

طراحی بازی جنگ پدافند لایه به لایه در برابر مهاجم در سطح عملیاتی محدود مبتنی بر نظریه بازی

احمد لطفی^۱

چکیده

در این تحقیق یک سناریو برای انجام بازی جنگ بین دو تیم مهاجم و مدافع طراحی شده است، که در آن تیم مدافع مأموریت دفاع در قالب پدافند لایه‌ای و تیم مهاجم مأموریت نفوذ به لایه‌های پدافندی و رسیدن به هدف تعیین شده در پشت لایه‌های پدافندی را دارد. تیم مدافع برای انجام مأموریت، یگان‌های خود را در لایه‌های پدافندی گسترش داده است. هدف اصلی این تحقیق ارائه یک مدل بازی جنگ بین دو تیم مدافع و مهاجم مبتنی بر نظریه بازی می‌باشد. ابتدا بازیکنان استراتژیهای خود را تعیین و بر اساس استراتژی‌های خود، ماتریس هزینه - سود خود را تکمیل می‌کنند. در ادامه بر اساس اطلاعات بدست آمده از بازیگران، برای مدل‌سازی بازی بین مدافع و مهاجم از بازی استکلبرگ استفاده شده است. برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده در تحقیق، یک سناریو که در آن تیم مدافع برای انجام پدافند لایه‌ای با ۳ لایه که یگانهای خود را در لایه‌های مختلف گسترش داده است، در نظر گرفته شده است. همچنین تیم مهاجم برای رسیدن به هدف در پشت لایه‌های پدافندی، اقدام به تعیین استراتژی‌های تهاجمی خود می‌نماید. توابع مطلوبیت هر کدام از بازیگران محاسبه گردید. با توجه به نتایج بدست آمده از ماتریس هزینه - سود برای مدافع و مهاجم، می‌توان نتیجه‌گیری کرد، مدل ارائه شده می‌تواند یک روش مطلوب جهت شبیه‌سازی بازی جنگ بین دو تیم مدافع و مهاجم با اطلاعات متقارن باشند.

کلمات کلیدی: بازی جنگ، نظریه بازی، پدافند لایه‌ای.

^۱ عضو هیئت علمی گروه ریاضی دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران. Ahdlotfi64@gmail.com

مقدمه و مبانی نظری تحقیق

بیش از هزار سال است که مردم از بازیها برای تجزیه و تحلیل مشکلات و توسعه راهحلها استفاده می‌کنند. در این بین، استفاده از بازی جنگ به منظور شبیه‌سازی استراتژی‌های جنگی با هدف برتری یافتن در میدان جنگ بسیار مورد توجه و استفاده قرار گرفته است (ماسون و همکاران، ۲۰۱۸). بطور کلی بازی‌های جنگ فرستی برای آزمایش فرضیه‌ها، ارائه راه‌های جایگزین و حل مشکلات استراتژی‌های در نظر گرفته شده، فراهم می‌کنند (ماسون و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین فرصتهایی را برای درک و وضعیت‌های احتمالی آینده و توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری سازگار با آن و وضعیت‌ها را ارائه می‌دهند (مارشال، ۲۰۰۹). به طور کلی، یک بازی جنگ، مدل و یا شبیه‌سازی از میدان نبرد است که در آن اعمال، رویه‌ها، پروتکل‌ها و نیز استراتژی‌های نیروهای نظامی پیاده‌سازی شده‌اند و با استفاده از آن می‌توان تخمینی از رویه جنگ را بدست آورد (پرلا، ۱۹۹۰). در ادامه برای شناخت بهتر بازی جنگ، به بیان یک تاریخچه مختصری از بازی جنگ پرداخته می‌شود.

تاریخچه بازی جنگ را می‌توان در گستره تمدن بشری جستجو کرد. درک بازی‌های راهبردی فکری که همان اولین نسل از بازی‌های جنگی بودند، چندان دشوار نیست، زیرا همانگونه که یک شکارچی با تیر و کمان اسباب بازی به پسر خود شکار کردن را یاد می‌داد، پادشاهان نیز به نوع کاملاً متفاوتی از اسباب بازی برای کمک به فرزند خود برای فریب فرزند طرف مقابل و مجاور نیاز بود (درباره بازی جنگ، ۲۰۱۷). چتورانگایی از اولین بازیهای جنگی مربوط به هند بود که در سال ۵۵۰ میلادی ظهور پیدا کرده بود که یک بازی چهار نفره با مهرهایی که به وضوح فیل، سواره نظام، ارابه و پیاده نظام را نشان می‌داد که طولی نکشید به ایران باستان گسترش یافت. در ادامه و در سده ۱۴۰۰ چتورانگا به بازی فعلی شطرنج تبدیل شد. پس از این بازی در اروپا مدل‌های دیگری که یک شبیه‌سازی از بازی جنگی بودند، توسعه پیدا کردند که بیشتر این بازیها از نوع بازی فکری رومیزی بودند. در سال ۱۸۱۱ لئوپارد فون رایسویتز، عضو شورای جنگ پروس (آلمان فعلی)، نوعی از بازی جنگی را اختراع کرد که بالاخره الگوهای شبکه‌ای و حرکت نوبتی شطرنج را کنار می‌گذاشت. این بازی نسل جدید را می‌توان به معنای واقعی کلمه «شبیه‌سازی» نامید که با مقیاس یکسان فضا و زمان واقعی را شبیه‌سازی می‌کرد. در این بازی ابتدا میزی با مدل سه بعدی از زمین واقعی ساخت. سپس برای نمایش واحدها، بلوک‌هایی را آماده کرد که رنگ‌های نظامی هنگ را داشتند و فضایی را اشغال می‌کردند که مطابق با جبهه‌های واقعی یگان‌ها در مقیاس میز بود. در این بازی هر طرف دستورات را صادر و او میز را به روزرسانی می‌کرد. همچنین برای تعیین تلفات، جدول‌های پیچیده‌ای آماده شده بود که مقیاس فرسایش احتمالی را بر اساس محدوده، اراضی و سایر عوامل نشان می‌داد. تلفات دقیق با انداختن تاس تعیین می‌شد تا موارد عدم قطعیت در میدان نبرد لحاظ گردد. در سال ۱۸۲۴ جورج فون اریسویتز برای آسانتر کردن این بازی، به جای میز سرامیکی با زمین سه بعدی، نقشه توپوگرافی کاغذی را پیشنهاد داد. به طور کلی می‌توان گفت در یک سیر تاریخی بازیهای جنگی در دهه ۱۸۲۰ در سوئد، در ۱۸۳۶ در هلند، در ۱۸۶۶ در اتریش و مجارستان، در ۱۸۷۲ الی ۱۹۰۵ در بریتانیا، در ۱۸۷۳ در ایتالیا، در ۱۸۲۹ الی ۱۸۸۹ در فرانسه، در ۱۸۲۰ الی ۱۹۰۵ در روسیه و در ادامه در یک گسترش ثانویه در کشورهای ژاپن، ترکیه و امریکای لاتین گسترش یافت. در سال ۱۷۷۶ الی ۱۹۱۲ ارتش امریکا که بازیهای جنگی را لحاظ کرد و نیروی دریایی امریکا اولین سازمانی بود که آن را به

^۱Mason

^۲Perla

Chaturang

شکل رسمی اتخاذ نمود. در این سالها مک کارتی لیتل تلاش‌های زیادی نمود که از وی به عنوان پدر بازی‌های جنگی دریایی در امریکا نام برده می‌شود. همچنین در ادامه گسترش بازی‌های جنگی تقریباً در تمام کشورها مورد توجه و استفاده قرار گرفت. در نیروهای مسلح کشور ما نیز بازیهای جنگی در انواع شکل‌های خود مورد توجه و کاربرد است قرار گرفته است.

در دهه‌های گذشته، استفاده از مدل‌های ریاضی توانست تحولی را در قدرت بازی‌های جنگ ایجاد کند و قابلیت استفاده در شرایط پیچیده را برای این مدل‌ها فراهم کند (تورنیتسا و همکاران، ۲۰۲۱). در این تحقیق، بازی صورت گرفته بین دو تیم با استفاده از نظریه بازی مدل‌بندی خواهد شد. بطوری‌که تیم آبی در موضع دفاعی و پدافندی قرار گرفته و تیم قرمز در صدد حمله به مواضع این تیم بر می‌آید. قبل از ورود به بیان مسئله، ابتدا مفاهیم مورد استفاده در تحقیق بیان می‌شود:

- ۱- حملات: برای فرمول‌سازی و گزینش حملات، حداقل یکی از دو سناریوی زیر در نظر گرفته خواهد شد:
محتمل‌ترین: تهدیدات اجرا شده بر علیه مواضع دفاعی
خطرناک‌ترین: حملات با احتمال وقوع کم ولی خسارت بالا
- ۲- تیم آبی: سازماندهی نیروهای درگیر / مدافع در قالب تیم یا تیم‌هایی که مسئولیت برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی اقدامات دفاعی را بر عهده دارند.
- ۳- تیم سفید (کنترل‌کننده): بکارگیری نیروی انسانی با تجربه در زمینه بازی جنگ که توانایی ثبت و استخراج اطلاعات مهم بازی جنگ را داشته و بتواند بازی را تسهیل و راهنمایی کرده و خروجی‌های انفرادی افراد درگیر را تحلیل کند. معمولاً این گروه در نقش یک مشاور عمل می‌کند.
- ۴- تیم قرمز: بکارگیری و یا تشکیل یک گروه از افراد که می‌توانند نقش مهاجم را ایفا کنند.
- ۵- بازی: تجمیع همه تیم‌ها و آغاز پیاده‌سازی سناریو، اجازه حمله از طرف تیم قرمز، دفع از تیم آبی، اعلام و به روزرسانی وضعیت موجود به وسیله تیم سفید و انجام اقدامات تکمیلی برای هدایت بازی در مسیر درست.
- ۶- نتیجه نهایی: تجزیه و تحلیل مشاهدات و نتایج بازی و تهیه پیشنهادات.
- ۷- اهداف بازی:

- آموزش کارکنان
- تشخیص ریسک‌های ناشناخته
- مشخص نمودن نقش‌ها و وظایف مسئولین پاسخگو
- شناسایی خلاها در آمادگی سازمان و طرح‌های پاسخگو (کالبرت و همکاران، ۲۰۱۷)

استفاده از نظریه بازی در مدل‌سازی بازی جنگ توسط تورنیتسا یافته است. پس از انتشار کتاب نظریه بازی و رفتار اقتصادی توسط وان نیومن و مورگنسترن (Neumann & Morgenstern, 1994)، نظریه بازی به سرعت رشد یافت و کاربردهای وسیعی در علوم مختلف پیدا کرد. سرهنگ الیور هایوود (Haywood, 1989) در مقاله خود اهمیت نظریه بازی را در تصمیم‌گیری فرماندهی نشان داد و بسیاری از نبردهای جنگ جهانی دوم را از دید نظریه بازی بررسی کرد

ونشان داد که تصمیم دکتترین مطابق با نتایج حاصل از نظریه بازی است. در دهه‌ی اخیر نظریه بازی به طور گسترده در مسائل نظامی و امنیتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Tambe, 2012). سناریوی دزد و پلیس (Gatti, 2008)، امنیت شبکه‌های کامپیوتری (Lye & Wing, 2005)، سیستم دفاع موشکی ضد بالستیک (Brown et al, 2005) و تروریسم (Sandler, 2003) از جمله این کاربردها هستند.

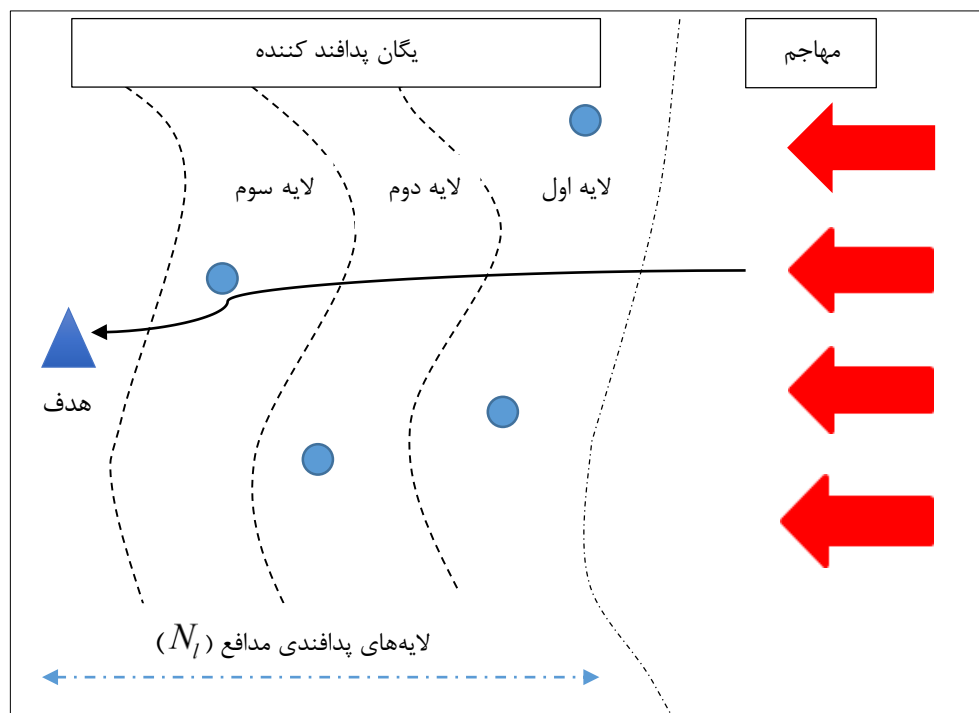
سناریوی بازی و مسئله تحقیق

در این تحقیق یک سناریوی ترتیب داده خواهد شد که در آن تیم آبی به عنوان یگان مدافع و تیم قرمز به عنوان یگان مهاجم در بازی شرکت خواهند نمود. یگان مدافع متشکل از تجهیزات، سربازان وظیفه و کارکنان شاغل در تیپ (افسران ارشد، افسران جز و درجه داران و کارمندان) که بصورت یگان‌های کوچکتر در یک پهنه جغرافیایی مشخص گسترش پیدا نموده است. با توجه به شکل ۱، یگان مدافع در قالب چندین یگان رده پایین‌تر در لایه‌های پدافندی گسترش پیدا کرده‌اند. یگان مهاجم برای عبور از هر لایه باید با یگان مدافع مستقر در آن، درگیر شود و در صورت پیروزی بر یگان مستقر در آن لایه، به لایه بعدی نفوذ می‌کند. پس از ابلاغ شروع بازی و دستورات از رده بالا برای یگان مدافع، این یگان وظایف زیر را بر عهده خواهد داشت:

- پیش‌بینی کنش‌ها و واکنش‌های مهاجم: در این خصوص کنترل‌کننده بازی با داشتن اطلاعات کافی در خصوص کنش‌ها و واکنش‌های دشمن، محتمل‌ترین برنامه‌ریزی اقدامات دشمن و خطرناکترین برنامه‌ریزی اقدامات دشمن را به یگان مدافع توضیح می‌دهد (کات و همکاران، ۲۰۱۱).
 - تخمین درصد شکست یا پیروزی اقدامات خصمانه و دوستانه و شکست در جنگ.
 - برنامه‌ریزی و زمان‌بندی جزئیات عملیات (کات و همکاران، ۱۹۹۹).
- هدف بازی جنگ برای تیم آبی انتخاب تعدادی روش بوده که از نظر آنها سودمند می‌باشد. برای انجام این کار دو رویکرد عمده وجود دارد. یک رویکرد این است که محتمل‌ترین روش اقدام دشمن مورد توجه قرار بگیرد. به این معنی، روش اقدام تیم قرمز که تیم آبی آن را محتمل‌تر در نظر می‌گیرد، توسط تیم قرمز برای اقدام مورد نظر قرار گرفته است. ارزیابی موضوع ممکن است بر پایه دانش تیم آبی از اولویت‌های تیم قرمز منشأ گرفته باشد. البته ممکن است از دید تیم آبی محتمل‌ترین روش اقدام قرمز آن روشی باشد که در آن سمت تیم قرمز قوی‌ترین تجهیزات را دارد و بیشترین برتری را دارد. رویکرد دیگر ممکن است مورد توجه قراردادن خطرناک‌ترین یا خسارت‌بارترین راه کار قرمز باشد، راه کاری که باعث بیشترین خسارت به تیم آبی خواهد شد. اغلب محتمل‌ترین و خسارت‌بارترین راهکارهای قرمز با یکدیگر تفاوت ندارند. محتمل‌ترین و خسارت‌بارترین روش اقدام قرمز، آن است که معمولاً تیم آبی تلاش می‌کند یک راهکاری را انتخاب کند که به صورت مناسب در مقابل راه کارهای قرمز قابل اجرا باشد (کالبرت و همکاران، ۲۰۱۷).

^۱Kott et al

^۲Colbert et al



شکل ۱: گسترش مدافع و مهاجم در تحقیق مورد مطالعه

مدل ریاضی تحقیق

در این طرح، مهاجم مجموعه‌ای از استراتژی‌های N_a ، $\{S_{a,i}\} \in S_a$ را بوجود می‌آورد، که در آن S_a نشان‌دهنده فضای استراتژی‌های حمله است. استراتژی‌های مهاجم توسط نمایه i مشخص می‌شوند. همچنین مدافع مجموعه‌ای از استراتژی‌های N_d ، $\{S_{d,j}\} \in S_d$ را که فضای استراتژی دفاع و j اندیس استراتژی دفاع است، توسعه داده است. در مدل مورد مطالعه هم مدافع و هم مهاجم دانش کافی نسبت به سیستم دارند، بنابراین می‌توان گفت نسبت به هم تقارن اطلاعات دارند و می‌توان استراتژی‌های هر کدام را مشخص کرد. استراتژی‌های مدافع با انتخاب زیرگروه‌های مخصوص کاهش دفاع $\{M_{d,k}\} \in M_d$ که در آن M_d مجموعه‌ای از کاهش‌ها و K اندیس کاهش است، به انجام می‌رسد.

همانطوریکه در شکل ۱ نشان داده شده است، لایه‌هایی از N_l وجود دارد که مهاجم باید به آنها نفوذ کند که این لایه‌ها با اندیس l نشان داده شده است. هر استراتژی مهاجم و مدافع هزینه‌هایی در بردارد. هزینه مهاجم برای رسیدن به هدف خود در استراتژی حمله i و دفاع j ، با $C_{a,ij}$ و مدافع برای به کار بردن استراتژی دفاع خود متحمل هزینه $C_{d,ij}$ می‌شود.

در نهایت، با توجه به انتخاب استراتژی $\{i, j\}$ فرض می‌شود که مهاجم با احتمال $p_l(S_{a,i}, S_{d,j})$ به لایه l نفوذ خواهد کرد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، اگر مهاجم به تمام لایه‌های N_l نفوذ کند، به هدف T رسیده و سود b را کسب خواهد کرد.

بنابراین در مدل ریاضی نیز، سناریو طوری طراحی می‌شود که اگر مهاجم سود b را کسب کند، مدافع ارزشی معادل b را از دارایی‌هایش از دست خواهد داد.

مطلوبیت مورد انتظار U_a مهاجم و مدافع بستگی به سود b و احتمال کلی نفوذ به تمام لایه‌ها و هزینه‌های $\{C_{a,ij}\}$ دارد. بنابراین تابع مطلوبیت مهاجم عبارت است از:

$$u_a(s_{a,i}, s_{d,j}) = b \prod_{l=1}^{N_l} p_l(s_{a,i}, s_{d,j}) - C_a(s_{a,i}, s_{d,j}) \quad (۱)$$

یا

$$u_{a,ij} = bP_{ij}^T - C_{a,ij} \quad (۲)$$

به همین صورت تابع مطلوبیت مدافع عبارت است از:

$$u_d(s_{a,i}, s_{d,j}) = b \left[1 - \prod_{l=1}^{N_l} p_l(s_{a,i}, s_{d,j}) \right] - C_d(s_{a,i}, s_{d,j}) \quad (۳)$$

یا

$$u_{d,ij} = b(1 - P_{ij}^T) - C_{d,ij} \quad (۴)$$

چالشی که هر بازیکن با آن مواجه است انتخاب استراتژی S_a^* و S_d^* (برای مهاجم و مدافع) است. برای بازیکنان همواره تعدادی روش وجود دارد که مهاجم و مدافع ممکن است برای انتخاب استراتژی‌های خود یعنی S_a^* و S_d^* از آنها استفاده کنند. با انتخاب استراتژی S_a^* و S_d^* توسط بازیکنان، احتمال کلی نفوذ می‌تواند با فرمول زیر محاسبه شود:

$$P_T^* = \prod_{l=1}^{N_l} p_l(s_a^*, s_d^*) \quad (۵)$$

انتخاب استراتژی

در این تحقیق فرض بر این است که هزینه‌های مهاجم و مدافع و احتمال نفوذ مهاجم به لایه‌های پدافندی بصورت مشخص محاسبه گردیده است، ماتریس‌های $u_{a,ij}$ و $u_{d,ij}$ برای معین کردن استراتژی مورد استفاده توسط هر بازیکن مورد محاسبه و ارزیابی قرار خواهد گرفت.

معادله استراتژی خالص

ابتدا موردی بررسی می‌شود که در آن بازیکنان استراتژی واحدی را انتخاب می‌کنند (روش استراتژی خالص) و در حالتی دیگر مجموعه‌ای از چندین استراتژی را بر می‌گزینند.

مدلی که در بخش ۲،۱ آمده است یک مدل مناسب نیست و حالت تعادل نش برای S_a^* و S_d^* وجود نخواهد داشت. با این وجود تعداد استراتژی‌های مد نظر به قدری کم است که می‌توان به صورت دستی محاسبه نمود و به همین دلیل روش‌های دستی می‌تواند برای جستجوی نقطه اتکا محلی و یا معادله نش، مورد استفاده قرار گیرند. به این معنی که اگر در جستجوی هر استراتژی j دفاعی مورد نظر استراتژی‌های حمله مهاجم $\{i, j\}$ ترجیح داده شوند:

$$\{i_j\} = s_{a,i}^{\max,j} = \arg \max_{s_{d,j} \in S_d} u_a(s_{a,i}, s_{d,j}) \quad (۶)$$

و بر عکس در جست و جوی هر استراتژی i حمله برای استراتژی دفاعی مورد نظر مدافع $\{j, i\}$ باشد.

$$\{i, j\} = s_{d,i}^{\max} = \arg \max_{s_{d,j} \in S_d} u_d(s_{d,i}, s_{d,j}) \quad (۷)$$

و نقاط اتکا در ماتریس هزینه را بیابد، پس ممکن است یک یا چند معادله استراتژی بدست آید. اگر تنها یک معادله بدست آید، آن نقطه توازن در واقع تعریف معادله نش خواهد بود. معادلات استراتژی زمانی که ماتریس‌های هزینه کاملاً برای هر بازیگر ارائه شده، از سمت بازیکنان ترجیح داده می‌شوند و هر دو بازیکن بصورت هم زمان استراتژی خود را انتخاب کنند.

معادله قوی استراتژی استکلبرگ

روش معمول برای یافتن راه حل در nonzero-sum games، فرض مسئله بر این است که یکی از بازیکنان شانس این را دارد که استراتژی خود را اول انتخاب کند که این بازیکن راه حل استراتژی ترکیبی را بر می‌گزیند و بازیکن بعدی راه حل استراتژی خالص را انتخاب کند. معادله استراتژی در این سناریو به عنوان معادله استکلبرگ قوی شناخته می‌شود (لتمن و همکاران^۱، ۲۰۱۰، ون و همکاران^۲، ۲۰۱۰).

بازی برابر محتمل‌ترین استراتژی دشمن

امکان دارد انتخاب استراتژی بازیکن با تخمین اولین استراتژی محتمل دشمن بر اساس هرگونه اطلاعات در دسترس از دشمن، صورت پذیرد. پس از آن بازیکن استراتژی خود را بر اساس میزان موفقیتی که علیه محتمل‌ترین استراتژی دشمن خواهد داشت، انتخاب می‌کند.

بازی برابر خطرناک‌ترین استراتژی دشمن

همانطور که در بخش ۳ توضیح داده شد، ممکن است بازیکن با اولین ارزیابی از خطرناک‌ترین استراتژی، استراتژی خود را انتخاب کند (استراتژی که در آن دشمن شدیدترین خسارات و تلفات را به دشمن وارد خواهد کرد). پس از آن بازیکن استراتژی خود را بر اساس میزان موفقیتی که علیه خطرناک‌ترین استراتژی دشمن خواهد داشت، انتخاب می‌کند.

مراحل انجام تحقیق

مراحل انجام این تحقیق به صورت زیر خلاصه می‌شود:

گام ۱: جمع آوری اطلاعات درباره‌ی $C_a(s_{a,i}, s_{d,j})$, $C_d(s_{a,i}, s_{d,j})$, $p_l(s_{a,i}, s_{d,j})$, S_a , S_d از تجربیات و منابع آزمایشی.

پس از جمع‌آوری و بررسی اطلاعات مورد نظر، افسران تیم آبی یک استراتژی دفاعی اولیه $S_{d,1}^H$ را مطرح می‌کنند. استراتژی $S_{d,1}^H$ دسته‌ای از فعالیت‌ها و منابع دوره‌های زمانی و موقعیت‌های مکانی را در بر دارد. سپس تیم قرمز که نقش دشمن را دارد، استراتژی $S_{a,1}^H$ را ارائه می‌کند. با در نظر داشتن استراتژی $S_{d,1}^H$ تیم آبی یک استراتژی اصلاح

^۱Leitmann et al

^۲Von et al

شده $S_{d,2}^H$ مطرح می‌کند. در هر اقدام و برای هر فعالیت، تیم برنامه‌ریز از تجربه و راهنمایی‌های نظری برای تصمیم در مورد موفقیت و شکست اقدام مورد نظر و خسارات و تلفات هر دو طرف، بهره می‌گیرد. این تعاملات تا جایی ادامه پیدا خواهد کرد که بازی به تعادل برسد. یعنی تیم‌های قرمز و آبی دیگر نتوانند به ترتیب استراتژی‌های آفندی و پدافندی بهتری مطرح کنند و یا هر دو گروه تلاش‌های خود در حصول به چنین نقطه‌ای تعادلی با شکست مواجه شوند. چه به صورت مستقیم یا غیر مستقیم، این انتظار می‌رود که خسارات و تلفات کمتر از میزان بیشینه‌ی مجاز باشد. در فعالیت‌های انسانی بازی جنگ، اغلب ارزیابی کیفی ریسک توسط بازیکنان با تخمین میزان موفقیت هدف نظامی نبرد انجام می‌پذیرد (برای مثال تصاحب یک لشکر یا نابود کردن نیروهای دشمن). الگوهای نظریه بازی و استراتژی‌های گزینشی ابزاری تحلیلی برای تیم‌های قرمز و آبی فراهم می‌کنند تا در مورد استراتژی‌های و تصمیم‌گیری کنند. ماتریس‌های هزینه و نفوذ را می‌توان به عنوان ابزارهای عمومی برای بررسی تمام استراتژی‌ها استفاده کرد. البته تا زمانی که هیچ کدام از اهداف در لایه‌های مختلف توسط دشمن تصاحب نشده باشند و هزینه‌ها تغییر نمی‌کنند. گرچه چهارچوب ریاضی برای تعیین استراتژی جنگ در جایی که لایه‌ها بدست دشمن افتاده و هزینه‌ها باید به صورت دینامیک محاسبه شوند، پیشنهاد نمی‌شوند. اما؛ این چارچوبی با تکیه بر رویه‌های عمومی قابل طراحی است (کات و همکاران، ۲۰۱۱).

گام ۲: محاسبه‌ی توابع هزینه / کارایی (ماتریس‌های هزینه) و ماتریس‌های احتمالات نفوذ با استفاده از معادله ۱، ۲ و ۳.

گام ۳: به کارگیری ماتریس‌های هزینه برای تعیین بهترین استراتژی (به بخش ۵ مراجعه کنید) دشوارترین گام ممکن است گام اول باشد.

مراحل پیاده‌سازی بازی جنگ

قبل از شروع بازی جنگ، علاوه بر بررسی بسته‌ی ویژه اطلاعاتی، هر دو گروه اجازه‌ی پرسش در حوزه‌ی مسائل فنی و تخصصی از مسئولان ذی‌ربط را دارند. پاسخ‌ها در اختیار هر دو گروه قرار می‌گیرد. در طول تمرین، تیم‌های قرمز و آبی جداگانه ملاقات‌هایی داشته تا مسائل فنی و راهبردی را نیز مورد بررسی قرار دهند. هر گروه استراتژی‌های خود را ثبت می‌کند و بعد از آن اطلاعات بدست آمده را با هم به اشتراک می‌گذارند. تیم‌های قرمز استراتژی حمله را تیم‌های آبی به اشتراک می‌گذارند. ضدحمله‌ها مورد بحث قرار می‌گیرند.

تشریح متغیرهای نظریه‌ی بازی

در این قسمت، ما نشان خواهیم داد که چگونه محاسبات نظریه بازی مستخرج از داده‌های اطلاعاتی تیم‌های قرمز و آبی را می‌توان بررسی کرد.

استراتژی‌های حمله و دفاع

تیم قرمز ۵ استراتژی ارائه کرده که در

جدول ۱ لیست شده‌اند.

جدول ۱: استراتژی‌های تهاجمی تیم قرمز

شرح استراتژی حمله	اندیس استراتژی حمله
حمله مستقیم به لایه ۱	۱
جاسوسی و اقدام مستقیم	۲
نفوذ از فضاهای خالی مرزی	۳
حمله به تجهیزات حیاتی یگانها در لایه‌های مختلف	۴

تیم آبی ۱۱ استراتژی تدافعی ویژه برای مواجهه با استراتژی‌های تهاجمی ارائه کرده است. از آنجایی که موفقیت تمامی این استراتژی‌های دفاعی امر محتملی نیست، از میان آن‌ها ۴ استراتژی ویژه گزینش شده است. این ۴ استراتژی به صورت میانگین سطح امنیت مناسب و هزینه‌ی قابل قبولی را ارائه می‌کنند. استراتژی پنجم تحت عنوان عدم اقدام نیز اضافه می‌شود که با حرف $j = 0$ ذکر خواهد شد. هزینه‌ی استراتژی‌های دفاعی به وسیله‌ی تیم آبی تخمین زده می‌شود.

محاسبات مهاجم

۴ لایه‌ی تهاجمی توسط گروه قرمز تعیین شده است. لایه‌های تهاجمی با حرف $\{I\}$ نشان داده شده‌اند و جزئیات آن‌ها در جدول شماره ۲ قرار دارند.

جدول ۲: لایه‌های نفوذ برای حمله

توضیحات سطح	اندیس استراتژی حمله
نفوذ از فضای خالی لایه ۱ به لایه ۲	۱
نفوذ از فضای خالی لایه ۱ و لایه ۲ به لایه ۳	۲
نفوذ مستقیم از طریق هلی برن به لایه ۳	۳
بمباران تجهیزات حیاتی هدف	۴

هزینه‌های حمله برای هر استراتژی را گروه قرمز تخمین می‌زند. هزینه‌ها به طور کلی به عنوان تابعی از برنامه دفاعی گروه آبی در نظر گرفته می‌شوند. این مدل با چهارچوب محاسباتی متفاوت است که در آن نیاز است به هزینه‌ها به عنوان تابعی از $\{i, j\}$ نگاه شود، در نتیجه باید ورودی تیم قرمز به درستی تفسیر شود. بر اساس این که هزینه‌ها به استراتژی مدافع بستگی دارد یا خیر هزینه‌های مهاجم از آن جدا می‌شود. هزینه‌های ثابت در جدول ۳ ثبت شده‌اند که فارغ از هزینه‌های دفاعی هستند. هزینه‌های متغیر در جدول ۴ آمده که به هزینه‌های دفاع وابسته است.

جدول ۳: هزینه‌های ثابت مهاجم و احتمال موفقیت حملات

احتمال موفقیت	هزینه	اندیس لایه $\{I\}$	تلاش‌های مهاجم	اندیس حمله $\{i\}$
۰,۱	۶۵۰۰۰	۱	تلاش برای حمله به یگانهای مستقر در لایه ۱	۱
۰,۱	۳۲۰۰۰۰	۲	تلاش برای حمله به یگانهای مستقر در لایه ۱ و ۲	۲
۰,۱	۵۰۰۰۰۰	۳	تلاش برای حمله به یگانهای مستقر در لایه ۱ و ۲ و ۳	۳
۰,۵	۶۵۰۰۰	۳	تلاش برای جاسوسی و اقدامات ایزدایی	۴

به‌منظور محاسبه‌ی الگوی نظری بازی، ماتریس هزینه‌های ثابت و میزان احتمال نفوذ برای استراتژی‌های مهاجم و مدافع را با استفاده از داده‌های ارائه شده توسط گروه قرمز از جدول شماره ۳ نوشته می‌شود.

جدول ۴: هزینه‌های متغیر مهاجم

احتمال موفقیت	هزینه	اندیس لایه $\{I\}$	اندیس پدافند $\{m\}$	اندیس حمله $\{i\}$
۰,۷	۴۲۰۰۰	۱	۱	۱
۰,۶	۱۲۰۰۰	۲	۲	
۰,۵	۲۳۰۰۰	۳	۳	
۰,۹	۱۲۰۰۰	۱	۲	۲
۰,۸	۲۰۰۰۰	۲	۳	۳
۰,۸	۲۳۰۰۰	۳	۳	۴

سپس، با استفاده از داده‌های ارائه شده گروه قرمز (قابل مشاهده در جدول شماره ۴) برای نوشتن ماتریس‌های هزینه‌های متغیر مهاجم و احتمالات نفوذ برای هر حمله استفاده می‌شود که در آن $C_{a,i,j} = C_{a,i,j}^0 + C_{a,i,j}^D$.

$$C_{a,i,j} = C_{a,i,j}^0 + C_{a,i,j}^D = \begin{bmatrix} 243 & 272 & 272 & 272 \\ 35 & 39 & 39 & 40 \\ 320 & 324 & 324 & 324 \\ 40 & 40 & 40 & 40 \end{bmatrix} \quad (۸)$$

ماتریس احتمالات نفوذ نیز با استفاده از اطلاعات موجود در جدول شماره ۴ و با تشکیل ماتریس احتمالات نفوذ برای هر حمله و هر استراتژی دفاعی انجام می‌شود:

$$p_{i,m}^D = \begin{bmatrix} 1 & 0.7 & 0.63 & 0.63 \\ 1 & 0.5 & 0.08 & 0.02 \\ 1 & 0 & 0.22 & 0 \\ 1 & 0.25 & 0.5 & 0.22 \end{bmatrix} \quad (۹)$$

هر داده ورودی از طریق ضرب شدن احتمالات بر لایه‌های $\{l\}$ برای هر ترکیب $\{i, m\}$ محاسبه می‌شود. به این ترتیب پویایی احتمالات موفقیت برای تمامی لایه‌ها $\{l\}$ به عنوان یک تابع از استراتژی‌های حمله و دفاع $\{i, j\}$ به دست می‌آیند. ماتریس کلی احتمالات نیز با محاسبه‌ی تک تک اجزاء با ماتریس‌های احتمال ثابتشان نوشته می‌شود.

$$p_{i,m}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0.7 & 0.06 & 0.07 \\ 1 & 0.5 & 0.08 & 0.11 \\ 1 & 0 & 0 & 0.05 \\ 0.5 & 0.125 & 0.11 & 0.25 \end{bmatrix} \quad (10)$$

هزینه‌های اجرایی مهاجم $u_{a,ij}$ به وسیله‌ی جدول ۴ محاسبه می‌شود. برای بازی جنگ رومیزی این تحقیق، سود $b = 5000$ واحد محاسبه می‌شود:

جدول ۵: استراتژی‌های دفاعی مدافع

دفاع			استراتژی دفاعی				
اندیس پدافند $\{m\}$	اقدام پدافندی	هزینه	$\{j=0\}$	$\{j=1\}$	$\{j=2\}$	$\{j=3\}$	$\{j=4\}$
۱		۱۰۰۰۰	...	×	×	×	×
۲		۱۴۰۰۰	...	...	×	×	×
۳		۸۰۰۰	...	...	...	×	×
۴		۷۰۰۰	...	×	×	×	×
۵		۴۰۰۰۰	...	...	...	...	×
۶		۴۰۰۰۰	...	...	...	×	×
۷		۱۲۰۰۰	...	×	×	×	×
۸		۲۱۰۰۰	...	...	...	...	×
۹		۴۰۰۰	...	...	×	×	×
۱۰		۵۰۰۰	...	...	...	×	×
۱۱		۶۰۰۰	...	...	×	×	×

$$u_{a,i,j} = bp_{i,j}^T - C_{a,i,j} = \begin{bmatrix} 756 & 428 & 358 & -193 \\ 935 & 431 & 11 & -49 \\ 680 & -320 & -320 & -320 \\ 465 & 86 & 73 & 73 \end{bmatrix} \quad (11)$$

محاسبات مدافع

برای انجام محاسبات نظری بازی، در ابتدا یک ماتریس برگردان M_{jm} میان استراتژی‌های دفاعی بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط گروه آبی که در جدول ۵ نیز قابل مشاهده است، نوشته می‌شود.

$$M_{j,m} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (۱۲)$$

بردار مربوط به هزینه‌های مدافع به وسیله‌ی استراتژی‌های دفاعی (m) نیز ترسیم می‌شود. (به جدول شماره ۵ رجوع شود) از ماتریس برگردان M_{jm} برای محاسبه‌ی هزینه‌های استراتژی‌های دفاعی به‌عنوان تابع مدافع j استفاده می‌شود:

$$C_{d,j} = M_{jm} . C_{d,m} = [0 \quad 65 \quad 144 \quad 182 \quad 264], \quad j = 0, 1, \dots, 4 \quad (۱۳)$$

باینکه هزینه‌های دفاعی وابسته به استراتژی‌های تهاجمی نیستند، ماتریس هزینه‌های مدافع بر روی $\{i, j\}$ به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$C_{d,i,j} = \begin{bmatrix} 243 & 272 & 272 & 272 \\ 35 & 39 & 39 & 40 \\ 320 & 324 & 324 & 324 \\ 40 & 40 & 40 & 40 \end{bmatrix} \quad (۱۴)$$

و از این ماتریس برای محاسبه‌ی میزان کارایی مدافع استفاده می‌شود. در این بخش، فرض می‌شود که مدافع تلاش می‌کند تا دارایی خود تحت عنوان b را که ممکن است به تسخیر دشمن درآید، به‌عنوان یک امتیاز نزد خود حفظ کند. احتمال این که این دارایی‌ها تسخیر نشوند به این شکل نشان داده می‌شود $p = 1 - p_{ij}^T$. سپس می‌توان هزینه‌های اجرایی مدافع را به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$u_{d,i,j} = b(1 - p_{i,j}^T) - C_{d,i,j} = \begin{bmatrix} 243 & 272 & 272 & 272 \\ 35 & 39 & 39 & 40 \\ 320 & 324 & 324 & 324 \\ 40 & 40 & 40 & 40 \end{bmatrix} \quad (۱۵)$$

تجزیه و تحلیل نتایج

با توجه به اینکه در این تحقیق فرض بر این است که مدافع و مهاجم در خصوص تمام استراتژی‌ها و هزینه‌های همدیگر آگاهی کامل دارند، لذا می‌توان ماتریس‌های احتمال سودمندی و نفوذ را محاسبه کنند که نتایج آن در جدول ۶ و جدول ۷ ارائه شده است.

الف) تابع مطلوبیت مورد انتظار مهاجم:

جدول ۶: ماتریس مطلوبیت مورد انتظار مهاجم

	$J=0$	$J=1$	$J=2$	$J=3$
$i=1$	756	428	358	358
$i=2$	935	431	11	-49
$i=3$	680	-324	-324	-324
$i=4$	465	86	73	73

(ب) تابع مطلوبیت مورد انتظار مدافع:

جدول ۷: ماتریس مطلوبیت مورد انتظار مدافع

	$J=0$	$J=1$	$J=2$	$J=3$
$i=1$	۰	۲۳۵	۲۲۶	۱۸۸
$i=2$	۰	۴۳۵	۷۷۶	۷۹۸
$i=3$	۰	۹۳۵	۸۵۶	۸۱۸
$i=4$	۵۰۰	۸۱۰	۷۴۳	۷۰۵

(ج) تعادل استراتژی خالص

اگر هر دو بازیکن استراتژی‌های خود را به‌طور هم‌زمان انتخاب کنند و هر کدام برای به حداکثر رساندن سود خود اقدام کنند و با توجه به شرایط ذکر شده در این تحقیق، منجر به یک جفت استراتژی منحصربه‌فرد شود، یک جفت استراتژی تعادلی وجود خواهد داشت. یعنی یک جفت استراتژی وجود دارد که برای هر دو بازیکن یک استراتژی ترجیحی با احتمال زیاد است. از نظر نظامی یک جفت استراتژی منحصربه‌فرد ممکن است به این معنی باشد که مدافع ترجیح دهد، در همان موقعیتی که مهاجم ترجیح می‌دهد حمله کند، دفاع کند. برای تمرین روی میز این تحقیق، استراتژی‌های ترجیحی در

جدول ۸ نشان داده شده است. این مقادیر به‌صورت دستی با شناسایی حداکثر ابزار هزینه مهاجم در ستون‌های جدول ۷ و حداکثر ابزار دفاع در ردیف‌های جدول ۸ یافت می‌شوند. استراتژی‌های مدافع ترجیحی با "A" و استراتژی‌های مهاجم ترجیحی با "D" مشخص شده است. همان‌طور که می‌توان دید، هیچ جفت (i, j) واحدی وجود ندارد که هم i و هم j استراتژی‌های ترجیحی باشند، بنابراین هیچ راه‌حل تعادلی وجود ندارد. به عبارت بهتر، هیچ موردی وجود ندارد که مدافع و مهاجم ترکیب یکسانی از استراتژی‌های مربوطه خود را ترجیح دهند.

جدول ۸: انتخاب استراتژی

	$J=0$	$J=1$	$J=2$	$J=3$
$i=1$			A	A
$i=2$	A	A		D
$i=3$		D		
$i=4$		D		

اگر بازیکنان در وضعیتی باشند که در برآورد هزینه و سود نامطمئن باشند، ممکن است تصمیم بگیرند که از احتمالات نفوذ به تنهایی به عنوان توابع سودمند استفاده کنند به طوری که هدف مهاجم حداکثر کردن و مدافع هدف به حداقل رساندن مقدار احتمال باشد. یعنی قصد دارند بدون توجه به هزینه، بیشترین یا کمترین احتمال موفقیت را برای دستیابی به هدف انتخاب کنند. استراتژی‌های ترجیحی مربوطه آن‌ها در این مورد در جدول ۹ نشان داده شده است. در اینجا حداکثر در بین سطرها و ستون‌ها به همان شیوه با استفاده از ماتریس نفوذ احتمال محاسبه می‌شود (جدول ۸). توجه داشته باشیم که چندین ماکزیمم و مینیمم پیدا می‌شود زیرا برخی از سلول‌ها در ردیف‌ها یا ستون‌ها مقدار یکسانی دارند. در این مورد، یک جفت استراتژی ترجیحی مشترک $\{4,3\}$ وجود دارد که هر دو بازیکن را به عنوان نقطه تعادل راضی می‌کند، به طوری که اگر هر بازیکن از این روش برای تصمیم‌گیری استفاده کند، هیچ استراتژی جایگزینی به هیچ بازیکنی مزیت نخواهد داد. به عبارت بهتر، در این مورد، مهاجم راضی است که مدافع استراتژی ۳ را انتخاب کند و مدافع راضی است که مهاجم استراتژی ۴ را انتخاب کند.

جدول ۹: انتخاب استراتژی

$i=1$	A		A	A
$i=2$	A	A		D
$i=3$	A	D		
$i=4$		D	D, A	

(د) در نظر گرفتن راهبردهای متعدد حریف

اگرچه ما در اینجا یک رویکرد استراتژی مختلط را بررسی نمی‌کنیم، مانند تعادل استراتژی قوی استکلبرگ که قبلاً ذکر شد، می‌توانیم استراتژی‌های متعددی را در بازی جنگی مثال خود در نظر بگیریم. برای مشخص بودن، بیایید دیدگاه گروه مدافعان را اتخاذ کنیم. با نگاهی به جدول ۶

جدول ۷، گروه مدافع متوجه می‌شود که از دیدگاه مهاجم، استراتژی $i=1$ به طور کلی بهتر از $i=3$ است. در واقع، با $i=1$ ، مهاجمان کاربرد بهتری برای همه دفاع‌ها به دست می‌آورند

استراتژی‌ها به جز $j=0$ و حتی در مورد $j=0$ سود $i=4$ برای مهاجم کم است. بنابراین، اگر ابزار هزینه توجه اولیه برای مهاجم باشد، مهاجم مطمئناً $i=4$ را به $i=3$ ترجیح می‌دهد. ممکن است ملاحظات مشابهی ممکن است زمانی اعمال شود که گروه مدافع استراتژی‌های مهاجم $i=1,2$ را بررسی می‌کند. پس از بررسی، گروه مدافع ممکن است به این نتیجه برسد که باید استراتژی‌ای را انتخاب کند که در برابر هر دو استراتژی $i=1$ و $i=4$ بهترین دفاع را داشته باشد. سپس، با نگاهی به

جدول ۷، گروه مدافع ممکن است تصمیم بگیرد که استراتژی دفاعی $j=2$ به گروه مدافع یک دفاع نسبتاً ایمن (از نظر مطلوبیت هزینه) در برابر $i=3$ و $i=4$ ارائه می‌دهد. بنابراین، گروه مدافع می‌تواند $j=2$ را به عنوان استراتژی ترجیحی خود در این روش بر اساس ماتریس‌های هزینه و مطلوبیت انتخاب کند. به عبارت بهتر، در اینجا مدافع تصمیم گرفت که محتمل‌ترین استراتژی‌های مهاجم استراتژی ۴ و استراتژی ۱ است، و سپس استراتژی ۴ خود را انتخاب کرد زیرا چه مهاجم ۴ یا ۱ را انتخاب کند نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

ج. بازی در برابر محتمل‌ترین استراتژی حریف

فرض کنید گروه مدافع اطلاعات بیشتری دارد مبنی بر اینکه مهاجم تمایل به ریسک‌گریزی دارد. در آن صورت، مهاجم احتمالاً $i=4$ را بر $i=3$ ترجیح می‌دهد، زیرا $i=3$ ممکن است باعث ضرر سنگین مهاجم شود (در صورتی که مدافع $j=2$ را انتخاب کند ۳۲۴-).

با این کار، گروه مدافع می‌تواند نتیجه بگیرد که مهاجم یک استراتژی «به احتمال زیاد» $i=4$ دارد. در آن صورت، گروه مدافع استراتژی دفاعی $j=2$ (با سودمندی هزینه مدافع خود ۸۵۶) را به عنوان بهترین بازی خود در برابر $i=3$ مهاجم انتخاب می‌کند. به عبارت بهتر، در اینجا مدافع تصمیم گرفت که محتمل‌ترین استراتژی مهاجم، استراتژی ۳ است، و سپس استراتژی ۲ خود را به عنوان محتمل‌ترین راهبرد برای به دست آوردن بهترین نتیجه در برابر استراتژی ۳ مهاجم انتخاب کرد.

د. بازی در برابر مخرب‌ترین استراتژی حریف

روش دیگر، گروه مدافع ممکن است در مورد چگونگی جلوگیری از ضررهای سنگین، به جای چگونگی به دست آوردن بهترین ابزار هزینه، فکر کند. با نگاهی به

جدول ۷، گروه مدافع متوجه می‌شود که استراتژی مهاجم $i=1$ کمترین فایده را در مقابل ۴ از ۴ استراتژی دفاعی برای مدافع به ارمغان می‌آورد. به عبارت دیگر، استراتژی مهاجم $i=1$ "مضرترین" برای مدافع است. در این صورت $j=2$ می‌تواند یک استراتژی قوی برای مدافع باشد. باین حال، با توجه به اینکه استراتژی "محتمل" مهاجم $i=4$ است، برای گروه مدافع ایمن‌تر است که $j=3$ را انتخاب کند، که به گروه مدافع یک ابزار هزینه نسبتاً خوب ۷۰۵ می‌دهد. اگر مهاجم "مضرترین" $i=4$ را انتخاب کند. برای بیان مجدد، در اینجا مدافع تصمیم می‌گیرد روی دو استراتژی تمرکز کند. مهاجم -

محتمل‌ترین استراتژی و مخرب‌ترین استراتژی و سپس استراتژی ۱ خود را انتخاب می‌کند که صرف‌نظر از اینکه مهاجم استراتژی ۴ یا ۱ مهاجم را انتخاب کند، خسارت‌های قابل قبولی دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک سناریوی برای بازی جنگ بین یک گروه مدافع و یک گروه مهاجم طراحی گردید. برای محاسبه ماتریس سود - هزینه مدافع و مهاجم یک تابع مطلوبیت ارائه گردید. وظایف و نقش‌های هرکدام از بازیگران در بازی جنگ تعیین گردید و ترتیب اولویت هرکدام از بازیگران در اتخاذ تصمیمات در بازی معین گردید. در ادامه با توجه به تقارن اطلاعات در بازی، پس از مشخص شدن سناریو که در شکل ۱ تشریح گردید، استراتژی‌های هرکدام از بازیگران به همراه هزینه‌های پیاده‌سازی آن‌ها مشخص گردید. در این تحقیق با توجه به معین بودن هزینه‌های استراتژی‌های بازیگران، از الگوی نظریه بازی برای محاسبه ماتریس‌های هزینه استفاده شد. برای اعتبارسنجی مدل اراده شده در تحقیق، از یک مثال فرضی استفاده گردید. این ماتریس‌ها ابزارهای مؤثری برای تعلیم بازیگران آفندی و پدافندی در حوزه بازی جنگ هستند. محاسبات ارائه شده در این تحقیق، ابزارهایی برای تصمیم‌گیری بهتر و اجتناب از اشتباه برای مجریان بازی جنگ ارائه می‌دهند که بدون آن‌ها ممکن است در حصول تصمیمات راهبردی منطقه‌ای و قابل توجیه دچار مشکل شوند.

منابع و مآخذ

- Colbert, E. J., Kott, A., Knachel, L. P., & Sullivan, D. T. (2017). Modeling Cyber-Physical War-Gaming (p. 0046). US Army Research Laboratory.
- Mason, R. C. (2018). Wargaming: its history and future. *The International Journal of Intelligence, Security, and Public Affairs*, 20(2), 77-101.
- Perla, P. P. (1990). *The art of wargaming: A guide for professionals and hobbyists*. Naval Institute Press.
- Marshall, J. (2009). Wargaming for Leaders: Strategic Decision-Making from the Battlefield to the Boardroom. *Financial Executive*, 25(1), 13-14.
- Turnitsa, C. , Blais, C. , & Tolk, A. (Eds.). (2021). *Simulation and Wargaming*. Wiley.
- Kott A, Singh R, McEneaney W, Milks W. Hypothesis-driven information fusion in adversarial, deceptive environments. *Info Fus*. 2011;12(2):131-144.
- Kott A, Ground L, Langston J. Estimation of battlefield attrition in a course of action analysis decision support system. Military Operations Research Society Workshop on Land and Expeditionary Warfare. 1999 June.
- Leitmann G. On generalized Stackelberg strategies. *Optim Theory App*. 1978;26(4):637.
- Von Stengel B, Zamir S. Leadership games with convex strategy sets. *Games Econ Beh*. 2010;21(1-2):282.
- Korzhuk D, Yin Z, Kiekintveld C, Conitzer V, Tambe M. Stackelberg vs. Nash in security games: an extended investigation of interchangeability, equivalence, and uniqueness. *J Art if Intell Res (JAIR)*. 2011;41:297

- J. V. Neumann, O. Morgenstern*, "Theory of Games and Economic Behavior" Wiley, New York, 1944.
- O. G. Haywood*, "Military Decision and Game Theory" Wiley, Journal of the Operations Research Society of America, Vol. 2, No. 4, pp. 365-385, 1989.
- M. Tambe*, "Security and game theory, algorithms, deployed systems, lessons learned" Cambridge university press, 2012.
- N. Gatti*, "Game Theoretical Insights in Strategic Patrolling: Model and Algorithm in Normal-Form" in ECAI-08, pp. 403–407, 2008.
- K. Lye, J. M. Wing*, "Game Strategies in Network Security" International Journal of Information Security, vol. 4, no. 1–2, pp.71–86, 2005.
- G. Brown, M. Carlyle, J. Kline, and K. Wood*, "A Two-Sided Optimization for Theater Ballistic Missile Defense" Operations Research, vol. 53, pp. 263–275, 2005.
- T. Sandler, D. G. A. M*, "Terrorism and Game Theory" Simulation and Gaming, vol. 34, no. 3, pp. 319–337, 2003.

Designing a layer-by-layer defensive war game against an attacker at a limited operational level based on game theory

lotfi, Ahmad

Department of Mathematics, Faculty of Basic Sciences, Imam Ali university, Tehran, Iran

Abstract

In this research, a scenario has been designed to play a war game between two attacking and defending teams, in which the defending team has the mission of defense in the form of layered defense and the attacking team has the mission of penetrating the defense layers and reaching the goal set behind the defense layers. The defense team has expanded its units in defense layers to carry out the mission. The main goal of this research is to present a war game model between two defending and attacking teams based on game theory. First, players determine their strategies and complete their cost-profit matrix based on their strategies. In the following, based on the information obtained from the players, the Stackelberg game is used to model the game between the defender and the attacker. To validate the model presented in the research, a scenario in which the defending team performs a layered defense with 3 A layer that has spread its units in different layers is considered. Also, the attacking team determines its offensive strategies in order to reach the goal behind the defense layers. The utility functions of each of the players were calculated. According to the results obtained from the cost-benefit matrix for the defender and the attacker, it can be concluded that the presented model can be a good method for simulating the game of war between two Defending and attacking teams should be symmetrical with information. Keywords: war game, game theory, circular defense

¹Department of Mathematics, Faculty of Basic Sciences, Imam Ali university, Tehran, Iran