فصلنامه علمی مطالعات مدیریت راهبردی دفاع ملی
سال پنجم، شماره ۱۹، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۳۲۰-۲۸۹

مقاله پژوهشی:

الگوسازی و شبیه‌سازی صحنه نبرد، چالش‌ها، محدودیت‌ها و پیاده‌سازی

20.1001.1.74672588.1400.5.19.10.6

رامین فعال گندم‌کار[1]؛ عمران توحیدی[2]؛ اکبر زارع چاوشی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۵/۲۷

چکیده

نبرد و دفاع همواره امری مخاطره‌آمیز و پرهزینه، همراه با صرف نیروی انسانی و زمان بسیار است. هر ملتی به‌ویژه میهن عزیزمان ایران به‌واسطه موقعیت جغرافیایی و منابع سرشار و شرایط سیاسی ویژه ناگزیر از صرف این نیرو و هزینه در جهت برقراری امنیت است. اما آیا می‌توان به وسایلی و در مقاطعی این دشواری‌ها را مدیریت کرد؟ با ظهور کامپیوتر، هوش مصنوعی و کاربرد وسیع آن در جنبه‌های مختلف زندگی، بشر در حقیقت به یک کارگزاری سریع و کم هزینه دست یافته است. این کاربری هوش مصنوعی در زمینه نبرد امروزه بسیار رواج دارد. هدف این تحقیق تبیین چارچوبی نظام‌مند برای شبیه‌سازی نبرد و سپس مدل‌سازی و پیاده‌سازی آن است که به فرماندهان ارشد در جهت تصمیم‌سازی یاری برساند. در این پژوهش برای ایجاد این چارچوب به بیان پیشینه، دیدگاه‌ها و چالش‌های پیش‌رو در شبیه‌سازی پدیده آشوبناک نبرد پرداخته شده و محدودیت‌های شبیه‌سازی نبرد نیز تبیین شده است؛ سپس ریاضیات مورد نیاز برای شبیه‌سازی ارائه و مولفه‌های اساسی نبرد چون زمین نبرد، سربازان و حرکت، شبیه‌سازی شده است. همچنین با طراحی توابع متعددی به سربازان این امکان داده می‌شود که به‌طور پویا و خودکار تصمیم‌گیری کنند و مسیر امن را بیابند. پژوهش حاضر از نظر روش تحلیلی، کتابخانه‌ای، کاربردی و گسترشی است.

کلید واژه‌ها: **مدل‌سازی و شبیه‌سازی نبرد، نرم‌افزار متلب، بازی جنگ، الگوریتم ژنتیک.**

۱ . پژوهشگردانشگاه عالی دفاع ملی، فارغ التحصیل دکترای ریاضی محض دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسئول، رایانامه: faal.ramin@yahoo.com

۲ . استادیار گروه ریاضیات و کاربردها، دانشگاه کوثر بجنورد، بجنورد، ایران

۳ . عضو هیئت علمی دانشگاه عالی دفاع ملی

۱. مقدمه

شبیه‌سازی، تقلیدی از یک پدیده، سامانه یا فرآیند به‌وسیله بازنمایی ویژگی‌ها یا مولفه‌های کلیدی آن است و در مدل‌سازی سامانه‌های طبیعی و انسانی جهت کسب دانش در رابطه با نحوه کارکرد آنها، بهینه‌سازی کارکرد یک سامانه، آزمایش دکترین و آموزش کاربرد دارد. شبیه‌سازی جنگ طبق تعریف وزارت دفاع آمریکا عبارت است از «شبیه‌سازی از یک عملیات نظامی که شامل دو یا چند نیروی مخالف است و در آن از قوانین، داده‌ها و رویه‌های طراحی شده برای نمایش دادن شرایط یک نبرد واقعی یا نزدیک به واقعی استفاده می‌شود». یکی از دلایل استفاده از نظام‌های شبیه‌سازی جنگ به‌هنگام رزم، امکان تحلیل و بررسی راهکارهای موجود و رزم آتی است. یک شبیه‌سازی جنگ در حقیقت، حرکتی است به‌سوی آینده‌نگری، با استفاده از مفاهیم و تجربیات گذشته (سرخوش، ۱۳۸٦). شبیه‌سازی جنگ، فرماندهان را در پردازش اطلاعات و وظایف تصمیم‌گیری در وضعیت‌های واقعی یا فرضی یاری می‌دهد و از تکنیک‌های هوش مصنوعی برای بازسازی فعالیت‌های انسانی بهره می‌برد. یکی از اهداف شبیه‌سازی جنگ، آموزش روش‌های تصمیم‌گیری در موقعیت‌های مختلف نبرد است (برنامه استانداردسازی[1]، ۱۳۹۲: ۲۷).

برای ارائه شبیه‌سازی نبرد ابتدا نیاز است تاریخ تحولات، پیشینه و راه‌های ممکن برای دستیابی به آن دانسته شود؛ اما این کافی نیست. در حقیقت، برای انجام این کار باید چالش‌ها و تنگناهای شبیه‌سازی را شناخت، آنچه در این فرآیند مشکل آفرین است (مانند پیچیدگی و حجم محاسبات) یا دیدگاهی که پیشاپیش باید به یک نبرد داشت تا شبیه‌سازی قدرتمند ارائه کرد (مانند آشوبناک بودن نبرد و موضعی بودن اطلاعات)، باید مدنظر باشند. برای این منظور در این پژوهش چالش‌های شبیه‌سازی جنگ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. شبیه‌سازی همواره شامل محدودیت‌ها و مرزهایی است؛ تا کجا می‌توان به شبیه‌سازی اعتماد کرد و اتکا داشت؟

1. Standardization program

چالش‌های متعددی در شبیه‌سازی نبرد وجود دارد که باید بر آنها فائق آمد. جنگ پدیده‌ای آشوبناک و پویاست؛ به‌این‌معنا که در هر لحظه اطلاعات موجود در محیط نبرد، به‌هنگام می‌شود و از این رو بسیاری از ابزارهای ریاضی و الگوریتم‌ها کارایی خود را از دست می‌دهند. ناحیه تحت بینایی و ادراک هر سرباز موضعی است و در هر لحظه اطلاعات موجود در آن تغییر می‌کند؛ ما با استفاده از این اطلاعات موضعی که مدام در حال تغییرند، معیارهایی معرفی کنیم تا او قادر باشد به‌طور خودکار نقاط امن و پناهگاه‌ها، محل تجمع نیروهای خودی، دشمن و مسیرهای امن برای رسیدن به اهداف مکانی خود را ردیابی کند به‌گونه‌ای‌که تهدید معقولی متوجه او باشد و از این اطلاعات تصمیمات درستی برای اجتناب از تلفات نیروهای خودی و تهدید نیروهای دشمن و تحمیل تلفات به آنها اتخاذ کند. در حقیقت ما با به‌کارگیری ره‌توشه‌ای که از علوم و با استفاده از معلومات و تجاربی از مکان شناسی ، جبرخطی و الگوریتم ژنتیک و با تشکیل یک اندازه مثبت روی R^3 الگوریتمی برای محاسبه میزان تهدید وارد شده به نیروها و میزان تخریب ممکن هر نیرو در هر لحظه بیان شده و الگوریتمی برای اتخاذ تصمیم طراحی می‌کنیم.

ابر پارامترهای تابع تصمیم‌ساز برای نحوه حرکت توسط الگوریتمی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک بهینه شده و به‌وسیله مثال‌هایی اعتبار سنجی شده‌اند و با جواب‌های بهینه به‌دست آمده از الگوریتم دایکسترا مقایسه شده‌اند. همچنین تابع احتمالی طراحی کرده‌ایم که هنگام تقابل دو سرباز احتمال مرگی برای هر یک به دست می‌دهد؛ این احتمال با توجه به میزان در پناه بودن او و تعداد نیروهای دشمن و خودی در اطراف او تعریف شده است.

چهاردلی (۱۳۹۹) به خوبی با استناد به (ناتو[1]، ۲۰۱۷) بیان کرده است که مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده در نظام آینده‌نگاری دفاعی امریکا و فرانسه، سناریو نویسی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی هستند و به‌خصوص ناتو مهم‌ترین پیشران‌های تغییر و فعالیت آینده‌نگرانه را از تلاقی سه حوزه نوآوری، انطباق‌پذیری و چابکی برای حوزه دفاع می داند. کلانتری (۱۳۹۵) نیز در مورد زمینه‌های تحول‌پذیری جنگ‌های آینده (موسوم به جنگ شناختی) و عوامل موثر در پیروزی در آنها به خوبی اهمیت هوش مصنوعی،

1. NATO

شبیه‌سازی و فناوری اطلاعات تبیین کرده است. بنابراین اهمیت انجام این تحقیق را می‌توان در موارد زیر توصیف کرد:

- ایجاد چارچوبی منسجم و معرفی رویکردهای مختلف برای شبیه‌سازی نبرد
- تبیین ویژگی‌های پدیده نبرد و چالش‌های موجود در شبیه‌سازی و حدود و ثغور آن
- استفاده فرماندهان نظامی از شبیه‌سازی نبرد به‌عنوان یکی از فنون آینده‌پژوهی در جنبه‌هایی نظیر شناخت دشمن، بررسی راهکارهای ممکن و نتایج به‌کارگیری آنها

ضرورت انجام این تحقیق را می‌توان در موارد زیر بیان کرد:

- کاهش چشم‌گیر هزینه‌های مالی و جانی و صرفه‌جویی در زمان و نیروی انسانی
- استفاده از تمام گنجایش و امکانات در میدان نبرد برای به‌کارگیری نیروها و کنترل دشمن

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱. نبرد به‌عنوان یک پدیده واقعی

جنگ ذاتاً شامل بی‌نظمی و عوامل ناشناخته است. اغلب پیش می‌آید تصمیم‌گیری‌هایی که برای هدایت نیروها، یگان‌های نظامی و حتی طرح ریزی کلان عملیات صورت می‌گیرد، بر پایه دکترین مشخص نبوده و شانس نقش مهمی در آن دارد. با در نظر گرفتن عوامل بالا، مهارت در نبرد اغلب با تمرین و مانور افزایش پیدا می‌کند، و بهترین تمرین تجربیات در صحنه نبرد است (سرخوش، ۱۳۸٦). در مسیر مدل‌سازی و شبیه‌سازی جنگ چالش‌های تکنیکی متعددی از جمله آشوبناک بودن وجود دارد، به این معنی که یک تغییر کوچک در یکی از مولفه‌ها، باعث تغییرات اساسی در کل نظام می‌شود (ایلاچینسکی[1]، ۲۰۰٤). این دلایل جنگ را محاسبه نشدنی می‌کنند؛ به علاوه مدل‌سازی جنگ، یک شبیه‌سازی ساده نیست که بتوان تنها با علوم ریاضی یا کامپیوتر به شبیه‌سازی آن پرداخت، بلکه نیاز است که ادبیات نظامی و مولفه‌های مهم جنگ مدنظر قرار گرفته شود (هویروپ[2]، ۲۰۰۲)،

1. Ilachinski
2. Hoyrup

به‌طور مثال، نوع مذهب و اعتقادات مردم هر دو کشور، میزان رضایت یا نارضایتی مـردم و نیروهای مسلح آن کشور باید در زمان و نحوه عملیات نظامی در نظر گرفته شود.

«مه‌جنگ» اصطلاحی است که به‌صورت یک دستور پذیرفته شده است. رفتن بـه جنـگ به معنی وارد شدن به مه عدم قطعیت است. برای مقابله بـا ایـن امـر بـه هریـک از عوامـل زنجیره فرمانبری، میزانی از قدرت آزادی واگذار شـده اسـت تـا طبـق شـرایط پـیش آمـده واکنش نشان دهند (هویروپ، ۲۰۰۲). آیا پدیده جنگ توسط یک روش علمی مانند شبیه‌سـازی رایانه‌ای سربازان و سلاح‌ها و ارتباطات اشیا ریاضی و برنامه‌های کامپیوتری قابـل شـناخت است؟

جنگ به حوزه هنرها و علوم وابسته نیست، بلکه به حوزه زندگی اجتماعی تعلـق دارد. در واقع جنگ چیزی جز ادامه سیاست دولت با ابزار دیگر نیسـت. بنـابراین، مـی‌بینـیم کـه جنگ صرفاً یک عمل سیاسی نیست بلکه ابزار سیاسی واقعی، تـداوم روابـط سیاسـی و راه حلی برای مشکلات و روابط سیاسی از طریق دیگری است (کلاسویتز[1]، ۱۹۸۲). جنـگ نزاعـی بین مردم است؛ همواره مردم تصمیم گرفته‌اند و با هر فـن‌آوری کـه در دسـت داشـته‌انـد، مبارزه کرده‌اند و تا آنجا ادامه می‌یابد که مردم بخواهند یا کافی بدانند. بنـابراین جنـگ یـک رابطه سیاسی، اجتماعی و انسانی است که شامل اسـتفاده از خشـونت سـازمان‌یافتـه بـرای اهداف سیاسی می‌شود. لازم به ذکر است که این تعریف در حالی در نظر گرفته می‌شود که فعالیت‌های دیپلماتیک در طول جنگ صورت می‌گیرند.

تصمیم‌گیران در تمامی سطوح جنگ از زمان آغاز صنعتی‌سازی با یـک حرکـت شـتاب دهنده، توسط فن‌آوری حمایت شده‌اند. امروزه این پشتیبانی از نظام‌های ارتباطـات تجـاری و نظام‌های اطلاعاتی به کنترل دولت تـا شـبیه‌سـازی‌هـای پیچیـده پشـتیبانی شـده توسـط کامپیوترهای بسیار قدرتمند تغییر می‌کند. باید به خاطر داشته باشیم که جنگ یک درگیـری منطقی است که در آن تصمیم گیرندگان در هر دو طرف و در تمام سطوح سـعی مـی‌کننـد گزینه‌های مناسب را فراهم کنند؛ هزینه‌ها، ابزار و اهداف، دلایل و اثرات را تخمین می‌زننـد و محاسبه می‌کنند و علل و اثرات را ایجاد کنند. اما آیا انتظار هرگونـه تخمـین یـا محاسـبه

1. Clausewitz

برای ارائه یک راه‌حل پایدار، موهوم است؟ یکی از راه‌هایی که در آن ریاضیات بـه اهـداف نظامی کمک می‌کند این است که موجب حذف ذهنیت (پیش فـرض) و بـدبینی اسـت کـه می‌تواند توسط استدلال و محاسبات میسر شود. عقل مبتنی بر ریاضیات بـه مـا در مقیـاس بزرگ‌تر، به‌منظور از بین بردن حکمت متعارف و تلقـین آسـان و مشـخص کـردن احتمـال رویداد انتظارات، کمک می‌کند. اگر نتوانیم به طریقـی بهتـرین راه را بیـابیم، حـداقل بـرای گریز از بدترین حالت می‌توان از آن سود برد.

نیاز به فن‌آوری اجتماعی و حفظ انسـجام اجتمـاعی در طـول جنـگ اهمیـت مـرگ و زندگی را دارد. اگر این انسجام شکسته شود، مقاومـت شکسـته و قـوا بـه‌شـدت تضـعیف می‌شود. انسجام اجتماعی در گروه‌های مدیریت بحران سیاسی و تشـکیلات نظـامی بسـیار ضروری است. اما چگونه در زمینه ریاضی که با آن سـروکار داریـم، مولفـه‌هـای فـن‌آوری اجتماعی را تعیین و تاثیرات مهندسی اجتماعی را اندازه‌گیری کنـیم؟ برخـی دلایـل اصـلی عدم‌قطعیت شبیه‌سازی جنگ را بیان می‌کنیم:

۱. انسجام اجتماعی واحدهای نظـامی را نمـی‌تـوان بـه انـدازه کـافی در زمـان صـلح آزمایش کرد.
۲. اعتبار داده‌های تجربی جمع‌آوری‌شده در جنگ به سرعت از بین می‌رود.
۳. ما نمی‌توانیم تاثیر احساسات مردم در جنگ را پیش‌بینی کنیم.
٤. ما نمی‌توانیم شجاعت و استعداد نیروهای مسلح را به‌عنوان یک کل تعیین کنیم.
۵. تاثیر نفوذ سیاسی بر جنگ غیرقابل‌پیش‌بینی است.
٦. علوم اجتماعی ممکن است بینش عمیق‌تری در پویایی جنگ و جنگ فراهم آورند.
۷. اندکی انحرافات خفیف غیرقابل‌اجتناب یـا تصـادفات مـی‌توانـد منجـر بـه اثـرات فاجعه‌باری شود.

در بالا هفت منبع عدم قطعیت را معرفـی کـردیم کـه شـاخص‌هـایی قـوی هسـتند کـه شبیه‌سازی را دشوار می‌کند. هنوز باید عوامل بسـیار بیشـتری را مـد نظـر داشـت؛ اخـلاق استفاده از هوش مصنوعی چیست؟ نحوه تعامل کاربر با هوش مصـنوعی بـه چـه صـورتی است؟ آیا در شبیه‌سازی باید تفکر هوشیار یک سرباز مدل شود یا ناخودآگاه او مورد توجه

باشد و اینکه این کـار چگونـه امکـان‌پـذیر اسـت؟ بـرای اطلاعـات بیشـتر در ایـن مـوارد به(لیلیرفورس[1]، ۲۰۱۹: ۷۵-۱۰٤) و (شپهارد[2]، ۲۰۰۱) مراجعه کنید. تا زمانی که بینش مناسبی در مـورد جنگ نداریم، نمی‌توانیم درک کنـیم چـه مشـکلات پیچیـده‌ای در یـک جنـگ واقعـی رخ می‌دهد و نبوغ و قدرت‌های ذهنی فوق‌العاده در یک فرمانده نیاز است تا بر ایـن مشـکلات غلبه کند.

برای تعدیل نظرات بالا دیدگاه پوپر در رابطه بـا علـوم اجتمـاعی را بررسـی مـی‌کنـیم. نظریات پوپر، در این راستا هستند که تا کجا و چگونه باید به علوم اجتمـاعی تکیـه کـرد و جایگاه علومی مانند ریاضیات کجاست. از این گذرگاه می‌توان به چارچوبی مناسـب بـرای ترکیب علوم اجتماعی با علوم دقیق دست یافت.

برخلاف این که شبیه‌سازی پدیده‌ای علمی است، بر یک بدفهمی بزرگ بنا شده اسـت؛ در واقع تمایز بین پیشگویی و پیش‌بینی نادیده گرفته شده است. روش‌های علمـی هیچگـاه مدعی دست یافتن به حقیقت نیستند. دستاوردهای علمی ذاتا بر شالوده مفروضـاتی اسـتوار است. بنابراین در دنیای واقعی برهان متقنی در دستیابی به حقیقت وجود ندارد و علـوم (از جمله ریاضیات، فیزیک و علوم کامپیوتر) تنها ابزاری برای توصیف و پیش‌بینی هستند و به همین ترتیب انتظار پیش‌گویی (انطباق کامل) از شبیه‌سازی نمی‌رود (پوپر[3]، ۱۹٦٦: ۱۳). پیشنهاد پوپر برای به‌کارگیری علوم به شرح زیر است:

تنها راه باز برای علوم اجتماعی، فراموش کردن علوم کلامی صرف و مقابلـه بـا مشـکل عملی زمان با کمک روش‌های نظری است که اساساً در تمام علوم یکسان هسـتند. منظـور، روش‌های آزمون و خطا و اختراع فرضیاتی است که عملاً می‌توان آنهـا را آزمـایش کـرد و آنها را در آزمون‌های عملی به کار برد (پوپر، ۱۹٦٦: ۲۲۲).

تصمیمات نظامی به دلیل ماهیتشان، اغلب در شرایط استرس شدید اتخاذ می‌شوند. عدم قطعیت‌ها در اهداف تاکتیکی و عملیاتی در زنجیره فرماندهی، اعتبار گزارش‌هـا و ابهـام در

1. Liljefors
2. Shephard
3. Popper

مناطق مرزی از دیگر دلایلی است که چرا فرماندهی و تصمیم‌گیری نظامی به تحقیقات بیشتر نیازمند است.

۲-۲. نقش شبیه‌سازی ریاضی در مدیریت نبرد

مدل، جزئی کوچک یا بازسازی کوچکی از یک شیء بزرگ است که از لحاظ کارکرد با شیء واقعی یکسان است (گرجی، ۱۳۸۸: ۳۳) و متشکل از مفاهیم، فرضیه‌ها و شاخص‌هایی است که کار انتخاب و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای آزمون فرضیه‌ها را تسهیل می‌کند (ایران نژاد،۱۳۷۷: ۵۰). مدل‌ها دارای انواع مختلفی هستند که از میان آنها می‌توان به مهم‌ترین انواع زیر اشاره کرد (حافظ نیا،۱۳۸۷: ۱۶)، (الوانی،۱۳۷۹: ۵۳):

۱. مدل‌های پنداشتی (مفهومی) به ساخت ایده‌های عمومی (مفاهیم) و فرضیاتی که روابط بین آنها را مشخص می‌کند، می‌پردازند. یک مدل پنداشتی یک سری از مفاهیم مرتبط با هم است که به‌طور نمادین بیانگر تصویر ذهنی از یک پدیده است.

۲. مدل ریاضی یا مدل‌سازی ریاضی عبارت است از تلاش برای توسعه یک دسته روابط ریاضی که با استفاده از آن بتوان رفتار یک سامانه مشخص را توجیه کرد. گاهی از این مدل‌ها برای بررسی و بیان شباهت و تفاوت پدیده‌ها و دسته بندی آنها استفاده می‌شود. برای ساختن مدل‌های ریاضی مجبور به ساده سازی شرایط واقعی هستیم.

۳. شبیه‌سازی رایانه‌ای عبارت است از نظام‌ها و سامانه‌های پیچیده‌ای که با استفاده از معادلات ریاضی و انتقال آن به رایانه می‌توان شبیه‌سازی کرد.

هریک از این مدل‌ها به‌گونه‌ای روابط و آثار اجزای مختلف پدیده‌ها را نشان می‌دهند و در موارد مختلف کاربرد دارند. ترکیب مدل‌های مذکور نیز در اغلب موارد می‌تواند وسیله مؤثرتری باشد. شگفتی، حاصل مشاهده تفاوت چشم‌گیر میان واقعیات و پنداشت‌ها است (باربر[1]، ۲۰۰۶: ۷۷). در دانش آینده‌پژوهی همواره با عوامل و پدیده‌هایی رو به رو می‌شویم که نقشی شگفتی‌ساز دارند و با تغییر چشمگیر روندهای کنونی و جاری، شکل نهایی آینده را به گونه‌ای کاملا متفاوت از آن چه که در پیش‌بینی‌های خود احتمال داده‌ایم، رقم می‌زنند. صرف‌نظر از این که این آمادگی چگونه حاصل می‌شود، نمی‌توانیم آینده را پیش‌گویی

1 Barber

کنیم؛ اما می‌توانیم برای آن آماده باشیم (کوسا[1]، ۲۰۱۰: ۴۳-۴۴). شبیه‌سازی جنگ یکی از فنون آینده‌پژوهی است و فرماندهان نظامی درجنبه‌هایی نظیر شناخت دشمن، بررسی راهکارهای ممکن و نتایج به‌کارگیری آنها، غافلگیری‌ها و مسائلی از این دست از آن استفاده می‌کنند. شبیه‌سازی جنگ رویکردی کارآمد در پیش‌بینی و شناسایی تهدیدات احتمالی آینده است.

هر شبیه‌سازی جنگ هدف، ماهیت و روش‌های اجرایی مربوط به خود را داراست و بر همین اساس به سه دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند (ساندرز[2]، ۱۹۷۵).

۱. شبیه‌سازی‌های آموزشی: این نوع شبیه‌سازی برای آموزش فرماندهان عملیاتی در سطوح مختلف طراحی شده‌اند (کارکنان فرماندهی[3]، ۱۹۷۶). سناریوها معمولا برای وضعیت‌هایی که احتمال دارد فرماندهان در جنگ واقعی با آن روبرو شوند، تنظیم می‌شوند (مک‌کارتی[4]، ۱۹۸۸).

۲. شبیه‌سازی‌های طرح‌ریزی: این نوع شبیه‌سازی برای آزمون اثربخشی و اطمینان از روش‌های عملیاتی استاندارد و ارزیابی طرح‌های عملیاتی موجود یا تکمیل طرح‌های جدید انجام می‌شود. شبیه‌سازی رایانه‌ای در شبیه‌سازی‌های مربوط به برنامه‌ریزی بسیار کارآمد است (نویمن[5]، ۱۹۸٤).

۳. شبیه‌سازی‌های تحقیقی تحلیلی: هدف این نوع شبیه‌سازی آزمودن مفاهیم، دکترین و ارزیابی کارآیی سلاح‌ها است (گوش[6]، ۱۹۸۰). شبیه‌سازی‌های تحقیقی تحلیلی به‌عنوان آزمون‌های کنترل شده طراحی شده‌اند تا مقایسه موقعیت‌هایی اندیشیده شده را ممکن سازند.

۲-٤. رویکردهای مهم در شبیه‌سازی نبرد

در اینجا برخی از رویکردهای برجسته شبیه‌سازی رایانه‌ای و کاربردهای آنها را معرفی می‌کنیم. براساس مسائل دنیای واقعی، تنها چند پیاده‌سازی مستقیم از تکنیک‌های

1. Kuosa
2. Sanders
3. Commander's staff
4. Mc Carty
5. Neumann
6. Gush

شبیه‌سازی مهم یافت می‌شوند. نظام‌های دینامیکی در هر دو حوزه دفاع (نظامی و هوافضا) اعمال شده‌است. از این تکنیک به‌طور عمده برای ارزیابی سریع نتیجه نبردهای زمینی یا هوایی، تمرین‌دهنده‌ها برای تصمیم‌گیری‌های موثر در محیط‌های آشفته (هانسکر[1]، ۲۰۰۷) و توسعه نظام سلاح و شبیه‌سازی‌های دینامیکی زمان واقعی و زمان غیر واقعی پرواز آزاد استفاده شده است. شبیه‌سازی گسسته رویداد در حوزه نظامی برای بهبود کنترل مرزها و نظام‌های امنیت، استفاده می‌شود (سلیک[2]، ۲۰۰۷). این تکنیک برای برآورد قابلیت دسترسی نظام‌های سلاح به ارتش و مدل‌سازی پیشرفت پروژه استفاده شده است (چو[3]، ۲۰۰۵). شبیه‌سازی مبتنی بر عامل در ارتش برای مدیریت ماموریت‌های نظامی بکار می‌رود که از مهمات هوشمند استفاده می‌کنند، شبیه‌سازی‌های چند عاملی برای حل مسائل پویای تخصیص کار و کارگر انجام می‌شود (اتنبرگ، ۲۰۰۲).

بازی جنگ یکی از رایج‌ترین تکنیک‌ها در حوزه نظامی برای انجام و سازماندهی جنگ، طراحی شبیه‌سازی نظامی برای به تصویر کشیدن یک وضعیت واقعی یا فرضی مبتنی بر واقعیت و برای برنامه‌ریزی جنگی است (پاور[4]، ۲۰۰۷). شبیه‌سازی زمان واقعی در ارتش برای مدل‌سازی رفتار و نمایش اشیا نظامی برای ادراک، استدلال و عمل در محیط‌های مجازی اعمال می‌شود. همچنین در حوزه هوا فضا، برای انجام آزمایش‌ها، شبیه‌سازی آزاد بکار رفته‌است (هکستر[5]، ۲۰۰۷). رویکرد ترکیبی نظام پویا و بازی جنگ رویکردی نسبتاً جدید برای مدل‌سازی زمینی و هوایی جنگ آینده و برنامه‌ریزی جنگی براساس استفاده از پویایی‌های نظام و بازی جنگ است که اغلب به‌طور ضمنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (هانسکر، ۲۰۰۷).

۲-۵. برخی شاخه‌های ریاضی مورد استفاده در شبیه‌سازی جنگ

1. Hunsaker
2. Celick
3. Cho
4. Power
5. Hoekstra

در (موفت و ویتی[1]، ۲۰۰۲) مدل ریاضی تصمیم‌گیری و فرماندهی نظامی برمبنای تصمیم‌گیری بیزی در نظر گرفته شده است که نمایش کامل‌تری از جزئیات و عناصر نبرد را نسبت به سایر مدل‌های مذکور ارائه می‌دهد. مزیت این تحلیل در نظر گرفتن ادراک فرماندهان است که منجر به ایجاد بینشی در فرآیند فرماندهی توسط الگوریتم های ریاضی ساده شده‌است و در نتیجه از مجموعه قوانین تصمیم‌گیری متعدد و کند جلوگیری می‌شود. در اکثر مدل‌ها عناصر نبرد و رفتارهای انسانی مدل نمی‌شوند، مدل‌سازی نیروهای مخالف توسط ورودی‌های ثابتی تعیین می‌شود که یک نقطه ضعف به‌شمار می‌آید. برای برطرف کردن این نقطه ضعف، تحلیلی نو در فرآیندهای تصمیم‌گیری و فرماندهی نیاز است تا زمینه‌های جدیدی را برای تحلیل نظامی باز کند. نظریه بازی‌ها در مورد تحلیل شرایطی است که در آن دو یا چند فرد تصمیماتی می‌گیرند که بر دیگری تاثیر خواهد گذاشت. فرمول‌بندی یک مسئله با نظریه بازی می‌تواند به تحلیل مناسبی منجر شود (میرسن[2]، ۱۹۹۰). به‌نظر می‌رسد که تکنیک‌های بازی بازگشتی و بازی با اطلاعات ناقص (کان[3]، ۱۹۹۷) کاربردهای نظامی جالبی داشته باشند.

اما غنی‌ترین رویکرد ریاضی در شبیه‌سازی نبرد نظام‌های پویاست که در آن بسیاری از چالش‌های مطرح شده توسط کلاسویتز و سایر موانعی که پیش‌تر به بررسی آنها پرداختیم، مدنظر قرارگرفته شده‌است. هدف اولیه به‌کارگیری این نظریه برای ارزیابی کاربرد کلی پویایی غیرخطی و نظریه نظام‌های پیچیده برای جنگ زمینی است. در یک نظام دینامیکی خطی، هر اغتشاش خارجی باعث ایجاد تغییر در نظام می‌شود که متناسب با اندازه اغتشاش است. در نظام‌های غیرخطی، ورودی‌های کوچک ممکن است منجر به خروجی بسیار بزرگ شوند (در نظام آشوبناک به‌صورت نمایی بزرگ). یک نظام پیچیده به‌عنوان یک نظام دینامیکی که متشکل از تعداد زیادی اجزای ساده تعامل کننده و معمولا غیرخطی است، در نظر گرفته می‌شود.

1. Moffan and Witty
2. Myerson
3. Kuhn

جدول۱: تکنیک‌هایی در نظریه پویایی غیرخطی و نظام‌های پیچیده برای شبیه‌سازی جنگ

(ایلاچینسکی، ۲۰۰٤: ٦)

حوزه تحقیق	موضوعات	ابزار
شبیه‌سازی مامور محور	تطبیق	شبیه‌سازی‌های مامور محور
نظریه فاجعه	خلاقیت (ماشینی)	خود ساماندهی سلولی
خود ساماندهی سلولی	پیچیدگی	بازی های سلولی
بازی‌های سلولی	محاسبات غیر کاهشی	کنترل آشوبناک
نظریه کنترل آشوب	بحرانی	برنامه نویسی تکاملی
سامانه‌های تطبیقی پیچیده	ساختار پراکندگی	منطق فازی
شبکه‌های با نقشه همراه	لبه های آشوب	الگوریتم‌های ژنتیک
شبکه عصبی	انتقال فاز	نمای لیاپانوف
سامانه‌های دینامیکی غیرخطی	معمای زندانی	حداکثر انتروپی

این که چگونه نظام‌های ساده می‌تواند رفتار پیچیده ایجاد کنند در حوزه نظریه آشوب قرار می‌گیرد. پیچیدگی این حوزه این است که چگونه نظام‌های پیچیده رفتار ساده ایجاد می‌کنند.

جدول ۲ : ویژگی‌های بسیار مهمی از نبرد که باید در شبیه‌سازی مد نظر قرار گیرند

(ایلاچینسکی، ۲۰۰٤: ٦)

توصیف ارتباط با نبردهای زمینی	ویژگی‌های عمومی نظام‌های پیچیده
نیروهای نبرد از تعداد زیادی اجزای تعاملی غیرخطی تشکیل شده‌اند؛ منابع شامل حلقه‌های بازخوردی در سلسله مراتب، تفسیر سازگاری با اعمال دشمن، فرآیند تصمیم‌گیری و عامل شانس هستند.	تعامل‌های غیرخطی
سازمآنهای نظامی از ماموران و ابرماموران زیادی شامل رزمندگان، فرماندهان ، نیروهای مشترک و غیره تشکیل‌شده‌اند.	شبکه‌هایی از ماموران[1]
توانایی مبارزه نیروهای رزمی را نمی‌توان به‌عنوان یک تابع برآیند ساده از توان رزمی رزمندگان فردی درک کرد.	رویکرد غیر تقلیلی
هر رزمنده نه منابع نامحدودی دارد و نه در محیطی با اطلاعات لایتناهی عمل می‌کند؛ آنها محدود به انتخاب سریع اقدامات خود و استفاده از اطلاعات محدود هستند.	عقلگرایی محدود

1. Networks of Agents

ویژگی‌های عمومی نظام‌های پیچیده	توصیف ارتباط با نبردهای زمینی
پیدایش رفتار	الگوهای سراسری رفتار در میدان جنگ از دنباله‌های تودرتو از قوانین و اصول تعامل محلی پدیدار می‌شوند.
ساختار سلسله مراتبی	نیروهای رزمی معمولاً در سلسله مراتب فرماندهی و کنترل به‌صورت فراکتالی سازماندهی می‌شوند.
کنترل غیرمرکزگرا	هیچ استادی برای دیکته کردن اعمال به تک‌تک رزمنده‌ها وجود ندارد؛ در یک نبرد در نهایت مجموع تصمیمات محلی تعیین کننده است.
خودسازماندهی[1]	نبرد که اغلب به‌صورت محلی «آشفته» به‌نظر می‌رسد، در مقیاس بزرگ‌تر رفتارهای منظم نشان می‌دهد.
ترتیب‌های غیرتعادلی[2]	جنگ نظامی، در ذات خود، دور از تعادل است؛ درک فرآیند جنگ، مهم‌تر از دانستن «حالت پایان» است.
تطبیق[3]	برای بقا، نیروها همواره باید با محیط در حال تغییر سازگار شوند و راه‌های بهتری برای تطبیق با الگوی دشمن بیابند.

به سادگی می‌توان رابطه جنگ با نظام‌های پیچیده وآشوبناک را درک کرد. نیروهای رزمی متشکل از تعداد زیادی از بخش‌هایی است که دارای تعامل غیرخطی هستند و در سلسله‌مراتب فرماندهی و کنترل سازمان‌دهی می‌شوند. عملیات موضعی که گاهی نامنظم به‌نظر می‌رسند، دارای نظمی بلند مدت و با برد وسیع هستند. نبردهای نظامی در ذات خود از نقطه تعادل به دورند، نیروهای نظامی برای زنده ماندن باید به‌طور پیوسته با تغییر محیط نبرد سازگار شوند، هیچ قانون کلی برای مبارزه همه سربازان نیست (جنگ مرکززدایی شده[4]). نظریه نظام‌های پویا، نظام‌های پیچیده و آشوب قابلیت بازتاب این ویژگی‌ها را در شبیه‌سازی داراست.

1. Self Organization
2. Nonequilibrium Order
3. Adoptation
٤. Decenteralized control

۲-٦. پیشینه تحقیق

در اوایل دهه ۱۹۵۰، ارتش اداری تحقیق در عملیات ایـالات متحـده امریکـا بـه اولـین پذیرنده شبیه‌سازی جنگ کامپیوتری شده، بدل شد. این شبیه‌سازی‌های کـامپیوتری بـه‌طـور گسترده به‌عنوان یک ابزار تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گرفت و نـه واقعـاً بـرای توسـعه راهبرد یا دکترین. شبیه‌سازی جنگ در ابتدا شامل اجرای محاسبات مورد نیـاز بـرای تعیـین نتایج حرکت براساس ورودی شبیه‌سازی بازیکنان بـود. ایـن شـبیه‌سـازی‌هـا بینشـی بـرای توسعه مدل‌ها فراهم کردند تا به سوالات مربوط به منابع و عملیـات‌هـا پاسـخ دهنـد. ایـن شبیه‌سازی‌های اولیه جنگ کامپیوتری، نمایش‌های دیجیتالی از شبیه‌سازی‌هـای جنـگ روی تخته بودند؛ با این حال، زمان زیادی طول نکشید تا متوجـه شـوند کـه مـی‌تواننـد بـه‌طـور ریاضی این سناریو را بسازند (شریدر[۱]، ۲۰۰٦).

یک مشکل شبیه‌سازی جنگ، تکرارپذیری است. برای انسان دشوار اسـت کـه اقـدامات خود را به‌طور کامل تکرار کنند. با این حال، کامپیوترها در تکرارپذیری کاملاً ماهر هسـتند. بنابراین، ماشینی‌سازی به‌عنوان پیامد طبیعی نیازهای شبیه‌سـازی بـه‌وجـود آمـد. همـراه بـا پیشرفت‌های بعدی در ماشین‌آلات محاسباتی، شبیه‌سازی نظامی به سرعت با بازنمایی‌هـای کمی از نبرد در برنامه‌های کـامپیوتری رشـد یافـت کـه بـرای تصـمیم‌گیـری مفیـد اسـت. شبیه‌سازی رایانه‌ای نبرد در دهه ۱۹۵۰ با تکیه برجنگ‌های زمینی مقیاس کوچـک گسـترش یافت. کارمنت، عواملی چون هدف‌گیری سلاح، رسیدن به موقعیت هدف، شلیک اسـلحه و ارزیابی حمله را در نظر گرفت (باتیلگا[۲]، ۱۹۸٤).

در اواسط دهه ۱۹۷۰ شبیه‌ساز تاکاونر[۳] نبرد هوایی دو جنگنده هوایی را مدل‌سازی کرد. همچنین فرمول‌های لنچستر[٤] برای مدل‌سازی جنگ‌ها در مقیاس بزرگ مورد اسـتفاده قـرار گرفت. رفته رفته رویکردهای متنوعی از شبیه‌سازی‌های رایانـه‌ای از انـواع مختلـف هـوش

---

۱. Shrader
۲. Battilega
۳. TACAVENER
٤. Lanchester formulas

مصنوعی تا انواع جدیدتر و جدی‌تر آنها همچون نظام‌های پویا، حیات مصنوعی[1] و خود ساماندهی سلول در شبیه‌سازی جنگ مورد استفاده قرار گرفت.

بنیان روش‌هایی که برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی جنگ‌افزارها در این مقاله، براساس مطالعات صورت گرفته از مراجع (شلتون[2]، ۲۰۱٤)، (هانگ[3]، ۱۹۹۷) و (بینگل[4]، ۲۰۰۷) الهام گرفته شده است؛ در (بینگل،۲۰۰۷) الگوریتم ژنتیک برای یک نظام پویای چند هدفی مورد بررسی قرار گرفته است؛ در پژوهش حاضر نیز بخشی از الگوریتم ارائه شده مبتنی بر الگوریتم ژنتیک طراحی شده است که به‌وسیله آن ضرایب موجود در الگوریتمی که نحوه تصمیم و حرکت را مدل‌سازی می‌کند، بهینه شده‌اند. (شلتون، ۲۰۱٤) و (هانگ، ۱۹۹۷) کوشیده‌اند تا با الگوهایی به مسئله حمل و نقل بپردازند، که از دو جنبه واجد ضعف است. اول این که شبیه‌سازی پویا که درآن اشیا مختلفی در هر لحظه تغییر می‌کنند، بسیار محاسبات زیادی را می‌طلبد و الگوهای ارائه شده در مقاله‌های مذکور زمان‌بر هستند (در این مورد حتی کاراترین الگوریتم‌های مسیریابی مثل دایکسترا ناکارآمد و کند بودند). دیگر این که مسئله ما فقط انتخاب مسیر با کمترین هزینه نیست، بلکه مسئله انتخاب مسیری با هزینه کم است که تهدید بیشتری را نیز متوجه دشمن کند. ما با تعبیه الگوریتم‌هایی کارآمد و سریع هستند، شبیه‌سازی را سرعت و دقت بخشیدیم.

۳. روش شناسی تحقیق

پژوهش حاضر بر آن است تا در تصمیم‌گیری و مدیریت نبرد به فرماندهان و در آموزش به تصمیم‌سازان آینده یاری برساند. در واقع ما ابتدا به جمع‌آوری پیشینه شبیه‌سازی نبرد، تاریخ تحولات آن و سپس به توصیف دیدگاه‌ها و روش‌های موجود پرداخته و چالش‌های موجود در شبیه‌سازی نبرد را مدنظر قرار داده‌ایم. ریاضیات مورد نیاز برای

---

۱. Artificial life
۲. Shelton
۳. Huang
٤. Bingul

شبیه‌سازیمان را ارائه کرده و در ادامه به شبیه‌سازی مولفه‌هایی چون زمین نبرد، سربازان و حرکت پرداخته‌ایم. همچنین با طرح‌ریزی توابع و مدول‌هایی به سربازان این امکان را می‌دهیم که به‌طور پویا و خودکار تصمیم‌گیری کنند؛ تمام این مراحل به روش تحلیلی، کاربردی و گسترشی هستند. زیرا هدف از تحقیق کاربردی به‌دست آوردن دانش لازم برای تهیه ابزاری است که به‌وسیله آن نیازی مشخص و شناخته شده برآورده می شود (خاکی، ۱۳۹۲). از طرفی، تحقیق پیش‌رو توسعه‌ای نیز هست؛ زیرا در تحقیق توسعه‌ای فرایند شناسایی یک نیاز با استعداد، پیدایش یک اندیشه یا آفرینشی تازه روی می‌دهد (خلیلی شورینی، ۱۳۹۲).

٤. یافته‌های تحقیق و تجزیه و تحلیل داده‌ها

٤-١. الزامات طراحی یک الگو برای شبیه‌سازی ریاضی صحنه نبرد

برای شبیه‌سازی صحنه نبرد نیازمند مدل‌سازی عناصر موجود در میدان نبرد هستیم. از این رو برای پاسخ به این نیاز، زمین نبرد، سربازان، نحوه حرکت، میدان دید و مرگ آنها را مدل‌سازی و شبیه‌سازی می‌کنیم.

٤-١-١. شبیه‌سازی زمین نبرد

گام نخست برای شبیه‌سازی یک نبرد، شبیه‌سازی زمین نبرد است. برای شبیه‌سازی زمین نبرد می‌توان از یک یا چند لایه ماتریس استفاده کرد که به روش‌های مختلفی قابل تولید است. قطعه‌ای تخت از زمین را با ماتریس $\begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$ متناظر و شبیه‌سازی می‌کنیم. برای این منظور کافی است زمین را مدرج کرده و هر گره ایجاد شده را با یک درایه ماتریس متناظر می‌کنیم. اکنون پستی بلندی‌ها را می‌توان از طریق مقداردهی به درایه‌های ماتریس ایجاد کرد. یک برآمدگی به مرکز (a,b) را می‌توان از طریق فرمول $z = de^{c(-(x-a)^2-(y-b)^2)}$ ساخت که در آن c پهنای دامنه برآمدگی و d ارتفاع برآمدگی را مشخص می‌کند. در حقیقت، زمین ما ماتریسی است که مولفه (x,y)-ام آن مقداری برابر $z = de^{c(-(x-a)^2-(y-b)^2)}$ دارد. به همین ترتیب می‌توان پستی و بلندی‌های متفاوت را برای زمین طراحی کرد. ما همچنین در بعضی موارد از یک لایه ماتریس برای ایجاد سنگر

یا دیوار استفاده می‌کنیم تا به این وسیله پناهگاه‌هایی طراحی کرده و زمین نبرد را واقعی‌تر شبیه‌سازی کنیم. نرم‌افزار متلب همچنین قابلیت دریافت عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای مناطق مختلف را دارد (شرکت مت ورک[1]، ۲۰۰٤).

٤-۱-۲. شبیه‌سازی سربازان

شبیه‌سازی سربازان در دو تیم قرمز و آبی که مقابل یکدیگر و در نبرد با یکدیگر هستند، شکل می‌گیرد. تیم قرمز شامل یگان‌های مختلفی مثل R1، R2 و ... است که هر یک از این یگان‌ها توسط یک لایه ماتریس که فقط شامل ۰ و ۱ است، ایجاد می‌شود؛ اگر مولفه ij-ام ماتریس یگان k-ام یعنی R_k، یک باشد به این معنی است که در آن نقطه سربازی هست و اگر صفر باشد یعنی سربازی نیست. پس از آغاز نبرد، هر یگان ابتدا به سمت هدف اول خود حرکت می‌کند و پس از رسیدن به آن مسیر خود را به سمت هدف دوم خود تغییر می‌دهد و این فرآیند تا آنجا ادامه دارد که آنها به آخرین هدف مکانی خود برسند و در اطراف آن مستقر شوند. برای تیم آبی نیز به‌وسیله لایه‌های مختلف ماتریسی، یگان‌های B1، B2 و ... را تعریف کرده‌ایم.

هر سرباز توسط تیم خود (قرمز یا آبی)، شماره یگانی که در آن قرار دارد و شماره خود در آن یگان به‌صورت یکتا شناسایی شده و اطلاعاتی که به او نظیر شده، قابل بازیابی است. نرم‌افزار از عدم تداخل یگان‌ها و استقرار صحیح آنها به‌صورت خودکار اطمینان حاصل می‌کند. همچنین کاربر اهداف مکانی دلخواه خود را که به راهبرد او وابسته است را برای هر یگان مشخص می‌کند.

٤-۱-۳. شبیه‌سازی حرکت سربازان

اگر یک سرباز در درایه (i,j) ماتریس نظیر زمین باشد، می‌تواند در هر لحظه به یکی از درایه‌های (i+1,j+1)، (i,j+1)، (i-1,j+1)، (i+1,j)، (i,j)، (i-1,j)، (i+1,j-1)، (i,j-1) و (i-1,j-1) حرکت کند. حرکت سربازان به‌صورت همزمان در هر لحظه، انجام می‌شود و میدان شبیه‌سازی شده نبرد به‌طور لحظه‌ای به‌هنگام می‌شود. از این پس دغدغه ما طراحی

1. MatWork Corporation

الگوریتمی است که هر سرباز به کمک آن بتواند به‌طور هوشمند تصمیم بگیرد چگونه و به کدام سمت حرکت کند.

٤-١-٤. شبیه‌سازی دید سربازان

برای این که حرکت انجام شود، ابتدا نیاز داریم توسط مکانیزمی نقاطی را که هر یک از سربازان در هر لحظه می‌توانند ببینند، در اختیار داشته باشیم. نقاطی که یک سرباز در هر لحظه می‌بیند، در واقع نقاطی است که اگر یک شعاع نور را از سر سرباز بتابانیم، به آن نقطه برخورد کند. در حقیقت دید سرباز S در یک لحظه ثابت، یک ماتریس مانند M_S است که شامل عناصر ۰ و ۱ است. اگر مولفه (i,j)-ام صفر باشد به این معناست که سرباز نقطه (i,j)-ام زمین را نمی‌بیند و اگر۱در مولفه (i,j)-ام باشد یعنی سرباز نقطه (i,j)-ام زمین را می‌بیند.

٤-٢. شبیه‌سازی رانه‌هایی برای حرکت و تصمیم گیری

شبیه‌سازی همواره با این نگرانی همراه است که محاسبات کامپیوتری بیش از حد، زمان نیاز داشته باشند و بنابراین، در طراحی یک الگو باید سادگی و بهینگی رعایت شود. در عین حال نباید سادگی منجر به نتایج غیر واقعی و نامطلوب شود. ما بر آنیم تا با تعریف حداقل تعداد قیود ممکن، نحوه حرکت و تصمیم‌گیری هوشمند را برای هر سرباز امکان‌پذیر کنیم. رانه‌های حرکت و تصمیم‌گیری را در سه دسته در نظر گرفته ایم:

۱. به سمت اهداف مکانی که برای یگانت تعریف شده است حرکت کن.
۲. نزدیک افراد یگان خود در درجه اول و سپس نزدیک افراد گروه خود قرار داشته باش.
۳. در مسیرهایی حرکت کن که نسبت به دشمن در پناه قرار داشته باشی یا در تیررس نباشی.

در واقع مسئله ما به این شکل در می‌آید که کوتاهترین مسیر را به سمت هدف مکانی مشخص شده بیابیم، به‌طوری که شرایط ۲ و ۳ را برآورده کنیم. برای اینکه بتوانیم رانه‌های

اول تا سوم را که در بالا ذکر کردیم، به‌گونه‌ای (به زبان برنامه نویسی) بیان کنیم، باید ماتریس دید هر سرباز را مورد بررسی و استفاده قرار دهیم. اولین گام در این مسیر را با ایده‌ای توپولوژیک و تعریف هشت همسایگی‌حول هر سرباز برداشته‌ایم. فرض کنیم سرباز در نقطه (i,j) از زمین باشد. متناظر با هر گامی که سرباز می‌تواند در لحظه بعد بردارد یک همسایگی تعریف می‌کنیم.

همسایگی ۱ یا همسایگی شمال شرقی مربعی است با رئوس (i,j)، (i+r,j)، (i,j+r) و (i+r,j+r).

همسایگی ۲ یا همسایگی شمال مربعی است با رئوس $(i-\frac{r}{2},j)$، $(i+\frac{r}{2},j)$، $(i-\frac{r}{2},j+r)$ و $(i+\frac{r}{2},j+r)$.

همسایگی ۳ یا همسایگی شمال غربی مربعی است با رئوس (i,j)، (i-r,j)، (i,j+r) و (i-r,j+r).

همسایگی ٤ یا همسایگی شرقی مربعی است با رئوس $(i,j-\frac{r}{2})$، $(i,j+\frac{r}{2})$، $(i+r,j-\frac{r}{2})$ و $(i+r,j+\frac{r}{2})$.

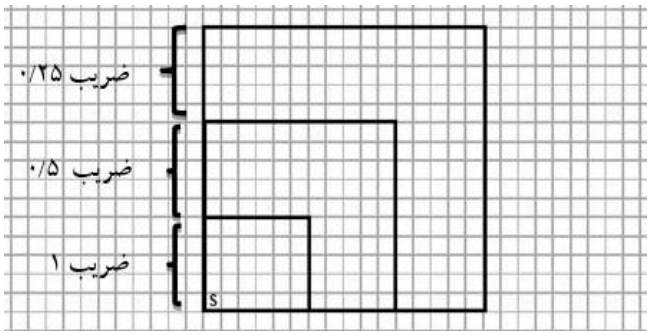
همسایگی ٥ یا همسایگی غربی مربعی است با رئوس $(i,j-\frac{r}{2})$، $(i,j+\frac{r}{2})$، $(i-r,j-\frac{r}{2})$ و $(i+r,j+\frac{r}{2})$.

همسایگی ٦ یا همسایگی جنوب شرقی مربعی است با رئوس (i,j)، (i+r,j)، (i,j-r) و (i+r,j-r).

همسایگی ۷ یا همسایگی جنوبی مربع با رئوس $(i-\frac{r}{2},j)$، $(i+\frac{r}{2},j)$، $(i-\frac{r}{2},j-r)$ و $(i+\frac{r}{2},j-r)$.

همسایگی ۸ یا همسایگی جنوب غربی مربعی است با رئوس (i,j)، (i-r,j)، (i,j-r) و (i-r,j-r).

هر همسایگی متناظر با یک جهت است. در ادامه هنگامی که می‌خواهیم معیارهای حرکت و تصمیم‌گیری را برای هر سرباز شبیه‌سازی کنیم، کاربرد این همسایگی‌ها به‌وضوح قابل دیدن هستند. می‌خواهیم به هر یک از همسایگی‌ها بُعد دهیم، یعنی با نوعی ارزش‌گذاری، همسایگی‌ها را نسبت به اطلاعات در فواصل نزدیک، میانی و دور حساس کنیم. به‌عنوان نمونه یکی از هشت همسایگی حول سرباز S که در نقطه (i,j)–ام از ماتریس قرار دارد را در زیر نمایش می‌دهیم:



تصویر ٤: نحوه تخصیص بعد به یک همسایگی

این همسایگی شمال شرقی حول سرباز S است. هر همسایگی از سه لایه تشکیل شده است که علاوه بر گستره دید، بتوانیم با امتیازدهی‌های مختلف دور یا نزدیک بودن چیزهایی را که در گستره دید سرباز S قرار دارد، شبیه‌سازی کنیم. در واقع اگر اطلاعاتی در منطقه ضریب k یا نزدیک قرار داشته باشد، مقدار آن در k ضرب می‌شود.

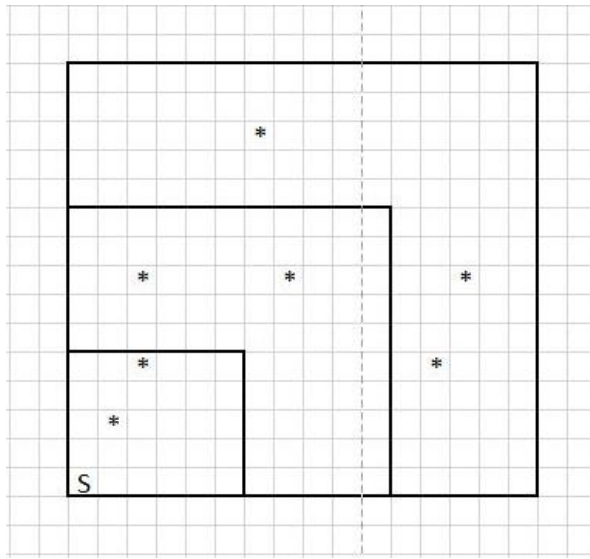
٤-۲-۱. شبیه‌سازی رانه اول

در این قسمت تلاش می‌کنیم تا سرباز تشخیص دهد که چه نقاط و مسیرهایی امن هستند. برای این منظور ابتدا ماتریس دید سرباز S را فرامی‌خوانیم و به دو صورت متفاوت از آن استفاده می‌کنیم. بار اول، ماتریس دید سرباز اول را در ماتریس دشمنانش (ماتریسی که مقدار هر درایه‌اش تعداد سربازان موجود در آن را نشان می‌دهد) ضرب نقطه‌ای می‌کنیم. این ماتریس نشان می‌دهد که سرباز S از جایگاه و حضور چه تعداد سرباز آگاه است. نام این ماتریس را V_S قرار می‌دهیم. اکنون ماتریس دید هر سربازی را که در V_S وجود دارد، فراخوانی کرده و تمام آنها را با هم جمع می‌کنیم. اگر درایه (i,j)-ام عدد n باشد به این معنی است که سرباز S آگاه است که n سرباز دشمن نقطه (i,j)-ام زمین را می‌بیند. به این ترتیب هر نقطه زمین را از نظر در پناه بودن ارزش‌گذاری کرده‌ایم. در ادامه با استفاده از ایده همسایگی‌ها تابعی تعریف کرده و از این ارزش‌گذاری برای چگونگی حرکت بهره برده‌ایم.

اکنون سعی می‌کنیم معیار دیگر خود را توصیف کنیم. یک سرباز واقعی وقتی می‌خواهد از پشت یک دیوار خارج شود اگر چه نمی‌بیند که پشت دیوار چند سرباز وجود دارد، اما همواره نسبت به این موضوع محتاط است و به علاوه با توجه به صداها یا علائم دیگر حس می‌کند که ممکن است پشت این دیوار تعداد کم یا زیادی سرباز دشمن وجود داشته باشد یا خیر. برای این منظور ما این بار ماتریس دید سرباز S را مد نظر قرار نمی‌دهیم و فقط به این موضوع توجه می‌کنیم که چند سرباز نقطه (i,j)-ام زمین را می‌بینند و به این روش به هر نقطه معیاری برای در پناه بودن می‌دهیم اما این بار فارغ از حس بینایی سرباز S. سپس با استفاده از ایده همسایگی‌ها تابعی تعریف کرده تا چگونگی حرکت و جهت را مشخص کند. در نهایت ترکیب خطی این دو معیار به ما کمک می‌کند تا به یک شبیه‌سازی نزدیک‌تر به حس بینایی و سایر حواس دست پیدا کنیم. در شبیه‌سازیی که فقط متکی بر معیار اول باشد، حرکات سربازها در بعضی موارد غیر معقول، ناصحیح و دور از چیزی است که در واقعیت توقع داریم.

٤-٢-٢. شبیه‌سازی رانه دوم

می‌خواهیم رانه «نزدیک افراد یگان خود در درجه اول و سپس نزدیک افراد گروه خود قرار داشته باش» را مدل‌سازی کنیم. ماتریس دید سرباز S فراخوانده می‌شود. سپس به‌عنوان نمونه، این ماتریس در همسایگی شمال شرقی ضرب نقطه‌ای می‌شود. ماتریس حاصل دوباره در لایه ماتریس نیروهای خودی ضرب نقطه‌ای می‌شود. ماتریس نهایی که آن را F می‌نامیم شامل عناصر ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ است که در آن ۱ نماینده سرباز خودی نزدیک در آن همسایگی، ۰/۵ نماینده سرباز خودی دور در آن همسایگی و ۰/۲۵ نماینده سرباز خودی خیلی دور در آن همسایگی خواهد بود. اکنون اگر مجموع اعداد ماتریس F را در نظر بگیریم، معیاری برای اعتبار حرکت در سمت شمال شرقی (نسبت به رانه اول) به دست خواهد داد. برای سایر همسایگی‌ها نیز این کار تکرار می‌شود و سپس سایر جهت‌ها نسبت به این رانه اعتبار سنجی می‌شود.



تصویر ۵: سربازان خودی موجود در سیطره دید سرباز S در همسایگی شمال شرقی

بدیهی است همسایگی‌ای که نسبت به این معیار امتیاز بیشتری کسب کند، همسایگی مناسب‌تری برای قرار گرفتن در نزدیکی دوستان است. برای آنکه نحوه پیاده‌سازی این الگو به ذهن بیشتر تقریب شود، همسایگی شمال شرقی را در نظر گرفته و فرآیند توضیح داده شده در بالا را روی آن پیاده می‌کنیم. فرض کنیم هر "*" در شکل ۳-۱۲ نماینده یک سرباز خودی در همسایگی شمال شرقی سرباز S باشد. طی فرآیند مذکور همسایگی شمال شرقی به ماتریس شکل ۱۲-۳ تبدیل می‌شود که در آن همه درایه‌ها به جز درایه‌هایی که مقدار دهی شده‌اند صفر هستند و معیاری از ارزشمندی نسبت به رانه اول را در همسایگی شمال شرقی را به دست می‌دهد.

نکته قابل توجه در اینجا این است که، رانه «نزدیک خودی‌ها باش، به نوعی تاثیری مضاعف دارد»، به این معنا که فرد در مسیری حرکت می‌کند که در پناه باشد و به علاوه با نزدیک بودن به خودی‌ها، در تجربه آنها در مورد انتخاب مسیر خوب و در پناه شریک می‌شود. بنابراین نوعی کانال ارتباطی وجود دارد که در آن نفرات از تجربیات یکدیگر تاثیر می‌پذیرند.

٤-٢-٣. شبیه‌سازی رانه سوم

برای هر یگان موقعیت‌های مکانی‌ای در زمین مشخص می‌شود که باید یکی پس از دیگری به آنها نزدیک شود. برای دستیابی به این مهم، ما ابتدا تلاش کردیم تا از الگوریتم دایکسترا استفاده کنیم، اما استفاده از این الگوریتم بسیار زمان‌بر و ناکارآمد بود. در واقع، از آنجا که شبیه‌سازی ما پویاست، موقعیت همه سربازها در هر لحظه به هنگام می‌شود و اطلاعات دستخوش تغییرات جدی می‌شوند. بنابراین الگوریتم دایکسترا مجال کافی برای کار با داده‌هایی ثابت را برای پیدا کردن مسیر کوتاهی را که دارای امنیت بالایی باشد، ندارد.

راهکار ما دوباره بر اساس همسایگی‌های حول یک سرباز، پی‌ریزی شده است. ابتدا ماتریس دید سرباز را فراخوانی می‌کنیم و آن‌را به هر همسایگی تحدید می‌کنیم؛ سپس فاصله هر درایه از هر همسایگی (فقط قسمت قابل مشاهده) را تا هدف مکانی او اندازه‌گیری می‌کنیم و در درایه‌های با همان اندیس اما در ماتریسی جدید قرار می‌دهیم. در نهایت با تعریف و به کارگیری توابعی به همسایگی i–ام میانگین فاصله نقاط قابل مشاهده آن همسایگی تا هدف مکانی را اختصاص می‌دهیم تا معیاری برای دور یا نزدیکی جهت متناظر آن (مثلا همسایگی شمال شرقی متناظر با جهت شمال شرقی است و معیار به ما می‌گوید که حرکت در جهت شمال‌شرقی به چه میزان مناسب است) به دست دهد. الگوریتمی که ما برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر به‌کار بردیم بسیار سریع بوده و در عین حال مسیرهایی بسیار مناسب در تست‌ها را به‌دست می‌دهد. به‌علاوه، از نظر شهودی به روش انتخاب کوتاه‌ترین مسیر به روشی که یک انسان عمل می‌کند، شباهت دارد.

٤-٢-٣. شبیه‌سازی مرگ سربازان

برای اینکه نبرد خاتمه داشته باشد، باید مرگ شبیه‌سازی شود. وقتی دو سرباز در سیطره دید یکدیگر قرار می‌گیرند، می‌توانند به یکدیگر شلیک کنند. اما باید سنجیده شود که کدام یک در موضع بهتری قرار دارند یا به عبارت دیگر احتمال مرگشان کمتر است. معیار دیگری که برای شبیه‌سازی مرگ در نظر گرفتیم این است که وقتی دو سرباز به سمت یکدیگر شلیک می‌کنند، امکان خطا وجود دارد و بنابراین، در کنار احتمال باید نوعی

شانس هم دخیل باشد تا این امکان را به‌وجود آورد که تیری به خطا برود یا سربازی که شانس کمتری برای زنده ماندن دارد، زنده بماند و دیگری بمیرد. از طرف دیگر مرگ پدیده‌ای سراسری است، به موضع، به همسایگی و به دید سربازها بستگی ندارد؛ اگر سربازی در موقعیتی نامناسب باشد، به‌طوری که توسط سربازهای دشمن دیده شود، از بین خواهد رفت.

بنابراین ما برای اینکه احتمال مرگ یک سرباز را بسنجیم، ماتریس دید تمام سربازهایی که با او دشمن هستند را فراخوانی کرده و جمع می‌بندیم. حاصل ماتریسی است که به درایه (i,j)–ام تعداد سربازانی که نقطه (i,j) زمین را روئیت می‌کنند، نسبت می‌دهد. به کمک این اطلاعات تابعی تعریف می‌کنیم تا با توجه به مکانی که سرباز S قرار دارد، احتمال مرگی به او تخصیص دهد. سپس با تولید اعداد شانسی به کمک توزیع نرمال، مشخص می‌کنیم که سرباز S زنده می‌ماند یا می‌میرد.

برای نوشتن تابع مرگ ما ظرافت‌های دیگری را نیز به کار بردیم. اگر در همسایگی اطراف سرباز S، سربازان خودی وجود داشته باشند، این به‌عنوان امکان حمایت از او به‌شمار می‌آید و احتمال مرگش را کاهش می‌دهد. به علاوه، احتمال مرگ سرباز S نه تنها به‌واسطه مکانی که در آن ایستاده بلکه به‌واسطه مسیری که پیموده است تعیین می‌شود. به‌عنوان نمونه اگر سرباز S پشت سنگری باشد و از پشت سنگر بیرون بیاید و سه سرباز دشمن او را ببینند، احتمال مرگش بسیار کمتر از حالتی است که سرباز S در گام قبل پشت سنگر نباشد. در واقع این تابع به‌گونه‌ای طراحی شده است که به ما امکان می‌دهد سربازها بتوانند خیز سه ثانیه امنی داشته باشند.

٤-٣. ملاحظات برای طراحی الگوی برای شبیه‌سازی نبرد

تمام مولفه‌هایی که تا اینجا معرفی کرده‌ایم، نظیر زمین، سربازان، نحوه حرکت، دید، رانه‌ها و مرگ آنها را به‌دقت توسط نرم‌افزار متلب و به کمک توابع و مدول‌هایی شبیه‌سازی و پیاده‌سازی کرده‌ایم. اکنون وقت آن است که با استفاده از این ابزارهای موجود صحنه نبرد را به‌طور پویا شبیه‌سازی کنیم.

هر سرباز در هر لحظه به‌وسیله مولفه‌های تعیین شده تصمیم می‌گیرد که به کدام سمت حرکت کند (نحوه تصمیم‌گیری را با جزئیات توصیف خواهیم کرد). بعد از اینکه تک تک سربازان یک یگان تصمیم گرفتند که به چه مقصدی حرکت کنند، به‌صورت همزمان همه با هم حرکت می‌کنند. اگر (X,Y,Z) زمین نبرد، (x_g, y_g) هدف مکانی سرباز و ghad نماینده قد سرباز مستقر در نقطه (x,y) باشد $D = GolGol(X, Y, Z, x, y, Xg, Yg, ghad)$ تابعی است که در هر لحظه ماتریسی یک در هشت را گزارش می‌کند که مولفه i–ام آن عددی به همسایگی i–ام (یا به‌صورت معادل جهت i–ام) نسبت می‌دهد که برآورد کننده میزان فاصله سرباز تا هدف مکانی اوست نحوه ساختن آن را در شبیه‌سازی رانه سوم بیان کردیم. برای رانه در پناه قرار داشتن نسبت به دشمن تابعی را طراحی کرده‌ایم که در هر لحظه به هر نقطه از زمین عددی بزرگتر یا مساوی صفر نسبت می‌دهد؛ نحوه ساختن این تابع را در شبی‌سازی رانه اول بیان کرده‌ایم. فرض کنیم p تابع مذکور باشد. با اضافه کردن ضریب α به p از زمین نبرد یعنی Z تابعی به دست می‌آوریم که به هر نقطه (x, y)از زمین عددی را نسبت می‌دهد که نماینده میزان فاصله تا هدف و در عین حال میزان در پناه بودن است. اکنون اگر تابع کوتاهترین مسیر را برای $Z + \alpha p$ به جای Z به کار ببریم، یعنی $D = GolGol(X, Y, Z + \alpha p, x, y, Xg, Yg, ghad)$، سرباز مسیری را انتخاب می‌کند که هم به هدف نزدیک باشد و هم در پناه قرار داشته باشد.

به دلیل این که در پناه بودن ارزشی اساسی دارد در توابع مختلف استفاده شده است.

تابع

$$DD(1,i) = min(min(p(INBH\{i,:,1\}, INBH\{i,:,2\}).* vis(INBH\{i,:,1\}, INBH\{i,:,2\})) + mean(mean(p(INBHH\{i,:,1\}, INBHH\{i,:,2\}).* vis(INBHH\{i,:,1\}, INBHH\{i,:,2\}));$$

که در نرم‌افزار متلب نوشته شده است، در هر لحظه و برای هر سرباز استفاده می‌شود و در آن INBH{i,:,1} و INBH{i,:,2} کران‌های همسایگی i–ام را مشخص می‌کنند. این تابع به همسایگی i–ام مقدار $DD(1,i)$ را اختصاص می‌دهد که نماینده حاصل‌جمع میانگین پناه نقاط قابل مشاهده و کمترین مقدار پناه در میان نقاط قابل مشاهده در همسایگی i–ام است. این تابع نیز به‌عنوان یکی از توابع موثر در نحوه حرکت به کار برده شده است.

برای این منظور که سرباز امکان ریسکی معقول را داشته باشد، ماتریس W را تعریف کرده‌ایم. این ماتریس نیز در هر لحظه و برای هر سرباز تغییر می‌کند. اگر در یک لحظه ثابت مقدار p برای سرباز S در نقطه (i,j) کمتر یا مساوی یک باشد، قرار می‌دهیم

$$w(i,j) = w(i,j \mp 1) = w(i,j \mp 2) = 1$$
$$w(i \mp 2,j) = w(i \mp 2,j \mp 1) = w(i \mp 2,j \mp 2) = w(i \mp 1,j) = w(i \mp 1,j \mp 1) = w(i \mp 1,j \mp 2) = 1$$

و در غیر این صورت مقدار آنها را صفر قرار می‌دهیم. در حقیقت ماتریس W نقاط امن و نقاطی که سرباز با قبول مخاطره‌ای معقول می‌تواند به آنها برود را با مقدار یک متمایز می‌کند. با استفاده از W ما از رفتن سرباز S به نقاط غیر معقول جلوگیری می‌کنیم.

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره کردیم، باید از اینکه سرباز در یک دور گیر کند، جلوگیری کنیم. برای این منظور مسیری را که هر سرباز می‌پیماید (از ابتدا تا زمانی که از بین می‌رود)، ذخیره می‌کنیم و از طریق ماتریس‌ها و توابعی سرباز را از بازگشت به مکان قبلی و ۱۵ گام پیشین خود برحذر می‌داریم. در نهایت وقتی سرباز تصمیم گرفت که به کدام سمت گام بردارد، این بررسی صورت می‌گیرد که روی سرباز دیگری قرار نگیرد؛ به‌طور کلی می‌توان نقاطی را تعریف کرد که سربازان هیچگاه نتوانند روی آنها بروند. در صورتی که سرباز بخواهد به مکانی نامناسب قدم بردارد، بلافاصله انتخاب او برای گام برداشتن حذف شده و تغییر می‌کند و انتخاب بعدی او برای حرکت، جایگزین می‌شود. سپس تابعی سراسری، انتخاب‌ها و مکان‌های جدید همه سربازان را بررسی می‌کند و با توجه به موقعیت آنها تصمیم می‌گیرد که کدام یک از سربازها زنده می‌مانند و کدام یک می‌میرند.

٤-٣. الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی ابر پارامترهای تابع تصمیم

در این قسمت ابتدا یک ساختار کروموزومی برای حل مسئله با توجه به فرضیات ایجاد می‌کنیم، پس از ایجاد این کروموزوم جمعیت اولیه به‌صورت شبه تصادفی تولید می‌شود، با توجه به پیچیدگی مسئله ما در هر گام از تولید نسل کروموزوم‌ها، بیش از یک بار تابع برازش را مورد استفاده قرار می‌دهیم. هر یک از توابع برازش در هر نسل نحوه حرکت

ایجاد شده توسط یک کروموزم ثابت را در چند زمین و چند وضعیت متفاوت در هر زمین را می‌سنجد. در نهایت میانگین همه برازش‌ها را به‌عنوان برازش اصلی آن کروموزوم ثابت در نظر می‌گیریم.

در تابع تصمیم‌ساز رانه‌های حرکت را به کمک ضرایبی به یکدیگر مرتبط می‌کنیم، برای این منظور ۸ ضریب مورد نیاز است که آنها را $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_8$ می‌نامیم. بردار حاصل از این هشت عدد، کروموزوم را تشکیل می‌دهد که در واقع ابرپارامترهای الگوریتم ارائه شده هستند. مقداردهی جمعیت کروموزوم‌های اولیه به‌صورت شبه تصادفی در نظر گرفته شده است. تابع برازش یکی از بخش‌های مهم الگوریتم ارائه شده به‌شمار می‌آید. در ادامه به توصیف این تابع برازش می‌پردازیم. زمین نبردی را به همراه دشمنان، محل استقرارشان، عوارض زمین و هدف مکانی را که سرباز باید به آن دست یابد، با دقت طراحی می‌کنیم. تابع برازش کروموزوم $[\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_8]$ را دریافت می‌کند و سپس به‌وسیله جایگزین کردن ضرایب این بردار با ضرایب نظیر موجود در تابع تصمیم‌ساز، رانه‌ای جدید برای تصمیم‌گیری و حرکت سرباز تولید می‌کند. سرباز توسط این تابع جدید شروع به حرکت می‌کند و از نقطه ابتدا تا مقصد حرکت می‌کند. فرض کنیم سرباز این مسیر را در n گام بپیماید و در گام i–ام تعداد سرباز دشمن v_i و w_i سرباز خودی او را ببینند و همچنین احتمال مرگ او در گام i–ام برابر P_i باشد. در این صورت تابع برازش را به‌صورت

$$E([\alpha_1, \cdots, \alpha_n]) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} v_i(1 - \ln(p_i)) - w_i & n < 150 \\ \infty & n \geq 150 \end{cases}$$

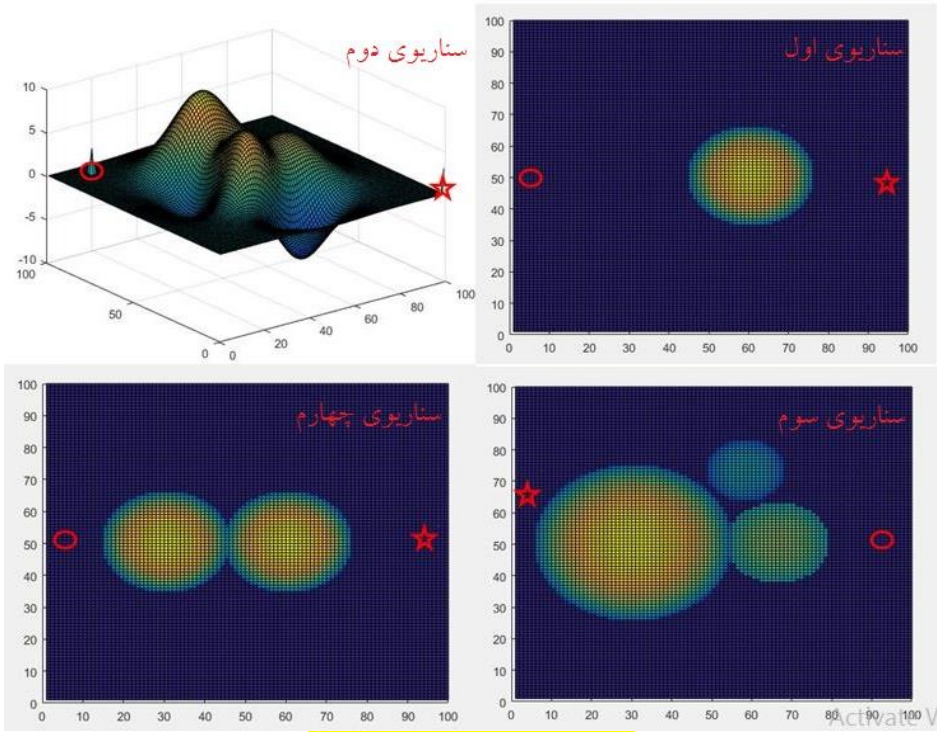
تعریف می‌کنیم. عدد ۱۵۰ به این دلیل در ضابطه تابع برازش ظاهر شده است که ما زمین‌ها را طوری طراحی کرده‌ایم که به‌طور قطع سرباز بتواند راهی پیدا کند که به‌وسیله آن پیش از ۱۵۰ گام به هدف برسد و اگر چنین راهی را پیدا نکند، به قطع سر در گم شده است. این تابع برازش مسیری را ارزشمند می‌داند و به آن هزینه اندکی را اختصاص می‌دهد که سرباز در طی آن کمتر در معرض دید و آسیب دشمن باشد و اگر در معرض دید دشمن است، در پناه باشد و بتواند به آنها آسیب برساند و در نهایت در کنار یاران خودی باشد. برای عملگر ترکیب روش ترکیب n نقطه‌ای و برای جهش از جهش گوسی

استفاده کرده‌ایم. با توجه به مقدار برازش به دست آمده برای هر یک از کروموزومها ابتدا ٤٠ درصد از جامعه به روش نخبه‌گرایی به نسل بعد منتقل می‌شوند و انتخاب بقیه ٦٠ درصد جمعیت کروموزوم‌ها با چرخ رولت یک محوره صورت می‌گیرد.

٤-٤. اعتبارسنجی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور اعتبار سنجی الگوریتم فراابتکاری ارائه شده، چند سناریو طراحی کرده و به کمک الگوریتم دایکسترا کوتاهترین مسیر بین دو نقطه از این سناریو (که شامل نقاطی دارای خطر، یا ارتفاع و پستی و بلندی و به‌طور کلی با هزینه بالا است) را محاسبه کرده و با تعداد گام‌هایی که سرباز توسط الگوریتم ارائه شده برای پیمایش فاصله بین این دو نقطه برمی‌دارد، مقایسه خواهیم کرد. برای استفاده از الگوریتم دایکسترا ابتدا زمین نبرد را به گراف تبدیل کرده و سپس با توجه به سناریو به یال‌های گراف، وزن‌هایی اختصاص داده‌ایم. نکته قابل توجه در این میان این است که یافتن کوتاهترین مسیر در این سناریوهای قابل پیش‌بینی با خطرات و تهدیدهای ثابت که لحظه به لحظه به هنگام نمی‌شوند، توسط الگوریتم دایکسترا زمانی بین ١٠٠ تا ١١٠ دقیقه محاسبات را طلب می‌کند، این در حالی است که در یک سناریوی پیچیده‌تر متغیرها بسیار زیادتر بوده، در هر لحظه تغییر می‌کنند و این امر پیچیدگی محاسبات را بیشتر نیز می‌کند. با این اوصاف الگوریتمی که ما ارائه کرده‌ایم نه تنها شهودی و منطبق با توانایی انسآنهاست بلکه نیازی به ١٠٠ دقیقه زمان برای محاسبات ندارد؛ تنها در ١٠ ثانیه آن هم به‌صورت گرافیکی الگوریتم ارائه شده نتیجه‌ای نزدیک به نتیجه دقیق را ارائه می‌دهد. همان‌طور که پیش‌تر اشاره کردیم در شرایط بحرانی و استرس‌زا اغلب تصمیم‌گیری‌ها احساسی هستند و در این شرایط سرعت عمل و تحلیل مناسب نیاز اساسی است.

چهار سناریو در تصویر ٦ مشخص هستند که در آنها نقاطی که رنگ گرم‌تری دارند، دارای تحدید بالاتر و در یکی دارای ارتفاع بالاتر هستند. سرباز می‌خواهد از دایره به ستاره برود و مسیرکوتاه امنی را بپیماید. الگوریتم فراابتکاری خود و الگوریتم دایکسترا را برای این سناریوها اجرا کرده‌ایم که در همه آنها الگوریتم ارائه شده عملکرد بهتری دارد.



تصویر ٦ : سناریوهای اعتبار سنجی

در سناریوی اول/دوم/سوم/چهارم تعداد گام‌های برداشته شده توسط الگوریتم ارائه شده در این پژوهش ۱۰۵/۹۲/۱۰۳/۱۰۳ گام است در حالی که محاسبات و نمایش گرافیکی سناریو حدود ۱۰ ثانیه زمان برده است. اما پس از تبدیل زمین نبرد به یک گراف وزن‌دار و صرف زمانی حدود ۱۰۰ الی ۱۱۰ دقیقه برای محاسبات توسط نرم‌افزار متلب تعداد گام‌های برداشته شده توسط الگوریتم دایکسترا ۹۹/۸٦/۹۷/۹۹ گام به دست آمد. خطای الگوریتم ارائه شده نسبت به جواب بهینه به‌دست آمده از دایکسترا ٪۵/۸۱ است، درحالی که زمان محاسبات به‌صورت چشم‌گیری کاهش یافته‌است که در هنگام پیچیدگی سناریو امری بسیار مهم است. خاطر نشان کنیم که این خطا فقط باعث افزایش گام‌ها شده است و توسط الگوریتم ارائه شده سرباز تماما از نقاط امن عبور می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این پژوهش آغاز یک راه بسیار طولانی، پرفایده و چالش‌برانگیز است. برنامه‌ها و الگوریتم‌هایی که در دست داریم، قابلیت آزمودن راهبردها و سناریوهای گوناگون، پذیرفتن تغییرات متنوع در پارامترهای مختلفی که تعبیه کرده‌ایم، طراحی و افزودن پارامترها و مولفه‌های نو را دارا می‌باشند. الگوریتمی که ما برای ترکیب رانه‌های تصمیم‌گیری استفاده کرده‌ایم، قابلیت این را دارد که توسط شبکه عصبی آموزش ببیند. فرض کنیم n سناریو (زمین نبردی که سربازان دشمن و خودی در آن استقرار یافته‌اند) را طراحی کرده‌ایم که مسیر ایده‌آل برای سناریوی i–ام مسیر $P_I(S_i)$ و مسیر پیشنهادی شبکه عصبی برای سناریوی i–ام مسیر $P_N(S_i)$ باشد. در این صورت تابع زیان را به‌صورت $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\int |P_I(S_i) - P_N(S_i)|dA$ تعریف می‌کنیم و اجازه می‌دهیم شبکه عصبی تابع تصمیم‌ساز را بهینه کند.

فهرست منابع و مآخذ

الف. منابع فارسی

- چهاردلی، عباس؛ دهقان، نبی اله؛ علیـزاده، عظـیم (۱۳۹۹)، الگـوی آینـده‌نگـاری راهبـردی دفـاعی، ***فصلنامه مطالعات مدیریت راهبردی دفاع ملی***، (٤)١٤، ۹۱-٢٤.
- کلانتری، فتح‌الله (۱۳۹۵)، مشخصات جنگ احتمالی آینده علیه ج.ا.ایران و راهبردهـای مقابلـه بـا آن، ***فصلنامه علمی راهبرد دفاعی***، (٤)١٤، ۱۰۳-۱۳۱.
- خاکی، غلامرضا (۱۳۹۲)، **روش تحقیق در مدیریت**، نشر فوژان.
- خلیلی شورینی، سیاوش (۱۳۹۲)، **روش های تحقیق در علوم انسـانی**، تهـران: موسسـه انتشـارات یادواره کتاب، چاپ هشتم
- سرخوش، افشین. (١٣٨٦)، بازی جنگ، ***علوم و فنون نظامی***، ٤(٨)، ١١٤-١٢٢.
- گرجی، ابراهیم و برخورداری، سجاد (۱۳۸۸)، **مبانی روش تحقیق درعلوم اجتماعی**، تهران، ثالث.
- ایران نژاد پاریزی، مهدی (۱۳۸۲)، **روش های تحقیق درعلوم اجتماعی**، تهران: نشر مدران.
- الوانی، مهدی (۱۳۷۹)، **تصمیم گیری وتعیین خط مشی دولتی**، سازمان مطالعه و تدوین کتب علـوم انسانی سمت.
- حافظ نیا، محمد (۱۳۸۷)، **مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی**، انتشارات سمت.

ب. منابع انگلیسی

- Chabot, C. (1995). **Defining high Technology** .Stanford: Stanford Publication of Stanford University.
- Chen, J., Zhu, Z, & Xie, H. Y. (2004). Measuring intellectual capital: a new model and empirical study .***Journal of Intellectual Capital***, (1)5, 21-95.
- Commander's Staff (1976). **War Gaming Training Course**, Computer Sciences Corporation, Verginia.
- ABCA Armies Standardization Program (1992). **Catalogue of War Games**, NTIS Report No. AD- A258232.
- Ilachinski, A. (2004). **Artificial war: Multiagent-based simulation of combat.** World Scientific.
- Keegan, John (1976). **The Face of Battle**. Jonathan Cape, London.
- Boo-Bavnbek, B. and Hoyrup, J. (2002). Mathematics and War, The volume grew out of an ***International Meeting on Mathematics and War***, Karlskrona, Sweden, 49-81.
- Clausewitz, Carl von, (1982). **On War**. Penguin Books, London.
- Liljefors, M., Noll, G., & Steuer, D. (2019). **War and Algorithm.** Rowman & Littlefield International.
- Shephard, B., (2001). **A war of nerves: Soldiers and psychiatrists in the twentieth century.** Harvard University Press.
- Popper, K. R. (1966). **The Open Society and its Enemies**. 5th. rev. ed., Routledge & Kegan Poul, London.

- Barber, M., (2006). Wildcards–Signals from a future near you. ***Journal of Futures Studies***, 11(1), 75-94.
- Kuosa, T., (2010). Futures signals sense-making framework (FSSF): A start-up tool to analyse and categorise weak signals, wild cards, drivers, trends and other types of information, ***Futures***, 42(1), 42-48.
- Sandars J., (1975). **An Introduction To Wargaming** , Pellham Books, London.
- Mc Carty D., (1988). **War Games and logistics**.
- Neuman G., (1984). **Defense Planning in Less-Industrialized Statses**, Lexington Books, Massachusetts.
- Gush, G., Finch, G., Andrew D., (1980). **A Guide to Wargaming**, Hippocrene Books, Inc. NewYork, 175-187.
- Moffat, J. and Witty, S. (2002): Bayesian decision making and military command and control, ***Journal of Operations Research Society***, 7, 709–718.
- Hunsaker, P.L., (2007). Using social simulations to assess and train potential leaders to make effective decisions in turbulent environments, ***Career Development International***, 12(4), 341-360.
- Celik, G., Sabuncouglu, I., (2007). Simulation modelling and analysis of a border security system, ***European Journal of Operational Research***, 180(3), 1394-1410.
- Cho, S-H., Eppinger, S.D., (2005). A simulation-based process model for managing complex design projects, ***IEEE Transactions on Engineering Management***, 52(3), 316-328.
- Altenburg, K., Schlecht, J., Nygard, K.E., (2002). An agent-based simulation for modeling intelligent munitions, ***Advances in Communications and Software Technologies***, 9(2), 60-65.
- Power, M., (2007). Digitized virtuosity: Video war games and post-9/11 cyber-deterrence, ***Security Dialogue***, 38(2), 271-288.
- Ruigrok, R.C.J., Hoekstra, J.M., (2007). Human factors evaluations of Free Flight. Issues solved and issues remaining, ***Applied Ergonomics***, 38(4), 437-455.
- Myerson, R.B., (1990). **Game Theory – Analysis of Conflict**, Harvard University Press, Cambridge, Massachusets and London.
- Kuhn, H.W., (1997). **Classics in Game Theory**, Princeton University Press.
- Shrader C.R., (2006). **History of operations research in the united states army**, Volume I, 1942–1962, office of the deputy under secretary of the army for operations research, Washington, DC.
- Battilega J.A., Grange J.K., (1984). **The military applications of modeling**. Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, OH.
- Shelton, L., (2014). Optimizing modern path finding methods In Imperfect 2D Environments, ***Journal of Game Behavior***, 1(1), 126-155.
- Yun-Wu Huang, N.J., Rundensteiner, E.A., (1997). *A Hierarchical Path View Model for Path Finding in Intelligent Transportation Systems*, ***GeoInformatica***. 1(2), 125-159.
- Bingul, Z., (2007). Adaptive genetic algorithms applied to dynamic multiobjective problems, ***Elsevier Applied Soft Computing,*** 7(3), 791–799.
- The MathWork corporation, (2004). **Mapping toolbox for use with matlab**, online free version, 2004.