فصلنامه علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال دوم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷

اهمیت رویکرد نظریه بازی در مدل‌سازی و حل مساله تخصیص در فرماندهی و کنترل شبکه محور با در نظر گرفتن هوشمندی اهداف

سعید بلوچیان[۱]، احمد ایزدی پور[۲]

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۳۰

چکیده

از آنجا که در فرماندهی و کنترل صحنه نبرد، هوشمندی و تلاش دشمن برای حفظ منافعش در مقابل هر تصمیم نیروهای خودی امری بدیهی است بنابراین، لحاظ نمودن رفتار دشمن در مساله تخصیص سلاح ضروری خواهد بود. در این مقاله به مدلسازی آخرین مرحله سامانه تصمیم یار فرمانده (مدیریت نبرد) یعنی تخصیص سلاح پرداخته می شود و مدل‌سازی ریاضی مساله تخصیص سلاح با تعیین زمان شلیک به اهداف و حل آن بر اساس نظریه بازی ارائه گردیده است. در مدل‌سازی تخصیص سلاح از تابع هزینه حداقل بقاء واحدهای دشمن استفاده می‌شود. پس از انجام مدل‌سازی مساله تخصیص سلاح، راه حل آن با استفاده از تعادل نش پیشنهاد می‌گردد. تعادل نش در عمل استراتژی شلیک را بر اساس استراتژی غالب، غالب ضعیف یا مختلط در مساله تخصیص سلاح تعیین می‌کند. در مدل‌سازی انجام‌شده واحدهای دشمن به صورت گروهی همراه با ارتباطات بین آن‌ها در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب روش تحقیق، پژوهش عملیاتی است که بر مبنای مدل‌سازی ریاضی با استفاده از تئوری بازی‌ها با اعمال شرایط حاکم بر صحنه نبرد در قالب معادلات ریاضی به حل مساله تخصیص سلاح و اتخاذ تصمیم مناسب برای فرمانده می‌پردازد. در پایان با ارائه یک سناریو عملی شبیه‌سازی شده، کارآیی مساله تخصیص سلاح مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین ترتیب مقایسه بین تخصیص سلاح بدون در نظر گرفتن رفتار اهداف با تخصیص سلاح با درنظر گرفتن هوشمندی اهداف مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد .

کلید واژه‌ها: تخصیص سلاح، بهینه‌سازی، نظریه بازی، استراتژی نش، رفتار دشمن

[۱] دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحدگناباد- گناباد- خراسان رضوی- نویسنده مسئول
Email: saeed.balochian@gmail.com
[۲] استادیار دانشگاه بین المللی امام رضا(ع)- مشهد- خراسان رضوی
Email: a.izadipour@gmail.com

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

۱. کلیات

مهم‌ترین دغدغه فرماندهان نظامی در لحظه وقوع نبرد، تصمیم‌گیری سریع در برابر تهدیدهای مهاجم و عکس‌العمل مناسب و به موقع برای رویارویی با آن‌ها است. به همین دلیل آن‌ها با تکیه بر تجربه و درایتشان، در شرایط احتمالی وقوع جنگ و فشارهای روانی حاصل از آن نقش غیرقابل انکاری در موفقیت عملیات جنگی دارند. بنابراین اگر در کنار این تجربه و درایت بتوان از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری مبتنی بر مدل‌های ریاضی استفاده کرد. مسلماً می‌توان اطمینان بیشتری نسبت به تصمیم‌های اتخاذ شده داشت. این‌چنین سامانه‌های تصمیم یار فرمانده عملیات را سیستم‌های مدیریت نبرد گویند که امروزه در قدرت‌های نظامی جهان به شدت مورد توجه قرار گرفته است و توجه پژوهشگران در علوم مهندسی و مدیریت را به خود معطوف نموده است بطوریکه موفقیت در طراحی چنین سیستمی بدون وابستگی شاخه‌های مختلف مهندسی از قبیل مهندسی برق و کامپیوتر و هوش مصنوعی و شاخه‌های مختلف علوم مدیریت همچون مدیریت نظامی و استراتژیک و مدیریت منابع و مدیریت صنعتی امکان‌پذیر نیست.

تئوری بازی‌ها به عنوان شاخه‌ای از علوم ریاضی کاربردهای فراوانی در شاخه‌های مختلف علمی نظیر علوم سیاسی، مدیریت، اقتصاد و مهندسی داشته است و به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی رفتار در شرایط مختلف حاکم بر دو مجموعه را فراهم می‌آورد. این مدل‌سازی ریاضی هنگامی که تقابل منافع بین دو طرف متخاصم را بیان می‌کند مورد توجه کارشناسان نظامی و علوم سیاسی و مدیریت قرار گرفته است و از آن به عنوان ابزاری ریاضی برای مدل‌سازی رفتار و عکس العمل طرف مقابل در برابر تصمیمات خود استفاده می‌شود.

۱-۱ طرح مساله

طبق تحقیقات نظامی پیش‌بینی می‌شود که فضای جنگ در آینده بیشتر فضایی خواهد بود مجازی، سیال، نرم‌افزاری و خارج از حواس انسان که البته ماهیت این فضای نرم‌افزاری نزد نظریه‌پردازان مختلف، متفاوت است[1] . تئوری بازی قابلیت مدل‌سازی این فضای پیچیده را دارد.

الگوهای مختلفی برای نبردهای دریایی آینده تعیین شده‌است؛ ازجمله این الگوها، الگوی شبکه‌محور است که مبتنی بر علوم فناروی‌های پیشرفته، C4ISR و علوم شناختی است و در سامانه‌های مدیریت نبرد به آن توجه زیادی می‌شود.

مساله تخصیص سلاح به اهداف، به عنوان آخرین مرحله از سطوح تلفیق داده در سیستم مدیریت نبرد و پس از ارزیابی تهدید اهداف، مطرح می‌شود [2] [3]. در این مرحله است که عملیات شلیک پس از تصمیم‌سازی و برنامه‌ریزی مناسب انجام می‌شود. تخصیص سلاح به عنوان زیرمجموعه‌ای از مساله تخصیص منابع است. این عملیات عبارت است از تخصیص n سلاح موجود به m هدف شناخته شده که ورودی این عملیات، اطلاعات خروجی از عملیات ارزیابی تهدید اهداف است. مساله تخصیص سلاح به عنوان یک مساله پیچیده بهینه‌سازی با قیدهای مختلف در ریاضیات، مهندسی و مدیریت شناخته شده است [4].

تا کنون مدل‌های مختلفی برای تخصیص سلاح در نظر گرفته شده است که در دو دسته استاتیک و دینامیک دسته‌بندی می‌شوند [7] [6] [5]. در تخصیص سلاح استاتیک کلیه سلاح‌ها به اهداف در یک مرحله تخصیص

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

می‌یابند و صحنه نبرد در مساله تخصیص ثابت و کلیه پارامترها معلوم در نظر گرفته می‌شود. متغیر زمان که مبنای اصلی تغییرات در صحنه نبرد است لحاظ نمی‌گردد حال آنکه در تخصیص سلاح دینامیک این‌گونه نیست [8]. از دیدگاه توابع هزینه در مساله تخصیص سلاح پژوهش‌های انجام شده، در سه دسته کمینه کردن احتمال سالم ماندن اهداف مهاجم، کمینه کردن آسیب وارده بر تجهیزات دفاعی و بیشینه کردن احتمال نجات تجهیزات دفاعی قابل تقسیم‌بندی است. بنابراین می‌توان گفت تابع هزینه این مسائل بر اساس تجهیزات دفاعی یا اهداف است که به ترتیب به آن‌ها مسائل خودی مبنا و هدف مبنا می‌گویند. مفاهیم اصلی تخصیص سلاح بر اساس توابع هزینه خودی مبنا و هدف مبنای ارائه شده در پژوهش‌های تا سال ۲۰۰۶ در [9] بررسی شده است.

حمله گروهی اهداف به نیروها و دارایی‌های خودی یکی از شاخه‌های مهم مساله تخصیص سلاح است که معمولاً از آن تحت عنوان تخصیص سلاح به شبکه اهداف یاد می‌شود. تحقیقاتی بر روی تخصیص سلاح در جنگ‌های شبکه محور[1] توسط مرکز تحقیقات نیروی هوایی آمریکا در سالیان اخیر در حال انجام است که تأکید این تحقیقات بر روی پلت‌فرم‌های چندگانه و کنترل توزیع‌شده سلاح‌ها است که شامل سه بخش تجهیزات دفاعی اهداف، هماهنگی حسگرها و انتخاب تیرانداز [10] است همچنین پنگ و همکاران به تحقیقات تخصیص سلاح در زمینه موشک‌های دفاع هوایی پرداخته‌اند، اما مدل‌ها به صورت استاتیک ارائه شده و زمان‌بندی شلیک در این مدل‌ها دیده نمی‌شود [11].

در سال ۲۰۱۳، لوتر در رساله دکتری خود به بررسی مسأله تخصیص سلاح با رویکرد چند تابع هزینه‌ای پرداخت. وی در ابتدا با مصاحبه با مدیران مختلف به بررسی توابع هزینه مختلف پرداخت و با استفاده از روش Post-it و دلفی دو تابع هزینه مطلوب از نظر مدیران را انتخاب کرد. کمینه کردن احتمال سالم بودن اهداف و کمینه کردن هزینه شلیک دو تابع هزینه‌ای بود که در این تحقیق از آن استفاده شده است. برای حل این مدل از روش NSGA II[2] برای به دست آوردن نقاط پارتو استفاده شده است [12] . بیشترین فعالیت‌های مساله تخصیص سلاح در بحث حل آن انجام گرفته است. رویکردهای مختلفی با توجه به پیچیدگی حل مساله مدنظر قرار گرفته است که پژوهشگران را حتی به روش‌های دسترسی به جواب‌های زیر بهینه نیز در زمان کوتاه قانع ساخته است. بنابراین از دیدگاه روش‌های حل مساله مدل‌سازی تخصیص سلاح، دو دسته روش حل دقیق و حل زیر بهینه مساله بهینه‌سازی ارائه شده است. روش‌های حل دقیق برای مسأله تخصیص سلاح به اهداف در حالت‌های خاصی مورد مطالعه قرار گرفته است [6] .[13] روش‌های حل زیر بهینه برای حل مساله بخصوص در وضعیت دینامیک با پیشرفت شاخه‌های هوش مصنوعی و الگوریتم‌های تکاملی پیشنهاد شده است [14] [15] [16] [17] [18]. [15] به بررسی مدل تخصیص سلاح با هدف کمینه کردن میزان ضرر مورد انتظار تجهیزات خودی پرداخته است و مسأله تخصیص سلاح را به صورت غیرخطی و در حالت خودی مبنا و استاتیک مدل‌سازی کرده و برای حل آن از ترکیب یک جستجوی حریصانه برای ایجاد جواب اولیه مطلوب و روش پارتیشن‌های تو در

[1] Network Centric Warfare

[2] Non dominated Sorting Genetic Algorithm II

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

تو[1] برای جستجوی فضای حل استفاده کرده است.

ضعف‌های مدل‌های تخصیص بهینه سلاح به اهداف با رویکرد یک طرفه در پژوهش‌های مختلفی نشان داده شده است بطوری‌ﻟکه در تمامی آنها تاکتیک دشمن در موفقیت‌آمیز بودن تخصیص سلاح مدنظر قرار گرفته است. به عنوان نمونه [19] کارایی مسائل مدل‌های مختلف تخصیص سلاح را مورد مطالعه قرار می‌دهد و این‌طور نتیجه‌گیری می‌نماید که درجه کارایی این مسائل و مدل‌های آن به تاکتیک‌های مورد استفاده بستگی دارد. [9]، اعمال محدودیت‌های استراتژیک را یکی از عوامل پیچیدگی و ناکارامدی مدل‌های تخصیص معرفی می‌کنند. بنابراین اعمال عکس‌العمل دشمن و توجه به اینکه دشمن نیز در حمله خود منافعی را دنبال می‌کند نکته مهمی است که باید در مدل‌سازی تخصیص سلاح به آن توجه ویژه شود.

نظریه بازی، شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی است که در علوم اجتماعی و به ویژه در اقتصاد، مدیریت، زیست‌شناسی، مهندسی، علوم سیاسی، روابط بین‌الملل، علوم کامپیوتر، بازاریابی، فلسفه و علوم نظامی مورد استفاده قرار گرفته است. نظریه بازی در تلاش است توسط ریاضیات رفتار مناسب را در شرایط تقابل، که در آنها موفقیت فرد در انتخاب کردن راهبرد بازی وابسته به انتخاب دیگران است، بدست آورد. نظریه بازی تلاش می‌کند تا رفتار ریاضی حاکم بر یک موقعیت استراتژیک (تضاد منافع) را مدل‌سازی کند. این موقعیت زمانی پدید می‌آید که موفقیت یک فرد وابسته به راه بردهایی است که دیگران انتخاب می‌کنند. برای آشنایی بیشتر با نظریه بازی‌ها می‌توان به [20] مراجعه کرد.

با توجه به مباحث گفته شده هدف نهایی نظریه بازی، یافتن راه برد بهینه برای بازیکنان است. بنابراین رویکرد نظریه بازی در مدل‌سازی مساله تخصیص سلاح می‌تواند نقصان مدل‌سازی‌های پیشین را تا حدی مرتفع نماید. به همین دلیل رویکرد نظریه بازی به عنوان یک رویکرد نوین در مساله تخصیص سلاح در نظر گرفته می‌شود. در [21] [22] مسئله مدل‌سازی به صورت تخصیص و آرایش مجدد نیروهای خودی با استفاده از بازی دینامیک و پیش‌بینی عملکرد دشمن در مراحل آتی نبرد با تابع هزینه خودی مبنا مورد توجه قرار گرفته است این مقالات تلاش کرده‌اند که با استفاده از راه حل نش[2]، در سطح فرماندهی، تاکتیک مناسب را برای ورود واحدهای کمکی خودی به صحنه نبرد در صورت شکست در یک مرحله را ارائه دهند و نهایتاً برتری رویکرد بازی بر سایر روش‌ها نشان داده شده است. [23] به صحنه نبرد هوایی نسبت به اهداف زمینی می‌پردازد و با این استدلال که واحدهای هوایی خودی از وجود یا عدم وجود واحدهای موشکی زمین به هوا در اهداف زمینی بی‌اطلاع است مدل مناسب را بر اساس احتمالات قرار داده و مدل‌سازی صحنه نبرد را با بازی تصادفی مطرح می‌کند و در سه بخش، مدل‌سازی خود را برای بازی با اطلاعات کامل و با اطلاعات ناقص با ابعاد کوچک و بزرگ مطرح کرده و به بررسی شرایط وجود جواب در مدل‌سازی خود می‌پردازد. در این مقاله هر چند مدل‌سازی بازی تصادفی برای صحنه نبرد مذکور طراحی گردیده است اما هیچ‌گونه تخصیص سلاحی در آن بررسی نشده و صرفاً به ارائه نتیجه نبرد به فرمانده با توجه به احتمال وجود پدافند هوایی در اهداف زمینی می‌پردازد همچنین حجم بالای محاسبات را نیز در خلال پژوهش خود متذکر می‌شود. در [24] مساله مکان‌یابی پایگاه‌های آتش متحرک پدافند موشکی برای بهترین تخصیص پایگاه‌ها به موشک‌ها با استفاده

[1] Nested Partitions Method

[2] Nash Strategy

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

از نظریه بازی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مدل‌سازی فرض می‌شود که پایگاه‌ها هر یک، خود تصمیم بوده و از فرمانده مرکزی فرمان نمی‌گیرند به همین دلیل صحنه نبرد را با بازی چند بازیکن هم ارز دانسته است و به حل دو چالش کلی پیشروی خود یعنی تعیین تابع هزینه برای هر بازیکن و برای کل مجموعه می‌پردازد به طوری که همگرایی توابع هزینه بازیکنان خودی با تخصیص اهداف هوایی به خودشان بتواند تابع هزینه کلی را جهت پیروزی در نبرد پشتیبانی کند. البته نویسندگان این مقاله به علت عدم وجود فرمانده در صحنه نبرد، در تابع هزینه، بسیاری از قیدهای عملیاتی را نادیده گرفته‌اند که در صورت وجود این قیود همگرایی مساله با چالش مواجه خواهد شد و راه‌کار فائق آمدن بر این مشکل را استفاده از بازی تصادفی (مارکوف) در مدل‌سازی پژوهش‌های آتی معرفی می‌کنند. [25]به مطالعه دفاع توپخانه‌ای با مدل‌سازی بازی و راه حل استاکلبرگ می‌پردازد. [26] فضای جستجوی استراتژی بهینه در یک حالت خاص برای مساله تخصیص سلاح با استفاده از نظریه بازی را مطرح می‌کند. در [27] الگوریتمی برای طراحی استراتژی تخصیص همکارانه و قانون هدایت برای موشک‌های ضد هوایی با استفاده از بازی دیفرانسیل در مرحله نهایی کنترل موشک ارائه شده است. در این الگوریتم با استفاده از پیش‌بینی رفتار مانوری هدف با استفاده از نظریه بازی، برای تخصیص تعداد کافی در شلیک متوالی به سمت هدف تصمیم‌گیری می‌شود به گونه‌ای که هدف ناحیه فراری با مانور خود نداشته باشد. این مقاله سناریوی در نظر گرفته‌شده خود را در نیروی دریایی و دفاع یک شناور در برابر حملات هوایی بیان می‌کند. اگر چه این مقاله مقاوم بودن روش پیشنهادی در برابر تغییرات و عدم اعمال این تغییرات پارامترها در بهینه‌سازی را امری لازم می‌داند ولی به آن نپرداخته است. در [28] با استفاده از استراتژی نش مختلط به مساله تخصیص و مکان‌یابی دو سطحی فرماندهی و کنترل در مساله تخصیص در درگیری هوایی می‌پردازد. برای این منظور با استفاده از توابع هزینه خودی مبنا که بر اساس احتمال بقا تعریف شده است به مدل‌سازی صحنه نبرد با استفاده از بازی جمع صفر دینامیک می‌پردازد و در یک سطح به تعیین وظیفه مسیریابی هر یک از واحدهای خودی در درگیری با اهداف با در نظر گرفتن رفتار دشمن می‌کند و در سطح دیگر به تأمین خواسته فرمانده در نبرد می‌پردازد. حجم بالای محاسبات و پیچیدگی بیش از حد مدل ارائه شده، نویسندگان مقاله را مجبور می‌سازد که راه‌حلی زیر بهینه برای تعیین استراتژی بازی خود ارائه دهند. [29] به نقد و بررسی الگوریتم های زیربهینه در تخصیص منابع اختلال راداری می پردازند و الگوریتم های مبتنی بر نظریه بازی ها را روشی ارزشمند برای تحقیق خود در جنگ الکترونیک در مقایسه با الگوریتم های تصادفی و مزایده ای معرفی می نمایند.

در این مقاله بر مبنای اصول کلی مدل دینامیک برای حفاظت گروهی شناورهای خودی از تعدادی دارایی‌های خودی که در برابر تهدیدات هوایی و سطحی قرار گرفته‌اند، مدل بازی جهت اتخاذ استراتژی مناسب برای فرمانده ارائه می‌گردد. در این مدل‌سازی سعی شده که از اصول کلی [21] [28] استفاده گردد و قیدهای عملی صحنه نبرد در نظر گرفته شود اما اولاً مسئله تخصیص سلاح و زمان‌بندی شلیک مورد بررسی قرار گیرد و ثانیاً با در نظر گرفتن مدلی ساده و بر اساس احتمال بقا، راه حل دقیق مسئله بر اساس استراتژی نش، با در نظر گرفتن منافع خودی در برابر رفتار تیم مقابل

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

ارائه می‌گردد.

ساختار این مقاله به شرح ذیل است: در ادامه این بخش، به ذکر مقدمات ریاضی و فرض های مساله و اهداف آن پرداخته می شود. در بخش دوم روش تحقیق مقاله و مدل‌سازی مساله بر مبنای نظریه بازی ارائه می‌گردد و راه حل مساله بر مبنای استراتژی نش بیان می‌گردد در بخش سوم، سناریویی عملی برای بررسی و مقایسه عملکرد روش پیشنهادی ارائه می‌شود.

۲-۱. مقدمات ریاضی

در محاسبه پاسخ مدل‌سازی از استراتژی اکیداً غالب، غالب ضعیف و یا مختلط استفاده می‌شود از اینرو در این بخش تعاریف آنها ذکر می‌گردد. در تعدادی از بازی‌ها برای برخی یا تعدادی از بازیکنان، انتخاب یک استراتژی کاملاً به انتخاب تمام استراتژی‌های او ارجحیت دارد. زیرا پیامد حاصل از این استراتژی برای آن بازیکن نسبت به انتخاب استراتژی‌های دیگرش مطلوب تر و دارای پیامد بیشتری است. طبیعی است که در این حالت بدون توجه به استراتژی حریف باید همان استراتژی مطلوب خود را انتخاب کند که اصطلاحاً این استراتژی را استراتژی غالب گویند.

تعریف ۱ [30]. استراتژی خالص St_i بازیکن i را اکیداً غالب گویند اگر یک استراتژی (خالص یا مختلط) σ_i در مجموعه استراتژی‌های بازیکن i وجود داشته باشد به طوریکه $U_i(\sigma_i, St_i) > U_i(St_i, St_{-i})$ که در آن St_{-i} همه استراتژی‌های ممکن دیگر بازیکنان است. همچنین St_i را استراتژی غالب ضعیف گویند اگر $U_i(\sigma_i, St_i) \geq U_i(St_i, St_{-i})$ برقرار باشد.

وقتی که نسبت به انتخاب حریف نا اطمینانی وجود داشته باشد، استراتژی مختلط مطرح می‌شود. استراتژی مختلط یک بازیکن عبارت است از: باور بازیکن حریف نسبت به انتخاب او در بازی. به عبارت دیگر روشی که یک بازیکن در بازی پیش می‌گیرد تا دست بازیکن دیگر را بخواند، استراتژی مختلط خوانده می‌شود. در بازی‌هایی که تعادل نش استراتژی خالص وجود ندارد، استراتژی مختلط نشان دهنده عدم اطمینان ذهنی یک بازیکن نسبت به انتخاب حریف است که این نا اطمینانی را می‌توان از طریق احتمال نشان داد .[30]

۳-۱ اهمیت و ضرورت

یکی از مهمترین دغدغه های فرماندهی در صحنه نبرد انتخاب استراتژی های مناسب است که وجود سامانه های تصمیم یار فرمانده یا همان مدیریت نبرد را بسیار با اهمیت می سازد و یکی از مهمترین بخش های این سامانه ها، تخصیص منابع است. بی تردید سامانه تصمیم یار فرمانده وقتی می تواند موفق عمل کند که توانایی مدلسازی رفتارهای تخاصمی صحنه نبرد را بتواند در نظر بگیرد و تا حد امکان با درنظر گرفتن رفتار دشمن به اتخاذ تصمیم بپردازد از این رو این پژوهش به استفاده از مبانی تحقیق در عملیات با استفاده از نظریه بازی ها در اتخاذ استرتژی مناسب جهت تخصیص سلاح به اهداف در صحنه نبرد می پردازد.

٤-۱ پرسش‌های اصلی و فرعی تحقیق

۱. چگونه در فرماندهی و کنترل صحنه نبرد برای حل مساله تخصیص سلاح از نظریه بازی‌ها استفاده می‌شود؟
۲. قیدهای عملیاتی مربوط به سلاح‌ها و صحنه نبرد چگونه در مساله تخصیص سلاح بر مبنای مدل‌سازی تئوری بازی اعمال می‌شود؟
۳. روش حل مدل بازی ارائه شده جهت استخراج استراتژی تخصیص سلاح به اهداف توسط فرمانده چگونه است؟

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

۱-۵ اهداف تحقیق

۱. پیاده سازی یک سامانه تصمیم یار فرمانده در مساله تخصیص منابع با رویکرد سامانه های هوش مصنوعی.
۲. چگونگی اعمال هوشمندی اهداف صحنه نبرد با استفاده از نظریه بازی‌ها در مدل‌سازی صحنه نبرد برای مساله تخصیص سلاح به اهداف مورد بررسی قرار گیرد.
۳. تعیین استراتژی مناسب تخصیص سلاح به اهداف توسط فرمانده بر مبنای هوشمندی اهداف و مدل‌سازی صحنه نبرد بر اساس نظریه بازی‌ها.
٤. مقایسه و نشان دادن برتری رویکرد نظریه بازی در مدل‌سازی و حل مساله تخصیص سلاح شبکه محور با در نظر گرفتن هوشمندی اهداف در سامانه های تصمیم یار فرمانده.

۱-٦ فرضیه تحقیق

در این مقاله، صحنه درگیری دریایی و در آب‌های ساحلی در نظر گرفته شده است که نیروهای خودی شامل مجموعه شناورهای مسلح خودی و دارایی‌های خودی است که وظیفه حفاظت از آن‌ها به شناورهای خودی محول شده است و دشمن نیز شامل واحدهای هوایی و سطحی جهت ایجاد تهدید برای دارایی‌ها و شناورهای خودی در نظر گرفته شده است.

برای این منظور مجموعه شناورهای خودی و دارایی‌ها با عنوان تیم آبی و واحدهای هوایی و سطحی دشمن با عنوان تیم قرمز معرفی می‌شوند. اساس مدل‌سازی با استفاده از نظریه بازی برای تخصیص سلاح دینامیک انجام می‌شود که تابع هزینه هر یک از دو طرف به صورت جمع غیر صفر در حالت کلی و بر اساس احتمال بقاء در نظر گرفته شده است که در نیروهای خودی بر مبنای حداکثر سازی احتمال بقاء خودی (تیم آبی) و دارایی‌های مورد حفاظت و حداقل سازی احتمال بقاء واحدهای قرمز است. به همین ترتیب نیز واحدهای هوایی و دریایی دشمن (قرمز) نیز به دنبال حداکثر سازی احتمال بقاء واحدهای دریایی و هوایی قرمز و حداقل سازی احتمال بقاء واحدهای تیم آبی است. همچنین سایر فرض‌ها از محدودیت‌های عملی صحنه نبرد ناشی می‌شود که به صورت محدودیت مهمات در دسترس برای دو طرف نبرد در کل زمان نبرد و محدودیت تعداد شلیک واحدها در یک لحظه خاص و مدت زمان لازم جهت آماده سازی سلاح بین دو شلیک متوالی آن می‌باشد.

۲. روش تحقیق

روش تحقیق، پژوهش عملیاتی است که بر مبنای مدل‌سازی ریاضی با استفاده از تئوری بازی‌ها با اعمال شرایط حاکم بر صحنه نبرد در قالب معادلات ریاضی به حل مساله تخصیص سلاح و اتخاذ تصمیم مناسب برای فرمانده می‌پردازد.

مدل‌سازی صحنه نبرد بر مبنای فرضیات گفته‌شده در بخش قبل با استفاده از مدل‌سازی بر مبنای معادلات ریاضی در بستر تئوری بازی‌ها بیان می‌شود که برای این منظور ابتدا توابع هزینه مطلوب دو تیم درگیر که قصد دست‌یابی به مقدار بهینه آن را دارند مطابق با صحنه نبرد طراحی می‌شود سپس شرایط و محدودیت‌های صحنه نبرد در قالب شرایط حل مساله بهینه‌سازی اعمال می‌گردد. سپس روش حل مساله با استفاده از تئوری بازی‌ها و تعیین استراتژی نش حاکم بر بازی تعیین می‌گردد.

۲-۱ مدل‌سازی

تابع هزینه فرمانده تیم آبی به صورت زیر در نظر

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

گرفته شده است:

$$J_B(u_B,u_R,t)= \sum_{i=1}^{i_{assets}} b_i^{B_{assets}} B_i^{Assets}(t)+\sum_{i=1}^{i_{Naval}} b_i^{B_{Naval}} B_i^{Naval}(t) - \sum_{j=1}^{j_{airforce}} r_j^{B_{airforce}} R_j^{Airforce}(t)-\sum_{j=1}^{j_{Naval}} r_j^{B_{Naval}} R_j^{Naval}(t) \quad (۱)$$

که در آن $b_i^{B_{assets}}$، $b_i^{B_{Naval}}$، $r_j^{B_{airforce}}$ و $r_j^{B_{Naval}}$ ارزش تعیین‌شده هر یک از واحدهای دو تیم آبی و قرمز بنا به نظر فرمانده تیم آبی است. رابطه (۱) تشکیل‌شده از مجموع جبری وزن دار بقاء دارایی‌ها و واحدهای شناوری آبی و اهداف که همان واحدهای هوایی و سطحی قرمز است. در عمل با ماکزیمم سازی (۱) احتمال بقاء برای دارایی‌ها و شناورهای خودی حداکثر و احتمال بقاء واحدهای هوایی و سطحی قرمز حداقل خواهد شد. از طرف دیگر تابع هزینه فرمانده قرمز نیز به صورت زیر در جهت منافع آن یعنی حداقل سازی احتمال بقاء نیروهای آبی و مناطق تحت حفاظت آبی و حداکثر سازی احتمال بقاء واحدهای هوایی و دریایی قرمز دیده شده است:

$$J_R(u_B,u_R,t)= -\sum_{i=1}^{i_{assets}} b_i^{R_{assets}} B_i^{Assets} - \sum_{i=1}^{i_{Naval}} b_i^{R_{Naval}} B_i^{Naval}(t)+ \sum_{j=1}^{j_{airforce}} r_j^{R_{airforce}} R_j^{Airforce}(t)+\sum_{j=1}^{j_{Naval}} r_j^{R_{Naval}} R_j^{Naval}(t) \quad (۲)$$

در آن $b_i^{R_{assets}}$، $b_i^{R_{Naval}}$، $r_j^{R_{airforce}}$ و $r_j^{R_{Naval}}$ ارزش تعیین‌شده هر یک از واحدهای دو تیم آبی و قرمز است که بنا به نظر فرمانده تیم قرمز تعیین شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با ماکزیمم سازی رابطه (۲)، احتمال بقاء واحدهای قرمز ماکزیمم و احتمال بقاء دارایی‌ها و واحدهای شناوری آبی مینیمم خواهد بود.

در معادلات (۱) و (۲) احتمال بقاء واحدهای دارایی و واحدهای دریایی تیم آبی و واحدهای دریایی و هوایی تیم قرمز به صورت روابط زیر قابل بیان است:

$$B_i^{Assets}(t)=B_i^{Assets}(t-1)\times \left(\prod_{j=1}^{j_{airforce}}\left[1-P_{j,i}^{R_{airforce}}(t)\delta\left(i-u_{R_{airforce}j}(t)\right)R_j^{Airforce}(t)\right] \times\prod_{j=1}^{j_{Naval}}\left[1-P_{j,i}^{R_{Naval}}(t)\delta\left(i-u_{R_{Naval}j}(t)\right)R_j^{Naval}(t)\right]\right) \quad (۳)$$

$$B_i^{Naval}(t)=B_i^{Naval}(t-1)\times \left(\prod_{j=1}^{j_{airforce}}\left[1-P_{j,i}^{R_{airforce}}(t)\delta\left(i-u_{R_{airforce}j}(t)\right)R_j^{Airforce}(t)\right] \times\prod_{j=1}^{j_{Naval}}\left[1-P_{j,i}^{R_{Naval}}\delta\left(i-u_{R_{Naval}j}(t)\right)R_j^{Naval}(t)\right]\right) \quad (٤)$$

$$R_j^{Airforce}(t)=R_j^{Airforce}(t-1)\times \prod_{i=1}^{i_{Naval}}\left[1-P_{i,j}^{B_{Naval}}(t)\delta\left(u_{B_{Naval}i}(t)-j\right)B_i^{Naval}(t)\right] \quad (۵)$$

$$R_j^{Naval}(t)=R_j^{Naval}(t-1)\times \prod_{i=1}^{i_{Naval}(t)}\left[1-P_{i,j}^{B_{Naval}}(t)\delta\left(u_{B_{Naval}i}(t)-j\right)B_i^{Naval}(t)\right] \quad (٦)$$

که در آن متغیرهای تصمیم‌گیری $u_{B_{Naval}i}(t)\in U_B\in\{1,\text{K},j_{naval}\}\cup\{1,\text{K},j_{airforce}\};i=1,\text{K},i_{Naval}$ و $u_{R_{airforce}j}(t)\cup u_{R_{Naval}j}(t)=u_R\in U_R$ که در آن $U_R\in\{1,\text{K},i_{Naval}\}\cup\{1,\text{K},i_{assets}\}$ و $j=\{1,\text{K},j_{naval}\}\cup\{1,\text{K},j_{airforce}\}$ است ∪ و همچنین $\delta(u_{(.)}-j)$ تابع ضربه است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\delta(u_{(.)}-j)=\begin{cases}0 & if\ u_{(.)}\neq j\\ 1 & if\ u_{(.)}=j\end{cases} \quad (۷)$$

توجه به این نکته لازم است که دارایی‌های تیم آبی فاقد

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

سلاح و توانمندی شلیک هستند. همچنین در هر صحنه نبرد شرایطی بر مساله تخصیص سلاح حاکم است که در این مساله به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند.

$$\sum_{t=1}^{K}\sum_{j=1}^{j_{airforce}+j_{naval}} u_{B_{Naval}ij}(t) \le S_{B_{Naval}i}; \quad i=1,\mathrm{K}\ ,i_{Naval} \qquad (۸)$$

$$\sum_{t=1}^{K}\sum_{i=1}^{i_{Naval}+i_{assets}} u_{R_{Naval}ji}(t) \le S_{R_{Naval}j}; \quad j=1,\mathrm{K}\ ,j_{Naval}\ \frac{1}{2} \qquad (۹)$$

$$\sum_{t=1}^{K}\sum_{i=1}^{i_{Naval}+i_{assets}} u_{R_{airforce}ji}(t) \le S_{R_{airforce}j}; \quad j=1,\mathrm{K}\ ,j_{airforce} \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{j=1}^{j_{Naval}+j_{airforce}} u_{B_{Naval}ij}(t) \le s_{B_{Naval}i}; \quad i=1,\mathrm{K}\ ,i_{Naval}; t=1,\mathrm{K}\ ,K \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{i=1}^{i_{Naval}+i_{assets}} u_{R_{Naval}ji}(t) \le s_{R_{Naval}j}; \quad j=1,\mathrm{K}\ ,j_{Naval}; t=1,\mathrm{K}\ ,K \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^{i_{Naval}+i_{assets}} u_{R_{airforce}ji}(t) \le s_{R_{airforce}j}; \quad j=1,\mathrm{K}\ ,j_{airforce}; t=1,\mathrm{K}\ ,K \qquad (۱۳)$$

$$t \le t^{B_{Naval}}_{ready_i} \le t+1; \quad i=1,\mathrm{K}\ ,i_{Naval};\ t=1,\mathrm{K}\ ,K-1 \qquad (۱۴)$$

$$t \le t^{R_{Naval}}_{ready_j} \le t+1; \quad j=1,\mathrm{K}\ ,j_{Naval};\ t=1,\mathrm{K}\ ,K-1 \qquad (۱۵)$$

$$t \le t^{R_{airforce}}_{ready_j} \le t+1; \quad i=1,\mathrm{K}\ ,j_{airforce};\ t=1,\mathrm{K}\ ,K-1 \qquad (۱۶)$$

$$u_{R_{airforce}ji}(t), u_{R_{Naval}ji}(t), u_{B_{Naval}ij}(t) \in \{0,\ 1\}\ for\ all\ i,j \qquad (۱۷)$$

قید (۸) بیان می‌کند، حداکثر تعداد شلیک واحد دریایی i ام تیم آبی در کل K مرحله نبرد که می‌تواند به هدف j ام تخصیص داده شود برابر با $S_{B_{Naval}i}$ است و قیدهای (۹) و (۱۰) حداکثر این تعداد را به صورت متناظر برای j امین واحد دریایی و هوایی تیم قرمز به ترتیب با $S_{R_{Naval}j}$ و $S_{R_{airforce}j}$ معرفی می‌کند. قید (۱۱) حداکثر تعداد شلیک شناور i ام تیم آبی که قابل اختصاص در زمان t ام به هدف j ام است را با $s_{B_{Naval}i}$ معرفی می‌کند و روابط (۱۲) و (۱۳)، این مقدار حداکثر را به صورت متناظر برای واحدهای دریایی و هوایی تیم قرمز معرفی می‌کند. نامساوی (۱٤) بیان می‌کند که مدت زمان لازم برای تسلیح در واحد دریایی تیم آبی حداکثر برابر یک پنجره زمانی در مدل‌سازی انجام شده است. نامساوی‌های (۱۵) و (۱٦) نیز حداکثر زمان تسلیح را برای واحدهای دریایی و هوایی تیم قرمز را معرفی می‌کند. قید (۱۷) نیز نوع متغیرهای مساله را که از نوع صحیح هستند را معرفی می‌کند.

بنابراین حل مساله فوق مستلزم آن است که توابع هزینه (۱) و (۲) که هر کدام در برگیرنده منافع یک تیم است با توجه به قیدهای (۸) تا (۱۷) ماکزیمم شود البته هر کدام از دو تیم نیز متغیرهای تصمیم‌گیری خود را برای برآوردن هدفشان دارند. از آنجا که در صحنه نبرد برآوردن ماکزیمم (۱) موجب مینیمم شدن (۲) به علت وجود توانمندی در تیم مقابل نمی‌شود و از طرف دیگر نوع متغیرهای مساله تخصیص سلاح صحیح است، حل مساله فوق پیچیدگی خاص خود را دارد. در بخش بعد راه‌کار حل این مساله ارائه می‌گردد.

۲-۲ ارائه روش حل مدل پیشنهادی

از آنجا که در یک صحنه نبرد، تیم آبی تمایل دارد

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

ضمن ماکزیمم سازی رابطه (۱)، مینیمم مقدار را برای (۲) که همان منافع تیم قرمز است ایجاد کند و در مقابل تیم قرمز نیز راغب است ضمن ماکزیمم سازی رابطه (۲)، مینیمم مقدار را برای رابطه (۱) که همان منافع تیم آبی است ایجاد کند. این نکته لزوم اعمال تصمیم طرف مقابل را در حل مساله تخصیص سلاح اجتناب‌ناپذیر می‌کند.

با توجه به آنچه گفته شد روشی که برای حل مساله تخصیص سلاح در مدل مطرح‌شده در نظر گرفته می‌شود باید بتواند راه‌کار مناسب برای پیچیدگی شرایط بازی و شرایط تضاد منافع را ارائه دهد یکی از مناسب‌ترین استراتژی‌ها برای حل این‌گونه شرایط، استراتژی نش است که شکل کامل‌تر قضیه بیشینه-کمینه[1] در شرایط مدل‌سازی بازی است. استراتژی نش در عمل یک نقطه سربه‌سر با حفظ منافع خود در برابر رفتار بخردانه حریف است. فرض کنید $J_B\left(u_B,u_R\right)$ و $J_R\left(u_B,u_R\right)$ توابع هزینه داده شده در روابط (۱) و (۲) باشند که نیروهای دو تیم آبی و قرمز دنبال ماکزیمم سازی آن باشند این امر به انتخاب استراتژی‌های هر یک از آنها یعنی $u_B \in U_B, u_R \in U_R$ بستگی دارد. در این صورت مجموعه استراتژی‌های انتخاب شده $\left(u_B^N,u_R^N\right)$ را استراتژی نش می‌نامند اگر در نامساوی زیر صدق کنند.

$$\begin{cases} J_B\left(u_B^N,u_R^N\right) \geq J_B\left(u_B,u_R^N\right) & for\, u_B \in U_B \\ J_R\left(u_B^N,u_R^N\right) \geq J_R\left(u_B^N,u_R\right) & for\, u_R \in U_R \end{cases} \quad (۱۸)$$

در عمل روش حل نش با جستجوی فصل مشترک مجموعه عکس‌العمل‌ها بدست می‌آید. در محاسبه پاسخ نش از استراتژی اکیدا غالب، غالب ضعیف یا استراتژی مختلط استفاده می‌شود. همچنین اثبات شده است که برای هر بازی محدود دست کم راه حلی بر مبنای یک یا چند مورد از استراتژی های ذکر شده وجود دارد [30]. در این مقاله محاسبه استراتژی نش پیاده‌سازی شده است که ممکن است در آن از استراتژی غالب و غالب ضعیف یا مختلط استفاده شود.

۳. یافته ها و شبیه‌سازی

در این قسمت سناریویی جهت شبیه‌سازی و بررسی عملکرد روش پیشنهادی مطرح می‌گردد. در این سناریو تیم قرمز هم دارای تعداد واحد مسلح بیشتر و هم قدرت بیشتر نسبت به تیم آبی است. همچنین در شبیه‌سازی مساله از نرم‌افزار MATLAB نسخه R2013a استفاده شده است.

مثال ۱- در این سناریو تعداد واحدهای دریایی و دارایی تیم آبی هر یک برابر ۲ و تعداد واحدهای دریایی و هوایی قرمز به ترتیب ۲ و ۱ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین i_{assets}، i_{naval} و j_{naval} برابر ۲ و $j_{airforce}$ برابر ۱ می‌باشد. همچنین تعداد حداکثر شلیک هر یک از واحدها در هر زمان برابر یک و درصد سلامت کلیه واحدها در ابتدای نبرد ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است. احتمال اصابت شلیک سلاح‌های واحدها نسبت به یکدیگر در جدول ۱ آورده شده است. سایر ورودی‌های مساله در جدول ۲ داده شده است. تمامی ارزش‌های واحدها از دیدگاه دو تیم به صورت نرمالیزه اعمال شده است. از ورودی‌های مساله و تعداد واحدهای مسلح مشخص است که تیم آبی در موضع ضعف قرار دارد بنابراین تخصیص سلاح مناسب برای آن حیاتی‌تر است.

در این حالت کلیه استراتژی‌های تخصیص ممکن که قیدهای (۸) تا (۱۷) را برآورده کند برای تیم آبی ۸۱ و برای تیم قرمز ٤٠٩٦ است. ماتریس نتیجه بازی از روابط (۱) و (۲) برای هر یک از دو تیم آبی و قرمز به ازای ترکیب کلیه استراتژی‌ها محاسبه می‌شود. برای محاسبه پاسخ مدل‌سازی انجام شده از استراتژی نش استفاده

[1] MAX-MIN

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

می‌شود که با فرض رفتار بخردانه در طرفین نبرد یکی از مناسب‌ترین استراتژی‌ها برای حل مساله تخصیص است. منظور از رفتار بخردانه آن است که طرفین نبرد رفتاری را از خود نشان نخواهند داد که طرف مقابل به منافعی برسد. بنابراین، این فرض در مساله تخصیص سلاح بدیهی است. با محاسبه پاسخ مدل با استفاده از استراتژی نش، تخصیص سلاح انجام شده برای تیم آبی و قرمز در مراحل زمانی مختلف در جدول ۳ و ٤ مشخص می‌شود. همچنین وضعیت صحنه نبرد از دیدگاه احتمال بقاء واحدهای قرمز و آبی در پایان مرحله زمانی اول و دوم در شکل ۱ نشان داده شده است. در کلیه شکل‌ها نمودار اول احتمال بقا تیم‌ها در پایان مرحله زمانی اول و در نمودار دوم نتیجه انتهایی صحنه نبرد و احتمال بقا تیم‌ها نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود تخصیص سلاح انجام شده در جدول ۳ و ٤ دو تیم آبی و قرمز را به مقادیر توابع هزینه رابطه (۱) و (۲) به ترتیب ۰,۱٦۷٤- و ۰,۱۳۳۰ می‌شود.

از نتایج جدول ۳ مشخص است شناور اول تیم آبی در مرحله اول و دوم نبرد باید به ترتیب به شناور اول و سپس واحد هوایی تیم قرمز شلیک‌های خود را اختصاص دهد. شلیک به شناور یک تیم قرمز دور از انتظار نیست زیرا از یک طرف ارزش شناور یک قرمز برای فرمانده تیم آبی و از طرف دیگر احتمال اصابت شلیک شناور اول تیم آبی برای انهدام آن بیشتر بوده است. با دقت بیشتر مشاهده می‌شود که شناور اول تیم قرمز بیشترین تهدید را برای شناور یک تیم آبی و دارایی‌ها دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت این تخصیص هم در جهت حفظ بقا دارایی‌های خودی و هم در جهت کاهش بقا یا به عبارتی کاهش تهدید تیم قرمز صورت گرفته است. همچنین علت شلیک به واحد هوایی تیم قرمز توسط شناور یک تیم آبی را می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که هر چند ارزش واحد هوایی از دیدگاه هر دو فرمانده تیم قرمز و آبی حداقل است اما تهدید واحد هوایی تیم قرمز برای دارایی اول تیم آبی که ارزش بالایی برای فرمانده مذکور دارد، بالا بوده است بنابراین این تخصیص در جهت افزایش بقا تیم آبی و به عبارتی حفاظت از دارایی‌ها صورت گرفته است.

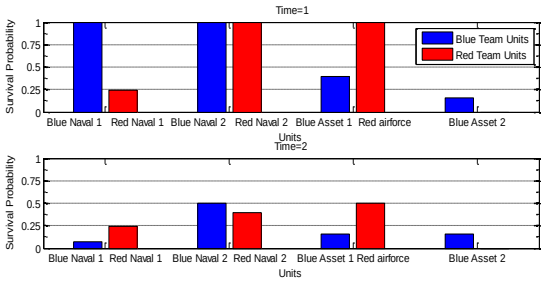
جدول (۱). احتمال اصابت سلاح‌های واحدها نسبت به یکدیگر

	شناور ۱ تیم قرمز	شناور ۲ تیم قرمز	واحد هوایی تیم قرمز	شناور ۱ تیم آبی	شناور ۲ تیم آبی	دارایی ۱ تیم آبی	دارایی ۲ تیم آبی
شلیک شناور ۱ تیم آبی	۰,٦	۰,٥	۰,٥	*	*	*	*
شلیک شناور ۲ تیم آبی	۰,٤	۰,٦	۰,۳	*	*	*	*
شلیک شناور ۱ تیم قرمز	*	*	*	۰,۷	۰,٤	۰,٦	۰,٦
شلیک شناور ۲ تیم قرمز	*	*	*	۰,٥	۰,٥	۰,٦	۰,٦
شلیک واحد هوایی تیم قرمز	*	*	*	۰,٤	۰,٤	۰,٦	۰,٥

شلیک‌های شناور دوم تیم آبی در دو مرحله نبرد به ترتیب به شناور اول و سپس شناور دوم تیم قرمز بوده است. در اینجا هرچند احتمال اصابت شلیک شناور دوم تیم آبی به شناور اول قرمز پایین است اما به علت تهدید بالای شناور اول تیم قرمز برای دارایی‌های ارزشمند تیم آبی، این تخصیص انجام شده است. بنابراین، این شلیک با قصد حفظ بقا دارایی‌های خودی انجام شده است. همچنین علت شلیک شناور دوم تیم آبی به شناور دوم

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

تیم قرمز را در احتمال بالای اصابت شلیک می‌توان جست هر چند شناور دوم تهدیدی برای دارایی‌های آبی هم محسوب می‌شود. بنابراین این شلیک بیشتر در جهت کاهش بقا تیم قرمز صورت گرفته است.



شکل(۱). احتمال بقاء در صورت استفاده دو تیم از استراتژی نش

جدول(۲). مقادیر عددی سناریو

نام متغیر	مقدار		نام متغیر	مقدار
$b_1^{B_{assets}}$	۰,٦		$S_{R_{Naval}2}$	۲
$b_2^{B_{assets}}$	۰,۳		$S_{B_{Naval}1}$	۲
$b_1^{B_{Naval}}$	۰,۰٥		$S_{B_{Naval}2}$	۲
$b_2^{B_{Naval}}$	۰,۰٥		$S_{B_{Naval}1}$	۱
$r_1^{B_{airforce}}$	۰,۲		$S_{B_{Naval}2}$	۱
$r_1^{B_{Naval}}$	۰,٥		$S_{R_{Naval}1}$	۱
$r_2^{B_{Naval}}$	۰,۳		$S_{R_{Naval}2}$	۱
$b_1^{R_{assets}}$	۰,۲٥		$S_{R_{airforce}1}$	۱
$b_2^{R_{assets}}$	۰,۲٥		$B_1^{Naval}(0)$	٪ ۱۰۰
$b_1^{R_{Naval}}$	۰,۲٥		$B_2^{Naval}(0)$	٪ ۱۰۰
$b_2^{R_{Naval}}$	۰,۲٥		$B_1^{Assets}(0)$	٪ ۱۰۰
$r_1^{R_{airforce}}$	۰,۲		$B_2^{Assets}(0)$	٪ ۱۰۰
$r_1^{R_{Naval}}$	۰,٤		$R_1^{Airforce}(0)$	٪ ۱۰۰
$r_2^{R_{Naval}}$	۰,٤		$R_1^{Naval}(0)$	٪ ۱۰۰
$S_{R_{airforce}1}$	۲		$R_2^{Naval}(0)$	٪ ۱۰۰
$S_{R_{Naval}1}$	۲			

جدول (۳). نتیجه تخصیص سلاح تیم آبی

زمان	$t=1$			$t=2$		
	شناور۱ تیم قرمز	شناور۲ تیم قرمز	هوایی ۱ تیم قرمز	شناور۱ تیم قرمز	شناور۲ تیم قرمز	واحد هوایی ۱ تیم قرمز
شلیک سلاح شناور ۱ تیم آبی	۱	۰	۰	۰	۰	۱
شلیک سلاح شناور ۲ تیم آبی	۱	۰	۰	۰	۱	۰

در خصوص نتایج بدست آمده از شلیک‌های تیم قرمز دو سؤال ممکن است مطرح گردد. اول اینکه آیا استدلالی برای این شلیک‌ها وجود دارد؟ در پاسخ به این سؤال با اندکی تأمل در نتایج، می‌توان با استدلالی مشابه تخصیص شلیک‌های تیم آبی نتایج را تحلیل کرد. اما سؤال مهم‌تر آن است که در صحنه نبرد چگونه شلیک‌های تیم قرمز به آبی پیش‌بینی می‌شود و چگونه تخصیص سلاح برای تیم قرمز در حل مساله تخصیص سلاح تیم آبی توجیه می‌شود؟ در پاسخ باید گفت که تیم قرمز هر تخصیص سلاحی غیر از موارد پیش‌بینی شده جدول ٤ را در پیش بگیرد به منافعی کمتر و خسارتی بیشتر دست خواهد یافت و در عمل به نفع تیم آبی گام برداشته است. بنابراین اهمیت مدل‌سازی و حل مساله تخصیص سلاح با نظریه بازی‌ها هم در این نکته نهفته است که تیم آبی با در نظر گرفتن رفتار حریف، خود را برای دستیابی به حداکثر منافع و ایجاد حداکثر زیان در تیم قرمز آماده می‌کند و اگر تیم قرمز نیز چنین تمهیداتی را نداشته باشد در عمل موجبات افزایش زیان

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

خود و ایجاد منافع برای تیم آبی را فراهم کرده است. برای نشان دادن این موضوع مقایسه‌های زیر انجام می‌شود که هم لزوم در نظر گرفتن رفتار حریف در مسئله تخصیص سلاح تیم آبی را توجیه می‌کند و هم نشان می‌دهد دوری تیم قرمز از استراتژی بازی و تخصیص سلاح بر آن مبنا، موجبات افزایش منافع تیم آبی و افزایش زیان خود را فراهم می‌آورد.

بنابراین در این قسمت مقایسه با وضعیتی انجام می‌شود که تیم آبی یا قرمز بدون توجه به استراتژی تیم مقابل فقط به دنبال بهینه‌سازی یک جانبه رابطه (۱) یا (۲) باشد و توجهی به عکس‌العمل تیم مقابل در تخصیص سلاح خود نداشته باشد. در این حالت مقادیر توابع هزینه (۱) و (۲) برای دو تیم آبی و قرمز در جدول ۵ نشان داده شده است. همچنین نتایج احتمال بقاء هر یک از واحدها در زمان های ۱ و ۲ در شکل‌های ۲ الی ٤ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۵ واضح است که استفاده تیم آبی از بهینه‌سازی یک طرفه و استفاده تیم قرمز از نظریه بازی موجب کاهش نتیجه برای تیم آبی و افزایش نتیجه برای تیم قرمز شده است در حالت بعدی وقتی دو طرف از بهینه‌سازی یک طرفه استفاده می‌کنند منافع تیم قرمز و آبی کاهش یافته است این در حالی است که اگر تیم آبی در برابر استراتژی بهینه تیم قرمز استراتژی بازی را در پیش بگیرد به شدت منافع او نسبت به حالت قبل افزایش و منافع تیم قرمز کاهش می‌یابد بنابراین در اینجا نیز، هر تیمی که خود را به وضعیت لحاظ نمودن رفتار دشمن در مساله تخصیص مقید بداند به منافع بیشتری در عین زیان به طرف مقابل، دسترسی پیدا می‌کند. بنابراین تیم آبی در هر شرایطی از انتخاب استراتژی بازی منافع بیشتری کسب خواهد کرد و تیم قرمز نیز در هر شرایطی می‌تواند منافع خود را با اعمال نظریه بازی (استراتژی نش) افزایش دهد و دوری از این نکته یا منافع تیم خودی را کاهش می‌دهد یا موجب افزایش منافع تیم مقابل می‌شود. همچنین در شکل‌های ۱ الی ٤ ملاحظه می‌شود در خاتمه نبرد، علیرغم ضعف ذاتی تیم آبی در برابر تیم قرمز، بیشترین احتمال بقا دارایی‌ها برای تیم آبی که ارزش زیادی برای

جدول (٤). نتیجه تخصیص سلاح تیم قرمز

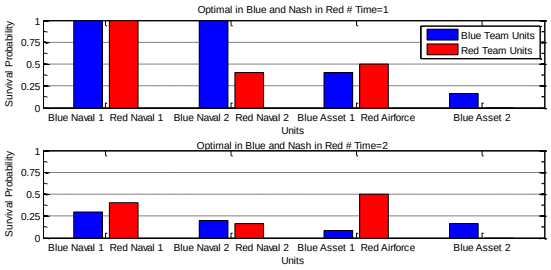
زمان	$t=1$				$t=2$			
	دارایی ۲ تیم آبی	دارایی ۱ تیم آبی	شناور ۲ تیم آبی	شناور ۱ تیم آبی	دارایی ۲ تیم آبی	دارایی ۱ تیم آبی	شناور ۲ تیم آبی	شناور ۱ تیم آبی
شلیک سلاح شناور ۱ تیم قرمز	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
شلیک سلاح شناور ۲ تیم قرمز	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
شلیک سلاح واحد هوایی تیم قرمز	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

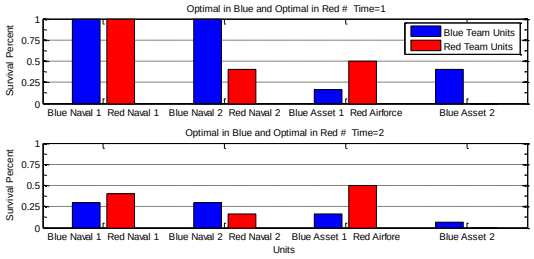
فرمانده آنها داشته است در وضعیتی ایجاد شده است که تیم آبی از استراتژی بازی در برابر تیم قرمز استفاده کند.

جدول(۵). مقایسه اعمال استراتژی‌های مختلف

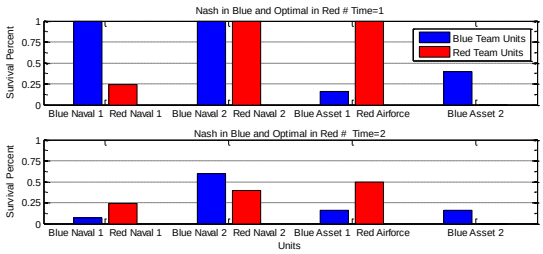
نوع اعمال استراتژی دو تیم	J_B	J_R
استفاده تیم آبی از بهینه‌سازی یک‌طرفه و استفاده تیم قرمز از استراتژی بازی (Nash)	-۰,۲۲۷۰	۰,۱۳۹۰
استفاده تیم آبی از بهینه‌سازی یک‌طرفه و استفاده تیم قرمز از بهینه‌سازی یک‌طرفه	-۰,۲۰۲۸	۰,۱۱۸۰
استفاده تیم آبی از استراتژی بازی(Nash) و استفاده تیم قرمز از بهینه‌سازی یک‌طرفه	-۰,۱۶۲٤	۰,۱۰۸۰
استفاده دو طرف از نظریه بازی (Nash)	-۰,۱٦۷٤	۰,۱۳۳۰



شکل(۲). احتمال بقاء واحدها در صورت استفاده تیم آبی از بهینه‌سازی یک طرفه و قرمز از استراتژی بازی نش



شکل (۳). احتمال بقاء واحدها در صورت استفاده تیم آبی از بهینه‌سازی یک طرفه و قرمز از بهینه یک طرفه



شکل (٤). احتمال بقاء واحدها در صورت استفاده تیم آبی از استراتژی بازی نش و قرمز از بهینه‌سازی یک طرفه

٤. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک صحنه نبرد گروهی دریایی و هوایی مدنظر قرار گرفت و به بررسی چگونگی لحاظ نمودن هوشمندی اهداف صحنه نبرد در مساله تخصیص سلاح پرداخته شد. از آنجا که هر یک از دو طرف نبرد نمی‌توانند بدون توجه به تصمیم و منافع طرف مقابل در تخصیص سلاح، نتیجه مناسبی را بدست آورند، مدل‌سازی صحنه نبرد در مساله تخصیص با استفاده از نظریه بازی‌ها انجام شد و عکس‌العمل‌های طرف مقابل در مساله تخصیص سلاح دیده شد. برای حل مدل ارائه شده، از استراتژی نش استفاده شد که با فرض رفتار بخردانه در طرفین نبرد یکی از مناسب‌ترین استراتژی‌ها برای حل مساله تخصیص است. همانگونه که تعریف شد و از نتایج بدست آمد، این فرض در مساله تخصیص سلاح بدیهی است. توجه به این نکته لازم است هرگونه انحراف از پاسخ نش مدل‌سازی انجام شده، با عکس‌العملی از طرف مقابل نبرد مواجه خواهد شد که منافع او را با خطر جدی مواجه خواهد کرد. اگرچه مدل‌سازی انجام شده بر اساس احتمال بقاء واحدها انجام شد اما می‌تواند بسته به نوع نبرد با توابع دیگری جایگزین شود همچنین در ضرایب اهمیت در مدل‌سازی از خروجی لایه قبلی تلفیق داده مانند ارزیابی تهدید استفاده کرد.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

اختصارات و علائم

نام متغیر	توصیف متغیر
B	واحدهای خودی (تیم آبی)
R	واحدهای دشمن (تیم قرمز)
$J_B(u_B,u_R)$	تابع هزینه فرمانده تیم آبی
$J_R(u_B,u_R)$	تابع هزینه فرمانده تیم قرمز
$b_i^{B_{assets}}$	ارزش i امین دارایی تیم آبی از دیدگاه فرمانده تیم آبی
$b_i^{B_{Naval}}$	ارزش i امین واحد دریایی تیم آبی از دیدگاه فرمانده تیم آبی
$r_j^{B_{airforce}}$	ارزش j امین واحد هوایی تیم قرمز از دیدگاه تیم آبی
$r_j^{B_{Naval}}$	ارزش j امین واحد دریایی تیم قرمز از دیدگاه تیم آبی
$B_i^{Assets}(t)$	احتمال بقاء i امین دارایی تیم آبی در مرحله t ام نبرد (در زمان t)
$B_i^{Naval}(t)$	احتمال بقاء i امین شناور دریایی تیم آبی در مرحله t ام نبرد (در زمان t)
$R_j^{Airforce}(t)$	احتمال بقاء j امین واحد هوایی تیم قرمز در مرحله t ام نبرد (در زمان t)
$R_j^{Naval}(t)$	احتمال بقاء j امین شناور دریایی تیم قرمز در مرحله t ام نبرد (در زمان t)
$b_i^{R_{assets}}$	ارزش i امین دارایی تیم آبی از دیدگاه تیم قرمز
$b_i^{R_{Naval}}$	ارزش i امین شناور نیروی دریایی تیم آبی از دیدگاه تیم قرمز
$r_j^{R_{airforce}}$	ارزش j امین واحد هوایی تیم قرمز از دیدگاه فرمانده تیم قرمز
$r_j^{R_{Naval}}$	ارزش j امین شناور دریایی تیم قرمز از دیدگاه فرمانده تیم قرمز
$P_{j,i}^{R_{airforce}}(t)$	احتمال اصابت شلیک واحد هوایی j ام تیم قرمز به i امین واحد تیم آبی در زمان t
$P_{j,i}^{R_{Naval}}(t)$	احتمال اصابت شلیک شناور دریایی j ام تیم قرمز به i امین واحد تیم آبی در زمان t
$P_{i,j}^{B_{Naval}}(t)$	احتمال اصابت شلیک شناور دریایی i ام تیم آبی به j امین واحد تیم قرمز در زمان t
$u_{B_{Naval}i}(t)$	تخصیص سلاح شناور i ام تیم آبی در لحظه t ام به کدام واحد قرمز انجام می‌شود.
$u_{R_{airforce}j}(t)$	تخصیص سلاح واحد هوایی j ام تیم قرمز در لحظه t ام به کدام واحد آبی انجام می‌شود.
$u_{R_{Naval}j}(t)$	تخصیص سلاح شناور j ام تیم قرمز در لحظه t ام به کدام واحد آبی انجام می‌شود.
$u_{B_{Naval}ij}(t)$	در صورت تخصیص سلاح شناور i ام تیم آبی به j امین تیم قرمز برابر یک وگرنه صفر
$u_{R_{Naval}ji}(t)$	در صورت تخصیص سلاح شناور j ام تیم قرمز به i امین تیم آبی برابر یک وگرنه صفر
$u_{R_{airforce}ji}(t)$	در صورت تخصیص سلاح واحد هوایی j ام تیم قرمز به i امین تیم آبی برابر یک وگرنه صفر
$S_{R_{airforce}j}$	حداکثر تعداد شلیک قابل تخصیص واحد هوایی j ام تیم قرمز در کل زمان‌های تخصیص
$S_{R_{Naval}j}$	حداکثر تعداد شلیک قابل تخصیص شناور دریایی j ام تیم قرمز در کل زمان‌های تخصیص
$S_{B_{Naval}i}$	حداکثر تعداد شلیک قابل تخصیص شناور دریایی i ام تیم آبی در کل زمان‌های تخصیص
$s_{B_{Naval}i}$	حداکثر تعداد شلیک قابل تخصیص شناور دریایی i ام تیم آبی در لحظه t ام
$s_{R_{Naval}j}$	حداکثر تعداد شلیک قابل تخصیص شناور دریایی j ام تیم قرمز در لحظه t ام
$s_{R_{airforce}j}$	حداکثر تعداد شلیک قابل تخصیص واحد هوایی j ام تیم قرمز در لحظه t ام
$t_{ready_i}^{B_{Naval}}$	مدت زمان آماده سازی سلاح i امین شناور دریایی تیم آبی
$t_{ready_j}^{R_{Naval}}$	مدت زمان آماده سازی سلاح شناور دریایی j ام تیم قرمز
$t_{ready_j}^{R_{airforce}}$	مدت زمان آماده سازی سلاح واحد هوایی j ام تیم قرمز
i_{assets}	تعداد دارایی‌های تیم آبی
i_{Naval}	تعداد شناورهای مسلح دریایی تیم آبی
$j_{airforce}$	تعداد واحدهای هوایی تیم قرمز
j_{naval}	تعداد شناور دریایی تیم قرمز
$B_i^{Naval}(0)$	درصد بقاء اولیه شناور دریایی i ام تیم آبی در ابتدای حل مساله تخصیص

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

$B_i^{Assets}(0)$	درصد بقاء اولیه دارایی i ام تیم آبی در ابتدای حل مساله تخصیص
$R_j^{Airforce}(0)$	درصد بقاء اولیه واحد هوایی j ام تیم قرمز در ابتدای حل مساله تخصیص
$R_j^{Naval}(0)$	درصد بقاء اولیه واحد دریایی j ام تیم قرمز در ابتدای حل مساله تخصیص

۵. مراجع

[1] K. Hydari and F. ٥Abdi, "Future Wars from the Western Military Experts' Perspectives," *Military Management*, vol. 12, no. 48, pp. 43-76, 2013 (In Persian).

[2] J. Llinas, D. L. Hall and M. E. Liggins, Handbook of Multi sensor data fusion: theory and practice (pp. 1-14). Broken Sound Parkway NW, CRC Press, 2009.

[3] A.-H. Okhravi, a. poya, S. Nazemi and M. Kazemi, "Designing a Model for Classifying Targets and Identifying the Conflict Scenarios in Combat Management," *Military Management*, vol. 15, no. 60, pp. 1-33, 2016 (In Persian).

[4] A. Turan, " algorithms for the weapon-target allocation problem," PhD dissertation, Middle East Technical University., 2012.

[5] P. A. Hosein and M. Athans, "Preferential defense strategies. Part I: The static case," MIT Lab. Inf. Decis. Syst.,Cambridge, MA, Technical Report, LIPS-P-2002, 1990.

[6] P. A. Hosein and M. Athans, "Some analytical results for the dynamic weapon-target allocation problem," MIT, Technical Report, LIDS-P-1944., Cambridge, U.K., 1990.

[7] B. Xin, J. Chen, J. Zhang, L. Dou and Z. Peng, "Efficient Decision Makings for Dynamic Weapon-Target Assignment by Virtual Permutation and Tabu Search Heuristics," *IEEE Transactions ON Systems, Man, AND Cybernetics—Part C:Applications AND Reviews*, vol. 40, no. 6, 2010.

[8] J. Li, J. Chen, B. Xin and L. Dou, "Solving Multi-objective Multi-stage Weapon Target Assignment Problem via Adaptive NSGAII, and Adaptive MOEA/D: A Comparison Study," in *IEEE conference*, 2015.

[9] C. Huaiping, L. Jingxu, C. Yingwu and W. Hao, "Survey of the research on dynamic weapon-target assignment problem," *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 17, no. 3, pp. 559-565, 2006.

[10] Commander and C.W., "Applications of operations research in the united states air force," http://www.afrl.af.mil. 2005-9-15., 2005.

[11] C. Peng, X. Liu, X. Mu and S. Wu, "Cooperative dynamic weapon-target assignment algorithm of multiple missiles based on networks," in *2009 Chinese Control and Decision Conference, pp. 126-130.*, 2009.

[12] D. Lötter, I. Nieuwoudt and J. Van Vuuren, " A multiobjective approach towards weapon assignment in a ground-based air defence environment.," *ORiON: The Journal of ORSSA*, vol. 29, no. 1, pp. 31-54, 2013.

[13] R. Ahuja, . A. Kumar, K. Jha and J. Orlin, "Exact and heuristic algorithms for the weapon-target assignment problem," *Operations Research*, vol. 55, no. 6, p. 1136–1146, 2007.

[14] M. Lee, "Constrained Weapon–Target Assignment: Enhanced Very Large Scale Neighborhood Search Algorithm," *IEEE Transactions ON Systems, Man, And Cybernetics—part A: Systems And Humans*, vol. 40, no. 1, 2010.

[15] Cho and G., "Hybrid Nested Partitions method with Intelligent Greedy Search for solving Weapon-Target Assignment Problem," Graduate Theses and Dissertations, Paper 10757, 2009.

[16] L. Hongtao and K. Fengju, "Adaptive chaos parallel clonal selection algorithm for objective optimization in WTA application," *Optik*, vol. 127, p. 3459–3465, 2016.

[17] W. Yanxia, Q. Longjun, G. Zhi and M. Lifeng, "Weapon target assignment problem satisfying expected damage probabilities based on ant colony algorithm," *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 19, no. 5, p. 939–944, 2008.

[18] M. Alper and K. Leblebicioglu, "Approximating the optimal mapping for weapon target assignment by fuzzy reasoning," *Information Sciences*, vol. 255, pp. 30-44, 2014.

[19] D. Olwell and A. Washburn, "Internetting of fires, (No. NPS-OR-02-003-PR).," Naval Postgraduate School Monterey CA Dept OF Operations Research, 3-5., 2002.

[20] A. Matsumoto and F. Szidarovszky, Game Theory and Its Applications", Japan: Springer, 2016.

[21] Y. Liu, M. Simaan and J. Cruz Jr, "An application of dynamic Nash task assignment strategies to multi-team military air operations," *Automatica*, vol. 39, p. 1469 – 1478, 2003.

[22] D. Galati and M. A. Simaan, "Effectiveness of the Nash Strategies in Competitive Multi-Team Target Assignment Problems," in *43rd IEEE Conference on Decision and Control*, Atlantis, Paradise Island, Bahamas, December 14-17, 2004.

[23] W. McEneaney, B. Fitzpatrick and I. Lauko, "Stochastic Game Approach to Air Operations," *IEEE Trans. Aerosp. and Electron.*, vol. 40, no. 4, pp. 1191-1216, 2004.

[24] G. Arslan, J. Marden and J. Shamma, "Autonomous Vehicle-Target Assignment: A Game-Theoretical Formulation," *Transactions of the ASME, journal of*

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]

dynamical system, measurement and control, vol. 129, no. 584, 2007.

[25] T. Gao, Q. Gao, Z. Huang and S. Ye, "Analysis of Incentive Strategies of Ordnance Material Supplier Direct Delivery Based on Stackelberg Mode," in *IEEE conference.*, 2012.

[26] M. Fei, C. Ze-yang and L. Hui, "Construction and search of strategy space of target assignment based on game theory," *Systems Engineering and Electronics*, vol. 9, p. 1941–1945, 2010.

[27] S. LeMénec, H. Shin, K. Markham, A. Tsourdos and H. Piet-Lahanier, "Cooperative allocation and guidance for air defence application," *Control Engineering Practice*, vol. 32, pp. 236-244, 2014.

[28] M. Faied and A. Girard, "Game Formulation of Multiteam Target Assignment and Suppression Mission," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 50, no. 2, 2014.

[29] H. Alimohamadi and S. Moosavi, "Presentation of suboptimal algorithm in resource assigenment of the radar jamming," *Journal of Electronical & cyber Defence*, vol. 3, pp. 33-41, 2013 (In Persian).

[30] J. Watson, Strategy, New York, USA.: W. W. Norton & company, Third Edition, 2013.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-23]