تحلیل ریسک احتمالاتی برخورد شناورها با شبیه‌سازی ترافیک در خلیج فارس

سیاوش فیلُم[۱]، روزبه پناهی[۲*]

[۱] کارشناسی ارشد ، دانشگاه تربیت مدرس؛ Siyavash.Filom@modares.ac.ir
[۲*] استادیار، دانشگاه تربیت مدرس؛ Rpanahi@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۱۶

کلمات کلیدی:
حمل و نقل دریایی
برخورد شناورها
سیستم شناسایی خودکار AIS
شبکه بایزین
خلیج‌فارس

چکیده

صنعت حمل و نقل دریایی، به عنوان زیربنای اصلی تجارت جهانی از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این میان، دو سانحه برخورد و به گل نشستن شناورها، پرتکرارترین تهدیدات این صنعت هستند. برای مطالعه سانحه برخورد و برآورد ریسک وقوع آن، نیاز به شناسایی مسیر شناورها در بستر ترافیک دریایی است. برای این منظور، بهترین منبع، اطلاعات ثبت‌شده توسط سیستم شناسایی خودکار شناورها است، که مولفه‌های ترافیکی را مخابره می‌کند. با استفاده از مفهوم دامنه ایمن و پیاده‌سازی آن در بستر ترافیکی، نقاط مستعد برخورد مشخص می‌شوند. پس از شناسایی نقاط پرخطر توسط شبیه‌سازی ترافیک، احتمال وقوع برخورد در نقاط پرخطر با استفاده از شبکه بایزین تحلیل می‌گردد. تحقیق حاضر، نمونه‌ای از روش‌های نوین تحلیل ریسک سوانح دریایی را ارائه می‌نماید، که در کشور بدون سابقه است.

Ship Collision Probabilistic Risk Analysis by Traffic Simulation in the Persian Gulf

Siyavash Filom[1], Roozbeh Panahi*[2]

[1] MSc. Student, Tarbiat Modares University; siyavash.filom@modares.ac.ir
[2] Assisstant Professor, Tarbiat Modares University; rpanahi@modares.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 1 Sep. 2017
Accepted: 7 Aug. 2018

Keywords:
Maritime transportation
Ship collision
AIS
Bayesian network
Persian Gulf

ABSTRACT

Marine transportation industry, as the main basis of world trade, is of great importance. Here, collision and grounding are the most frequent ones, threatening the industry. To study collision accident and assessment of its occurrence risk, we need to identify ship routes, in which Automatic Identification Systems introduces the best tool. Here, based on the concept of safety domain applied on traffic, high collision concentration locations are identified. Accordingly, probability of collision occurrence in the high risk locations is examined based on the Bayesian network. This study just show sample result of implementing new approaches in accident analysis, which has no previous record in our country.

۱ - مقدمه

حمل‌ونقل دریایی ضرورتی برای اقتصاد جهانی می‌باشد. در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد تجارت جهانی از طریق دریا انجام می‌شود. حجم تجارت جهانی در سال ۲۰۱۴ به ۱۹ تریلیون دلار رسیده و در این مدت، بالغ بر ۱۰ میلیون تن کالا جابجا شده است.

به‌طور میانگین سالانه حدود ۲۵۰۰۰ میلیارد تن-کیلومتر بار توسط سیستم حمل‌ونقل دریایی جابجا می‌شود. در مقام مقایسه، این مقدار برای حمل‌ونقل ریلی ۷۰۰۰ میلیارد تن-کیلومتر و برای حمل‌ونقل جاده‌ای ۳۰۰۰ میلیارد تن-کیلومتر است. برحسب وزن کالای جابجا شده، حدود ۹۶ درصد حمل‌ونقل کالا به‌صورت

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

حمل‌ونقل دریایی صورت می‌گیرد. در ادامه به ویژگی‌های اصلی این نوع حمل‌ونقل که باعث این تفاوت شده است.

صنعت حمل‌ونقل به‌ویژه نوع دریایی آن، امروزه به‌واسطه بهره‌مندی از فناوری پیچیده و مدیریت نوین به پیشرفت‌های فزاینده و چشمگیری دست‌یافته است. پیچیدگی و فنّاوری موردنیاز جهت ساخت و بهره‌برداری اصولی از تأسیسات و تجهیزات این صنعت، این رشته از فعالیت را به‌صورت صنعتی عظیم و تخصصی درآورده است به‌گونه‌ای که ارتباط تنگاتنگ و گسترده آن با فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی، نظامی و توریستی لزوم بهره‌گیری از مدیریت نوین را در این صنعت ضروری ساخته است.

در این میان مسئله‌ای که اهمیت زیادی دارد ارتقاء ضریب ایمنی بنادر و تأمین محیطی ایمن برای سرمایه‌گذاران، شرکت‌های کشتیرانی و صاحبان کالا می‌باشد. اهمیت این موضوع به‌گونه‌ای است که بروز حادثه در یک بندر نه‌تنها موجب ایجاد خسارت‌های مالی و جانی و افزایش خدمات بندری می‌گردد، بلکه در عرصه این رقابت فشرده، خدشه به اعتبار بندر در عرصه بین‌المللی به دنبال خواهد داشت.

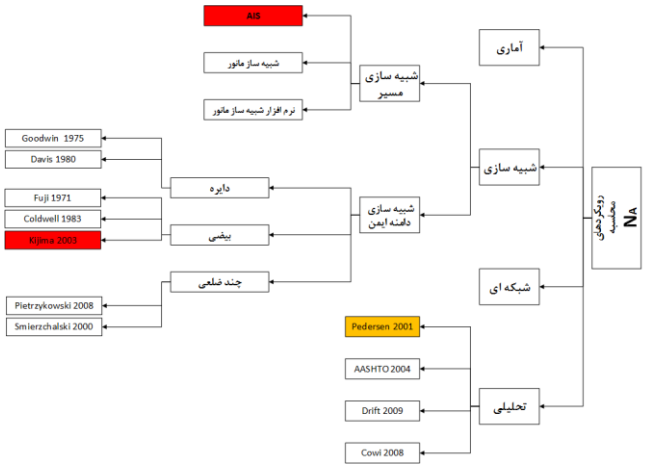
یکی از اصلی‌ترین اجزائی که در تعامل نزدیک با سیستم مدیریت ایمنی است، مدیریت ریسک می‌باشد. به‌طور مختصر، ارزیابی و تحلیل ریسک، مخاطرات موجود در سیستم را به‌خوبی شناسایی کرده و سیستم مدیریت ایمنی این مخاطرات را مدیریت می‌نماید. درواقع می‌توان گفت سیستم مدیریت ایمنی مجری چرخه مدیریت ریسک در هر سازمان است. سیستم مدیریت ایمنی همانند یک چرخه تکراری است که نتایج و خروجی‌های مدیریت و ارزیابی ریسک را وارد سیستم مدیریت جامع می‌کند. سابق بر این مدیریت ایمنی در سیستم‌ها بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی و تحلیل سوانح به وقوع پیوسته صورت می‌گرفت ولی بر اساس نگرش جدید سیستم مدیریت ایمنی، ارزیابی‌ها و تحلیل‌های غیر واکنشی و پیشگیرانه برای مدیریت ایمنی سیستم ضروری می‌باشد. مدیریت ریسک یکی از ابزارهای لازم است که در اغلب سیستم‌های مدیریت ایمنی به‌عنوان پشتیبان تصمیم به کار می‌رود.

۲ – مدلسازی فرکانس برخورد

احتمال وقوع برخورد، بر اساس مطالعات فوجی و همکاران[۱] و مک داف[۲] بر مبنای تعداد نقاط مستعد برخورد (N_A) و علت برخورد (P_C) محاسبه می‌شود.

درواقع N_A نشان‌دهنده تعداد برخوردهایی است با فرض اینکه هیچ‌گونه حرکتی برای جلوگیری از آن انجام نشود. P_C نیز درواقع احتمال وقوع خطا در انجام عواملی است که از وقوع برخورد جلوگیری می‌کنند. لازم به ذکر است که برای تحلیل سوانح دریایی می‌توان هر شناور را به‌تنهایی (بدون در نظر گرفتن دیگر شناورها) و به‌صورت جمعی (اندرکنش با دیگر شناورها در بستر ترافیکی) بررسی کرد. طبیعتاً برای دستیابی به بینش قابل‌قبول از وضعیت موجود باید به‌صورت جمعی به شناورها نگاه کرد. در برآورد ریسک وضعیت ترافیک جانبی اطراف شناور از اهمیت فراوانی برخوردار است. در گذشته برای تخمین وضعیت ترافیک شناورها، از توزیع نرمال یا پواسون استفاده می‌شد که قطعاً دارای خطای فراوانی بوده است[۳]. با پیشرفت تکنولوژی و ظهور فناوری AIS[۱]، ترافیک شناورها به‌صورت لحظه‌ای در دسترس خواهد بود.

مطالعات بسیاری جهت مدل‌سازی این دو مولفه صورت گرفته است. در ادامه، نخست N_A و در ادامه به P_C پرداخته شده است.



شکل ۱- رویکردهای چهار گانه شناسایی نقاط مستعد برخورد

۳ – تعداد نقاط مستعد برخورد

۳-۱- رویکرد آماری

بدیهی است ساده‌ترین روش برای تحلیل ریسک، تحلیل آماری ریسک است. این تحلیل بر داده‌های حوادث پیشین استوار است. این روش دو ضعف عمده دارد. اولی در دسترس نبودن داده‌ها و دلیل دوم و شاید مهم‌تر این است که این تحلیل فقط بر پایه حوادث گذشته استوار است و کاربردی برای پیش‌بینی حوادث آینده نخواهد داشت. لذا حتی اگر آمار مناسب ازلحاظ کیفیت و کمیت هم موجود باشد، این تحلیل کاربردی نخواهد بود. هرچند دلایل حوادث، معمولاً از این تحلیل به دست می‌آیند: برای مثال خطای انسانی ۶۴ درصد، ازکارافتادن فنی ۲۱ درصد و شرایط ویژه سهم ۱۵ درصدی در حوادث داشته‌اند. مثال دیگری از این روش :مطالعه برخورد شناورها به پایه پل که در سال ۲۰۰۱ توسط PIANC انجام شد[۴].

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

مزیت اصلی این روش سادگی و قابل‌فهم بودن روند آن است. همچنین اگر داده‌ها به‌صورت مناسب ثبت‌شده باشند، می‌توان تحلیل مناسبی بر روی عوامل حادثه انجام داد. عیب اصلی این روش در دسترس نبودن داده‌های مناسب ازلحاظ کیفیت و کمیت است. به‌علاوه این روش، بینش مناسبی نسبت به حوادث پیش رو به دست نمی‌دهد. چه‌بسا در منطقه‌ای حادثه رخ نداده باشد ولی آن منطقه ازلحاظ ریسک حادثه قابل‌توجه باشد.

۳-۲- رویکرد تحلیلی

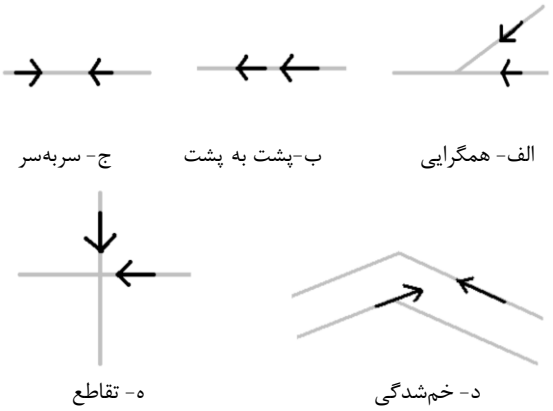
برتری این رویکرد نسبت به رویکرد آماری در دست بودن روابطی مشخص است. این روابط، بر اساس داده‌های ثبت‌شده در منطقه‌ای خاص به دست آمده‌اند. استفاده از آن‌ها در منطقه‌ای دیگر، نیاز به بحث و بررسی دارد و اطمینانی در این مورد وجود ندارد. این روابط بیشتر در جانمایی پل‌ها، به‌منظور جلوگیری از برخورد شناورها به پایه پل، استفاده می‌شوند[۵].

روش‌های مطرح این بخش در جدول ۱ نام‌برده شده‌اند. همچنین عوامل مؤثر بر تحلیل در آن‌ها مشخص‌شده است. کاربرد مهم این روش، مقایسه بین آبراهه‌ها از دید تحلیل ریسک برخورد، به‌طور نسبی است. برای مثال می‌توان تخمینی از مقدار ریسک، در صورت تغییر مسیر آبراهه را با استفاده از این روش محاسبه کرد.

جدول ۱- روش‌های تحلیلی و عوامل مؤثر بر آن‌ها

مدل/عامل	سال	دهانه پل	ابعاد شناور	میدان دید	جزر و مد	جریان	باد
Kunz[6]	۱۹۹۸	■					
EuroCode[7]	۱۹۹۸			■			
Pedersen[3, 8]	۱۹۹۵-۲۰۰۲		■				
AASHTO[5]	۲۰۰۴		■				
Three Random Variables[9]	۲۰۰۸		■	■			
Drift[10]	۲۰۰۹		■		■	■	■

در ادامه مدل Pedersen به‌عنوان پرکاربردترین مدل بیشتر تشریح شده است[۳]. در این مدل ۵ سناریو برای برخورد تعریف شده است که در ارائه گردیده‌اند.



شکل ۲- سناریوهای برخورد در مدل Pedersen [۳]

جهت محاسبه تعداد نقاط برخورد در این روش از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$N_A = \frac{\sqrt{\Pi}}{2}\sum_i \sum_j \frac{{Q_i}^2 {Q_j}^2}{V_i V_j}.f_i.f_j.V_{ij}D_{ij}.dA.\Delta t \qquad (۱)$$

متغیرهای این رابطه به شرح زیر هستند:

Q_i و Q_j: چگالی شناورها در هر آبراه،

V_i و V_j: سرعت دو شناور،

f_i و f_j: توزیع نرمال نسبی ترافیک شناورها در دو مسیر،

V_{ij}: سرعت نسبی دو شناور(حاصل جمع برداری سرعت آن‌ها)،

D_{ij}: قطر هندسی برخورد (عامل شبیه‌سازی مانور با خطای بالا)

در محاسبه قطر هندسی برخورد، طول و عرض شناور، طول و عرض آبراه و همچنین زاویه دو آبراه نسبت به یکدیگر لحاظ می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضعف اصلی این رابطه، تخمین زدن ترافیک جانبی آبراه با استفاده از تابع نرمال است که خطای زیادی را وارد محاسبات خواهد کرد. مطالعاتی با استفاده از این مدل، به‌منظور بررسی ریسک برخورد شناورها به پایه توربین‌های بادی در مزارع بادی انجام‌شده است[۱۱].

در سال ۲۰۱۱، مونتکا، با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر مانور شناور در عامل قطر هندسی برخورد، مدلی برای مطالعه پدیده برخورد شناورهای رو-رو در خلیج فنلاند ایجاد کرد[۱۲].

ضعف اصلی این دسته از روش‌ها، به دست آمدن روابط آن‌ها بر پایه روابط در مکانی خاص هستند. بدیهی است استفاده از این روابط در مکانی دیگر، عدم قطعیت‌های قابل‌توجهی را وارد چرخه تحلیل ریسک خواهد کرد. ضعف دیگر این روش، در نظر گرفتن عواملی اندک از وضعیت واقعی شناور و آبراه است. درواقع از این دسته از روش‌ها می‌توان به‌عنوان حالت ساده‌شده تحلیل ریسک برخورد استفاده کرد. مزیت این روش‌ها، به دست آوردن تخمین اولیه از وضعیت ریسک آبراه‌ها است و در تعیین اولیه طول دهانه پل‌هایی که بر روی آبراه‌ها ساخته می‌شوند به کار می‌رود. مطرح‌ترین روش در این زمینه، مدل آشتو است[۵].

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

۳-۳- روش‌های شبکه‌ای

این روش‌ها بر پایه اطلاعات ثبت‌شده حوادث پیشین، شبکه‌هایی را ایجاد و با استفاده از داده‌ها، شبکه را آموزش می‌دهند. برای مثال با ۸۰ درصد داده‌ها، شبکه را آموزی می‌دهند و با ۲۰ درصد باقیمانده، شبکه را امتحان می‌کنند.

۳-۳-۱- درخت خطا و درخت رویداد

روش درخت خطا، با رویکردی استنتاجی، کلیه مسیرهای ممکنی را که می‌توانند منجر به وقوع پیشامد نامطلوب اصلی گردد، شناسایی کرده و ضمن تعیین احتمال وقوع پیشامد اصلی، ارزیابی‌ای را بر روی پیشامدهای پایانی ارائه می‌نماید. در سویی دیگر، روش درخت رویداد، با رویکردی استقرایی، کلیه سناریوهای ناشی از وقوع پیشامدی مشخص را مورد بررسی قرار می‌دهد و ضمن تعیین وقوع کلیه پیامدهای ممکن ناشی از وقوع ریسکی مشخص، این امکان را مهیا می‌کند که تحلیلگر با درک مسیرهایی که به وقوع پیامدهایی مشخص می‌انجامند، اقدام مناسب را برای کاهش احتمال پیامدی نامطلوب اتخاذ نماید. در واقع می‌توان گفت روش درخت خطا، از دلایل وقوع به پیشامد می‌رسد، در حالی که روش درخت رویداد، عکس روش درخت خطا، از پیشامدها به دلایل وقوع می‌رسد. از آنجا که در روش درخت رویداد، دلایل حادثه به تفکیک مشخص می‌شوند، کاربرد آن در مرحله مدیریت ریسک بیشتر خواهد بود.

در سال ۲۰۰۰، با استفاده از داده‌های ثبت‌شده در پروژه "ایمنی کشتی‌رانی در آب‌های ساحلی" که توسط اتحادیه اروپا انجام شده بود، ریسک برخورد و به گل نشستن شناورها در منطقه خلیج فنلاند با استفاده از روش درخت رویداد محاسبه گردید[۹]. البته، این داده‌ها تنها حوادث بسیار جدی را شامل می‌شدند. بنابراین، نتایج حاصل از تحلیل، مقدار ریسک را بیش از حد معمول (بین ۲ تا ۵ برابر) نشان دادند. همچنین در سال ۲۰۰۶، تحلیل ریسکی با استفاده از روش درخت خطا، برای شناورهای RoPax در بنادر پرتغال انجام شد[۱۳].

۳-۳-۲- شبکه عصبی

این مدل در سال ۲۰۰۶ و در سال ۲۰۱۱، برای طراحی کشتی‌ها بر اساس ریسک برخورد امتحان شد. نیاز به داده ثبت‌شده با حجم بالا برای رسیدن به جواب مناسب و قابل‌اتکا از مهم‌ترین معایب این روش است.

۳-۴- رویکرد شبیه‌سازی

با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی ترافیک، نقص نیاز جدی به آمار و داده در رویکردهای پیشین تا حدودی برطرف شده است. در این رویکرد، اطلاعات و داده‌های اولیه شامل مسیر و کیفیت حرکت کشتی‌ها از روش‌های احصاء مسیر شناور شامل مدل‌سازی مانور، شبیه‌سازی هدایت کشتی و یا داده‌های واقعیAIS تهیه‌شده و در اختیار قرار می‌گیرد. بدین ترتیب، امکان تحلیل اثر متقابل شناورها - در مقایسه با رویکردهای پیشین - بیشتر فراهم می‌گردد. درنهایت، با استفاده از روش‌های شناسایی برخورد، مقدمات تحلیل ریسک فراهم می‌گردد. در ادامه، ابتدا توضیح مختصری در مورد داده‌های AIS داده‌شده است. سپس دو روش احصاء مسیر شناور و سه روش اصلی مورد استفاده بر مبنای شبیه‌سازی، مرور گردیده است.

۳-۴-۱- روش‌های احصاء مسیر شناور

۳-۴-۱-۱- داده‌های AIS

دستگاه AIS نصب‌شده بر کشتی قادر است اطلاعات تعیین‌شده را به‌صورت دائمی به سایر شناورها و ایستگاه‌های کنترل ترافیک ساحلی (VTS) ارسال نموده و همچنین اطلاعات ارسالی از سایر شناورها را دریافت نماید. اطلاعات دریافتی می‌توانند بر روی صفحه نمایشگر کامپیوترهای شخصی، صفحه نمایشگر سیستم‌های ECDIS (نمایشگر نقشه و داده‌های الکترونیکی) و یا رادار نمایش داده شوند . بر اساس قوانین SOLAS کلیه کشتی‌های مسافربری، نفت‌کش‌ها و سایر کشتی‌ها می‌بایست قبل از تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۷ به این سیستم مجهز گردند. بر اساس همین قوانین کلیه شناورهای ترددکننده در آب‌های داخلی نیز می‌بایست تا قبل از ۱ جولای ۲۰۰۸ به سیستم AIS مجهز می‌شدند.

۳-۴-۱-۲- روش شبیه‌سازی هدایت کشتی

شبیه‌ساز هدایت کشتی، مجموعه‌ای کامپیوتری می‌باشد که با استفاده از شبیه‌سازی هیدرودینامیکی و شبیه‌سازی شرایط محیطی به‌طور کامل و شبیه‌سازی پل فرماندهی، وضعیت ناوبری دقیقی را استخراج می‌کند.. از این نوع شبیه‌سازها برای آموزش دریانوردان، استخراج دستورالعمل مانور و طراحی بنادر استفاده می‌شود. حسن اصلی این روش، شبیه‌سازی عامل انسانی و تأثیر آن بر مسیر شناور است. بدین ترتیب و برای تحلیل برخورد شناور به پل این روش بسیار نزدیک به واقعیت است[۱۴]. نمونه‌ای از محیط این دستگاه برای شناور کانتینری در نمایش داده‌شده است.

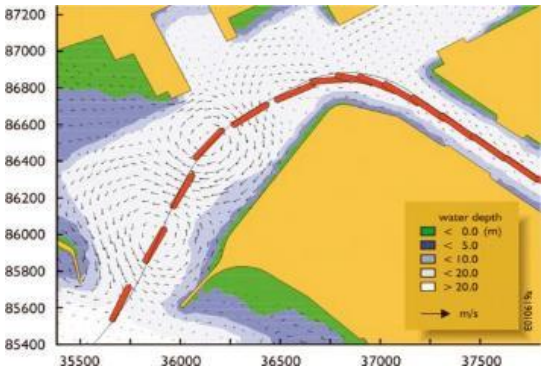
۳-۴-۱-۳- روش مدل‌سازی مانور با استفاده از نرم‌افزار

حرکت شناور در دریا را می‌توان با استفاده از ضرایب هیدرودینامیکی و با در نظر گرفتن اثرات سکان، پروانه و حتی تغییر عمق و یا هدایت شناورهای یدک‌کش مدل‌سازی نمود. این روش، به‌عنوان راهی ارزان بیشتر برای شبیه‌سازی ترافیک بندی و

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

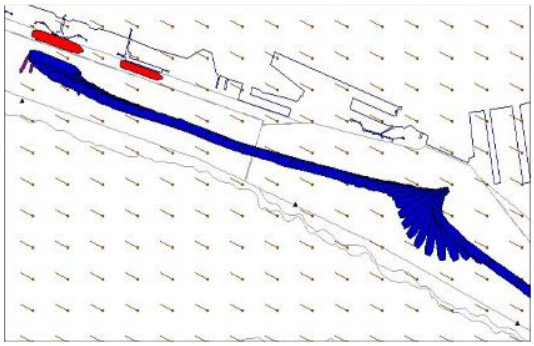
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

تحلیل ریسک حوضچه بنادر کاربرد دارد. نرم‌افزارهای متعددی نیز مانند SHIPMA در این زمینه وجود دارند، که به‌منظور تدقیق طراحی هندسی آبراهه‌ها و حوضچه‌ها در بنادر جدید از آن‌ها استفاده می‌شود. این نرم‌افزار توسط مرکز تحقیقات دریایی هلند در سال ۲۰۱۳ پایه‌گذاری شده است[۱۸]. با استفاده از این نرم‌افزارها که حتی برخی از آن‌ها مانور پهلوگیری و جدا شدن شناور از اسکله را به‌صورت هوشمندانه و خودکار و با در نظر گرفتن تمامی شرایط محیطی انجام می‌دهند، می‌توان مسیر حرکت شناورها در یک منطقه مشخص را مدل‌سازی کرده و با استفاده از روش‌هایی از قبیل مونت‌کارلو، سناریوهای حرکت را تولید کرده و درنهایت به تحلیل ریسک پرداخت.



شکل ۳- محیط نرم‌افزار SHIPMA[18]

استفاده از این روش، در مطالعات بندر باهیابلانکا در کشور آرژانتین صورت گرفته است[۱۹]. در این مطالعات، نحوه مانور شناورها و پهلودهی آن‌ها به‌منظور بهبود عملکرد بندر با توجه به ریسک برخورد شناورها مدل‌سازی شده است و نمونه‌ای از شبیه‌سازی آن در نمایش داده‌شده است.



شکل ۴- مطالعه انجام‌شده توسط نرم‌افزار SHIPMA در آرژانتین [۱۹]

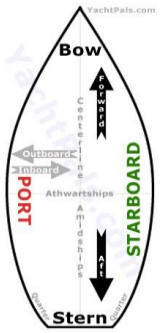
۳-۵- دامنه ایمن

مفهوم دامنه ایمن، ابتدا در سال ۱۹۷۰ توسط فوجی دانشمند ژاپنی مطرح شد[۲۰]. مطالعات به‌منظور بهبود این مفهوم تاکنون توسط محققان بسیاری پیگیری شده است. استفاده از این مفهوم در زمینه‌های مختلفی مانند مطالعات ترافیکی، شبیه‌سازی ترافیکی و مسیریابی شناورها صورت گرفته است[۲۱, ۲۲]. تعریف مشخص و یکپارچگی در میان مطالعات صورت گرفته وجود ندارد و شاید بتوان دلیل آن را عدم اشاره مستقیم به آن در آیین‌نامه‌ها و استانداردهای موجود دانست، ولی در تحلیل ریسک برخورد شناورها، این مفهوم از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد[۲۳, ۲۴]. بهترین و جامع‌ترین تعریف از این مفهوم توسط گودوین ارائه شده است: دامنه ایمن، ناحیه‌ای اطراف شناور است که مسئول آن شناور تمایل دارد آن منطقه خالی از شناورهای دیگر و یا اجسام ثابت باشد[۲۵].

تمامی مدل‌ها، بیشتر بر روی تعیین شکل هندسی دامنه‌های ایمن متمرکز بودند و بیشتر هدف آن‌ها درک مفهوم دامنه ایمن بوده تا کاربرد آن‌ها در محاسبات. ایجاد روابط ریاضی تحلیلی برای این اشکال هندسی، امری بسیار مهم درزمینه کاربرد هر چه بیشتر این مفهوم در تحلیل ریسک حمل‌ونقل دریایی بوده است و این روند در منبع [۲۶] به‌تفصیل بررسی شده است.

در برخی از مدل‌ها دو نوع کلی از این مفهوم ارائه شده است. دامنه ایمن یا دامنه مؤثر، با مساحتی کوچک‌تر، به‌عنوان بخشی که اکیداً باید از شناورهای دیگر یا اجسام ثابت خالی باشد. نوع دیگر، پهنه ایمن یا دامنه معقول است که مساحت آن از مساحت نوع قبل بیشتر است. این نوع دامنه، به دلیل ابعاد بزرگ‌تر آن می‌تواند شامل شناورهای دیگر یا اجسام ثابت باشد ولی در صورت وجود این موارد، شناور میزبان نیاز به تصمیم‌گیری درباره تغییر مسیر دارد[۱, ۲۶-۲۸].

در ادامه، دامنه‌های ایمن بر اساس شکل هندسی آن‌ها دسته‌بندی شده است و روابط مربوط به هر بخش بیان شده است. نام‌گذاری قسمت‌های مختلف شناور، که در ادامه مورداستفاده قرار خواهد گرفت، در نمایش داده شده است.



شکل ۵- نام‌گذاری قسمت‌های ۴گانه شناور

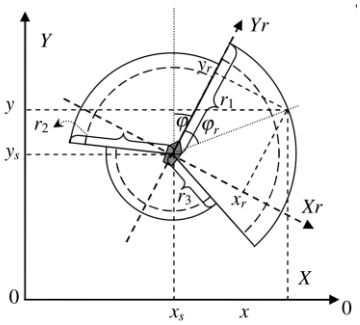
۳-۵-۱-دامنه‌های دایره‌ای

اولین مدل در این بخش، در سال ۱۹۷۵ توسط گودوین توسعه داده شد. این مدل، با استفاده از مشاهدات ترافیکی در آبراهه‌های انگلستان به‌دست‌آمده است. این مدل شامل ۳ قطاع دایره با

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

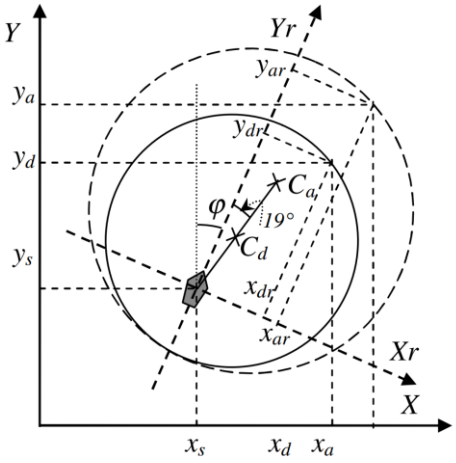
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

شعاع‌های مختلف هست به‌نحوی‌که دو قطاعی که در قسمت سینه شناور قرار دارند شعاع بزرگ‌تری دارند. میزان شعاع قطاع‌های ۳ گانه این مدل برای شناورهای مختلف ثابت است و این امر را می‌توان بزرگ‌ترین نقص این شبیه‌سازی برشمرد[۲۵]. دایره گودوین در نمایش داده‌شده است.



شکل ۶- دامنه ایمن دایره‌ای Goodwin

مدل دیویس، دایره‌ای کامل را برای دامنه ایمنی در نظر گرفت. مساحت این دایره کامل با مجموع مساحت ۳ قطاع مدل Goodwin برابر می‌باشد. نکته مهم در این مدل، خروج از مرکزیت اضافه‌شده به مرکز دایره هست. درواقع با این خروج از مرکزیت، به علت دید بهتر در منطقه Bow، سهم بیشتری به آن اختصاص داده‌شده است. همچنین Davis علاوه بر معرفی دامنه ایمن[۲]، مفهومی به نام "پهنه ایمن[۳]" نیز معرفی کرد که دایره‌ای به شعاع بزرگ‌تر از دامنه ایمن می‌باشد. هنگامی‌که شناور دیگری در این ناحیه قرار می‌گیرد، شناور میزبان نیاز به تصمیم‌گیری و هوشیاری دارد تا بتواند با توجه به فواصل و شرایط بهترین تصمیم بگیرد[۲۸, ۲۹]. در خط کامل نمایشگر دامنه ایمن و خطوط نقطه‌چین بیانگر پهنه ایمن می‌باشند.



شکل ۷- دامنه و پهنه ایمن Davis

در ادامه توسعه مدل‌های دایره‌ای، Zhao در سال ۱۹۹۳، مدلی همانند Davis ایجاد نمود با این تفاوت که میزان شعاع‌های دامنه و پهنه ایمن متفاوت است و خروج از مرکزیتی نیز در نظر گرفته نشده است[۳۰].

آخرین مدل در سال ۲۰۰۱ توسط Zhu، با استفاده از شبکه‌های عصبی با استفاده از آمارهای بسیار زیاد موجود برای آموزش شبکه عصبی، توسعه داده‌شده است. این مدل عواملی مانند میدان دید، مانور شناور و موقعیت‌های مختلف شناور مقابل نسبت به شناور میزبان را در شبیه‌سازی تأثیر داده است[۳۱]. علیرغم در نظر گرفتن این موارد، امکان استفاده از این مدل موجود نیست چراکه برای هر شناور نیاز به مقادیر بسیار زیادی اطلاعات برای آموزش شبکه عصبی می‌باشد[۲۶].

مقادیر هندسی این مدل‌ها در آمده است:

جدول ۲- مقادیر هندسی دامنه‌های ایمن دایره‌ای (برحسب مایل دریایی)

مدل	Goodwin	Davis(domain)	Davis(arena)	Zhao(domain)	Zhao(arena)
r1	۰/۸۵	۱/۷	۲/۷	۰/۶۸	۰/۸۵
r2	۰/۷۰	۱/۷	۲/۷	۰/۵۶	۰/۷۰
r3	۰/۴۵	۱/۷	۲/۷	۰/۳۶	۰/۴۵
d	۰	۰/۷	۱/۷	۰	۰

همان‌گونه که در جدول بالا مشاهده می‌شود، مقادیر مدل Davis، بسیار محافظه‌کارانه می‌باشد و در مقابل مقادیر مدل Zhao، کمترین شعاع برای دامنه‌ی ایمن را ارائه کرده است. نکته قابل‌توجه این است که هیچ‌کدام از مدل‌های دایره‌ای، اثرات طول و سرعت شناور را در برنمی‌گیرند و شاید بتوان زمان توسعه آن‌ها را دلیل اصلی این امر دانست. به‌کارگیری این ابعاد ثابت، برای شناورهای با ابعاد متفاوت و سرعت‌های مختلف در شرایط گوناگون، قطعاً باعث بروز خطای بسیار زیادی در مراحل بعدی شناسایی نقاط برخورد خواهد شد. لذا استفاده از این مدل‌ها در این مطالعه توجیهی نخواهد داشت.

روابط مورداستفاده در این بخش در ادامه آمده است:

$$\begin{cases} x_t = x_s + d_t \sin(\theta + 19) \\ y_t = y_s + d_t \cos(\theta + 19) \end{cases} \quad (۲)$$

$$\begin{cases} x_{t,r} = (x - x_t)\cos\theta - (y - y_t)\sin\theta \\ y_{t,r} = (x - x_t)\sin\theta + (y - y_t)\cos\theta \end{cases} \quad (۳)$$

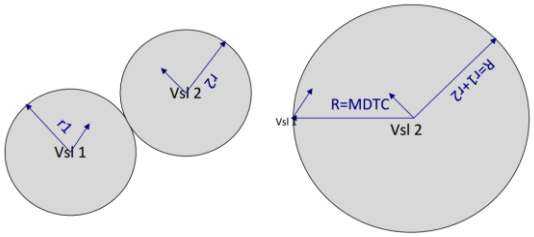
$$\theta_t = \begin{cases} \arccos \dfrac{y_{t,r}}{\sqrt{x_{t,r}^2 + y_{t,r}^2}} & x_{t,r} \geq 0 \\ 360 - \arccos \dfrac{y_{t,r}}{\sqrt{x_{t,r}^2 + y_{t,r}^2}} & x_{t,r} < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

$$f_{circle}(x,y)=\begin{cases}(x-x_t)^2+(y-y_t)^2-r_{t,1}^2 & if\ \ 0<\theta_t<112.5\\ (x-x_t)^2+(y-y_t)^2-r_{t,2}^2 & if\ \ 247.5<\theta_t<360\\ (x-x_t)^2+(y-y_t)^2-r_{t,3}^2 & if\ \ 112.5<\theta_t<247.5\end{cases} \quad (۵)$$

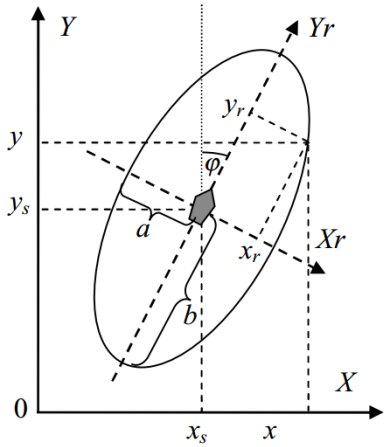
در مطالعاتی باهدف ارزیابی ایمنی دریایی خلیج فنلاند، با استفاده از شبیه‌سازی‌های هیدرودینامیکی و بهبود کیفیت مفهوم دایره ایمن، شناورها به‌صورت دیسک‌هایی در نظر گرفته‌شده و ابعاد دیسک‌ها درنهایت به‌عنوان پارامتر قطر هندسی در رابطه پدرسون که پیش از این توضیح داده شد، استفاده شده است[۱۲, ۳۲, ۳۳].



شکل ۸- دایره ایمن استفاده‌شده در مطالعات ایمنی خلیج فنلاند[۱۲]

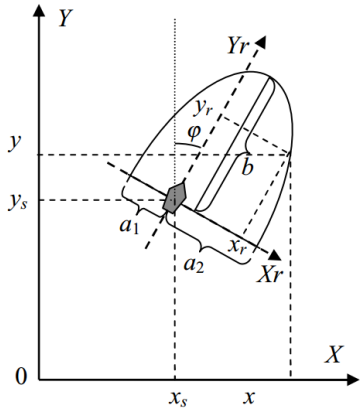
۳-۵-۲- دامنه‌های بیضی‌شکل

اولین مدل بیضی‌شکل توسط اولین مدل بیضی‌شکل توسط فوجی در سال ۱۹۷۴ تدوین شد. این مدل با استفاده از اندازه‌گیری سرعت و فاصله میان تعداد قابل‌توجهی شناور در آبراه‌های ژاپن و با استفاده از روش‌های آماری این مدل را توسعه داد. شناور دقیقاً در مرکز بیضی قرار دارد. نکته قابل‌توجه در این مدل، تعیین طول قطرهای بزرگ و کوچک دامنه ایمن بر اساس طول شناور می‌باشد[۱, ۲۰]. این مدل فقط دامنه ایمن یا دامنه مؤثر را در نظر گرفته است که در نمایش داده شده است.



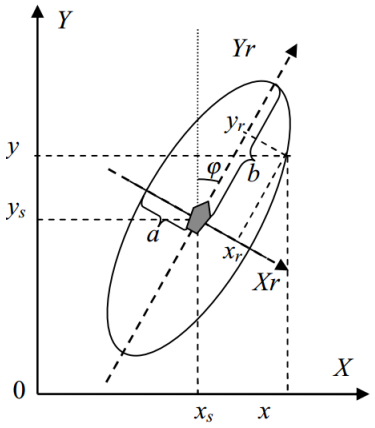
شکل ۹- دامنه ایمن بیضی‌شکل Fujii

پس از این مدل کولدول، در سال ۱۹۸۳ پدید آمده است[۳۴]. روش توسعه این مدل همانند حالت قبلی، با استفاده از روش‌های آماری و پایش حجم زیادی از اطلاعات بوده است.در این روش، دو حالت متفاوت وضعیت شناور میزبان و مقابل، جداگانه بررسی شده است. حالت اول، حالت Head-on می‌باشد که شناورها از روبه‌رو به یکدیگر نزدیک می‌شوند. در این حالت، فقط بخش دماغه، در دامنه ایمنی منظور شده است. در ضمن، همانند مدل‌های دایره‌ای، خروج از مرکزیت نیز در این مدل وجود دارد. این حالت نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- مدل بیضی‌شکل کولدول- حالت Heaed-on

حالت دیگر این مدل، بر اساس نحوه نزدیک شدن دو شناور، حالت نزدیک شدن شناوری از پشت به شناور میزبان) می‌باشد. در این حالت، شکل کلی بیضی کامل خواهد بود. مقادیر قطرهای بیضی در این حالت با حالت Head-on متفاوت می‌باشد. در این حالت، خروج از مرکزیتی وجود نخواهد داشت.



شکل ۱۱- مدل بیضی‌شکل کولدول- حالت OverTaking

در دو مدل بیضی‌شکل ذکرشده، قوانین پیشگیری از برخورد[۳۵]، لحاظ شده است[۳۶].

$$\begin{cases}x_t=x_s+d_t\sin(\theta+90)\\ y_t=y_s+d_t\cos(\theta+90)\end{cases} \quad (۶)$$

$$\begin{cases}x_{t,r}=(x-x_t)\cos\theta-(y-y_t)\sin\theta\\ y_{t,r}=(x-x_t)\sin\theta+(y-y_t)\cos\theta\end{cases} \quad (۷)$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

$$\theta_t = \begin{cases} \arccos \dfrac{y_{t,r}}{\sqrt{x_{t,r}^2 + y_{t,r}^2}} & x_{t,r} \geq 0 \\ 360 - \arccos \dfrac{y_{t,r}}{\sqrt{x_{t,r}^2 + y_{t,r}^2}} & x_{t,r} < 0 \end{cases} \quad (۸)$$

$$f_{ellipse}(x,y) = \begin{cases} (\dfrac{x-x_t}{s_t})^2 + (\dfrac{y-y_t}{R_{t,f}})^2 - 1 \\ if \;\; 0 < \theta_t < 90 \;\; or \;\; 270 < \theta_t < 360 \\ (\dfrac{x-x_t}{s_t})^2 + (\dfrac{y-y_t}{R_{t,a}})^2 - 1 \\ if \;\; 90 < \theta_t < 270 \end{cases} \quad (۹)$$

حالت خاص مدل کیجیما:

$$\begin{cases} R_{wf} = L + 2(R_{bf} - L) \\ R_{wa} = L + 2(R_{ba} - L) \\ S_w = B + 2(S_b - B) \end{cases} \quad (۱۰)$$

$$\begin{cases} R_{bf} = L + (1+s)T_{90}U \\ R_{ba} = L + T_{90}U \\ S_b = B + (1+t)D_T \end{cases} \quad (۱۱)$$

$$T\,90 = 0.67\sqrt{A_D^2 + (D_T/2)^2/U} \quad (۱۲)$$

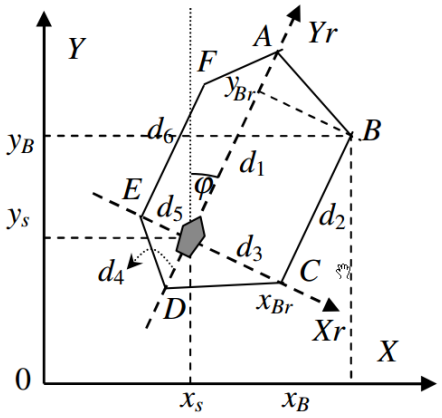
$$\begin{cases} A_D = L.\exp(0.3591 \log U + 0.0952) \\ D_T = L.\exp(0.5441 \log U - 0.0795) \end{cases} \quad (۱۳)$$

$$\begin{cases} s = 2 - (U - U_T)/U, t = 1 & Head-on \\ s = 2 - \alpha/\pi, t = \alpha/\pi & Cross\ sing \\ s = 1, t = 1 & Overtaking \end{cases} \quad (۱۴)$$

۳-۵-۳- دامنه‌های چندضلعی

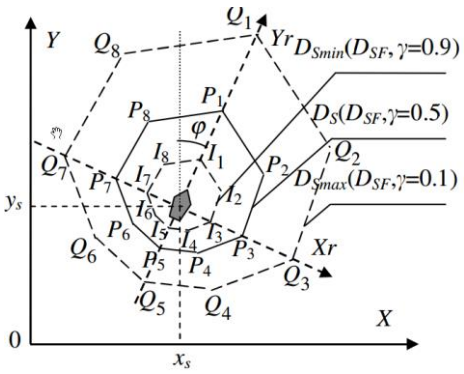
در سال‌های اخیر، اشکال چندضلعی به‌عنوان شکل هندسی دامنه ایمن موردبررسی قرار گرفته است[۳۷-۳۹]. این‌گونه از دامنه‌ها عواملی مانند ابعاد و سرعت شناور را در نظر می‌گیرند و به همین دلیل از ماهیتی پویا برخوردارند.

اولین مدل، توسط اسمیرچالسکی توسعه یافت که از شش‌ضلعی استفاده می‌کند[۳۷, ۳۸]. در محاسبات، از عوامل شناور میزبان و شناور مقابل استفاده می‌کند. با استفاده از معادلات، امکان محاسبه دقیق ابعاد دامنه ایمن مهیا می‌شود.



شکل ۱۲- مدل شش‌ضلعی اسمیرچالسکی

مدل دیگر، توسط پیترکوفسکی در سال ۲۰۰۹ توسعه یافت[۳۹]. در این مدل برخلاف مدل قبلی از شکل هشت‌ضلعی استفاده شده است. این مدل بر اساس نظر متخصصین و مشاهدات عینی در آب‌های لهستان به‌دست‌آمده است. مدل مذکور، در آب‌های آزاد کاربرد دارد و استفاده از آن در آبراه‌ها منطقی نخواهد بود. ابعاد این دامنه، ثابت می‌باشد و مقدار آن برابر با بزرگ‌ترین شناور مشاهده شده در تحقیقات مربوطه می‌باشد. این امر نقصی بسیار بزرگ برای این مدل محسوب می‌شود چراکه با در نظر گرفتن بزرگ‌ترین دامنه ایمن برای دیگر شناورها، استفاده از آن در تحلیل ریسک، مقادیر دست‌بالایی ایجاد خواهد کرد.



شکل ۱۳- مدل هشت‌ضلعی Pietrzykowski

معادلات این دسته از دامنه‌ها در ادامه آورده شده است:

$$f_{polygon}(x,y) = \max\{mark_i, i = 1,2,...,n\} \quad (۱۵)$$

$$\begin{cases} x_i = x_s + x_{i,r}\cos\varphi + y_{i,r}\sin\varphi \\ y_i = y_s + y_{i,r}\cos\varphi - x_{i,r}\sin\varphi \end{cases} \quad (۱۶)$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

$$\begin{cases} d_1 = LU_m^{1.26} + 30U_m \\ d_2 = T_{CPA0}U_m \\ d_3 = BU_m^{0.44}, d_3 > D_{CPA0} \\ d_4 = D_b/2 \;\; or \;\; d_4 = D_bE \\ d_5 = D_{CPA0}/2 \;\; or \;\; d_5 = D_{CPA0}E \\ d_6 = T_{CPA0}U_m \end{cases} \quad (۱۷)$$

$$E = U_{\mathrm{R}EL}/U \quad (۱۸)$$

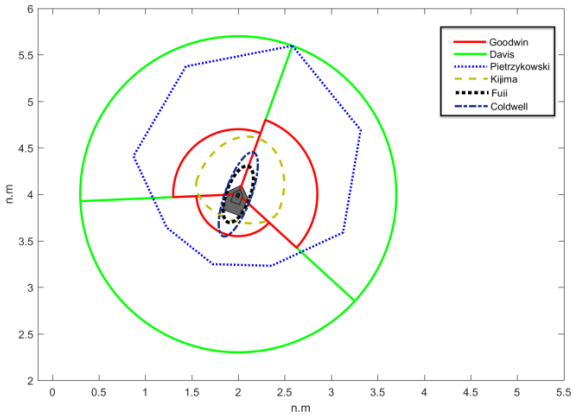
$$U_m = \max\{U, U_{REL}\} \quad (۱۹)$$

مقادیر استفاده شده در مدل‌های چندضلعی در برحسب مایل دریایی در جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۳- ابعاد دامنه ایمن چندضلعی (مایل دریایی)

مختصات نقاط	Smierzchalski[37]	Pietrzykowski[39]
$(x_{1,r}, y_{1,r})$	$(0, d_1)$	(0,1.7)
$(x_{2,r}, y_{2,r})$	(d_3, d_2)	(1,1.1)
$(x_{3,r}, y_{3,r})$	$(d_3, 0)$	(1.2,0)
$(x_{4,r}, y_{4,r})$	$(0, -d_4)$	(0.6,-0.6)
$(x_{5,r}, y_{5,r})$	$(-d_5, 0)$	(0,-0.8)
$(x_{6,r}, y_{6,r})$	$(-d_5, d_6)$	(-0.6,-0.6)
$(x_{7,r}, y_{7,r})$	-	(-1.2,0)
$(x_{8,r}, y_{8,r})$	-	(-1,1.1)

به‌منظور مقایسه میان مدل‌های ذکرشده، در تمامی مدل‌ها برای شناوری به طول ۱۰۰ متر و زاویه ۳۰ درجه رسم شده است.



شکل ۱۴- مقایسه میان مدل‌های دایره ایمن (مایل دریایی)

همان‌گونه که در مشاهده می‌شود، مدل‌های Davis و Pietrzykowski، ابعاد بسیار بزرگی برای دامنه ایمن به دست می‌دهند و درواقع حالتی محافظه‌کارانه برای محاسبه ریسک برخورد در نظر گرفته‌اند. مدل‌های Fuji و Coldwell نیز کوچک‌ترین ابعاد را برای دامنه ایمن به دست می‌دهند. مدل‌های Kijima و Goodwin حالتی میان دو حالت قبلی دارند و می‌توانند گزینه‌ای مناسب برای تحلیل باشند.

از سوی دیگر با استفاده از دامنه فازی که در بخش قبلی بررسی شد، می‌توان ابعاد این دامنه‌ها را تغییر داد و شرایط متنوعی، با توجه به درجه‌بندی ایمنی سیستم به وجود آورد.

کامل‌ترین مدل، با توجه به در نظر گرفتن پارامترهای مختلف، مدل Kijima می‌باشد. در این مدل سرعت دو شناور، زاویه دو شناور، طول و عرض شناور خودی، قابلیت مانور و آیین‌نامه پیشگیری از برخورد در نظر گرفته‌شده است. با اضافه کردن مفهوم فازی به این مدل، کامل‌ترین مدل موجود تولیدشده و در مراحل بعدی تحلیل ریسک مورداستفاده قرار خواهد گرفت.

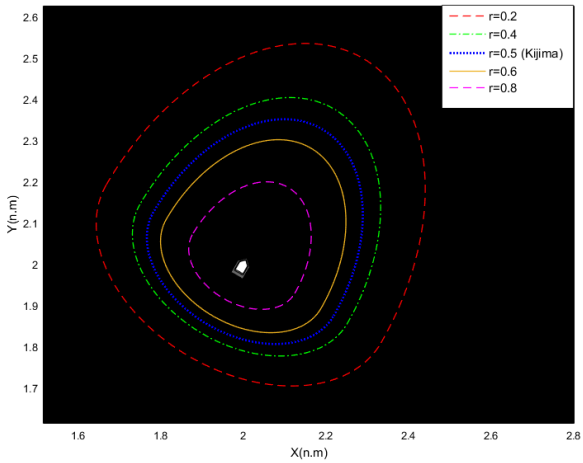
۳-۵-۳- دامنه ایمن فازی

دامنه‌هایی که تاکنون بررسی شدند، فضای اطراف شناور را به دو قسمت خطرناک و ایمن تقسیم می‌کردند. اگر شناور دیگر یا جسم ثابتی داخل دامنه ایمن قرار بگیرد، خطرناک محسوب می‌شود و اگر خارج از آن باشد، ایمن محسوب می‌شود. این در حالی است که گاهی نیاز است تا ناحیه اطراف شناور به تعداد بیشتر از ۲ منطقه تقسیم شود تا بتوان با استفاده از لغاتی ملموس برای افراد مختلف، مانند خطرناک، بسیار خطرناک، ایمن و یا بسیار ایمن، توصیف بهتر و روشن‌تری نسبت به این مفهوم ارائه داد.مفهوم فازی به‌منظور کاربرد آن در مبحث دامنه‌های ایمن اولین بار در سال ۱۹۹۳ معرفی شد[۳۰]. درواقع با استفاده از مفهوم فازی، کاربرد دامنه ایمن افزایش‌یافته و دریانوردان می‌توانند با تعریف مرزهای مشخص اطراف شناور، به ایمن نگه‌داشتن مناطق مشخصی از میان آن‌ها، اقدام کنند[۴۰].

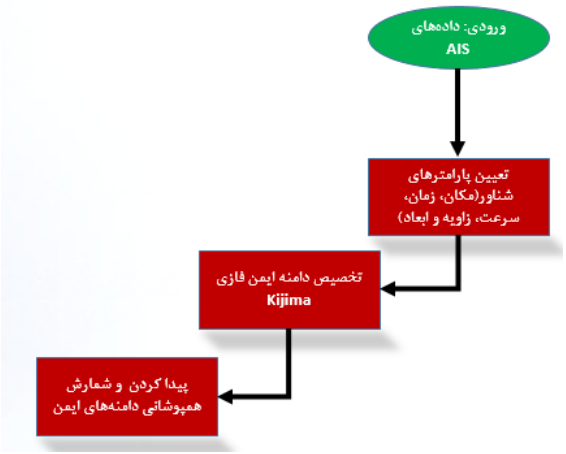
با انتخاب هرکدام از این مرزها، می‌توان وضعیت ایمنی متفاوتی را بررسی کرد و میزان ریسک مرتبط با آن را محاسبه کرد. مفهوم فازی را می‌توان بر روی تمامی دامنه‌های ذکرشده پیاده کرد. ولی در این بخش، به پیاده‌سازی مفهوم فازی بر روی مدل دامنه امن بیضی‌شکل کیجیما [۴۱] که کامل‌ترین مدل در میان مدل‌های موجود می‌باشد، پرداخته شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]



شکل ۱۵- دامنه فازی مدل Kijim



شکل ۱۶- الگوریتم کلی محاسبه نقاط مستعد برخورد

۴- عوامل برخورد

۴-۱- مقدمه

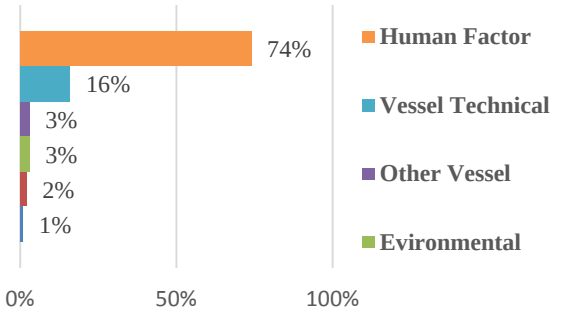
برای محاسبه عامل P_C ، دو روش عمده وجود دارد:

۱- استفاده از روش‌های درخت خطا و درخت تصمیم برای شبیه‌سازی عامل انسانی مؤثر بر آن[۴۲] .

۲- استفاده از شبکه‌های بایزین، با این تفاوت که در این روش، عواملی مانند میدان دید، روشنایی، سن کشتی، مهارت خدمه شناور و دیگر عوامل مؤثر بر آن قابل‌محاسبه خواهند بود.

به منظور بررسی عوامل موثر بر برخورد شناورها، ابتدا نیاز است تا این عوامل شناسایی شوند. بدین منظور از آمارهای موجود استفاده شده است. شناورهای مدرن امروزی، با توجه به فناوری پیشرفته موجود در آن‌ها، کمتر مستعد سوانح دریایی به دلیل نقص فنی هستند. به همین دلیل، امروزه تمرکز بیشتر بر روی مدل کردن خطای انسانی و نقش آن در سوانح دریایی معطوف است. ولی مدل کردن عامل انسانی در روند تحلیل کمی ریسک نیز دارای مشکلات و سختی‌ها خاص خود است و همچنان جز مطالعات اصلی محققین و شرکت‌های دریانوردی و کشتی‌رانی است[۴۳-۴۵].

همان‌گونه که در مشاهده می‌شود، نقش عامل انسانی، سهمی قابل‌توجه در رخ دادن برخورد دارد.



شکل ۱۷- سهم عوامل مختلف در پدیده برخورد[۴۶]

۴-۲- مروری بر ادبیات فنی

در اولین مطالعات مربوط به این پارامتر، فوجی احتمال "خطا در مانور شناور که باعث برخورد به شناور یا جسم ثابت می‌شود" ، در نظر گرفت. این مطالعه در آبراه‌های کشور ژاپن و با استفاده از آمار سوانح گذشته محاسبه‌شده است[۱]. مطالعات مکداف نیز با روشی مشابه در آبراه دوور در کشور انگلستان به عنوان باریک‌ترین آبراه این کشور انجام شده است[۲].

در گام بعدی مطالعه عوامل برخورد، روشهای پیشرفته‌تر تحلیل ریسک، یعنی درخت خطا مورد استفاده گرفت. در مطالعات پدرسون، روش درخت خطا، برای محاسبه این پارامتر استفاده شد. این روش، اگرچه در زمان خود پیشرف قابل توجهی محسوب می شد، ولی دارای محدودیتهای زیادی است. بزرگترین محدودیت آن امکان در نظر گرفتن تنها دو پارامتر به صورت همزمان می باشد. علاوه بر این هر پارامتر تنها می‌تواند دارای دو حالت باشد. به منظور در نظر گرفتن تمام عوامل تاثیرگذار، نیاز به ایجاد درختی بسیار بزرگ می‌باشد که خود نیاز به محاسبات بسیار سنگینی دارد[۳].

جدول ۴- مروری بر مطالعات گذشته محاسبه علت برخورد

مقدار Pc (e-04)	مکان	سال
۲	Japan	۱۹۷۳
۵/۱۸	Dover stratit	۱۹۷۴
۳/۱۵	Dover Strait	۱۹۷۴
۱/۱۱	Dover Strait	۱۹۷۴
۰/۹۵	Dover Strait	۱۹۷۴
۱/۳۰	Great Belt,Denmark	۱۹۹۵
۰/۲۷	Oresund,Denmark	۱۹۹۸
۰/۴۹	Japan	۱۹۹۸
۱/۲۳	Japan	۱۹۹۸
۱/۱۰	Japan	۱۹۹۸
-	نروژ	۲۰۰۶
۳	Danish Waters	۲۰۰۷
۱/۲	Strair of Gibraltar	۲۰۰۷

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

در سال ۲۰۰۶، استفاده از شبکه‌های بایزین در گام دوم FSA، به پیشنهاد کمیته ایمنی دریانوردی کشور ژاپن، در مجمع جهانی IMO به تصویب رسید[۴۷]. شرکت DNV نیز در این سال مدلی بسیار کامل برای استفاده از شبکه بایزین به منظور محاسبه علت برخورد ارائه کرد که به دلیل گستردگی آن و در نظر گرفتن تمامی شرایط، می‌توان با تغییر دادن توزیع گره‌ها، در مناطق دیگر نیز از این مدل استفاده کرد. از این سال به بعد، تمامی مطالعات انجام شده بر پایه مدل DNV بوده و بیشتر سعی بر پیاده‌سازی آن در مناطق دیگر بوده است[۳۳, ۴۶-۵۲]. لازم به ذکر است که نرم‌افزار IWRAP، به عنوان اصلی‌ترین نرم‌افزار موجود در زمینه تحلیل ریسک سوانح دریایی، نیز از این روش استفاده کرده است. (محاسبات در داخل نرم‌افزار انجام نمی‌شود ولی مقادیر پیش فرض آن در نرم‌افزار، با استفاده از این روش محاسبه شده‌اند[۵۳]).

۴-۳- شبکه بایزین

یک شبکه‌ی بایزین یا «شبکه باور» یا «شبکه باور بایزین» یک گراف جهت‌دار غیرمدور است که مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی و نحوه ارتباط مستقل آن‌ها را نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه یک شبکه بایزی می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط بین علت بیماری‌ها با خود آن‌ها باشد. پس با داشتن عوامل بتوان احتمال یک بیماری خاص را در یک مریض تشخیص داد.

شبکه بایزین یک ابزار نسبتاً جدید برای شناسایی (هویت) روابط احتمالی به‌منظور پیشگویی یا ارزیابی کلاس عضویت است.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت شبکه بایزین، نمایش با معنی روابط نامشخص مابین پارامترها در یک حوزه می‌باشد. شبکه بایزین، گراف جهت دار غیر حلقوی از نودها برای نمایش متغیرهای تصادفی و کمان‌ها برای نمایش روابط احتمالی مابین متغیرها به شمار می‌رود.

شبکه‌های بایزین درزمینه‌ی استدلال احتمالی به‌طور گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرند و به درخت متصل بر روی احتمالات استدلال شده تبدیل می‌شوند. شبکه‌های بایزین به تجزیه زیر گراف اصلی ماکزیمم درخت متصل تبدیل می‌شوند و بیشتر از درخت‌های متصل کاربرد دارند. شبکه بایزین عموماً به‌صورت آشکار با مقادیر اولیه قابل‌قبول و روابط مابین متغیرها توزیع می‌شود. در مسائل دنیای واقعی بسیار کاربرد دارند. در چندین سال پیش شبکه‌های بایزین توسط افراد موردتوجه قرار گرفتند و به‌عنوان گروه‌های زیست شناسی در روش‌های شبکه‌های ژنی توسط افرادی به کار گرفته شدند. شبکه بایزین یک مدل گرافیکی برای نمایش احتمالات مابین متغیرهای موردنظر می‌باشد. از طرفی شبکه‌های بایزین روشی برای نمایش توزیع احتمالی پیوسته بزرگ به‌صورت نمایی و روش فشرده می‌باشند که اجازه محاسبات احتمالی به‌طور مؤثر را می‌دهند. آن‌ها از ساختار مدل گرافیکی برای ضوابط مستقل مابین متغیرهای تصادفی استفاده می‌کنند. شبکه‌های بایزین اغلب برای شرایط مدل احتمالی استفاده می‌شوند و به استدلال‌های تحت شرایط نامشخص (احتمالی، عدم قطعیت) کمک می‌کنند. این شبکه شامل بخش کیفی (مدل ساختاری) است که نمایش بصری از فعل‌وانفعالات در میان متغیرها و بخش کمی (مجموعه‌ای از مشخصات احتمال محلی) را فراهم می‌کند، که مجاز به استنتاج احتمالات و اندازه‌گیری عددی است که متغیرها یا مجموعه‌ای از متغیرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بخش کیفی به‌صورت توزیع احتمالی پیوسته که منحصربه‌فرد می‌باشد بر روی کلیه متغیرها تعریف می‌شود.

به‌عبارت‌دیگر یک شبکه بایزین گراف جهت‌دار غیر حلقوی است و شامل موارد زیر می‌باشد:

- نودها[۴] (دوایر کوچک): برای نمایش متغیرهای تصادفی
- کمان‌ها[۵] (پیکان‌های نوک‌تیز) برای نمایش روابط احتمالی مابین متغیرها

برای هر نود توزیع احتمال محلی وجود دارد که به نود وابسته است و از وضعیت والدین مستقل می‌باشد.

قضیه بیز[۶] روشی برای دسته‌بندی پدیده‌ها، بر پایه احتمال وقوع یا عدم وقوع یک پدیده است و در نظریه احتمالات با اهمیت و پرکاربرد است. اگر برای فضای نمونه‌ای مفروضی بتوانیم چنان افرازی انتخاب کنیم که با دانستن اینکه کدام‌یک از پیشامدهای افراز شده رخ داده است، بخش مهمی از عدم‌اطمینان تقلیل می‌یابد.

این قضیه ازآن‌جهت مفید است که می‌توان از طریق آن احتمال یک پیشامد را با مشروط کردن نسبت به وقوع و یا عدم وقوع یک پیشامد دیگر محاسبه کرد. در بسیاری از حالت‌ها، محاسبه‌ی احتمال یک پیشامد به‌صورت مستقیم کاری دشوار است. با استفاده از این قضیه و مشروط کردن پیشامد موردنظر نسبت به پیشامد دیگر، می‌توان احتمال موردنظر را محاسبه کرد.

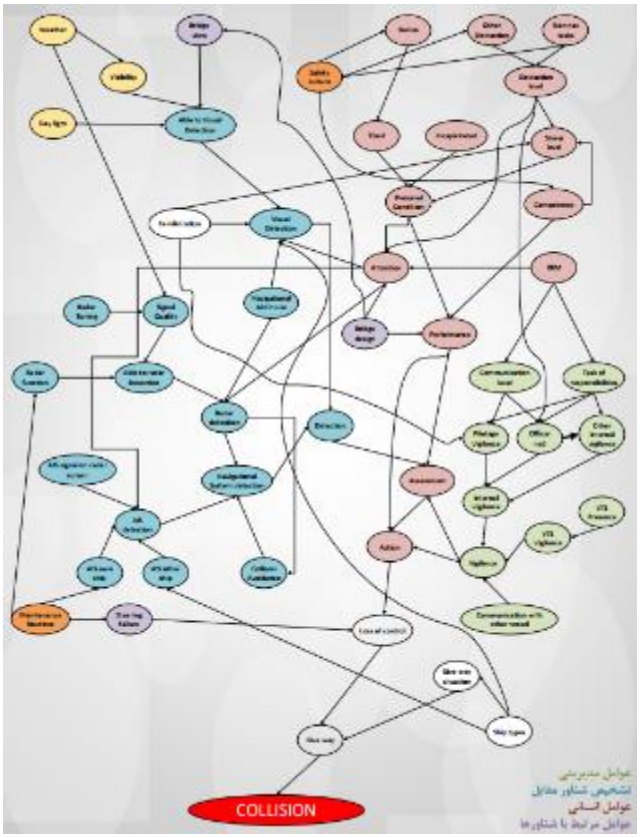
این رابطه به خاطر بزرگداشت توماس بیز فیلسوف انگلیسی به نام فرمول بیز معروف است.

فرض می‌کنیم $(B_1, B_2, \dots, B_k)$، یک افراز برای فضای نمونه‌ای S تشکیل دهند، طوری که به ازای هر j=1,2,3,…,k، داشته باشیم $P(B_i>0)$ و فرض کنید A پیشامدی با فرض $P(A)>0$ باشد، در این صورت به ازای i=1,2,3,…,k، داریم:

$$P(B_i|A) = \frac{P(B_i)P(A|B_i)}{\sum_{j=1}^{k} P(B_j)P(A|B_j)} \qquad (۲۰)$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]



شکل ۱۸- شبکه بایزین مورد استفاده

۵- نتیجه و جمع‌بندی

داده‌های منطقه خلیج فارس برای ۳ ماهه اول سال ۲۰۱۵ با دقت ۵ دقیقه برای این تحقیق استفاده شده است.

مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، به مساحت تقریبی ۲۸۰۰ کیلومتر مربع (۳۰ مایل دریایی در ۲۸,۵ مایل دریایی) در نمایش داده شده است.

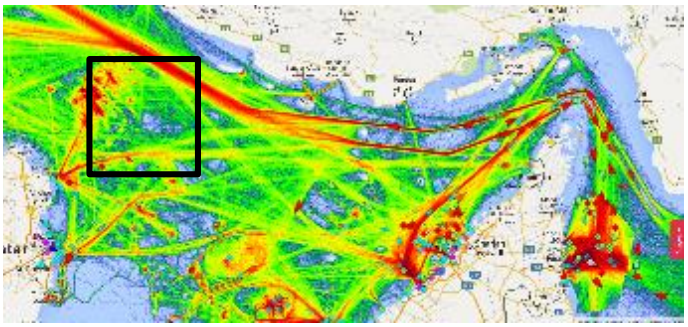
جدول ۵- مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
شمال غربی	۲۷	۵۱,۵
شمال شرقی	۲۷	۵۲
جنوب غربی	۲۶,۵	۵۱,۵
جنوب شرقی	۲۶,۵	۵۲



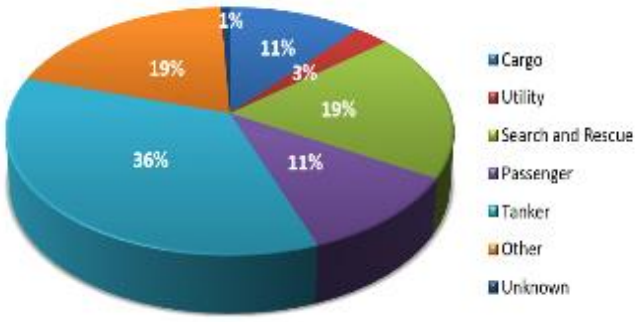
شکل ۱۹- منطقه مورد مطالعه

مبنای انتخاب این منطقه، نقشه مجموع ترافیک عبوری از خلیج فارس در سالهای ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ بوده است. مناطق قرمز رنگ، پرترددترین مناطق می‌باشند. نزدیکی به مناطق پرتردد و منطقه عسلویه، مهمترین عوامل این انتخاب بوده‌اند.



شکل ۲۰- ترافیک عبوری منطقه مورد مطالعه

این داده، مشتمل بر ۱۸۶۵۰۰ رِکورد موقعیت شناور، برای ۶۲۴ شناور متفاوت بوده است. انواع شناورهای عبوری در منطقه در نمایش داده شده است:



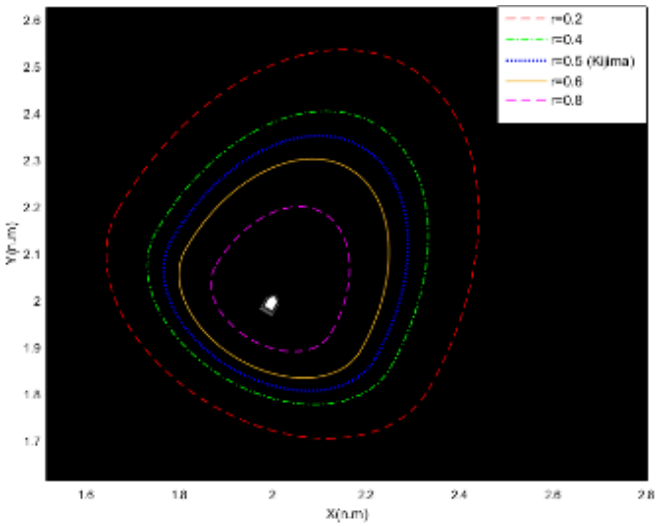
شکل ۲۱- انواع شناورهای عبوری

همانگونه که در مقدمه این فصل بیان شد، تانکرهای حامل مواد نفتی و مشتقات آن، سهم زیادی از ترکیب ترافیکی منطقه مورد نظر را به خود اختصاص می‌دهند. این دسته از شناورها، به دلیل پیامدهای زیست‌محیطی در صورت بروز سانحه، از اهمیت بالایی در تحلیل ریسک برخوردار می‌باشند.

در محاسبات از ۵ حالت دامنه ایمن فازی کیجیما استفاده شده است که در نمایش داده شده است. طبیعی است که با کاهش ابعاد دامنه ایمن، تعداد نقاط برخورد کاهش یابد. به منظور ایجاد درک بهتر از این محاسبات، خروجی‌ها به دو صورت نقاط پراکنده مستعد برخورد (Scatter) و چگالی نقاط مستعد برخورد(Density map) نمایش داده شده است. در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه، به دلیل حجم ترافیکی بیشتر، نقاط مستعد برخورد بیشتری مشاهده شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

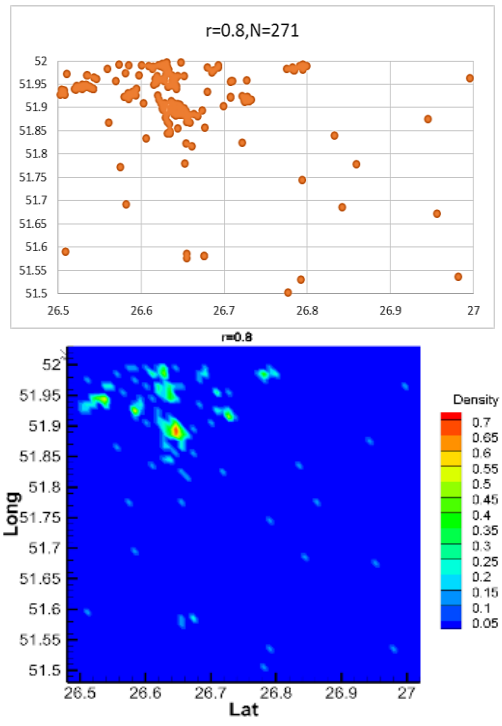


شکل ۲۲- دامنه فازی مدل کیجیما

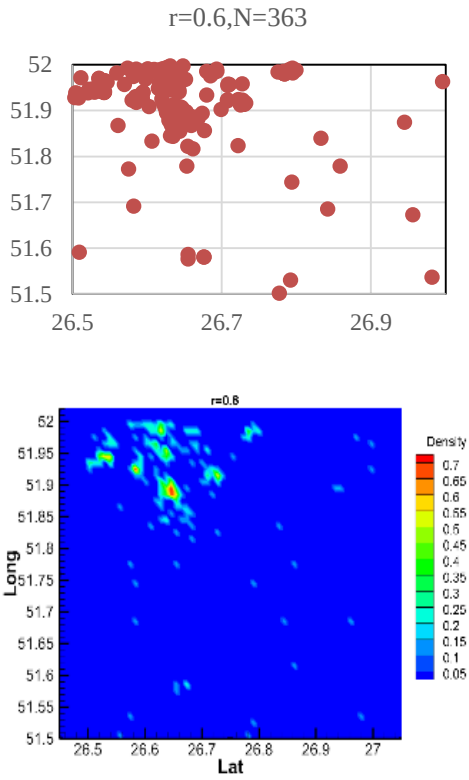
با توجه به شکل بالا برای ۴ حالت فازی و حالت پایه مدل کیجیما محاسبات انجام شده است:

جدول۶- تعداد نقاط برخورد در حالتهای ۵گانه فازی و پایه کیجیما

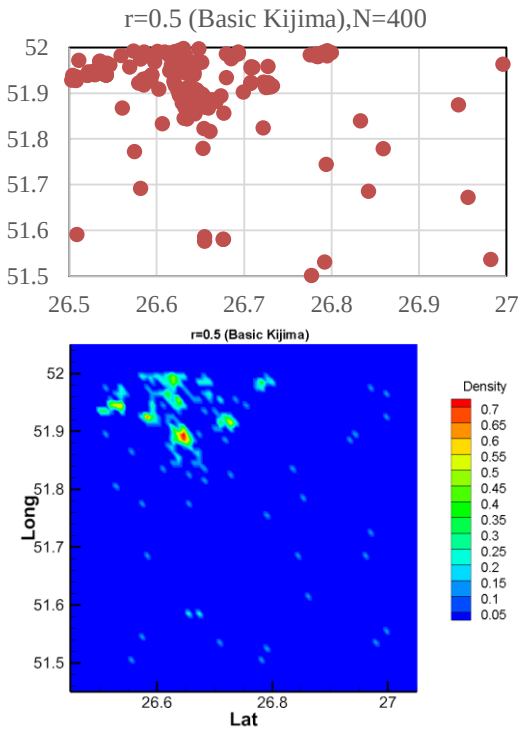
نوع دامنه	تعداد نقاط برخورد
حالت پایه Kijima (r=0.5)	۴۰۰
r=0.2	۵۳۵
r=0.4	۴۴۰
r=0.6	۳۶۳
r=0.8	۲۷۱



شکل ۲۳- نقاط مستعد برخورد (r=0.8)



شکل ۲۴- نقاط مستعد برخورد (r=0.6)



شکل ۲۵- نقاط مستعد برخورد (r=0.5)

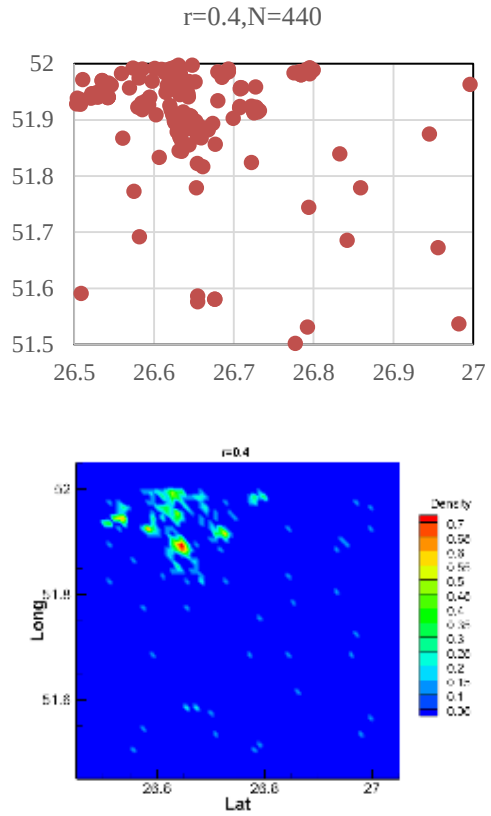
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

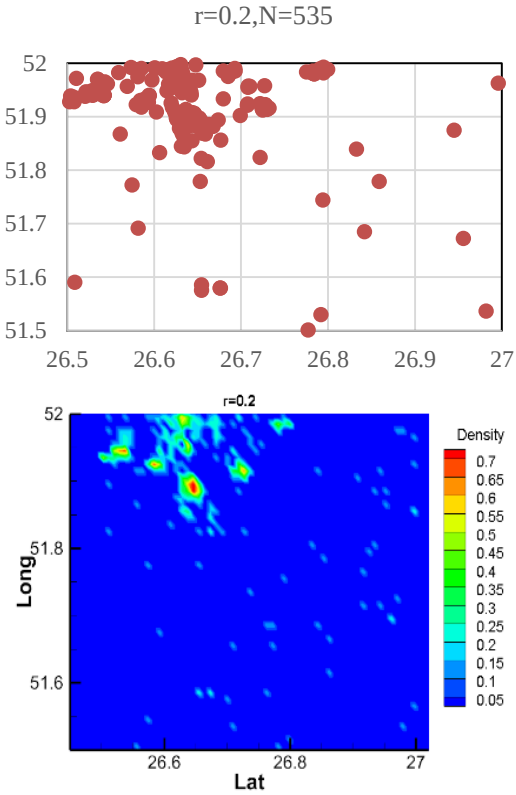
4- Nodes
5- Arcs (Dependency Arcs)
6- Bayes' theorem

۶ - مراجع

1- Fujii Y, Oshima R, Yamanouchi H, Mizuki N. Some factors affecting the frequency of accidents in marine traffic: I-the diameter of evasion for crossing encounters, II-the probability of stranding, III-the effect of darkness of the probability of collision and stranding. The Journal of Navigation. 1974;27:239-47.
2- Macduff T. The probability of vessel collisions. Ocean Industry. 1974;9
3- Pedersen PT. Collision and grounding mechanics. Proceedings of WEMT. 1995;95:125-57.
4- Manen S. Ship collision due to the presence of bridges. Technical Report, PIANC General Secretariat, Brussels; 2001.
5- Lrfd A. AASHTO LRFD bridge design specifications. Washington DC: American Association of State Highway Transportation Officials; 2004.
6- Kunz C. Ship bridge collision in river traffic, analysis and design practice. Ship collision analysis. 1998;1998:13-2l.
7- Vrouwenvelder A. Design for ship impact according to Euroeode 1 Part 2.7. Gluver & Olsen (eds). 1998:123-32.
8- Otto S, Pedersen PT, Samuelides M, Sames PC. Elements of risk analysis for collision and grounding of a RoRo passenger ferry. Marine Structures. 2002;15:461-74.
9- Geng B, Wang H, Wang J. Probabilistic Model of Influence Parameters for Vessel-Bridge Collisions in Three-Gorges Reservoir. JOURNAL-TONGJI UNIVERSITY. 2008;36:477.
10- Jianhua F, Yanmin X, Mingjun L, Jingcheng Z, Bing L. Study on dangerous collision area of ships out of control in Sutong Bridge area. 2009.
11- Biehl F, Dalhoff P, Povel D. Collision Risk Analysis and Collision Friendly Design of Offshore Wind Farms.
12- Montewka J, Hinz T, Kujala P, Matusiak J. Probability modelling of vessel collisions. Reliability Engineering & System Safety. 2010;95:573-89.
13- Antao P, Soares CG. Fault-tree models of accident scenarios of RoPax vessels. International Journal of Automation and Computing. 2006;3:107-16.
14- Ren H-x, Jin Y-c, Yin Y. Real-time shadow rendering in scene system of marine simulator. Image and Graphics, 2007 ICIG 2007 Fourth International Conference on: IEEE; 2 .۰۰۷p. 1010-4.
15- Xiao F. Ships in an Artificial Force Field: A Multi-agent System for Nautical Traffic and Safety: TU Delft, Delft University of Technology; 2014.
16- Rijken WWJLvd. Capability Statement of MSCN Simulatrs. Netherland Maritime institue,MARIN; January 2008.



شکل ۲۶- نقاط مستعد برخورد (r=0.4)



شکل ۲۷- نقاط مستعد برخورد (r=0.2)

کلید واژگان

1- Automatic Idenification System
2- Safety Domain
3- Safety Arena

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

Navigation: Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2011:65.
34- Coldwell T. Marine traffic behaviour in restricted waters. Journal of Navigation. 1983;36:430-44.
35- Commandant U. International regulations for prevention of collisions at sea, 1972 (72 COLREGS). US Department of Transportation, US Coast Guard, COMMANDANT INSTRUCTION M. 1999;16672.
36- Pietrzykowski Z. Ship fuzzy domain in assessment of navigational safety in restricted areas. Proc of 3rd Navigational Symposium1999. p. 253-64.
37- Śmierzchalski R. Evolutionary algorithm in problem of avoidance collision at sea. Artificial intelligence and security in computing systems: Springer; 2003. p. 81-90.
38- Smierzchalski R. On-line trajectory planning in collision situation at sea by evolutionary computation-experiments. Proceeding of IFAC Conference on Computer Applications in Marine Systems2001.
39- Pietrzykowski Z, Uriasz J. The ship domain–a criterion of navigational safety assessment in an open sea area. Journal of Navigation. 2009;62:93-108.
40- Wang N. An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain. Journal of Navigation. 2010;63:733-49.
41- Kijima K, Furukawa Y. Automatic collision avoidance system using the concept of blocking area. Proceeding of IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft2003.
42- Zaman M, Kobayashi E, Wakabayashi N, Khanfir S, Pitana T, Maimun A. Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: based on AIS data. Journal of Simulation. 2014;8:91-104.
43- Guedes Soares C, Teixeira A, Antao P. Accounting for human factors in the analysis of maritime accidents. Foresight and precaution. 2000:521-8.
44- Rothblum AM. Human error and marine safety. National Safety Council Congress and Expo, Orlando, FL2000.
45- Hetherington C, Flin R, Mearns K. Safety in shipping: The human element. Journal of safety research. 2006;37:401-11.
46- Trucco P, Cagno E, Ruggeri F, Grande O. A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. Reliability Engineering & System Safety. 2008;93:845-56.
47- Hänninen M, Kujala P. The effects of causation probability on the ship collision statistics in the Gulf of Finland. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, London: Taylor and Francis. 2009:267-72.
48- COWI. Risk analysis of oil and chemical spills in Danish waters (In Danish). Minister of Defence; 2007.
17- Nuygen M. Approach channels: risk-and simulation-based design: TU Delft, Delft University of Technology; 2008.
18- Netherlands MRi. SHIPMA v7.0 release - MARIN. 2013.
19- Moran V, Linares J, Atienza R, Redondo R, Iribarren JR ,Groenveld R. DEVELOPMENT OF THE WET INFRASTUCTURE OF THE PORT OF BAHIA BLANCA IN ARGENTINA. PIANC World Congress San Francisco, USA 2014.
20- Fujii Y, Yamanouchi H, Mizuki N. On the fundamentals of marine traffic control. Part 1 probabilities of collision and evasive actions. Electronic Navigation Research Institute Papers. 1970;2:1-16.
21- Lisowski J, Rak A, Czechowicz W. Neural network classifier for ship domain assessment. Mathematics and Computers in simulation. 2000;51:399-406.
22- Smierzchalski R, Michalewicz Z. Modeling of ship trajectory in collision situations by an evolutionary algorithm. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2000;4:227-41.
23- Pietrzykowski Z. Ship's Fuzzy Domain–a Criterion for Navigational Safety in Narrow Fairways. Journal of Navigation. 2008;61:499-514.
24- Szlapczynski R. A unified measure of collision risk derived from the concept of a ship domain. Journal of Navigation. 2006;59:477-90.
25- Goodwin EM. A statistical study of ship domains. Journal of Navigation. 1975;28:328-44.
26- Wang N, Meng X, Xu Q, Wang Z. A unified analytical framework for ship domains. Journal of Navigation. 2009;62:643.
27- Pimontel L. A study into maritime collision probability: TU Delft, Delft University of Technology; 2007.
28- Davis P, Dove M, Stockel C. A computer simulation of marine traffic using domains and arenas. Journal of Navigation. 1980;33:215-22.
29- Davis P, Dove M, Stockel C. A computer simulation of multi-ship encounters. Journal of Navigation. 1982;35:347-52.
30- ZHAO J-S, WU Z-L, WANG F-C, GOODWIN E. COMMENTS ON SHIP DOMAINS. Journal of Navigation. 1993.
31- Zhu X, Xu H, Lin J. Domain and its model based on neural networks. The Journal of Navigation. 2001;54:97-103.
32- Goerlandt F, Ståhlberg K, Kujala P .Comparative study of input models for collision risk evaluation. Ocean Engineering–manuscript under review. 2011.
33- Montewka J, Goerlandt F, Lammi H, Kujala P. A Method for Assessing a Causation Factor for a Geometrical MDTC Model for Ship-Ship Collision Probability Estimation. Methods and Algorithms in

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]

49- Hänninen M, Kujala P. Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model. Reliability Engineering & System Safety. 2012;102:27-40.
50- Hänninen M, Valdez Banda OA, Kujala P. Bayesian network model of maritime safety management. Expert Systems with Applications. 2014;41:7837-46.
51- Montewka J, Goerlandt F, Ehlers S, Kujala P, Erceg S, Polic D, et al. A model for consequence evaluation of ship–ship collision based on Bayesian belief network. Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources Taylor & Francis Group, London. 2012.
52- Kujala P, Hänninen M, Arola T, Ylitalo J. Analysis of the marine traffic safety in the Gulf of Finland. Reliability Engineering & System Safety. 2009;94:1349-57.
53- IALA. IWRAP-Theory Definition. 2014.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1397.14.27.5.2]