فصلنامه علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال هفتم، شماره دو، تابستان ۱۴۰۲

تخصیص سلاح به هدف پویا با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

علی جعفری[۱]، ابوالفضل اصغری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۹**

چکیده

درنبردهای نوین، ارزیابی هوشمندانه شرایط میدان نبرد و اتخاذ تصمیمات بهینه در لحظه، از ارکان حیاتی فرماندهی و کنترل (C^2) محسوب می‌شود. یکی از چالش‌های اساسی در این حوزه، مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا (**DWTA**)[۳] است. نوآوری محوری این پژوهش، تدوین و ارائه یک سناریو عملیاتی جامع و واقع‌گرایانه است که بر خلاف مدل‌های کلاسیک، علاوه بر پلتفرم سلاح و تهدیدات، نقش کلیدی دارایی های استراتژیک[۴] را در فرآیند تصمیم گیری لحاظ نموده است. این سناریو به منظور پوشش شکاف موجود بین مدل‌های ریاضی و واقعیت‌های صحنه نبرد طراحی شده است. جهت حل مسئله در چارچوب سناریو پیشنهادی، از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (**PSO**)[۵] استفاده شده است که با سازوکارهای اصلاحی، بر چالش گیر افتادن در بهینه‌های محلی غلبه می‌کند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در قالب دو سناریوی متفاوت، نشان‌دهنده توانمندی روش پیشنهادی در حل موثر مسئله تخصیص سلاح با در نظرگرفتن محدودیت های واقعی و حفاظت از دارایی‌های خودی در مقایسه با سایر روش‌ها است.

واژگان کلیدی: الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، بهینه محلی، تخصیص سلاح به هدف پویا، دارایی، فرماندهی وکنترل.

[۱] نویسنده مسئول، استادیار گروه علمی هوش مصنوعی، مجتمع دانشگاهی برق و رایانه، دانشگاه صنعتی مالک اشتر iustuser@mut.ac.ir

[۲] پژوهشگر مجتمع دانشگاهی برق و رایانه، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

[۳] Dynamic Weapon Target Assignment

[۴] Assets

[۵] Particle swarm optimization

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

۱. کلیات

در نبردهای نوین، حفظ دارایی‌های استراتژیک و نیروهای خودی در برابر تهدیدات چند لایه و پویا، یکی از چالش های اصلی فرماندهان است. با توجه به حساس بودن نبردها، وجود فرماندهان با تجربه و با درایت در موفقیت این نبردها بسیار مهم است. امروزه اغلب کشورهای دنیا رو به سمت سامانه های کنترلی خودکار در صنایع نظامی آورده‌اند. جهت کنترل این ادوات نظامی و استفاده بهینه از آنها درمیدان نبرد نیاز به روشی است که بتواند این کار را به طور هوشمندانه ای انجام دهد.

بنابراین باید روشی در نظر گرفته شود. که بتواند سلاح هایی که در اختیار یگان نظامی خودی است به طور بهینه‌ای به تهدیدات اختصاص داده شود به طوریکه بیشترین آسیب به تهدیدات وارد گردد و کمترین آسیب به سلاح های خودی وارد شود. درمسئله تخصیص سلاح به هدف(**WTA**)[۱]، هدف تخصیص بهینه سلاح به تهدیدات است به گونه‌ای که بیشترین خسارت و آسیب به دشمن وارد شود و در مقابل میزان آسیب به نیروهای خودی حداقل گردد.

سوال اصلی در این مقاله این است که چگونه با استفاده از روش تخصیص سلاح به هدف بهینه‌ترین حالت تخصیص سلاح به تهدیدات انجام می‌شود؟

در این مقاله فرض شده است که یگان نظامی خودی شامل تعدادی پلتفرم سلاح است. که این پلتفرم های سلاح وظیفه دارند علاوه بر دفاع از خود و دارایی ها به تهدیدات نیز آسیب وارد کنند و آن ها را از بین ببرند. در این مسئله تهدیدات در چند موج حمله اقدامات خصمانه انجام خواهند داد که نتیجه هر موج حمله به مرحله بعدی وابسته است. به عبارتی مدل بر اساس نتایج موج حمله قبل برای موج حمله بعدی برنامه ریزی می‌کند که چگونه عمل تخصیص سلاح به هدف را انجام دهد.

همچنین در این روش وضعیت درگیری می‌تواند به صورت همزمان باشد، در واقع هنگامی که یک پلتفرم سلاح می‌خواهد علیه یک تهدید اقدام کند، همان تهدید علیه همان پلتفمرم سلاح اقدام می‌کند. به این ترتیب در سناریو مبارزه فرض بر این است که چند نوع تهدید داریم. که تعداد تهدیدات را در مجموع **N** می‌باشد. این تهدیدات در چند موج حمله(به عنوان مثال در ۳ موج حمله) علیه دارایی ها و سلاح ها به مبارزه و درگیری می‌پردازند و هدف آنها (تهدیدات) این است که بیشترین خسارت را به پلتفرم های سلاح خودی و دارایی ها خودی وارد کنند. در مقابل یگان نظامی خودی به دنبال این است که به گونه‌ای سلاح ها را به تهدیدات تخصیص دهد که بیشترین خسارت را به دشمن وارد کرده و کمترین آسیب را متحمل بشود. به این ترتیب فرضیات، سناریو مبارزه و آنچه که به عنوان اطلاعات از این مسئله خواهیم داشت به صورت زیراست.

تهدیدات

منظور از تهدیدات همان دشمنان هستند که قصد نابودی دارایی ها و سلاح ها را دارند.

- در ابتدای موج حمله اول **N۱** تهدید وجود دارند. **N۱** معلوم است. انواع تهدید نیز مشخص است. یعنی می‌دانیم چند تهدید از نوع اول است و همنیطور از نوع دوم و سوم.
- در ابتدای موج حمله دوم **N۲** تهدید وجود دارند. **N۲** معلوم است. انواع تهدید نیز مشخص است. یعنی می‌دانیم چند تهدید از نوع اول است و همنیطور از نوع دوم و سوم.
- در ابتدای موج حمله سوم **N۳** تهدید وجود دارند. **N۳** معلوم است. انواع تهدید نیز مشخص است. یعنی می‌دانیم چند تهدید از نوع اول است و همنیطور از نوع دوم و سوم.

هدف هر تهدید مشخص است. یعنی می‌دانیم که هر تهدید قصد نابودی کدام دارایی خودی را دارد. این اطلاعات به صورت یک ماتریس باینری می‌باشد.

پلتفرم های سلاح خودی

تعدادی پلتفرم سلاح در اختیار نیروهای خودی وجود دارد که تهدیدات را نابود می‌کنند. هرپلتفرم سلاح دارای مهمات است که معلوم است وبرای همه ثابت است. یعنی همه پلتفرمها دارای مثلا ۳ یا ۵ موشک هستند.

- احتمال نابودی هر پلتفرم سلاح به تهدید مشخص است و به صورت یک ماتریس درنظر گرفته شده است.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

- همه سلاح ها قابلیت حمله علیه همه تهدیدات را دارند. فقط احتمال نابودی متفاوت است.

دارایی های خودی

- تعدای دارایی خودی وجود دارد که دشمن به دنبال انهدام آنها است و هر دارایی نیز ارزشی دارد.
- پلتفرم های سلاح خود نیز جزء دارای ها هستند و هر پلتفرم سلاح ارزشی دارد.

احتمال نابودی کامل یک دارایی توسط یک تهدید هم مشخص است(عددی بین صفر ویک). در صورت مورد اصابت قرار گرفتن دارایی توسط تهدید خسارتی به دارایی وارد می‌شود.

در این سناریو مبارزه تعداد، نوع و ارزش تهدیداتی که در هر مرحله قرار است بر علیه دارایی ها حمله کند معلوم است.

در این سناریو دارایی های داریم، که ارزش آنها نیز مشخص است و همچنین مشخص می‌شود چه تهدیداتی چه دارایی هایی را مورد حمله قرار می‌دهند، خود سلاح ها نیز به نوعی دارایی حساب می‌شوند و دارای ارزش می‌باشند (استراتژی حمله در هر مرحله مشخص می‌شود.)

- در این سناریو مبارزه تمام پلتفرم های سلاح قابلیت حمله و مبارزه علیه همه تهدیدات را دارند و هر پلتفرم سلاح دارای $\frac{\text{تعداد کل تهدیدات}*2}{\text{تعداد کل سلاح ها}}$ موشک است.
- در این سناریو احتمال نابودی تهدید و دارایی را داریم.
- در این سناریو احتمال نابودی تهدید و سلاح را داریم.
- در هر مرحله از سناریو هر تهدید تنها یک موشک می‌تواند شلیک کند و هر سلاح نیز تنها یک موشک می‌تواند به تهدید شلیک کند.
- اگر خسارت حتی کوچکی هم از طرف تهدید به پلتفرم سلاح وارد شود فرض می‌شود که کل سلاح از کار افتاده است و در مراحل بعدی توانایی شلیک ندارد ولی جزء دارائیهای ما تا مرحله آخر خواهد بود.

در این سناریو مبارزه بر اساس آنچه بیان شد هر پلتفرم سلاح تعداد و ارزشی دارد. هر دارایی هم ارزشی دارد. این موارد برای تهدیدات نیز هست یعنی هر تهدید تعداد و ارزشی دارد. همچنین هنگامی که تهدید علیه سلاح یا دارایی اقدام میکند و به مبارزه می‌پردازد. شلیکی که علیه آن دارایی و یا پلتفرم سلاح انجام میدهد با احتمالی باعث وارد کردن خسارت به آن دارایی یا پلتفرم سلاح خواهد شد. این مورد بر عکس نیز هست یعنی اگر الگوریتم تخصیص سلاح به هدف یک پلتفرم سلاح مشخص را به تهدیدی اختصاص دهد موشکی که آن پلتفرم سلاح به تهدید شلیک میکند با احتمالی به تهدید برخورد خواهد کرد با این تفاوت که در صورت برخورد، تهدید نابود خواهد شد اما وقتی که تهدیدی موشکی به پلتفرم سلاح یا داریی شلیک میکند خسارتی به پلتفرم سلاح وارد یا دارایی وارد می‌شود یعنی با برخورد موشک شلیک شده تهدید به دارایی یا پلتفرم سلاح، الزاما پلفترم سلاح یا دارایی به طور کاملا نابود نخواهد شد. خسارتی که به پلتفرم سلاح و یا دارایی وارد می‌شود درصدی از ارزش آن پلتفرم سلاح یا دارایی خواهد بود. که مقدار آن در اطلاعات ورودی مسئله مشخص می‌شود.

در سناریو مبارزه فرضا در موج حمله اول تعدادی تهدید قصد حمله دارند. با مشخص شدن اینکه چه تهدیداتی قصد حمله دارند. استراتژی حمله آنها نیز مشخص خواهد شد یعنی مشخص خواهد شد که چه تهدیدی قصد حمله به چه دارایی یا پلتفرم سلاحی را دارد. به این ترتیب در موج حمله اول عمل تخصیص سلاح به تهدیدات انجام خواهد شد. در موج حمله اول تهدیدات بر اساس استراتژی که از قبل مشخص شده است سلاح ها و یا دارایی هایی را مورد شلیک قرار خواهند داد. اگر این شلیک باعث بروز اصابت به پلتفرم سلاح و یا دارایی شد مقداری خسارت به آن پلتفرم سلاح و یا دارای وارد خواهد شد. که اگر خسارتی به پلتفرم سلاح وارد شود هرچند ناچیز، آن پلتفرم سلاح تا موج حمله آخر غیر عملیاتی خواهد بود. به عبارتی آن پلتفرم سلاح دیگر توانایی درگیری و دفاع نخواهد داشت. اما جز دارایی های تسلیحاتی خواهد بود و تهدیدات می‌توانند مجددا در موج های حمله بعدی آن پلتفرم سلاح را مورد هدف قرار دهند.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

در نقطه مقابل اگر پلتفرم سلاحی تهدیدی را مورد هدف قرار داد یعنی الگوریتم تخصیص سلاح به هدف، پلتفرم سلاحی را به تهدیدی اختصاص داد. آن پلتفرم سلاح موشکی علیه آن تهدید شلیک خواهد کرد که اگر آن تهدید مورد اصابت قرار گرفت. یک موشک از موشک های آن پلتفرم سلاح کم خواهد شد. و تهدید نابود خواهد شد و تعداد تهدیدات یکی کم خواهد شد. اما اگر مورد اصابت قرار نگرفت. آن تهدید سالم است و تعداد موشک های آن پلتفرم سلاح یکی کم خواهد شد.

در موج حمله بعدی بعد از آنکه مشخص شد چه تهدیداتی قصد حمله دارند و استراتژی حمله آنها چیست. الگوریتم تخصیص سلاح به هدف سلاح های را تخصیص می‌دهد. که عملیاتی هستند. یعنی مهمات دارند و آسیبی ندیده اند. به این ترتیب هدف این است که درانتهای موج حمله آخر آسیب بیشتری به تهدیدات وارد شود و خسارت کم تری به پلتفرم های سلاح و درایی ها تحمیل شود.

به طور کلی مسئله تخصیص سلاح به هدف یکی از مهم ترین مسائل در فرماندهی و کنترل است که در سال های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. مسئله تخصیص سلاح به هدف یک مسئله **NP** کامل است و وابسته به پارامترهای مختلفی است. بنابراین هر چه تعداد پارامترهای مسئله بیشتر شود. مسئله تخصیص سلاح به هدف پیچیده تر خواهد شد و حل آن نیز دشوار تر خواهد بود[۲, ۳].

دو نسخه از مسئله تخصیص سلاح به هدف وجود دارد، مسئله تخصیص سلاح به هدف ایستا (**SWTA**)[٤] و مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا(**DWTA**)[٥]، در مسئله تخصیص سلاح به هدف ایستا، سلاح ها همزمان علیه تهدیدات اقدام می‌کنند و به مبارزه می‌پردازند. به عبارتی در این روش در یک مرتبه عمل تخصیص سلاح به هدف انجام خواهد شد. اما در روش تخصیص سلاح به هدف پویا، در چند موج حمله عمل تخصیص سلاح به هدف انجام خواهد شد و عمل تخصیص سلاح به هدف در موج حمله بعدی وابسته به نتایج تخصیص سلاح به هدف در موج های حمله‌ی قبلی است. به این ترتیب از آنجایی که مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا به شرایط میدان نبرد واقعی نزدیک تر است این روش بیشتر مورد توجه محققین بوده است.

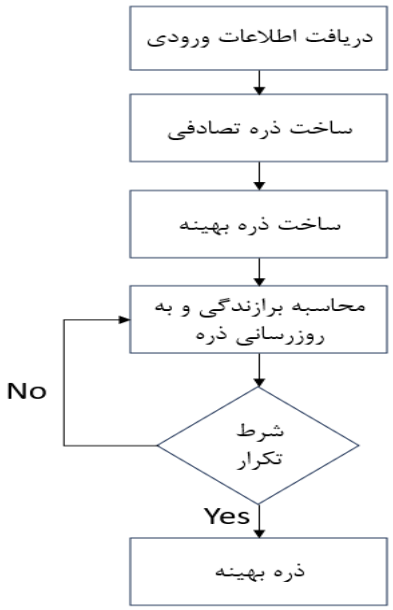
در اغلب تحقیقاتی که صورت گرفته دارایی های خودی در میدان نبرد در نظر گرفته نشده است. در روشی که در این مقاله بیان شده است دارایی های خودی مانند؛ پالایشگاه، فرودگاه، سد و ... را در نظر گرفته‌ایم. این روش سعی دارد تا از این دارایی های خودی در مقابل تهدیدات دفاع کند. همچنین در نبردهای نوین امروزی، دشمن در چند موج حمله علیه سلاح ها و دارایی ها اقدام انجام می‌دهد، و این موضوعی است که در اکثر کارها به آن توجه نشده است. به این ترتیب وظیفه مدل تخصیص سلاح به هدف این است که بتواند درانتهای نبرد(بعد چند موج حمله) بیشترین آسیب را به دشمن وارد کرده و کم‌ترین خسارت متوجه نیروهای خودی بشود.

در این مقاله مدل تخصیص سلاح به هدف پویا را با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات(**PSO**)[۸-٦] بیان کرده‌ایم. الگوریتم **PSO** یک الگوریتم تکاملی مبتنی بر هوش جمعی است که بر اساس رفتار گروهی در طبیعت مانند دسته های حشرات، پرندگان و ... می‌باشد. این الگوریتم بهترین راه حل را از تعامل ذرات بدست می‌آورد، و در فضای جستوجو با ابعاد بالا، به سرعت به سمت بهینه‌ی جهانی همگرا می‌شود.

روش بهینه سازی ازدحام ذرات(**PSO**)[۸] ، یک الگوریتم جستوجوی مبتنی بر جمعیت می‌باشد که رفتار دسته جمعی دسته پرندگان را شبیه سازی می‌کند. در **PSO** موجودات ذره نامیده می‌شوند، که در فضای چند بعدی جستوجو حرکت می‌کنند. تغییر در موقعیت ذرات در فضای جستوجو مبتنی بر رفتار اجتماعی موجودات در تقلید از موفقیت سایر موجودات است. تغییرات یک ذره در ازدحام، تحت تاثیر تجربیات خود و یا دانش همسایگانش می‌باشد. بنابراین رفتار جستوجوی یک ذره تحت تاثیر سایر ذرات در ازدحام است (نوعی رفتار همکاری همزیستی). با توجه به رفتار تقلید گونه‌ای که هر ذره در مقابل یک یا چند ذره دیگر دارد، الگوریتم **PSO** یک روش تقلید-محور محسوب می‌شود. بنابراین با شبیه سازی مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا به شرایط الگوریتم ازدحام ذرات، به دنبال بهینه ترین حالت تخصیص سلاح به اهداف هستیم.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

در شکل ۱ چارچوب کلی که برای حل مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا در نظر گرفته‌ایم را نشان داده‌ایم.



شکل ۱. چارچوب کلی روش تخصیص سلاح به هدف پویا در این مقاله.

فلوچارت شکل ۱ برای هر موج حمله در نظر گرفته شده است. به عبارتی برای هر موج حمله رویه فلوچارت شکل ۱ را خواهیم داشت. تفاوتی که وجود دارد این است در انتهای هر موج حمله تغییراتی در داده های مسئله ایجاد خواهد شد. تغییراتی مانند؛ تعداد موشک های هر پلتفرم سلاح، غیر عملیاتی شدن پلتفرم سلاح، از بین رفتن بعضی از تهدیدات و ... که بر اساس این تغییرات موج حمله بعدی بر اساس فلوچارت شکل ۱ عمل تخصیص سلاح به هدف را انجام می‌دهد. به این ترتیب از آنجایی که مسئله در چند موج حمله تعریف شده است شکل ۱ برای چند موج حمله در نظرگرفته شده است یعنی در هر موج حمله فلوچارت شکل ۱ را خواهیم داشت.

سناریو و صحنه نبردی که در این تحقیق بیان شده است. بسیار به شرایط میدان نبرد واقعی نزدیک است و بر اساس مطالعاتی که انجام شده اکثر کارها میدان نبرد و سناریو ساده‌ای را برای حل مسئله تخصیص سلاح به هدف در نظر گرفته‌اند. بنابراین روش دیگری که بتوان با استفاده از آن سناریو معرفی شده در این مقاله را حل کرد وجود ندارد با مطالعه و تحقیقات روشی که شباهتی بیشتری به این سناریو دارد را انتخاب کردیم.

به این ترتیب الگوریتم معرفی شده در این مقاله را با تخصیص سلاح به هدف تصادفی و روش **DPSO** [۹] که نسبت به روش های دیگر شباهت بیشتری به سناریو معرفی شده در این تحقیق دارد را مورد مقایسه و بررسی قرار داده ایم.

عمل تخصیص سلاح به هدف را بر روی دو سناریو مختلف که اطلاعات آنها در بخش ۲ قرار داده شده است. در ۱۰ بار تکرار انجام داده‌ایم. به عبارت دیگر هر الگوریتم را بر روی هر سناریو ۱۰ بار اجرا کرده و میزان خسارت وارد شده به نیروهای خودی و دشمن را محاسبه کرده و نمایش داده‌ایم. به این ترتیب نتیجه تخصیص سلاح به هدف و میزان خسارت وارده شده از طرف تهدیدات به پلتفرم های سلاح و دارایی همچنین از طرف پلتفرم های سلاح به تهدیدات مورد بررسی قرار گرفته شده است.

در ادامه این مقاله به موارد زیر پرداخته‌ایم.

- کارهایی که اخیرا در حل مسئله تخصیص سلاح به هدف انجام شده است.
- روابط ریاضی مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا و الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات
- بیان روش پیشنهادی
- انجام آزمایشات و نتیجه گیری

۱.۱. مقدمه و هدف

برای پاسخ به سوالی که دربخش قبل مطرح شد از روش الگوریتم **PSO** برای حل مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا استفاده کرده‌ایم. در این مقاله هدف این است که سناریو تعریف شده در بخش قبل را که تعریفی از یک مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا نزدیک به واقعیت می‌باشد را با استفاده از الگوریتم **PSO** حل کنیم. به گونه ای که شرایط مسئله رعایت شود. به عبارتی در پایان حملات بیشترین آسیب به دشمن و کمترین خسارت به نیروهای خودی وارد شود.

سناریویی که در این تحقیق طرح شده، سناریو خاصی است و طبق مطالعات انجام شـــده کاری که بتواند تمام ابعاد ســـناریو طرح شده در این مقاله را در بر گیرد وجود ندارد.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

در پژوهش های پیشـین بر مسـئله تخصـیص سـلاح به هدف ایستا، سناریوها اغلب ساده‌سازی شده و تنها بر تعامل مستقیم بین پلتفرم های سـلاح و تهدیدات تمرکز داشـته‌اند، بدون در نظر گرفتن دارایی‌های غیر تسـلیحاتی یا اثرات پویای میدان نبرد. برای مثال در [۱۰] الگوریتم غیر خطی مبتنی بر شـاخه و مرز معرفی[۶] شـده اسـت. که طبق ادعا این مقاله عملکرد بهتری نسبت به روش های ابتکاری مشابه دارد.

در [۱۱] در این کار برای حل مسئله تخصیص سلاح به هدف از همگذری[۷] و جهش[۸] الگوریتم ژنتیک در الگوریتم **PSO** استفاده شده است. این روش ها جزء روش های ترکیبی است که یکی از ضعف های آن سرعت همگرایی پایین است که این مشکل در مسائل با ابعاد و سناریو های پیچیده تر دو چندان خواهد شد.

با این حال، مدل‌های ایستا به دلیل عدم لحاظ کردن پویایی زمان و وابستگی مراحل به یکدیگر، برای سناریوهای واقعی نبرد که شامل موج‌های حمله متوالی و تغییرات لحظه‌ای وضعیت هستند، محدودیت‌های جدی دارند. در مقابل، مدل‌های پویا با توجه به این وابستگی‌ها، رویکرد مناسب‌تری ارائه می‌دهند و درسال‌های اخیرتوجه بیشتری دریافت کرده‌اند.

در پژوهش [۱۲] مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا با استفاده از الگوریتم **SSO**[۹]که نسخه‌ای بهبود یافته از **PSO** است، حل شده است. این روش با تمرکزبر سناریویی ساده شامل پلتفرم های سلاح و تهدیدات، و با بهره گیری از مکانیزم افزایش سرعت همگرایی، عملکرد مناسبی در درمسائل چند مرحله‌ای نشان داده است، اما دارایی های غیر تسلیحاتی را در نظر نگرفته است. در[۱۳] یک الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه با بهبودهایی ارائه شده است که به آن "الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه بهبود یافته"[۱۰] می‌گویند. استراتژی‌های یادگیری مختلف برای راه‌حل های این الگوریتم به کار گرفته شده‌اند، به طوری که الگوریتم بتواند به صورت هدفمند یاد بگیرد و تکامل یابد. به منظور حل مشکل افتادن در مینیمم های محلی، در این مقاله یک استراتژی جستجو بر اساس "همگذری باینری شبیه‌سازی شده" (**SBX**) و "جهش چندجمله‌ای" (**PM**) ارائه شده است، که امکان به اشتراک گذاری اطلاعات الیتیستی بین آرشیو خارجی را فراهم می‌کند و قابلیت‌های کاوشی **IMOPSO** را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، یک استراتژی نگهداری آرشیو پویا به کار گرفته شده است تا تنوع را درراه حل ها بهبود دهد. در این روش سناریو مبارزه شامل پلتفرم های سلاح و تهدیدات است.

به عنوان یک سناریو عملی مانند سناریویی که در این مقاله بیان شده است. مدل ها و حل الگوریتم های تخصیص سلاح به هدف پویا مبتنی بر دارایی(**A-DWTA**) ازچالش های واقعی و مهم در فرماندهی و کنترل است.

در [۱٤] با الهام از اصل "تیراندازی-نگاه کردن-تیراندازی"، مدلی مبتنی بر حلقه"مشاهده-تطبیق-تصمیم‌گیری-عمل" برای مسئله تخصیص پویا مبتنی بر دارایی **A-DWTA** ارائه شده است. این پژوهش با استفاده از استراتژی تجزیه روند افقی(**A-DWTA/RH**) یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر بازده مارجینال آماری (**HA-SMR**)، رویکردی سلسله مراتبی معکوس از ارزش دارایی به تخصیص سلاح پیشنهاد کرده که به واقعیت عملیاتی نزدیک تر است.

در پژوهش **[۱۵]** روشی زمان محور برای حل مسئله پویا پیشنهادشده است. این رویکرد برخلاف مدل‌های سنتی چند مرحله‌ای، تصمیم گیری را بر اساس فواصل زمانی نمونه برداری پویا انجام می‌دهد و به تغییرات لحظه‌ای میدان نبرد پاسخ بهتری می‌دهد، که آن را برای سناریوهای واقعی‌تر مناسب می‌سازد، هر چند تمرکز اصلی بر سلاح‌ها و تهدیدات باقی‌مانده است.

در مطالعه **[۱٦]**، چارچوبی مبتنی بر یادگیری تقویتی برای حل مسئله بهینه سازی ترکیبی با کاربرد مسئله پویا ارائه شده است. این روش با تمرکز بر تصمیم گیری غیرمتمرکز و چند

[۶] Branch and Bound

[۷] crossover

[۸] mutation

[۹] Simplified Swarm Optimization

[۱۰] IMOPSO

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

عاملی، عملکرد بالایی در محیط‌های پویا نشان داده و قابلیت تعمیم به سناریوهای پیچیده‌تر را دارد.

بر اساس آنچه که تاکنون مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته شد است. برای حل مسئله تخصیص سلاح به هدف در این مقاله باید از روشی استفاده کرد. که تمام ابعاد سناریو مطرح شده در این مقاله را در بر گیرد و همچنین بر خلاف اکثر کارها دارایی ها را نیز در نظر بگیرد.

در ادامه به بیان ریاضیاتی مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا و الگوریتم **PSO** پرداخته شده است.

۲.۱. روش تحقیق یا اصول و تئوری مقاله

همانطور که در بخش های قبلی بیان شد مسئله تخصیص سلاح به هدف بر دو نوع است: تخصیص سلاح به هدف ایستا و تخصیص سلاح به هدف پویا. تخصیص سلاح به هدف پویا در چند مرحله انجام می‌شود و نتایج هر مرحله بر مراحل بعدی تاثیر گذار خواهد بود. به این ترتیب مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا بیشتر به شرایط نبرد واقعی نزدیک است. بر اساس مطالعاتی که انجام گرفته شده است [۱۸], [۱۷], [۱۲].

در این بخش به بیان روابط ریاضیاتی حاکم بر این مسئله پرداخته شده است.

جدول ۱. پارامترهای مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا.

پارامترهای مسئله	شرح پارامترها
$Nwpn^s$	تعداد سلاح های باقی مانده در شروع مرحله **S**
$Ntgt^s$	تعداد اهداف باقی مانده در شروع مرحله**s**
$Nstg$	تعداد کل مراحل مسئله
T	مجوعه اهداف در هر مرحله**s** $\boldsymbol{T = 1, 2, \dots, Ntgt}$
Y^h, Y^h	متغیرهای تصمیم گیری در مرحله**h** هستندکه اگر $\boldsymbol{Y^h = [y^h_{w,e}]}$ و $\boldsymbol{Y^h = [Y^h, Y^{h+1}, \dots, Y^{Nstg}]}$ سلاح **w** به هدف **e** اختصاص داده شده است در غیر این صورت مقدار آن ۰ است. $\boldsymbol{y^h_{w,e} = 1}$
V, v_e	مقدار تهدید $\boldsymbol{v_e}$ که در آن $\boldsymbol{V = [v_1, v_2, \dots, v_e, \dots, v_{Ntgt}]}$ هدف **e** می‌باشد.
$P^h, P^h_{w,e}$	ماتریس احتمال در مرحله **h** که $\boldsymbol{P^h = [P^h_{w,e}]_{Nwpn*Ntgt}}$ است و $\boldsymbol{P^h_{w,e}}$ احتمال اینکه سلاح **W** هدف **e** را در مرحله **h** تخریب کند.
N, n_w	نرخ آتش $\boldsymbol{n_w}$ که در آن $\boldsymbol{N = [n_1, n_2, \dots, n_e, \dots, n_{Nwpn}]}$ سلاح **w** در یک مرحله است.
$M, m_{h,e}$	هزینه سلاح برای $\boldsymbol{M = [m_{h,e}]_{Nstg*Ntgt}}$ در آن $\boldsymbol{m_{h,e}}$
	هدف **e** در مرحله **h** است.
A, a_w	بیانگر $\boldsymbol{A = [a_1, a_2, \dots, a_w, \dots, a_{Nwpn}]}$ دراین جا $\boldsymbol{a_w}$ مقدار مهمات سلاح **w** است.
$F^h, f^h_{w,e}$	بیانگر ماتریس قابلیت درگیری $\boldsymbol{F^h = [f^h_{w,e}]_{Nwpn*Ntgt}}$ است که اگر در آن $\boldsymbol{f^h_{w,e} = 1}$ به معنای این است که سلاح **w** به هدف **e** در مرحله **h** شلیک کرده است درغیر این صورت مقدار آن ۰ است.

بر اساس جدول ۱ مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا به صورت زیر روابط زیر فرموله می‌شود.

$$\boldsymbol{Minimize D_s(Y^s)} = \sum_{e=1}^{Ntgt} \boldsymbol{v_e}\left(\prod_{h=s}^{Nstg}\prod_{w=1}^{Nwpn}(1 - \boldsymbol{p^h_{w,e}})^{y^h_{w,e}}\right) \quad (۱)$$

محدودیت هایی که در مسئله **DWTA** و رابطه ۱ وجود دارد و باید به آنها توجه کرد به صورت زیر است:

$$\sum_{e=1}^{Ntgt} \mathbf{y^h_{w,e}} \le \mathbf{n_w}, \forall \mathbf{h} \in \{\mathbf{s}, \mathbf{s+1}, \mathbf{s+2}, \dots, \mathbf{Nstg}\}, \forall \boldsymbol{\omega} \boldsymbol{\epsilon} \{\mathbf{1, 2, \dots, Nwpn}\} \quad (۲)$$

$$\sum_{e=1}^{Nwpn} \mathbf{y^h_{w,e}} \le \mathbf{m_{h,e}}, \forall \mathbf{h} \in \{\mathbf{s}, \mathbf{s+1}, \mathbf{s+2}, \dots, \mathbf{Nstg}\}, \forall \boldsymbol{\omega} \boldsymbol{\epsilon} \{\mathbf{1, 2, \dots, Ntgt}\} \quad (۳)$$

$$\sum_{h=s}^{Nstg}\sum_{e=1}^{Ntgt} \mathbf{y^h_{w,e}} \le \mathbf{a_w}, \forall \boldsymbol{\omega} \in \{\mathbf{1, 2, \dots, Nwpn}\}, \mathbf{y^h_{w,e}} < \mathbf{f^h_{w,e}}, \forall \mathbf{h} \boldsymbol{\epsilon} \{\mathbf{s, s+1, s+2, \dots, Nstg}\} \quad (۴)$$

$$\forall \boldsymbol{\omega} \boldsymbol{\epsilon} \{\boldsymbol{1, 2, \dots, Nwpn}\}, \forall \boldsymbol{e} \in \{\boldsymbol{1, 2, \dots, Ntgt}\}, \boldsymbol{y^h_{w,e}} \in \{\boldsymbol{0, 1}\}, \forall \boldsymbol{h} \in \{\boldsymbol{s, s+1, s+2, \dots, Nstg}\} \quad (۵)$$

$$\forall \boldsymbol{\omega} \boldsymbol{\epsilon} \{\boldsymbol{1, 2, \dots, Nwpn}\}, \forall \boldsymbol{e} \in \{\boldsymbol{1, 2, \dots, Ntgt}\} \quad (۶)$$

رابطه ۲ محدودیت ظرفیت اسلحه است که تعداد اهدافی که یک سلاح می‌تواند در هر مرحله به آنها حمله کند را محدود

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

می‌کند. مقدار n_w معمولاً به ۱ تنظیم می‌شود، زیرا بیشتر اسلحه‌ها تنها قادر به حمله به یک هدف در هر لحظه هستند. یک سلاح ویژه که می‌تواند همزمان به چند هدف حمله کند، می‌تواند به عنوان چندین سلاح جداگانه در نظر گرفته شود. رابطه ۳ اطمینان حاصل می‌کند که مقدار $m_{h,e}$ سلاح باید متناسب با تخصیص سلاح در مرحله h به هدف e باشد. مقدار $m_{h,e}$ اصولاً بر اساس عملکرد سلاح و استراتژی شلیک تعیین می‌شود. رابطه ٤ اطمینان حاصل می‌کند که مقدار مهمات مصرفی توسط یک سلاح خاص w در تمام مراحل، نمی‌تواند از مقدار مجاز از پیش تعیین شده آن، یعنی a_w، بیشتر شود. رابطه ۵ محدودیت پنجره زمانی است که تأثیرات پنجره‌های زمانی را بر روی امکان حمله اسلحه‌ها در نظر می‌گیرد. این معادله اطمینان حاصل می‌کند که هر شلیکی که توسط یک سلاح در هر مرحله انجام می‌شود، باید از نظر امکان حمله، ممکن باشد. در نهایت، تمام متغیرهای تصمیم‌گیری $y^h_{w,e}$ ملزم به دودویی بودن هستند.

با توجه به شکل ۱ که بیانگر چارچوب کلی سازوکار حل مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا با استفاده از الگوریتم **PSO** است. در این تحقیق از الگوریتم ها و روشهای مختلفی استفاده شده است که عبارتند از:

- تولید ذره تصادفی
- تولید ذره بهینه بر اساس [۱۲] که هدف آن سریع تر شدن روند همگرایی عمل تخصیص سلاح به هدف است.
- به روز رسانی ذرات مبتنی بر روش UM_f

در الگوریتم **PSO** برای رسیدن به بهترین و بهینه‌ترین تخصیص سلاح به هدف لازم است در ابتدا تعدادی ذره (راه حل) در فضای جستوجو داشته باشیم. منظور از ذره (راه حل) برداری به صورت شکل ۲ است. مطابق آنچه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود ذره‌ای که ساخته می‌شود یک آرایه ۲ بعدی است با اندازه ۵*۱ است که در این شکل به تعداد پلتفرم های سلاح ستون داریم و داخل هر ستون تهدید مورد نظر قرار گرفته است. به این ترتیب در کل فرایند تخصیص سلاح به هدف با ذراتی مانند شکل ۲ روبرو هستیم.

w1	w2	w3	w4	w5
1	0	2	3	1

شکل ۲. بازنمایی از یک بردار(یک ذره تصادفی در فضای جستجو).

به این ترتیب بر اساس الگوریتم تولید ذره تصادفی ذراتی در فضای مسئله تولید خواهند شد که نحوه تولید ذره بر اساس این الگوریتم در ادامه نشان داده شده است.

الگوریتم تولید ذره تصادفی

جدول ۲. پارامترهای الگوریتم تولید ذره تصادفی.

نام پارامتر	توضیحات
N	تعداد ذرات تصادفی که الگوریتم باید تولید کند.
W	تعداد پلتفرم های سلاح خودی
S	تهدیداتی که در حمله شرکت دارند.

به این ترتیب الگوریتم تولید ذره تصادفی به صورت زیر است.

الگوریتم تولید ذره تصادفی

فاز دریافت اطلاعات ورودی:

دریافت پارامترهای N, W, S

فاز تولید ذرات تصادفی:

```
all_particle = []  # An empty list at the end of the algorithm will contain all
                                the produced particles
for i = 1 : N
    particle i 1*w = [0, ..., 0]
    for j = 1 : W
        t = random-select(S)
        w = random-select(W)
        if  particle i [w] == 0:
            particle i[w] = t
            j ++
        continue
    all_particle += particle i
    i++
Output = all_particle
```

از آنجایی که سناریو مورد نظر در این تحقیق نزدیک به نبرد واقعی است بنابراین تعداد پارامترهای زیاد مسئله سبب کند شدن روند همگرایی الگوریتم خواهد شد. بنابراین استفاده از الگوریتم تولید ذره بهینه به همگرایی سریع تر کمک خواهد

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

کرد. پارامترهای مورد استفاده در این الگوریتم در جدول ۳ بیان شده است. الگوریتم ذره بهینه در ادامه بیان شده است.

جدول ۳. پارامترهای الگوریتم تولید ذره بهینه.

نام پارامتر	توضیحات
W	تعداد پلتفرم های سلاح
T	ماتریس تهدیداتی که در موج حمله شرکت دارند.
V_T	ماتریس ارزش تهدیدات
Prob_of_kill	ماتریس احتمال نابودی تهدید–سلاح
M	ماتریس تعداد موشک های هر پلتفرم سلاح

الگوریتم تولید ذره بهینه

فاز دریافت اطلاعات ورودی:

دریافت پارامترهای W, T, V_T, Prob_of_kill, M

فاز تولید ذره بهینه:

```
output = [0,...,0]  #An empty array that will be filled at the end of the
                      algorithm and represents an optimal particle.
for i=1:W
   t = MAX(V_T)    # Find the threat with the highest value
   w = MAX(Prob_of_kill[t])  # Find the weapon platform that t is
                               most likely to destroy
   if output[w] == 0 && M[w] > 0
      output[w] = t
      V_T[t] *= Prob_of_kill[t, w]
      Prob_of_kill[t, w] = 0
   else:
      i++
```

خروجی الگوریتم: output

تابع برازندگی

به طور کلی تابع برازندگی تابعی است که راه حل های کاندید را برای یک مسئله را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و یک خروجی که میزان خوب بودن آن راه حل را مشخص می‌کند ارایه می‌دهد. به این ترتیب در الگوریتم های بهینه سازی مانند **PSO** برای آپدیت کردن ذرات و فرایند رسیدن به ذره بهینه نیازمند یک تابع برازش هستیم که برازندگی ذرات را محاسبه کند. در این تحقیق از یک تابع برازندگی پایه مبتنی بر دارایی[۱۴] استفاده کرده‌ایم که به صورت رابطه ۷ است.

$$F = -\sum_{k=1}^{l} v_k \prod_{j=1}^{n}(1 - q_{jk} \prod_{i=1}^{m}(1 - p_{ij})^{x_{ij}}) \qquad (۷)$$

که در آن

l تعداد دارایی

v_k ارزش هر دارایی

n تعداد تهدیدات

q_{jk} احتمال نابودی دارایی **k** توسط تهدید **j**

m تعداد پلتفرم های سلاح

p_{ij} احتمال نابودی تهدید **j** ام توسط پلتفرم سلاح **i** ام

x_{ij} ذره (اگر سلاح **i** به تهدید **j** اختصاص داده شده باشد مقدار آن ۱ وگرنه صفر خواهد بود.)

به این ترتیب با معرفی الگوریتم ها وتابع برازندگی در ادامه روش مورد استفاده برای حل مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (**PSO**) بیان شده است.

۱.۲.۱. الگوریتم تخصیص سلاح به هدف مبتنی برروش PSO

پارامترهای الگوریتم تخصیص سلاح به هدف پویا مبتنی بر روش **PSO** که در این بخش معرفی شده است به صورت جدول ٤ می‌باشد. این الگوریتم مشابه الگوریتم **PSO** که در بخش ۲ معرفی شد می‌باشد.

جدول ٤. پارامترهای الگوریتم تخصیص سلاح به هدف پویا مبتنی بر روش PSO.

نام پارامتر	توضیحات
Iter	شرط اتمام الگوریتم (تعداد تکرار)
particles	ذراتی که تولید شده‌اند
attack	استراتژی حمله
PBest	بهینه محلی
GBest	بهینه سراسری
Z	تعداد ذرات

الگوریتم تخصیص سلاح به هدف ما در این تحقیق به صورت زیر است که در این الگوریتم منظور از **Fit()** تابع برازندگی یا همان رابطه ۷ می‌باشد و در فاز تکامل این الگوریتم تابع **update()** نشان دهنده به روز رسانی ذره است که در ادامه بررسی شده است.

الگوریتم تخصیص سلاح به هدف مبتنی بر روش بهینه سازی ازدحام ذرات

فاز دریافت اطلاعات ورودی:

دریافت پارامترهای Iter, particles, attack, z

فاز مقدار دهی اولیه:

Pbest = particles, Gbest = argmin(Fit(particles))

فاز تکامل:

```
for i = 1:Iter
    for j = 1:z
        Rou = Random_select(0, 1)
        new_par = update(Rou, attack, par[j])
        if Fit(new_par) < Fit(PBest[j])
            PBest[j] = new_par
            if Fit(PBest[j]) < Fit(GBest)
                GBest = PBest
```

خروجی: GBest

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

الگوریتم **PSO** در مسائل گسسته ضعف دارد. به این ترتب در تابع **()update** که در الگوریتم تخصیص سلاح به هدف پویا به آن اشاره شد سعی شده تا این مشکل حل شود.

اما مهم ترین قسمت این الگوریتم که سبب شده برمشکل گسسته بودن مسائل غلبه کند ماژول "آپدیت" آن است که طبق آنچه در[۲۰] ,[۱۹] ,[۱۲] ادعا شده است نام این ماژول UM_f است که عملکرد آن مطابق رابطه زیر است.

$$x_{ij} = \begin{cases} g_j & if \quad \rho \in [0, c_g) \\ x & if \quad \rho \in [c_g, c_r) \\ x_{ij}^{t-1} & if \quad \rho \in [c_r, 1] \end{cases} \qquad (۸)$$

بر اساس رابطه ۸ و طبق ادعای مقاله مقادیر تصادفی $c_g =$ **0.6**، $c_r = 0.86$ ،$c_p = 0.85$ انتخاب می‌شوند. همچنین مقدار ρ به صورت تصادفی برای هر ذره انتخاب می‌شود و مطابق با رابطه ۸ ذره به روز رسانی می‌شود. به این ترتیب آپدیت ذره اینگونه خواهد بود که:

- اگر مقدار $\rho \in [0, c_g)$ باشد انگاه g_j (ذره ای که حاصل رابطه ۷ برای آن کمترین مقدار است)
- اگر مقدار $\rho \in [c_g, c_r)$ باشد آنگاه x به طور تصادفی و با رعایت محدودیت های مسئله مقداری در نظر گرفته خواهد شد.
- اگر مقدار $\rho \in [c_r, 1]$ باشد آنگاه ذره قبلی در نظرگرفته خواهد شد.

در این بخش به بررسی و بیان الگوریتم تخصیص سلاح به هدف پرداخته شد. این الگوریتم مسئله تخصیص سلاح به هدف را متناسب با سناریو میدان نبرد واقعی که در بخش ۱ معرفی شد به خوبی حل خواهد کرد. در ادامه به بررسی عملکرد این الگوریتم و مقایسه آن با سایر روش ها پرداخته شده است.

۲. یافته‌ها

در این بخش به بیان و بررسی نتایج حاصل از روش بیان شده در این مقاله خواهیم پرداخت. در این بخش روش های تصادفی، **DPSO** و روش معرفی شده در این مقاله را بر روی دو سناریو مختلف آزمایش کرده و نتیجه خسارات وارد شده به تهدیدات و نیروی های خودی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته شده است. اطلاعات سناریو های مبارزه در جدول های ۵-۲۲ بیان شده است.

جدول ۵. اطلاعات پلتفرم های سلاح در سناریو ۱.

تعداد پلتفرم سلاح	ارزش پلتفرم سلاح	نام پلتفرم سلاح
۲	۸۷	S۵۰۰
۳	۷۸	S۳۰۰

جدول ٦. اطلاعات دارایی های غیر تسلیحاتی در سناریو۱.

ارزش دارایی	نام دارایی
۸۸	Dam
۷۷	Refinery

جدول ۷. اطلاعات تهدیدات در سناریو۱.

تعداد تهدید	ارزش تهدید	نام تهدید
۲	۸۸	**F۳۵**
۲	۷۸	**F۱۵**

جدول ۸ احتمال نابودی تهدید – سلاح در سناریو۱.

نام تهدید / نام سلاح	**S۵۰۰**	**S۳۰۰**
F۳۵	۰.۷۶	۰.۷۸
F۱۵	۰.۶۷	۰.٦۸

جدول ۹. احتمال نابودی تهدید – دارایی در سناریو۱.

نام تهدید / نام دارایی	**Dam**	**Refinery**
F۳۵	۰.۷۸	۰.۸۷
F۱۵	۰.۷۷	۰.۷٦

جدول ۱۰. احتمال نابودی سلاح - تهدید در سناریو ۱.

نام سلاح / نام تهدید	**F۳۵**	**F۱۵**
S۵۰۰	۰.٦۷	۰.۷٦
S۳۰۰	۰.۵٦	۰.٦۵

جدول ۱۱. اطلاعات پلتفرم های سلاح در سناریو۲.

تعداد پلتفرم سلاح	ارزش پلتفرم سلاح	نام پلتفرم سلاح
۲	۸۸	S۵۰۰
۳	۷۸	S۳۰۰

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

۲	۷۲	hook

جدول ۱۲. اطلاعات تهدیدات در سناریو۲.

تعداد تهدید	ارزش تهدید	نام تهدید
۲	۸۹	F۲۲
۳	۷۸	F۱۸
۱	٦۷	F۱٥

جدول ۱۳. اطلاعات دارایی غیر تسلیحاتی در سناریو۲.

ارزش دارایی	نام دارایی
۷۷	dam
٦٦	refinery

جدول ١٤. احتمال نابوی سلاح – تهدید در سناریو۲.

نام تهدید / نام سلاح	F۲۲	F۱۸	F۱٥
S٥۰۰	۰.٦۷	۰.۷۷	۰.۸۸
S۳۰۰	۰.٥٦	۰.٦۸	۰.۷۷
hook	۰.٤٥	۰.٥٥	۰.٦٦

جدول ۱٥. احتمال نابودی تهدید – سلاح در سناریو۲.

نام سلاح / نام تهدید	S٥۰۰	S۳۰۰	Hook
F۲۲	۰.۷۸	۰.۸	۰.۹
F۱۸	۰.٦	۰.۷	۰.۸
F۱٥	۰.۳	۰.٤	۰.٥

جدول ١٦. احتمال نابودی تهدید – دارایی در سناریو۲.

نام دارایی / نام تهدید	dam	Refinery
F۲۲	۰.۷۸	۰.۷۸
F۱۸	۰.٦۷	۰.٦۷
F۱٥	۰.٥٦	۰.٥٦

اطلاعات کلی سناریو ۱ و ۲ در جدول های ٥ – ١٦ بیان شد. در ادامه اطلاعاتی تکمیلی در رابطه با میزان خسارتی که به هر پلتفرم سلاح و دارایی وارد میشود و تعداد و نوع تهدیداتی که در هر موج حمله بر اساس استراتژی خاصی علیه پلتفرم های سلاح و داریی اقدام میکنند بیان شده است.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

جدول ۱۷. در سناریو ۱، میزان خسارتی که اگر تهدید سلاح یا دارایی را مورد هدف قرار دهد به آن سلاح یا تهدید وارد می‌شود.

نام سلاح و دارایی / نام تهدید	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	Dam	refinery
F۳۵	۸۸	۸۸	۷۷	۷۷	۷۷	۸۹	۸۹
F۱۵	۸۸	۸۸	۷۷	۷۷	۷۷	۸۹	۸۹

جدول ۱۸. در سناریو۲، میزان خسارتی که اگر تهدید سلاحی یا دارایی را مورد هدف قرار دهد به آن سلاح یا تهدید وارد می‌شود.

نام سلاح و دارایی / نام تهدید	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	hook	hook	Dam	Refinery
F۲۲	۳۰	۳۰	٤۵	٤۵	٤۵	۵۵	۵۵	۸۰	۸۰
F۱۸	۳۰	۳۰	٤۵	٤۵	٤۵	۵۵	۵۵	۸۰	۸۰
F۱۵	۳۰	۳۰	٤۵	٤۵	٤۵	۵۵	۵۵	۸۰	۸۰

جدول ۱۹. استراتژی موج حمله اول در سناریو.۱

نام سلاح و دارایی / نام تهدید	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	dam	refinery
F۳۵	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
F۱۵	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰

جدول ۲۰. استراتژی موج حمله دوم در سناریو۱.

نام سلاح و دارایی / نام تهدید	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	dam	refinery
F۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰

جدول ۲۱. استراتژی موج حمله اول در سناریو۲.

نام سلاح و دارایی / نام تهدید	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰		S۳۰۰	S۳۰۰	hook	hook	Dam	Refinery
F۲۲	۱	۰	۰		۰	۰	۰	۰	۰	۰
F۱۸	۰	۰	۱		۰	۰	۰	۰	۰	۰
F۱۵	۰	۰	۰		۰	۰	۱	۰	۰	۰

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

جدول ۲۲. استراتژی موج دوم حمله در سناریو۲.

نام سلاح ودارایی / نام تهدید	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	hook	hook	Dam	Refinery
F۱۸	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
F۱۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱

در ادامه نتیجه روش های مختلف بر روی سناریو های ۱ و۲ نشان داده شده است.

جدول ۲۳. میزان خسارت وارد شده از طرف تهدیدات به پلفترم های سلاح و دارایی های خودی بعد از اتمام نبرد در روشی که دراین مقاله بیان شده است(سناریو۱).

	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	Dam	Refinery
اجرا۱	۷۶	۷۶	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۲	۷۶	۰	۰	۶۰	۶۰	۷۸	۰
اجرا۳	۷۶	۰	۰	۰	۰	۷۸	۰
اجرا۴	۰	۰	۶۰	۰	۰	۷۸	۰
اجرا۵	۷۶	۰	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۶	۷۶	۷۶	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۷	۸۴	۰	۶۰	۰	۰	۷۸	۰
اجرا۸	۰	۰	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۹	۸۴	۰	۰	۶۰	۰	۰	۰
اجرا۱۰	۸۴	۰	۰	۶۰	۰	۰	۰
میانگین خسارت وارد شده	۶۳.۲	۱۵.۲	۱۲	۴۲	۶	۶۲.۴	۰

جدول ۲۴. میزان خسارت وارد شده از طرف تهدیدات به پلتفرم های سلاح و دارایی های خودی بعد از اتمام نبرد در روش DPSO(سناریو۱).

	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	Dam	Refinery
اجرا۱	۷۶	۷۶	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۲	۷۶	۰	۰	۶۰	۶۰	۷۸	۰
اجرا۳	۷۶	۰	۰	۰	۰	۷۸	۰
اجرا۴	۷۶	۷۶	۰	۶۰	۶۰	۷۸	۰
اجرا۵	۷۶	۰	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۶	۷۶	۷۶	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۷	۸۴	۰	۶۰	۰	۰	۷۸	۰
اجرا۸	۰	۰	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۹	۸۴	۰	۰	۶۰	۰	۰	۰
اجرا۱۰	۸۴	۰	۰	۶۰	۰	۰	۰
میانگین خسارت وارد شده	۷۰.۸	۲۲.۸	۶	۴۸	۱۲	۶۲.۴	۰

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

جدول ۲۵. میزان خسارت وارده شده از طرف تهدیدات به پلتفرم های سلاح و دارایی های خودی بعد از اتمام نبرد در روش تصادفی(سناریو۱).

	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	Dam	Refinery
اجرا۱	۷۶	۰	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۲	۸۴	۷۶	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۳	۷۶	۰	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۴	۰	۷۶	۰	۰	۰	۷۸	۰
اجرا۵	۷۶	۷۶	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۶	۷۶	۰	۶۰	۰	۰	۷۸	۰
اجرا۷	۷۶	۷۶	۰	۰	۰	۷۸	۰
اجرا۸	۷۶	۰	۶۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۹	۸۴	۰	۰	۶۰	۰	۷۸	۰
اجرا۱۰	۷۶	۰	۰	۶۰	۰	۰	۰
میانگین خسارت وارد شده	۷۰	۳۰.۴	۱۲	۴۲	۰	۷۰.۲	۰

جدول ۲۶. میزان خسارت وارده شده از طرف پلتفرم های سلاح به تهدیدات بعد از اتمام نبرد، در روشی که در این مقاله بیان شده است (سناریو۱).

	F۳۵	F۳۵	F۱۵	F۱۵
اجرا۱	۸۸	۸۸	۷۸	۷۸
اجرا۲	۸۸	۸۸	۷۸	۷۸
اجرا۳	۸۸	۸۸	۷۸	۷۸
اجرا۴	۸۸	۰	۷۸	۰
اجرا۵	۸۸	۰	۷۸	۷۸
اجرا۶	۰	۰	۷۸	۷۸
اجرا۷	۸۸	۸۸	۷۸	۷۸
اجرا۸	۰	۰	۷۸	۷۸
اجرا۹	۸۸	۰	۷۸	۷۸
اجرا۱۰	۸۸	۰	۷۸	۷۸
میانگین خسارت های وارد شده	۷۰.۴	۳۵.۲	۷۸	۷۰.۲

جدول ۲۷. میزان خسارت وارده شده از طرف پلتفرم سلاح به تهدیدات بعد از اتمام نبرد در روش DPSO (سناریو۱).

	F۳۵	F۳۵	F۱۵	F۱۵
اجرا۱	۸۸	۸۸	۷۸	۷۸
اجرا۲	۸۸	۸۸	۷۸	۷۸
اجرا۳	۸۸	۸۸	۷۸	۷۸
اجرا۴	۸۸	۰	۷۸	۰
اجرا۵	۸۸	۰	۷۸	۷۸
اجرا۶	۰	۰	۷۸	۷۸
اجرا۷	۰	۸۸	۷۸	۷۸
اجرا۸	۰	۰	۷۸	۷۸
اجرا۹	۸۸	۰	۷۸	۷۸
اجرا۱۰	۸۸	۰	۰	۷۸
میانگین خسارت های وارد شده	۶۱.۶	۳۵.۲	۷۰.۲	۷۰.۲

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

جدول ۲۸. میزان خسارت وارد شده از طرف پلتفرم سلاح به تهدیدات بعد از اتمام نبرد در روش تصادفی(سناریو۱).

	F۳۵	F۳۵	F۱۵	F۱۵
اجرا۱	۸۸	۸۸	۰	۷۸
اجرا۲	۸۸	۰	۷۸	۷۸
اجرا۳	۰	۰	۷۸	۷۸
اجرا٤	۸۸	۰	۷۸	۷۸
اجرا۵	۸۸	۸۸	۰	۷۸
اجرا٦	۸۸	۰	۷۸	۰
اجرا۷	۸۸	۸۸	۷۸	۷۸
اجرا۸	۰	۰	۰	۷۸
اجرا۹	۸۸	۸۸	۷۸	۰
اجرا۱۰	۸۸	۰	۷۸	۰
میانگین خسارت های وارد شده	۷۰.٤	۳۵.۲	۵٤.٦	۵٤.٦

جدول ۲۹. میزان خسارت وارد شده از طرف تهدیدات به پلتفرم های سلاح و دارایی های خودی بعد از اتمام نبرد در روشی که در مقاله بیان شد (سناریو۲).

	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	hook	Hook	Dam	Refinery
اجرا۱	۲٦	۰	۰	۳۵	۰	۰	۰	۰	۵۲
اجرا۲	۲٦	۰	۳۵	۰	۰	۳۹	۰	۰	۰
اجرا۳	۲٦	۰	۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۵۲
اجرا٤	۲٦	۲٦	۰	۰	۰	۳۹	۰	۰	۵۲
اجرا۵	۲٦	۲٦	۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۵۲
اجرا٦	۲٦	۰	۰	۰	۰	۳۹	۰	۰	۵۲
اجرا۷	۰	۲٦	۳۵	۰	۳۵	۳۹	۰	۰	۵۲
اجرا۸	۰	۲٦	۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۵۲
اجرا۹	۲٦	۲٦	۳۵	۰	۰	۳۹	۰	۰	۵۲
اجرا۱۰	۲٦	۲٦	۳۵	۰	۰	۳۹	۰	۰	۵۲
میانگین خسارت های وارد شده	۲۰.۸	۱۵.٦	۲٤.۵	۳.۵	۳.۵	۲۳.٤	۰	۰	٤٦.۸

جدول ۳۰. میزان خسارت وارده شده از طرف تهدیدات به پلتفرم های سلاح و دارایی های خودی بعد از اتمام نبرد در روش DPSO (سناریو۲).

	S۵۰۰	S۵۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	hook	hook	dam	Refinery
اجرا۱	۲٦	۰	۰	۳۵	۰	۰	۰	۰	۵۲
اجرا۲	۲٦	۰	۳۵	۰	۰	۳۹	۰	۰	۰
اجرا۳	۲٦	۰	۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۵۲
اجرا٤	۲٦	۲٦	۰	۰	۰	۳۹	۰	۰	۵۲
اجرا۵	۲٦	۲٦	۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۵۲
اجرا٦	۲٦	۰	۰	۰	۰	۳۹	۰	۰	۵۲

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

اجرا۷	۲٦	۲٦	۳٥	۰	۳٥	۳۹	۰	۰	٥۲
اجرا۸	۰	۲٦	۳٥	۰	۳٥	۰	۰	۰	٥۲
اجرا۹	۲٦	۲٦	۳٥	۰	۰	۳۹	۰	۰	٥۲
اجرا۱۰	۲٦	۲٦	۳٥	۳٥	۰	۳۹	۰	۰	٥۲
میانگین خسارت های وارد شده	۲۳.٤	۱٥.٦	۲٤.٥	۷	۷	۲۳.٤	۰	۰	٤٦.۸

جدول ۳۱. میزان خسارت وارد شده از طرف تهدیدات به پلتفرم های سلاح و دارایی های خودی بعد از اتمام نبرد در روش تصادفی(سناریو۲).

	S٥۰۰	S٥۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	S۳۰۰	hook	hook	dam	Refinery
اجرا۱	۲٦	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	٥۲
اجرا۲	۲٦	۰	٥۳	۰	۰	۰	۰	۰	٥۲
اجرا۳	۲٦	۲٦	۳٥	۰	۰	۰	۰	۰	۰
اجرا٤	۲٦	۲٦	۳٥	۳٥	۳٥	٥٦	۰	۰	٥۲
اجرا٥	۲٦	۲٦	۰	۰	۰	۳۹	۰	۰	٥۲
اجرا٦	۲٦	۲٦	۳٥	۰	۳٥	۳۹	۰	۰	٥۲
اجرا۷	۲٦	۲٦	۰	۰	۳٥	۰	۰	۰	٥۲
اجرا۸	۲٦	۰	۳٥	۰	۰	۰	۰	۰	٥۲
اجرا۹	۲٦	۲٦	۰	۰	۰	۳۹	۰	۰	٥۲
اجرا۱۰	۰	۲٦	۳٥	۰	۰	۰	۰	۰	٥۲
میانگین خسارت های وارد شده	۲۳.٤	۱۸.۲	۲۲.۸	۳.٥	۱۰.٥	۱۷.۳	۰	۰	٤٦.۸

جدول ۳۲. میزان خسارت وارد شده از پلتفرم‌های سلاح به تهدیدات بعد از اتمام نبرد در روشی که در مقاله بیان شده‌است (سناریو۲).

	F۲۲	F۲۲	F۱۸	F۱۸	F۱۸	F۱٥
اجرا۱	۰	۸۹	۷۸	۷۸	۷۸	۰
اجرا۲	۰	۰	۷۸	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا۳	۰	۸۹	۷۸	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا٤	۸۹	۰	۰	۰	۰	٦۷
اجرا٥	۸۹	۰	۷۸	۰	۷۸	٦۷
اجرا٦	۰	۰	۷۸	۷۸	۰	٦۷
اجرا۷	۰	۰	۰	۰	۷۸	٦۷
اجرا۸	۰	۰	۷۸	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا۹	۸۹	۰	۷۸	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا۱۰	۰	۰	۰	۷۸	۷۸	٦۷
میانگین خسارت های وارد شده	۲٦.۷	۱۷.۸	٥٤.٦	٥٤.٦	٦۲.٤	٦۰.۳

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

جدول ۳۳. میزان خسارت وارد شده از طرف پلتفرم های سلاح به تهدیدات بعد از اتمام نبرد در روش DPSO (سناریو۲).

	F۲۲	F۲۲	F۱۸	F۱۸	F۱۸	F۱۵
اجرا۱	۰	۸۹	۷۸	۷۸	۰	۰
اجرا۲	۰	۰	۷۸	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا۳	۰	۸۹	۷۸	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا٤	۸۹	۰	۰	۰	۰	٦۷
اجرا۵	۸۹	۰	۷۸	۰	۷۸	٦۷
اجرا٦	۰	۰	۷۸	۷۸	۰	٦۷
اجرا۷	۰	۰	۰	۰	۷۸	٦۷
اجرا۸	۰	۰	۷۸	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا۹	۰	۰	۷۸	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا۱۰	۰	۰	۰	۷۸	۷۸	٦۷
میانگین خسارت های وارد شده	۱۷.۸	۱۷.۸	٥٤.٦	٥٤.٦	٥٤.٦	٦۰.۳

جدول ٣٤. میزان خسارت وارد شده از طرف پلتفرم سلاح به تهدیدات بعد از اتمام نبرد در روش تصادفی.

	F۲۲	**F۲۲**	**F۱۸**	**F۱۸**	**F۱۸**	**F۱۵**
اجرا۱	۸۹	۰	۷۸	۰	۰	٦۷
اجرا۲	۸۹	۰	۰	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا۳	۸۹	۰	۷۸	۷۸	۰	٦۷
اجرا٤	۸۹	۰	۰	۰	۰	٦۷
اجرا۵	۸۹	۰	۷۸	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا٦	۸۹	۰	۰	۷۸	۷۸	٦۷
اجرا۷	۰	۰	۷۸	۰	۰	٦۷
اجرا۸	۰	۰	۰	۷۸	۰	٦۷
اجرا۹	۸۹	۰	۰	۰	۷۸	٦۷
اجرا۱۰	۰	۰	۷۸	۷۸	۰	٦۷
میانگین خسارت های وارد شده	٦۲.۳	۰	۳۹	٤٦.۸	۳۱.۲	٦۷

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

جدول ۳۵. محاسبه انحراف معیار و میانگین خسارتها بر اساس جدول های ۲۳، ۲٤ و ۲۵.

وضعیت عملکرد	انحراف معیار	میانگین خسارتهای وارده به خودی	سناریو۱
بهترین عملکرد(کمترین خسارت)	٦۱/۹۸۰۳	۲۰۰/۸	روش مقاله
متوسط	۷۲/۲۷۵	۲۲۲	روش DPSO
ضعیف	۵۰/۲۷۵	۲۲٤/٦	روش تصادفی

جدول ۳٦. محاسبه انحراف معیار و میانگین خسارتها بر اساس جدول های ۲٦، ۲۷ و ۲۸.

وضعیت عملکرد	انحراف معیار	میانگین خسارتهای وارده به دشمن	سناریو۱
بهترین عملکرد (بیشترین خسارت)	۷۱/۸۱	۲۵۳/۸	روش مقاله
متوسط	۷۱	۲۳۷/۲	روش DPSO
ضعیف	٦۸/۵۳	۲۱٤/۸	روش تصادفی

جدول ۳۷. محاسبه انحراف معیار و میانگین خسارتها بر اساس جدول های ۲۹، ۳۰ و ۳۱.

وضعیت عملکرد	انحراف معیار	میانگین خسارتهای وارده به خودی	سناریو۲
بهترین عملکرد(کمترین خسارت)	۳۰/٦۲۱	۱۳۸/۱	روش مقاله
متوسط	۳۸/۹۳۵	۱٤۷/۷	روش DPSO
ضعیف	۵۳/۹۳۷	۱٤۲/۵	روش تصادفی

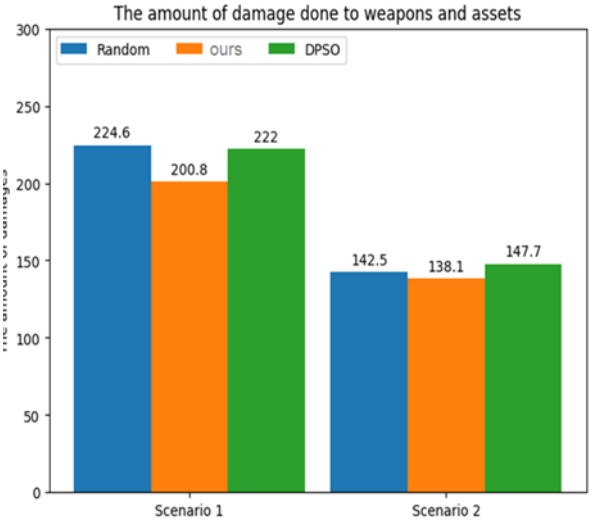
جدول ۳۸. محاسبه انحراف معیار و میانگین خسارتها بر اساس جدول های ۳۲، ۳۳ و۳٤.

وضعیت عملکرد	انحراف معیار	میانگین خسارتهای وارده به دشمن	سناریو۲
بهترین عملکرد(بیشترین خسارت)	۸۲/۲۱۵	۲٦٦/٤	روش مقاله
متوسط	۷۱/۸٦۱	۲۵۹/۸	روش DPSO
ضعیف	۷۹/٤٤	۲٤٦/۳	روش تصادفی

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

۱.۲. بررسی و تحلیل نتایج

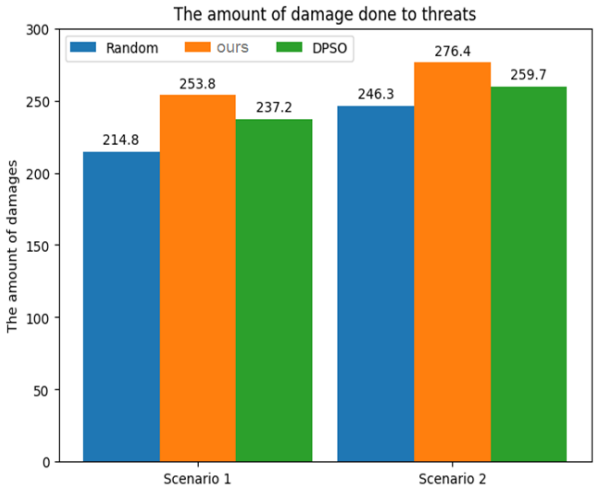
نتایج حاصل از عمل تخصیص سلاح به هدف پویا را در سه روش و بر روی دو سناریو نشان داده شد. در ادامه این بخش به تحلیل و بررسی نتایج حاصل خواهیم پرداخت.



شکل ۳. نمودار میزان خسارت وارد شده از طرف تهدیدات به پلتفرم های سلاح و دارایی ها.

در شکل ۳ که بر اساس اطلاعات بدست آمده از جدولهای ۲۳، ۲٤، ۲۵، ۲۹، ۳۰ و ۳۱ نمودار میزان خسارت وارده شده به پلتفرم های سلاح و دارایی های در دو سناریو بر اساس روش های تصادفی، روش **DPSO** و روش بیان شده در این مقاله نشان داده شده است. این مقدار بیانگر جمع میانگین خسارت های وارد شده به پلتفرم های سلاح و دارایی ها است. با توجه به شکل ۳ روش تصادفی و روش **DPSO** آسیب بیشتری نسبت به روش بیان شده در این مقاله را دارند و این نشان دهنده آن است که روش این مقاله نسبت به دو روش دیگر هوشمندانه تر و بهینه تر عمل کرده است و توانسته میزان خسارت دریافتی از طرف تهدید را کاهش دهد.

در شکل ٤ بر اساس اطلاعات بدست آمده از جدول های ۲٦، ۲۷، ۲۸، ۳۲، ۳۳ و ۳٤ نمودار میزان خسارت وارده شده به تهدیدات در دو سناریو بر اساس روش های تصادفی، روش **DPSO** و روش بیان شده در مقاله نشان داده شده است. مقادیری که در این نمودار مقایسه شده است بیانگر حاصل جمع میانگین



شکل ٤. نمودار میزان خسارت وارد شده از طرف پلتفرم های سلاح به تهدیدات.

خسارت های وارد شده به تهدیدات است. با توجه به شکل ٤ روش های تصادفی و **DPSO** خسارت کمتری نسبت به روش ما به تهدیدات وارد کرده اند. بنابراین بر اساس اطلاعات بدست آمده از نتیجه تخصیص سلاح به هدف و شکل های ۳ و٤ می‌توان دریافت که روش بیان شده در این مقاله نسبت به روش های تصادفی و روش **DPSO** عملکرد بهتری داشته است و توانسته بعد از اتمام نبرد خسارت بیشتری به تهدیدات وارد کرده و آسیب کمتری متحمل شود.

در ادامه روش های مورد بررسی را از دو جبنه قابلت دفاعی و تهاجمی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته شده است، در این بررسی جمع کل خسارتها را در ۱۰ بار اجرای الگوریتم ها محاسبه و میانگین گرفته و نهایتا انحراف معیار محاسبه شده است. همانطور که در جدول ۳۵ مشاهده می‌شود در بررسی جنبه دفاعی سناریو۱، روش مقاله (با میانگین خسارت ۲۰۰/۸) عملکردی بهتر از روش **DPSO** (با میانگین خسارت ۲۲۲) و روش تصادفی (با میانگین خسارت ۲۲٤/٦) دارد. این اختلاف نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی توانسته است با تخصیص هوشمندانه سلاح ها، تهدیداتی که ارزش استراتژیگ بالاتری برای دارایی های خودی داشته‌اند را با اولویت بالاتری دفع کنند. اگرچه انحراف معیار روش تصادفی (۵۰/۲۷۵) کمتر از روش پیشنهادی است. اما این پایداری در تولید نتایج ضعیف است. در مقابل، انحراف معیار روش مقاله (٦۱/۹۸۰۳) ناشی از توانایی الگوریتم در جستوجوی فضای مسئله است. به طوری که در

فصلنامهٔ علمی – پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال هفتم، شمارهٔ دو، تابستان ۱۴۰۲

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

برخی اجراها موفق به کشف جوابهای بسیار بهینه شده است که میانگین کل را به شدت بهبود بخشیده است. روش **DPSO** با بیشترین انحراف معیار بیشترین نوسان را داشته که نشان دهنده گیر کردن در بهینه های محلی است.

در شاخص تهاجمی (جدول ۳۶) روش مقاله (با میانگین ۲۵۳/۸ خسارت به دشمن) برتری خود را نسبت به روش‌های **DPSO** و روش تصادفی اثبات می‌کند. بالاتر بودن انحراف معیار در روش مقاله در این جا یک نکته مثبت تلقی می‌شود؛ زیرا نشان دهنده قدت اکتشاف بالای الگوریتم است. الگوریتم توانسته در چندین اجرا، ترکیب هایی از تخصیص سلاح را پیدا کند که منجر به نابودی حداکثری موج حمله دشمن شده است. در حالی که سایر روش ها در مقادیر متوسط همگرا شده‌اند.

در بررسی جنبه دفاعی سناریو ۲(جدول ۳۷) روش مقاله (با میانگین خسارت ۱۳۸/۱) عملکرد برتر را نشان می‌دهد و نسبت به روش های دیگر خسارت کمتری به دارایی‌های خودی وارد کرده است. این برتری ناشی از تخصیص هوشمندانه سلاح ها برای دفع تهدیدات اولویت دار است. انحراف معیار پایین تر روش مقاله پایداری بیشتری نسبت به روش های دیگر دارد، که نشان دهنده اجتناب از بهینه‌های محلی و تولید نتایج بهینه پایدار است. درمقابل، روش تصادفی نوسان بیشتری دارد و پایداری‌اش ضعیف است.

در بررسی جنبه تهاجمی سناریو ۲(جدول ۳۸) روش مقاله (با میانگین خسارت۲٦٦/٤) برتری خود را اثبات می‌کند. و نسبت به روش‌های **DPSO** و تصادفی آسیب بیشتری به دشمن وارد کرده است. این اختلاف از توانایی الگوریتم در کشف ترکیب‌های بهینه تخصیص سلاح برای نابودی حداکثر موج حمله ناشی می‌شود. انحراف معیارت بالاتر روش مقاله(۸۲/۲۱۵) نقطه قوت است و قدرت اکتشاف بالای آن را نشان می‌دهد، در حالی که روش های دیگردر مقادیر متوسط همگرا شده‌اند و نوسان کمتری دارند، اما به نتایج برتری نمی‌رسند.

۲.۲. نتیجه گیری

در نبردهای نوین، فرماندهان با چالش‌های پیچیده‌ای روبرو هستند که نیازمند تصمیم‌گیری سریع و بهینه بر اساس شرایط پویای میدان نبرد، محدویت‌های منابع، وتهدیدات چند لایه است. پویایی میدان نبرد، از جمله تغییرات لحظه‌ای موقعیت‌ها و وابستگی نتایج هر مرحله به مراحل قبلی، تصمیم‌گیری را دشوار می‌سازد و می‌تواند منجر به خطای استراتژیک شود. درچنین شرایطی، سیستم های هوشمند تصمیم‌گیری، مانند مدل‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی، نقش حیاتی درتسهیل فرایند تصمیم‌گیری و افزایش احتمال پیروزی ایفا می‌کنند.

در این پژوهش، روشی نوین برای حل مسئله تخصیص سلاح به هدف پویا(**DWTA**) با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات(**PSO**) ارائه شد. این روش، با تمرکز بر تخصیص بهینه پلتفرم‌های سلاح به تهدیدات، نه تنها خسارت به دشمن را بیشنیه می‌کند، بلکه از دارایی‌های غیر تسلیحاتی و پلتفرم های سلاح خودی در برابر آسیب‌ها محافظت می‌نماید. سناریوی پیشنهادی، که نزدیک به واقعیت میدان نبرد طراحی شده، شامل موج های حمله چندگانه، درنظر گرفتن دارایی‌های با ارزش، و احتمال غیرعملیاتی شدن پلتفرم های سلاح حتی با خسارت جزئی است. ارزیابی روش بر روی دو سناریوی متفاوت نشان داد که عملکرد آن در کاهش میانگین خسارات به نیروهای خودی و افزایش خسارات به تهدیدات برتر از روش **DPSO** و تخصیص تصادفی است. نوآوری‌های کلیدی این کار شامل ادغام دارایی‌های غیرتسلیحاتی در مدل، حل مسئله در ابعاد بزرگ با **PSO**، شبیه سازی سناریوهای واقع گرایانه است که در پژوهش های پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

با وجود دستاوردهای فوق، این پژوهش محدودیت‌هایی نیز دارد. مدل ریاضی پیشنهادی، هرچند کارآمد، ساده سازی‌هایی مانند؛ عدم درنظر گرفتن حرکت پویای پلتفرم‌ها و تهدیدات، یا عوامل محیطی مانند لجستیک و ارتباطات، را به همراه دارد که ممکن است در شرایط واقعی میدان نبرد، دقت را کاهش دهد. همچنین، استفاده از **PSO** کلاسیک بدون بهبودهای پیشرفته(مانند ترکیب با تکنیک های یادگیری تقویتی یا کاهش ابعاد جستوجو) می‌تواند در مسائل با پیچیدگی بالا به گیر افتادن در بهینه‌های محلی منجر شود. برای پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود مدل با در نظر گرفتن حرکت دینامیک پلتفرم‌ها

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

وتهدیدات گسترش یابد، تا نزدیکی بیشتری به واقعیت میدان نبرد حاصل شود، همانند رویکردهای اخیر در جستوجوی اهداف متحرک با استفاده از **PSO** بهبود یافته. همچنین، ترکیب **PSO** با الگوریتم فراابتکاری دیگر(مانند الگوریتم ژنتیک یا مورچگان) یا رویکردهای مبتنی بر یادگیری تقویتی(مانند **Q-Learning**) میتواند کارایی در حل مسائل پویا افزایش دهد، به ویژه با الهام از مدل‌های هیبریدی برای **DWTA** چند هدفه.

بررسی های جنبه **Real-Time** با استفاده تکنیک‌های پردازش موازی، تحلیل حساسیت پارامترها برای بهینه‌سازی در سناریو های نظامی واقعی، ومقایسه با روشهای مدرن‌تر مانند الگوریتم های مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری عمیق برای تخصیص پویا، از جمله پیشنهادهای عملی برای توسعه این حوزه است. این پیشرفت‌ها میتوانند به سوی سیستم‌های فرماندهی و کنترل هوشمندتر و مقاوم‌تر در برابر عدم قطعیت‌ها هدایت شوند.

۳. مراجع

[۱] A. S. Manne, (۱۹۵۸), "A target-assignment problem," *Oper. Res.*, vol. ٦, no. ۳, pp. ۳٤٦–۳۵۱.

[۲] E. Sonuc, B. Sen, and S. Bayir, (۲۰۱۷), "A parallel simulated annealing algorithm for weapon-target assignment problem," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. ۸, no. ٤, pp. ۸۷–۹۲.

[۳] Z. R. Bogdanowicz and K. Patel, (۲۰۱٤), "Quick collateral damage estimation based on weapons assigned to targets," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst.*, vol. ٤۵, no. ۵, pp. ۷٦۲–۷٦۹.

[٤] G. G. denBroeder Jr, R. E. Ellison, and L. Emerling, (۱۹۵۹), "On optimum target assignments," *Oper. Res.*, vol. ۷, no. ۳, pp. ۳۲۲–۳۲٦.

[۵] R. M. Soland, (۱۹۸۷), "Optimal terminal defense tactics when several sequential engagements are possible," *Oper. Res.*, vol. ۳۵, no. ٤, pp. ۵۳۷–۵٤۲.

[٦] A. G. Gad, (۲۰۲۲), "Particle swarm optimization algorithm and its applications: a systematic review," *Arch. Comput. Methods Eng.*, vol. ۲۹, no. ۵, pp. ۲۵۳۱–۲۵٦۱.

[۷] T. M. Shami, A. A. El-Saleh, M. Alswaitti, Q. Al-Tashi, M. A. Summakieh, and S. Mirjalili, (۲۰۲۲), "Particle swarm optimization: A comprehensive survey," *IEEE Access*, vol. ۱۰, pp. ۱۰۰۳۱–۱۰۰٦۱.

[۸] R. Eberhart and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory, (۱۹۹۵)," in *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, IEEE, pp. ۳۹–٤۳.

[۹] Q. Kang and H. He, (۲۰۱۱), "A novel discrete particle swarm optimization algorithm for meta-task assignment in heterogeneous computing systems," *Microprocess. Microsyst.*, vol. ۳۵, no. ۱, pp. ۱۰–۱۷.

[۱۰] A. G. Kline, D. K. Ahner, and B. J. Lunday, (۲۰۱۹), "Real-time heuristic algorithms for the static weapon target assignment problem," *J. Heuristics*, vol. ۲۵, pp. ۳۷۷–۳۹۷.

[۱۱] Y. Zhou, X. Li, Y. Zhu, and W. Wang, (۲۰۱٦), "A discrete particle swarm optimization algorithm applied in constrained static weapon-target assignment problem," in *12th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, IEEE, pp. ۳۱۱۸–۳۱۲۳.

[۱۲] C.-M. Lai and T.-H. Wu, "Simplified swarm optimization with initialization scheme for (۲۰۱۹), dynamic weapon–target assignment problem," *Appl. Soft Comput.*, vol. ۸۲, p. ۱۰۵۵٤۲.

[۱۳] L. Kong, J. Wang, and P. Zhao, (۲۰۲۱), "Solving the dynamic weapon target assignment problem by an improved multiobjective particle swarm optimization algorithm," *Appl. Sci.*, vol. ۱۱, no. ۱۹, p. ۹۲۵٤.

[۱٤] K. Zhang, D. Zhou, Z. Yang, Y. Zhao, and W. Kong, (۲۰۲۰), "Efficient decision approaches for asset-based dynamic weapon target assignment by a receding horizon and marginal return heuristic," *Electronics*, vol. ۹, no. ۹, p. ۱۵۱۱.

[۱۵] C. Liu *et al.*, (۲۰۲۳), "A time-driven dynamic weapon target assignment method," *IEEE Access*, vol. ۱۱, pp. ۱۲۹٦۲۳–۱۲۹٦۳۹.

[۱٦] C. Li, B. Xin, Y. He, D. Wang, and Y. Li, (۲۰۲۳), "Dynamic weapon target assignment based on deep q network," presented at the ۲۰۲۳ ٤۲nd

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]

Chinese Control Conference (CCC), IEEE, pp. ۱۷۷۳–۱۷۷۸.

[۱۷] X. Li, D. Zhou, Q. Pan, Y. Tang, and J. Huang, (۲۰۱۸), "Weapon-target assignment problem by multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition," *Complexity*.

[۱۸] L. Hu, G. Yi, C. Huang, Y. Nan, and Z. Xu, (۲۰۲۰), "Research on dynamic weapon target assignment based on cross-entropy," *Math. Probl. Eng.*, pp. ۱–۱۳.

[۱۹] C.-M. Lai, W.-C. Yeh, and Y.-C. Huang, (۲۰۱۷), "Entropic simplified swarm optimization for the task assignment problem," *Appl. Soft Comput.*, vol. ۵۸, pp. ۱۱۵–۱۲۷.

[۲۰] W.-C. Yeh, C.-M. Lai, and K.-H. Chang, (۲۰۱۶), "A novel hybrid clustering approach based on K-harmonic means using robust design," *Neurocomputing*, vol. ۱۷۳, pp. ۱۷۲۰–۱۷۳۲.

[Downloaded from ic4i-journal.ir on 2026-11-22]