فصلنامه علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال ششم، شماره سه، پاییز ۱۴۰۱

مدل‌سازی تصمیم‌گیری برای کشف و شناسایی ریزپرنده در فضای جنگ الکترونیک با تأثیر مؤلفه‌های هزینه و برد عملیاتی بر اساس نظریه بازی‌ها

حمید تربتی فرد[۱]، یاسر نوروزی[۲]، مجید شیخ محمدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳**

چکیده

امروزه مراکز اقتصادی مانند پالایشگاه‌ها، مراکز سیاسی مانند مجلس، دولت، قوه قضائیه و مراکز نظامی مانند پادگان‌ها، می‌توانند مورد حملات ریزپرنده‌های جاسوسی یا انتحاری قرار گیرند. برای کشف و شناسایی این تهدید، سامانه‌ها و روش‌های متنوعی پیشنهاد شده است که این موضوع، یک رقابت بین دو گروه مدافع و مهاجم ایجاد می‌نماید. عوامل متعددی در تصمیم‌گیری این دو گروه، رویکرد عملیاتی آن‌ها و انتخاب بهینه تجهیزات توسط آن‌ها، مؤثر می‌باشد. ما در این تحقیق با استفاده از نظریه بازی‌ها بر اساس مدل گراف توانسته‌ایم، در گام اول با در نظر گرفتن ۲ پارامتر بودجه و برد عملیاتی در تجهیز میدان جنگ الکترونیک در دو سناریوی مستقل و با لحاظ تجهیزات طرفین و ترجیحات بازیگران این صحنه نبرد، وضعیت‌های تعادل را بر اساس نظریه بازی‌ها و با استفاده از نرم‌افزار **GMCR** پیش‌بینی نماییم. در گام دوم با ترکیب این دو مؤلفه و اعمال هم‌زمان تأثیر پارامترهای تصمیم‌گیری در یک تابع هزینه، وضعیت نهایی کشف و شناسایی ریزپرنده را پیش‌بینی و با در نظر گرفتن شرایط واقعی برای یک ریزپرنده مشخص بنام **MAVIC** به‌عنوان بخشی از سناریو، فرآیند تصمیم‌گیری صحیح برای فرماندهان صحنه نبرد جنگ الکترونیک را مدل‌سازی کرده‌ایم. نتایج نشان می‌دهد اعمال اثر دو پارامتر هم‌زمان هزینه و برد عملیاتی نتایج کاملاً متفاوتی با تصمیم‌های تک‌بعدی و یک‌جانبه دارد که با تغییر تابع هزینه و ورود عوامل دیگر مؤثر بر تصمیم‌گیری می‌توان به نتایج جدید دست یافت.

واژگان کلیدی: تصمیم سازی، ریزپرنده، کشف و شناسایی، نظریه بازی‌ها، وضعیت تعادل

[۱] دانشجوی دکتریِ دانشگاه جامع امام حسین (ع)، h.torbatifard@ihu.ac.ir (نویسنده مسئول)

[۲] استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، y.norouzi@aut.ac.ir

[۳] دانشیار دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، msheikhm@modares.ac.ir

۱. کلیات

ریز پرنده‌ها امروزه جایگاه ویژه‌ای در سازمان‌های نظامی و غیرنظامی پیداکرده‌اند. این تجهیزات علاوه بر کاربرد در پروژه‌های سینمایی و هنری، در حوزه‌های نظامی نیز برای امور اطلاعات شناسایی و برای گروه‌های تروریستی به‌عنوان ابزاری برای جاسوسی و عملیات‌های انتحاری استفاده می‌گردد. کشورها نیز سعی کرده‌اند با توجه به این تهدید، امنیت را برای مکان‌های حیاتی خود مانند نهاد ریاست جمهوری، مجلس، پادگان‌ها، انبارهای مهمات، نیروگاه و پالایشگاه‌های نفت و پتروشیمی از طرق مختلف ایجاد نمایند.[۱].

با پیشرفت فنّاوری روش‌های متعددی برای شناسایی و مقابله با این پدیده پیشنهاد شده است، ولی می‌توان به‌جرئت گفت هنوز هیچ راه‌حل جامعی برای تصمیم‌گیرندگان وجود ندارد؛ بنابراین ما نیاز به تحقیقاتی داریم که به‌دوراز فضاهای رقابتی و بازار و احیاناً تبلیغاتی یک راه‌حل جامع، برای اتخاذ تصمیمات بهینه ارائه دهد تا بتوان تا حد ممکن این خطا را کاهش داد.

نوع تقابل با این تهدید در حوزه کشف و شناسایی و اقدام همواره برای مسئولان محل بحث و تبادل‌نظر بوده است، اگر ما ریزپرنده را به‌عنوان دشمن یا مهاجم و نیروهای خودی را در جایگاه مدافع و محافظ ببینیم، آنگاه می‌توانیم یک بازی استراتژیک با حضور این دو بازیگر در نظر بگیریم. پارامترهای مؤثری در صحنه نبرد جنگ الکترونیک بر تصمیمات این دو بازیگر مؤثر است. هرکدام از بازیگران تجهیزات مخصوص به خود را دارند ولی این‌که در عمل به سمت کدام یک از آن‌ها و یا ترکیبی از آن‌ها، گرایش دارند را، ویژگی‌های عملیاتی صحنه جنگ الکترونیک تعیین می‌نماید[۲]. به‌عنوان مثال گروه مدافع سامانه‌ای برای کشف ریزپرنده دارد که دقت مناسبی در جهت‌یابی دارد اما زمانی قابلیت عملیاتی پیدا می‌کند که سیگنال تصویر ریزپرنده روشن باشد. از طرفی دارای قیمت گرانی بوده و برد عملیاتی متوسطی دارد و به‌منظور تجهیز رده‌های بهره‌بردار در خط تولید نیز دچار مشکلاتی می‌باشد، با توجه به همه این موارد آیا تصمیم‌گیرندگان صحنه نبرد جنگ الکترونیک که از ویژگی‌های عملیاتی و سیگنالی ریزپرنده آگاه هستند به سمت استفاده از این سامانه گرایش پیدا می‌کنند؟ یا به‌صورت ترکیبی از این مدل سامانه‌ها استفاده می‌کنند؟ و یا اصلاً ریزپرنده به‌عنوان یک بازیگر این صحنه، ترجیح می‌دهد با لینک تصویر خاموش، مأموریتش را انجام دهد، تا به‌وسیله این سامانه شناسایی نشود؟

پاسخ به این سؤالات نیازمند شناخت دقیق از صحنه نبرد و تطبیق آن با فضای واقعی است تا با استفاده از روش‌های تصمیم یاری نظریه بازی‌ها بتوانیم یک تصمیم همه‌جانبه و علمی را پیشنهاد نماییم[٤] .

هدف اصلی این پژوهش در نظر گرفتن ۲ عامل مؤثر: هزینه و بودجه عملیاتی و برد عملیاتی سامانه‌ها در تصمیم سازی تجهیز میدان نبرد می‌باشد. ازآنجایی‌که فرماندهان در زمان تجهیز میدان نبرد هم دغدغه محدودیت بودجه‌های دفاعی و هم دغدغه بیشترین پوشش برای مناطق حفاظت‌شده را دارند، در این‌که چه سامانه‌هایی باید در اختیار نیروهای عملیاتی قرار گیرد، دچار ابهام می‌شوند؛ چراکه در ذهن فرماندهان این دو عامل هم‌زمان اثرگذار خواهد بود.

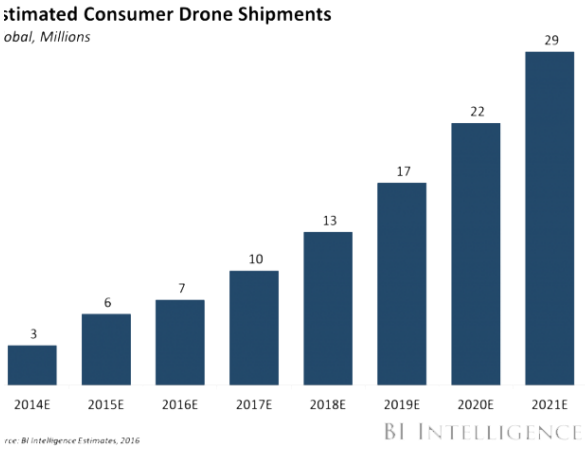
بر این اساس، در بخش دوم، اهمیت و ضرورت تحقیق و هدف اصلی آن بیان می‌شود. در بخش سوم پیشینه تحقیق و جنبه‌های نوآورانه آن بیان و در بخش چهارم تعاریف و مفاهیم پایه‌ای نظریه بازی‌ها بیان می‌شود. در بخش پنجم که مهم‌ترین بخش این پژوهش است، مدل‌سازی مسئله تصمیم‌گیری با توجه به نوع بازی، بازیگران، راهبرد و ترجیحات آن‌ها ارائه و سپس به تحلیل نتایج بازی بر اساس وضعیت‌های تعادل پرداخته می‌شود. نقش هم‌زمان پارامترها در تصمیم‌گیری در بخش ششم و نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی در بخش هفتم ارائه می‌گردد.

۲. اهمیت و ضرورت تحقیق

در پرداختن به چالش ریزپرنده‌ها، افراد متعدد و با تخصص‌های متنوع نظرات کارشناسی ارائه داده و هرکدام از زاویه نگاه خود به این موضوع ورود می‌کنند. دولت‌ها معمولاً اولین جایی هستند که نسبت به این تهدید واکنش نشان می‌دهند؛ چراکه این موضوع هم ازلحاظ امنیتی، هم ازلحاظ اقتصادی و هم ازلحاظ سیاسی بر عملکردشان تأثیر گزار است. اگر یک

ریزپرنده مهاجم به یکی از پالایشگاه‌های کشور آسیب بزند و تولید نفت یا بنزین دچار مشکل شود، مستقیم بر اقتصاد و امنیت روانی کشور اثرگذار خواهد بود؛ و یا اگر به نیروگاه‌های برقی، گازی و یا هسته‌ای به‌وسیله ریزپرنده حمله شود، می‌تواند ساکنان یک یا چند شهر را با مشکل مواجه کند. آثار ثانویه این موضوعات بر مشاغل، مدارس، دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها و... نیز می‌تواند مشکل را دوچندان کند. اخیراً کشورهای مختلفی در جهان برای برخورد با این موضوع مواردی نظری مدرسه امن، نیروگاه امن، بیمارستان امن و... را مطرح کرده‌اند. از زاویه مسائل اجتماعی نفوذ به حوزه خصوصی افراد و استفاده از این ریز پرنده‌ها حتی تا پشت پنجره افراد می‌تواند این حریم را ناامن کند. محیط‌های باز، استخرها و سایر اماکن خصوصی نیز می‌توانند از این طریق، ضربات غیرقابل جبرانی را به آبرو و حیثیت افراد وارد نمایند[۱].

بر اساس تحقیقاتی که در سایت **www.businessinsider.com** چاپ‌شده است، میزان تولید ریزپرنده در جهان تا سال ۲۰۲۱ به ۲۹ میلیون عدد رسیده است و این میزان به‌صورت فزاینده‌ای از طرف کشورهای مختلف در حال رشد است.



شکل ۱- نمودار رشد تولید تعداد ریزپرنده‌ها از سال ۲۰۱٤ تا ۲۰۲۱[۳].

لذا با توجه به گستردگی تولید این محصول و پیچیدگی مقابله با آن تصمیم‌گیری برای مقابله با ریزپرنده‌ها، یکی از ضروری‌ترین نیازها می‌باشد.

به دنبال اهمیت این تهدید، تصمیم‌سازی در میدان نبرد برای مقابله با این نوع تهدیدات نیز، یکی از پیچیده‌ترین نیازها بوده است. عموماً فرآیند تصمیم سازی متأثر از پارامترهای متنوعی می‌باشد که وجود هرکدام می‌تواند اثرات جداگانه در تصمیمات داشته باشند، که گاهی در تعارض با یکدیگر هستند. مثلاً سامانه‌هایی در صحنه نبرد وجود دارند که دقیق ولی گران هستند و این موضوع در تصمیمات ما اثرگذار است. از طرفی، یکی از مؤلفه‌های مؤثر در صحنه نبرد عکس‌العمل رقیب به تحرکات ما می‌باشد، چیزی که ما عمدتاً به آن کمتر توجه کرده و دشمن را فاقد عکس‌العمل به رفتارهای خود در نظر می‌گیریم. در صحنه نبرد هر بازیگری به فکر منافع خودش بوده و می‌خواهد که بیشترین امتیاز را کسب را نماید؛ اما هر بازیگر به‌تنهایی نمی‌تواند این موضوع را شکل دهد و تصمیمات ما متأثر از تصمیمات رقیب خواهد بود. چه‌بسا ما در موقعیت مناسبی قرار داریم ولی با یک حرکت به‌ظاهر روبه‌جلو، به رقیب فرصت‌های جدیدی را تقدیم می‌کنیم، که ما را از همان جایگاه قبلی نیز به عقب‌تر می‌برد. با توجه به اینکه دوراندیشی و دیدن حرکات رقیب و آینده‌نگری در تصمیمات مؤثر است، ضروری است که ما روشی در تصمیم‌گیری ارائه نماییم که علاوه بر در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر تصمیم، قدرت تخمین مراحل و اقدامات آتی را نیز داشته باشد.

با در نظر گرفتن موارد فوق، هدف اصلی از این تحقیق این است که اولاً تأثیر پارامترهای بودجه و برد عملیاتی را در تصمیم‌گیری فرماندهان مدل‌سازی نماییم و با تعریف یک تابع هزینه، اثر هم‌زمان این پارامترها را در ذهن و تصمیم فرماندهان پیش‌بینی نموده و به این چالش که برای کشف و شناسایی ریزپرنده در صحنه جنگ الکترونیک، استفاده از چه ابزار و تجهیزاتی پیشنهاد می‌شود؟، پاسخ مناسبی را ارائه نماییم.

۳. مفاهیم پایه‌ای نظریه بازی‌ها

در این بخش متناسب با نیاز مسئله، مفاهیم نظریه بازی‌ها شامل ویژگی‌های بازی، روش‌های بررسی نقاط تعادل و بررسی مفاهیم مختلف تعادل در تطابق با عقلانیت بازیگران، بیان می‌شود.

۳،۱. مؤلفه‌های بازی و دسته‌بندی آن‌ها

به‌طورکلی هر بازی یا یک مناقشه در نظریه بازی شامل موارد زیر است:

بازیگران[4]: یک فرد یا گروهی از افراد که در یک بازی به‌عنوان بازیگر می‌توانند نقش ایفا کنند.

اقدامات[5]: مجموعه‌ای از حرکت‌ها و یا تصمیم‌ها که بازیگر می‌تواند در یک رقابت انجام دهد.

راهبرد[6]: مجموعه اقداماتی که بازیگر تصمیم می‌گیرد در مواجهه با رقبا و در راستای کسب منافع خود انجام دهد.

مناقشه راهبردی[7]: نتیجه رویکرد غیر هم کارانه بازیگران در تعارضات دنیای واقعی است.

پیامدها[8]: هرگونه ترکیبی از راهبردها که برای هر بازیگر عایدی و منفعتی دارد.

ترجیحات[9]: مرتب‌سازی پیامدها از سوی هر بازیگر متناسب با عایدی‌های کسب‌شده از هر پیامد را میگویند.

دسته‌بندی بازی‌ها: در نظریه بازی برای نمایش وضعیت‌های مختلف می‌توان از حالت نرمال[10] یا حالت راهبردی، نمایش گسترده[11]، حالت گزینه‌ای[12]و نمایش گراف استفاده می‌شود، که هرکدام مزیت‌ها و محدودیت‌هایی دارند.

با توجه به حالت همکاری بازیگران با یکدیگر، بازی‌های همکارانه یا غیر همکارانه داریم که در حالت غیر همکارانه هر بازیگر به منفعت خود می‌اندیشد و با رقبا همکاری نمی‌کند و اینکه پیامدها و عایدی‌های بازی به چه صورت تقسیم شود به بازی‌های مجموع صفر و غیر صفر تقسیم می‌شود. بازی‌ها با توجه به میزان دسترسی بازیگران به حرکات قبلی رقبا، درصورتی‌که بازیگران از مجموعه راهبردها و پیامدهای رقیب مطلع باشند به بازی با اطلاع کامل، وگرنه، به بازی با اطلاع ناقص تقسیم‌بندی می‌شود.

روش‌های مختلف بررسی وضعیت تعادل بازی:

با توجه به ماهیت و اهداف نظریه بازی، جهت بررسی وضعیت و سناریوهای مختلف بازی و نهایتاً استخراج نقاط تعادل، راه‌حل‌های مختلف استخراج نقاط تعادل بیان‌شده است:

وضعیت تعادل[13]: در یک بازی، تعادل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن هیچ‌یک از بازیگران تمایلی به خروج از آن وضعیت نداشته باشند. اینکه یک بازیگر در یک وضعیت باقی می‌ماند یا به‌صورت یک‌جانبه آنجا را ترک می‌کند، به عوامل مختلفی همچون خطرپذیری یا خطر گریزی فرد، عمق بینش و درک او از رقیب بستگی دارد.

بر این مبنا، برای تعریف پایداری فردی[14]، راه‌حل‌های مختلفی ارائه شده است که مهم‌ترینِ آن‌ها به شرح زیر است:

پایداری نش[15]: معرّف وضعیتی است که یک بازیگر خاص نمی‌تواند با حرکتی یک‌جانبه (با فرض ثابت بودن راهبرد سایر بازیگران)، به موقعیت بهتری دست یابد[۵ و ٦].

ماورای عقلانیت عمومی (GMR)[16]: در این روش، بازیگر علاوه بر بررسی وضعیت‌های بهبود یک‌طرفه[17]خود، رقیب را هم به حساب می‌آورد و تنها در صورتی تصمیم می‌گیرد که تغییر وضعیت دهد که بعد از حرکت خود، رقیب نتواند او را به وضعیت بدتری منتقل نماید[۷].

به عبارت دیگر در این منطق بازیگر اول موقعی از S_1 به وضعیت S_2 می‌رود که دو شرط داشته باشد. اول، جزء گزینه‌های حرکت یک‌جانبه باشد و دوم اینکه وضعیت بعدی برایش بهتر باشد. (بهبود یک‌جانبه)

[4] players
[5] actions
[6] strategies
[7] strategic conflict
[8] outcomes
[9] preferences
[10] normal form
[11] extensive form
[12] option form
[13] equilibrium state
[14] individual stability
[15] nash stability
[16] general meta-rationality (GMR)
[17] unilateral improvement(UI)

در گام بعد، اگر بازیگر دوم از وضعیت S_2 ما را به S_3 می‌رود حتی اگر به نفعش نباشد و اگر این نقطه برای بازیگر اول بهتر باشد ،حرکت می‌کند.
در گام بعد حالت‌های پایدار، رصد می‌شود و درنهایت نقطه یا نقاط تعادل به دست می‌آید.

ماورای عقلانیت متقارن (SMR)[18]: در اینجا فرض بر این است که بازیگر پس از پاسخ رقبا می‌تواند حرکت دیگری هم داشته باشد. پایداری با مفهوم ماورای عقلانیت متقارن معرّف شرایطی است که یک بازیگر از هیچ‌یک از بهبودهای یک‌جانبه خود بهره‌مند نمی‌شود؛ زیرا تمام حرکت‌های او توسط رقبا مورد مجازات[19] قرار می‌گیرد و حرکت ثانویه او نیز شرایط را برای او بهتر نمی‌کند[۷].

به تعبیر ریاضی در این منطق بازیگر اول موقعی از S_1 به وضعیت S_2 می‌رود که دو شرط داشته باشد. اول جزء گزینه‌های حرکت یک‌جانبه باشد و دوم اینکه وضعیت بعدی برایش بهتر باشد.
در گام بعد، اگر بازیگر دوم از وضعیت S_2 به S_3 بتواند حرکت کند، حتی اگر به نفعش نباشد و این وضعیت برای بازیگر اول بهتر باشد، حرکت می‌کند.
در وضعیت جدید، بازیگر اول اگر بتواند از S_3 به S_4 و نتیجه هرکدام از S_3و S_4 برایش بهتر باشد، حرکت می‌کند.
در گام آخر، حالت‌های پایدار، رصد می‌شود و درنهایت نقطه یا نقاط تعادل به دست می‌آید.

پایداری متوالی (SEQ)[20]: در این تعریف، بازیگر در زمان تغییر وضعیت، علاوه بر بررسی بهبود یک‌طرفه خود، رقیب را هم به‌عنوان یک بازیگر عاقل در نظر می‌گیرد. پایداری متوالی معرف وضعیتی است که در آن تمام بهبودهای یک‌جانبه فرد به‌وسیله حداقل یکی از بهبودهای یک‌جانبه سایر رقبا مجازات می‌شود[۸].

می‌توان گفت، در این منطق بازیگر اول موقعی از S_1 به وضعیت S_2 می‌رود که دو شرط داشته باشد. اول جزء گزینه‌های حرکت یک‌جانبه باشد و دوم اینکه وضعیت بعدی برایش بهتر باشد.
در گام بعدی نیز بازیگر دوم موقعی حرکت می‌کند که وضعیت بعدی برایش بهتر باشد وگرنه حرکت نمی‌کند.
در گام بعد، حالت‌های پایدار، رصد می‌شود و درنهایت نقطه یا نقاط تعادل به دست می‌آید.
پایداری حرکت محدود[21]: یک بازیگر به‌اندازه h قدم جلوتر از خود را می‌بیند. پارامتر h متغیر است[۹].

پایداری غیرکوته‌نظرانه[22]. حالت خاصی از پایداری حرکت محدود است که در آن پارامتر h به سمت بی‌نهایت میل می‌کند. درواقع، بازیگری که با مفهوم پایداری غیرکوته‌نظرانه تصمیم می‌گیرد، دارای افق دید بسیار وسیع است[۱۰].

در جدول ۱ مقایسه کیفی تعریف پایداری و سایر مشخصات آن آمده است.

جدول ۱- مقایسه کیفی پایداری غیر همکارانه

مفاهیم راه‌حل	ارائه‌دهنده ایده	دوراندیش	تنزل راهبردی[23]
پایداری نش(R)	(Nash, 1951)	کم	هرگز
ماورای عقلانیت عمومی (GMR)	(Howard, 1971)	متوسط	فقط برای رقبا
ماورای عقلانیت متقارن (SMR)	(Howard, 1971)	متوسط	فقط برای رقبا
پایداری متوالی (SEQ)	(Fraser & Hipel, 1984)	متوسط	هرگز
پایداری حرکت محدود (Lh)	(Zagare, 1984)	متغیر	راهبردی

[18] symmetric meta-rationality (SMR)
[19] sanction
[20] sequential stability (SEQ)
[21] limited move stability
[22] non- myopic stability
[23]. strategic dis-improvement

مفاهیم راه‌حل	ارائه‌دهنده ایده	دوراندیش	تنزل راهبردی[۲۳]
پایداری غیرکوته‌نظرانه (NM)	Brams & Wittman, (1981	بالا	راهبردی

یک مناقشه راهبردی به فعل‌وانفعال متقابل دو یا چند بازیگر گفته می‌شود که هرکدام تصمیماتی را اتخاذ می‌کنند مشخص می‌کند حالت مناقشه چگونه به وجود میاید و نیز هرکدام، برای خود ترجیحاتی در میان حالت‌های ممکن (به‌عنوان راه‌حل نهایی) دارند. لذا، یک مناقشه راهبردی، یک مسئله و مشکل با رویکرد، تصمیم تعاملی است که در آن دو یا چند تصمیم‌ساز وجود دارند. هر بازیگر انتخابی دارد (دو یا چند گزینه) و برای هر تصمیم‌ساز، اصالتاً انتخاب‌های دیگران دارای اهمیت است[۱۱]. به‌طور دقیق‌تر، هر بازیگر از تصمیمات سایر بازیگران، منتفع یا متضرر می‌شود. واضح است که مناقشات راهبردی در تعاملات فی‌مابینی و در همه سطوح از قبیل شخصی، خانوادگی، شغلی، ملیتی و بین‌المللی، بسیار معمول و رایج است.

فنگ[۲۴] و همکاران در ۱۹۹۳ م مدل گراف برای حل مناقشه را ارائه کردند و یک متدولوژی منعطف و توانمند برای مطالعه مناقشات راهبردی در دنیای واقعی است ارائه کرد. کارایی این مدل که از تکنیک‌های نظریه بازی در حالت غیر همکارانه است، زمانی اهمیت خود را بیشتر نشان می‌دهد که بیان مطلوبیت بازیگران با اعداد کمّی و مقداری ممکن نباشد[۱۱]. مدل گراف برای تجزیه‌وتحلیل مناقشات نسبت به مدل‌های کلاسیک نظریه بازی دارای مزایایی به شرح زیر است:

ـ نمایش بازی‌هایی که تعداد بازیگران آن بیش از دو نفر باشد به‌راحتی و به فرم گزینه‌ای صورت می‌گیرد.

ـ هر بازیگر می‌تواند هر تعداد از گزینه‌های خود را هم‌زمان انتخاب کند (راهبرد هر بازیگر منحصر به یک اقدام نیست).

ـ وضعیت‌های نشدنی[۲۵] در مسائل دنیای واقعی به‌راحتی از وضعیت‌های ممکن متمایز شده و حذف می‌گردند.

ـ تعیین ارزش‌های عددی[۲۶] به‌عنوان مطلوبیت بازیگران در وضعیت‌های مختلف ضرورتی ندارد (تنها بیان ترجیحات هر بازیگر روی وضعیت‌های مختلف به‌صورت ترتیبی کفایت می‌کند).

ـ حرکت‌های برگشت‌ناپذیر[۲۷] و ترجیحات غیر متعددی[۲۸] را لحاظ می‌کند.

ـ از مفاهیم حل[۲۹] متفاوت برای تعیین پایداری فردی[۳۰] و وضعیت‌های تعادل استفاده می‌کند.

جدول ۲- مقایسه نظریه بازی‌های کلاسیک و گراف مدل

ردیف	عنوان	Classic Model (Nash - ماتریس)	Graph Model (option form - تحلیل مناقشات)
۱	تعداد بازیگران	محدودیت دارد	محدودیت ندارد
۲	دوراندیشی	یک گام دارد	چند گام بعد را مورد توجه قرار می‌دهد
۳	ارزش‌گذاری انتخاب‌ها	فقط کمی	هم کمی و هم کیفی
٤	نقطه تعادل	فقط یک انتخاب وجود دارد	ترکیبی از انتخاب‌ها می‌تواند باشد
٥	حرکت‌های برگشت‌پذیر	ندارد	دارد
٦	ترجیحات متعدی	به دلیل ماهیت عددی باید رعایت شود	وضعیت‌ها مستقل از هم می‌توانند بر هم ارجحیت داشته باشند
۷	حالت‌های غیرممکن	قابلیت حذف ندارد	قابلیت حذف دارد

این مدل دارای چهار مؤلفه به شرح زیر است:

۱. مجموعه تصمیم‌گیرندگان که با $N=[1,2,\ldots,n]$ نشان داده می‌شود و $2 \leq |N| < \infty$

۲. مجموعه وضعیت‌های شدنی با S نشان داده می‌شود $2 \leq |S| < \infty$

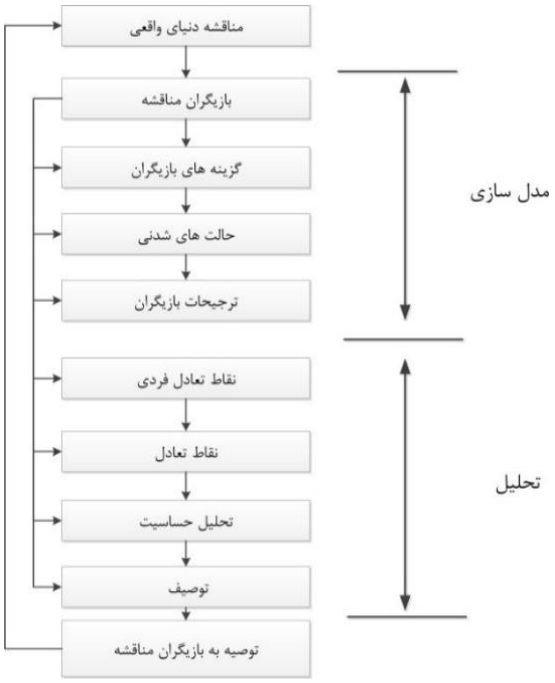
۳. هر بازیگر دارای یک گراف است. رئوس این گراف معرّف وضعیت‌های شدنی مختلف و کمان‌های جهت‌دار بین

24 Fang
25. infeasible state
26. cardinal values
27. irreversible moves
28. intransitive preferences
29. solution concepts
30. individual stability

برخی از رئوس معرّف این است که آن بازیگر می‌تواند به‌صورت یک‌جانبه مناقشه را از یک وضعیت به وضعیت دیگر سوق دهد.

٤. ترجیحات هر تصمیم‌گیرنده روی وضعیت‌های شدنی مختلف به‌صورت ترتیبی[31] مشخص است.

مدل گراف برای حل مناقشات، یک متدولوژی مدل‌سازی و تحلیل مناقشات راهبردی ارائه می‌کند و به‌آسانی قابل‌استفاده و منعطف است و درک خوبی برای تصمیم سازان درباره اینکه چگونه آنچه باید انجام دهند را انتخاب کنند، فراهم می‌کند. البته سامانه‌های جایگزین برای مدل‌سازی و تحلیل مناقشات راهبردی که مجزا و متمایز از «تئوری بازی غیر همکارانه» باشند، وجود دارد که از آن جمله می‌توان روش‌های تحلیل متاگیم توسط هاوارد در سال‌های ۱۹۷۱ و ۱۹۸۷ م [۷ و ۱۲]، تحلیل مناقشه توسط فریزر و هایپل در ۱۹۸٤[۹]، بازی خرد آگاه[32] توسط تاکاهاشی[33] و همکاران در ۱۹۸٤[۱۳]؛ تئوری درام[34] توسط هاوارد در سال ۱۹۹٤[۱٤]، تئوری حرکات[35] توسط برامز[36] و متلی[37] در ۱۹۹۳ م[۱۵] و تئوری حرکات فازی را نام برد. تمرکز اصلی و مشخصِ این مقاله استفاده از مدل گراف برای حل مناقشات است. باورمان این است که مدل مذکور منعطف‌تر، دارای حوزه وسیع‌تر و کاربرد آسان‌تر نسبت به روش‌های جایگزین خود است. این مدل هنر خود را در تحلیل مسائل پیچیده دنیای واقعی به‌خوبی نشان داده است[۱۱]. به‌عنوان نمونه، این مدل به‌منظور پیش‌بینی محتمل‌ترین نتایج مورد انتظار در مناقشه هسته‌ای ایران توسط شیخ محمدی و همکاران در سال ۲۰۰۹[۱٦] و منازعه قدرت‌های منطقه‌ای و بین‌المللی در سوریه مجدداً توسط شیخ‌محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۳[۱۷] به کار گرفته‌شده است. شکل ۱ فرایند به‌کارگیری مدل گراف برای حل مناقشه را برای مدل‌سازی و تحلیل مناقشات پیچیده دنیای واقعی به‌خوبی نمایش می‌دهد.



شکل ۲- مدل گراف برای حل مناقشه [٤]

٤. پیشینه تحقیق

تحقیقات متعددی در خصوص به‌کارگیری نظریه بازی در موضوعات مرتبط با جنگ الکترونیک ارائه شده است. یکی از امتیازهای پژوهش حاضر نسبت به موارد دیگر، نگاه کلان نگر به رقابت بازیگران حوزه جنگ الکترونیک و راهبردهای آن‌هاست که می‌تواند برای تصمیم‌گیری‌های کلان تصمیم سازان متناسب با میزان عقلانیت[38] و خطرپذیری آن‌ها، در قالب یک مدل تصمیم‌یار به‌کارگیری شود. در ادامه، به پژوهش‌های حوزه جنگ الکترونیک با استفاده از نظریه بازی‌ها پرداخته می‌شود.

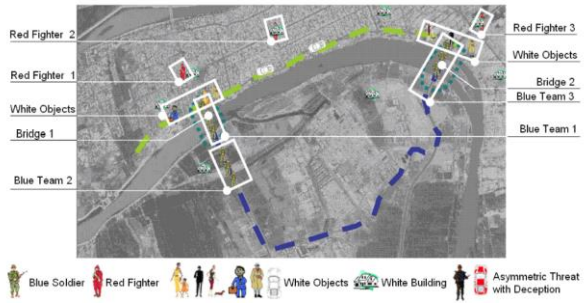
٤،١. به‌کارگیری نظریه بازی‌ها در تصمیم سازی حوزه جنگ الکترونیک

پیشینه تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که اکثر این تحقیقات به‌صورت تک‌بعدی به حل مسئله پرداخته‌اند. به‌عنوان‌مثال مطالعات گذشته عمدتاً حول‌وحوش رادار و تقابل یک یا دو رادار با سامانه‌های اختلال‌گر بوده است، درحالی‌که صحنه نبرد بین دو گروه رقیب با در نظر گرفتن شرایط مؤثر در صحنه نبرد

31. ordinal
32. hyper game
33. Takahashi
34. drama theory
35. theory of moves
36. Brams
37. Mattli
38. rationality

واقعی بسیار پیچیده‌تر و متنوع‌تر از حالت‌هایی است که در مقالات فرض شده است. پس یکی از اصلی‌ترین تفاوت‌ها متوجه نوع نگاه ما به مسئله نبرد هست. به عبارت دقیق‌تر مقالات گذشته، فقط تقابل بین دو ابزار را بررسی می‌کنند درحالی‌که ما با توجه به تصمیمات رقیب و ترجیحات متنوعی که پیش پای طرفین هست تا چند حرکت بعد رقیب را نیز لحاظ خواهیم کرد. در یکی از مقالات[۱۸] انتخاب بین **ECM** و **ECCM** را با استفاده از نظریه بازی‌ها تحت دو سناریو استراتژی مخلوط[۳۹] و استراتژی خالص[۴۰] بررسی و مطرح می‌کند. در پژوهشی دیگر برای شناخت بهترین زمان برای استفاده از فریب در تقابل با موشک با تشکیل تابع هزینه برای حمله‌کننده، احتمال شکست دشمن و احتمال گمراه کردن موشک در اثر فریب را یک بازی بررسی می‌کند[۱۹].

ما می‌توانیم در تحلیل مسائلی که متغیرهای مختلفی دارند از نظریه بازی‌ها استفاده کنیم، مخصوصاً در شبکه‌های مخابراتی که کنترل توان در سیستم‌های **CDMA** یکی از کاربردهای آن می‌باشد[۲۰]. استفاده هم‌زمان از الگوریتم فازی و نظریه بازی‌ها برای تعیین توان مؤثر در سیستم‌های **EA** نیز مطرح‌شده است [۲۱] . در پژوهشی دیگر در مورد آسیب‌پذیری ارتباطات بیسیم مسافران هواپیماها به‌وسیله جمینگ بحث می‌کند و مطابق با نتایج آن پروفایل جمینگ استخراج می‌گردد [۲۲]. در تحقیقاتی دیگر به جنبه استراتژی بازی پرداخته دارد و ٤ مدل اطلاعات مختلف را ارائه می‌کند[۲۳]. هدف از این بازی افزایش احتمال پیش‌بینی حرکات دشمن از طریق رفتارشناسی بیان شده است. در سال ۲۰۰۷ مقاله‌ای با رویکرد تلفیق اطلاعات و استفاده هم‌زمان آن در شبکه فرماندهی و کنترل و اثرگذاری نظریه بازی‌ها در بلوک چهارم آن ارائه گردید[۲٤]. در این مقاله که به سفارش ارتش آمریکا تهیه شده است، سه گروه بازیکن شامل: گروه قرمز (نیروی دشمن)، گروه آبی (نیروی خودی) و گروه سفید (نیروهای بی‌طرف) را تعریف کرده و هدف از بازی را، پیش‌بینی تهدید و مدل‌سازی آگاهی وضعیتی بیان کرده است. سپس با توسعه این موضوع از یک فضای هوایی به یک فضای زمینی مطابق شکل ذیل، درگیری شهری نیروهای امنیتی و تروریستی در حضور مردم بی‌طرف را شبیه‌سازی کرده و با استفاده از نظریه بازی‌ها پیش‌بینی مدنظر را انجام داده است. استخراج توابع **Payoff** برای کمی سازی با استفاده از مدل مارکوف از نقاط برجسته این تحقیق می‌باشد.



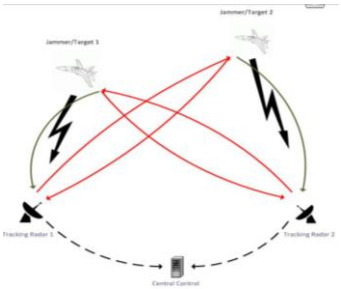
شکل ۳- وضعیت چینش نیروهای خودی، دشمن و بی‌طرف [٢٤]

در مقاله دیگری [۲۵]. نشان داده‌شده که نظریه بازی‌ها یک‌راه و روش برای تحلیل چالش بین جمر مخابراتی و نودهای ارتباطی می‌باشد. در تحقیقی دیگری نشان داده‌شده که یکی از کاربردهای نظریه بازی‌ها استفاده در رادیو شناختی و رادار شناختی است که کاربرد آن‌ها را مؤثرتر و مطمئن‌تر می‌کند[۲٦]. پژوهشی دیگر نشان می‌دهد که در بازی بین دو بازیگر برای انتخاب بهترین تکنیک برای **ECM** می‌توان میزان صحت نرخ اطلاعات را به نسبت خطای نرخ اطلاعات کاهش دهد.[۲۷]در مقاله‌ای دیگر در سال ۲۰۱۰ نشان داده شده که برای انواع راهکارهای امنیتی خصوصاً در مسائل سایبری می‌توان از نظریه بازی‌ها بهره برد.[۲۸]

در سال ۲۰۱٦ مقاله‌ای در مورد کاربرد نظریه بازی‌ها در تقابل یک شبکه راداری (با ۲ رادار و ۲ جمر) و تعدادی از جمرها چاپ گردید. [۲۹]. در این مقاله در مورد نحوه شکل‌دهی پترن آنتن رادار متناسب با سیگنال دریافتی شروطی را بیان کرده و شرط هوشمندی جمرها را نیز اضافه می‌نماید. هدف از شبکه راداری در این موضوع کم کردن میزان تشعشات غیرضروری رادارها می‌باشد و بازی را متناسب با تخصیص قدرت بهینه تعریف می‌نماید. در این بازی نقش دوری و نزدیک هدف نیز لحاظ گردیده است.

[39] Mix Strategy

[40] Pure Strategy

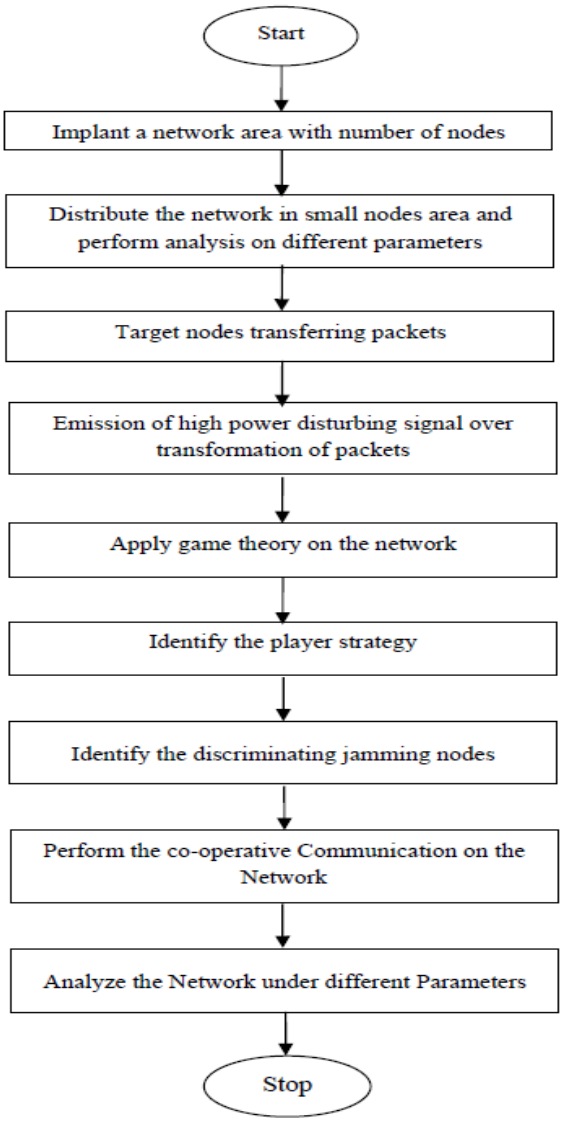


شکل ٤- حضور ۲ رادار و ۲ جمر درصحنه عملیات [۲۹]

در تحقیق ارزشمند دیگری که در سال ۲۰۱٦ به سفارش نیروی هوایی ارتش آمریکا تهیه و چاپ رسید از نظریه بازی‌ها به‌عنوان چارچوبی برای تصمیم‌گیری‌های جنگ الکترونیک استفاده کرده است[۳۰]. این مقاله، چارچوبی را بر مبنای تئوری بازی‌ها جهت تصمیم‌گیری خودکار برای **EA** و **EP** در سناریوهای موردبحث ارائه می‌نماید. این فرآیند شامل چهار مرحله است. اولاً باید اطلاعات سایر حس‌گرها جمع‌آوری شود. ثانیاً اطلاعات باید مورد پردازش قرار گیرد تا هزینه‌ها و سود هریک از اقدامات بالقوه مورد ارزیابی واقع شود. درنهایت این اقدامات بر مبنای اثرگذاری، هزینه‌ها و فواید آن‌ها مرتب شوند.

این مقاله یک بازی غیر همکارانه را بین یک حسگر راداری و یک جمر اختلال کننده، بیان می‌کند. در این مقاله کاربردهای EA و EP موردبررسی قرار می‌گیرد. و ۵ اقدام EA یا EP مورد توجه قرار می‌گیرد. جمر محدود به اقدامات ((Barrage BN، Noise، Respective Spot Noise(RSN، Doppler Noise(DN)، Range False Targets(RFT) و Velocity Gate Pull-Off(VGPO) است. حس‌گر هم محدود به یک پاسخ به هر حمله جمر است. این اقدامات شامل ضد BN[41]، ضد RSN[42] و غیره است. هدف جمر انتخاب یک حمله با بیشترین سود ممکن است. هدف حس‌گر کمینه کردن سود جمر با انتخاب اقدامی است که به بهترین شکل ممکن در برابر حمله جمر مقابله نماید.

در مقاله‌ای که در سال ۲۰۱۷ ارائه‌شده است نیز به موضوع تقابل جمر با امنیت شبکه‌های حسگر بیسیم می‌پردازد [۳۱]. در این تحقیق برای تأمین یک ارتباط امن، از ابزار نظریه بازی‌ها برای مقابله با جمینگ استفاده کرده است و ٤ مدل اختلال فرکانس ثابت، فریب، تصادفی و واکنشی را موردبررسی قرار داده است. در این بازی، بازیگران، استراتژی و عملکردهای معین را به‌عنوان متغیر فرض کرده است. گره‌های شبکه را به‌عنوان بازیگران، انواع مدولاسیون‌ها، کدینگ‌ها و توان ارسالی را به‌عنوان استراتژی و تأخیر را به‌عنوان معیار عملکرد لحاظ کرده است. نحوه چرخش داده در آن به شکل ذیل می‌باشد.



شکل ٥- مراحل مختلف تحلیل بازی [۳۱]

در مقاله‌ای که آقای زیمینگ در سال ۲۰۱۸ چاپ کرده رویکرد جدیدی را در نظریه بازی‌ها اختصاص داده است او در این مقاله یک مسئله واقعی که در سال ۲۰۱٤ برای اکتشاف نفت در دریای چین جنوبی رخ‌داده است را موردمطالعه قرار داده است. در این مقاله او اثبات می‌کند که حالت‌های تعادل مرسوم یا کلاسیک با

[41] Barrage Noise

[42] Respective Spot Noise

ائتلاف‌هایی که رخ می‌دهد می‌تواند ناپایدار گردد؛ اما ائتلافی که او پیشنهاد می‌دهد ائتلاف پرتو نام دارد. ائتلافی که با الهام از ویلفردو پرتو می‌خواهد به تخصیص بهینه منابع کمک کند. رویکرد جدید به تحلیل ائتلاف، باعث تغییراتی در بازتولید مفاهیمی مانند GMR- SMR - NASH و SEQ گردید.

رویکرد جدید می‌تواند نشان دهد که ائتلاف چگونه می‌تواند نقطه تعادل غیر همکارانه را برهم بزند در این مقاله تعریف ائتلاف را به‌صورت گسترده‌تری تعمیم می‌دهد؛ و پیشرفت‌های ائتلاف کلاسیک را به پیشرفت‌های ائتلاف پارتو تعمیم می‌دهد. در حقیقت به ما نشان می‌دهد که یک تعادل کلاسیک ممکن است یک عدم همکاری را در پیش داشته باشد و در عمل پایداری رخ ندهد درحالی‌که در تعادل‌هایی داریم که بدون همکاری ناپایدار می‌ماند[۳۲].

در تحقیقی که در سال ۲۰۱۹ توسط خانم جینگ منتشر شد، نشان داد می‌توان راه‌هایی را برای تصمیم بین ترجیحات ناشناخته و مبهم پیدا کرد. او یک‌راه حل ترکیبی را پیشنهاد داده که با استفاده از ٤ فرم مخصوص، آستانه‌های راضی‌کننده در مسائل فازی بتوان مسائل پیچیده و مهم را نیز حل کرد. این موضوع برای حالت‌های خیلی پیچیده که می‌تواند جنبه راهبردی هم داشته باشد مفید است و برای مثال مناقشه چین را موردتوجه قرار داده است. در این روش ٤ فرم مخصوص برای بیان نیاز فازی مطرح می‌شود و در حقیقت با ایجاد یک آستانه راضی‌کننده برای منطق فازی تصمیمات بازیگران را به این حالت‌ها محدود می‌نماید[۳۳].

٤،۲. به‌کارگیری نظریه بازی‌ها در حوزه ریزپرنده‌ها

در سال‌های اخیر خصوصاً در حوزه ریزپرنده‌ها و هواپیماهای بدون سرنشین از نظریه بازی‌ها بهره برده‌اند. آقای Zhibin Xu در سال ۲۰۱۸ به منظور ارتباط بهینه سلولار پهپاد و سایت زمینی و استفاده بهینه در باتری و انرژی موجود در پرنده از تعادل نش استفاده کرده است[۳٤]. در سال ۲۰۱۹ یک بازی برای حفاظت از uav در برابر جعل یا فریب gps طراحی شد چرا که کاربردهای گسترده UAV برای اهداف مختلف به نیاز به راه‌حل‌های جدید نیز دارد و عدم پرداختن به این موضوع باعث سرگردانی UAV در فضا شده و تهدید امنیتی را افزایش می‌دهد. معرفی یک چارچوب ریاضی برای تحلیل و کاهش اثرات spoofing gps بر UAV و امکان پیش‌بینی مسیر سفر آن‌ها و تعیین موقعیت یک هواپیمای بدون سرنشین با استفاده از gps پرنده‌های مجاور فراهم می‌شود، از نتایج این تحقیق می‌باشد[۳۵].

در پژوهشی دیگر یک پرنده از شرکت معروف DJI مورد تحقیق است. این پژوهش با استفاده از تجربیات واقعی drone ها، پیرامون محدودیت شارژ باتری برای امور خدمات‌رسانی و جابجایی بار استفاده کرده و با این کار میزان جستجو در فضا برای رسیدن به مقصد را کاهش داده و با اعمال متغیر سرعت باد شرایط واقعی‌تری را در این بازی را تحلیل کرده است[۳٦]. محدودیت‌های منابع انرژی و قدرت طیف ارسالی برای ارتباطات، پیرامون شبکه‌های بیسیم منصوب بر پرنده در تحقیق دیگر مورد استناد قرار گرفته است[۳۷]. در سال ۲۰۲۰ به بررسی یک بازی زمان واقعی برای ۲ ریزپرنده خودی و دشمن و ایجاد رقابت برای مسیریابی بهینه تعریف کرده و با استفاده از تعادل نش در فضای سه‌بعدی این رقابت را شکل داده است[۳۹]. آقای Jiang و همکاران یک گیم مشارکتی رابین چند ریزپرنده تعریف و با استفاده از نظریه بازی‌ها حالت‌های بهینه، برای کاهش هزینه‌ها و ارتباطات بهینه در مأموریت‌های نقشه‌برداری، اطفا حریق و.. را تعیین کرده‌اند[٤۰]. در پژوهشی دیگر برای رقابت بین ریزپرنده و سیستمی که می‌خواهد ریزپرنده را از مسیر خود منحرف کند، یک بازی برای بهینه کردن سرعت، انرژی و زمان در نظر گرفته شده است[٤۱]. در تحقیقی دیگر با استفاده از تکنولوژی 5G تعیین یک ارتباط بهینه بین ریزپرنده ها و سایت‌های زمینی با استفاده از نظریه بازی‌ها را مورد بحث قرار داده است[٤۲].

در سال ۲۰۲۲ آقای Feng در مورد استراتژی رادارها برای ضد جمینگ بودن، بر اساس نظریه بازی‌ها، مقاله‌ای منتشر کرد. عمده روش‌های ضد جمینگ راداری فعلی با توجه ویژگی‌های محیط الکترومغناطیس در نظر گرفته شده‌اند و این رویکرد به‌صورت کامل پاسخگو نیست، لذا با استفاده از استراتژی زمان به‌کارگیری

رادار، با استفاده از نظریه بازی‌ها می‌توان نقش مؤثری در ضدجمینگ بودن آن ایجاد کرد [۳۸].

با توجه به تحقیقات گذشته **جنبه‌های نوآورانه** پژوهش حاضر به شرح ذیل بیان می‌گردد:

- در نظر گرفتن پارامترهای مختلف به‌صورت هم‌زمان بر تصمیم گیری
- استفاده از روش‌های نوین نظریه بازی‌ها و در نظر گرفتن حرکت‌های رقیب در انتخاب ترجیحات بازیگران می‌باشد.
- تمرکز بر موضوع ریزپرنده از نگاه کلان در صحنه نبرد
- اعمال هم‌زمان پارامترهای مؤثر بودجه‌های عملیاتی و برد عملیاتی در تصمیم سازی برای فرماندهان

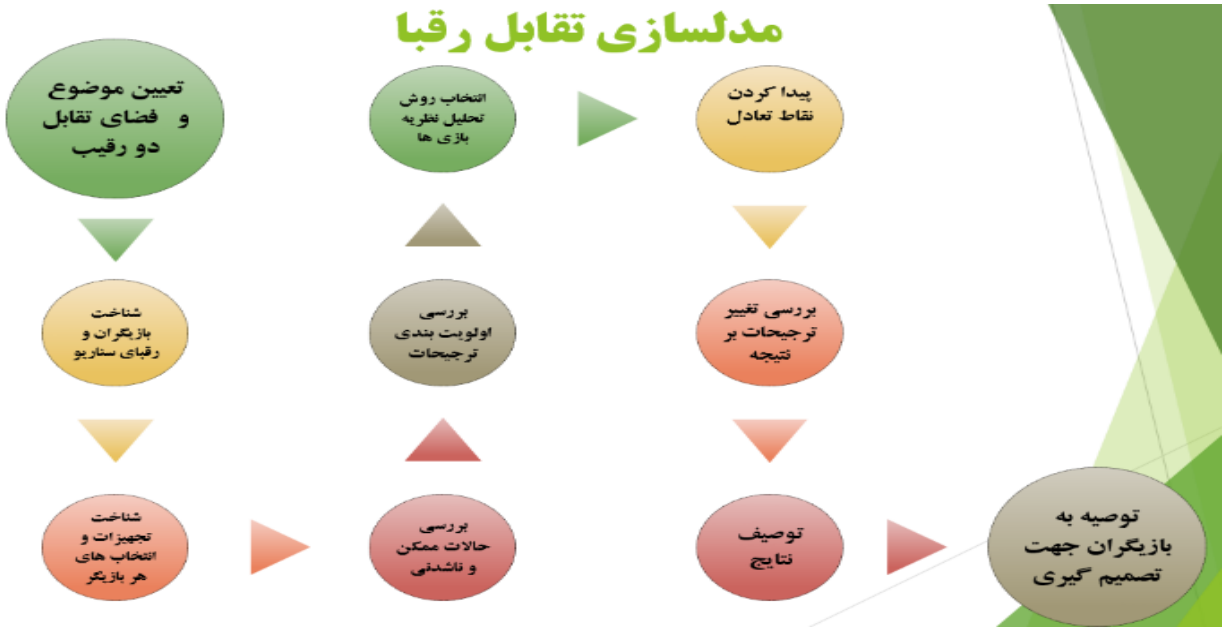
این جنبه‌های نوآورانه به‌صورت جدی این تحقیق را از سایر تحقیقات مشابه متمایز کرده و کاربرد آن را در سیاست‌گذاری‌های امنیتی بیشتر و واقعی‌تر کرده است.

۵. مدل‌سازی مسئله تصمیم‌گیری

ما برای حل مسئله تصمیم‌گیری ابتدا باید مدل خود را به‌صورت دقیق و شفاف بیان نماییم:

در این مدل ابتدا، موضوع و سناریو رقابت را باید تعیین کرده و سپس گروه یا گروه‌هایی که قرار است در این بازی یا مناقشه شرکت داشته باشند را تعریف کنیم. در این مدل‌سازی می‌توان بیش از دو بازیگر نیز تعریف کرد. همچنین می‌توان اثر ائتلاف رقبا و یا غیرعاقلانه رفتار کردن رقیب را در تحلیل نتایج بازی لحاظ نمود.

پس‌ازاین مرحله باید به شناخت دقیق امکانات، اقدامات و یا تجهیزات طرفین پرداخت و پس‌ازآن مجموع حالت‌های ممکن و غیرممکن را، که از ۲ بتوان مجموع اقدامات طرفین ($A = 2^n$) محاسبه نمود. سپس حالت‌های غیرممکن را استثنا و صرفاً به حالات ممکن می‌پردازیم. گام بسیار مهم بعدی انتخاب ترجیحات بازیگران می‌باشد. در این گام از معیارهای متنوعی می‌توان استفاده کرد و بر اساس آن‌ها، ترتیب ترجیحات را ایجاد نمود. بعدازاین گام انتخاب نوع تحلیل که در کدام منطق می‌خواهیم بررسی کنیم، نیز اهمیت پیدا می‌کند. در گام بعد به سراغ اجرا بازی و شناخت حالت‌های بهبود یک‌جانبه می‌رویم و مدل گراف را برای آن پیاده‌سازی می‌کنیم. سپس با استفاده از نرم‌افزار **GMCR** نقطه تعادل را در منطق‌های مختلف پیش‌بینی کرده و بر اساس آن توصیه‌های تصمیم‌ساز را به بازیگران ارائه



شکل ٦- مدل‌سازی تصمیم‌گیری برای صحنه نبرد

می‌نماییم.

در انتهای این بازی می‌خواهیم بدانیم چه توصیه علمی و تصمیم سازی به بازیگران در مورد، انتخاب تجهیز برای رده‌های مختلف برای کشف و شناسایی ریز پرنده، می‌توانیم داشته باشیم. به عبارت دیگر، آرایش تجهیزاتی صحنه نبرد چگونه خواهد بود؟ این نوع پیش‌بینی از صحنه نبرد بسیار در تصمیم‌سازی فرماندهان مؤثر خواهد بود چرا که در حقیقت سامانه و سلاح‌های طرف مقابل را می‌تواند تخمین بزند.

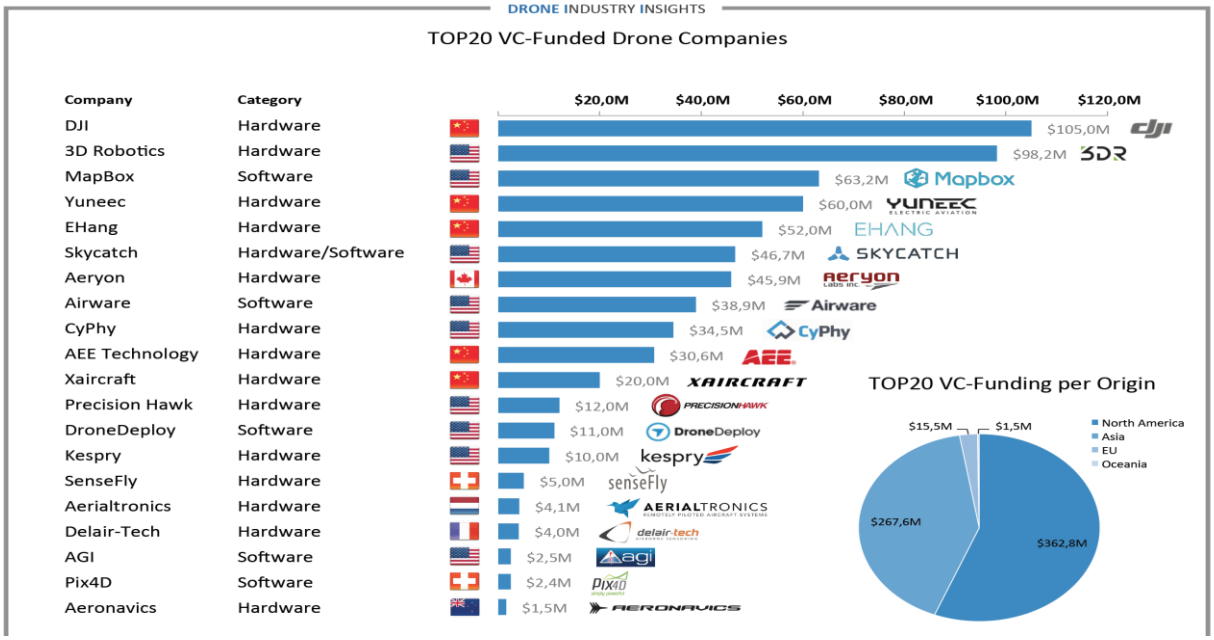
به اختصار مراحل مدل‌سازی، به شرح ذیل می‌باشد:

۱- شناخت بازیگران و سناریو
۲- شناخت انتخاب‌های بازیگران
۳- شناخت عوامل مؤثر بر ترجیحات طرفین
۴- شناخت وضعیت‌های ممکن و ناممکن
۵- شناخت ترجیحات و تحلیل نتایج بازی‌های مستقل
۶- معرفی تابع هزینه کلی و تحلیل نتایج بازی نهایی

گروه مدافع در قالب نیروهای خودی و گروه مهاجم در قالب نیروهای دشمن دسته‌بندی می‌شوند.

با توجه به اینکه گونه‌های زیادی از انواع ریزپرنده در سراسر جهان موجود است، ما مجبور هستیم که سناریوی خود را به یک ریزپرنده خاص ولی پرکاربرد مقید کنیم.

شرکت‌های تولیدکننده ریز پرنده زیادی در دنیا وجود دارند که با توجه به بازار و فضای رقابتی محصولات متنوعی را به بازار عرضه می‌کنند. نکته مهم این است که اکثر افرادی که می‌خواهند از ریزپرنده به‌عنوان یک ابزار جاسوسی و یا انتحاری هم استفاده کنند معمولاً از نمانام (برندهای) تجاری استفاده می‌کنند تا خود را بین آن‌ها مخفی نگه‌دارند. یکی از این شرکت‌های معروف **DJI** است و با بررسی‌های انجام‌شده بسیاری از عملیات‌های مختلف توسط ریزپرنده‌های این شرکت اجرایی می‌گردد. لذا با توجه به همین موضوع یکی از



شکل ۷- آمار شرکت‌های تولیدکننده ریزپرنده

۵،۱ شناخت بازیگران و سناریو

به‌منظور شناخت دقیق صحنه نبرد ابتدا باید سناریوی مورد نظر را تعریف کرد. در این سناریو ریزپرنده در قالب گروه مهاجم قصد عملیات دارد و گروه مدافع با روش‌های متنوعی به دنبال کشف و شناسایی و در صورت امکان مقابله با ریزپرنده را دارد. پس این سناریو دو گروه مهاجم (ریزپرنده) و گروه مدافع دارد.

پرکاربردترین ریزپرنده‌های این شرکت به‌عنوان **Mavic** در این تحقیق موردنظر و بررسی قرار می‌گیرد.

۵/۱/۱. ویژگی‌های فنی ریزپرنده

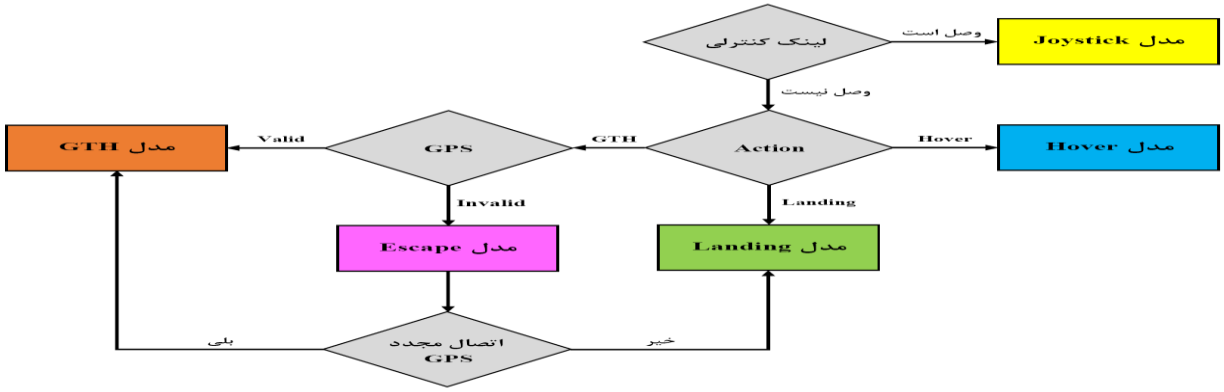
ریزپرنده‌ها عمدتاً توسط یک ایستگاه کنترلی زمینی مدیریت می‌شوند، به همین منظور یک لینک کنترلی بین ریزپرنده و

ایستگاه زمینی برقرار می‌شود. ریزپرنده‌ها در بخش جمع‌آوری اطلاعات از طریق عکس و فیلم نیاز به یک لینک تصویر دارند که به همین منظور مسیر و آنتن ارسال تصویر به ایستگاه زمینی به‌صورت جداگانه در نظر گرفته شده است. این لینک‌های ارتباطی عمدتاً در باند **2.4** و **5.8** گیگاهرتز فعالیت می‌کنند. در بعضی از مدل‌های دیگر نیز از فضای ارتباطی **3G/4G** می‌توانند استفاده کنند.

ریزپرنده برای ناوبری خود از **GPS**، **Glonass**، **Beidou** و **Galileo** می‌تواند استفاده کند و از **INS** برای تکمیل این موضوع بهره ببرد. در بعضی از ریزپرنده‌ها مشاهده شده است که از لینک ماهواره‌ای نیز جهت ارتباطات بهره می‌برند **[۲]**.

۵،۱،۲. مدل‌سازی رفتاری ریزپرنده

در تولید ریزپرنده‌ها سعی شده است تا حدی هوشمندی را برای این سامانه پیش‌بینی و اجرایی کنند. این موضوع سبب می‌شود که ریزپرنده در مواقعی که دچار مشکل می‌شود و لینک ارتباطی خود یا **GPS** را از دست می‌دهد یا در جای خود متوقف می‌شود **(Hover)** تا دوباره خود را بازیابی کند یا بر زمین می‌نشیند **(landing)** و یا به مرکز از پیش تعریف شده برمی‌گردد **(Go to home)** که در فلوچارت ذیل به‌اختصار این شرح کار بیان شده است:



شکل ۷- مدل‌سازی رفتاری ریزپرنده در برابر اختلال

۵،۱،۳. شناخت ریزپرنده MAVIC

با توجه به اینکه در دنیای ریزپرنده‌ها تنوعی بسیار زیاد و همراه باقابلیت‌های متفاوتی هستند ما در این تحقیق یک مدل ریزپرنده خاص را مدنظر قرار می‌دهیم. البته شباهت‌های زیادی نیز بین این مدل‌ها وجود دارد ولی معیار قرار دادن یک مدل خاص ولی پرتکرار پژوهش ما را دقیق‌تر می‌نماید.

شکل ۸ – ریزپرنده Mavic

جدول ۳- مشخصات فنی Mavic [۳]

عنوان	مشخصات
وزن	734 gr
وزن قابل‌حمل	300 - 450 gr
طول	33 cm
ارتفاع پروازی	500 m up to 1 km
برد لینک رادیویی (تصویر)	8 km
سرعت ماکزیمم	65 km/h
مقاومت در برابر باد	40 km/h
مدت‌زمان پایداری	21 - 27 min
ناوبری	GNSS
لینک رادیویی	/ 2.4-2.483 GHz /5.725- 5.875 GHz
دوربین	12.7 MP (4K)

۵،۱،۴. شناخت انتخاب‌های بازیگران

هر بازیگری برای ورود به این بازی انتخاب‌هایی دارد که می‌تواند به‌طور هم‌زمان از آن‌ها استفاده کند. انتخاب‌های هرکدام از بازیگران به شرح ذیل می‌باشد:

بازیگر اول: گروه مهاجم (ریزپرنده)

ریزپرنده‌ها تنوع بسیاری دارند و هرکدام تجهیزات و امکانات خاصی به همراه دارند. این تجهیزات در یک رقابت هم در حوزه کشف و شناسایی و هم در حوزه اقدام نقش بازی می‌کنند.

عمده تجهیزات و امکانات (**options**) منصوب بر انواع ریزپرنده شامل موارد ذیل می‌شود:

جدول ٤- لیست تجهیزات ممکن برای انواع ریزپرنده

ردیف	تجهیزات منصوب بر ریزپرنده‌ها
۱	لینک کنترلی
۲	لینک تصویر
۳	INS
٤	GNSS
٥	3G- 4G
٦	لینک ماهواره
۷	مکان‌یاب صوتی
۸	حرکت‌های تاکتیکی

بازیگر دوم: گروه مدافع

گروه مدافع برای مقابله با ریزپرنده نیز امکانات متنوعی در حوزه کشف و شناسایی و هم در حوزه اقدام دارد، که به شرح ذیل می‌باشد:

جدول ٥- لیست تجهیزات کامل در گروه مدافع

ردیف	تجهیزات گروه‌های مدافع
۱	راداری
۲	جهت‌یاب سیگنالی
۳	جهت‌یاب و مکان‌یاب صوتی
٤	دوربین کشف
٥	دیدبان انسانی
٦	اختلال لینک باند وسیع
۷	اختلال GNSS
۸	فریب GNSS
۹	لیزر
۱۰	الکترومغناطیس
۱۱	تورپران
۱۲	ریزپرنده شکارچی
۱۳	تک‌تیرانداز

۵،۱،۵. مقید کردن انتخاب‌های طرفین

با توجه به اینکه:

اول- همه امکانات بازیگر اول در یک ریزپرنده وجود ندارد و بسته به ریزپرنده متفاوت است.

دوم- همه امکانات گروه مدافع نیز جنبه جنگ الکترونیک ندارد.

باید متناسب با شرایط واقعی تجهیزات طرفین را مقید کرد که با توجه به سناریو انتخاب‌های بازیگران برای دو حوزه **کشف و شناسایی** و **اقدام** ریزپرنده **mavic** به شرح ذیل می‌باشد:

جدول ٦- لیست تجهیزات نهایی شده بازیگران در قالب دو سناریوی مستقل

ردیف	بازی کشف و شناسایی		بازی اقدام	
	mavic	مدافع	mavic	مدافع
۱	لینک کنترلی	رادار	GNSS	اختلال
۲	لینک تصویر	صوتی	دورین	اختلال GNSS
۳	------	سیگنال	حرکت‌های تاکتیکی	لیزر
٤	------	دورین	------	-----
مجموع	۲	۴	۳	۳

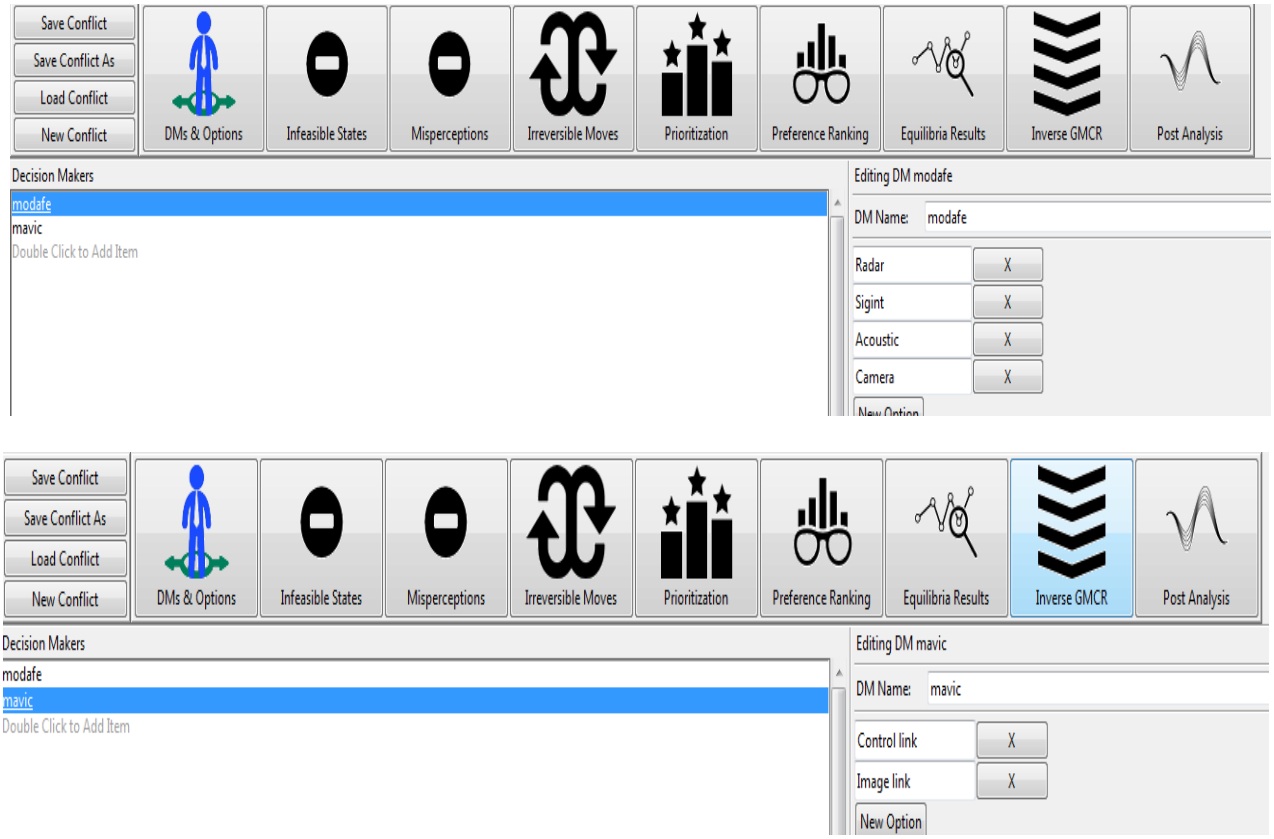
با توجه به اینکه مجموع حالت ممکن از رابطه 2^n تبعیت می‌کند. علی‌رغم مقید کردن امکانات طرفین، $n=5+7$ و $2^{12}=4096$ حالت متفاوت وجود دارد که بازهم رتبه‌بندی منطقی آن را دچار مشکل می‌کند. فلذا بازی را به دو بخش تقسیم می‌کنیم:

- بازی کشف و شناسایی

- بازی اقدام

که در این پژوهش بر بروی موضوع کشف و شناسایی تمرکز خواهیم کرد.

با تغییر تهدیدات قابلیت پوشش بهتری نسبت به دیگر روش‌ها دارد، از لحاظ برد عملیاتی نیز ضعیف است فلذا تشخیص جایگاه این روش در بین سایر روش‌ها باید معین گردد. حال اگر ترکیبی از این سامانه‌ها و عملکرد رقیب را داشته باشیم باز هم



شکل ۹- تعریف انتخاب‌های بازیگران در نرم‌افزار

۵،۲ شناخت عوامل مؤثر بر ترجیحات طرفین

یکی از مهم‌ترین بخش‌های حل این مسئله روند انتخاب ترجیحات در هر بازی می‌باشد. چراکه با در نظر گرفتن هرکدام از عوامل، Payoff ها و ترجیحات متفاوت و بالطبع نتیجه آن متفاوت خواهد شد. چیزی که در این مدل تصمیم‌گیری بسیار اثرگذار است و عموماً در کشور در نظر گرفته نمی‌شود، محاسبه هم‌زمان اثر این عوامل بر یکدیگر است. به‌عنوان‌مثال ما سامانه‌ای داریم که برای کشف ریزپرنده بسیار دقیق است ولی گران‌قیمت است و در مرحله تولید صنعتی هنوز وارد نشده است و از طرفی

بازی کشف و شناسایی					
گروه مدافع				mavic	
رادار	جهت یابی سیگنالی	سامانه صوتی	دوربین الکترواپتیک	لینک کنترلی	لینک تصویر
0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1

جدول ۷- کل وضعیت‌های بازی

رتبه‌بندی ترجیحات سخت‌تر می‌شود.

در این تحقیق ما ۲ مورد از عوامل اصلی مؤثر در صحنه تصمیم‌گیری را مورد بررسی قرار می‌دهیم که شامل موارد ذیل می‌شود:

۱. **هزینه‌های اقتصادی** عملیاتی
۲. **برد عملیاتی سامانه‌های شناسایی**

۵،۳ شناخت وضعیت‌های ممکن و ناممکن

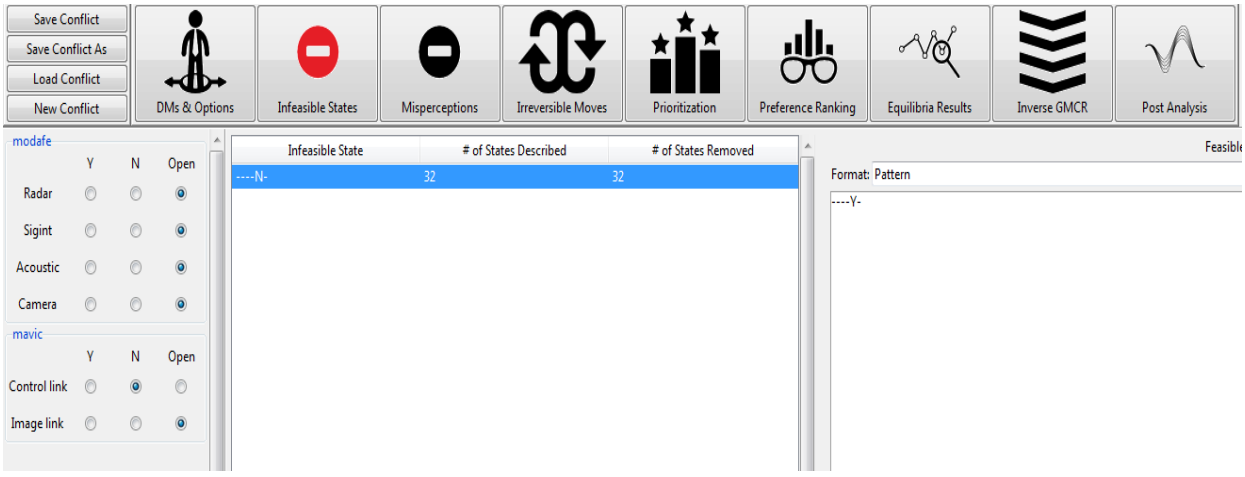
با توجه به تعداد انتخاب‌های که برابر ٦ می‌باشد، مجموعاً ٦٤ حالت داریم. این حالات شامل حالت‌های ممکن و ناممکن می‌باشد که در جدول ذیل بیان می‌گردد:

با توجه به اینکه خاموش کردن لینک کنترلی برای ریزپرنده دربردارنده هزینه‌های زیادی است و ممکن است که در موفقیت مأموریت خود دچار ابهام اساسی شود، لذا خاموشش بودن لینک کنترلی را جزو حالات غیرممکن فرض کرده و جدول نهایی را به‌صورت ذیل مرتب می‌کنیم:

جدول ۸- وضعیت‌های ممکن بازی

بازی کشف و شناسایی					
گروه مدافع					mavic
رادار	جهت یابی سیگنالی	سامانه صوتی	دوربین الکترواپتیک	لینک کنترلی	لینک تصویر
R	S	A	C	CL	IL
0/1	0/1	0/1	0/1	1	0/1
Y/N	Y/N	Y/N	Y/N	Y	Y/N

با حذف حالات غیرممکن مجموعاً ۳۲ حالت ممکن باقی خواهد ماند.



شکل ۱۱- حذف ۳۲ حالت غیرممکن

۵/۳/۱. حالات ممکن نهایی

با توجه به حذفیات حالات غیر، ممکن حالات ممکن و شرح آن‌ها به‌صورت ذیل می‌باشد. عدد اول نمایانگر موقعیت کلی وضعیت درمجموع ۳۲ حالت و عدد دوم نمایانگر عدد باینری آن وضعیت درمجموع ٦٤ حالت است.

حالت ۱* ١٦= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و گروه مدافع هم اقدامی برای کشف نمی‌تواند بکند.

حالت ۲* ۱۷= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و سامانه راداری گروه مدافع فعال هست.

حالت ۳* ۱۸= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و سامانه جهت‌یاب سیگنالی گروه مدافع فعال هست.

حالت ٤* ۱۹= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و رادار و جهت‌یاب سیگنالی گروه مدافع هم‌زمان فعال هستند.

حالت ۵* ۲۰ = ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و سامانه صوتی گروه مدافع فعال هست.

حالت ٦* ۲۱= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و رادار و سامانه صوتی گروه مدافع به‌صورت هم‌زمان فعال می‌شوند.

حالت ۷* ۲۲= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و جهت‌یاب سیگنالی و سامانه صوتی گروه مدافع به‌صورت هم‌زمان فعالیت می‌کنند.

حالت ۸* ۲۳= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و رادار و سامانه صوتی و جهت‌یاب سیگنالی گروه مدافع در حال شناسایی هستند.

حالت ۹* ۲٤= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و تنها دوربین برای شناسایی از طرف گروه مدافع وجود دارد.

حالت ۱۰* ۲۵= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و رادار و دوربین گروه مدافع به‌صورت هم‌زمان پوشش می‌دهند.

حالت ۱۱* ۲٦= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و جهت‌یاب سیگنالی و دوربین از طرف گروه مدافع استفاده می‌شود.

حالت ۱۲* ۲۷= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و رادار و جهت‌یاب سیگنالی و دوربین توسط گروه مدافع استفاده می‌شود.

حالت ۱۳* ۲۸= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و دوربین و سامانه صوتی توسط گروه مدافع به‌صورت هم‌زمان استفاده می‌شود.

حالت ۱٤* ۲۹= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و رادار و سامانه صوتی و دوربین توسط گروه مدافع استفاده می‌شود.

حالت ۱۵* ۳۰= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و سامانه جهت‌یاب سیگنالی و صوتی و دوربین گروه مدافع باهم فعال می‌شوند.

حالت ۱٦* ۳۱= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و رادار و سامانه صوتی و جهت‌یاب سیگنالی و دوربین گروه مدافع هم‌زمان شناسایی می‌کنند.

حالت ۱۷* ٤۸= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و گروه مدافع هم اقدامی برای کشف نمی‌تواند بکند.

حالت ۱۸* ٤۹= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و سامانه راداری گروه مدافع فعال هست.

حالت ۱۹* ۵۰ = لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و سامانه جهت‌یاب سیگنالی گروه مدافع فعال هست.

حالت ۲۰* ۵۱= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و رادار و جهت‌یاب سیگنالی گروه مدافع هم‌زمان فعالیت هستند.

حالت ۲۱* ۵۲= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و سامانه صوتی گروه مدافع فعال هست.

حالت ۲۲* ۵۳= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و رادار و سامانه صوتی گروه مدافع به‌صورت هم‌زمان فعال می‌شوند.

حالت ۲۳* ۵٤= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و جهت‌یاب سیگنالی و سامانه صوتی گروه مدافع به‌صورت هم‌زمان فعالیت می‌کنند.

حالت ۲٤* ۵۵= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و رادار و سامانه صوتی و جهت‌یاب سیگنالی گروه مدافع در حال شناسایی هستند.

حالت ۲۵* ۵٦= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و تنها دوربین برای شناسایی از طرف گروه مدافع وجود دارد.

حالت ۲٦* ۵۷= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و رادار و دوربین گروه مدافع به‌صورت هم‌زمان پوشش می‌دهند.

حالت ۲۷* ۵۸= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و جهت‌یاب سیگنالی و دوربین از طرف گروه مدافع استفاده می‌شود.

حالت ۲۸* ۵۹= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و گروه مدافع از رادار و جهت‌یاب سیگنالی و دوربین استفاده می‌کند.

حالت ۲۹* ٦۰= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و گروه مدافع از دوربین و سامانه صوتی به‌صورت هم‌زمان استفاده می‌کند.

حالت ۳۰* ٦۱= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و رادار و سامانه صوتی و دوربین از طرف گروه مدافع استفاده می‌شود.

حالت ۳۱* ٦۲= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و سامانه جهت‌یاب سیگنالی و صوتی و دوربین از طرف گروه مدافع باهم وارد فعالیت می‌شوند.

حالت ۳۲* ٦۳= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و گروه مدافع از رادار و سامانه صوتی و جهت‌یاب سیگنالی و دوربین به‌صورت هم‌زمان برای شناسایی استفاده می‌کند.

۵،٤. شناخت ترجیحات و تحلیل نتایج بازی‌های مستقل

۵،٤،۱. بازی اول (G1): نقش قیمت و هزینه‌های اقتصادی در تصمیم‌گیری

چرا هزینه‌های اقتصادی مهم است؟

- چون بودن و نبودن تجهیز به آن بستگی دارد. گاهی داشتن تجهیز با برد کم ولی ارزان بهتر از نداشتن آن است. نداشتن توان مالی برای تجهیز نیروها یک شکست از پیش معین شده است، لذا فرماندهان علی‌رغم میل باطنی همواره درگیر تأمین بودجه برای یگان‌های زیرمجموعه خود هستند تا بتوانند آن‌ها را انجام موفق مأموریت‌هایشان یاری دهند.

۵،٤،۱،۱. معیارهای رتبه‌بندی ترجیحات از نگاه بازیگر اول:

- توالی قیمت در سامانه‌های گروه مدافع از بیشینه به کمینه به شرح ذیل است:

رادار>سامانه صوتی>جهت‌یاب سیگنالی>دوربین

- در نبود لینک تصویر ریزپرنده، استفاده از سامانه سیگنالی هزینه مازاد و بیهوده است.
- در جایگاهی که سامانه‌ای که کاربرد ندارد استفاده شود، خسارت دو برابر محاسبه می‌گردد، چرا که وقتی ما پول محدودی که داریم تجهیز غیرکاربردی می‌خریم، در حقیقت هم یک تجهیز نامناسب را خریده‌ایم و هم یک تجهیز مناسب را نخریده‌ایم و این موضوع خسارت ما را دوچندان می‌کند.
- دوربین با توجه به این‌که حالت Search ندارد و فقط Tracker دارد، به‌تنهایی اولویت بالایی ندارد.
- در جاییکه جمع هزینه‌های ۲ سامانه و بیشتر یکسان شود، اثر تلفیق اطلاعات (data fusion) در تجمیع سامانه‌ها لحاظ می‌گردد.
- درنهایت رتبه‌بندی را یک‌بار از دیدگاه بازیگر اول (گروه مدافع) و یک‌بار از دیدگاه بازیگر دوم (Mavic) حل می‌کنیم.

ازآنجایی‌که پیدا کردن ترتیب این ترجیحات کار بسیار زمان بری است و زمان زیادی از کار پژوهشی به این امر پرداخته شد، در اینجا نمونه‌ای از استدلال‌ها بیان می‌شود و از توضیح سایر حالات به جهت اختصار پرهیز می‌شود:

۵،٤،۱،۲. ترتیب ترجیحات برای حالت‌های سی‌ودوگانه از نگاه بازیگر اول:

- حالت ۱۹: ازآنجایی‌که دوربین به‌تنهایی کاربرد ندارد، ارزان‌ترین سامانه جهت‌یاب سیگنالی است که در حضور لینک تصویر روشن MAVIC ارزشمند است.
- حالت ۲۷: در صورت استفاده از دوربین و سامانه سیگنالی به‌صورت هم‌زمان بازهم مجموع هزینه‌ها در این بخش از یک سامانه صوتی کمتر است.
- حالت ۵ و ۲۱= سامانه صوتی از رادار ارزان‌تر است و به لینک تصویر روشن یا خاموش وابستگی ندارد.
- حالت ۲ و ۱۸ = فقط شامل هزینه تأمین رادار هست و به لینک تصویر ریزپرنده که روشن یا خاموش باشد، وابستگی ندارد.
- حالت ۱۳ و ۲۹ = سامانه صوتی و دوربین هم‌زمان فعال هستند و فرقی نمی‌کند سیگنال تصویر ریزپرنده فعال باشد یا خیر.
- حالت ۲۳= سامانه جهت‌یاب سیگنالی و صوتی فعال هستند به شرط اینکه لینک تصویر ریزپرنده فعال باشد.
- حالت ۱۰ و ۲٦= در این حالت رادار و دوربین فعال هستند و وجود لینک تصویر روشن ریزپرنده اهمیتی ندارد.

۵،٤،۱،۳. معیارهای رتبه‌بندی ترجیحات از نگاه بازیگر دوم:

۱. در مورد هزینه‌های ریزپرنده (MAVIC) حالت‌های روشن و خاموش لینک، اثر اقتصادی برای ریزپرنده ندارد و هزینه جدیدی در برابر مصرف باتری، مصرف موتور در ارتفاع و سرعت ایجاد نمی‌شود.

۲. MAVIC تمایل دارد هزینه‌های بیشتری به رقیب تحمیل کند. ایجاد خسارت مالی برای گروه مقابل و او را وادار به هزینه‌های غیرضروری کردن برای ریزپرنده اهمیت دارد.

۳. اجرای مأموریت اولویت بالایی دارد.

۴. در حالت‌های مساوی بودن هزینه‌ها، هر چه تعداد سامانه‌های شناسایی کمتر باشد برای ریزپرنده بهتر است، چرا که تعدد سامانه‌ها احتمال عبور از سیستم پدافندی را کاهش می‌دهد.

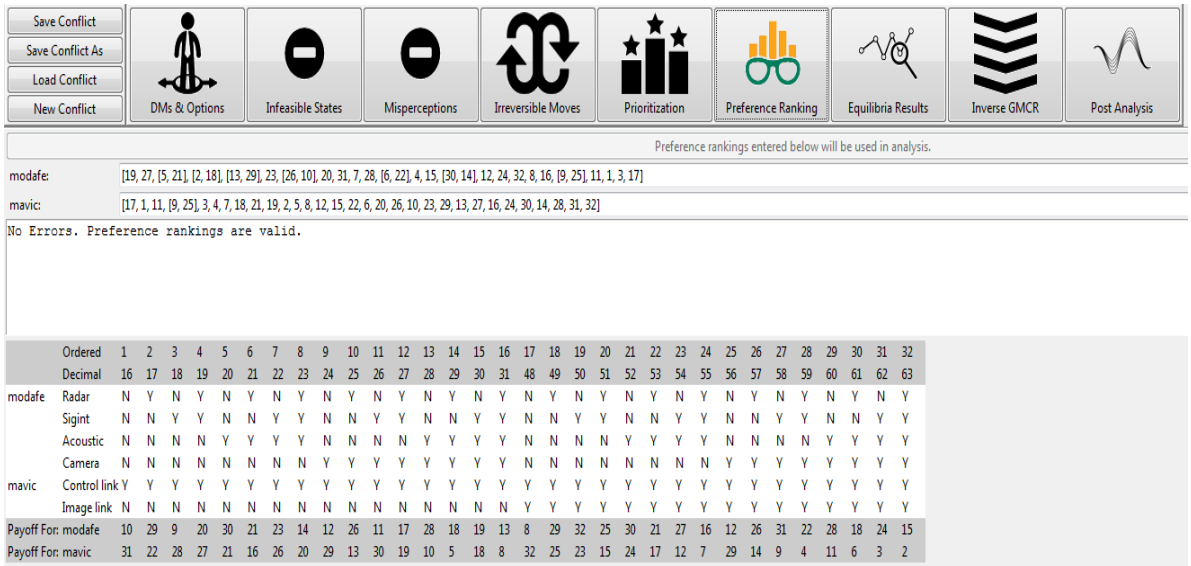
۵،٤،۱،٤. ترتیب ترجیحات برای حالت‌های سی‌ودوگانه از نگاه بازیگر دوم (MAVIC):

- حالت ۱: ریزپرنده فقط لینک تصویر ندارد ولی مأموریتش را بدون مشکل انجام می‌دهد. (010000)
- حالت ۱۱: ریزپرنده مأموریتش را با لینک خاموش انجام می‌دهد و تمایل دارد، گروه مدافع بیشترین هزینه را برای تأمین سامانه‌های جهت‌یاب سیگنالی و دوربین انجام دهد.

نکته: برای حالت بعد بین دو موضع در انتخاب هستیم که آیا ریزپرنده ایجاد خسارت برای گروه مدافع را بیشتر دوست دارد یا انجام مأموریت با کمترین احتمال شناسایی را می‌پسندد؟ پژوهشگر وزن بخش دوم را بیشتر دانسته و انجام مأموریت را مهم‌تر از خسارت به رقیب می‌داند و ترتیب سایر ترجیحات را بر این اساس انجام می‌دهیم.

- حالت ۹ و ۲۵= گروه مدافع دوربین دارد و ریزپرنده لینک روشن تصویر دارد.

نکته: در ادامه ترتیب ترجیحات بر این اساس خواهد بود که بیشترین خسارت را به رقیب تحمیل کرده ولی



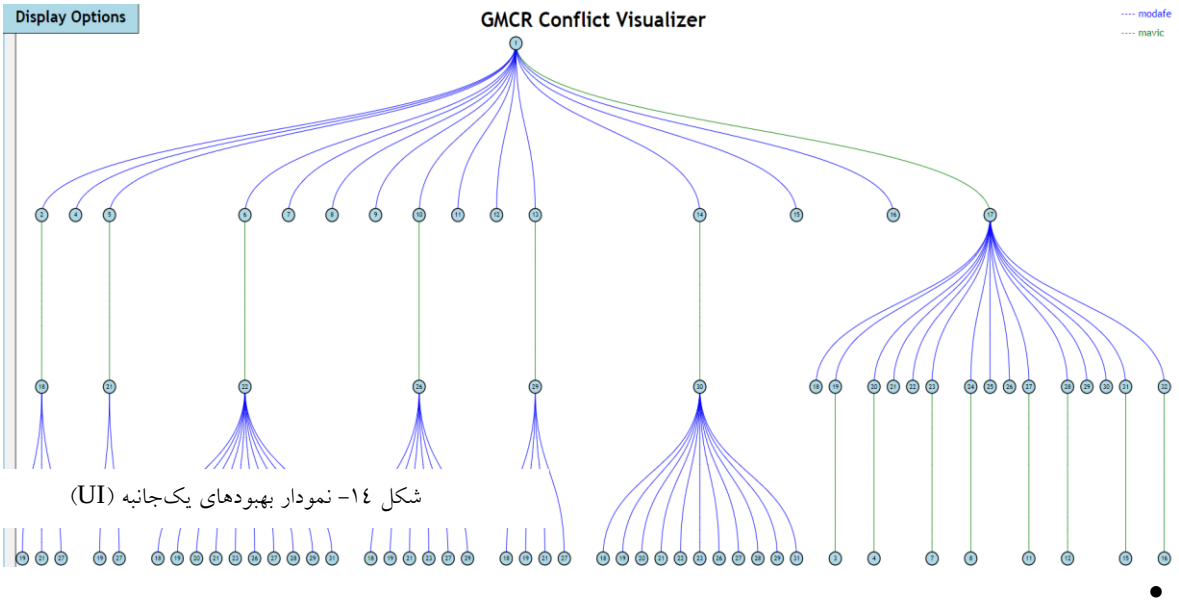
	Ordered	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	Decimal	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
modafe	Radar	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y
	Sigint	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y
	Acoustic	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y
	Camera	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
mavic	Control link	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	Image link	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Payoff For: modafe		10	29	9	20	30	21	23	14	12	26	11	17	28	18	19	13	8	29	32	25	30	21	27	16	12	26	31	22	28	18	24	15
Payoff For: mavic		31	22	28	27	21	16	26	20	29	13	30	19	10	5	18	8	32	25	23	15	24	17	12	7	29	14	9	4	11	6	3	2

شکل ۱۲- رتبه‌بندی نهایی ترجیحات در بازی**G1**

- حالت ۱۷: ریزپرنده مأموریتش را انجام داده و گروه مدافع نتواند کشف و شناسایی انجام دهد. (حالت 110000)

راهکارهای کشف و شناسایی حداقلی باشد.

- حالت ۳= ریزپرنده لینک تصویر ندارد و گروه مدافع سامانه جهت‌یاب سیگنالی دارد.
-

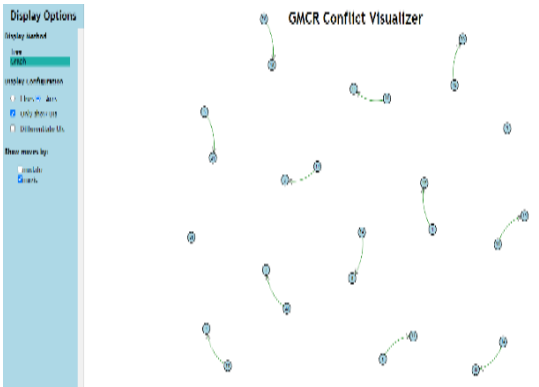


شکل ۱۴- نمودار بهبودهای یک‌جانبه (UI)

شکل ۱۳- نمودار درختی تحلیل گراف

- حالت ٤= لینک تصویر ریزپرنده خاموش بوده و گروه مدافع سامانه جهت‌یاب سیگنالی و یک روش هزینه‌بر شناسایی مثل رادار را انتخاب می‌کند.
- حالت ۷= گروه مدافع سامانه جهت‌یاب سیگنالی و صوتی دارد و لینک تصویر لینک تصویر ریزپرنده خاموش هست.

پس از رتبه‌بندی کامل ترجیحات، این موارد را در نرم‌افزار وارد و با استفاده از مدل گراف راه‌های بهبود یک‌جانبه را بررسی و نقاط تعادل را در منطق‌های مختلف استخراج می‌کنیم که نتایج آن به شرح ذیل می‌باشد:



۵,٤,۱,۵. پیش‌بینی نقاط تعادل در بازی G1

با استفاده از انواع تحلیل در حوزه تحلیل مناقشات با استفاده از مدل گراف نتایج به شرح ذیل می‌باشد:

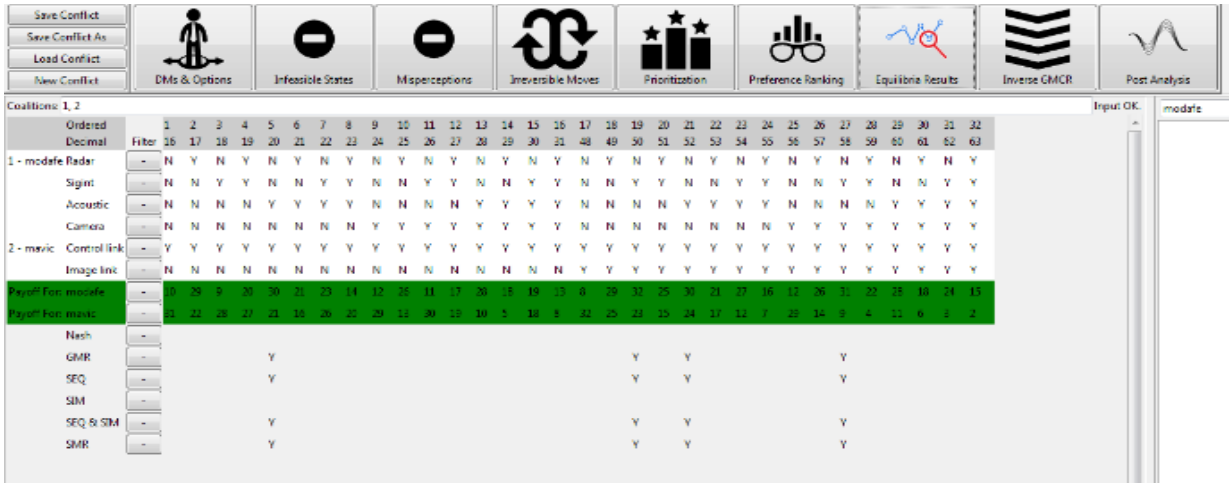
۵,٤,۱,٦. تحلیل بازی اول:

با در نظر گرفتن مسائل مالی- مأموریتی و تلفیق اطلاعات،

در منطق‌های مختلف روش گراف، استفاده از سامانه صوتی توسط گروه مدافع در حضور لینک تصویر روشن یا خاموش ریزپرنده (۵ و ۲۱) و یا استفاده از سامانه جهت‌یاب سیگنالی و دوربین به‌صورت هم‌زمان توسط گروه مدافع (۲۷) و یا استفاده از جهت‌یاب سیگنالی به‌تنهایی می‌توانند نقاط تعادل ما را تشکیل دهند که بالاترین payoff متعلق حالت ۱۹ می‌باشد.

رادار>جهت‌یاب سیگنالی> دوربین > سامانه صوتی

- برد سامانه جهت‌یاب سیگنالی منوط به حضور لینک تصویر ریزپرنده است.



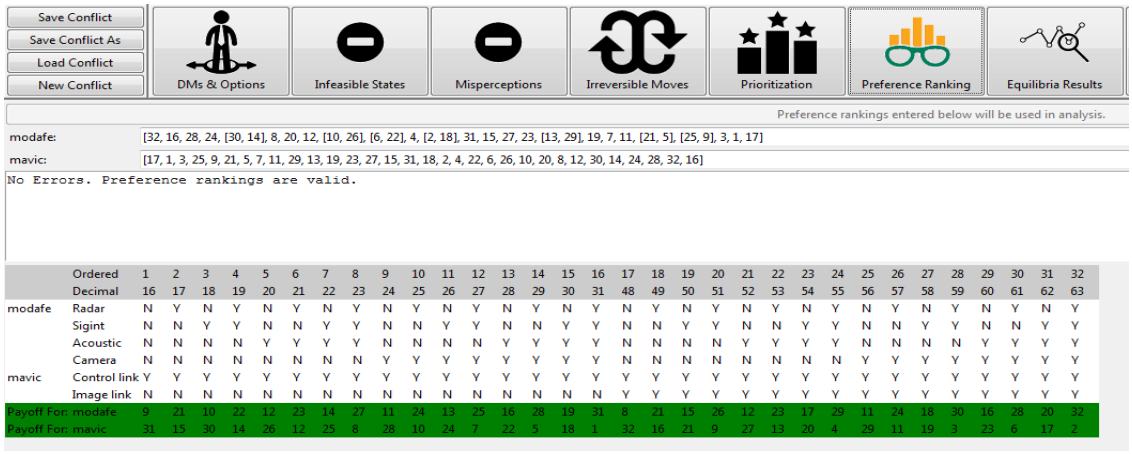
شکل ۱۵- شناخت نقاط تعادل بازی G1

۵،٤،۲. بازی دوم (G2): نقش برد عملیاتی در تصمیم‌گیری

چرا برد عملیاتی مهم است؟

- چون در فاصله بیشتری کشف می‌کنیم و متناسب با آن زمان بیشتری برای عکس‌العمل داریم. بدین ترتیب ریزپرنده نیز زمان فریب کمتری پیدا می‌کند و گروه مدافع آمادگی بیشتری برای دفاع از خود دارد.

- تعداد سامانه‌ها اثری در برد حداکثری ندارد ولی اثر تلفیقی دارد.
- اثر تلفیق مکان- مکان به دلیل بالاتر بردن دقت مکانی بر مکان – زاویه مقدم است.



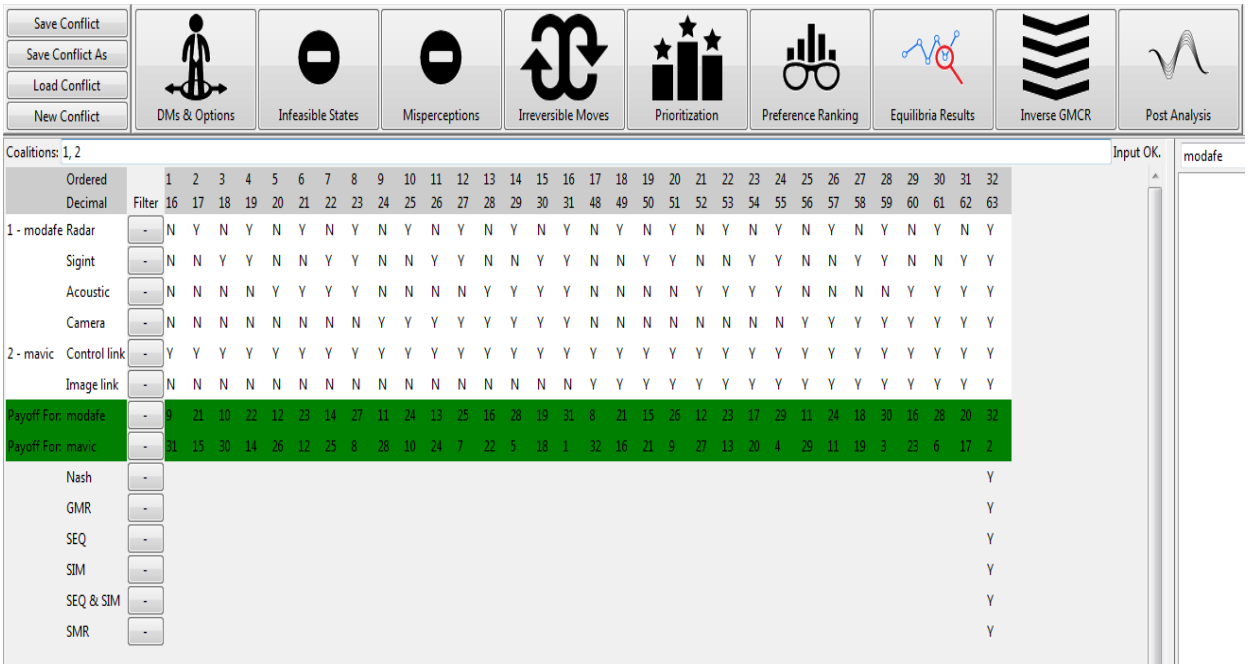
شکل ۱۶- رتبه‌بندی نهایی ترجیحات در بازی **G2**

۵،٤،۲،۱ معیارهای رتبه‌بندی ترجیحات از نگاه بازیگر اول:

- مقایسه برد عملیاتی سامانه‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

۵،٤،۲،۲ معیارهای رتبه‌بندی ترجیحات از نگاه بازیگر دوم:

-
- لینک تصویر ریزپرنده خاموش باشد، قدرت نفوذ آن را افزایش می‌دهد.
- در حالت‌های مساوی تعداد کمتر حسگر از طرف گروه مدافع اولویت دارد.



پس از رتبه‌بندی کامل ترجیحات این موارد را در نرم‌افزار وارد و با استفاده از مدل گراف راه‌های بهبود یک‌جانبه را بررسی و نقاط تعادل را در منطق‌های مختلف استخراج می‌کنیم که نتایج آن به شرح ذیل می‌باشد:

۵,٤,۲,۳. پیش‌بینی نقاط تعادل در بازی G2

با استفاده از انواع تحلیل در حوزه تحلیل مناقشات با استفاده از مدل گراف نتایج به شرح ذیل می‌باشد:

۵,٤,۲,٤. تحلیل بازی دوم:

با در نظر گرفتن برد عملیاتی مأموریت و تلفیق اطلاعات،

در منطق‌های مختلف روش گراف، حالت ۳۲ یعنی استفاده از کامل از تجهیزات موجود از طرف گروه مدافع و حضور ریزپرنده با لینک روشن، نقطه تعادل مسئله می‌باشد

٦. بازی نهایی: نقش هم‌زمان پارامترها در تصمیم‌گیری

در این بازی می‌خواهیم اثر هم‌زمانی متغیرها در روند تصمیم‌سازی را لحاظ کنیم و مشاهده کنیم نقاط تعادل چه تفاوتی با حالت‌های تک‌بعدی پیدا می‌کنند.

- **معیارهای رتبه‌بندی ترجیحات**

با توجه به اینکه payoff هرکدام از وضعیت‌ها در بازی‌های قبل مشخص شده در اینجا نیاز به یک تابع هزینه (cost function) برای تأثیر هم‌زمان پارامترها داریم.

برای هر یک از پارامترها وزنی لحاظ کرده و در یک فرمول خطی آن‌ها را محاسبه می‌کنیم.

با توجه به اینکه اصل بودن و یا نبودن تجهیزات به تأمین منابع مالی برمی‌گردد وزن بالاتر از میانگین یعنی ٦۰ درصد را به بودجه و ٤۰ درصد را برد عملیاتی سامانه‌ها تخصیص می‌دهیم.

شکل ۱۷- استنتاج نقطه تعادل

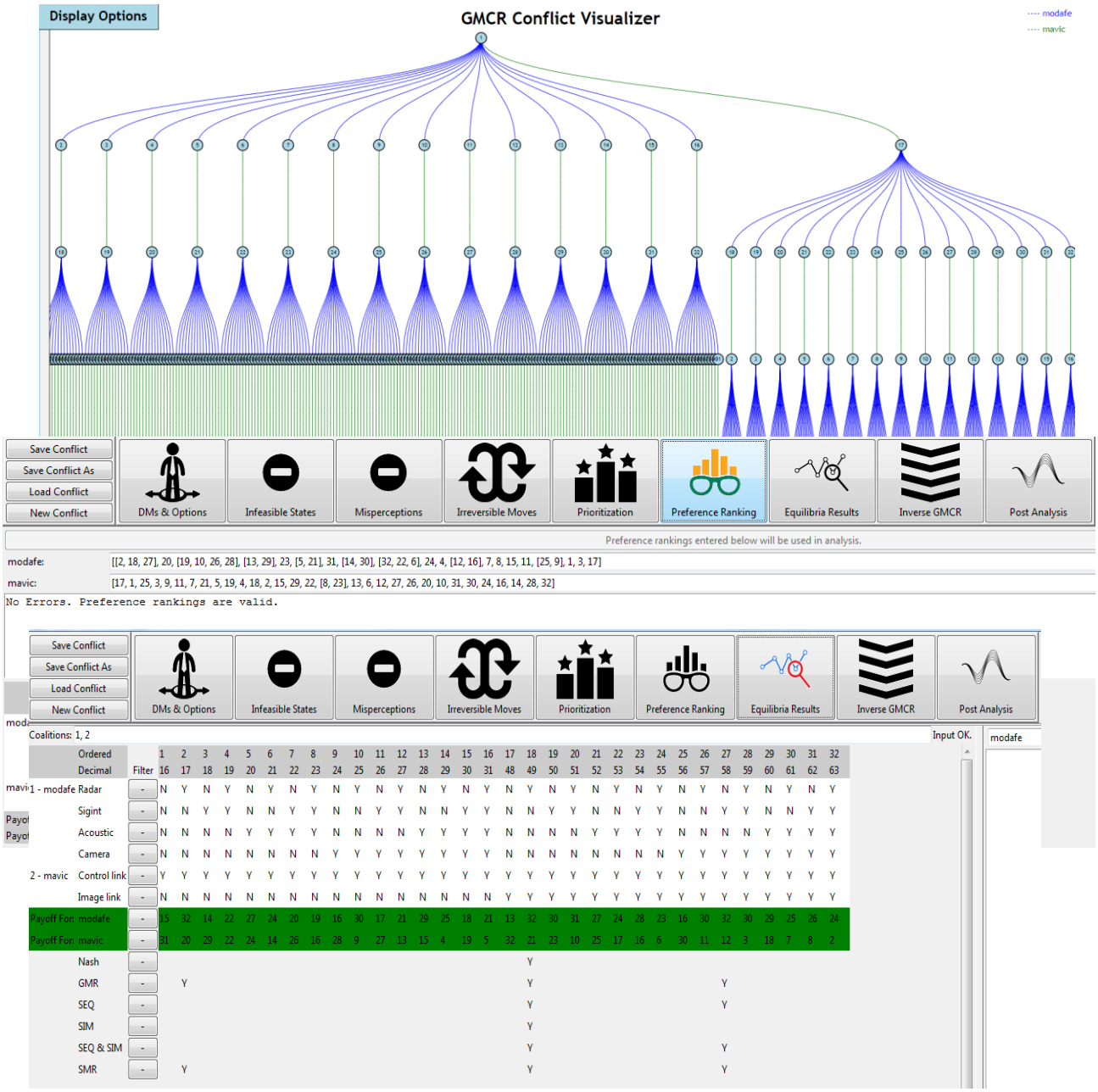
$$Payoff_final = 0.6*payoff_price + 0.4*payoff_range \quad (۱)$$

جدول ۹- جدول payoff نهایی ترجیحات بر اساس تابع هزینه پیشنهادی

Payoff تابع هزینه	Payoff بازی دوم	Payoff بازی اول	Payoff تابع هزینه	Payoff بازی دوم	Payoff بازی اول	وضعیت ا
ریزپرنده			مدافع			
31	31	31	9.6	9	10	**16.**
19.2	15	22	25.8	21	29	**17.**
28.8	30	28	9.4	10	9	**18.**
21.8	14	27	20.8	22	20	**19.**
23	26	21	22.8	12	30	**20.**
14.4	12	16	21.8	23	21	**21.**
25.6	25	26	19.4	14	23	**22.**
15.2	8	20	19.2	27	14	**23.**
28.6	28	29	11.6	11	12	**24.**
11.8	10	13	25.2	24	26	**25.**
27.6	24	30	11.8	13	11	**26.**
14.2	7	19	20.2	25	17	**27.**
14.8	22	10	23.2	16	28	**28.**
5	5	5	22	28	18	**29.**
18	18	18	19	19	19	**30.**
5.2	1	8	20.2	31	13	**31.**
32	32	32	8	8	8	**48.**
21.4	16	25	25.8	21	29	**49.**
22.2	21	23	25.2	15	32	**50.**
12.6	9	15	25.4	26	25	**51.**
25.2	27	24	22.8	12	30	**52.**
15.4	13	17	21.8	23	21	**53.**
15.2	20	12	23	17	27	**54.**
5.8	4	7	21.2	29	16	**55.**
29	29	29	11.6	11	12	**56.**
12.8	11	14	25.2	24	26	**57.**
13	19	9	25.8	18	31	**58.**
3.6	3	4	25.2	30	22	**59.**
15.8	23	11	23.2	16	28	**60.**
6	6	6	22	28	18	**61.**
8.6	17	3	22.4	20	24	**62.**
2	2	2	21.8	32	15	**63.**

که بر این اساس رتبه‌بندی نهایی ترجیحات به شرح ذیل می‌باشد:

هست، یعنی گروه مدافع از رادار استفاده می‌کند و گروه



شکل ۲۰- پیش‌بینی نقاط تعادل در بازی نهایی

حال بر اساس payoff های جدید نقاط تعادل جدید را استخراج می‌کنیم:

۶/۱. تحلیل بازی نهایی

نتیجه پیش‌بینی نقطه تعادل در این بازی بسیار جالب بود. در این بازی ۳ نقطه تعادل به دست آمد. قوی‌ترین آن‌که در منطق‌های مختلف دارای نقطه تعادل است، حالت ۱۸ مهاجم با لینک روشن در صحنه حاضر می‌شود. بعد از این حالت استفاده از دوربین و سامانه جهت‌یاب سیگنالی در حضور لینک تصویر روشن ریزپرنده، بیشترین وزن را دارا می‌باشد. (وضعیت ۲۷). وضعیت ۲ یعنی استفاده از رادار در با لینک تصویر خاموش ریزپرنده به‌عنوان نقطه تعادل بعدی پیش‌بینی‌شده است. اگر ما این حالت‌ها را با نقاط تعادل بازی‌های مستقل بسنجیم به نکات جالبی دست پیدا

می‌کنیم. در بازی اول که معیار هزینه‌های عملیات جنگ الکترونیک بود، حالت‌های ۵-۱۹-۲۱ و ۲۷ نقطه تعادل بود که وزنی شبیه یکدیگر داشتند. معنای این حالت‌ها به ترتیب: استفاده از سامانه صوتی با لینک تصویر خاموش ریزپرنده - استفاده از سامانه جهت‌یاب سیگنالی با لینک تصویر روشن ریزپرنده - استفاده از سامانه صوتی با لینک تصویر روشن ریزپرنده - استفاده از سامانه جهت‌یاب سیگنال و دوربین در حضور لینک روشن تصویر ریزپرنده می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتیجه بسیار متفاوت بوده و تنها یک نقطه اشتراک دارند. در مورد بازی برد سامانه‌های جنگ الکترونیک نیز نکات مهمی نهفته است. در این حالت استفاده هم‌زمان همه تجهیزات با قاطعیت به‌عنوان پیش‌بینی آمده که اصلاً در نتایج نهایی جایگاهی ندارد. این تحلیل به ما اثبات می‌کند که تصمیم‌گیری برای صحنه جنگ الکترونیک یک پارامتر تک‌بعدی نیست و از زوایای مختلف اهمیت گوناگون دارد و تصمیمی که فقط بر اساس برد عملیاتی سامانه‌ها اتخاذ شده بود با ورود متغیر جدید از اعتبار ساقط می‌شود.

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ما در این پژوهش برای تصمیم‌سازی استفاده از تجهیزات، در صحنه نبرد جنگ الکترونیک مدلی را ارائه کردیم که مزایای ذیل را شامل می‌شود:

- استفاده از روش‌های نوآورانه نظریه بازی‌ها برای پیش‌بینی و تصمیم سازی
- تأثیر هم‌زمان پارامترهای مؤثر بر تصمیم‌گیری
- تأثیر پارامترهای کیفی در فرآیند تصمیم‌گیری
- ایجاد مدلی که به‌راحتی برای سایر موضوعات می‌تواند تطبیق‌پذیر باشد و بسته به نظر بهره‌برداران تصمیمات جدیدی را پیشنهاد دهد.
- در نظر گرفتن رفتار رقیب در حل مسائل که عمدتاً از این موضع صرف‌نظر می‌شود.
- ایجاد یک تابع هزینه جامع باقابلیت تغییر وزن برای تأثیر هم‌زمان متغیرها

در این پژوهش ۲ کار اصلی مورد توجه نویسندگان بوده است: اول؛ یک مدل‌سازی کارا و قابل انعطاف برای تصمیم سازی در محیط عملیات جنگ الکترونیک تشکیل دادیم و دوم؛ در موضوع بسیار مهم ریزپرنده به این نتیجه رسیدیم که اگر در تصمیم‌گیری بخواهیم هم اقتصادی عمل کنیم و بیشترین برد عملیاتی را کسب نماییم، بهتر است از رادار استفاده کنیم و ریزپرنده هم در این میدان برای رسیدن به اهداف خود با لینک روشن تصویر ورود نماید. این نتایج وقتی اهمیت پیدا می‌کند که با نتایج بازی‌های مستقل مقایسه می‌شود. چرا که در هر بازی نتایج به دست آمده بود که با نتیجه نهایی متفاوت بوده است؛ **یعنی اگر تصمیم‌گیری فقط بر اساس اینکه چه کار کنیم که برد بیشتری کسب نماییم بود، تصمیم اشتباهی گرفته می‌شد و اگر فقط می‌خواستیم صحنه جنگ الکترونیک را با هزینه ارزان مدیریت کنیم نیز تصمیم اشتباهی می‌گرفتیم ولی با توجه به نتایج اکنون می‌توان تصمیم واقع‌بینانه‌تری را اتخاذ کرد.**

نتایج عملیاتی که از این تحقیق حاصل می‌شود این است که گرایش فرماندهان به استفاده از رادار با توجه شرایط بازی افزایش پیدا خواهد کرد. از آنجایی که در طی بازی مشاهده کردیم احتمال استفاده از لینک خاموش تصویر در ریزپرنده کمتر است استفاده از سامانه‌های جهت‌یاب سیگنالی نیز توجیه دارد. ترکیب دوربین با سایر سامانه نیز می‌تواند راه گشا باشد ولی استفاده از سامانه صوتی عموماً پیشنهاد نمی‌گردد. به عبارتی بیشترین سرمایه‌گذاری در رادار و سپس در سایر سامانه‌ها بایستی انجام گردد.

تکرار این بازی با تابع هزینه‌های متفاوت می‌تواند نتایج متنوعی را در بربگیرد. همچنین تعریف توابع غیرخطی بجای توابع خط نیز درنتیجه گیری مؤثر خواهد بود که سایر پژوهشگران می‌توانند این موضوع را دنبال نمایند.

۷/۱. پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده:

با توجه به نتایج قابل اهمیتی که به دست آمد می‌توان در بازی کشف و شناسایی متغیرهای دیگری که تأثیرگذار هستند را نیز در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ کرد؛ که پیشنهاد می‌شود پژوهشگران به این موارد بپردازند:

۱- انعطاف در برابر تغییر تهدید

سامانه‌های که در صحنه جنگ الکترونیک ورود می‌کنند چقدر در برابر تغییر تهدید مقاوم هستند و آیا این سامانه‌ها فقط برای یک سال کاربرد دارند یا زمان طولانی‌تری قابل بهره‌برداری هستند؟ و در صورت نیاز به تغییر، چقدر سرعت به‌روزرسانی دارند؟

۲- تاب‌آوری و مقاوم بودن از لحاظ میزان خرابی و ازکارافتادگی

بعضی از سامانه‌ها با توجه به اینکه قطعات اکتیو و بعضاً تندسوز در آن‌ها به کار رفته است. خیلی سریع خراب می‌شوند و بهره‌برداران را دچار مشکل می‌کنند. وجود تعداد زیادی از سامانه‌های خراب و بلاتکلیف در سایت‌های عملیاتی شاهدی بر این مدعاست.

۳- اثرپذیری از محیط و آب‌وهوا

بعضی از سامانه‌ها در آب‌وهوای مختلف عملکرد متفاوتی دارند فلذا با توجه به منطقه بهره‌برداری می‌توان در مورد کیفت آن اظهارنظر کرد.

٤- شناسایی ایستگاه زمینی کنترل ریزپرنده

بعضی از سامانه‌ها توانایی کشف ایستگاه زمینی کنترل ریزپرنده را نیز دارند که می‌توان به این ویژگی با اهمیت هم در تصمیم‌گیری‌ها وزن داد.

۸. مراجع(References)

[۱] حاجیلو، شکوهی، قرایی، احدی. (۱٤۰۱)، بررسی نقش ریزپرنده ها در جنگ آینده، فصلنامه مطالعات دفاعی استراتژیک، شماره ۸۷، ص ۱۵۹– ۱۸۲

[۲]زینالی، نجفی، فرخ زاده (۱٤۰۰)، سامانه تشخیص ریزپرنده مهاجم با استفاده از سنسور تصویر، فصلنامه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی، دوره ۲، شماره ۵

[www.businessinsider.com۳]

[٤]تربتی فرد، م.شیخ محمدی، ی.نوروزی (۱۳۹۹)، مدل‌سازی و تحلیل سناریو جنگ فرماندهی و کنترل بین دو کشور متخاصم بر اساس نظریه بازی‌ها در حالت غیر همکارانه، فصلنامه علمی – پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال چهارم، شماره ٤

[۵]عباسی، م.شیخ محمدی، م.غیوری ثالث، م.(۱۳۹٦)، مدل‌سازی و تحلیل راهبردی مناقشه نویسندگان بدافزار و تحلیلگران سامانه‌های امنیتی با استفاده از نظریه بازی، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، دوره ۷، شماره ۲۳

[6] Nash, J. 1951. “Non-cooperative games. Annals of mathematics”, 286-295.

[7] Howard, N. 1971. “Paradoxes of Rationality: Theory of Metagames and Political Behavior”, MIT Press

[8] Fraser, N. M., & Hipel, K. W. 1984. Conflict analysis: models and resolutions (Vol. 11): North-Holland.

[9] Zagare, F. C. 1984. “Limited-move equilibria in 2× 2 games”. Theory and Decision, 16(1), 1-19

[10] Brams, S. J., & Wittman, D. 1981. “Nonmyopic equilibria in 2× 2 games”. Conflict Management and Peace Science, 6(1), 39-62

[11] Fang, L., Hipel, K. W., & Kilgour, D. M. 1993. Interactive decision making: The graph model for conflict resolution (Vol. 3): John Wiley & Sons.

[12] Howard, N. 1987. “The present and future of metagame analysis”. European Journal of Operational Research, 32(1), 1-25.

[13] Takahashi, M. A., Fraser, N. M., & Hipel, K. W. 1984. “A procedure for analyzing hypergames”. European Journal of Operational Research, 18(1), 111-122.

[14] Howard, N. 1994. “Drama theory and its relation to game theory”. Part 1: dramatic resolution vs. rational solution. Group Decision and Negotiation, 3(2), 187-206.

[15] Brams, S. J., & Mattli, W. 1993. “Theory of moves: overview and examples”. Conflict Management and Peace Science, 12 (2), 1-39.

[16] Sheikhmohammady, M., Hipel, K. W., Asilahijani, H., & Kilgour, D. M. 2009. “Strategic analysis of the conflict over Iran's nuclear program”. Paper presented at the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics,. SMC 2009.

[17] Sheikhmohammady, M., Bitalebi, H., Moatti, A., & Hipel, K. W. 2013, “Formal Strategic Analysis of the Conflict over Syria”. Paper presented at the 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics.

[18] Neng-Jing, L., Yi-Ting, Z.: ‘A survey of radar ECM and ECCM’, IEEETrans. Aerosp. Electron. Syst., 1995, 31, (3), pp. 1110–1120

[19] Vakin, S.A., Shustov, L.N., Dunwell, R.H.: ‘Fundamentals of electronic warfare’ (Artech House, 2001).

[20] MacKenzie, A.B., Wicker, S.B.: ‘Game theory in communications motivation, explanation, and application to power control’. Global Telecommunications Conf. 2001, GLOBECOM ’01 IEEE, 25–29 November 2001, vol. 2, pp. 821–826.

[21] Smith, J.F.: ‘Decision support for rule and technique discovery in anuncertain environment’. ISIF, 2002, vol. 1, pp. 80–87

[22] Slater, D., Tague, P., Poovendran, R.: ‘A game-theoretic framework for jamming attacks and mitigation in commercial aircraft wireless networks’. AIAA Infotech@Aerospace Conf., 2006, pp. 1–8

[23] Jormakka, J., Mo¨lsa¨, J.V.E.: ‘Modeling information warfare as a gameJ. Inf. Warf., 2005, 4, (2), pp. 12–25.

[24] G. Chen, D. Shen, C. Kwan, J. B, C. Jr, “Game Theoretic Approach to Threat Prediction and Situation, JOURNAL OF ADVANCES IN INFORMATION FUSION VOL. 2, NO. 1 JUNE 2007.

[25] Liu, X., Noubir, G., Sundaram, R., Tan, S.: ‘SPREAD: foiling smart jammers using multi-layer agility’. Twenty-sixth Annual IEEE Conf. on. Computer Communications. IEEE INFOCOM, 2007, pp. 2536–2540

[26] Haykin, S.: ‘Cognitive dynamic systems, ISASSP’, 2007, pp. IV-1369IV1372.

[27] Brooks, R.R., Pang, J.-E., Griffin, C.: ‘Game and information theory analysis of electronic countermeasures in pursuit-evasion game’, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. A, Syst. Humans, 2008, 38, (6), pp. 1281–129.

[28] Roy, S., Ellis, C., Shiva, S., Dasgupta, D., Shandilya, V., Wu, Q ‘A survey of game theory as applied to network security’. Proc. 43rd Hawaii Int. Conf. on System Sciences, Hawaii, USA, 2010

[29] A. Deligiannis, G. Rossetti, A. Panoui, S. Lambotharan J. A. Chambers. 2016, “Power Allocation Game Between a Radar Network and Multiple Jammers”. 2016 IEEE Radar Conference (RadarConf), 978-1-5090-0863-6/16.

[30] D. Wonderley, T. Selee, V. Chakravarthy. “Game Theoretic Decision Support Framework for Electronic Warfare Applications”, This work performed under USAF, 2016 IEEE Radar Conference (RadarConf), 978-1-5090-0863-6. Approved for public release by the USAF 88th Air Base Wing, Case Number 88ABW-2015-5940.

[31] D. G. Bhoyar, U. Yadav, “Review of jamming attack using game theory”,2017, International Conference on Innovations in information Embedded and Communication Systems (ICIIECS).

[32] Ziming Zhu, D. Marc Kilgour, and Keith W. Hipel, Fellow, IEEE.2018“A New Approach to Coalition AnalysisWithin the Graph Model”. IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS: SYSTEMS. 2168-2216

[33] Jing Yu, Keith W. Hipel, Fellow, IEEE, D. Marc Kilgour, Liping Fang, Fellow, IEEE, and Kedong Yin.2019“Graph Model under Unknown and Fuzzy Preferences”. IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS. DOI 10.1109/TFUZZ.2019.2905222

[34] Z. Xu,et al.20.2018 “Precoding Design for Drone Small Cells Cluster Network with Massive MIMO: A Game Theoretical Approach”. IEEE 978-1-5386-2070-0/18

[35] A. Eldosouky, A. Ferdowsi, & W. Saad. 2019.“Drones in Distress: A Game-Theoretic Countermeasure for Protecting UAVs Against GPS Spoofing”. IEEE Internet of Things Journa. DOI: 10.1109/JIOT.2019.2963337,

[36]B. Shahzaad, A. Bouguettaya∗, S. Mistry.2020.“ A Game-Theoretic Drone-as-a-Service Composition for Delivery”. IEEE International Conference on Web Services (ICWS)

[37] V. Mittal, S. Maghsudi, & E. Hossain. 2021.“ Distributed Cooperation Under Uncertainty in Drone-Based Wireless Networks: A Bayesian Coalitional Game”., IEEE Transactions on Mobile Computing.DOI: 10.1109/TMC.2021.3073772

[38] C, Feng, et al, “ A Radar Anti-Jamming Strategy Based on Game Theory With Temporal Constraints”.2022,IEEE ACCESS, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2022.3200761.

[39] R. Spica.et al, “A Real-Time Game Theoretic Planner for Autonomous Two-Player Drone Racing”,2020, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS

[40] L. Jiang1, F. Gonzalez, A. McFadyen, “Cooperative Game Theory based Multi-UAV Consensus-based Formation Control ”. 2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) Athens, Greece. September 1-4, 2020

[41] A. Sanjab, W. Saad, and T. Basar, “A Game of Drones: Cyber-Physical Security of Time-Critical UAV Applications with Cumulative Prospect Theory Perceptions and Valuations”, DOI 10.1109/TCOMM.2020.3010289, IEEE Transactions on Communications

[42] F. Busacca, L. Galluccio, S. Palazzo, “Drone-assisted Edge Computing: a game-theoretical approach ”, 2020, Western Sydney University, IEEE Xplore, 671-676