫۵
زیاد	۱۳	۱۵	۱۵
خیلی زیاد	۹	۱۰	۱۱

۲۳٪ و با شدت زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۱۵٪ و ۱۱٪ افزایش می‌یابد که این نشان‌دهنده‌ی اثر قابل ملاحظه‌ی این نوع شناورها در ریسک تصادم منطقه دارد. نقشه‌ی چگالی مواجهه‌های نزدیک به تصادم برای وضعیت مواجهه با شدت متوسط (۰٫۴) به‌طور جداگانه برای هر دو منطقه‌ی مورد مطالعه ترسیم شد. بدین منظور منطقه‌ی مورد مطالعه به دو منطقه‌ی کوچک‌تر ۱ و ۲ تقسیم می‌شود و هر کدام از دو منطقه شبکه‌بندی می‌شوند. در نتیجه‌ی این شبکه‌بندی، منطقه‌ی ۱ دارای ۳۰ سلول و منطقه‌ی ۲ دارای ۳۵ سلول است. اندازه‌ی هر سلول $1/3 \times 1/3$ مایل دریایی است. که این اندازه بر اساس زمان ۱٫۳ ساعت و سرعت متوسط ۴ گره دریایی برای عبور شناور از هر سلول تنظیم شده است. برای حالت بدون در نظر گرفتن شناورهای غیرکنوانسیون، در منطقه‌ی ۱ (مطابق شکل ۹) سلول از ۳۰ سلول منطقه درگیر در مواجهه‌های نزدیک به تصادم هستند (سلول‌های ۷، ۸، ۱۳، ۱۷ و ۱۸) که بیشترین تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم در سلول ۸ قرار دارد. در حالی‌که در منطقه‌ی ۲ (مطابق شکل ۱۰) سلول درگیر در مواجهه‌های نزدیک به تصادم هستند (سلول‌های ۱۸ و ۲۸). همچنین ارزیابی مواجهه‌های نزدیک به تصادم شناورها در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن شناورهای غیرکنوانسیون تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم فقط در منطقه‌ی ۲ افزایش می‌یابد. با مقایسه‌ی نقشه‌های چگالی

برای کنترل این‌که آیا دو کشتی در حال نزدیک شدن به یکدیگر هستند یا نه (شرط دوم)، باید فاصله‌ی دو کشتی در دو زمان متوالی به صورت زیر محاسبه و با یکدیگر مقایسه شوند.

$$DT_i = \sqrt{(x_{ts,T_i} - x_{os,T_i})^2 + (y_{ts,T_i} - y_{os,T_i})^2}$$

$$DT_{i+1} = \sqrt{(x_{ts,T_{i+1}} - x_{os,T_{i+1}})^2 + (y_{ts,T_{i+1}} - y_{os,T_{i+1}})^2} \quad (12)$$

$$if DT_{i+1} < DT_i \rightarrow Approching$$

در این رابطه DT_{i+1} و DT_i فاصله‌ی دو کشتی در دو زمان متوالی (i و $i+1$) و ts و os به ترتیب نشان‌دهنده‌ی کشتی میزبان و کشتی هدف است (x و y) نشان‌دهنده‌ی مختصات جغرافیایی کشتی‌هاست. روند تعیین تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم در الگوریتم شکل ۸ نشان داده شده است.

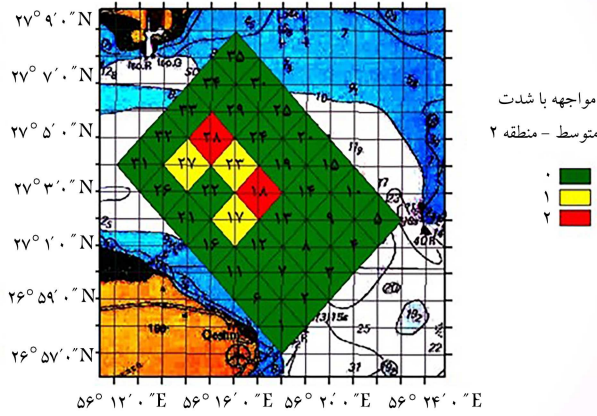
۳. نتایج و بحث

در این پژوهش مواجهه‌های نزدیک به تصادم شناورها در دو حالت ارزیابی شده است:

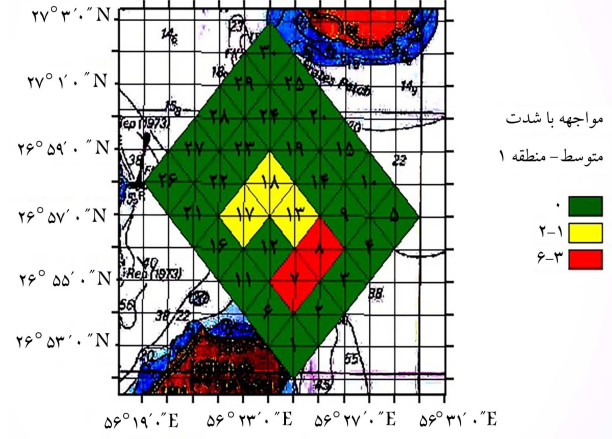
- حالت اول: مواجهه بین شناورها بدون در نظر گرفتن شناورهای غیرکنوانسیون؛
- حالت دوم: مواجهه بین شناورها با در نظر گرفتن شناورهای غیرکنوانسیون.

در هر دو حالت تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم بر اساس شدت مواجهه‌های چهارگانه (مواجهه با شدت کم، ۲۱ مواجهه با شدت متوسط، ۲۲ مواجهه با شدت زیاد ۲۳ و مواجهه با شدت خیلی زیاد ۲۴) تخمین زده شده است که نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

مطابق جدول ۵ با در نظر گرفتن شناورهای غیرکنوانسیون، تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم در وضعیت مواجهه با شدت کم ۲۰٪ و با شدت متوسط



شکل ۱۱. نقشه‌ی چگالی مواجهه‌های نزدیک به تصادم با در نظر گرفتن شناورهای غیرکوانتاسیونی در منطقه‌ی ۲.

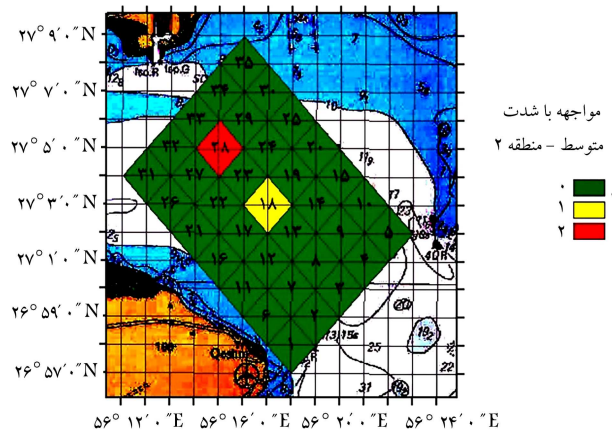


شکل ۹. نقشه‌ی چگالی مواجهه‌های نزدیک به تصادم شناورها در منطقه‌ی ۱.

۴. نتیجه‌گیری

هدف مطالعه‌ی حاضر، ارائه‌ی مدلی بر اساس روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو و روش مجموع میانگین وزنی (قوانین حرکت نیوتن) برای شبیه‌سازی شناورهای فاقد سیستم شناسایی خودکار است. اطلاعات ورودی این مدل بر اساس تحقیقات میدانی جمع‌آوری شد. اگرچه استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو در تحقیقات مرتبط با ترافیک دریایی سابقه داشته است، با این حال برای نخستین بار از این روش برای شبیه‌سازی ترافیک شناورهای غیرکوانتاسیونی استفاده شده است. همچنین در این مطالعه برای تعیین تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم مدلی بر اساس نظریه‌ی دامنه‌ی ایمن‌سازی ساخته شده است و تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم در دو حالت بدون و با در نظر گرفتن شناورهای غیرکوانتاسیونی تعیین و نتایج مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی اثر قابل ملاحظه‌ی شناورهای غیرکوانتاسیونی در افزایش تعداد مواجهه‌های نزدیک به تصادم در منطقه‌ی مورد مطالعه است. در نهایت با استفاده از نرم افزار Arc Map نقشه‌ی چگالی مواجهه‌های نزدیک به تصادم ترسیم و نواحی پرخطر در منطقه در هر دو حالت تعیین شد.

تعیین مواجهه‌های نزدیک به تصادم با در نظر گرفتن انواع دیگر شناورهای غیرکوانتاسیونی (از جمله لنج‌های صیادی) و سایر بنادر پهلوگیری این نوع شناورها با استفاده از مدل پیشنهادی به‌منظور ارزیابی ریسک تصادم در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌تواند موضوع تحقیقات آتی باشد.



شکل ۱۰. نقشه‌ی چگالی مواجهه‌های نزدیک به تصادم بدون در نظر گرفتن شناورهای غیرکوانتاسیونی در منطقه‌ی ۲.

مواجهه‌های نزدیک به تصادم در منطقه‌ی ۲، در دو حالت بدون و با در نظر گرفتن شناورهای غیرکوانتاسیونی، (شکل ۱۰ و شکل ۱۱)، می‌توان گفت که با در نظر گرفتن شناورهای غیرکوانتاسیونی (نسبت به حالت بدون در نظر گرفتن این نوع شناورها)، تعداد سول‌های درگیر در مواجهه‌های نزدیک به تصادم از ۲ سول به ۵ سول افزایش می‌یابد. (سول‌های ۱۷ و ۲۳ و ۲۷ در مواجهه‌ی نزدیک به تصادم می‌شوند).

پانویس‌ها

1. distance at closest point of approach (DCPA)
2. time to closest point of approach (TCPA)
3. time to safe distance (TDS)
4. degree of domain violation (DDV)
5. time to domain violation (TDV)
6. automatic identification system (AIS)
7. fishing vessel
8. cargo vessel
9. analytic hierarchy process (AHP)
10. Musandam

11. very high frequency (VHF)
12. latitude and longitude
13. course over ground
14. global positioning system (GPS)
15. nautical chart
16. magnetic compass
17. departure time
18. longitude and latitude
19. course over ground (COG)
20. fuzzy quaternion ship domain (FQSD)
21. low conflict severity
22. medium conflict severity
23. high conflict severity

24. highest conflict severity

منابع (References)

1. Kaneko, F. "Estimation of dangerous encounters' number from observed ship trajectories", *In Proc. of 4th Int. Conf. on Collision and Grounding of ships* (2007).
2. Debnath, A. K. and Chin, H.C. "Navigational traffic conflict technique: a proactive approach to quantitative measurement of collision risks in port waters", *The Journal of Navigation*, **63**(1), pp. 137-152 (2010).
3. Lee, H.-J. and Rhee, K.P. "Development of collision avoidance system by using expert system and search algorithm", *International Shipbuilding Progress*, **48**(3), pp. 197-212 (2001).
4. Lenart, A. S. "Analysis of collision threat parameters and criteria", *The Journal of Navigation*, **68**(5), pp. 887-896 (2015).
5. Szlapczynski, R. and Szlapczynska, J. "An analysis of domain-based ship collision risk parameters", *Ocean Engineering*, **126**, pp. 47-56 (2016).
6. Macduff, T. "The probability of vessel collisions", *Ocean Industry, Ocean Industry*, **9**(9), pp.144-148 (1974).
7. Fowler, T. G. and Sjørgård, E. "Modeling ship transportation risk", *Risk Analysis*, **20**(2), pp. 225-244 (2000).
8. Pedersen, P.T. "Ship collision and grounding analysis", *In 5th International Conference on Collision and Grounding of Ships*, pp. 34-48 (2010).
9. Montewka, J., Hinz, T., Kujala, P. and et al. "Probability modelling of vessel collisions", *Reliability Engineering & System Safety*, **95**(5), pp. 573-589 (2010).
10. Goodwin, E. M. "A statistical study of ship domains", *The Journal of navigation*, **28**(3), pp. 328-344 (1975).
11. Szlapczynski, R. and Szlapczynska, J. "Review of ship safety domains: models and applications", *Ocean Engineering*, **145**, pp. 277-289 (2017).
12. Fujii, Y. and Tanaka, K. "Traffic capacity", *The Journal of Navigation*, **24**(4), pp. 543-552 (1971).
13. Coldwell, T. "Marine traffic behaviour in restricted waters", *The Journal of Navigation*, **36**(3), pp. 430-444 (1983).
14. Zhu, X., Xu, H. and Lin, J. "Domain and its model based on neural networks", *The Journal of Navigation*, **54**(1), pp. 97-103 (2001).
15. Pietrzykowski, Z. and Uriasz, J. "The ship domain-a criterion of navigational safety assessment in an open sea area", *The Journal of Navigation*, **62**(1), pp. 93-108 (2009).
16. Wang, N. "An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain", *The Journal of Navigation*, **63**(4), pp. 733-749 (2010).
17. Qu, X., Meng, Q. and Suyi, L. "Ship collision risk assessment for the singapore strait", *Accident Analysis & Prevention*, **43**(6), pp. 2030-2036 (2011).
18. Wang, Y., Chin, H.-C. "An empirically-calibrated ship domain as a safety criterion for navigation in confined waters", *The Journal of Navigation*, **69**(2), pp. 257-276 (2016).
19. Silveira, P., Teixeira, A. and Soares, C.G. "Use of AIS data to characterise marine traffic patterns and ship collision risk off the coast of Portugal", *The Journal of Navigation*, **66**(6), pp. 879-898 (2013).
20. Xiao, F., Ligteringen, H., Van, C. and et al. "Comparison study on AIS data of ship traffic behavior", *Ocean Engineering*, **95**, pp. 84-93 (2015).
21. Wu, X., Mehta, A.L., Zaloom, V.A. and et al. "Analysis of waterway transportation in southeast texas waterway based on AIS data", *Ocean Engineering*, **121**, pp. 196-209 (2016).
22. Weng, J., Meng, Q. and Qu, X. "Vessel collision frequency estimation in the Singapore Strait", *The Journal of Navigation*, **65**(2), pp. 207-221 (2012).
23. Zhang, W., Goerlandt, F. Kujala, P. and et al. "An advanced method for detecting possible near miss ship collisions from AIS data", *Ocean Engineering*, **124**, pp. 141-156 (2016).
24. Zhang, W., Kopca, C., Tang, J. and et al. "A systematic approach for collision risk analysis based on AIS data", *The Journal of Navigation*, **70**(5), pp. 1117-1132 (2017).
25. Zhang, W., Feng, X., Qi, Y. and et al. "Towards a model of regional vessel near-miss collision risk assessment for open waters based on AIS data", *The Journal of Navigation*, **72**(6), pp. 1449-1468 (2019).
26. Hsu, Y. and Shinoda, T. "Safety assessment with marine casualty data on collision accidents between fishing vessels and cargo vessels", *In The Nineteenth International Offshore and Polar Engineering Conference*, International Society of Offshore and Polar Engineers (2009).
27. Oh, J.-H., Kim, K.-I., J.-S. J. I. j. o. e.-n. Jeong, m. economy, "A study on the risk analysis based on the trajectory of fishing vessels in the VTS area", **2**, pp. 38-46 (2015).
28. An, K. "E-navigation services for non-SOLAS ships", *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, **4**, pp. 13-22 (2016).
29. Yoo, S.-L. J. O. E. "Near-miss density map for safe navigation of ships", *Ocean Engineering*, **163**, pp. 15-21 (2018).
30. Pietrzykowski, Z. "Ship's fuzzy domain—a criterion for navigational safety in narrow fairways", *The Journal of Navigation*, **61**(3), pp. 499-514 (2008).
31. Hansen, M.G., Jensen, T.K., Lehn-Schiøler, T. and et al. "Empirical ship domain based on AIS data", *The Journal of Navigation*, **66**(6), pp. 931-940 (2013).
32. Rawson, A., Rogers, E., Foster, D. and et al. "Practical application of domain analysis: port of London case study", *The Journal of Navigation*, **67**(2), pp. 193-209 (2014).
33. Liu, J., Zhou, F., Li, Z. and et al. "Dynamic ship domain models for capacity analysis of restricted water channels", *The Journal of Navigation*, **69**(3), pp. 481-503 (2016).

34. Dinh, G. H. and Im, N.-K. "The combination of analytical and statistical method to define polygonal ship domain and reflect human experiences in estimating dangerous area", *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, **4**, pp. 97-108 (2016).
35. Mou, J. M., Van Der Tak, C. and Ligteringen, H.J.O.E. "Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data", **37**(5-6), *Ocean Engineering*, pp. 483-490 (2010).
36. Harati-Mokhtari, A., Wall, A., Brooks, P. and et al. "Automatic identification system (AIS): data reliability and human error implications", *the Journal of Navigation*, **60**(3), pp. 373-389 (2007).
37. Gilks, W. R., Richardson, S. and Spiegelhalter, D., *Markov Chain Monte Carlo in Practice*, Chapman and Hall/CRC (1995).
38. Neal, R. M. "Slice sampling", *Annals of statistics, Annals of statistics*, **31**(3), pp. 705-767 (2003).