تحلیل ریسک احتمالاتی برخورد شناورها
با استفاده از داده‌های AIS

سیاوش فیلم*[1]، روزبه پناهی[2]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۹ *نویسنده مسئول تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۱۹

© نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی ۱۳۹۷، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی است.

چکیده

آبراهه‌های شلوغ، مناطقی با تراکم ترافیکی بالا می‌باشند که تهدید بالقوه‌ای برای برخورد محسوب می‌شوند. بنابراین، ارزیابی ریسک برای کشتی‌های عبوری از این آبراه‌های باریک، کم عمق و شلوغ دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. در این مطالعه، تحلیلی در مورد احتمال برخورد شناورها صورت گرفت. ابتدا، با بررسی آمار سوانح پیشین در ایران و مناطق دیگر، پدیده‌های برخورد و به گل نشستن شناورها، به عنوان دو پدیده با بیشترین تکرار و خسارت شناسایی شدند. سپس داده‌های یک ماه AIS در مورد خلیج فارس، به لحاظ پارامترهای خطر برخورد، ارزیابی کمّی و تحلیل شد. به این منظور خلیج فارس به چندین منطقه تقسیم، و تجزیه و تحلیل منطقه‌ای جهت شناسایی مناطق خطرناک انجام شد و بر پایهٔ آن، اولویت‌بندی اقدامات مرتبط با کاهش خطر برخورد صورت پذیرفت. در گام بعد، از داده‌های سیستم AIS برای شبیه‌سازی ترافیک و بررسی موقعیت لحظه‌ای شناورها استفاده شد. سپس برای هر شناور، یک دامنهٔ ایمنی در نظر گرفته شد. به این صورت که با استفاده از مفهوم فازی، چندین حالت برای شاخص ایمنی سیستم محاسبه شد. پارامترهای خطر برخورد که در اینجا مورداستفاده قرار می‌گیرند شامل شاخص پراکندگی سرعت و ارزش خطر برخورد می‌باشند. در نهایت، با استفاده از الگوریتم شناسایی نقاط برخورد که در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده بود، این نقاط شناسایی شدند.

واژه های کلیدی: حمل‌ونقل دریایی، ریسک، ریسک برخورد، ایمنی، AIS، برخورد شناورها، آلودگی نفتی.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، Siyavaship@Gmail.Com
۲. استادیار، گروه سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، Rpanahi@Modares.ac.ir

۱- مقدمه

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.

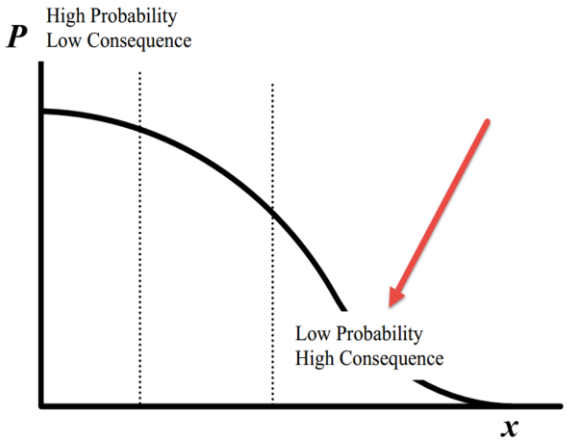
در این میان مسئله‌ای که اهمیت زیادی دارد ارتقای ضریب ایمنی بنادر و تأمین محیطی ایمن برای سرمایه‌گذاران، شرکت‌های کشتیرانی و صاحبان کالا می‌باشد. اهمیت این موضوع به‌گونه‌ای است که بروز حادثه در یک بندر نه‌تنها موجب ایجاد خسارت‌های مالی و جانی و افزایش خدمات بندری می‌گردد، بلکه در عرصهٔ این رقابت فشرده، اعتبار بندر را در عرصهٔ بین‌المللی خدشه‌دار می‌کند. مدیریت ریسک یکی از اصلی‌ترین اجزای تعامل نزدیک با هر سیستم مدیریت ایمنی می‌باشد.

به‌طور مختصر، ارزیابی و تحلیل ریسک، مخاطرات موجود در سیستم را به‌خوبی شناسایی می‌کند 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 اما بر اساس نگرش جدید سیستم مدیریت ایمنی، ارزیابی‌ها و تحلیل‌های غیرواکنشی و پیشگیرانه برای مدیریت ایمنی یک سیستم، ضروری تلقی می‌شوند.

۲- ادبیات پژوهش

۲-۱- ریسک چیست؟

هر عملی یا فرآیندی که مانع رسیدن به هدف مشخص باشد ریسک نامیده می‌شود. ریسک یا مخاطره در ذات هر فعالیت نهفته است به‌طوری‌که مخاطره هیچ‌وقت از بین نمی‌رود به عبارت دیگر، اگر فعالیت نباشد ریسک نیز وجود ندارد. تعریف سازمان جهانی استاندارد به این صورت می‌باشد: "ریسک عدم‌قطعیتی است که بر روی هدف تأثیر می‌گذارد" (Guide I. 73, 2002). به بیان دیگر، ریسک تصمیم یا حرکتی است که در محدودهٔ عدم‌قطعیت صورت می‌پذیرد. لیکن با مدیریت صحیح فعالیت، می‌توان مخاطره را کنترل کرد. ارتقای ایمنی با شانس و بخت ایجاد نمی‌شود بلکه ایمنی درنتیجه اقدامات و تصمیمات برنامه‌ریزی‌شده و درست، در طی مدت‌زمان انجام هر عمل ایجاد می‌شود. اغلب تصمیمات نادرست بر پایهٔ تفکرات نادرست رخ می‌دهد و به افزایش ریسک منجر می‌شود (Haimes, 201). هر ریسک شامل دو مؤلفه فرکانس وقوع[3] و پیامد وقوع[4] می‌باشد. ریسک هر سیستم بر اساس حاصل‌ضرب این دو مؤلفه در یکدیگر محاسبه می‌شود.



شکل (۱): منحنی ریسک

3. Probability or Frequency
4. Consequence

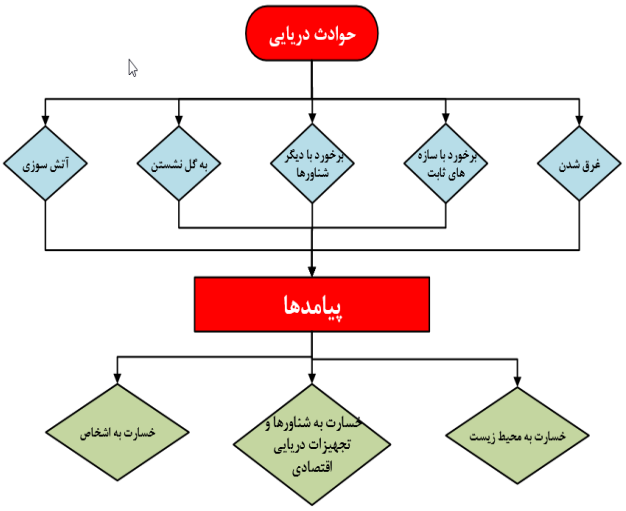
در شکل (۱)، مشاهده می‌شود که دو مرز کلی ریسک بر اساس دو پارامتر فرکانس و پیامد یعنی پدیده‌هایی با احتمال رخداد بالا اما پیامد کم و پدیده‌هایی با احتمال وقوع پایین اما با پیامد شدید، دسته‌بندی می‌شود. ماهیت پدیده برخورد شناورها در دسته دوم یعنی احتمال وقوع کم و پیامد شدید جای می‌گیرد. این امر یعنی احتمال وقوع کم، به‌هیچ‌وجه دلیلی بر مهم نبودن و یا عدم نیاز به مطالعات دقیقِ تحلیل ریسک دربارهٔ آن مهم نیست.

۲-۲- انواع حوادث دریایی

انواع حوادث در حمل‌ونقل دریایی و شناورها را می‌توان به این صورت دسته‌بندی کرد: (۱) برخورد[5]: برخورد بین دو یا چند شناور، (۲) به گل نشستن[6]: برخورد به بستر دریا یا ساحل، (۳) آتش‌سوزی[7]: آتش‌سوزی یا انفجار در شناورها، (۴) برخورد با سازه‌های ثابت[8]: برخورد شناورها با سازه‌های ثابت مانند سازه‌های فراساحلی، توربین‌های بادی و پل‌ها در آبراه‌ها و (۵) غرق شدن[9] : وارد شدن آب به بدنه کشتی در اثر گسیخته‌شدن انسجام و یکپارچگی بدنه شناور.

۲-۳- دسته‌بندی پیامدها

به‌طورکلی، خسارات احتمالی ناشی از وقوع حوادث به صورت زیر دسته‌بندی می‌شود: (۱) خسارت به انسان‌ها: تمامی حوادثی که می‌توانند منجر به فوت و یا جرح انسان‌ها، در شناورها یا در بنارد شود، (۲) خسارت به تجهیزات: برخورد شناور به تجهیزات بندری یا سکوهای ثابت نفتی در مسیر. لازم به ذکر است اخیراً با توجه به گسترش استفاده از مزارع توربین‌های بادی فراساحلی، در صورت برخورد شناورها به این تأسیسات، خسارت قابل‌توجهی به بار خواهد آمد. بدیهی است خود شناور جزء اولین تجهیزاتی می‌باشد که متضرر خواهد شد، (۳) خسارت به محیطزیست: یکی از مباحث بسیار مهم و شاید یکی از دلایل اصلی توجه وافر به مقوله ریسک در صنعت دریایی، به وجود آمدن حوادث برای شناورهای نفت‌کش و امثال آن بوده است. چون در صورت بروز حادثه در این نوع شناورها در محیط دریا، ممکن است محتویات تانکر وارد آب شود و خسارات جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی به بار آورد و (۴) خسارت اقتصادی: اگرچه تمام موارد بالا فی‌نفسه شامل خسارت اقتصادی می‌باشند، ولی گاهی اوقات ممکن است شرایطی پیش بیاید که هیچ‌یک از موارد بالا برای شناور رخ ندهد، اما طی فرایند حمل‌ونقل ضرر اقتصادی مشاهده شود. برای مثال به گل نشستن یک شناور در آبراه می‌تواند باعث ایجاد خسارت اقتصادی برای شناورهای دیگر در اثر مسدود شدن آبراه شود درحالی‌که دیگر شناورها هیچ آسیبی ندیده‌اند. درواقع این‌گونه خسارت‌ها در دل تمام پیامدهای دیگر نیز نهفته است. در شکل (۲) حوادث دریایی اصلی و پیامدهای آن به‌عنوان مؤلفه‌های ریسک نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در کشورهای دیگر مطالعاتی مانند تحلیل ریسک حملات تروریستی، حملات سایبری به زیرساخت‌های صنعت حمل‌ونقل دریایی و امثال آن نیز انجام شده است که از موضوع این بحث خارج می‌باشد.



شکل طبقه‌بندی حوادث دریایی

5. Collision
6. Grounding
7. Fire/Explosion
8. Aversion
9. Foundering

به دلیل اینکه منطقه خلیج‌فارس و دریای عمان، جز قطب‌های حمل‌ونقل مواد نفتی می‌باشد و نیز به دلیل حساسیت منطقه به‌ویژه از لحاظ زیست‌محیطی، نیاز به مطالعاتی ازاین‌دست ضروری می‌باشد. دریای عمان و خلیج‌فارس از سال ۱۹۸۸ در زمرهٔ مناطق حساس دریایی[۱۰] طبقه‌بندی شده‌اند (PMO PaMO). بزرگ‌ترین تهدید زیست‌محیطی، نشت نفت از شناورها به محیط دریا می‌باشد. لذا مطالعات ایمنی دریانوردی شامل تحلیل ریسک برخورد شناورها در این منطقه از اهمیت بسیار برخوردار است.

۲- ٤- ریسک در حمل و نقل دریایی

بنادر دروازهٔ تبادل کالاهای تجاری بین ملل مختلف می‌باشند. شناسایی ریسک و مدیریت مخاطرات در آبراه‌ها اهمیت زیادی در حمل‌ونقل دریایی دارند. برای روشن شدن مطالب ابتدا تعاریف آبراه و کانال دسترسی ارائه می‌شود.

آبراه[۱۱]: آبراه به منطقه‌ای از دریا گفته می‌شود که امکان حمل‌ونقل توسط شناورها از یک نقطه به نقطه دیگر را فراهم می‌سازد. به عبارت دیگر، آبراه به منطقه‌ای از دریا اطلاق می‌شود که مسیر منظم تردد شناورها از قبیل خلیج، کانال، تنگه می‌باشد و یا قسمت‌هایی از دریا که برای کشتیرانی منظم استفاده می‌شوند، که بدیهی است عمق مناسب برای دریانوردی را دارا می‌باشند.

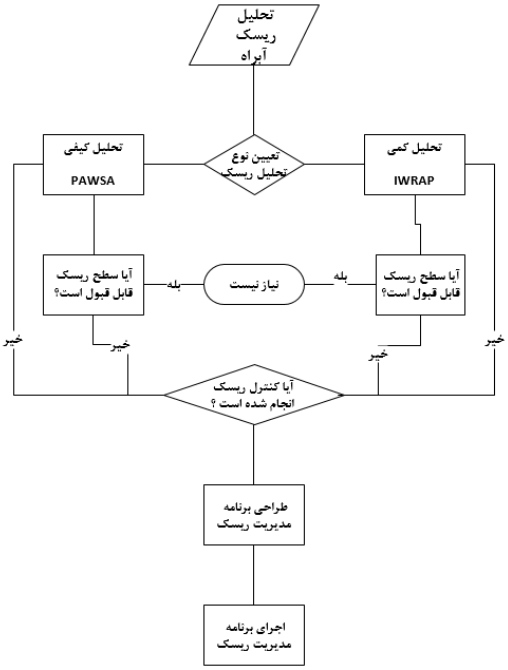
کانال دسترسی[۱۲]: عمیق‌ترین بخش آب دریا است که در آن عمق کافی برای هدایت کشتی از دریا به بندر و بر عکس وجود دارد. این بخش از آب معمولاً به‌وسیله علائم مناسب از قبیل بویه و بیکن علامت‌گذاری می‌شود و برای تعیین عمیق‌ترین بخش آن (مرکز کانال) پایه‌هایی را در انتهای کانال مستقر می‌کنند که به این روش ترانزیت اطلاق می‌شود و در بعضی از کانال‌ها چراغ‌های ترانزیت را که به‌صورت سبز و قرمز است و انحراف از مرکز کانال را نشان می‌دهد، نصب می‌کنند. تعیین ریسک در آبراه به‌ویژه در کانال دسترسی به بندر که از محدودیت‌های زیادی برای ناوبری برخوردار است بسیار حائز اهمیت می‌باشد. محدودهٔ کانال دسترسی به هر بندر به دلیل وجود موانع برای ناوبری، منطقهٔ بحرانی از منظر دریانوردی نامیده می‌شود. شناسایی عوامل تشکیل‌دهندهٔ مخاطره در کانال و آبراه برای مقابله با آنها می‌تواند در کاهش مخاطره کمک زیادی برای مسئولین ذی‌ربط فراهم کند.

به منظور تحلیل ریسک آبراه دو دستورالعمل کلی وجود دارد:

(۱) PAWSA[۱۳]: دستورالعمل تحلیل و مدیریت ریسک کیفی در آبراه‌ها تهیه‌شده توسط گارد ساحلی ارتش آمریکا (USCG. Ports and Waterways Safety Assessment, 2012).

(۲) IWRAP: تحلیل کمی ریسک توسط نرم‌افزار ارائه‌شده توسط IALA۱۴ (IALA-AISM, 2010).

10. Particular Sensitive Sea Areas (PSSA)
11. Waterway
12. Approach channel
13. Port And Waterways Safety Assessment (PAWSA)
14. International Association of Lighthouse Authorities



شکل (۳): روش‌های تحلیل و مدیریت ریسک آبراه

۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۳-۱- تحلیل ریسک برخورد

احتمال وقوع برخورد، به‌طور نوعی، بر اساس مطالعات فوجی و همکاران[۱۵] (Fujii et al., 1974) و مک‌داف[۱۶] (Macduff, 1974) طبق رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود:

$$F = N_A P_C \qquad (۱)$$

N_A[۱۷]: تعداد نقاط مستعد برخورد

P_C[۱۸]: علت برخورد

درواقع N_A نشان‌دهندهٔ تعداد برخوردها می‌باشد با فرض اینکه هیچ‌گونه حرکتی برای جلوگیری از آن انجام نشود. P_C در واقع احتمال وقوع خطا در انجام عواملی است که از وقوع برخورد جلوگیری می‌کنند. مطالعات بسیاری برای مدل‌سازی این دو پارامتر صورت گرفته است که در اینجا پارامتر N_A را بررسی می‌کنیم. برای تحلیل ریسک برخورد شناورها درمجموع ۴ رویکرد کلی وجود دارد:

(۱) تحلیل آماری حوادث پیشین (نیاز به اطلاعات ثبت‌شده کامل ازلحاظ کیفیت و کمیت دارد)

(۲) مدل‌های تحلیلی[۱۹]

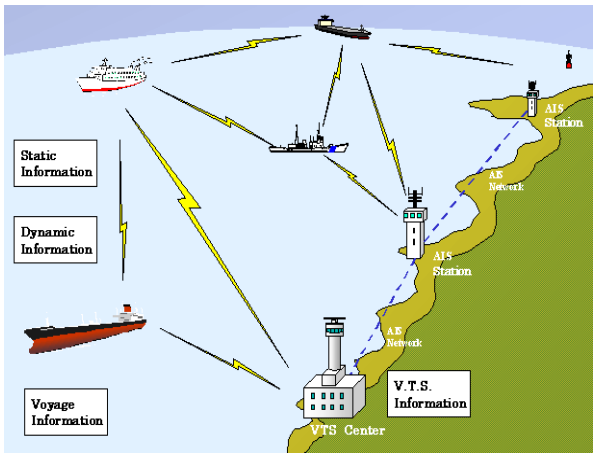
(۳) مدل‌های شبکه‌ای مانند شبکه عصبی و شبکه بایزین (نیاز به اطلاعات ثبت‌شده کامل ازلحاظ کیفیت و کمیت دارد)

(۴) شبیه‌سازی ترافیک بر اساس داده‌های AIS[۲۰] و شبیه‌سازی دامنهٔ ایمن[۲۱]

15. Fujii et al.
16. Macduff
17. Collision Canidate
18. Causation Factor
19. Analytic Model
20. Automatic Idenification System (AIS)
21. Safety Domain

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 بود (Pedersen, 1995). با پیشرفت تکنولوژی و ظهور فناوری AIS[۲۲]، ترافیک شناورها به‌صورت لحظه‌ای در دسترس می‌باشد.

دستگاه AIS نصب شده بر کشتی قادر است اطلاعات تعین‌شده را به صورت دائمی به سایر شناورها و ایستگاه‌های کنترل ترافیک ساحلی (VTS) ارسال و اطلاعات ارسالی از سایر شناورها را دریافت کند. اطلاعات دریافتی می‌توانند بر روی صفحه نمایشگر کامپیوترهای شخصی و لپ‌تاپ‌ها، صفحه نمایشگر سیستم‌های ECDIS[۲۳] (نمایشگر نقشه و داده‌های الکترونیکی) و یا رادار نمایش داده شوند. بر اساس قوانین سولاس[۲۴]، در آب‌های بین‌المللی، کلیه کشتی‌های مسافربری، نفت‌کش‌ها و سایر کشتی‌ها (به جز شناورهای نظامی) می‌بایست قبل از تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۷ به این سیستم مجهز شوند. بر اساس همین قوانین کلیه شناورهای ترددکننده در آب‌های داخلی نیز باید تا قبل از ۱ جولای ۲۰۰۸ به سیستم AIS مجهز شوند.



شکل (٤): نحوه عملکرد سیستم AIS

وضعیت و سرعت	زمان ارسال اطلاعات
لنگر انداخته	هر ۳ دقیقه یکبار
صفر تا ۱۴ گره دریایی	هر ۱۲ ثانیه یکبار
صفر تا ۱۴ گره دریایی و در حال تغییر جهت	هر ۴ ثانیه یکبار
۱۴ تا ۲۳ گره دریایی	هر ۶ ثانیه یکبار
۱۴ تا ۲۳ گره دریایی و در حال تغییر جهت	هر ۲ ثانیه یکبار
بیش از ۲۳ گره دریایی	هر ۳ ثانیه یکبار
بیش از ۲۳ گره دریایی و در حال تغییر جهت	هر ۲ ثانیه یکبار

جدول (۱): زمان‌بندی ارسال اطلاعات توسط دستگاه AIS

۳-۲- دامنه ایمن

مفهوم دامنهٔ ایمن، ابتدا در سال ۱۹۷۰ توسط فوجی دانشمند ژاپنی مطرح شد (Fujii et al., 1970). 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 (Smierzchalski and Michalewicz, 2000; Pietrzykowski, 2008). تعریف مشخص و واحدی در میان مطالعات صورت‌گرفته، وجود ندارد که

22. Automatic Idenification System
23. Safety Of Life At Sea (SOLAS)
24. Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)

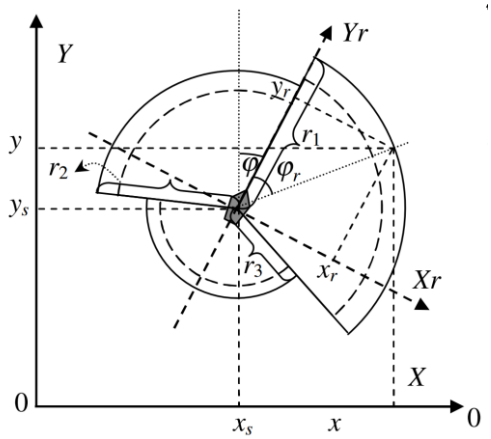
شاید دلیل آن، عدم اشارهٔ مستقیم به آن در آیین‌نامه‌ها و استانداردهای موجود باشد. با این وجود، این مفهوم در تحلیل ریسک برخورد شناورها، دارای اهمیت بالایی می‌باشد (Szlapczynski, 2006). بهترین و جامع‌ترین تعریف از این مفهوم، تعریف گودوین به این شرح می‌باشد: دامنهٔ ایمن، ناحیه‌ای اطراف شناور است که مسئول آن شناور تمایل دارد آن منطقه خالی از شناورهای دیگر و یا اجسام ثابت باشد (Goodwin, 1975).

تمامی مدل‌ها، بیشتر بر روی تعیین شکل هندسی دامنه‌های ایمن متمرکز بودند و بیشتر هدف آنها درک مفهوم دامنه ایمن بود تا کاربرد آنها در محاسبات. ایجاد روابط ریاضی تحلیلی برای این اشکال هندسی، امری بسیار مهم در زمینهٔ کاربرد هر چه بیشتر این مفهوم در تحلیل ریسک حمل‌ونقل دریایی بوده است، که این مسئله توسط وانگ و همکارانش به تفصیل بررسی شده است (Wang et al., 2009).

در برخی از مدل‌ها دو نوع کلی از این مفهوم ارائه شده است. دامنهٔ ایمن[۲۵] یا دامنهٔ مؤثر[۲۶]، با مساحتی کوچک‌تر، به‌عنوان بخشی که اکیداً باید از شناورهای دیگر یا اجسام ثابت خالی باشد. نوع دیگر، پهنهٔ ایمن[۲۷] یا دامنهٔ معقول[۲۸] است که مساحت آن از مساحت نوع قبلی بیشتر می‌باشد. این نوع دامنه، به دلیل ابعاد بزرگ‌ترش می‌تواند شامل شناورهای دیگر یا اجسام ثابت باشد ولی در صورت وجود این موارد، شناور میزبان نیاز به تصمیم‌گیری درباره تغییر مسیر دارد (Davis et al., 1980).

۳-۲-۱- دامنه‌های دایره‌ای

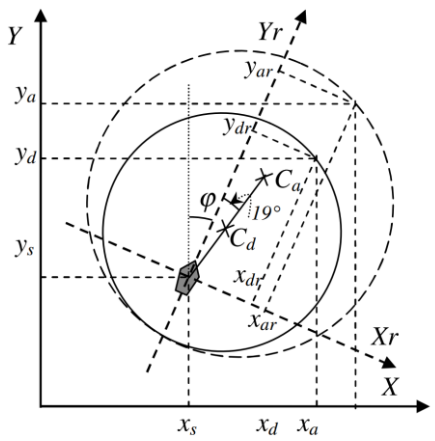
اولین مدل در این بخش، در سال ۱۹۷۵ توسط گودوین توسعه داده شد. این مدل، با استفاده از مشاهدات ترافیکی در آبراهه‌های انگلستان به‌دست‌آمده است. این مدل شامل ۳ قطاع دایره با شعاع‌های مختلف است به‌نحوی‌که دو قطاعی که در قسمت Bow قرار دارند شعاع بزرگ‌تری دارند. میزان شعاع قطاع‌های سه‌گانه این مدل برای شناورهای مختلف ثابت است و این امر را می‌توان بزرگ‌ترین نقص این شبیه‌سازی برشمرد (Goodwin, 1975). دامنهٔ دایره‌ای گودوین در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵): دامنه ایمن دایره‌ای گودوین

مدل دیویس، دایره‌ای کامل را برای دامنهٔ ایمنی در نظر گرفته است. مساحت این دایره کامل با مجموع مساحت ۳ قطاع مدل گودوین برابر می‌باشد. نکته مهم در این مدل، خروج از مرکزیت اضافه‌شده به مرکز دایره هست. در واقع با این خروج از مرکزیت، به علت دید بهتر در منطقه Bow، سهم بیشتری به آن اختصاص داده‌شده است. دیویس علاوه بر معرفی دامنهٔ ایمن[۲۹]، مفهومی به نام پهنهٔ ایمن[۳۰] نیز معرفی کرد که دایره‌ای به شعاع بزرگ‌تر از دامنهٔ 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 را بگیرد (Davis et al., 1980; Davis et al., 1982). در شکل (۶) خط کامل نمایشگر دامنهٔ ایمن و خطوط نقطه‌چین بیانگر پهنهٔ ایمن می‌باشند.

25. Safety Domain
26. Effective Domain
27. Safety Arena
28. Subjective Domain
29. Safety Domain
30. Safety Arena



شکل (٦): دامنه و پهنهٔ ایمن دیویس

در ادامه توسعه مدل‌های دایره‌ای، ژائو در سال ۱۹۹۳، مدلی همانند دیویس ارائه داد با این تفاوت که میزان شعاع‌های دامنه و پهنهٔ ایمن متفاوت است و خروج از مرکزیتی نیز در نظر گرفته نشده است (ZHAO et al., 1993).

آخرین مدل در سال ۲۰۰۱ توسط ژو، 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 (Zhu et al., 2001). علی‌رغم در نظر گرفتن این موارد، امکان استفاده از این مدل موجود نیست، زیرا برای هر شناور نیاز به مقادیر بسیار زیادی اطلاعات برای آموزش شبکه عصبی می‌باشد (Wang et al., 2009). مقادیر هندسی این مدل‌ها در جدول (۲) ارائه شده 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 (خروج از مرکزیت)	۰	۰,۷	۱,۷	۰	۰

همان‌گونه که در جدول بالا مشاهده می‌شود، مقادیر مدل دیویس، بسیار محافظه‌کارانه می‌باشد، در مقابل مقادیر مدل ژائو کمترین شعاع برای دامنهٔ ایمن را ارائه کرده است. نکته قابل‌توجه این است که هیچ‌کدام از مدل‌های دایره‌ای، اثرات طول و سرعت شناور را دربر نمی‌گیرند 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 خواهد شد. بنابراین، استفاده از این مدل‌ها در این مطالعه توجیهی نخواهد داشت.

روابط مورداستفاده در این بخش در ادامه آمده است:

رابطه (۲)

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

رابطه (۳)

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

رابطه (۴)

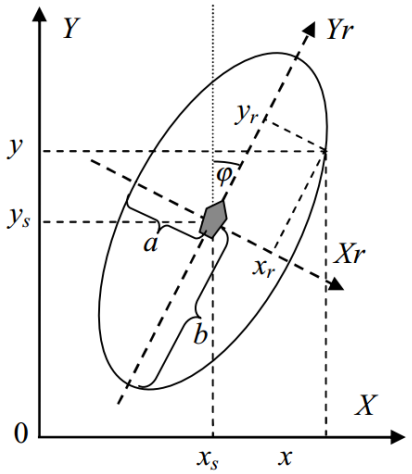
$$\theta_t = \begin{cases} \arccos \dfrac{y_{t,r}}{\sqrt{x_{t,r}^2 + y_{t,r}^2}} & x_{t,r} \geq 0 \\ 360 - \arccos \dfrac{y_{t,r}}{\sqrt{x_{t,r}^2 + y_{t,r}^2}} & x_{t,r} < 0 \end{cases}$$

رابطه (۵)

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

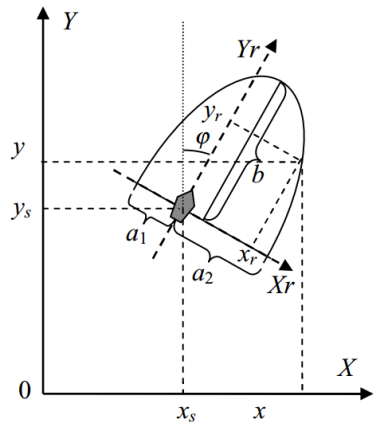
۳-۲-۲- دامنه‌های بیضی‌شکل

اولین مدل بیضی شکل 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 توسعه داده شد. در این مدل، شناور دقیقاً در مرکز بیضی قرار دارد. نکته قابل‌توجه در این مدل، تعیین طول قطرهای بزرگ و کوچک دامنهٔ ایمن بر اساس طول شناور می‌باشد. این مدل فقط دامنهٔ ایمن یا دامنهٔ مؤثر را در نظر گرفته است که در شکل (۷) نمایش داده شده است.



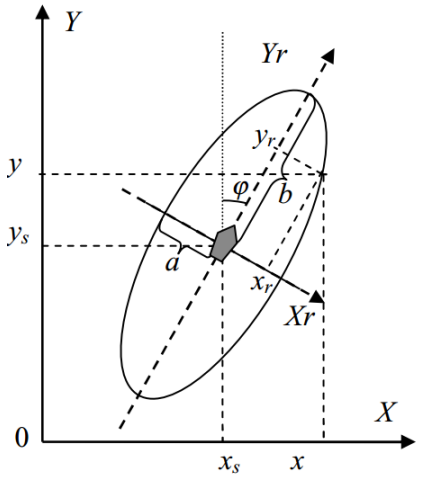
شکل (۷): دامنه ایمن بیضی‌شکل فوجی

در سال ۱۹۸۳ مدل کُلدوِل ارائه شد (Coldwell, 1983). روش توسعهٔ این مدل همانند مدل قبلی، با استفاده از روش‌های آماری و پایش حجم زیادی از اطلاعات بود. در این روش، دو حالت متفاوت وضعیت شناور میزبان و مقابل، جداگانه بررسی می‌شود. حالت اول، حالت Head-on می‌باشد که شناورها از روبه‌رو به یکدیگر نزدیک می‌شوند. در این حالت، فقط بخش Bow، در دامنهٔ ایمنی منظور شده است. در ضمن، در این مدل نیز همانند مدل‌های دایره‌ای، خروج از مرکزیت وجود دارد. این حالت در شکل (۸) نمایش داده شده است.



شکل (۸): مدل بیضی‌شکل کُلدوِل در حالت Heaed-on

حالت دیگر در این مدل، بر اساس نحوه نزدیک شدن دو شناور، حالت Over Taking (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 است. در این حالت، خروج از مرکزیت وجود ندارد.



شکل (۹): مدل بیضی‌شکل کُلدوِل در حالت Over Taking

در دو مدل بیضی‌شکل ذکرشده، قوانین پیشگیری از برخورد (Commandant, 1972) لحاظ شده است (Pietrzykowski, 1999).

رابطه (۶)

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

رابطه (۷)

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

رابطه (۸)

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

رابطه (۹)

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

حالت خاص مدل Kijima:

رابطه (۱۰)

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

رابطه (۱۱)

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

رابطه (۱۲)

$$T90=0.67\sqrt{A_D^2+(D_T/2)^2/U}$$

رابطه (۱۳)

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

رابطه (۱۴)

$$\begin{cases}s=2-(U-U_T)/U,t=1 & Head-on\\ s=2-\alpha/\pi,t=\alpha/\pi & Cros\sin g\\ s=1,t=1 & Overtaking\end{cases}$$

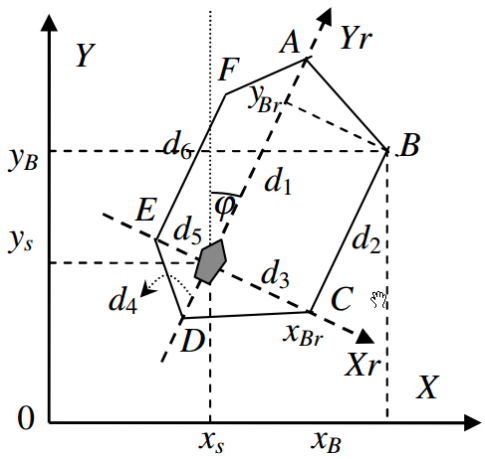
رابطه (۱۵)

$$\alpha=(own\ ship\ course-other\ ship\ course)$$

۳-۲-۳- دامنه‌های چندضلعی

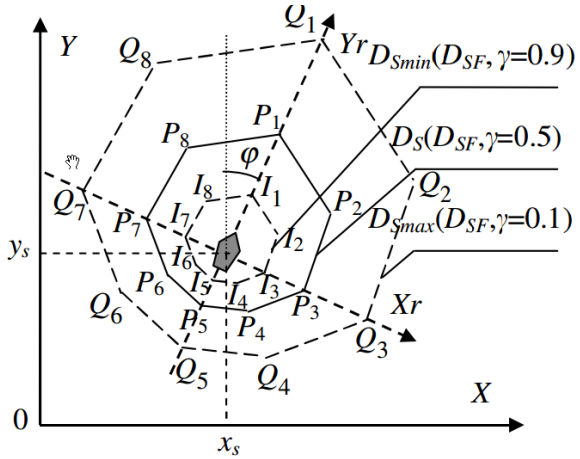
در سال‌های اخیر، اشکال چندضلعی به‌عنوان شکل هندسی دامنه ایمن مطرح و بررسی شده است (Śmierzchalski, 2003; Pietrzykowski and Uriasz 2009). این‌گونه از دامنه‌ها عواملی مانند ابعاد و سرعت شناور را در نظر می‌گیرند و به همین دلیل از ماهیتی پویا برخوردارند. اولین مدل، توسط شمیرزکالسکی[۳۱] مطرح و توسعه یافت. در این مدل، از شش‌ضلعی استفاده می‌شود. در محاسبات، از عوامل شناور میزبان و شناور مقابل استفاده می‌شود. با استفاده از معادلات، امکان محاسبه دقیق ابعاد دامنهٔ ایمن مهیا می‌شود. این مدل در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.

31. Smierzchalski



شکل (۱۰): مدل شش‌ضلعی شمیرزکالسکی

مدل دیگر، توسط پیترزیوکووسکی[۳۲] در سال ۲۰۰۹ توسعه یافت. 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 مشاهده‌شده در تحقیقات مربوطه می‌باشد. این امر نقصی بسیار بزرگ برای این مدل محسوب می‌شود، زیرا با در نظر گرفتن بزرگ‌ترین دامنهٔ ایمن برای دیگر شناورها، استفاده از آن در تحلیل ریسک، مقادیر دست‌بالایی ایجاد خواهد کرد. این مدل در شکل (۱۱) نمایش داده شده است.



شکل (۱۱): مدل هشت‌ضلعی پیترزیوکووسکی

معادلات این دسته از دامنه‌ها به شرح زیر می‌باشد:

$$f_{polygon}(x, y) = \max\{mark_i, i = 1, 2, ..., n\}$$ رابطه (۱۶)

32. Pietrzykowski

رابطه (۱۷)

$$mark_i = \begin{cases} 1, & if \quad 0 \le \varphi_i < \Phi_i \ or \ \Phi_i + 180 < \varphi_i < 360 \quad while \ \Phi_i \in [0,180) \\ 1, & if \quad \Phi_i - 180 < \varphi_i < \Phi_i \quad while \ \Phi_i \in [180,360) \\ 0 & if \quad |\varphi_i - \Phi_i| = 0 \ or \ 180 \\ -1 & if \quad \Phi_i < \varphi_i < \Phi_i + 180 \quad while \ \Phi_i \in [0,180) \\ -1 & if \quad 0 \le \varphi_i < \Phi_i - 180 \ or \ \Phi_i < \varphi_i < 360 \quad while \ \Phi_i \in [180,360) \end{cases}$$

رابطه (۱۸)

$$\varphi_i = \begin{cases} \arccos \dfrac{y_{t,r}}{\sqrt{x_{t,r}^2 + y_{t,r}^2}} & x_{t,r} \ge 0 \\ 360 - \arccos \dfrac{y_{t,r}}{\sqrt{x_{t,r}^2 + y_{t,r}^2}} & x_{t,r} < 0 \end{cases}$$

رابطه (۱۹)

$$\Phi_i = \begin{cases} \arccos \dfrac{y_{i+1} - y_i}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}} & x_{i+1} \ge x_i \\ 360 - \arccos \dfrac{y_{i+1} - y_i}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}} & x_{t,r} < 0 \end{cases}$$

رابطه (۲۰)

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

رابطه (۲۱)

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

رابطه (۲۲)

$$E = U_{REL} / U$$

رابطه (۲۳)

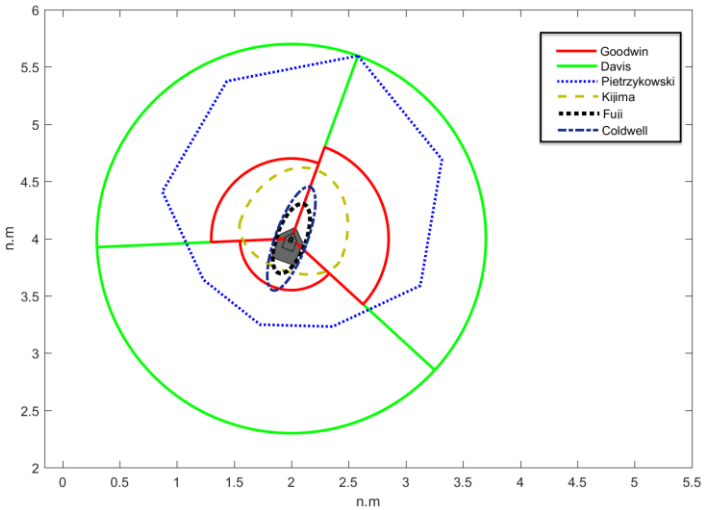
$$U_m = \max\{U, U_{REL}\}$$

مقادیر استفاده‌شده در مدل‌های چندضلعی در جدول (۳) برحسب مایل دریایی معلوم شده است.

جدول (۳): ابعاد دامنهٔ ایمن چندضلعی (مایل دریایی)

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

به‌منظور مقایسهٔ مدل‌های ذکرشده، تمامی مدل‌ها برای شناوری به طول ۱۰۰ متر و زاویه ۳۰ درجه در شکل (۱۲) رسم شده است.



شکل (۱۲): مقایسهٔ مدل‌های دایرهٔ ایمن (مایل دریایی)

همان‌گونه که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، مدل‌های دیویس و پیترزیوکووسکی، ابعاد بسیار بزرگی برای دامنه ایمن به دست می‌دهند و درواقع حالتی محافظه‌کارانه برای محاسبه ریسک برخورد در نظر گرفته‌اند. مدل‌های فوجی و کُلدوِل نیز کوچک‌ترین ابعاد را برای دامنهٔ ایمن به دست می‌دهند. مدل‌های کیجیما و گودوین حالتی میان دو حالت قبلی دارند و می‌توانند گزینه‌ای مناسب برای تحلیل باشند.

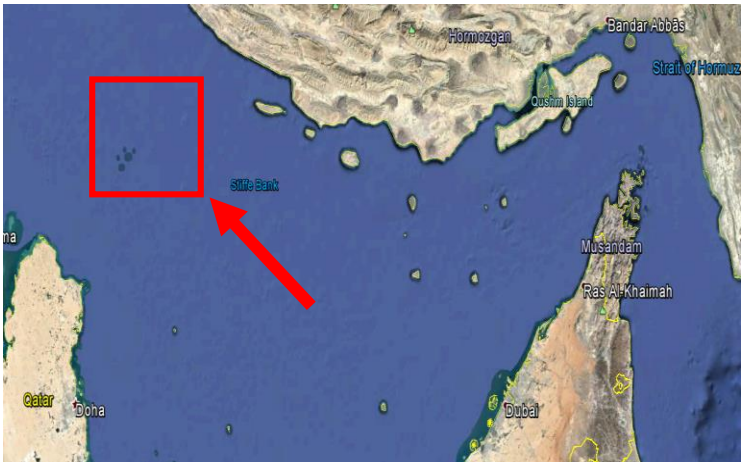
٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به منظور پیاده‌سازی روش‌های مذکور، منطقه خلیج فارس به عنوان مسیری پرتردد، بسیار مهم و حادثه‌خیز انتخاب شده است. از یک‌سو، به دلیل وجود ذخایر عظیم نفت و گاز در این منطقه، طبیعی است که ترافیک عبوری از این منطقه حجم بالایی داشته باشد. به همین نسبت، نیاز به ایمنی در این منطقه افزایش می‌یابد. بنابراین، در ارتباط با تأمین ایمنی، مطالعات تحلیل ریسک بر روی سوانح دریایی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. از سوی دیگر، با توجه به عبور تانکرهای نفتی و گازی از این منطقه، در صورت بروز سانحه در این‌گونه شناورها (که سهم زیادی از ترافیک عبوری به آنها اختصاص دارد)، اثرات زیست‌محیطی غیرقابل جبرانی پدید می‌آید. به منظور بررسی ریسک برخورد شناورها، از اطلاعات سه ماه اول سال ۲۰۱۵ میلادی AIS استفاده شد. این اطلاعات شامل ۶۲۴ شناور عبوری در طول این مدت بوده است. بدیهی است برای افزایش کیفیت مطالعات، نیاز به داده‌هایی با زمان بیشتر و مربوط به منطقه‌ای وسیع‌تر می‌باشد. در این پژوهش، از داده‌های منطقهٔ خلیج فارس با دقت ۵ دقیقه استفاده شد.

مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، به مساحت تقریبی ۲۸۰۰ کیلومتر مربع (۳۰ مایل دریایی در ۲۸/۵ مایل دریایی) در جدول (۴) نشان داده شده است.

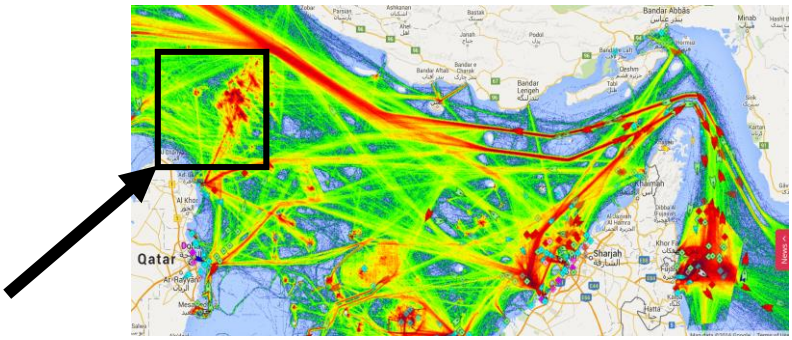
جدول (٤): مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

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

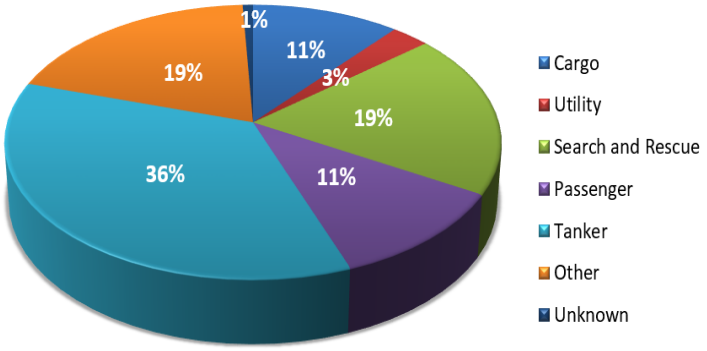


شکل (۱۳): منطقه مورد مطالعه

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 بودند.



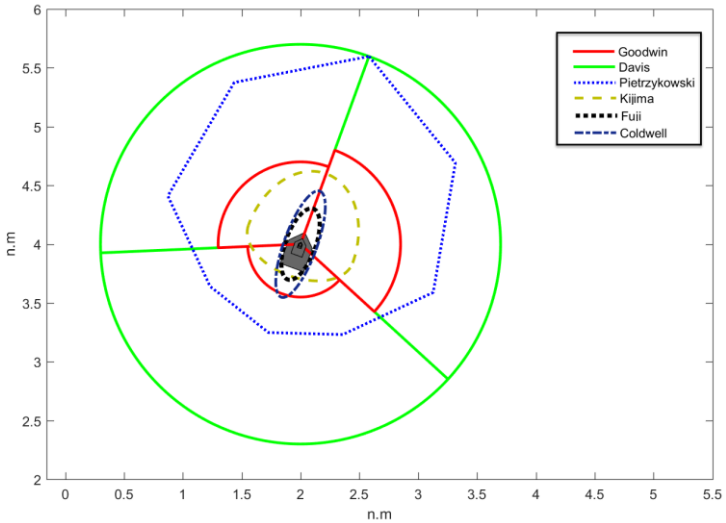
شکل (١٤): ترافیک عبوری منطقه مورد مطالعه



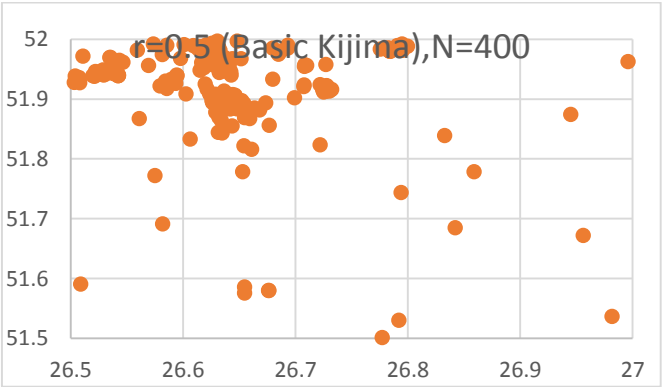
شکل (۱۵): انواع شناورهای عبوری

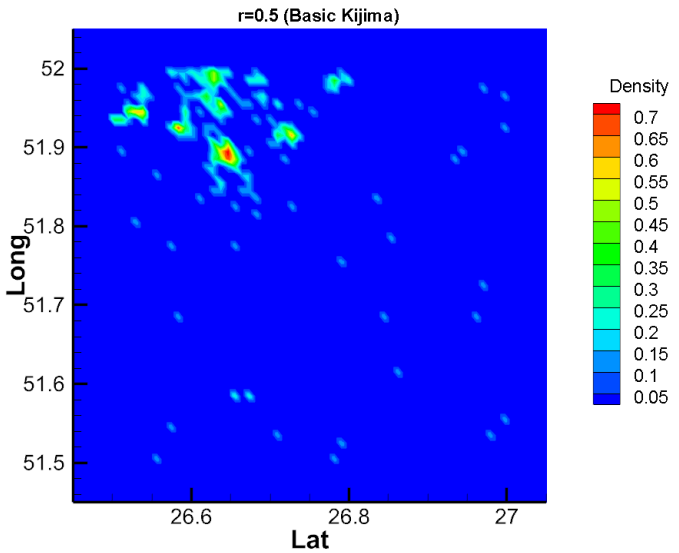
تانکرهای حامل مواد نفتی و مشتقات آن، سهم زیادی از ترکیب ترافیکی منطقه مورد نظر را به خود اختصاص می‌دهند. این دسته از شناورها، به دلیل پیامدهای زیست‌محیطی در صورت بروز سانحه، از اهمیت بالایی در تحلیل ریسک برخوردار می‌باشند.

در محاسبات، از ۵ حالت دامنهٔ ایمن فازی کیجیما استفاده شد که در شکل (۱۶) نمایش داده شده است. طبیعی است که با کاهش ابعاد دامنهٔ ایمن، تعداد نقاط برخورد کاهش می‌یابد. 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.



شکل (۱٦): دامنه مدل کیجیما





شکل (۱۷): نقاط مستعد برخورد (r= 0.5)

در این مطالعه، ابتدا، با بررسی آمار سوانح پیشین در ایران و مناطق دیگر، پدیده‌های برخورد و به گل نشستن شناورها، به عنوان دو پدیده با بیشترین تکرار و خسارت شناسایی شدند. در گام بعد، از داده‌های سیستم AIS برای شبیه‌سازی ترافیک و بررسی موقعیت لحظه‌ای شناورها استفاده شد. سپس برای هر شناور، دامنه ایمنی در نظر گرفته شد به این صورت که با استفاده از مفهوم فازی، چندین حالت برای شاخص ایمنی سیستم محاسبه شد. در نهایت، به منظور شناسایی نقاط برخورد، با استفاده از الگوریتم شناسایی نقاط که در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده بود، این نقاط شناسایی شدند. طبیعی است که با افزایش حجم داده‌ها، پاسخ چرخهٔ تحلیل ریسک به واقعیت نزدیک‌تر و قابل‌اتکاتر خواهد شد.

مراجع

1. Guide I. 73. (2002). Risk management-Vocabulary-Guidelines for use in standards. International Organization for Standardization ISO. 2009; 31000.
2. Haimes YY. (2015). Risk modeling, assessment, and management: John Wiley & Sons.
3. Jensen U. (2002). Probabilistic risk analysis: foundations and methods. Journal of the American Statistical Association. 97:925.
4. Li S, Meng Q, Qu X. (2012). An overview of maritime waterway quantitative risk assessment models. Risk Analysis. 32:496-512.
5. Grabowski M. (2000). Risk modeling in distributed, large-scale systems: Citeseer.
6. Hu S, Fang Q, Xia H, Xi Y. (2007). Formal safety assessment based on relative risks model in ship navigation. Reliability Engineering & System Safety. 92: 369-77.
7. PMO PaMO.
8. USCG. (2012). Ports And Waterways Safety Assessment (PAWSA.
9. IALA-AISM. (2010). IALA Training seminar in risk management: PAWSA, IWRAP & Simulation. p. 32.
10. Fujii Y, Oshima R, Yamanouchi H, Mizuki N. (1974). 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. 27: 239-47.
11. Macduff T. (1974). The probability of vessel collisions. Ocean Industry.
12. Pedersen PT. (1995). Collision and grounding mechanics. Proceedings of WEMT. 95: 125-57.
13. Fujii Y, Yamanouchi H, Mizuki N. (1970). On the fundamentals of marine traffic control. Part 1 probabilities of collision and evasive actions. Electronic Navigation Research Institute Papers. 2: 1-16.
14. Lisowski J, Rak A, Czechowicz W. (2000). Neural network classifier for ship domain assessment. Mathematics and Computers in simulation. 51: 399-406.
15. Smierzchalski R, Michalewicz Z. (2000). Modeling of ship trajectory in collision situations by an evolutionary algorithm. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 4: 227-41.
16. Pietrzykowski Z. (2008). Ship's Fuzzy Domain–a Criterion for Navigational Safety in Narrow Fairways. Journal of Navigation. 61: 499-514.
17. Szlapczynski R. (2006). A unified measure of collision risk derived from the concept of a ship domain. Journal of Navigation. 59: 477-90.
18. Goodwin EM. (1975). A statistical study of ship domains. Journal of Navigation. 28: 328-44.
19. Wang N, Meng X, Xu Q, Wang Z. (2009). A unified analytical framework for ship domains. Journal of Navigation. 62: 643.
20. Pimontel L. (2007). A study into maritime collision probability: TU Delft, Delft University of Technology.

21. Davis P, Dove M, Stockel C. (1980). A computer simulation of marine traffic using domains and arenas. Journal of Navigation. 33: 215-22.
22. Davis P, Dove M, Stockel C. (1982). A computer simulation of multi-ship encounters. Journal of Navigation. 35: 347-52.
23. Zhao J.S., Wu Z.L., Wang F.C., Goodwin E. (1993). Comments On Ship Domains. Journal of Navigation.
24. Zhu X., Xu H., Lin J. (2001). Domain and its model based on neural networks. The Journal of Navigation. 54: 97-103.
25. Coldwell T. (1983). Marine traffic behaviour in restricted waters. Journal of Navigation. 36: 430-44.
26. Commandant U. (1972). International regulations for prevention of collisions at sea, (72 COLREGS). US Department of Transportation, US Coast Guard, COMMANDANT INSTRUCTION M. 1999: 16672.
27. Pietrzykowski Z. (1999). Ship fuzzy domain in assessment of navigational safety in restricted areas. Proc of 3rd Navigational Symposium. p. 253-64.
28. Śmierzchalski R. (2003). Evolutionary algorithm in problem of avoidance collision at sea. Artificial intelligence and security in computing systems: Springer. p. 81-90.
29. Smierzchalski R. (2001). On-line trajectory planning in collision situation at sea by evolutionary computation-experiments. Proceeding of IFAC Conference on Computer Applications in Marine Systems.
30. Pietrzykowski Z, Uriasz J. (2009). The ship domain–a criterion of navigational safety assessment in an open sea area. Journal of Navigation. 62: 93-108.