شبیه‌سازی ریسک-پایه و پویای صحنه عملیات دریایی با هدف مسیریابی ایمن شناورهای سطحی

صادق فاضل[۱] ، ناصر پریز[۲]*

[۱] دانشجوی دکتری، گروه کنترل، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد، (S.fazel@mail.um.ac.ir)
[۲] استاد، عضو هیئت علمی گروه کنترل، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد، (n-pariz@um.ac.ir)

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲

کلمات کلیدی:
مسیریابی
ایمنی
ریسک
هدایت و کنترل
بهینه

چکیده

معمولا تضـمین ایمنی و امنیت برای شـناورها از هر مسـئله دیگری مانند سـرعت، مصـرف انرژی و هزینه مهم‌تر است. در این مقاله نقشه‌ای جدید با عنوان "نقشه ریسک-پایه صحنه عملیات" پیشـنهادشده است که می‌تواند برای نمایش برآیند ریســک همه تهدیدات در هر نقطه از میدان عملیات مورد اســتفاده قرار گیرد. این نقشه می‌تواند جهت تضمین ایمنی و تعیین مسیر ایمن بهینه شناورهای سطحی و هر سیستم دیگری که در یک فضای عملیاتی دوبعدی کار می‌کند به‌کار رود.
همچنین در این مقاله روش و معیاری جدید برای ارزیابی برآیند ریسـک چند تهدید معرفی‌شـده اسـت. روش پیشـنهادی برپایه ترکیب همه تهدیدات با یکدیگر و جایگزینی آنها با یک رویداد که "تهدید معادل" نامیده می‌شود، و سپس ارزیابی ریسک تهدید معادل به‌جای ریسک همه تهدیدات استوار است. مزیت معیار پیشنهادی ارزیابی همزمان برآیند ریسک چند تهدید بر معیارهای معرفی شده قبلی در این است که از آن می‌توان برای تضـمین ایمنی و امنیت حرکت شـناورها بهره برد. در انتها تمامی ایده‌های مطرح‌شـده درمورد یک کشتی که همزمان در معرض چند تهدید قرار دارد پیاده‌سازی شده‌اند.

Risk-based and dynamic simulation of the marine operational field with the purpose of safe path planning for vessels

Sadegh Fazel[1], Naser Pariz[2*]

[1] PH.D. Candidate, Faculty of engineering, Ferdowsi university of Mashhad; (S.fazel@mail.um.ac.ir)
[2] Professor, Faculty of engineering, Ferdowsi university of Mashhad; (n-pariz@um.ac.ir)

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 24 Feb. 2020
Accepted: 01 Jun. 2020

Keywords:
Path planning
Safety
Risk
Guidance and control
Optimal

ABSTRACT

Generally, safety of vessels is more important than other problems as speed, energy consumption and cost. This paper proposes a new map called "Risk-Based Map (RBM)" that can be used to show the risk of all threats at any point in the operational field. This map can be used to ensure safety and to determine the optimal safe path for ships and any other system that works in a 2D space.
Also in this paper, a new method and criterion are introduced for assessing the total risk of some threats. This method is based on combining all threats together and replacing them with an event called "equivalent threat", and then assessing the “equivalent threat risk” instead of the total risk of all threats. Compared to the previously introduced criteria, the advantage of the proposed criterion for simultaneous evaluation of the total risk of some threats is that it can be used to ensure the safety and security of vessels. In the end, all suggested ideas have been implemented for a ship that is simultaneously exposed to several threats.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]

۱ - مقدمه

در صحنه عملیات معمولا سیستم ها با تهدیدات زیادی مواجه می‌شوند. مطابق تعاریف ارائه شده برای ایمنی سیستم در استانداردها و مراجع مختلف، برای تضمین ایمنی سیستم باید در هر لحظه از زمان علاوه بر ریسک هریک از این تهدیدات، برآیند همزمان ریسک همه تهدیدات از یک سطح مشخص قابل پذیرش[۱]، ALR، کمتر باشند [۱-۵]. درمرجع [۶] خالقی و همکارانش تئوری‌های عمده آنالیز عدم قطعیت مورداستفاده در ارزیابی تهدیدات را معرفی و ویژگی‌ها، قابلیت‌ها و محدودیت‌های آنها را بررسی و مقایسه کرده اند. با مرور و مقایسه جامع روش‌های موجود برای ترکیب و ارزیابی همزمان چند تهدید در مراجع مختلف [۳۰-۹] نتیجه می‌گیریم که می‌توان روش‌های ارائه‌شده در این زمینه را به دو گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد. گروه اول روش‌هایی هستند که از شاخص احتمال یا ارزش وقوع و گروه دوم مقالاتی هستند که از شاخص ریسک برای ارزیابی تهدید استفاده کرده‌اند.

مهم‌ترین روش‌های موجود در گروه اول عبارتند از شبکه‌های بیزین[۲] [۹-۱۳]، روش‌های مبتنی بر منطق فازی [۱۴-۱۷]، روش‌های مبتنی بر مدل‌های مارکوف[۳] [۱۸-۱۹]، روش‌های مبتنی بر شبکه‌های هوشمند مانند شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک [۲۲-۲۰]، روش‌های مبتنی بر تئوری قرائن[۴] [۲۳-۲۴]، روش‌های ترکیبی [۲۵-۳۰]، و سایر روش‌های دیگر [۳۱-۳۳]. اما با توجه به تعریف ایمنی در استانداردها، تضمین حرکت ایمن سیستم به تنهایی با استفاده از شاخص احتمال یا ارزش وقوع تهدید امکان پذیر نبوده و در این زمینه باید تنها از شاخص ریسک استفاده شود. اما تعداد مقالات ارائه‌شده در گروه دوم از روش‌ها، که از شاخص ریسک برای کنترل سامانه‌ها در مقابل تهدیدات استفاده می‌کنند، در مقایسه با گروه اول خیلی کمتر بوده و آنها مربوط به حوزه‌های مختلف صنعتی می باشند. به‌طور مثال در مرجع [۳۴] راهکاری ریسک-پایه برای ارزیابی و کنترل تهدیدات شبکه‌های الکتریکی و در مرجع [۳۵] ارزیابی پویای ریسک تهدیدات برای گروهی از سیستم‌های کنترل صنعتی ارائه‌شده اند. در حوزه دریایی آقای بلدرهیج برآیند همزمان ریسک اعمال‌شده توسط تهدیدات نوعی شناورسطحی شامل دو سایت موشکی متحرک مستقر در ساحل و یک ناو هواپیمابر کوچک را مورد ارزیابی قرارداده و از نتایج آن جهت کنترل و مدیریت سنسورهای شناور بهره برده است [۳۶].

در مراجع [۳۴-۳۶] برای ارزیابی برآیند همزمان ریسک همه تهدیدات سیستم مورد مطالعه، از شاخص "مجموع ریسک هر یک از تهدیدات" آنها استفاده‌شده است، اما در تعدادی از مقالات دیگر [۳۹-۳۷] در این زمینه استفاده از شاخص "میانگین ریسک هر یک از تهدیدات" پیشنهادشده است. به طور مثال در مرجع [۳۷] برآیند ریسک همه تهدیدات شبکه‌های کامپیوتری با این روش ارزیابی‌شده است. در این تحقیق برای ارزیابی ریسک تهدیدات ابتدا احتمال موفقیت هر حمله[۵] با تصدیق آژیر[۶] فعال‌شده مربوطه، و سپس اثر حمله با توجه به شدت و ارزش دارایی[۷] شبکه هدف تعیین‌شده و اقدامات کنترلی لازم جهت مقابله با تهدیدات انجام می‌شود. همچنین کمار و همکارانش [۳۸-۳۹] نیز برای ارزیابی برآیند ریسک تهدیدات نوعی شناور مانند هواپیماها، موشک‌ها و هلی‌کوپترها، از شاخص میانگین ریسک هر یک از تهدیدات استفاده کرده‌اند. در مرجع [۳۸] روش بیزین و در مرجع [۳۹] منطق فازی برای محاسبه ارزش وقوع هر یک از تهدیدات به‌کار رفته‌اند.

هرچند در گروه دوم از روش‌ها محققین شاخص‌های مجموع و میانگین ریسک هر یک تهدیدات را به‌عنوان معیارهای ارزیابی برآیند ریسک تهدیدات پیشنهاد کرده‌اند، اما باید توجه کرد که اولا آنها هیچ دلیلی برای اینکه چرا از این معیارها در این زمینه استفاده می‌کنند ارائه نکرده‌اند و دوما هیچ یک از این معیارها مطابق تعریف ایمنی [۱-۵] نمی‌توانند برای تضمین ایمنی و امنیت سیستم مورد استفاده قرار گیرند. زیرا معیار "مجموع ریسک تهدیدات" عددی نرمالیزه نیست که بتوان آن را با مقدار ALR مقایسه کرد و درمورد معیار "میانگین ریسک تهدیدات" نیز ممکن است که این معیار کمتر از مقدار ALR باشد، اما تهدیدی وجود داشته باشد که مقدار ریسک ایجادشده توسط آن برای دارایی موردنظر از همان مقدار ALR بیشتر باشد.

در این مقاله ابتدا نقشه‌ای جدید که "نقشه ریسک-پایه (RBM)[۸] صحنه عملیات" نامیده می‌شود، معرفی می‌شود. این نقشه می‌تواند توسط کاپیتان شناورها جهت هدایت و کنترل ایمن شناورها و همچنین تضمین ایمنی عملکرد آنها به‌کار رود. با توجه به اینکه پیش‌نیاز تهیه نقشه ریسک-پایه صحنه عملیات ارزیابی صحیح برآیند ریسک تهدیدات موجود است، در این مقاله روش و معیاری جدید جهت ارزیابی برآیند ریسک تهدیدات حاضر در صحنه عملیات پیشنهادشده است که از آنها می‌توان جهت تضمین ایمنی حرکت شناور استفاده کرد. در این روش هر یک از تهدیدات به‌عنوان یک رویداد درنظرگرفته شده و در فضای رویدادها به‌کمک یکی از روش‌های موجود ترکیب رویدادها با یکدیگر ترکیب‌شده و به رویداد معادلی که به آن "تهدید معادل" گفته می‌شود، تبدیل می‌شوند. همچنین ریسک این رویداد که به آن "ریسک تهدید معادل" گفته می‌شود، به‌عنوان معیار جدید ارزیابی برآیند ریسک همه تهدیدات پیشنهادشده است. در این مقاله جهت ترکیب رویدادها از روش آنالیز درخت خطا (FTA)[۹] که برپایه منطق مشهور بولی استوار است [۴-۵] استفاده‌شده است، اما در این زمینه می‌توان از سایر تکنیک‌ها مانند روش بیزین که برپایه منطق های دیگر استوارند نیز استفاده کرد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]

مهم‌ترین مزایای استفاده از نقشه، روش و معیار جدید پیشنهادی برای ارزیابی برآیند ریسک تهدیدات، در مقایسه با راهکارها و روش‌های قبلی عبارتند از: (۱) در حالتی که تهدیدات ثابت بوده (مانند وجود صخره‌ها، نواحی مین‌ریزی شده یا پادگان‌های نظامی) یا دارای مانور کمی باشند (مانند ناوها و شناورهای نظامی بزرگ) استفاده از نقشه RBM بسیار ساده است، به‌طوری که کاپیتان شناور می‌تواند، درصورت عدم وجود زمان یا امکانات کافی برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های مسیریابی ایمن و بهینه، تنها با ملاحظه چشمی نقشه و بدون استفاده از هرگونه الگوریتم‌های تحلیلی یا شبیه‌سازی پیچیده، مسیر ایمن بهینه شناور را روی RBM ترسیم کند. (۲) درصورت استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، معمولا چون حل آنها جهت تعیین مسیر ایمن بهینه با وجود قیود فراوان خطی و غیرخطی مربوط به دینامیک شناور و تهدیدات، صحنه عملیات و همچنین قیود تضمین کننده ایمنی شناور با روش‌های تحلیلی بسیار دشوار بوده و حتی گاهی غیرممکن است، جهت تعیین آن از روش‌های شبیه‌سازی عددی استفاده می‌شود. اما برای استفاده از روش‌های بهینه‌سازی عددی در این زمینه نیاز به پیشنهاد یک مسیر اولیه توسط کاربر می‌باشد، که پیشنهاد صحیح این مسیر اولیه نقش بسیار مهمی در همگرایی و کاهش حجم و زمان انجام محاسبات توسط کامپیوتر دارد. از نقشه RBM پیشنهادی می‌توان به‌راحتی جهت تعیین یک مسیر اولیه نزدیک به مسیر ایمن بهینه دلخواه استفاده کرد. (۳) علاوه بر اینکه روش مسیریابی ایمن به‌کمک RBM می‌تواند به عنوان اولین اقدام برای مقابله با تهدیدات شناورهای نظامی به‌کار رود، روش مذکور می‌تواند برای شناورهای غیرنظامی که مجهز به تسلیحات نمی‌باشند به عنوان مهم‌ترین ابزار گریز از تهدیدات با صرف هزینه کمی پیاده‌سازی شود. در این صورت گزینه استفاده از تسلیحات تنها درصورتی که زمان کافی برای گریز از تهدیدات وجود نداشته باشد به‌کار رفته و درنتیجه هزینه مقابله با تهدید به‌صورت قابل ملاحظه ای کاهش خواهد یافت. (۴) با توجه به اینکه روش پیشنهادی روشی کنشی یا فعال بوده و تاکید آن براین است که تعیین مسیر ایمن شناور به‌نحوی صورت گیرد که تا حدامکان از انجام هرگونه اقدام تهدیدآمیز توسط تهدیدات موجود پیشگیری شود، کاربرد آن دارای کمترین آثار سوء جانی، مالی و محیطی درمقایسه با روش‌های واکنشی یا غیرفعال است که بر گزینه تخصیص و استفاده از سلاح پس از بالفعل شدن تهدید تاکید دارند. همچنین در این مقاله نتایج پیاده‌سازی تمامی ایده‌های جدید مطرح‌شده به‌عنوان مورد مطالعاتی، درمورد کشتی که در صحنه عملیات دریایی در معرض ریسک ترکیبی تهدیدات ایجاد شده توسط یک شناور نظامی و همچنین یک جزیره غیرنظامی قرار دارد، ارائه خواهند شد. در این مطالعه موردی هر یک از تهدیدات موجود در صحنه مدل‌سازی شده و برآیند ریسک همه تهدیدات کشتی با روش آنالیز درخت خطا محاسبه شده و به‌صورت پویا توسط RBM نمایش داده می‌شوند. استفاده از این نقشه به کاپیتان شناور کمک می‌کند که بتولند به طور مثال ایمن‌ترین، کوتاه‌ترین و مطلوب‌ترین مسیرهای ایمن کشتی را تعیین کند.

تحلیل مقدماتی حوادث رخداده برای تعدادی از کشتی‌های غرق‌شده ایران مانند کشتی سانچی، و اخیرا کشتی کنارک نشان می‌دهد که از دیدگاه مولفین یکی از علل غرق شدن و کشته یا زحمی‌شدن بعضی از پرسنل این شناورها، عدم تعیین درست مسیر یا موقعیت ایمن برای آنها در حین انجام ماموریت بوده است، و این انگیزه اصلی مولفین از پیشنهاد استفاده از نقشه RBM به عنوان یک روش کنشی برای پیشگری از وقوع این تهدیدات است.

۲- تعیین قیود ایمنی و تعریف مسیر و ناحیه ایمن

در این بخش مفاهیم جدیدی با عنوان "ناحیه ایمن" و " مسیر ایمن" ارائه می‌شوند که بخش‌های بعد در تضمین ایمنی مسیر حرکت شناور به‌کار می‌روند. در این مقاله تعریف این مفاهیم به نحوی صورت می‌گیرد که با تعاریف استلندارد ارائه‌شده برای "ریسک"، "ایمنی" و "ایمنی سیستم" در استانداردها و مراجع بین المللی مهم در حوزه ایمنی [۱-۳] تطابق داشته و قیود مربوط به ایمنی را برآورده کند.

در استاندارد بین المللی ایزو [۳] ریسک به عنوان "اثر عدم قطعیت بر اهداف" تعریف شده و تصریح شده است که ریسک معمولا با ترم‌های منابع وقوع رویدادهای بالقوه، و اثرات و احتمال وقوع آنها بیان می‌شود. در استاندارد مرجع [۱] ریسک تهدید به‌صورت "بیان اثر و احتمال وقوع یک تهدید برحسب شدت و احتمال رخداد بالقوه آن" تعریف شده است. با جمع‌بندی تعاریف ارائه‌شده در مراجع مختلف [۱-۹] می‌توان نتیجه گرفت که ریسک معیاری برای ارزیابی میزان (سطح یا درصد) پذیرش هم‌زمان میزان اثرات و ارزش وقوع (مانند احتمال رخداد) یک رویداد غیرقطعی (مانند تهدید/خطر/خرابی) است.

در معروف‌ترین استاندارد ایمنی سیستم در سطح دنیا [۱] و مرجع [۲] مفاهیم مذکور به این صورت تعریف‌شده است: "ایمنی: رهایی از شرایطی که می‌تواند منجر به مرگ، صدمه شغلی و صدمه یا ازبین رفتن تجهیزات یا ویژگی‌ها، یا صدمه به محیط زیست شود." و "ایمنی سیستم: استفاده از اصول، معیارها و تکنیک‌های مهندسی و مدیریتی برای دستیابی به سطح قابل قبولی از ریسک برای تهدید/خطر، با رعایت کلیه قیود مربوط به اثربخشی عملکردی، هزینه و زمان در طول همه فازهای چرخه عمر سیستم".

بنابراین تعاریف، شرایط لازم و کافی برای تضمین ایمن‌بودن هر مسیر یا ناحیه‌ای این است که باید در هر زمان و مکانی که سیستم

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]

لازم است در آنجا اقامت کند اولا ریسک هر یک از تهدیدات، r_k، و دوما برآیند ریسک همه تهدیدات، r_t، از مقدار ALR کمتر باشد. درنتیجه اگر $ALR = r_m$ سطح قابل پذیرش ریسک تهدید و m تعداد کل تهدیدات موجود برای یک سیستم بوده و T_{x_a} مجموعه همه لحظاتی باشد که سیستم در موقعیت $x_a = (x, y)$ قرار می‌گیرد، شرایط لازم و کافی تضمین ایمنی سیستم در نقطه x_a از میدان عملیات را می‌توان با قیودی به شکل زیر بیان کرد.

$$r_k(x_a(t),t) \le ALR \quad \forall k \in \{1,2,...,m\}, \forall x_a(t), \forall t \in T_{x_a} \quad (۱)$$

$$r_t(x_a(t),t) \le ALR \quad \forall x_a(t), \forall t \quad (۲)$$

بنابراین اگر میدان عملیات قابل قبول سیستمی با نماد D، و مجموعه مسیرهای قابل قبول برای آن با نماد C نشان داده شوند، ناحیه و مسیر ایمن عملکرد آن را به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

تعریف ۱ (ناحیه ایمن): هر زیرمجموعه‌ای از میدان عملیات سیستم مانند $D_S(t) \in D$، که ریسک ناشی از تهدیدات در هر نقطه از آن در قیود ایمنی (۱) و (۲) صدق کند.

$$D_S(t) = \{(x,y) \in D \mid (r_t(x,y,t) \le ALR) \quad and \quad (r_k(x,y,t) \le ALR)\ \forall k\} \quad (۳)$$

مطابق تعریف (۳) ناحیه ایمن تابعی از زمان بوده و فقط در لحظه t برای اقامت سیستم ایمن است و مثلا اگر در صحنه عملیات یک تهدید متحرک باشد، این ناحیه نیز با زمان تغییر می‌کند. اما مجموعه‌ای از نقاط صحنه عملیات هستند که همیشه برای اقامت سیستم ایمن هستند که مطابق تعریف زیر به این مجموعه ناحیه اکیدا ایمن گفته می‌شود.

تعریف ۲ (ناحیه اکیدا ایمن): هر زیرمجموعه‌ای از میدان عملیات سیستم مانند $D_S \in D$، که ریسک ناشی از تهدیدات حاضر در هر نقطه از آن و در هر لحظه از زمان در قیود ایمنی، که با معادلات (۱) و (۲) بیان شده‌اند، صدق کند.

$$D_S = \{(x,y) \in D \mid (r_t(x,y,t) \le ALR) \quad and \quad (r_k(x,y,t) \le ALR)\ \forall k, \forall t\} \quad (۴)$$

تعریف ۳ (مسیر ایمن): مسیر قابل‌قبول $C_S \in C$ که در هر نقطه از آن ریسک ناشی از تهدیدات حاضر در میدان عملیات در لحظه t در قیود ایمنی، که با معادلات (۱) و (۲) بیان شده‌اند، صدق کند.

$$C_S(t) = \{(x,y) \in D \mid (g(x,y)=0) \ and \ (r_t(x,y,t) \le ALR) \ and \ (r_k(x,y,t) \le ALR) \ \forall k, t \in T_{x_a}\ \} \quad (۵)$$

رابطه $(g(x,y)=0)$ ممکن است تابع بوده و به فرم $y = f(x)$ بیان شود.

۳- نقشه ریسک-پایه صحنه عملیات و کاربرد آن در هدایت ایمن شناور

فرض کنید که یک شناور با موقعیت $(x(t), y(t))$ در صفحه x-y از دستگاه کارتزین، و در محدوده میدان عملیاتی D فعالیت کند.

تعریف ۴ (نمودار سه بعدی ریسک-پایه صحنه عملیات): نمودار برآیند ریسک اعمالی توسط همه تهدیدات حاضر در صحنه عملیات به شناور برحسب موقعیت آن در یک لحظه خاص از زمان. برای رسم این نمودار ابتدا مقدار تابع $r_t(x_a(t),t)$ را در تمام نقاط میدان عملیات و با این فرض که شناور در لحظه مشخص t در آن نقاط قرار گرفته محاسبه و سپس مقدار آن را در لحظه t برحسب موقعیت شناور در تمام نقاط میدان عملیات نمایش می‌دهیم.

تعریف ۵ (نقشه n سطحی ریسک-پایه صحنه عملیات): نقشه n سطحی ریسک-پایه یک شناور در محدوده میدان عملیاتی آن، D، عبارت است از تصویر نمودار سه بعدی ریسک-پایه صحنه عملیات روی میدان D از صفحه x-y از دستگاه مختصات کارتزین، که توسط (n-1) منحنی بسته مرزی، $B_i(t)$، به n ناحیه مستقل دوبدو ناسازگار، $\Omega_i(t)$، که با روابط زیر توصیف می‌شوند، تقسیم‌بندی می‌شود. در این روابط $(r_1, r_2, ..., r_{n-1})$، (n-1) سطح مختلف ریسک هستند.

$$B_i(t) = \{(x,y) \in D \mid (r_t(x,y,t) = r_i)\} \quad (1 \le i \le n-1) \quad (1 > r_1 ... r_{i-1} > r_i ... r_{n-1} > 0) \quad (۶)$$

$$\Omega_i(t) = \begin{cases} (x,y) \in D \mid 1 \ge r_t(x,y) > r_1 & i = 1 \\ (x,y) \in D \mid r_{i-1} \ge r_t(x,y) > r_i & 1 \le i \le n-1 \\ (x,y) \in D \mid r_{n-1} \ge r_t(x,y) > 0 & i = n \end{cases} \quad (۷)$$

اگر ALR ماکزیمم سطح قابل پذیرش ریسک کارکرد ایمن شناور تعیین‌شده و $(r_1 = ALR)$ درنظر گرفته شود، نوع بسیار مهمی از نقشه n سطحی ریسک-پایه یک شناور ایجاد می‌شود که از دیدگاه ایمنی اهمیت زیادی دارد. زیرا این نوع نقشه مطابق روابط زیر صحنه عملیات شناور را به دو ناحیه ایمن، $\Omega_{Safe}(t)$، و ناایمن، $\Omega_{Unsafe}(t)$، تقسیم‌بندی می‌کند.

$$\Omega_{Unsafe}(t) = \Omega_1(t) = \{(x,y) \in D \mid (r_t(x,y,t) = r_i > ALR\} \quad (۸)$$

$$\Omega_{Safe}(t) = \Omega'_{Unsafe}(t) = \bigcup_{i=2}^{n} [\Omega_i(t)] \quad (۹)$$

از دیدگاه تضمین ایمنی شناور، اهمیت این نوع از نقشه از این جهت است که اگر شناور به‌گونه‌ای هدایت و کنترل شود که هرگز به ناحیه ناایمن وارد نشود، یا به بیان دیگر اگر مسیر حرکت شناور همواره در ناحیه ایمن تعیین شود، آنگاه ایمن بودن مسیر شناور

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]

تضمین خواهد شد. در شکل (۴) یک نمونه نمودار ده سطحی ریسک پایه صحنه عملیات با نه مقدار مرزی ارائه‌شده است.

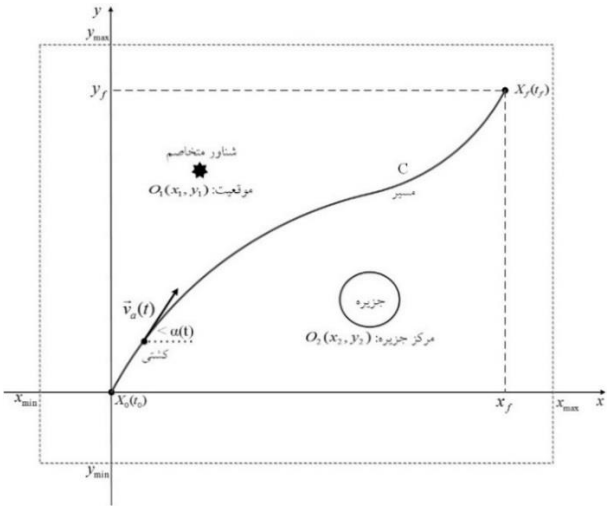
تعریف ۶ (نقشه ریسک-پایه صحنه عملیات): RBM به نقشه سه‌سطحی ریسک-پایه یک شناور در میدان عملیات، D، گفته می‌شود، که پارامترهای n و r_1 و r_2 با روابط زیر تعریف می‌شوند.

$$(n=3)\ and\ (r_1 = ALR)\ and\ (r_2 = \beta.r_1) \quad (0<\beta<1) \qquad (۱۰)$$

RBM درحقیقت صحنه عملیات را به سه ناحیه ناایمن، ایمن با ریسک متوسط و ایمن با ریسک کم تقسیم‌بندی می‌کند، که می‌توان آنها را به‌ترتیب با سه رنگ قرمز، زرد و سبز نمایش داد. در مسئله هدایت و تعیین مسیریابی ایمن شناورها این نواحی و رنگ‌ها مفهوم و اهمیت بسیار زیادی دارند. ناحیه قرمز رنگ ناحیه ناایمن بوده و ورود شناور به آن ممنوع است. در مسائل شبیه‌سازی این قانون با قیود (۱) و (۲) اعمال می‌شود. ناحیه زرد رنگ ناحیه ایمن با ریسک متوسط است و این به آن معنی است که تا حدامکان بهتر است که مسیر شـ ناور در این ناحیه انتخاب نشود و اگر به ناچار شناور وارد این ناحیه شد کاپیتان سعی کند در اولین زمان از ناحیه زرد به ناحیه سبز تغییر مسیر دهد. ناحیه سبز رنگ ناحیه ایمن با ریسک پایین است، به این معنی که بهتر است مسیر شناور تا حد ممکن در این ناحیه انتخاب شود، زیرا در این صورت می‌توان ایمن بودن آن را با پذیرش ریسک بسیار کمی تضمین کرد.

نکته جالب برای اشاره آن است که نقشه ریسک-پایه صحنه عملیات یک سیستم از نظر ظاهری و نوع کاربری مشابه و قابل قیاس با نمودار لیاپانوف است. با این تفاوت که نقشه لیاپانوف میدان عملیات سیستم را به چند ناحیه که معمولا دارای سطوح مختلف انرژی هستند تقسیم می‌کند و از آن جهت تضمین پایداری سیستم استفاده می‌شود، اما نقشه ریسک پایه صحنه عملیات سیستم را به چند ناحیه که دارای سطوح مختلف ریسک هستند تقسیم کرده و از آن جهت تضمین ایمنی سیستم استفاده می‌شود. در شکل (۵) دو نمونه نمودار ریسک پایه صحنه عملیات با مقادیر مرزی $(r_1 = ALR = 0.1, r_2 = 0.3.r_1)$، ارائه شده‌اند. جزئیات نحوه ترسیم این نمودارها در بخش‌های بعدی تشریح خواهد شد.

تعریف ۷ (تابع برآیند ریسک و نقشه ریسک-پایه تغییرناپذیر با زمان): اگر مقدار تابع برآیند ریسک تهدیدات به‌صورت، $r_t(x_a)$، فقط تابع موقعیت سیستم در صحنه عملیات بوده و با گذشت زمان تغییر نکند، تابع ریسک پایه صحنه عملیات نیز با با گذشت زمان تغییر نخواهد کرد. در این صورت به تابع برآیند ریسک و نقشه ریسک-پایه تغییرناپذیر با زمان گفته می‌شود.



شکل ۱: سناریوی تعیین مسیر ایمن بهینه شناور (دو تهدیدکننده ثابت از نوع شناور نظامی و جزیره)

۴- سناریوی پیاده‌سازی ایده‌های طرح‌شده

در این بخش برای درک بهتر مفاهیم پیشنهادی، ابتدا یک مورد مطالعاتی و سناریوی عملی معرفی‌شده و سپس در طول مقاله فرآیند مدل‌سازی، ارزیابی و نمایش برآیند ریسک تهدیدات با شاخص، روش و نمودار RBM جدید پیشنهادی در این سناریو پیاده‌سازی می‌شوند. مطابق شکل (۱) در این مطالعه موردی یک کشتی غیرنظامی قصد دارد در حضور تعدادی جسم تهدیدکننده ثابت از نوع شناور نظامی و جزیره، در محدوده میدان D که با رابطه زیر توصیف می‌شود، از نقطه مبدا X_0 به نقطه نهایی X_f برود.

$$D = \{(x,y) \in R^2 \mid (x_{\min} \le x \le x_{\max}) \ and\ (y_{\min} \le y \le y_{\max})\} \qquad (۱۱)$$

معادلات دینامیکی حرکت کشتی با روابط زیر توصیف می‌شوند.

$$\dot{x}_a(t) = \begin{bmatrix}\dot{x}(t)\\ \dot{y}(t)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}|\overrightarrow{v_a}|\ cos\ (u(t))\\ |\overrightarrow{v_a}|\ sin\ (u(t))\end{bmatrix} \qquad (۱۲)$$

$$u(t) =< \overrightarrow{v_a}(t) = \alpha(t) \qquad (۱۳)$$

$$0 \le |\overrightarrow{v_a}(t)| \le v_m \qquad (۱۴)$$

در این معادلات $x_a(t)$ بردار حالت شناور بوده و $\alpha(t)$ که برابر زاویه بردار سرعت شناور نسبت به محور x است به عنوان ورودی کنترلی شناور، u(t)، درنظرگرفته شده است. نوع کشتی شناور سطحی کلاس سنگین با حداکثر سرعت v_m است. برای تعیین مسیر شناور باید قید مربوط به قابلیت مانور شناور که با رابطه زیر توصیف می‌شود برآورده شود. در این رابطه C(t) انحنای مسیر[۱۰] شناور، $l(t)$ طول مسیر طی‌شده توسط شناور تا لحظه t و $C_{max}(|\overrightarrow{v_a}(t)|)$ حداکثر مقدار انحنای مسیر در لحظه t است که تابعی از سرعت شناور در آن لحظه است. فرض بر این است که اگر رابطه زیر برقرار باشد شناور هیچگاه واژگون یا ناپایدار نمی‌شود.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]

$$0 \le |C(t)| \le C_{max}(|\overrightarrow{v_a}(t)|) \quad C(t) = \frac{d\alpha(t)}{dl(t)} \qquad (۱۵)$$

در صحنه عملیات موقعیت شناور مورد حفاظت با نقطه (x, y) و موقعیت شناور تهدیدکننده با نقطه (x_1, y_1) نشان‌داده می‌شوند. همچنین جزیره تهدیدکننده کشتی مطابق رابطه زیر با سطح دایره شکلی از نقاط به مرکز (x_2, y_2)و شعاع R_2 مدل‌سازی می‌شوند.

$$I = \{(x,y) \in D \,|\, (0 \le |r| \le R_2), \quad |r| = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2}\} \qquad (۱۶)$$

بنابراین در این سناریو مسئله اصلی ارزیابی و مدل‌سازی ریسک پایه صحنه عملیات شناور است، به نحوی که بتوان از نتایج آن برای یافتن مسیری ایمن و بهینه شناور سطحی، با ایجاد توازن بین مسئله ایمنی و مسائل دیگر مانند طول و زمان مسیر استفاده کرد.

۵- مدل‌سازی پویای مانور حرکت تهدیدات

برای شبیه‌سازی ریسک پایه و پویای صحنه عملیات، یکی از تهدیدات متحرک و مانور دار در نظر گرفته شده است. منظور از مانور تغییر زاویه یا اندازه بردار سرعت حرکت هدف است. در صحنه عملیات تهدید می‌تولند مانورهای مختلفی داشته باشد. یکی از معروف ترین انواع مانور حرکت تهدیدات مانور زیگزاگی است که در این مقاله با مدل سینوسی با سرعت $v_T(t)$ شبیه‌سازی شده است. به این ترتیب که مطابق شکل (۲) تهدید در لحظه $t_0 = 0$ در نقطه $p_0 = [x_T(t_0) \quad y_T(t_0)]^T$ قرارداشته و حرکت سینوسی خود را با دامنه A و سرعت زاویه‌ای ω حول نیم خطی که از نقطه p_0 شروع‌شده و با محور x زاویه φ می‌سازد انجام می‌دهد.

برای شبیه‌سازی چنین حرکتی ابتدا معادلات حرکت تهدیدی که در لحظه $t_0 = 0$ در مبدا مختصات بوده و با مانور سینوسی در امتداد محور x با سرعت $v_T(t)$ شروع به حرکت می‌کند را شبیه‌سازی می‌کنیم. اگر موقعیت چنین تهدیدی را در هر لحظه از زمان با $p_{T1}(t) = [x_{T1}(t) \quad y_{T1}(t)]^T$ نمایش دهیم، رابطه بین طول و عرض جغرافیایی موقعیت و سرعت آن در هر لحظه از زمان با روابط زیر تعیین می‌شود.

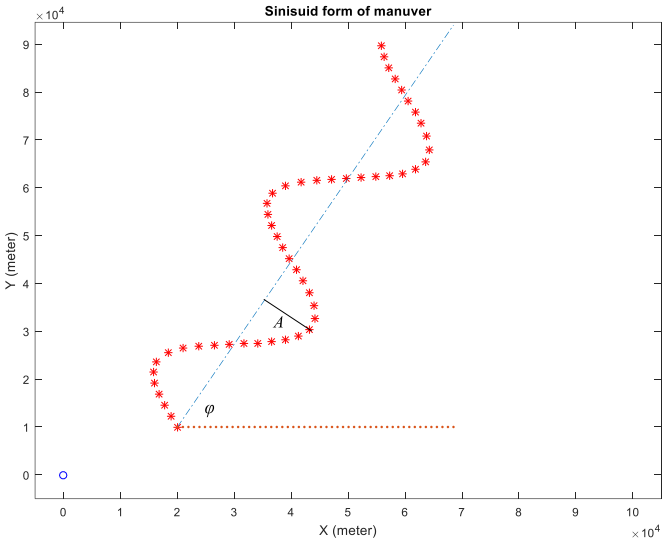
$$y_{T1}(t) = A.\sin(w.x_{T1}(t)) \qquad (۱۷)$$

$$\dot{x}_{T1}(t)^2 + \dot{y}_{T1}(t)^2 = v_T(t)^2 \qquad (۱۸)$$

با جایگذاری رابطه (۱۷) در رابطه (۱۸) به معادله زیر می‌رسیم.

$$\dot{x}_{T1}(t) = f(x_{T1}(t)) = \pm\frac{v_T(t)}{\sqrt{1+(A.\omega.\cos(w.x_{T1}(t)))^2}} \qquad (۱۹)$$

فرم گسسته روابط (۱۷) و (۱۹) مطابق رابطه زیر است.



شکل ۲: نمونه ای از حرکت تهدید با مانور زیگزاگی سینوسی (با پارامترهای A=1000، ω=1.57e-4، φ=60 Deg.، $y_T(0) = 10000$ و $x_T(0) = 20000$)

$$\begin{cases} x_{T1}(t+\delta t) = x_{T1}(t) + f(x_{T1}(t)).\delta t \\ = x_{T1}(t) \pm \dfrac{v_T(t)}{\sqrt{1+(A.\omega.\cos(w.x_{T1}(t)))^2}}.\delta t & x_{T1}(0) = 0 \\ y_{T1}(t+\delta t) = A.\sin(w.x_{T1}(t+\delta t)) & y_{T1}(0) = 0 \end{cases} \qquad (۲۰)$$

حال مطابق روابط زیر ابتدا موقعیت چنین تهدیدی را به اندازه زاویه φ دوران داده و سپس آن را به اندازه $[x_0 \quad y_0]^T$ انتقال می‌دهیم، تا موقعیت تهدید موردنظر که با نماد $p_T(t) = [x_T(t) \quad y_T(t)]^T$ نشان داده می‌شود به دست آید.

$$\begin{bmatrix} x_T(t+\delta t) \\ y_T(t+\delta t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_T(t_0) \\ y_T(t_0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Cos(\phi) & -Sin(\phi) \\ Sin(\phi) & Cos(\phi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{T1}(t+\delta t) \\ y_{T1}(t+\delta t) \end{bmatrix} \qquad (۲۱)$$

۶- شناسایی و مدل سازی ریسک هر یک از تهدیدات

در این بخش رویه شناسایی و مدل‌سازی ریسک تهدیدات، به عنوان اولین گام در اجرای هرنوع برنامه تضمین ایمنی، ارائه خواهد شد. در جدول (۱) لیست تهدیدات متناظر با دو جسم تهدیدکننده شناور ارائه‌شده اند. در صحنه عملیات هر یک از تهدیدات به‌صورت بالقوه مقداری ریسک برای شناور ایجاد می‌کنند. چون در این تحقیق از تئوری احتمال برای مدل‌سازی عدم قطعیت استفاده شده است، ریسک تهدید kام مطابق رابطه زیر تابعی از دو عدد شدت، $S_k(t)$، و احتمال وقوع، $O_k(t) = P_k(t)$، تهدید است.

$$r_k(t) = S_k(t).O_k(t) \qquad \forall k \in \{1,2,\ldots,m\} \quad (0 \le S_k(t) \le 1) \; and \; (0 \le O_k(t) \le 1) \qquad (۲۲)$$

احتمال وقوع هر تهدید خود تابعی از پارامترهای زیادی مانند بردار حالت تهدیدشونده و اشیاء تهدیدکننده و برخی از مشخصات آنها است [۹-۴۱]، که بعضی از آنها در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]

جدول ۱: لیست تهدیدات اولیه و ترکیب‌شده شناور

تهدیدات ترکیب شده		نماد	لیست تهدیدات	اشیاء تهدیدکننده
تهدید معادل	تهدیدات میانی			
صدمه دیدن یا تخریب شدن کشتی (ET)	صدمه به کشتی (T_1)	T_{11}	بر کف نشستن کشتی در نزدیکی جزیره	جزیره
		T_{12}	برخورد کشتی با جزیره	
	تخریب کشتی با یک پرتابه (T_2)	E_{21}	پرتاب پرتابه به سمت کشتی به خاطر نزدیک شدن به شناور دشمن یا ورود به ناحیه ایمن آن (P_L)	شناور دشمن
		E_{22}	اصابت پرتابه به کشتی، به شرط اینکه پرتاب شود ($P_{H\|L}$)	

جدول ۲: تعدادی از پارامترهای موثر در ارزیابی تهدید

ردیف	نام پارامتر	نماد	توضیحات
۱	Number	N	تعداد اهداف
۲	Position	P	موقعیت شناور و تهدیدات
۳	Velocity	V	اندازه بردار سرعت تهدید
۴	Bearing	B	زاویه نسبی تهدید با دارایی
۵	Maneuver	MNV	شاخص مانور هدف
۶	Weapon range	WR	برد تخریب تسلیحات هدف
۷	Platform	PF	نوع و کلاس هدف
۸	Range	R	فاصله نسبی دارایی با تهدید
۹	Course	C	زاویه بردار سرعت تهدید
۱۰	Height	H	ارتفاع هدف
۱۱	Sea Condition	SC	شرایط دریا
۱۲	Voice Communication	VC	برقراری مکالمه صوتی

در مرجع [۳۶] بلدرهیج نشان‌داده است که چگونه می‌توان با بعضی از پیش‌فرض‌ها تابع احتمال رخداد تهدید "تخریب شناور با پرتابه (T_2)" را برحسب فاصله کشتی تا تهدید، $d_k(x(t),y(t))$، مدل‌سازی کرد. در این مقاله فرض می‌شود که احتمال رخداد تهدید kام قبلا در فرآیند ارزیابی تهدید مطابق روابط زیر به‌صورت به‌صورت تابعی از فاصله کشتی تا تهدید ارزیابی‌شده و پارامترهای این مدل شامل (α_k، R_k، r_{0k}) به‌عنوان ورودی به فرآیند شبیه‌سازی صحنه عملیات وارد می‌شوند. در جدول (۳) مقادیر این پارامترها برای تهدیدات مختلف ارائه شده‌اند.

$$d_k(x,y)=\sqrt{(x-x_k)^2+(y-y_k)^2} \qquad (۲۳)$$

جدول ۳: سطوح، معیارها و مقادیر پیشنهادی ارزیابی شدت تهدیدات

شدت	نوع اثرات و معیارهای			سطح
	محیطی	مالی	جانی	
0.9-1	صدمات محیطی برگشت ناپذیر و ناقض قوانین و مقررات	خسارت کلی مالی $L_1 < M$ $L_1 = \$\ 1M$	مرگ یا صدمه کلی ودائمی به افراد	فاجعه انگیز
0.5-0.9	صدمات محیطی برگشت پذیر و ناقض قوانین و مقررات	خسارت زیاد مالی $L_2 < M \leq L_1$ $L_2 = \$\ 200K$	صدمه زیاد به افراد، صدمه جزئی دائمی، یا صدمات یا بیماری شغلی منجر به بستری شدن حداقل سه نفر	بحرانی
0.2-0.5	صدمات محیطی جزئی و برگشت پذیر که قوانین و مقررات را نقض نمی‌کنند.	خسارت جزئی مالی $L_3 < M \leq L_2$ $L_3 = \$\ 10K$	صدمه یا بیماری شغلی منجر به از دست رفتن یک یا چند روز کاری	جزئی
0-0.2	صدمات محیطی ناچیز که قوانین و مقررات را نقض نمی‌کنند.	خسارت مالی قابل چشم-پوشی $L_3 \leq M$	بی‌تاثیر یا صدمه یا بیماری شغلی که منجر به از دست رفتن روز کاری نشود	ناچیز

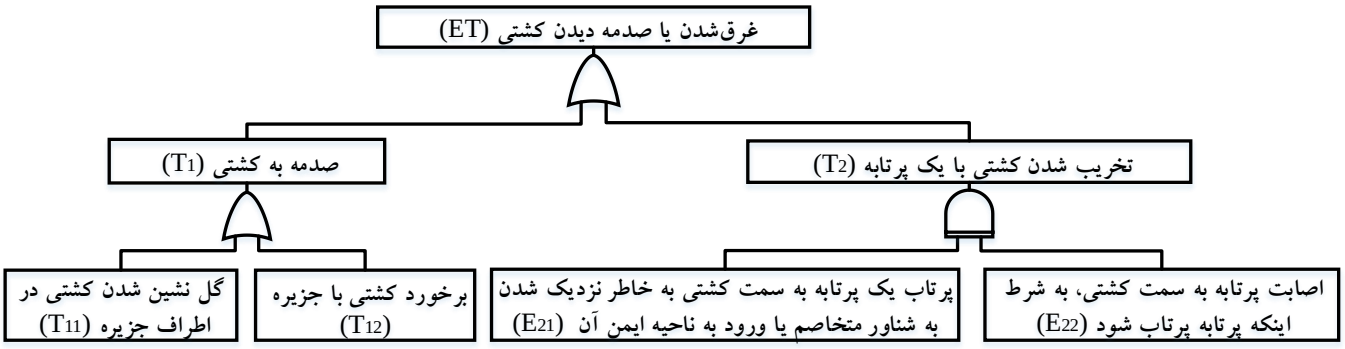
$$P[d_k(x(t),y(t))]= \alpha_k.\begin{cases} 1 & d_k(x(t),y(t)) \leq R_k \\ e^{-\left(\frac{d_k(x(t),y(t))-R_k}{r_{0k}}\right)^2} & dk(x(t),y(t)) > R_k \end{cases} \qquad (۲۴)$$
$$0 \leq \alpha_k \leq 1$$

اما شدت هر تهدید تابعی از اثرات وقوع آن بر شناور است. در بعضی از مقالات [۳۶]، این پارامتر برابر مقدار بیشینه آن ($S_k(t)=1$) است. اما در این مقاله شدت هر یک از تهدیدات با معیارهای معرفی‌شده در جدول (۳) تعیین شده‌اند. در این جدول مقادیر عددی شدت توسط مولف مقاله پیشنهادشده، اما دسته‌بندی و معیارهای ارزیابی سطوح مختلف شدت مطابق مرجع [۵]، به‌عنوان پرکاربردترین مرجع ایمنی سیستم در سطح دنیا، است.

۷- مدل جدید ارزیابی برآیند ریسک همه تهدیدات

الگوریتم پیشنهادی جدید در این مقاله برای تعیین برآیند ریسک تهدیدات شناور به شرح زیر است:

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]



شکل ۳: مدل درخت خطا جهت ترکیب تهدیدات (شناور نظامی دیگر و جزیره) شناور

۱- هر تهدید را به عنوان یک رویداد درنظر بگیرید.
۲- همه تهدیدات را درفضای رویدادها با یکدیگر ترکیب‌کرده و یک رویداد معادل با عنوان "تهدید معادل همه تهدیدات" ایجاد کنید.
۳- احتمال وقوع و شدت رخداد "تهدید معادل" را ارزیابی کنید.
۴- برآیند ریسک همه تهدیدات را برابر ریسک "تهدید معادل" قرار دهید.
در ادامه نحوه پیاده‌سازی الگوریتم فوق به‌طورکامل تشریح خواهد شد. برای تضمین ایمنی شناور باید مسیر حرکت آن به‌گونه‌ای انتخاب شود که برآیند ریسک تهدیدات در هر نقطه از آن مطابق رابطه (۱) همواره از سطح مجاز ریسک تعیین‌شده کمتر باشد.

۷-۱- ترکیب تهدیدات و ایجاد تهدید معادل

در این مقاله برای ترکیب تهدیدات شناور و ایجاد "تهدید معادل" از آنالیز FTA استفاده‌شده است. برای آشنایی بیشتر با رویه‌ها و مثال‌های عملی درمورد تشکیل نمودار FTA و روش‌های کیفی و کمی تحلیل آن به مراجع [۴-۵ و ۴۲-۴۴] مراجعه فرمایید.
در روش FTA نحوه ترکیب تهدیدات به این ترتیب است که مطابق شکل (۳) و با درنظرگرفتن رابطه علت و معلولی بین تهدیدات، ابتدا تهدیدات موجود در پایین‌ترین سطح درخت خطا را به‌کمک منطق بولی و توسط گیت‌های AND و OR با هم ترکیب‌کرده و تعدادی رویداد میانی به وجود می‌آوریم، سپس این فرآیند را تا ترکیب همه رویدادهای میانی و تشکیل "تهدید معادل" ادامه می‌دهیم. به‌طور مثال در شکل (۳) "تهدید معادل" با شناسه ET نشان‌داده شده و منطق بولی حاکم بر ترکیب رویدادها، مطابق روابط زیر است.

$$\begin{aligned} ET &= (T_1 \cup T_2) \\ T_1 &= (T_{11} \cup T_{12}) \\ T_2 &= (E_{21} \cap E_{22}) \end{aligned} \qquad (۲۵)$$

۷-۲- معیار جدید ارزیابی برآیند ریسک همه تهدیدات

در این مقاله معیار جدید پیشنهادی ارزیابی برآیند ریسک همه تهدیدات "ریسک تهدید معادل" است. اگر تعداد کل تهدیدات حاضر در صحنه عملیات برابر m باشد، این معیار در هر لحظه از زمان و در هر نقطه با روابط غیرخطی زیر مدل‌سازی می‌شود.

$$r_t(t) = S_t(t).O_t(t) \qquad (0 \le r_t(t) \le 1) \qquad (۲۶)$$

$$S_t(t) = S[ET(t)] \qquad (0 \le S_t(t) \le 1) \qquad (۲۷)$$

$$O_t(t) = P_t(t) = P[ET(t)] = f(P_k(t),t) \quad k \in \{1,2,...,m\},\ (0 \le O_t(t) \le 1) \qquad (۲۸)$$

در روابط بالا متغیرهای شدت، $S_t(t)$، و احتمال وقوع، $P_t(t)$، معادل همه تهدیدات به‌ترتیب برابر شدت و احتمال وقوع "تهدید معادل همه تهدیدات" می‌باشند. در این رابطه تابع $f(P_k(t),t)$ تابعی غیرخطی از احتمال وقوع هر یک از تهدیدات است. برای محاسبه مقدار این تابع ابتدا در نمودار FTA احتمال وقوع رویدادهای میانی و در نهایت احتمال وقوع "تهدید معادل همه تهدیدات"، به‌کمک روابط استلندارد موجود بین احتمالات وقوع رویدادهای ورودی و خروجی هر یک از گیت‌های در نمودار FTA، که در مرجع [۴۲] به‌طور کامل ارائه شده‌اند، محاسبه می‌شوند. به‌طور مثال دو رابطه‌ای که در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این مقاله از آنها استفاده شده است، رابطه بین احتمالات وقوع رویداد خروجی و احتمال وقوع n رویداد مستقل ورودی گیت‌های OR و AND هستند که به‌ترتیب با روابط (۲۹) و (۳۰) تعیین می‌شوند.

$$P_O(OR) = 1 - \prod_{k=1}^{n}(1 - P_k) \qquad (۲۹)$$

$$P_O(AND) = \prod_{k=1}^{n} P_i \qquad (۳۰)$$

تعیین درست پارامتر شدت چالش مهمی جهت ارزیابی صحیح برآیند ریسک تهدیدات است. در بعضی از مراجع [۳۶] این پارامتر همواره برابر حداکثر مقدار آن $(S_t(t) = 1)$ درنظرگرفته شده‌اند، که بدیهی است این روش همیشه مطلوب نیست.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]

در مرجع [۳۴] برآیند شدت هر تهدید برابر میانگین وزنی شدت آن تهدید بر هر یک از المان‌های شبکه قدرت درنظرگرفته شده است. اما باید توجه کرد که میانگین وزنی اثرات چند تهدید ممکن است از برآیند اثر آنها کمتر بوده و به همین دلیل همیشه معیار خوبی برای ارزیابی برآیند اثر تهدیدات نباشد.

به طور مثال هنگامی که یک شناور توسط یک تهدید تخریب‌شده و توسط تهدید دیگر آسیب جزئی ببیند، برآیند اثر وقوع همزمان دو تهدید تخریب شناور است. به‌عنوان مثال دیگر ممکن است اثر رخداد دو تهدید مستقل ازهم هنگامی که شناور به‌تنهایی با هریک از آنها مواجه شود جزئی باشد، اما اثر رخداد همزمان هردو بر شناور فاجعه انگیز باشد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که $S_t(t)$ باید در رابطه نامساوی زیر صدق کند.

$$0 \le Max[S_k(t)] \le S_t(t) \le 1 \quad k \in \{1,2,\ldots,m\} \qquad (۳۱)$$

در معیار ارائه‌شده در این مقاله، برآیند شدت تهدیدات مطابق رابطه (۲۷) برابر شدت "تهدید معادل" می‌باشد، که برای ارزیابی آن باید اثر وقوع همزمان همه تهدیدات بر شناور لحاظ گردد. بنابراین این معیار، قید بیان‌شده با رابطه بالا را برآورده می‌کند.

۸- ارائه نتایج

در این بخش نتایج شبیه‌سازی ریسک پایه صحنه عملیات در دو حالت ساکن و پویا ارائه شده‌اند. در حالت ساکن تهدیدات حاضر در صحنه عملیات ثابت درنظر گرفته‌شده و نقشه ریسک پایه برای صحنه عملیات کشتی به کمک معیار جدید و معیارهای قبلی ارزیابی برآیند ریسک تهدیدات ارزیابی، رسم و مقایسه‌شده و به این ترتیب مزایای استفاده از معیار جدید نسبت به معیارهای قبلی تصدیق می‌شود. در حالت پویا شناور تهدیدکننده حاضر در صحنه عملیات در دو سناریوی مختلف دارای مانور درنظرگرفته شده و نقشه پویای ریسک پایه صحنه عملیات برای کشتی مورد مطالعه ترسیم شده است. در حالت پویا تنها از معیار پیشنهادی جدید در شبیه‌سازی استفاده شده است. برای دستیابی به این نتایج یک برنامه شبیه‌سازی به زبان Matlab نوشته شده است.

ورودی‌های شبیه‌سازی: در جدول (۴) مقادیر پارامترهای مربوط به موقعیت اولیه و مانور اجسام تهدیدکننده کشتی موردمطالعه در دو سناریوی مختلف ارائه شده‌اند. در جدول (۵) مقادیر پارامترهای ورودی α_k، R_k، r_{0k} و S_k مربوط به احتمال و شدت وقوع تهدیدات اولیه شناور ارائه شده‌اند. در جدول (۶) نیز مقادیر سایر پارامترهای ورودی به برنامه شبیه‌سازی کشتی مانند محدوده صحنه عملیات و مقدار قابل پذیرش ریسک ارائه شده‌اند.

خروجی‌های شبیه‌سازی: در حالت ساکن خروجی‌های برنامه شبیه‌سازی عبارتند از: (۱) نمودار سه بعدی برآیند ریسک

جدول ۴: پارامترهای موقعیت اولیه و مانور تهدیدات کشتی موردمطالعه

تهدید	جزیره	شناور نظامی	
سناریو	اول و دوم	اول	دوم
$x_T(0)(m)$	63000	35000	35000
$y_T(0)(m)$	30000	40000	40000
$A(m)$	0	10000	8000
$\omega(Rad/m)$	0	6.0e-5	12.0e-5
$\varphi(Deg.)$	0	60	-30
$\nu_T(m/s)$	0	60	15
$ST(Sec.)$	-	4500	10000

جدول ۵: پارامترهای مربوط به ارزیابی ریسک تهدیدات اولیه شناور

نماد	پارامترهای توابع احتمال وقوع هر یک از تهدیدات اولیه شناور			شدت (S_k)
	α_k	R_k	r_{0k}	
T_{11}	1	5000	2000	0.8
T_{12}	1	5000	0	0.9
E_{21}	0.8	3000	15000	1
E_{22}	$\alpha_k = P_{H\|L} = 0.8$			

جدول ۶: پارامترهای ورودی برنامه شبیه‌سازی (حالت ساکن و پویا)

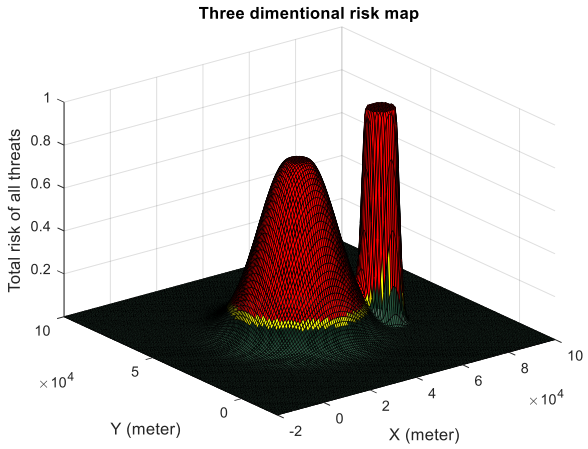
	پارامتر	مقدار
پارامترهای کشتی	(x_0, y_0)	(0, 0)
	(x_f, y_f)	(80000 m, 80000 m)
	$C_{\max}$	0.2 (Deg/m)
سایر پارامترها	$(x_{\min}, x_{\max})$	(-20000 m, 100000 m)
	$(y_{\min}, y_{\max})$	(-20000 m, 100000 m)
	ALR	0.1
	β	0.3

جدول ۷: مقادیر ریسک تهدیدات در نقطه P از صحنه عملیات کشتی

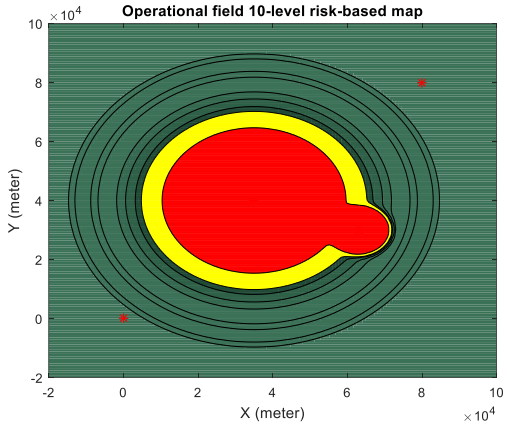
موقعیت (meter)	P1 (54000, 33000)	P2 (58000, 32000)
$r_{T_{11}}$	0.0052	0.7709
$r_{T_{12}}$	0	0
r_{T_2}	0.2132	0.8672
r_t : معیار ریسک تهدید معادل همه تهدیدات	0.2184	0.9674
r_t : معیار میانگین ریسک تهدیدات	0.0728	0.2921

تهدیدات در صحنه عملیات برای کشتی که در شکل (۴-الف) نمایش‌داده شده است. (۲) نمودار ده سطحی ریسک پایه صحنه عملیات کشتی که در شکل (۴-ب) ارائه‌شده است. نه مقدار مرزی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]



(الف) نمودار سه بعدی برآیند ریسک تهدیدات



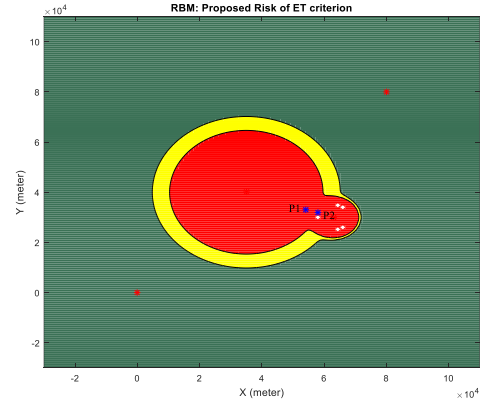
(ب) نمودار ده سطحی ریسک پایه صحنه عملیات

شکل ۴: دو نوع نمودار نمایش برآیند ریسک صحنه عملیات

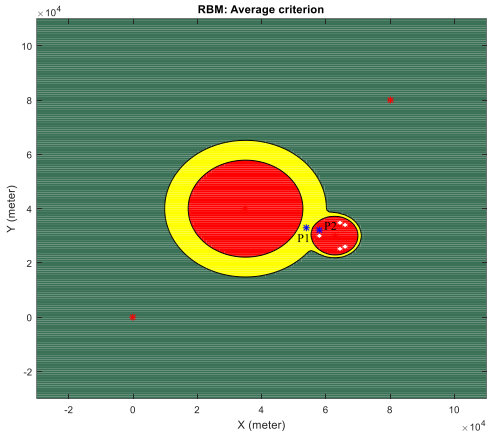
ریسک درنظرگرفته شده برای رسم این نمودار عبارتند از:

$$(r_1, r_2, \ldots, r_9) = ALR*[1.0, 0.3, 0.2, 0.1, 0.05, 0.01, 0.005, 0.001, 0.0005]$$

(۳) نمودارهای ریسک پایه صحنه عملیات کشتی که در شکل (۵) به‌ازای $(\beta = 0.3)$ با دو معیار متفاوت رسم شده‌اند. در نمودار (۵-الف) معیار جدید ریسک تهدید معادل، و در نمودار (۵-ب) معیار قدیمی میانگین ریسک تهدیدات برای ارزیابی برآیند ریسک تهدیدات کشتی استفاده شده‌اند. (۴) در جدول (۷) مقادیر ریسک تهدیدات r_{T_1} و r_{T_2} و مقادیر برآیند ریسک تهدیدات، r_t ، به‌ازای دو معیار پیشنهادی و معیار میانگین ریسک تهدیدات در دو نقطه از صحنه عملیات ارائه شده‌اند. اما چون معیار مجموع ریسک تهدیدات نرمالیزه نیست، امکان مقایسه این معیارها با آن وجود نداشته است. در حالت پویا خروجی‌های برنامه شبیه‌سازی، نمودارهای ریسک پایه پویای صحنه عملیات کشتی هستند که به ازای $(\beta = 0.3)$ در شکل (۶-الف) برای سناریوی اول و در شکل (۶-ب) برای سناریوی دوم مانور شناور تهدیدکننده با پارامترهای مشخص‌شده در جدول (۴) ارائه شده‌اند.



(الف) معیار پیشنهادی ریسک تهدید معادل همه تهدیدات



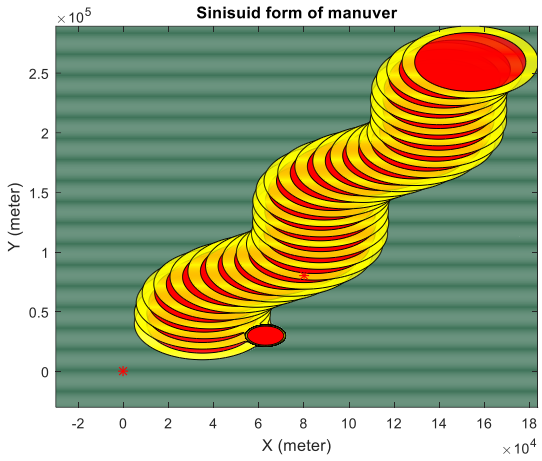
(ب) معیار میانگین ریسک همه تهدیدات

شکل ۵: نمودارهای ریسک پایه صحنه عملیات رسم شده با دو معیار مختلف ارزیابی برآیند ریسک تهدیدات

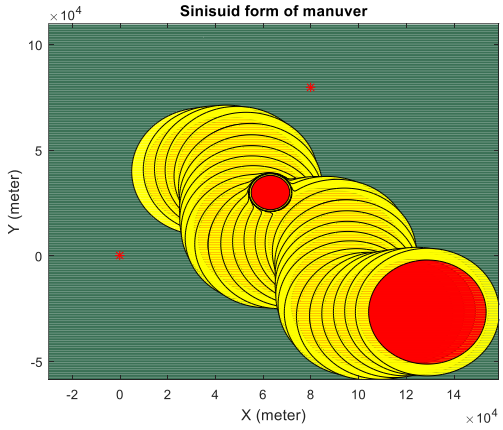
۸-۱- تحلیل نتایج

با مشاهده شکل‌های (۴-ب) و (۵-الف) می‌توان فهمید که نقشه ریسک-پایه صحنه عملیات می‌تواند نقش مهمی در تعیین آسان و سریع مسیرهای ایمن و بهینه داشته باشد. به طور مثال چون هر مسیری که از ناحیه قرمز رنگ عبور کند مسیری نا ایمن تلقی می‌شود، ناخدا می‌تواند با ملاحظه این نقشه به راحتی مسیرهای ناایمن را شناسایی کرده و با هدایت صحیح کشتی از قرار گرفتن آن در این مسیرهای نا امن جلوگیری کرده و نهایتا مانع از ایجاد خطر برای کشتی شود. همچنین حتی اگر امکان استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی که غالبا پیچیده و زمان بر هستند برای ناخدا فراهم نباشد، او می‌تواند تنها با مشاهده این نقشه و با تکیه بر هوش طبیعی خویش مسیر ایمن بهینه موردنظر (مانند کوتاه‌ترین مسیر ایمن یا ایمن‌ترین مسیر ایمن) را در حداقل زمان و با دقت قابل قبولی تشخیص‌داده و روی نقشه رسم کند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]



(الف) سناریوی اول



(ب) سناریوی دوم

شکل ۶: نمودارهای پویای ریسک پایه صحنه عملیات مربوط به دو سناریوی مشخص شده در جدول ۴

همچنین مطابق شکل (۶) نمودارهای ریسک پایه صحنه عملیات این قابلیت را دارند که به‌صورت پویا رسم شده و به‌کمک آنها مانور تهدیدات نیز نمایش داده شود. در این نمودارها علاوه بر نواحی ایمن، نواحی اکیدا ایمن نیز قابل تشخیص هستند.

در این شکل‌ها نواحی سبز رنگ اکیدا ایمن هستند، و این به این معنی است که این نواحی در همه لحظات برای حضور کشتی ایمن بوده و هر مسیری که به طور کامل در این نواحی قرار گیرد مسیر اکیدا ایمن خواهد بود.

به‌طور مثال با ملاحظه شکل (۶-الف) مشاهده می‌شود که نقطه مقصد فقط برای بازه زمانی کوتاهی، در ناحیه نا ایمن قرار دارد. بنابراین اگر کاپیتان سرعت کشتی را به‌نحوی تنظیم کند که در این بازه زمانی وارد این ناحیه ناایمن نشود، بی‌نهایت مسیر ایمن بین مبدا و مقصد در ناحیه ایمن وجود خواهد داشت، که می‌تواند از بین آنها مسیری که طول و درنتیجه زمان و انرژی لازم برای طی آن کمترین تفاوت را با کوتاه‌ترین مسیر موجود بین نقطه مبدا و مقصد دارد، انتخاب کند.

در جدول (۷) مقدار ریسک تهدید دوم، r_{t2}، به‌خوبی نشان می‌دهد که نقطه P1 ناایمن است، زیرا در این حالت قید دوم ایمنی که با رابطه (۱) بیان می‌شود، برآورده نشده است. اما مقدار برآیند ریسک تهدیدات، r_t، که با معیار "میانگین ریسک تهدیدات" ارزیابی شده این نقطه را ایمن نشان می‌دهد. بنابراین معیار میانگین ریسک تهدیدات نمی‌تواند به‌عنوان معیاری جهت تضمین عملکرد ایمن شناور استفاده شود. اما معیار پیشنهادی به‌خوبی ناایمن‌بودن نقطه P1 را دراین حالت نشان‌داده است. همچنین در نقطه P2 نیز میانگین ریسک تهدیدات از مقدار ریسک مربوط به تهدیدات T11 و T2 کمتر است. مقایسه نمودارهای ریسک پایه صحنه عملیات کشتی در شکل (۵) این نتایج را تصدیق می‌کند. چرا که نمودار (۵-ب) که به کمک معیار قدیمی "میانگین ریسک تهدیدات" ترسیم شده است ناحیه نا ایمن را کوچک‌تر از مقدار واقعی آن که در نمودار (۵-الف) و به کمک معیار پیشنهادی ترسیم‌شده است نشان می‌دهد. این مسئله می‌تواند باعث به اشتباه انداختن ناخدای کشتی در تعیین صحیح مسیر ایمن و درنهایت ایجاد خطر برای کشتی شود. از طرف دیگر چون معیار قدیمی "مجموع ریسک تهدیدات" عددی نرمالیزه نبوده و درنتیجه امکان مقایسه آن با سطح قابل پذیرش ریسک وجود ندارد، برای تضمین ایمنی سیستم نیز قابل استفاده نیست. اما معیار جدید "ریسک تهدید معادل" معرفی‌شده نه‌تنها می‌تواند جهت تضمین ایمنی سیستم به‌کار رود بلکه چون اساس محاسبه آن ترکیب تهدیدات با یکدیگر است به آنچه که به‌طور واقعی در میدان عملیات اتفاق می‌افتد نزدیک‌تر است.

برای تصدیق کاربردی بودن نقشه RBM، از تعدادی از افراد خبره در حوزه ناوبری شناور نظرخواهی شد. خلاصه نظرات این خبرگان نیز به این صورت است که اگر تهدیدات ساکن یا کند باشند، استفاده از این نقشه بسیار مفید است، اما اگر اهداف سریع باشند، برای مسیریابی ایمن علاوه بر نقشه RBM و هوش طبیعی کاپیتان، حتما باید از الگوریتم‌های مسیریابی ایمن استفاده شود.

۹- جمع‌بندی

در این مقاله نمودارهای جدیدی تحت عنوان نمودار n سطحی ریسک پایه صحنه عملیات و نمودار ریسک پایه صحنه عملیات، RBM، معرفی شدند. از جمله کاربردهای اصلی این نمودارها جداسازی و نمایش نواحی ناایمن و ایمن صحنه عملیات، و همچنین مسیر ایمن شناور است. در حالتی که تهدیدات ثابت بوده یا دارای مانور کمی باشند و زمان یا امکانات کافی برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیچیده و زمان‌بر مسیریابی ایمن و بهینه وجود نداشته باشند، این نقشه‌ها می‌توانند به کاپیتان جهت تعیین سریع و نسبتا دقیق مسیر ایمن کشتی کمک کنند. اما اگر در حالت

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]

بلادرنگ میزان مانور هدف زیاد باشد، استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی ایمن در کنار نقشه RBM ضروری است.

علاوه براین در این مقاله یک الگوریتم و تابع معیار جدید جهت ارزیابی برآیند ریسک تهدیدات در صحنه عملیات پیشنهاد شدند. در انتها نیز برآیند ریسک تهدیدات حاضر در صحنه عملیاتی کشتی موردمطالعه در دو حالت پایا و پویا به‌کمک الگوریتم و معیار جدید و معیار قدیمی میانگین ریسک تهدیدات مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته و نتایج حاصل از آن به کمک نمودارهای RBM نمایش‌داده شدند.

با مقایسه نمودارهای RBM ترسیم‌شده با معیارهای فوق می‌توان فهمید که شاخص مجموع ریسک و میانگین ریسک تهدیدات نمی‌توانند جهت تضمین ایمنی مسیر سیستم به‌کار روند، چرا که شاخص میانگین ریسک تهدیدات معمولا ناحیه ناایمن را کوچکتر از مقدار واقعی نشان داده و ممکن است باعث شود نقاطی از مسیر انتخابی برای حرکت شناور در نقاط ناایمن قرار گیرند، و شاخص مجموع ریسک تهدیدات نیز عددی نرمالیزه نیست که بتوان آن را با مقدارقابل پذیرش ریسک مقایسه کرد. اما روش و معیار پیشنهادی در این مقاله که براساس ترکیب رویدادها هستند، چون با آنچه که در میدان به‌طور واقعی رخ می‌دهد کاملا انطباق دارند، ناحیه ناایمن را به درستی تعیین‌کرده و می‌توانند در تعیین مسیر ایمن بهینه شناور مورد استفاده قرار گیرند.

کلید واژگان

1- Acceptable Level of Risk (ALR)
2- Bayesian Network
3- Markov Model
4- Evidence theory
5- Attack
6- Verifying alerts
7- Asset Value
8- Risk Based Map (RBM)
9- Fault Tree Analysis (FTA)
10- Curvature

مراجع

1- U. DoD, (2012), *Mil-std-882e, department of defense standard practice for system safety*, US Department of Defense.
2- C. A. Ericson, (2015), *Hazard analysis techniques for system safety*, Second edition, John Wiley & Sons.
3- B. ISO, (2018), *31000, (2018) Risk management–Principles and guidelines*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
4- S. Fazel, (2013), *Dependability engineering, Prediction methods*, Daneshnegar. (In Persian)
5- S. Fazel, (2010), *Analysis and control of failures and hazards from the view of reliability and safety*, Sarvenegar. (In Persian)
6- B. Khaleghi, A. Khamis, F. O. Karray, and S. N. Razavi, (2013), *Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art*, Information fusion, vol. 14, pp. 28–44.
7- M. Liggins II, D. Hall, and J. Llinas, (2008), *Handbook of multisensor data fusion: theory and practice*, Second edition ed. CRC press.
8- S. K. Das, (2008), High-level data fusion, Artech House.
9- A. Lehikoinen, M. Hänninen, J. Storgård, E. Luoma, S. Mäntyniemi, and Sakari Kuikka, (2015), *A bayesian network for assessing the collision induced risk of an oil accident in the gulf of finland*, Environmental science & technology, vol. 49, pp. 5301-5309.
10- J. J. Dabrowski and J. P. De Villiers, (2015), *Maritime piracy situation modelling with dynamic Bayesian networks*, Information fusion, vol. 23, pp. 116-130.
11- X. Ximeng, Y. Rennong, and F. Ying, (2018), *Situation assessment for air combat based on novel semi-supervised naive Bayes*, Journal of Systems Engineering and Electronics, vol. 29, no. 4, pp. 768-779.
12- R. M. A. Valdés, V. F. G. Comendador, L. P. Sanz, and A. R. Sanz, (2018), *Prediction of aircraft safety incidents using Bayesian inference and hierarchical structures*, Safety science, vol. 104, pp. 216-230.
13- W. Xing-zhu, (2016), *Network information security situation assessment based on bayesian network*, International Journal of Security and its Applications, vol. 10, no. 5, pp. 129-38.
14- Z. Kun, K. Weiren, L. Peipei, S. Jiao, L. Yu, and Z. Jie, (2018), *Assessment and sequencing of air target threat based on intuitionistic fuzzy entropy and dynamic VIKOR*, Journal of Systems Engineering and Electronics, vol. 29, no. 2, pp. 305-310.
15- F. Jinfu, Z. Qiang, H. Junhua, and L. An, (2019), *Dynamic assessment method of air target threat based on improved GIFSS*, Journal of Systems Engineering and Electronics, vol. 30, no. 3, pp. 525-534.
16- J. Chen, G.-h. Yu, and X.-g. Gao, (2012), *Cooperative threat assessment of multi-aircrafts based on synthetic fuzzy cognitive map*, Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), vol. 17, no. 2, pp. 228-232.
7- E. Azimirad and J. Haddadnia, (2015), *A new data fusion instrument for threat evaluation using of fuzzy sets theory*, International Journal of Computer Science and Information Security, vol. 13, no. 4, p. 19.
18- L. Snidaro, I. Visentini, and K. Bryan, (2015), *Fusing uncertain knowledge and evidence for maritime situational awareness via Markov Logic Networks*, Information Fusion, vol. 21, pp. 159-172.
19- F. Liu, D. Deng, and P. Li, (2017), *Dynamic context-aware event recognition based on Markov logic networks*, Sensors, vol. 17, no. 3, p. 491.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]

simulation, Aerospace Science and Technology, vol. 67, pp. 49-53.
33- H. Asgari, S. Haines, and O. Rysavy, (2017), *Identification of threats and security risk assessments for recursive Internet architecture*, IEEE Systems Journal, vol. 12, no. 3, pp. 2437-2448.
34- E. Ciapessoni, D. Cirio, G. Kjølle, S. Massucco, A. Pitto, and M. Sforna, (2016), *Probabilistic risk-based security assessment of power systems considering incumbent threats and uncertainties*, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2890-2903.
35- Q. Zhang, C. Zhou, Y.-C. Tian, N. Xiong, Y. Qin, and B. Hu, (2017), *A fuzzy probability bayesian network approach for dynamic cybersecurity risk assessment in industrial control systems*, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 14, no. 6, pp. 2497-2506.
36- F. Bolderheij, F. G. Absil, and P. van Genderen, (2005), *A risk-based object-oriented approach to sensor management*, In 7th International Conference on Information Fusion, 2005: IEEE.
37- R. r. Xi, X. c. Yun, Z. y. Hao, and Y. z. Zhang, (2016), *Quantitative threat situation assessment based on alert verification*, Security and Communication Networks, vol. 9, no. 13, pp. 2135-2142,.
38- S. Kumar and B. K. Tripathi, (2016), *Modelling of threat evaluation for dynamic targets using bayesian network approach*, Procedia Technology, vol. 24, pp. 1268-1275.
39- S. Kumar, A. M. Dixit, (2012), *Threat evaluation modelling for dynamic targets using fuzzy logic approach*, International conference on computer science and engineering.
40- M. Stamatelatos, W. Vesely, J. Dugan, J. Fragola, J. Minarick, and J. Railsback, (2002), *Fault tree handbook with aerospace applications*, Nasa Office of safety and mission assurance.
41- Z. Zhou and Q. Zhang, (2017), *Model event/fault trees with dynamic uncertain causality graph for better probabilistic safety assessment*, IEEE Transactions on Reliability, vol. 66, no. 1, pp. 178-188.
42- S. Kabir, (2017), *An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis*, Expert Systems with Applications, vol. 77, pp. 114-135.
43- S. Fazel, V. Bahadori, (2008), *Reliability modelling and evaluation of a solid fuel propulsion system using fault tree analysis method*, In the 8th international conference of Iranian aerospace society, Isfahan. (In persian)
20- L. Yue, R. Yang, J. Zuo, H. Luo, and Q. Li, (2019), *Air target threat assessment based on improved moth flame optimization-gray neural network model*, Mathematical Problems in Engineering, vol. 2019.
21- G. Wang, L. Guo, and H. Duan, (2013), *Wavelet neural network using multiple wavelet functions in target threat assessment*, The Scientific World Journal, vol. 2013.
22- M. K. Allouche, (2005), *Real-time use of Kohonen's self-organizing maps for threat stabilization*, Information Fusion, vol. 6, no. 2, pp. 153-163.
23- Y. Zhou, Y. Tang, and X. Zhao, (2019), *A novel uncertainty management approach for air combat situation assessment based on improved belief entropy*, Entropy, vol. 21, no. 5, p. 495.
24- A. Benavoli, B. Ristic, A. Farina, M. Oxenham, and L. Chisci, (2009), *An application of evidential networks to threat assessment*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 45, no. 2, pp. 620-639.
25- Y. Jinyong, L. Keke, and W. Wenjing, (2017), *Ship-aircraft joint situation assessment by using fuzzy dynamic Bayesian network*, In 2017 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), 2017: IEEE, pp. 220-224.
26- P. Badida, Y. Balasubramaniam, and J. Jayaprakash, (2019), *Risk evaluation of oil and natural gas pipelines due to natural hazards using fuzzy fault tree analysis*, Journal of Natural Gas Science and Engineering, vol. 66, pp. 284-292.
27- M. Yazdi, F. Nikfar, and M. Nasrabadi, (2017), *Failure probability analysis by employing fuzzy fault tree analysis*, International Journal of System Assurance Engineering and Management, vol. 8, pp. 1177-1193.
28- B. Li, (2018), *Navigation risk assessment scheme based on fuzzy Dempster–Shafer evidence theory*, International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 15, no. 5.
29- E. Azimirad and J. Haddadnia, (2016), *A new model for threat assessment in data fusion based on fuzzy evidence theory*, International Journal of Advances in Intelligent Informatics, vol. 2, no. 2, pp. 54-64.
30- H. Lee, B. J. Choi, C. O. Kim, J. S. Kim, and J. E. Kim, (2017), *Threat evaluation of enemy air fighters via neural network-based Markov chain modeling*, Knowledge-Based Systems, vol. 116, pp. 49-57.
31- S. Haiwen and X. Xiaofang, (2019), *Threat evaluation method of warships formation air defense based on AR (p)-DITOPSIS*, Journal of Systems Engineering and Electronics, vol. 30, no. 2, pp. 297-307.
32- S. Ma, H. Zhang, and G. Yang, (2017), *Target threat level assessment based on cloud model under fuzzy and uncertain conditions in air combat*

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.31.1.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.31.109]