

مدل سازی تصمیم گیری برای کشف و شناسایی ریزپرنده در فضای جنگ الکترونیک با تأثیر مؤلفه های هزینه و برد عملیاتی بر اساس نظریه بازی ها

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 پالایشگاه ها، مراکز سیاسی مانند مجلس، دولت، قوه قضائیه و مراکز نظامی مانند پادگان ها، می توانند مورد حملات ریزپرنده های جاسوسی یا انتحاری قرار گیرند. برای کشف و شناسایی این تهدید، سامانه ها و روش های متنوعی پیشنهاد شده است که این موضوع، یک رقابت بین دو گروه مدافع و مهاجم ایجاد می نماید. عوامل متعددی در تصمیم گیری این دو گروه، رویکرد عملیاتی آن ها و انتخاب بهینه تجهیزات توسط آن ها، مؤثر می باشد. ما در این تحقیق با استفاده از نظریه بازی ها بر اساس مدل گراف توانسته ایم، 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، وضعیت های تعادل را بر اساس نظریه بازی ها و با استفاده از نرم افزار **GMCR** پیش بینی نماییم. در گام دوم با ترکیب این دو مؤلفه و اعمال هم زمان تأثیر پارامترهای تصمیم گیری در یک تابع هزینه، وضعیت نهایی کشف و شناسایی ریزپرنده را پیش بینی و با در نظر گرفتن شرایط واقعی برای یک ریزپرنده مشخص بنام **MAVIC** به عنوان بخشی از سناریو، فرآیند تصمیم گیری صحیح برای فرماندهان صحنه نبرد جنگ الکترونیک را مدل سازی کرده ایم. نتایج نشان می دهد اعمال اثر دو پارامتر هم زمان هزینه و برد عملیاتی نتایج کاملاً متفاوتی با تصمیم های تک بعدی و یک جانبه دارد که با تغییر تابع هزینه و ورود عوامل دیگر مؤثر بر تصمیم گیری می توان به نتایج جدید دست یافت.

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

^۱ دانشجوی دکتری 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 سیستم ها، دانشگاه تربیت مدرس، msheikhm@modares.ac.ir

۱. کلیات

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؟ 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 تصمیم‌یاری نظریه بازی‌ها بتوانیم یک تصمیم همه‌جانبه و علمی را پیشنهاد نماییم [۴].

هدف اصلی این پژوهش در نظر گرفتن ۲ عامل مؤثر: هزینه و بودجه عملیاتی و برد عملیاتی سامانه‌ها در تصمیم‌سازی تجهیز میدان نبرد می‌باشد. از آنجایی که 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 از لحاظ امنیتی، هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ سیاسی بر عملکردشان تأثیر گزار است. اگر یک

ریز پرنده‌ها امروزه جایگاه ویژه‌ای در سازمان‌های نظامی و غیرنظامی پیدا کرده‌اند. 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 فناوری روش‌های متعددی برای شناسایی و مقابله با این پدیده پیشنهاد شده است، ولی می‌توان به‌جرت 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 تبادل نظر 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

می‌باشد که وجود هر کدام 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 به تنهایی نمی‌تواند این موضوع را شکل دهد و تصمیمات ما متأثر از تصمیمات رقیب خواهد بود. چه بسا 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.

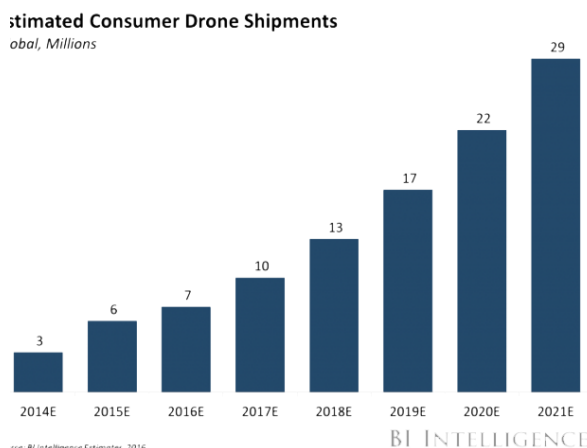
۳. مفاهیم پایه‌ای نظریه بازی‌ها

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

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 ۲۰۱۴ 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 تصمیم‌سازی متأثر از پارامترهای متنوعی

به طور کلی هر بازی یا یک مناقشه در نظریه بازی شامل موارد زیر است:

بازیگران^۴: یک فرد یا گروهی از افراد که در یک بازی به عنوان بازیگر می‌توانند نقش ایفا کنند.

اقدامات^۵: مجموعه‌ای از حرکت‌ها و یا تصمیم‌ها که بازیگر می‌تواند در یک رقابت انجام دهد.

راهبرد^۶: مجموعه اقداماتی که بازیگر تصمیم می‌گیرد در مواجهه با رقبا و در راستای کسب منافع خود انجام دهد.

مناقشه راهبردی^۷: نتیجه رویکرد غیر هم کارانه بازیگران در تعارضات دنیای واقعی است.

پیامدها^۸: هرگونه ترکیبی از راهبردها که برای هر بازیگر عایدی و منفعتی دارد.

ترجیحات^۹: 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^{۱۰} یا حالت راهبردی، نمایش گسترده^{۱۱}، حالت گزینه‌ای^{۱۲} و نمایش گراف استفاده می‌شود، که هر کدام 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، در صورتی که 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 بیان شده است:

وضعیت تعادل^{۱۳}: 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 به صورت یک‌جانبه آنجا را ترک می‌کند، به عوامل مختلفی همچون خطرپذیری یا خطرگریزی فرد، عمق بینش و درک او از رقیب بستگی دارد.

بر این مبنای، برای تعریف پایداری فردی^{۱۴}، راه‌حل‌های مختلفی ارائه شده است که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است:

پایداری نش^{۱۵}: معرف وضعیت است که یک بازیگر خاص نمی‌تواند با حرکتی یک‌جانبه (با فرض ثابت بودن راهبرد سایر بازیگران)، به موقعیت بهتری دست یابد [۵ و ۶].

ماورای عقلانیت عمومی (GMR)^{۱۶}: در این روش، بازیگر علاوه بر بررسی وضعیت‌های بهبود یک‌طرفه^{۱۷} 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)

¹¹ extensive form

¹² option form

¹³ equilibrium state

¹⁴ individual stability

¹⁵ nash stability

¹⁶ general meta-rationality (GMR)

¹⁷ unilateral improvement (UI)

⁴ players

⁵ actions

⁶ strategies

⁷ strategic conflict

⁸ outcomes

⁹ preferences

¹⁰ normal form

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 و گرنه حرکت نمی‌کند.

در گام بعد، حالت‌های پایدار، رصد می‌شود و در نهایت نقطه یا نقاط تعادل به دست می‌آید.

پایداری حرکت محدود^{۲۱}: یک بازیگر به اندازه h قدم جلوتر از خود را می‌بیند. پارامتر h متغیر است [۹].

پایداری غیرکوتاه‌نظرانه^{۲۲}. حالت خاصی از پایداری حرکت محدود است که در آن پارامتر h به سمت بی‌نهایت میل می‌کند. در واقع، بازیگری که با مفهوم پایداری غیرکوتاه‌نظرانه 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 ^{۲۳}
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

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 در نهایت نقطه یا نقاط تعادل به دست می‌آید.

ماورای عقلانیت متقارن (SMR)^{۱۸}: در اینجا فرض بر این است که بازیگر پس از پاسخ رقبا می‌تواند حرکت دیگری هم داشته باشد. پایداری با مفهوم ماورای عقلانیت متقارن معرفّ شرایطی است که یک بازیگر از هیچ‌یک از بهبودهای یک‌جانبه خود بهره‌مند نمی‌شود؛ زیرا تمام حرکت‌های او توسط رقبا مورد مجازات^{۱۹} 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_3 و S_4 برایش بهتر باشد، حرکت می‌کند.

در گام آخر، حالت‌های پایدار، رصد می‌شود و در نهایت نقطه یا نقاط تعادل به دست می‌آید.

پایداری متوالی (SEQ)^{۲۰}: 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 معرفّ وضعیتی است که در آن تمام بهبودهای یک‌جانبه فرد به‌وسیله

²¹ limited move stability

²² non- myopic stability

²³. strategic dis-improvement

¹⁸ symmetric meta-rationality (SMR)

¹⁹ sanction

²⁰ sequential stability (SEQ)

- هر بازیگر می تواند هر تعداد از گزینه های خود را هم زمان انتخاب کند (راهبرد هر بازیگر منحصر به یک اقدام نیست).

- وضعیت های نشدنی^{۲۵} در مسائل دنیای واقعی به راحتی از وضعیت های ممکن متمایز شده و حذف می گردند.

- تعیین ارزش های عددی^{۲۶} به عنوان مطلوبیت بازیگران در وضعیت های مختلف ضرورتی ندارد (تنها بیان ترجیحات هر بازیگر روی وضعیت های مختلف به صورت ترتیبی کفایت می کند).

- حرکت های برگشت ناپذیر^{۲۷} و ترجیحات غیر متعددی^{۲۸} را لحاظ می کند.

- از مفاهیم حل^{۲۹} متفاوت برای تعیین پایداری فردی^{۳۰} و وضعیت های تعادل استفاده می کند.

جدول ۲- مقایسه نظریه بازی های کلاسیک و گراف مدل

ردیف	عنوان	Classic Model (ماتریس - Nash)	Graph Model (تحلیل مناقشات - option form)
۱	تعداد بازیگران	محدودیت دارد	محدودیت ندارد
۲	دوراندیشی	یک گام دارد	چند گام بعد را مورد توجه قرار می دهد
۳	ارزش گذاری انتخاب ها	فقط کمی	هم کمی و هم کیفی
۴	نقطه تعادل	فقط یک انتخاب وجود دارد	ترکیبی از انتخاب ها می تواند باشد
۵	حرکت های برگشت پذیر	ندارد	دارد
۶	ترجیحات متعددی	به دلیل ماهیت عددی باید رعایت شود	وضعیت ها مستقل از هم می توانند بر هم ارجحیت داشته باشند
۷	حالت های غیر ممکن	قابلیت حذف ندارد	قابلیت حذف دارد

این مدل دارای چهار مؤلفه به شرح زیر است:

۱. مجموعه تصمیم گیرندگان که با $N = [1, 2, \dots, n]$ نشان داده می شود و $2 \leq |N| < \infty$

۲. مجموعه وضعیت های شدنی با S نشان داده می شود $2 \leq |S| < \infty$

۳. هر بازیگر دارای یک گراف است. رئوس این گراف معرف وضعیت های شدنی مختلف و کمان های جهت دار بین

مفاهیم راه حل	ارائه دهنده ایده	دوراندیش	تنزل راهبردی ^{۳۳}
پایداری (NM)	غیر کوته نظرانه	بالا	راهبردی
	Brams & Wittman, (1981)		

یک مناقشه راهبردی به فعل و انفعال متقابل دو یا چند بازیگر گفته می شود که هر کدام تصمیماتی را اتخاذ می کنند مشخص می کند حالت مناقشه چگونه به وجود می آید و نیز هر کدام، برای خود ترجیحاتی در میان حالت های ممکن (به عنوان راه حل نهایی) دارند. لذا، یک مناقشه راهبردی، یک مسئله و مشکل با رویکرد، تصمیم تعاملی است که در آن دو یا چند تصمیم ساز وجود دارند. هر بازیگر انتخابی دارد (دو یا چند گزینه) و برای هر تصمیم ساز، اصالتاً انتخاب های دیگران دارای اهمیت است [۱۱]. به طور دقیق تر، هر بازیگر از تصمیمات سایر بازیگران، منتفع یا متضرر می شود. واضح است که مناقشات راهبردی در تعاملات فی مابینی و در همه سطوح از قبیل شخصی، خانوادگی، شغلی، ملیتی و بین المللی، 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 تکنیک های نظریه بازی در حالت غیر همکارانه است، زمانی اهمیت خود را بیشتر نشان می دهد که بیان مطلوبیت بازیگران با اعداد کمی و مقداری ممکن نباشد [۱۱]. مدل گراف برای تجزیه و تحلیل مناقشات نسبت به مدل های کلاسیک نظریه بازی دارای مزایایی به شرح زیر است:

- نمایش بازی هایی که تعداد بازیگران آن بیش از دو نفر باشد به راحتی و به فرم گزینه ای صورت می گیرد.

28. intransitive preferences

29. solution concepts

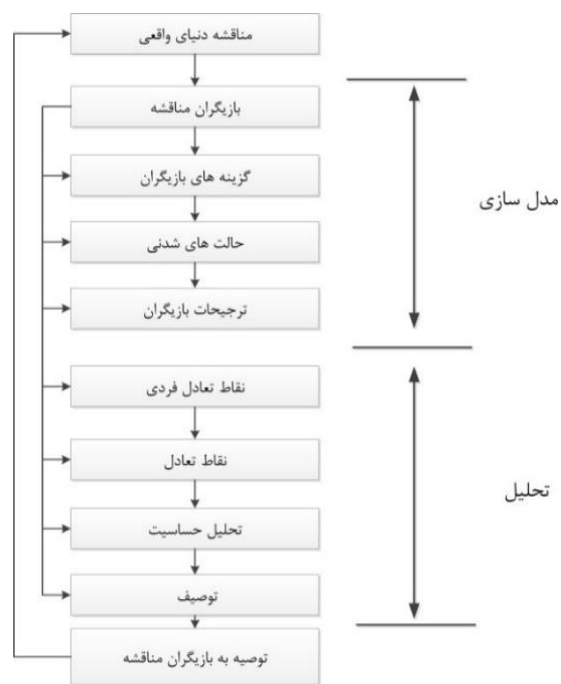
30. individual stability

24 Fang

25. infeasible state

26. cardinal values

27. irreversible moves



شکل ۲- مدل گراف برای حل مناقشه [۴]

۴. 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 کلان‌نگر به رقابت بازیگران حوزه جنگ الکترونیک و راهبردهای آنهاست که می‌تواند برای تصمیم‌گیری‌های کلان‌تصمیم‌سازان متناسب با میزان عقلانیت^{۳۸} و خطرپذیری آنها، در قالب یک مدل تصمیم‌یار به‌کارگیری شود. در ادامه، به پژوهش‌های حوزه جنگ الکترونیک با استفاده از نظریه بازی‌ها پرداخته می‌شود.

۴.۱. به‌کارگیری نظریه بازی‌ها در تصمیم‌سازی حوزه

جنگ الکترونیک

پیشینه تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که اکثر این تحقیقات به‌صورت تک‌بعدی به حل مسئله پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال مطالعات گذشته عمدتاً حول وحوش 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

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

۴. ترجیحات هر تصمیم‌گیرنده روی وضعیت‌های شدنی مختلف به‌صورت ترتیبی^{۳۱} 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 تصمیم‌سازان 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 ۱۹۸۴ [۹]، بازی خرد آگاه^{۳۲} توسط تاکاهاشی^{۳۳} و همکاران در ۱۹۸۴ [۱۳]؛ تئوری درام^{۳۴} توسط هاوارد در سال ۱۹۹۴ [۱۴]، تئوری حرکات^{۳۵} توسط برامز^{۳۶} و متلی^{۳۷} در ۱۹۹۳ م [۱۵] و تئوری حرکات فازی را نام برد. تمرکز اصلی و مشخص 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 [۱۶] و منازعه قدرت‌های منطقه‌ای و بین‌المللی در سوریه مجدداً توسط شیخ محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۱۷] به کار گرفته شده است. شکل ۱ فرایند به‌کارگیری مدل گراف برای حل مناقشه را برای مدل‌سازی و تحلیل مناقشات پیچیده دنیای واقعی به‌خوبی نمایش می‌دهد.

۳۵. theory of moves

۳۶. Brams

۳۷. Mattli

۳۸. rationality

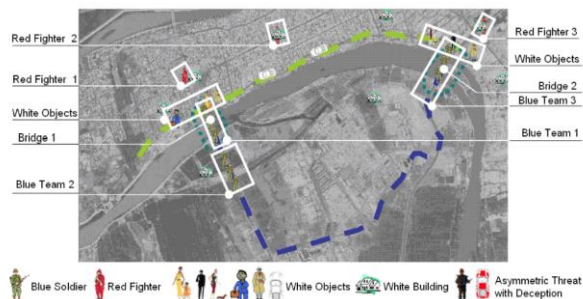
۳۱. ordinal

۳۲. hyper game

۳۳. Takahashi

۳۴. drama theory

تروریستی در حضور مردم بی طرف را شبیه سازی کرده و با استفاده از نظریه بازی ها پیش بینی مدنظر را انجام داده است. استخراج توابع **Payoff** برای کمی سازی با استفاده از مدل مارکوف از نقاط برجسته این تحقیق می باشد.



شکل ۳- وضعیت چپش نیروهای خودی، دشمن و بی طرف [۲۴]

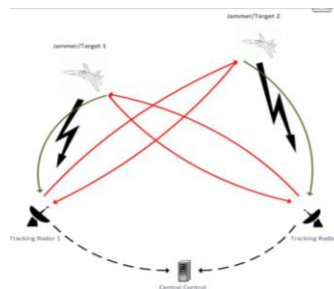
در مقاله دیگری [۲۵]. نشان داده شده که نظریه بازی ها یک راه و روش برای تحلیل چالش بین جمر مخابراتی و نودهای ارتباطی می باشد. در تحقیقی دیگری نشان داده شده که یکی از کاربردهای نظریه بازی ها استفاده در رادیو شناختی و رادار شناختی است که کاربرد آن ها را مؤثرتر و مطمئن تر می کند [۲۶]. پژوهشی دیگر نشان می دهد که در بازی بین دو بازیگر برای انتخاب بهترین تکنیک برای **ECM** می توان میزان صحت نرخ اطلاعات را به نسبت خطای نرخ اطلاعات کاهش دهد. [۲۷] در مقاله ای دیگر در سال ۲۰۱۰ نشان داده شده که برای انواع راهکارهای امنیتی خصوصاً در مسائل سایبری می توان از نظریه بازی ها بهره برد. [۲۸]

در سال ۲۰۱۶ مقاله ای در مورد کاربرد نظریه بازی ها در تقابل یک شبکه راداری (با ۲ رادار و ۲ جمر) و تعدادی از جمرها چاپ گردید. [۲۹]. در این مقاله در مورد نحوه شکل دهی پترن آنتن رادار متناسب با سیگنال دریافتی شروطی را بیان کرده و شرط هوشمندی جمرها را نیز اضافه می نماید. هدف از شبکه راداری در این موضوع کم کردن میزان تشعشات غیرضروری رادارها می باشد و بازی را متناسب با تخصیص قدرت بهینه تعریف می نماید. در این بازی نقش دوری و نزدیک هدف نیز لحاظ گردیده است.

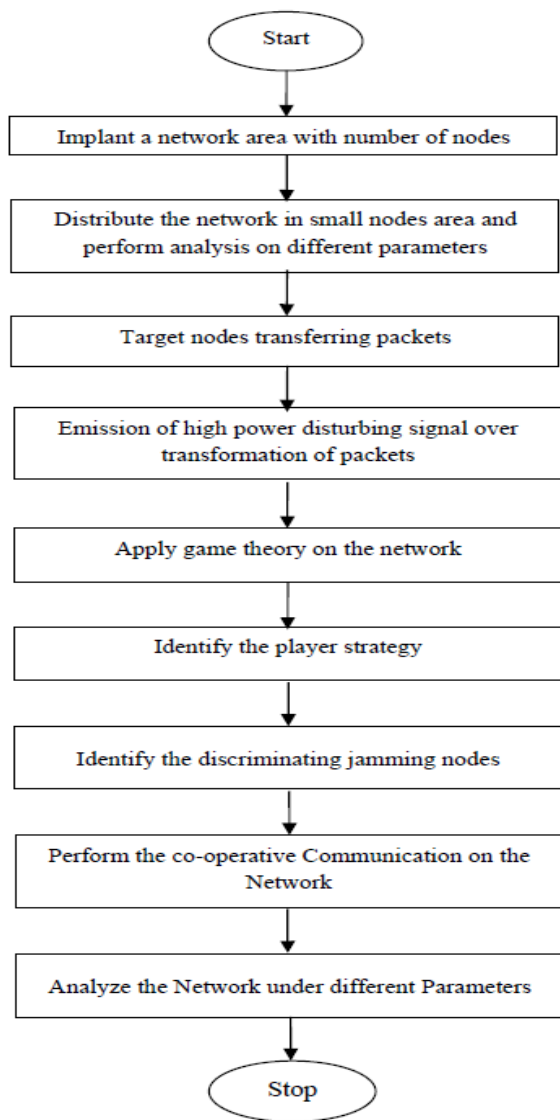
واقعی بسیار پیچیده تر و متنوع تر از حالت هایی است که در مقالات فرض شده است. پس یکی از اصلی ترین تفاوت ها متوجه نوع نگاه ما به مسئله نبرد هست. به عبارت دقیق تر مقالات گذشته، فقط تقابل بین دو ابزار را بررسی می کنند در حالی که ما با توجه به تصمیمات رقیب و ترجیحات متنوعی که پیش پای طرفین هست تا چند حرکت بعد رقیب را نیز لحاظ خواهیم کرد. در یکی از مقالات [۱۸] انتخاب بین **ECM** و **ECCM** را با استفاده از نظریه بازی ها تحت دو سناریو استراتژی مخلوط ۳۹ و استراتژی خالص ۴۰ بررسی و مطرح می کند. در پژوهشی دیگر برای شناخت بهترین زمان برای استفاده از فریب در تقابل با موشک با تشکیل تابع هزینه برای حمله کننده، احتمال شکست دشمن و احتمال گمراه کردن موشک در اثر فریب را یک بازی بررسی می کند [۱۹].

ما می توانیم در تحلیل مسائلی که متغیرهای مختلفی دارند از نظریه بازی ها استفاده کنیم، مخصوصاً در شبکه های مخابراتی که کنترل توان در سیستم های **CDMA** یکی از کاربردهای آن می باشد [۲۰]. استفاده هم زمان از الگوریتم فازی و نظریه بازی ها برای تعیین توان مؤثر در سیستم های **EA** نیز مطرح شده است [۲۱]. در پژوهشی دیگر در مورد آسیب پذیری ارتباطات بیسیم مسافران هواپیماها به وسیله جمینگ بحث می کند و مطابق با نتایج آن پروفایل جمینگ استخراج می گردد [۲۲]. در تحقیقاتی دیگر به جنبه استراتژی بازی پرداخته دارد و ۴ مدل اطلاعات مختلف را ارائه می کند [۲۳]. هدف از این بازی افزایش احتمال پیش بینی حرکات دشمن از طریق رفتارشناسی بیان شده است. در سال ۲۰۰۷ مقاله ای با رویکرد تلفیق اطلاعات و استفاده هم زمان آن در شبکه فرماندهی و کنترل و اثرگذاری نظریه بازی ها در بلوک چهارم آن ارائه گردید [۲۴]. 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 بی طرف) را تعریف کرده و هدف از بازی را، پیش بینی تهدید و مدل سازی 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

در این بازی، بازیگران، استراتژی و عملکردهای معین را به عنوان متغیر فرض کرده است. گره های شبکه را به عنوان بازیگران، انواع مدولاسیون ها، کدینگ ها و توان ارسالی را به عنوان استراتژی و تأخیر را به عنوان معیار عملکرد لحاظ کرده است. نحوه چرخش داده در آن به شکل ذیل می باشد.



شکل ۴- حضور ۲ رادار و ۲ جمر در صحنه عملیات [۲۹]



شکل ۵- مراحل مختلف تحلیل بازی [۳۱]

در مقاله ای که آقای زمینگ در سال ۲۰۱۸ چاپ کرده رویکرد جدیدی را در نظریه بازی ها اختصاص داده است او در این مقاله یک مسئله واقعی که در سال ۲۰۱۴ برای اکتشاف نفت در دریای چین جنوبی رخ داده است را مورد مطالعه قرار داده است. در این مقاله او اثبات می کند که حالت های تعادل مرسوم یا کلاسیک با

در تحقیق ارزشمند دیگری که در سال ۲۰۱۶ به سفارش نیروی هوایی ارتش آمریکا تهیه و چاپ رسید از نظریه بازی ها به عنوان چارچوبی برای تصمیم گیری های جنگ الکترونیک استفاده کرده است [۳۰]. این مقاله، چارچوبی را بر مبنای تئوری بازی ها جهت تصمیم گیری خودکار برای EA و EP در سناریوهای مورد بحث ارائه می نماید. این فرآیند شامل چهار مرحله است. اولاً باید اطلاعات سایر حس گر ها جمع آوری شود. ثانیاً اطلاعات باید مورد پردازش قرار گیرد تا هزینه ها و سود هر یک از اقدامات بالقوه مورد ارزیابی واقع شود. در نهایت این اقدامات بر مبنای اثرگذاری، هزینه ها و فواید آن ها مرتب شوند.

این مقاله یک بازی غیر همکارانه را بین یک حسگر راداری و یک جمر اختلال کننده، بیان می کند. در این مقاله کاربردهای EA و EP مورد بررسی قرار می گیرد. و ۵ اقدام EA یا EP مورد توجه قرار می گیرد. جمر محدود به اقدامات ((Barrage BN) Doppler، Respective Spot Noise (RSN)، Noise and Range False Targets (RFT)، Noise (DN) و Velocity Gate Pull-Off (VGPO) است. حسگر هم محدود به یک پاسخ به هر حمله جمر است. این اقدامات شامل ضد BN⁴¹، ضد RSN⁴² 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 مقاله ای که در سال ۲۰۱۷ ارائه شده است نیز به موضوع تقابل جمر با امنیت شبکه های حسگر بیسیم می پردازد [۳۱]. در این تحقیق برای تأمین یک ارتباط امن، از ابزار نظریه بازی ها برای مقابله با جمینگ استفاده کرده است و ۴ مدل اختلال فرکانس ثابت، فریب، تصادفی و واکنشی را مورد بررسی قرار داده است.

⁴² Respective Spot Noise

⁴¹ Barrage Noise

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 [۳۶]. 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 را بین چند ریزپرنده تعریف و با استفاده از نظریه بازی‌ها حالت‌های بهینه، برای کاهش هزینه‌ها و ارتباطات بهینه در مأموریت‌های نقشه‌برداری، اظفا حریق و.. را تعیین کرده‌اند [۴۰]. 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 [۴۱]. 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 [۴۲].

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 به صورت کامل پاسخگو نیست، لذا با استفاده از استراتژی زمان به کارگیری

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 به صورت 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 یک راه حل ترکیبی را پیشنهاد داده که با استفاده از ۴ 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 مورد توجه قرار داده است. در این روش ۴ 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].

۴،۲. به کارگیری 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 [۳۴]. 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

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 غیرعقلانه رفتار کردن رقیب را در تحلیل نتایج بازی لحاظ نمود.

پس از این مرحله باید به شناخت دقیق امکانات، اقدامات و یا تجهیزات طرفین پرداخت و پس از آن مجموع حالت‌های ممکن و غیرممکن را، که از 2^n 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. بعد از این 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

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

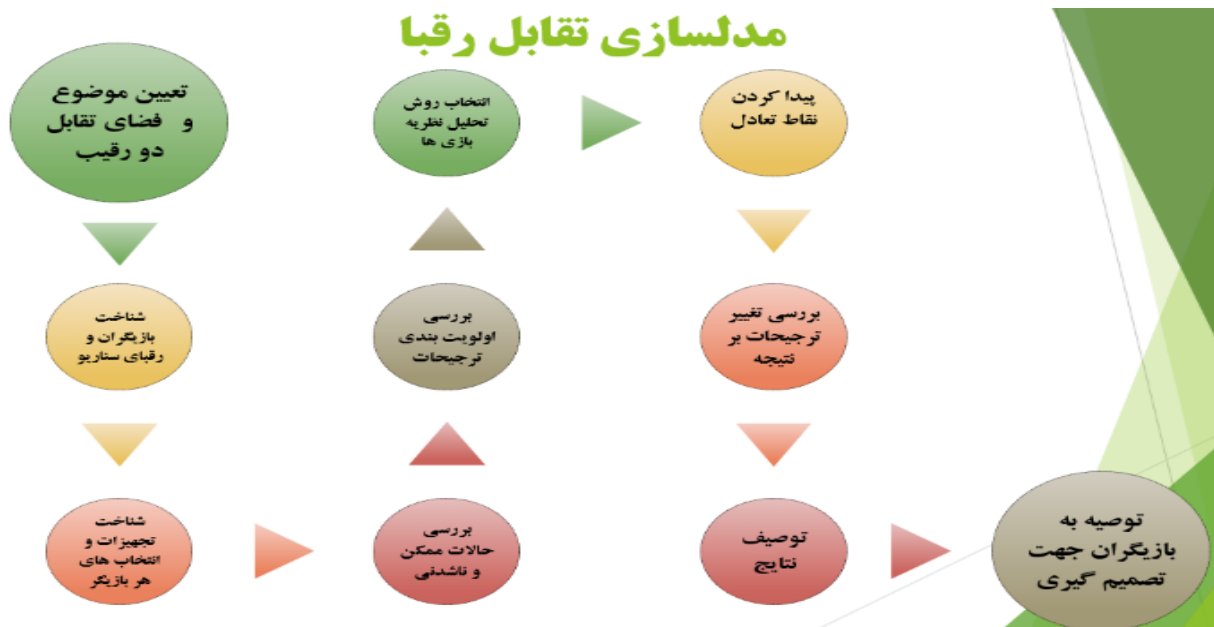
با توجه به تحقیقات گذشته **جنبه‌های نوآورانه** پژوهش حاضر به شرح ذیل بیان می‌گردد:

- در نظر گرفتن پارامترهای مختلف به صورت هم‌زمان بر تصمیم‌گیری
- 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 تصمیم‌سازی برای فرماندهان این جنبه‌های نوآورانه به صورت 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 به صورت دقیق و شفاف بیان نماییم:



شکل ۶- مدل‌سازی تصمیم‌گیری برای صحنه نبرد

می‌نماییم.

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.

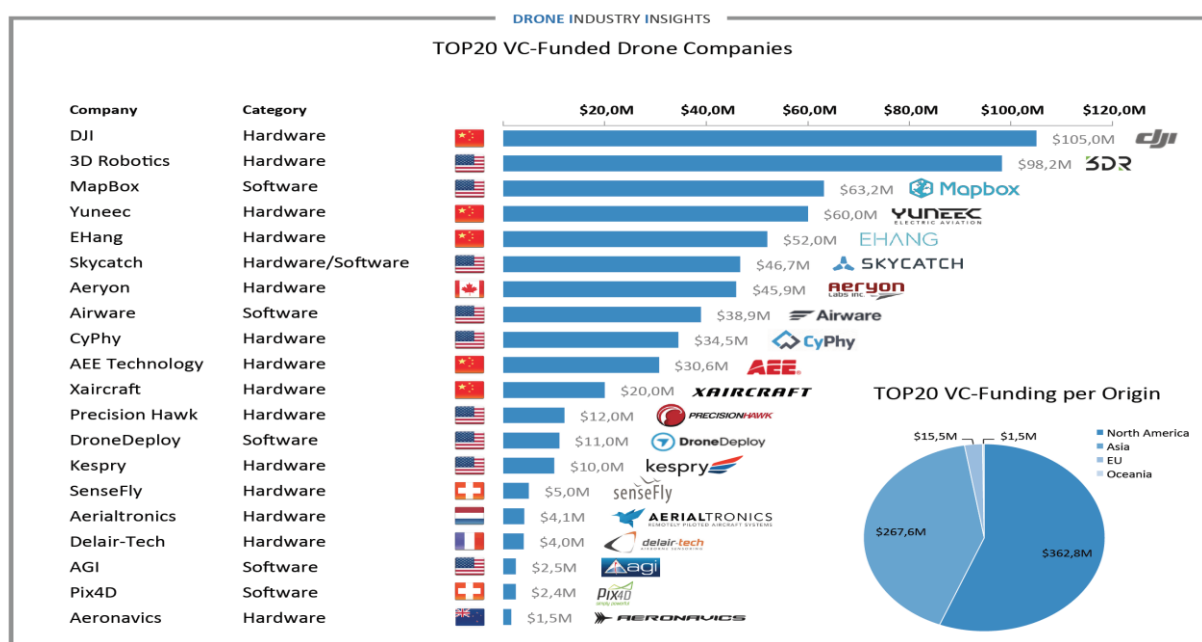
شرکت‌های تولیدکننده ریز پرنده زیادی در دنیا وجود دارند که با توجه به بازار و فضای رقابتی محصولات متنوعی را به بازار عرضه می‌کنند. نکته مهم این است که اکثر افرادی که می‌خواهند از ریزپرنده به‌عنوان یک ابزار جاسوسی و یا انتحاری هم استفاده کنند معمولاً از نامانم (برندهای) تجاری استفاده می‌کنند تا خود را 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

در انتهای این بازی می‌خواهیم بدانیم چه توصیه علمی و تصمیم‌سازی 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

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



شکل ۷- آمار شرکت‌های تولیدکننده ریزپرنده

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

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.

با توجه به اینکه در دنیای ریزپرنده‌ها تنوعی بسیار زیاد و همراه با قابلیت‌های 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.



MAVIC PRO

شکل ۸ - ریزپرنده Mavic

جدول ۳- مشخصات فنی Mavic [۳]

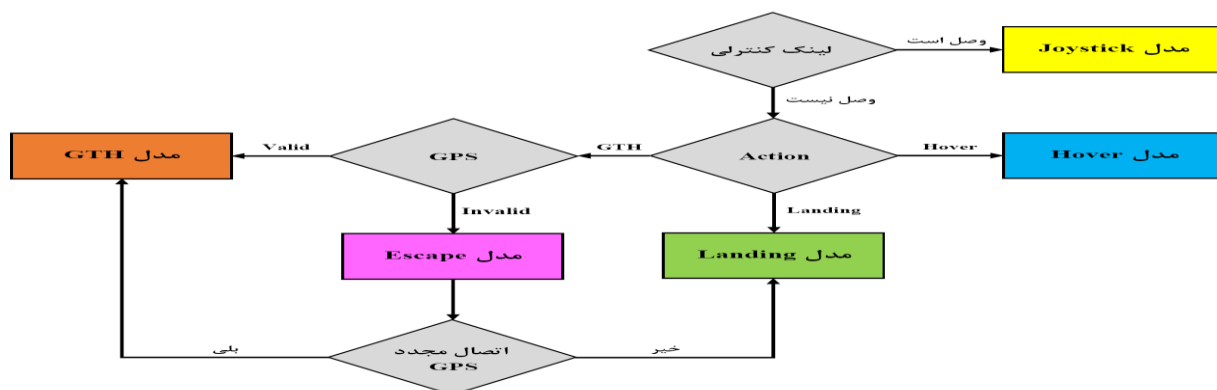
مشخصات	عنوان
734 gr	وزن
300 - 450 gr	وزن قابل حمل
33 cm	طول
500 m up to 1 km	ارتفاع پروازی
8 km	برد لینک رادبویی (تصویر)
65 km/h	سرعت ماکزیمم
40 km/h	مقاومت در برابر باد
21 - 27 min	مدت‌زمان پایداری
GNSS	ناوبری
/ 2.4-2.483 GHz / 5.725- 5.875 GHz	لینک رادبویی
12.7 MP (4K)	دوربین

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 بهره‌بردار. در بعضی از ریزپرنده‌ها مشاهده شده است که از لینک ماهواره‌ای نیز جهت ارتباطات بهره‌می‌برند [۲].

۲,۱,۵. 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



۴,۱,۵. 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:

این شرح کار بیان شده است:

۳,۱,۵. شناخت ریزپرنده MAVIC

شکل ۷- مدل‌سازی رفتاری ریزپرنده در برابر اختلال

جدول ۵- لیست تجهیزات کامل در گروه مدافع

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

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 ۶- 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	دوربین	اختلال GNSS
۳	-----	سیگنال	حرکت‌های تاکتیکی	لیزر
۴	-----	دوربین	-----	-----
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

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 ۴- لیست تجهیزات ممکن برای انواع ریزپرنده

ردیف	تجهیزات منصوب بر ریزپرنده‌ها
۱	لینک کنترلی
۲	لینک تصویر
۳	INS
۴	GNSS
۵	3G- 4G
۶	لینک ماهواره
۷	مکان‌یاب صوتی
۸	حرکت‌های تاکتیکی

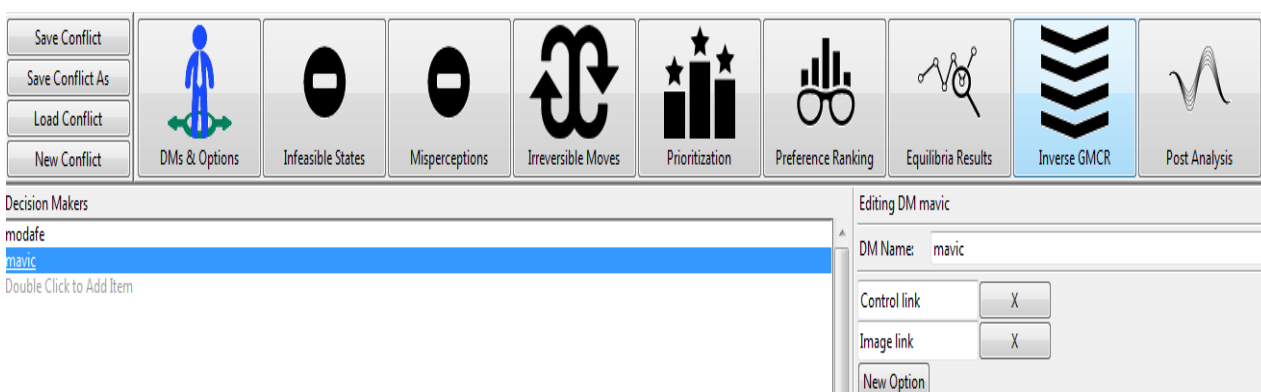
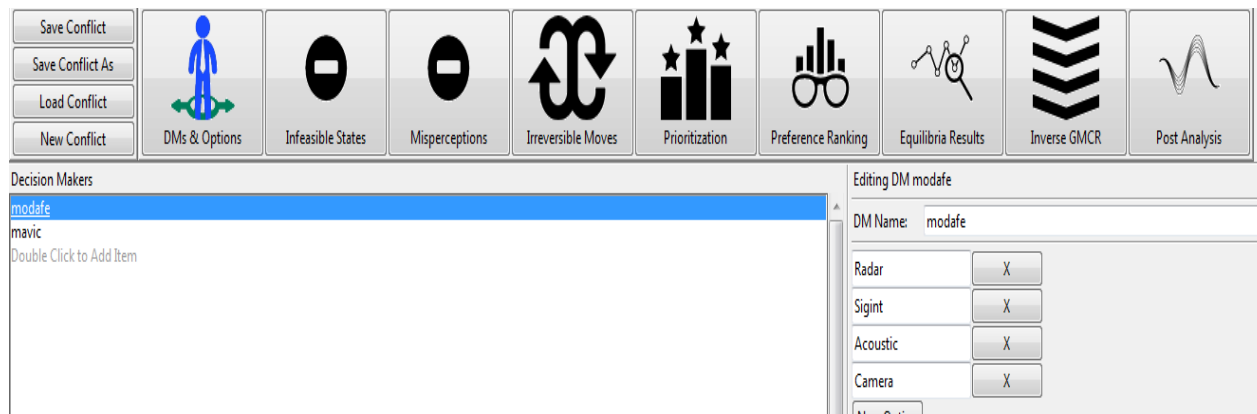
بازیگر دوم: گروه مدافع

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:

بازی اقدام

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

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



شکل ۹- تعریف انتخاب های بازیگران در نرم افزار

۵.۲. شناخت عوامل مؤثر بر ترجیحات طرفین

یکی از مهم ترین بخش های حل این مسئله روند انتخاب ترجیحات در هر بازی می باشد. چراکه با در نظر گرفتن هر کدام از عوامل، Payoff ها و ترجیحات متفاوت و بالطبع نتیجه آن متفاوت خواهد شد. چیزی که در این مدل تصمیم گیری بسیار اثرگذار است و عموماً در کشور در نظر گرفته نمی شود، محاسبه همزمان اثر این عوامل بر یکدیگر است. به عنوان مثال ما سامانه ای داریم که برای کشف ریزپرنده بسیار دقیق است ولی گران قیمت است و در مرحله تولید صنعتی هنوز وارد نشده است و از طرفی

رتبه بندی ترجیحات سخت تر می شود.

در این تحقیق ما ۲ مورد از عوامل اصلی مؤثر در صحنه تصمیم گیری را مورد بررسی قرار می دهیم که شامل موارد ذیل می شود:

۱. هزینه های اقتصادی عملیاتی

۲. برد عملیاتی سامانه های شناسایی

۳. شناخت وضعیت های ممکن و ناممکن

با توجه به تعداد انتخاب های که برابر ۶ می باشد، مجموعاً ۶۴ حالت داریم. این حالات شامل حالت های ممکن و ناممکن می باشد که در جدول ذیل بیان می گردد:

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

جدول ۷- کل وضعیت های بازی

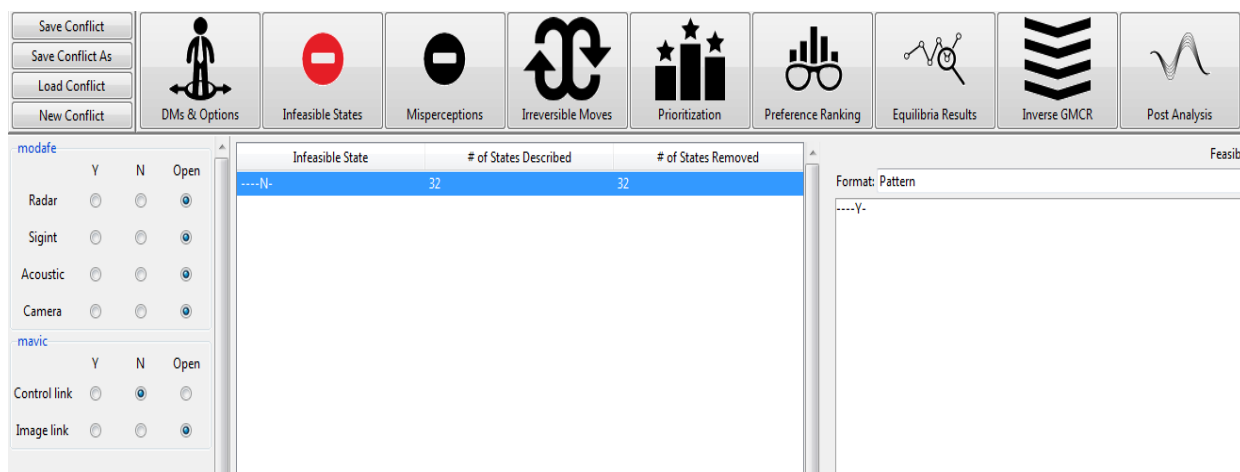
با توجه به اینکه خاموش کردن لینک کنترلی برای ریزپرنده دربردارنده هزینه‌های زیادی است و ممکن است که در موفقیت مأموریت خود دچار ابهام اساسی شود، لذا خاموشش بودن لینک کنترلی را جزو حالات غیرممکن فرض کرده و جدول نهایی را به صورت ذیل مرتب می‌کنیم:

جدول ۸- وضعیت‌های ممکن بازی

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

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

به صورت هم‌زمان فعال می‌شوند.



شکل ۱۱- حذف ۳۲ حالت غیرممکن

حالت ۷*۲۲= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و سامانه راداری و سامانه صوتی گروه مدافع به صورت هم‌زمان فعالیت می‌کنند.
حالت ۸*۲۳= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و سامانه صوتی و جهت‌یابی سیگنالی گروه مدافع در حال شناسایی هستند.

۵.۳/۱. حالات ممکن نهایی

با توجه به حذفیات حالات غیرممکن، ممکن حالات ممکن و شرح آن‌ها به صورت ذیل می‌باشد. عدد اول نمایانگر موقعیت کلی وضعیت در مجموع ۳۲ حالت و عدد دوم نمایانگر عدد باینری آن وضعیت در مجموع ۶۴ حالت است.
حالت ۱*۱۶= ریزپرنده با لینک کنترلی فعال می‌آید، لینک تصویر فعال نیست و گروه مدافع هم اقدامی برای کشف نمی‌تواند بکند.

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

حالت ۲۴* 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* ۵۶ = لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و تنها دوربین برای شناسایی از طرف گروه مدافع وجود دارد.

حالت ۲۶* 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* ۶۰ = لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و گروه مدافع از دوربین و سامانه صوتی به‌صورت هم‌زمان استفاده می‌کند.

حالت ۳۰* ۶۱ = لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و رادار و سامانه صوتی و دوربین از طرف گروه مدافع استفاده می‌شود.

حالت ۹* ۲۴ = 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* ۲۶ = 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 ۱۴* 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 ۱۶* 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* ۴۸ = لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به‌صورت هم‌زمان فعال هستند و گروه مدافع هم اقدامی برای کشف نمی‌تواند بکند.

حالت ۱۸* ۴۹ = 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 ۳۱*۶۲= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به صورت هم‌زمان فعال هستند و سامانه جهت‌یاب سیگنالی و صوتی و دوربین از طرف گروه مدافع باهم وارد فعالیت می‌شوند.

حالت ۳۲*۶۳= لینک کنترلی و لینک تصویر ریزپرنده به صورت هم‌زمان فعال هستند و گروه مدافع از رادار و سامانه صوتی و جهت‌یاب سیگنالی و دوربین به صورت هم‌زمان برای شناسایی استفاده می‌کند.

۵,۴. شناخت ترجیحات و تحلیل نتایج بازی‌های مستقل ۵,۴,۱. 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.

۵,۴,۱,۱. 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.

از آنجایی‌که پیدا کردن ترتیب این ترجیحات کار بسیار زمان‌بری 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:

۵,۴,۱,۲. ترتیب ترجیحات برای حالت‌های

سی‌ودوگانه از نگاه بازیگر اول:

• حالت ۱۹: از آنجایی‌که 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 به صورت 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.

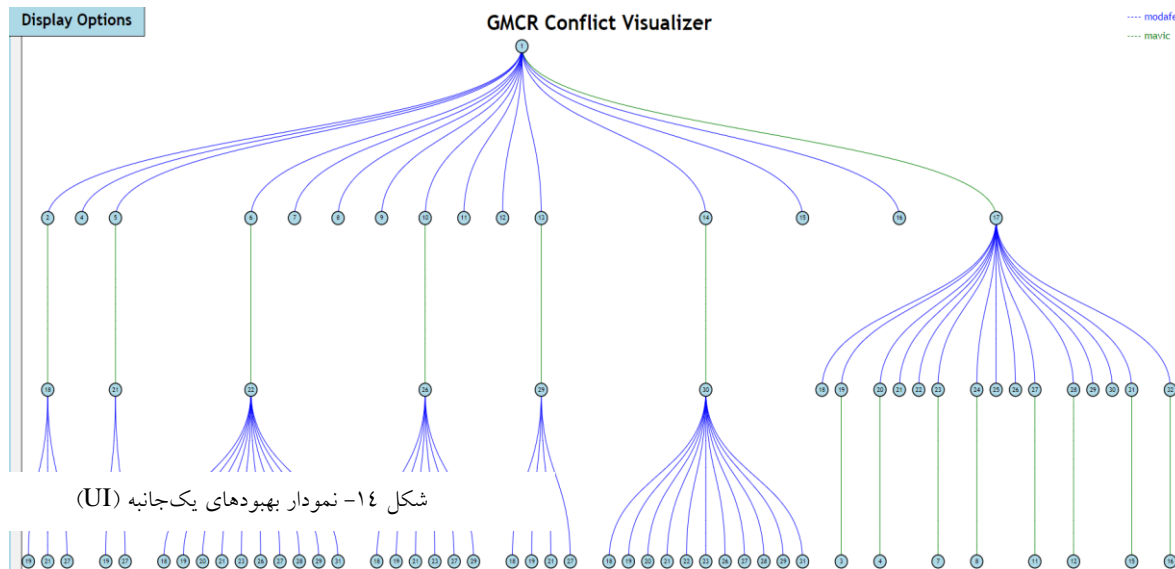
• حالت ۱۰ و ۲۶= در این حالت رادار و دوربین فعال هستند و وجود لینک تصویر روشن ریزپرنده اهمیتی ندارد.

- 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
- ۳، ۴، ۵. 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.
- ۴، ۵، ۱، ۴. ترتیب ترجیحات برای حالت‌های سی‌ودوگانه از نگاه بازیگر دوم (MAVIC):

	Save Conflict	Save Conflict As	Load Conflict	New Conflict	DMs & Options	Infeasible States	Misperceptions	Irreversible Moves	Prioritization	Preference Ranking	Equilibria Results	Inverse GMCR	Post Analysis																				
Preference rankings entered below will be used in analysis.																																	
modafe:	[19, 27, [5, 21], [2, 18], [13, 29], 23, [26, 10], 20, 31, 7, 28, [6, 22], 4, 15, [30, 14], 12, 24, 32, 8, 16, [9, 25], 11, 1, 3, 17]																																
mavic:	[17, 1, 11, [9, 25], 3, 4, 7, 18, 21, 19, 2, 5, 8, 12, 15, 22, 6, 20, 26, 10, 23, 29, 13, 27, 16, 24, 30, 14, 28, 31, 32]																																
No Errors. Preference rankings are valid.																																	
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	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
	Acoustic	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	Camera	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	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	Y	Y	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)
- 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

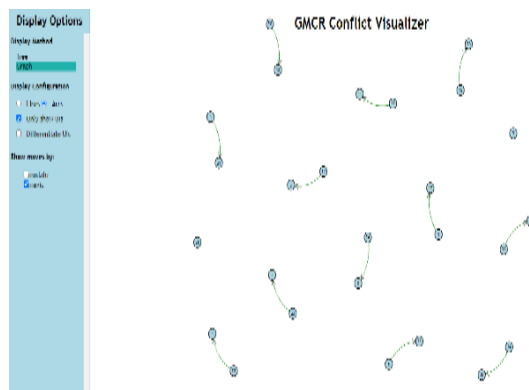
۵, ۴, ۱, ۵. **پیش‌بینی نقاط تعادل در بازی G1**

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

۵, ۴, ۱, ۶. **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 به صورت هم‌زمان توسط گروه مدافع (۲۷) و یا استفاده از جهت‌یاب سیگنالی به تنهایی می‌توانند نقاط تعادل ما را تشکیل دهند که بالاترین payoff متعلق حالت ۱۹ می‌باشد.

- حالت ۴= 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:



رادار جهت یاب سیگنالی < دوربین < سامانه صوتی

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

شکل ۱۵- شناخت نقاط تعادل بازی GI

- ۲، ۴، ۵. بازی دوم (G2): نقش برد عملیاتی در تصمیم گیری چرا برد عملیاتی مهم است؟
 - تعداد سامانه ها اثری در برد حداکثری ندارد ولی اثر تلفیقی دارد.
 - اثر تلفیق مکان- مکان به دلیل بالاتر بردن دقت مکانی بر مکان - زاویه مقدم است.
- چون در فاصله بیشتری کشف می کنیم و متناسب با آن زمان بیشتری برای عکس العمل داریم. بدین ترتیب

شکل ۱۶- رتبه بندی نهایی ترجیحات در بازی G2

- ۲، ۴، ۵. معیارهای رتبه بندی ترجیحات از نگاه بازیگر دوم: ریزپرنده نیز زمان فریب کمتری پیدا می کند و گروه مدافع آمادگی بیشتری برای دفاع از خود دارد.
- ۱، ۲، ۴، ۵. معیارهای رتبه بندی ترجیحات از نگاه بازیگر اول: آن را افزایش می دهد.
- در حالت های مساوی تعداد کمتر حسگر از طرف گروه مدافع اولویت دارد.
- مقایسه برد عملیاتی سامانه ها به شرح ذیل می باشد:

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		
1- 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	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Y	Y	N	Y	Y	N	Y	Y	
Acoustic	-	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	
Camera	-	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	
2- 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	-	3	21	10	22	12	23	14	27	11	24	13	25	16	28	19	31	8	21	15	26	12	23	17	29	11	24	18	30	16	28	20	32	
Payoff For mavic	-	31	15	30	14	26	12	25	8	28	10	24	7	22	5	18	1	32	16	21	9	27	13	20	4	29	11	19	3	23	6	17	2	
Nash	-																																Y	
GMR	-																																	Y
SEQ	-																																	Y
SIM	-																																	Y
SEQ & SIM	-																																	Y
SMR	-																																	Y

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 هر کدام 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 ۶۰ درصد را به بودجه و ۴۰ درصد را برد عملیاتی سامانه‌ها تخصیص می‌دهیم.

شکل ۱۷- استنتاج نقطه تعادل

$$Payoff_{final} = 0.6 * payoff_{price} + 0.4 * payoff_{range} (1)$$

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

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:

۳، ۲، ۴، ۵. 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:

۴، ۲، ۴، ۵. تحلیل بازی دوم:

با در نظر گرفتن برد عملیاتی مأموریت و تلفیق اطلاعات،

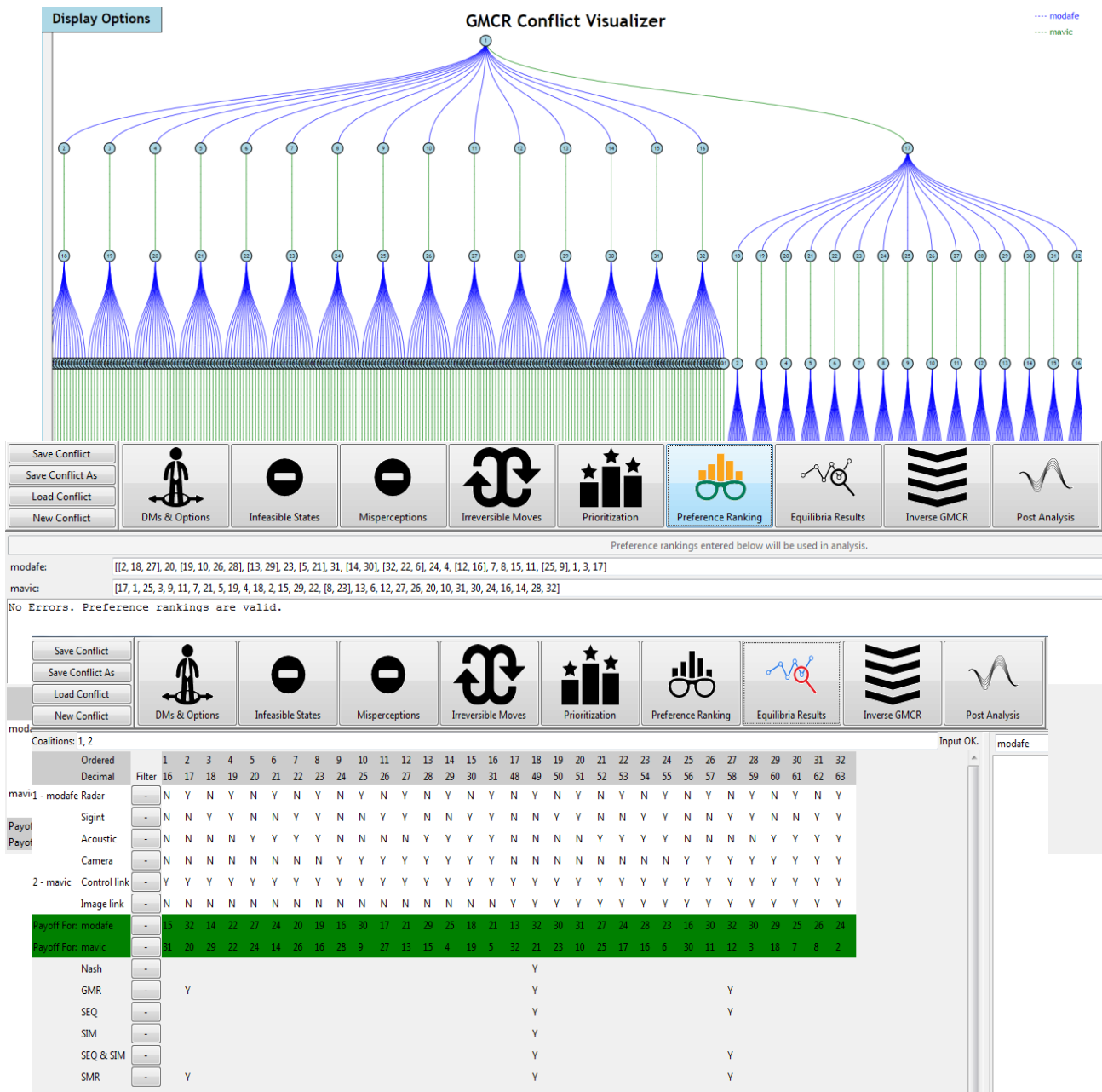
در منطق‌های مختلف روش گراف، حالت ۳۲ یعنی استفاده از کامل از تجهیزات موجود از طرف گروه مدافع و حضور ریزپرنده با لینک روشن، نقطه تعادل مسئله می‌باشد

۶. بازی نهایی: نقش هم‌زمان پارامترها در تصمیم‌گیری

Payoff تابع هزینه	Payoff بازی دوم	Payoff بازی اول	Payoff تابع هزینه	Payoff بازی دوم	Payoff بازی اول	وضعیت ۱
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 می کند و گروه



شکل ۲۰- پیش بینی نقاط تعادل در بازی نهایی

مهاجم با لینک روشن در صحنه حاضر می شود. بعد از این حالت استفاده از دوربین و سامانه جهت یاب سیگنالی در حضور لینک تصویر روشن ریزپرنده، بیشترین وزن را دارا می باشد. (وضعیت ۲۷). وضعیت ۲ یعنی استفاده از رادار در با لینک تصویر خاموش ریزپرنده به عنوان نقطه تعادل بعدی پیش بینی شده است. اگر ما این حالت ها را با نقاط تعادل بازی های مستقل بسنجیم به نکات جالبی دست پیدا

حال بر اساس payoff های جدید نقاط تعادل جدید را استخراج می کنیم:

۶/۱. تحلیل بازی نهایی

نتیجه پیش بینی نقطه تعادل در این بازی بسیار جالب بود. در این بازی ۳ نقطه تعادل به دست آمد. قوی ترین آن که در منطق های مختلف دارای نقطه تعادل است، حالت ۱۸

در این پژوهش ۲ کار اصلی مورد توجه نویسندگان بوده است: اول؛ یک مدل‌سازی کارا و قابل انعطاف برای تصمیم‌سازی 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 برگیرد. همچنین تعریف توابع غیرخطی بجای توابع خط نیز در نتیجه‌گیری مؤثر خواهد بود که سایر پژوهشگران می‌توانند این موضوع را دنبال نمایند.

۷/۱. پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده:

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 تصمیم‌سازی
- 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

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 از کارافتادگی

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 بلا تکلیف در سایت‌های عملیاتی شاهی 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 کیفیت آن اظهار نظر کرد.

۴- 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.

- [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', *IEEE Trans. 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 an uncertain 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

۸. مراجع (References)

- [۱] حاجیلو، شکوهی، قرایبی، احدی. (۱۴۰۱)، بررسی نقش ریزپرنده‌ها در جنگ آینده، فصلنامه مطالعات دفاعی استراتژیک، شماره ۸۷، ص ۱۵۹-۱۸۲
- [۲] زینالی، نجفی، فرخ زاده (۱۴۰۰)، سامانه تشخیص ریزپرنده مهاجم با استفاده از سنسور تصویر، فصلنامه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی، دوره ۲، شماره ۵
- [۳] www.businessinsider.com
- [۴] 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 ششم، شماره سه، پاییز ۱۴۰۱، شماره ۴
- [۵] عباسی، م. شیخ محمدی، م. غیوری ثالث، م. (۱۳۹۶)، 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

- Spoofting". IEEE Internet of Things Journal. 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. Jiang, 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
- [23] Jormakka, J., Mo'lsa, J.V.E.: 'Modeling information warfare as a game'. J. 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-1369-IV1372.
- [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. Lambouharan 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 Analysis Within 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. 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