

ارائه الگوی گسترش شبکه تسهیلات فرماندهی و کنترل با استفاده از مدل سازی ریاضی

احمد لطفی*^۱، حسین فضلی^۲، حسن اسفندیاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶

چکیده

تجربه جنگ های اخیر نشان می دهد، نیروهای فرامرزی قبل از شروع به تهاجم زمینی، ابتدا تسهیلات فرماندهی و کنترل نیروهای مدافع را مختل و آنها را دچار سردرگمی و از هم گسستگی رده های فرمان دهنده کرده اند. صحنه پیچیده نبردهای امروزی حکم می کند که راه حل های موازی را در راستای پیشرفت های فناورانه در نظر بگیریم. در این مقاله هدف عبارت است از پیدا کردن مکان بهینه استقرار مراکز فرماندهی و کنترل بطوریکه بتوان از طریق کانالهای ارتباطی ما بین آنها تمام مراکز و یا کانالهای ارتباطی را تحت پوشش و کنترل داشت. جامعه آماری این تحقیق شامل ۳۰ نفر از متخصصان حوزه فرماندهی و کنترل می باشد که به صورت هدفمند انتخاب و مورد پرسش قرار گرفته اند. در این مقاله ابتدا با استفاده از نظریه خبرگی و مطالعات کتابخانه ای، عوامل تأثیرگذار در تعیین مراکز بهینه فرماندهی و کنترل را شناسایی و با استفاده از تکنیک AHP شاخص ها را وزندار نموده ایم. در ادامه با استفاده از نظریه کارشناسان اهمیت نسبی هر کدام از گزینه های مورد مطالعه را تعیین و مدل ریاضی تحقیق را در غالب سه مسئله ارائه داده ایم. برای آزمون درستی مدل، آن را بر روی یک شبکه فرضی (مطالعه موردی) اجرا کرده ایم و با استفاده از نرم افزار MATLAB جواب های بهین را بدست آوردیم.

واژگان کلیدی:

فرماندهی و کنترل، تحقیق در عملیات، شبکه، برنامه ریزی خطی.

^۱ دانشگاه افسری امام علی (ع)، نویسنده مسئول ، alotfi36@yahoo.com

^۲ دانشگاه افسری امام علی (ع)، fazli_h@yahoo.com

^۳ دانشگاه افسری امام علی (ع)، h_esfandiary@yahoo.com

مقدمه

در میدان‌ها نبرد که دو فرمانده با اهداف متفاوت در مقابل هم قرار می‌گیرند، میدان جنگ را به صحنه مسابقه تبدیل و در هر لحظه برای حل مسائل خود و ایجاد اختلال در راهکارهای طرف دیگر تلاش می‌کنند، نیازمندی‌های متعددی برای اجرای مقاصد موردنظر روی می‌دهد که ممکن است روش شناخته‌شده‌ای برای تأمین آن‌ها وجود نداشته باشد. اتخاذ راهکارهای مناسب موجب دقت و سرعت در انتخاب درست‌ترین تصمیم‌ها شده و سرنوشت جنگ را تغییر و معادلات عادی و جاری حاکم بر توازن و آرایش نیروهای رزمی را دگرگون می‌نماید.

از آنجایی که تصمیم، مهمترین اقدام یک فرمانده در تعیین سرنوشت واحد سازمانی بوده که باید به موقع، سریع، درست، مطمئن و قاطع اتخاذ، اجرا و پیگیری شود تا به ایجاد تمرکز در محور عمودی (سلسله مراتب) هرم سازمان منجر شود، بر این اساس، فرماندهان به هنگام اتخاذ تصمیم، نیازمند مشاوران دقیق و مطمئنی هستند که در شناسایی و کشف مسائل، برآورد و تحلیل آنها و استخراج راه‌حل‌ها به وی مشاوره دهند و در این مرحله است که نقش نظام‌های فرماندهی و کنترل با قابلیت بالا به عنوان مشاوره برنامه ریزی شده و سفارشی شده نمایان می‌گردد [24].

صحنه‌های نبرد اخیر، عرصه رویارویی فناوریهای نوینی هستند که اطلاعات دقیقی از وضعیت نیروها و آسیب دیدگان، تجهیزات و اوضاع جو و زمین منطقه عملیات را ارائه می‌نمایند، تبادل سریع و به موقع اطلاعات را ممکن ساخته و امکان هدایت و کنترل نیروها و تجهیزات را در داخل و خارج صحنه بحران فراهم می‌نمایند [36].

ظهور فناوری‌های نوین که عملاً در بالاترین سطح ممکن توسط ارتش‌های پیشرفته در راه پیشبرد اهداف و رسیدن به نتایج دلخواه در صحنه‌های نبرد بکار گرفته می‌شود، مؤید این واقعیت است که سیر تحول و پیشرفت علوم و دانش بشری در ابعاد مختلف همواره با مظاهری آشکار در میدان‌ها رزمی حاضر و نقشی انکارناپذیر در تعیین سرنوشت جنگ‌ها خواهد داشت. فرماندهان امروزی همچون بازیگرانی حرفه‌ای هستند که بایستی کلیه اصول و قواعد حاکم بر میدان رزم را با امکانات و سازکاری لازم در اختیار داشته و بتوانند با تسلط کامل بر تمامی مؤلفه‌های تأثیرگذار در تعیین سرنوشت رویارویی با دشمن در حداقل زمان ممکن و با حداکثر دقت نسبت به اتخاذ تصمیم و صدور دستور به عوامل رزمی تحت امر در جهت انجام مأموریت‌های محوله اقدام نمایند. به‌طور حتم با ظهور و به‌کارگیری فن‌ها و تاکتیک‌های جدید اخذ تصمیم درست برای فرماندهان کاری دشوار و در مقاطعی غیرممکن می‌گردد که در همین رابطه فرماندهان به‌منظور تأمین نیازمندی‌های روبه افزایش سازمان‌دهی نشده از سامانه‌های متنوع فرماندهی و کنترل بهره‌برداری می‌نمایند. سامانه فرماندهی و کنترل معرف کلمات فرماندهی، کنترل، رایانه، ارتباطات و هوشمندی اطلاعات است. فرماندهی و کنترل بخش تصمیم‌گیری و مدیریت نظامی و مؤلفه فناوری اطلاعات یا رایانه‌ها، ارتباطات و اطلاعات، معرف بخش فناوری این سامانه هستند. [15,18]

فرماندهی و کنترل از گذشته توسط تحلیل‌گران و کارشناسان نظامی به عنوان یکی از مهمترین اجزای عرصه جنگ و میدان‌های مبارزه شناخته شده است؛ به گونه‌ای که در عملیات نظامی، هیچ فعالیتی مهم‌تر از

فرماندهی و کنترل نیست و هیچ اقدام مهمی بدون یک فرماندهی و کنترل مؤثر، امکان پذیر نیست [20].

سامانه فرماندهی و کنترل مشابه سامانه عصبی انسان از مجموعه‌ای منسجم از تسهیلات و تجهیزات، نیروی انسانی، روش‌ها، قابلیت‌ها و مهارت‌ها است که فرمانده عملیات را در اجرای مأموریت یاری می‌نماید. با توجه به اینکه امروزه در جنگ‌های نوین حجم اطلاعات بسیار زیاد شده و سرعت فعالیت‌هایی که در تعیین سرنوشت جنگ‌ها نقش مهمی دارند، در سطح وسیعی گسترش یافته است اهمیت پردازش اطلاعات و تصمیم‌گیری سریع برای فرماندهان امری حیاتی به شمار می‌رود. امروزه به‌منظور برطرف نمودن این نیازمندی رایانه با سامانه‌های نظامی آمیخته شده و کارایی آن‌ها را در حد قابل قبولی افزایش داده‌اند [14].

مهم‌ترین قابلیت سامانه فرماندهی و کنترل امکان دستیابی به اطلاعات مرتبط و وضعیت نیروهای دشمن یا خودی است، لذا باید اذعان داشت که این سامانه یک عامل برتری اطلاعاتی در تصمیم‌گیری است.

آگاهی وضعیتی به‌عنوان یکی از مسائل حل‌نشده در برخی از حوزه‌های مهم و راهبردی مطرح است. پیاده‌سازی چنین سیستم آگاهی وضعیتی در مقیاس وسیع برای یک کشور حیاتی بوده و کاری بسیار پیچیده، زمان‌گیر، هزینه‌بر و نیازمند مدیریت قدرتمند برای پیشبرد اهداف پروژه می‌باشد. کشورهای معدودی سیستم‌های آگاهی وضعیتی را در مقیاس واقعی پیاده‌سازی کرده‌اند و شرکت‌های زیادی افزایش قابلیت و کارایی چنین سیستم‌هایی را توسعه داده‌اند [8].

همچنین یکی از وظایف و نکات لازم‌الاجرای مرکز مخابرات رعایت و حفظ تأمین در ارتباط پیام‌های رسمی است. آنچه مهم است این است که کشف و تحلیل روش‌های نفوذ و پاسخگویی به روش‌های

امنیتی، یکی از مهم‌ترین نیازمندی‌های امنیتی یک مرکز فرماندهی و کنترل است [4].

در تشکیل یک سامانه فرماندهی و کنترل چهار مدیریت اصلی مدیریت تأمین اطلاعات، مدیریت بانک اطلاعات، مدیریت ارتباطات و مدیریت سامانه مواجه هستیم. هرچند مدیریت اطلاعات از برجستگی خاصی برخوردار است، لیکن اساس تمامی این عملکردها بر فناوری ارتباطات استوار است. درواقع می‌توان ادعا نمود که فناوری ارتباطات و اطلاعات چارچوب اصلی یک سامانه فرماندهی و کنترل را تشکیل می‌دهد. در حالت کلی مفهوم شبکه‌های فرماندهی و کنترل دربرگیرنده شبکه‌های ارتباطی است که می‌تواند در سطوح مختلف رزم‌آرایی، فنی و عملیاتی تمامی نیروهای نظامی یک کشور را باهم مرتبط سازد [1].

کشتکار طی تحقیقی بیان داشت؛ سامانه‌های مخابراتی مؤثر باید دارای واکنش سریع‌تر، قابلیت اطمینان و ماندگاری بیشتر، عدم آسیب‌پذیری بالاتر و قابلیت همکاری بیشتر بین واحدها باشند، همچنین این سامانه‌ها باید قادر به کنترل خود باشند تا بتوانند آسیب‌پذیری را کاهش داده و به عبارتی خوددرمان باشند. در پژوهشی دیگر، قابلیت عملکرد متقابل، مقاوم در برابر جنگ، یکپارچگی، قابلیت اطمینان، امنیت، قابل گسترش، قابلیت شنود یا استراق سمع کم، قابلیت گسترش شبکه یا مقیاس‌پذیری، چند منظوره بودن، کنترل از راه دور، بقاء و پایداری، پرنفوذ، نامحسوس بودن از دید کاربر، در دسترس بودن، قابلیت کاربری در اشکال مختلف هواپایه، زمین پایه و دریاپایه، برخی از ویژگی‌های شبکه ارتباطات فرماندهی و کنترل بیان شده است [22]. از شاخصه‌های بارز سامانه فرماندهی و کنترل، تلفیق تجهیزات و نیروی انسانی محوری آن است، به این معنا با توجه به حجم وسیع و متنوع داده‌ها و ضرورت پردازش سریع، کاهش خطای انسانی، انتقال

و چرخش به موقع میان مبادی تصمیم گیر و مجریان، استفاده از بسترها و ابزارهای سخت افزاری و نرم افزاری الزامی است [19].

سامانه های آینده فرماندهی و کنترل، وابستگی سنگینی به سامانه های مخابراتی و اطلاعاتی خواهند داشت. در این شرایط، سامانه ارتباطی و اطلاعاتی باید اطلاعات را به گونه ای ارائه دهد که برای دریافت کننده هم زود فهم و هم سودمند باشد. دقت، تناسب و ارتباط، به هنگام بودن، قابلیت استفاده، جامعیت، اجمال و در نهایت، امنیت برخی از مهم ترین معیارهای کیفیت اطلاعات هستند [20].

سامانه فرماندهی و کنترل، شامل صدها شبکه بزرگ ارتباطی و هزاران وسیله و تجهیزات نظامی هستند باید دارای ساختاری باشند که بتواند تمامی گره های شبکه را به صورت متحرک و قابل تحرک و تطبیق، پشتیبانی نماید و از امنیت، قابلیت اطمینان، انعطاف پذیری، یکپارچگی و ارتباطات قابل گسترش برخوردار باشد [21]. سامانه ارتباطی ایمن و مقاوم، این امکان را در شبکه فرماندهی و کنترل می دهد تا در مناطق گسترده جغرافیایی و وضعیت های مختلف، نیروها را فرماندهی و هدایت نمود. برای طرح ریزی، اجرا و دوام عملیات، وجود یک سامانه ارتباطی ضروری است که بتواند اتصال را در فضای نبرد فراهم سازد [20]. از دیدگاه امیرخانی برخی از کارکردهای سامانه ارتباطات عبارتند از: ۱- دستیابی ۲- پردازش ۳- ذخیره ۴- انتقال ۵- کنترل ۶- حفاظت ۷- توزیع ۸- ارائه [20]. کشتکار طی تحقیقی سه عامل تعامل پذیری، قابلیت اطمینان و چابکی را به عنوان اصول و ضرورت های سامانه ارتباطی مؤثر در سامانه فرماندهی و کنترل مورد تأیید و پذیرش قرار داده است [22].

بیان مسئله

تغییرهای بنیادین ناشی از عصر اطلاعات، سازمان ها را وادار می کند تا مروری مجدد بر هدف ها، مأموریت ها، ساختار، منابع انسانی و فرایندهای خود داشته باشند؛ همچنین سازمانها برای توفیق در عصر پر چالش جدید باید به سمت شبکه ای شدن گام بردارند. سازمان های نظامی هم ناگزیر باید به سمت سازمان نظامی شبکه مدار سوق یابند. ساختار نیروهای مسلح باید مورد بازبینی و اصلاح جدی قرار گیرد و این مهم با حرکت به سمت پیاده سازی سامانه های فرماندهی و کنترل و شناسایی قابلیت های مورد نیاز برای این مهم میسر خواهد شد [23]. بنابراین با توجه به نیازمندیهای جنگ آینده، می توان گفت: هدف اصلی فرماندهان و طراحان نظامی دست اندکار در این نوع جنگ، برتری در زمینه فرماندهی و کنترل مبتنی بر سامانه های اطلاعاتی، شبکه های رایانه ای و مخابراتی مرتبط با آن می باشد [7].

در سطوح بالای مدیریتی یعنی فرماندهی نیروها زمانی می توان قاطع و قوی عمل کرد که مفیدترین اطلاعات (داده های تحلیل شده در سازمان توسط سیستم های اطلاعاتی رایانه ای) را به بهترین شکل ارتباطی در کنار سرعت، دقت و امنیت بین بخش ها جابه جا نموده و بدین گونه تمامی منابع در اختیار را با انعطاف پذیری بالا به کنترل همه جانبه خود دریاورد [13].

امروز فرماندهی و کنترل وجه به روز آمده یا مدرن شده و یا بهینه شده همان سیستم های قبلی است و به طبع افزوده شدن رایانه سرعت و دقت را افزایش می دهد. فرماندهی و کنترل تشکیل سیستم های شبکه ای و مطمئن و برنامه ریزی شده را داده و نهایتاً فرماندهی و کنترل و هدایت از مسافت دور را با ضریب اطمینان زیاد را امکان پذیر می نماید.

یکی از ویژگی‌های مهم در طراحی شبکه پدافندی **C4I** (فرماندهی، کنترل، ارتباطات، کامپیوتر و اطلاعات) و سامانه‌های پدافند هوایی، قابلیت بقاپذیری، مداومت کاری و عملکرد بدون نقص آن‌ها در شرایط حساس عملیاتی می‌باشد به گونه‌ای که با خرابی یا انهدام گروهی از تجهیزات، عملکرد کل شبکه مختل نگردد. بنابراین بایستی نظام فرماندهی غیرمتمرکز برای مقابله با نقطه بحرانی خرابی طوری طراحی گردد که در هنگام بحران خرابی، هر گره از شبکه پدافندی از وضعیت کاری دیگر گره‌ها مطلع شده و در صورت برقرار نشدن ارتباطات عادی بین گره‌های این شبکه، به صورت خودکار گره و مسیر ارتباط دیگری جایگزین می‌شود. بدین ترتیب بقاپذیری و قوام شبکه پدافندی حفظ می‌گردد. با توجه به لزوم ایجاد شبکه‌های فرماندهی و کنترل در یگان‌های گسترش یافته در منطقه نبرد و لزوم بقاپذیری و دوام شبکه در میدان نبرد، در این تحقیق یک شبکه متشکل از تسهیلات فرماندهی و کنترل (گره‌های شبکه) که معمولاً در مکان گسترش یگان‌ها مستقر شده‌اند و توسط لایه‌های مختلف ارتباطی (کانال‌های ارتباطی) با هم مرتبط هستند، را در نظر گرفته و بر این مبنا مسئله مورد نظر را به صورت سه نوع زیرمسئله بیان می‌کنیم:

مسئله نوع اول (TP1): تعیین بهینه گره‌های شبکه بطوریکه بتوان تمامی گره‌ها را از طریق کانال‌های ارتباطی مابین آن‌ها تحت کنترل داشت.

مسئله نوع دوم (TP2): تعیین تعداد بهینه گره‌ها بطوریکه بتوان تمامی کانال‌های ارتباطی را تحت کنترل داشت.

مسئله نوع سوم (TP3): تعیین بهینه تعداد کانال‌های ارتباطی بطوریکه دوه‌دو مجاور نبوده و گره‌ها در ابتدا و انتهای این کانال‌های ارتباطی بتوانند تمامی کانال‌های ارتباطی را تحت کنترل داشته باشند.

همچنین در ادامه این مسائل را در صورت از بین رفتن برخی از مراکز فرماندهی و یا برخی از کانال‌های ارتباطی، بررسی خواهیم کرد. در واقع در صورت ایجاد اختلال در یک مرکز فرماندهی و یا از بین رفتن تعدادی کانال ارتباطی توسط دشمن، بایستی بتوانیم شبکه مربوطه را دوباره بازطراحی کرده و دوباره شبکه را به صورت بهینه طراحی نماییم.

اهمیت و ضرورت موضوع تحقیق

در گذشته، نیروهای مسلح به صورت عملیات‌های مشترک و ترکیبی در صحنه‌های نبرد وارد می‌شدند و اغلب هر واحد عملیاتی از فناوری و سامانه‌های مخابراتی خاص خود استفاده می‌نمود، به این ترتیب، به هنگام عملیات مشترک، عدم هماهنگی و سازگاری سامانه‌های اطلاعات - مخابراتی، ضعف ادغام اطلاعات راهبردی در تعامل‌های بین نیروها، ابهام و آلودگی اطلاعاتی، امر فرماندهی و کنترل صحنه عملیاتی را با مشکلات جدی مواجه می‌نمود و سرنوشت نبردها را متزلزل می‌ساخت. در این راستا، به تدریج، در دو بعد مدیریت نظامی و فناوری سامانه‌ها، سامانه C2، سامانه C3I و در پیشرفته‌ترین و جدیدترین نوع خود، سامانه C4I ابداع گردید. تحول گرایی این سامانه‌ها در سازمان‌های درگیر در شرایط بحران به مثابه تحول گرایی فناوری اطلاعات در زندگی افراد و نهادهای اداری - اجتماعی می‌باشد [16].

استفاده از روش سامانه فرماندهی و کنترل باعث ایجاد کنترل متمرکز و یکپارچه‌ای در عملیات‌ها می‌شود؛ به گونه‌ای که مدیران و تصمیم‌گیرندگان رأس بتوانند از اتاق جنگ با انواع مدل‌های پیشرفته حسگرهای اطلاعاتی، در حوزه فرماندهی و کنترل در جهت گردآوری و پردازش به روز اطلاعات - عملیات،

کنترلی همه جانبه بر عملکرد تمام نیروهای خود داشته باشند و با اتخاذ تصمیم‌های مبتنی بر سامانه پشتیبانی تصمیم، سرنوشت جنگ را در زمان واقعی به صورت دیجیتالی رقم بزند [18]. از مهم‌ترین مزیت‌هایی که با حل مسائل طرح شده در یک شبکه فرماندهی کنترل بدست خواهیم آورد، عبارتند از:

۱. کاهش هزینه‌ای استقرار شبکه و افزایش سرعت و دقت در ارتباطات داخل شبکه.
۲. با حداقل تسهیلات شبکه گسترده‌ای را پوشش خواهیم داد.
۳. در صورت گستردگی کانال‌های ارتباطی، بتوانیم با حداقل مراکز تمام کانال‌ها را کنترل نماییم.
۴. افزایش پایداری و دوام شبکه بطوریکه در صورت ایجاد اختلال در مراکز و یا کانال‌ها، بتوانیم شبکه را بازطراحی نماییم.

پیشینه تحقیق

هر چند مبحث فرماندهی و کنترل از شروع نخستین جنگ‌ها مطرح بوده ولی پیدایش واژه اختصاری (C2 (Command and Control به دهه ۱۹۷۰ میلادی برمی‌گردد. به صورت خلاصه می‌توان گفت [3, 14, 13]:

هر چند تحقیقات بسیار اندکی در خصوص توسعه و یا گسترش و کارکردهای سامانه‌های فرماندهی و کنترل در نیروهای مسلح انجام پذیرفته است، با این وجود به برخی از این تحقیقات اشاره می‌کنیم:

- ۱- در مطالعه‌ای با عنوان ساختار نظام فرماندهی و کنترل در جنگ‌های آینده نتیجه گرفته شده که مراکز هماهنگی و امتزاج به عنوان ثقل سامانه فرماندهی و کنترل باید در ابعاد مختلف

C2	در سند شماره ۳۰ ستاد مشترک ارتش آمریکا که در ششم ماه مه ۱۹۹۳ منتشر شد، تعریفی نسبتاً جامعی از فرماندهی و کنترل بدین شرح آمده است: "استفاده از اقدامات امنیتی، ضربات نظامی، عملیات روانی، جنگ الکترونیک و ویران‌سازی مادی با پشتیبانی متقابل از نظر اطلاعاتی به منظور محروم کردن دشمن از اطلاعات، تحت تأثیر قرار دادن، کاهش یا انهدام امکانات فرماندهی و کنترل آن و درعین حال تقویت امکانات فرماندهی و کنترل خودی در برابر چنین اقداماتی از سوی دشمن".
C3	پیشرفت فناوری ارتباط و رویکرد سریع ارتش‌ها به سامانه‌ها و تجهیزات ارتباطی کلمه ارتباط جای خود را در کنار C2 باز کرد.
C3I	همزمان با توسعه دامنه بهره‌برداری از اطلاعات این سامانه‌ها با خبرگیری از دشمن "اطلاعات" در هم آمیخته و C3 به C3I تبدیل شد.
C4I	در نهایت با گسترش حجم، کیفیت و تنوع اطلاعات، لزوم پیش‌پردازش، ادغام، تلخیص، تغییر و تصمیم‌سازی فوری اطلاعات و حتی پردازش‌های کامپیوتری در خود سامانه ارتباطی، نقش کامپیوتر (که از پیش هم یکی از اجزای سامانه C3I بود) به قدری برجسته و نمایان شد، که ناگزیر اصطلاح C4I بوجود آمد.

جدول ۱: تاریخچه فرماندهی و کنترل

بهبود یابند. بنابراین کوچک شدن، چابک شدن، تحرک‌پذیری، خود اتکایی برخی از شاخصه‌های لازم آن می‌باشد. حساسه‌ها با قدرت تحرک بالا، قابلیت آماده شدن عملیات در زمان کوتاه و آماده شدن برای راه پیمایی در زمان کوتاه‌تر از ملزومات این ساختار می‌باشد. همچنین استقلال، چند لایه بودن، امنیت و پاسخگویی از جمله ضرورت‌های ارتباطات هستند، بنابراین استفاده از مسیرها، لایه‌ها و شبکه‌های مختلف و متعدد ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است [22].

۲- سهیلی و همکارانش در تحقیقی به بررسی چالش‌های قابلیت توسعه سامانه‌های فرماندهی و کنترل در نیروهای مسلح پرداخته‌اند و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی شش قابلیت فرعی در حوزه فرماندهی و کنترل و ۲۰ چالش اساسی را در توسعه این سامانه‌ها شناسایی نمودند [24].

۳- همچنین نویسنده دیگری در تحقیقی با عنوان "شناخت ضرورت‌های سامانه ارتباطی در شبکه فرماندهی و کنترل و رتبه بندی آن" با استفاده از روش‌های آماری سه عامل تعامل پذیری، چابکی و قابلیت اطمینان را به عنوان ضرورت‌های سامانه فرماندهی و کنترل معرفی نموده است [22].

۴- پور مدحجی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی دریافتند که از بهترین گزینه‌ها برای ایجاد بستر ارتباط ضریب اطمینان بالا در شبکه‌های راهکنشی فرماندهی و کنترل، استفاده از شبکه‌های اقتضایی متحرک است. با تکیه بر قابلیت‌های شبیه‌ساز شبکه، متغیرهای کلیدی ارزیابی عملکرد شبکه نظیر توان عملیاتی شبکه، سربار مسیریابی، تأخیر شبکه و بازدهی انرژی مورد تحلیل واقع می‌شوند.

۵- مینایی و عابدی (۱۳۹۴) در پژوهشی دریافتند که با توجه به تجربه جنگ‌های اخیر، یکی از راهبردها در حمله‌های هوایی آینده، انهدام مرکز ثقل تصمیم‌گیری یا همان سامانه‌های فرماندهی و کنترل می‌باشد، به بیانی دیگر، احتمال حمله‌های هوایی و موشکی علیه مراکز حساس و حیاتی متصور است، بنابراین استفاده از سازه‌های امن زیرزمینی و تمهیدات لازم معماری مناسب تونل‌های استقرار سامانه‌های ارتباطی سایر تجهیزات مراکز فرماندهی و کنترل با توجه به اصول پدافند غیرعامل برای مقابله تهدیدها و خطرات احتمالی پیشنهاد می‌شود.

۶- کاشفی و آذرب (۱۳۹۴) با طرح نظام فرماندهی و کنترل غیرمتمرکز، یکی از ویژگی‌های مهم طراحی نظام فرماندهی و کنترل را قابلیت بقاءپذیری، مداومت کاری و عملکرد بدون نقص آنها در شرایط حساس عملیاتی می‌دانند؛ به گونه‌ای که با خرابی یا انهدام گروهی از تجهیزات، عملکرد کل شبکه مختل نگردد [22].

هر کدام از تحقیقات ارائه شده در این قسمت راهکارهایی را برای توسعه، دوام و بقاپذیری شبکه در مقابل تهدیدات ارائه داده‌اند، ما نیز در این تحقیق برای بقاپذیر و دوام شبکه فرماندهی و کنترل روشی مبتنی بر مدلسازی ریاضی ارائه خواهیم داد.

در ادامه به صورت مختصر به ادبیات تحقیق در عملیات و رویکرد این تحقیق در استفاده از مدل‌های ریاضی می‌پردازیم:

اگرچه پیشگامی تحقیق در عملیات به عنوان یک نظام جدید با بریتانیای کبیر بود، چیزی نگذشت که رهبری این رشته به سرعت در حال رشد را ایالات متحده به دست گرفت. اولین تکنیک ریاضی در این رشته که مورد قبول همه قرار گرفت، روش سیمپلکس برنامه‌ریزی خطی نامیده شد، در سال ۱۹۴۷ میلادی توسط ریاضی‌دان آمریکایی جورج. ب. دانتسیک به وجود آمد. از آن به بعد با تلاش‌ها و همکاری‌های علاقمندان در موسسات علمی و صنعتی، تکنیک‌ها و کاربردهای جدیدی پدید آمدند. نیروی دریایی آمریکا بیش از ۷۰ تحلیل‌گر را در قالب این گروه‌ها استخدام نمود. مسائل مختلفی با موفقیت حل شدند از جمله تعیین محل نصب رادار، چگونگی تخریب مین‌های دریایی در دریا‌های اطراف ژاپن، تعیین اندازه بهینه ناوگان حمل مواد و توسعه استراتژی‌های مانور ناوهای جنگی هنگام حمله دشمن [30]. برای مطالعه بیشتر در

خصوص کاربردهای تحقیق در عملیات به [34,28] مراجعه گردد. همچنین در رابطه با استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات در مسائل مربوط به سامانه‌های نظامی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- حنفی و لطفی در مقاله‌ای تحت عنوان "ارائه مدل گسترش سامانه‌های متحرک موشکی در جنگ‌های آینده با استفاده از نظریه بازی و GIS" مدل ریاضی مسئله را طراحی و آن را روی یک منطقه نبرد مطالعه نموده‌اند [26].

۲- ناصر شهلائی و همکاران طی تحقیقی از مدل-سازی ریاضی برای پیش‌بینی مکان بهینه مراکز آمادی در شرایط جنگ‌های آینده استفاده نمودند [25].

جریان‌های شبکه‌ای برای تحلیل شبکه‌های حمل و نقل که وسیله حمل کالاها از مراکز تولید به بازار هستند یا شبکه‌های مخابراتی که داده‌ها را منتقل می‌کنند یا شبکه‌های رایانه‌ای یا شبکه خطوط انتقال گاز در شهرها را توسط گراف‌های جهت‌دار مورد تحلیل قرار می‌دهد. برای مطالعه بیشتر در این مورد به مراجعه گردد [31,32,33].

با توجه به پیشینه تحقیقات انجام گرفته در زمینه موضوعات مربوط به سامانه‌های فرماندهی و کنترل، در بیشتر تحقیقات جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش-های آماری استفاده شده است. یکی از زمینه‌های نوع آوری این تحقیق استفاده از مدلسازی ریاضی جهت تجزیه و تحلیل شبکه‌های فرماندهی و کنترل می‌باشد که این روش به نوبه خود از دقت بیشتری برخوردار است و نسبت به روش‌های قبلی برای دوام و پایداری شبکه (حفر تونل‌های زیر زمینی و ...) از هزینه به مراتب کمتری برخوردار است.

پرسش‌های تحقیق

الف) چگونه می‌توان مراکز فرماندهی را به صورت بهینه تعیین نمود بطوریکه با کمترین هزینه ممکن بتوان تمامی مراکز فرماندهی را از طریق کانال‌های ارتباطی مابین آن‌ها تحت کنترل داشت.

ب) چگونه می‌توان مراکز فرماندهی را به صورت بهینه تعیین نمود بطوریکه با کمترین هزینه ممکن بتوان تمامی کانال‌های ارتباطی را تحت کنترل داشت.

ج) چگونه می‌توان کانال‌های ارتباطی را به صورت بهینه تعیین نمود بطوریکه دوه‌دو مجاور نبوده و مراکز فرماندهی در ابتدا و انتهای این کانال‌های ارتباطی بتوانند تمامی کانال‌های ارتباطی را با کمترین هزینه ممکن تحت کنترل داشته باشند.

ادبیات تحقیق

فرماندهی و کنترل: وظیفه اصلی این قسمت اتخاذ تصمیم‌های سریع و به‌موقع برای استفاده یکپارچه و هماهنگ از امنیت عملیات، فریب‌های نظامی، عملیات روانی، جنگ الکترونیک، سلاح‌های متعارف و کشتار جمعی و حمایت و پشتیبانی مقابل اطلاعاتی است. این اقدامات در راستای افزایش کارایی و امنیت سامانه‌های اطلاعاتی نیروهای خودی و تخریب سامانه‌های اطلاعاتی نیروهای دشمن و ممانعت آن‌ها از دسترسی به اطلاعات حیاتی و استراتژیک هست [14].

ارتباط: وظیفه ارتباط دریافت و انتقال اطلاعات می‌باشد. در این مقوله نوع کانال‌های ارتباطی، عملکرد کانال در شرایط امن و مصون نسبت به اختلال و نویز و جنگ الکترونیک و نیز سرعت انتقال اطلاعات از پارامترهای قابل تعمق و مهم هستند. کانال‌های انتقال بر اساس نوع کاربرد و مقدرات یگانی و منطقه‌ای می‌تواند خطوط دو سیمی، فیبر نوری شبکه رادیویی و یا ارتباط ماهواره‌ای باشند [4].

رایانه: وظیفه رایانه پردازش و دسته‌بندی اطلاعات جمع‌آوری شده است. نکته مهم و حائز اهمیت در اینجا لزوم سرعت زیاد پردازش و دسته‌بندی و نیز حجم بالای حافظه می‌باشد. برای این کار روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی بکار می‌رود [14].

اطلاعات: وظیفه بخش اطلاعات کاوش و جمع‌آوری اطلاعات می‌باشد که این کار با بهره‌گیری از نیروی انسانی و به کمک انواع رادارهای جستجو، ردیاب‌ها، جهت‌یاب‌ها، مکان‌یاب‌ها و حس‌گرهای متنوع انجام می‌گیرد [4].

شبکه یا گراف خطی: شبکه یا گراف خطی، شامل تعدادی گره یا نقاط اتصال است که برخی از یا تمام آن‌ها با شاخه‌ها یا کمان‌هایی به هم وصل شده‌اند [32].

روش‌شناسی تحقیق

امروزه در قرن بیست و یک، برنامه ریزان راهبردهای نظامی، طرح‌ها را بر اساس نبردهای اطلاعاتی و الکترونیکی (جنگال) پی‌ریزی می‌نمایند و هدف اصلی در جنگ را حمله به ناو، هواپیما یا هدف‌های زمینی نمی‌دانند، بلکه اولویت را حمله به شبکه اعصابی می‌دانند که شبکه اطلاعات - ارتباطات دشمن است [15].

هدف از این مطالعه، ایجاد الگوی بهینه گسترش تسهیلات سامانه فرماندهی و کنترل می‌باشد، بنابراین از بعد ماهیت و هدف می‌تواند دانش موجود نسبت به موضوع را افزایش داده و از طرفی نتایج آن می‌تواند توسط مسئولین حوزه فرماندهی و کنترل مورد بهره‌برداری قرار گیرد، بنابراین بر اساس هدف تحقیق، از نوع کاربردی توسعه‌ای است. جامعه آماری این تحقیق از میان متخصصان سامانه فرماندهی و کنترل در چهار بخش ستادنیروی زمینی، کارشناسان حوزه فرماندهی و کنترل دانشگاه افسری امام علی (ع)، کارشناسان حوزه فرماندهی و کنترل یگان‌های تخصصی مستقر در تهران

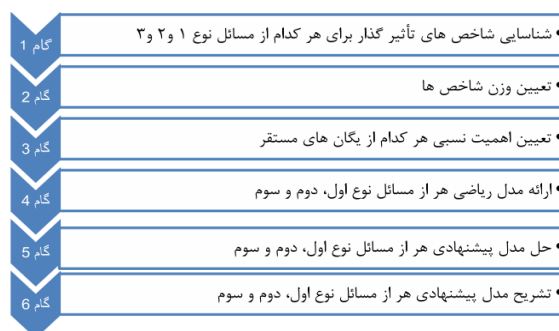
می‌باشد به صورت هدفمند و بر اساس معیارهای از قبل تعیین شده مربوط به سوال ویژه تحقیق انتخاب شدند. برای این منظور از میان گروه‌های گفته شده، تعداد ۳۰ نفر که دارای ویژگی‌هایی مانند: سابقه عملیاتی، مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد و بالاتر، تجربه و تخصص کافی، آگاهی نسبت به موضوع مورد بحث مشترک می‌باشند، انتخاب و مورد نظر سنجی قرار گرفتند.

ابزار گردآوری داده‌ها مطالعات کتابخانه‌ای و نیز با ابزار پرسش‌نامه می‌باشد. در این مرحله پرسش‌نامه‌ها را بین ۳۰ نفر جامعه آماری توزیع و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و نظرات خبرگی شاخص‌های تأثیرگذار برای هرکدام از مسائل تحقیق را به دست آورده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دار نمودیم. در ادامه با توجه به معیارهای وزندار، اهمیت نسبی هر کدام از نقاط مستعد برای استقرار مراکز فرماندهی و کنترل را بدست آوردیم. سپس با توجه به هرکدام از زیرمسائل تحقیق، مدل ریاضی مربوطه را ارائه دادیم. در انتها برای نشان دادن درستی و اعتبار مدل، آن را روی یک مسئله فرضی امتحان و جواب‌های بهین را به دست آوردیم. برای حل مدل‌های ارائه شده از نرم افزار **MATLAB** استفاده شده است. در ادامه گام‌های پیشنهادی اجرای تحقیق را تشریح خواهیم نمود.

تشریح گام‌های انجام تحقیق

در این بخش مدل پیشنهادی تحقیق را به شرح گام‌های ارائه شده در جدول ذیل مطرح می‌کنیم. لازم به ذکر است که شاخص‌های تأثیرگذار بر مسائل موردنظر تحقیق با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و استفاده از نظر خبرگان که طی پرسش‌نامه‌هایی احصاء گردیده

است، صورت گرفته است. بنابراین گام‌های مدل عبارت‌اند از:



جدول ۲: مدل مفهومی تحقیق

گام یک: شناسایی شاخص‌های تأثیرگذار در تعیین مکان بهینه مراکز فرماندهی

در این مرحله با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و پرسش‌نامه‌هایی که از خبرگان احصاء گردیده است، معیارهای تأثیرگذار بر تعیین مراکز فرماندهی و کنترل بهینه را به صورت زیر تعیین نموده‌ایم:

معیار	زیر معیار
فرماندهی و کنترل	انعطاف‌پذیری
	انسجام و یکپارچگی
	تصمیم‌گیری به موقع
	انجام واکنش سریع
	تمرکز کنترل
	ایجاد هماهنگی بین یگان‌ها
ارتباطات و اطلاعات	تبادل اطلاعات
	تأمین در ارتباط
	سرعت در ارتباط
	برقراری ارتباط مستقیم بین یگان‌ها

جدول ۳: شاخص‌های تأثیرگذار در تعیین مکان بهینه

گام دو: تعیین وزن شاخص‌ها با کمک خبرگان

در این مرحله میزان اهمیت هر شاخص با کمک تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و با نظرسنجی از

خبرگان تعیین گردید. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) چهارچوبی منطقی است که درک و تحلیل تصمیم‌گیری‌های پیچیده را با تجزیه آن به ساختاری سلسله مراتبی آسان می‌کند [34]. این مدل توسط توماس آل ساعتی ارائه گردید و همان‌طور که از اسمش پیداست برای حل مسائلی بکار می‌رود که در سطح اول آن هدف، در سطوح میانی معیارها و در آخرین سطح گزینه‌های رقیب موجود می‌باشند. پس از شناسایی شاخص‌های مؤثر در مرحله قبل، در این بخش با کمک پرسشنامه و بهره‌گیری از تکنیک AHP سعی در تعیین میزان اهمیت معیارها (وزن معیارها) نموده که نتیجه نهایی در جدول ۵ ارائه گردیده است.

شاخص‌ها	وزن نهایی مسئله نوع ۱	وزن نهایی مسئله نوع ۲	وزن نهایی مسئله نوع ۳
انعطاف‌پذیری	۰,۲۰۷۶	۰,۱۳۷۶	۰,۱۳۷۶
انسجام و یکپارچگی	۰,۰۵۵۱	۰,۰۵۵۹	۰,۰۵۵۹
تصمیم‌گیری به موقع	۰,۰۸۷۴	۰,۰۷۷۴	۰,۰۸۷۴
انجام واکنش سریع	۰,۲۹۱	۰,۱۵۹۱	۰,۲۲۹۱
تمرکز کنترل	۰,۰۴۸	۰,۰۴۸	۰,۲۴۸
ایجاد هماهنگی بین یگان‌ها	۰,۱۲۱۶	۰,۱۲۱۶	۰,۳۱۱۶
تبادل اطلاعات	۰,۱۱۲	۰,۱۱۲	۰,۱۱۲
تأمین در ارتباط	۰,۰۳۸۴	۰,۰۳۸۴	۰,۰۳۸۴
سرعت در ارتباط	۰,۰۵۲۵	۰,۰۵۲۵	۰,۰۵۵۵
برقراری ارتباط مستقیم بین یگان‌ها	۰,۰۴۵	۰,۰۴۵	۰,۶۱۰۵

جدول ۴: وزن نهایی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی مراکز آمادی در

میدان نبرد ناهمراز

گام سوم: تعیین اهمیت نسبی هر کدام از یگان‌های مستقر

در این مرحله می‌بایست اهمیت نسبی گزینه‌های کاندید (یگان‌های موجود در منطقه مورد نظر یا همان گروه‌های شبکه مفروض) را با توجه به شاخص‌های

صحیح برای به دست آوردن مراکز فرماندهی و کنترل بهینه را می توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$\text{TP1: Min } z = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1 \quad (2)$$

$$x_i \in \{1, 2\}, \quad i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

اگر x_i جزء رؤس انتخابی در مسئله موردنظر باشد، آنگاه $x_i = 1$ ، و در غیر این صورت $x_i = 0$. همچنین $a_i = a_j = 1$ ، در صورتی که کانال ارتباطی مابین مراکز فرماندهی x_i و x_j وجود داشته باشد و یا $i = j$ باشد و در غیر این صورت $a_i = a_j = 0$. توجه داشته باشیم که شرط (۲) بدین جهت در برنامه ریزی مذکور قرار داده شده است که از بین رؤس مرتبط با یکدیگر حداقل یکی انتخاب شود

زیرگام دوم: برنامه ریزی صحیح برای مسئله دوم

هدف ما در مسئله نوع دوم، تعیین بهینه مراکز فرماندهی و کنترل هست بطوریکه با کمترین هزینه ممکن بتوان تمامی کانال های ارتباطی را تحت کنترل داشت. در واقع، می خواهیم زیرمجموعه ای از مجموعه مراکز فرماندهی و کنترل را به دست آوریم که بتوان با کمترین هزینه ممکن و با استقرار در این مراکز فرماندهی و کنترل تمامی کانال های ارتباطی را تحت کنترل داشت.

$$\text{TP2: Min } z = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (1)$$

$$\text{s.t. } x_i + x_j \geq 1 \quad \forall (x_i, x_j) \in E \quad (2)$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

شناسایی شده و همچنین وزن به دست آمده برای هر شاخص محاسبه نمائیم. برای این منظور در ابتدا امتیاز گزینه ها در هر شاخص توسط کارشناسان و خبرگان متخصص و باتجربه احصاء شده و در نهایت با اعمال وزن شاخص ها (میانگین حسابی) امتیاز نهایی هر گزینه محاسبه می شود.

گام چهارم: ارائه مدل ریاضی تحقیق

زیرگام یک: برنامه ریزی صحیح برای مسئله اول

فرض کنید شبکه $G = (V, E)$ با مجموعه رؤس V متشکل از n رأس و مجموعه یال های E با $E = |m|$ داده شده باشد. همچنین مجموعه مراکز کنترل و فرماندهی را با مجموعه V نشان خواهیم داد و مجموعه یال ها نشانگر کانال های ارتباطی بین مراکز فرماندهی و کنترل می باشد.

در حالت کلی و در مدل گسترش واحدها، فرض می کنیم از چندین نوع کانال ارتباطی (لایه های ارتباطی) استفاده شده است. بدین ترتیب می توان شبکه ارتباطی را به صورت $G_i = (V_i, E_i)$ در نظر گرفت که در آن اندیس i بیانگر لایه ارتباطی i - ام می باشد. هدف ما در مسئله اول، به دست آوردن زیرمجموعه ای از مجموعه مراکز فرماندهی و کنترل است که بتوان با بهینه هزینه ممکن و با استقرار در این مراکز فرماندهی و کنترل دیگر مراکز فرماندهی و کنترل را تحت پوشش و تحت کنترل داشت.

از نقطه نظر ریاضی، مسئله فوق الذکر را به صورت یک برنامه ریزی صحیح مدل بندی کرده و با به دست آوردن جواب های سازگار سعی در به دست آوردن جواب های بهینه موردنظر خواهیم بود. فرض می کنیم $V = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ مجموعه مراکز فرماندهی و کنترل باشد و $c_i \geq 0$ هزینه مربوط به مرکز فرماندهی و کنترل i - ام باشد. در این صورت، مدل بندی برنامه ریزی

$$\text{TP3: Min } z = \sum_{(x_i, x_j)} w_{ij} e_{ij}$$

$$\text{s.t. } \sum_{x_j \in A(x_i)} e_{ij} \leq 1 \quad \forall x_i \in V$$

$$\sum_{x_j \in A(x_i), x_k \neq x_j} e_{ik} + \sum_{x_k \in A(x_i), x_k \neq x_j} e_{kj} + e_{ij} \geq 1 \quad \forall (x_i, x_j) \in E$$

$$e_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall (x_i, x_j) \in E$$

که در آن $e_{ij} = 1$ ، اگر کانال ارتباطی (x_i, x_j) جزء کانال‌های انتخابی در مسئله موردنظر باشد و در غیر این صورت $e_{ij} = 0$. در ضمن $A(x_i)$ نشانگر مجموعه مراکز فرماندهی مجاور با مرکز فرماندهی x_i است. در این صورت، با حل مسئله برنامه‌ریزی صحیح ذکرشده در بالا، به مجموعه $S = \{e_{ij} \in E : e_{ij} = 1\}$ خواهیم رسید که جواب مسئله برنامه‌ریزی صحیح مذکور در بالا و در نتیجه جواب مسئله موردنظر خواهد بود.

گام پنجم: حل مدل پیشنهادی تحقیق

در این بخش یک سناریوی فرضی را در نظر می‌گیریم که در آن شبکه گسترش مراکز فرماندهی و کنترل به صورت زیر هست. فرض کنید برای هر گره (مرکز فرماندهی) x_i وزنی برابر با w_i تخصیص داده شده باشد که روش تخصیص آن در بخش‌های قبلی ذکر شد.

مسئله TP1: اطلاعات مربوط به این شبکه به صورت جدول ذیل هست.

x_i	۱	۲	۳	۴	۵
w_i	۲۳	۶۵	۸۱	۶۶	۵۱
x_i	۶	۷	۸	۹	
w_i	۳۶	۴۷	۱۸	۱۹	

جدول ۵: اطلاعات مربوط به مسئله نوع اول

همچنین مدل گرافیکی آن به صورت شبکه زیر

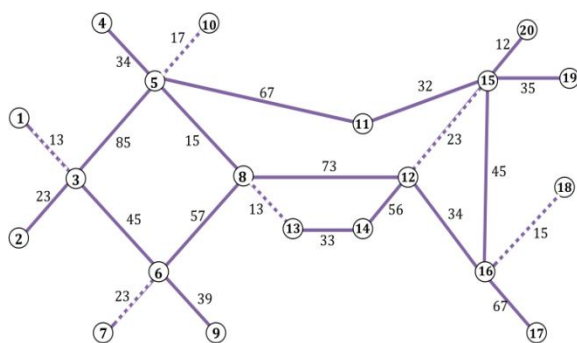
باشد:

که در آن $x_i = 1$ ، اگر x_i جزء رئوس انتخابی در مسئله موردنظر باشد و در غیر این صورت $x_i = 0$.

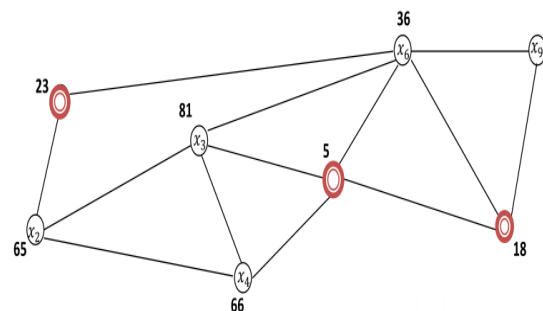
در این صورت، با حل مسئله برنامه‌ریزی صحیح ذکرشده در بالا، به مجموعه $S = \{x_i \in V : x_i = 1\}$ خواهیم رسید که جواب مسئله برنامه‌ریزی صحیح مذکور در بالا و در واقع بهینه مراکز فرماندهی است که با کمترین هزینه ممکن تمامی کانال‌های ارتباطی را تحت کنترل خواهد داشت. توجه داشته باشیم که شرط (۱) بدین جهت در برنامه‌ریزی مذکور قرار داده شده است که از بین رئوس مرتبط با یکدیگر حداقل یکی انتخاب شود.

زیرگام سوم: برنامه‌ریزی صحیح برای مسئله سوم

هدف ما در این مسئله، تعیین بهینه کانال‌های ارتباطی است بطوریکه دوبه‌دو مجاور نبوده و مراکز فرماندهی در ابتدا و انتهای این کانال‌های ارتباطی بتوانند تمامی کانال‌های ارتباطی و دیگر مراکز فرماندهی را با کمترین هزینه ممکن تحت کنترل داشته باشند. مدل‌بندی این مسئله به صورت یک برنامه‌ریزی صحیح، منجر به مسئله بهینه‌سازی بیشینه جורسازی وزن‌دار خواهد شد. بدین ترتیب که هدف اصلی ما در این مسئله، در ابتدای امر انتخاب حداکثر یک کانال ارتباطی مرتبط با هر یک از مراکز فرماندهی خواهد بود. سپس با اعمال قیدی، تمامی کانال‌های ارتباطی را توسط حداقل یکی از مراکز فرماندهی انتخاب شده در ابتدا یا انتهای کانال ارتباطی انتخاب شده پوشش خواهیم داد. با این توصیفات، مدل‌بندی ریاضی این مسئله به صورت زیر می‌تواند باشد:



شکل ۳. شبکه مربوط به مسئله نوع سوم



شکل ۱. شبکه مربوط به مسئله نوع اول

یافته‌های تحقیق

پس از حل مدل مربوط به شبکه مسئله نوع اول، جواب بهینه زیر برای مسئله TP1 بدست می‌آید. لازم به توضیح است که برای حل مدل‌ها از نرم افزار MATLAB استفاده شده است.

Z^*	x_1	x_2	x_3	x_4
۸۸	۱	۰	۰	۰
x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
۰	۰	۱	۱	۰

جدول ۷. جواب بهینه مسئله نوع اول

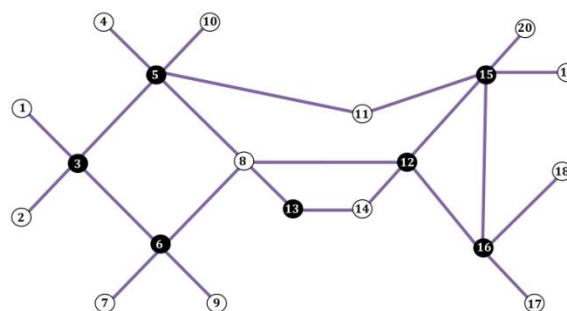
خواهد شد. انتخاب گره‌های x_1 ، x_7 و x_8 به عنوان مراکز منتخب مطلوب مسئله جهت پوشش و کنترل مراکز دیگر، مقدار هزینه برابر با ۸۸ خواهد بود. در صورت ایجاد اختلال در یک مرکز فرماندهی و یا از بین رفتن تعدادی کانال ارتباطی توسط دشمن، شبکه مربوطه را دوباره بازطراحی کرده و بهینه مراکز فرماندهی و کنترل را به دست می‌آوریم. در این حالت، کافی است تغییراتی در برنامه‌ریزی مذکور ایجاد کرده و دوباره بهینه مراکز فرماندهی و کنترل را به دست آوریم. فرض کنیم در مرکز فرماندهی و کنترل x_7 و کانال‌های ارتباطی مابین x_1 و x_2 ، اختلال ایجاد شده باشد، در این صورت خواهیم داشت:

Z^*	x_1	x_2	x_3	x_4
۹۲	۱	۰	۰	۰
x_5	x_6	x_7	x_8	x_9

برای مسئله TP2:

x_i	۱	۲	۳	۴	۵
w_i	۵	۱۱	۲۴	۶	۱۴
x_i	۶	۷	۸	۹	۱۰
w_i	۳۶	۱۴	۱۷	۱۰	۲۲
x_i	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
w_i	۱۶	۴۵	۴۴	۱۲	۱۵
x_i	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
w_i	۱۷	۲۵	۱۲	۱۸	۲۷

جدول ۶. اطلاعات مربوط به مسئله نوع دوم



شکل ۲. شبکه مربوط به مسئله نوع دوم

برای مسئله TP3، شبکه زیر حاوی وزن کانال‌های

ارتباطی را به صورت زیر داریم:

۰	۱	۰	۰	۱
---	---	---	---	---

جدول ۸. جواب بهینه تحلیل حساسیت مسئله نوع اول

برای مسئله TP2 داریم:

مقدار Z^* بهینه برای مسئله مذکور خواهد شد. درواقع با انتخاب این مراکز به عنوان اصلی ترین و بااهمیت ترین مراکز فرماندهی و کنترل و مقدار هزینه ای برابر با ۱۲۳ واحد می توان تمامی کانال های ارتباطی را تحت کنترل قرارداد. با فرض ایجاد اختلال در مرکز فرماندهی و کنترل x_7 و ایجاد اختلال در کانال های ارتباطی مابین x_5 و x_8 ، دوباره مسئله برنامه ریزی خطی را حل و جواب زیر را خواهیم داشت:

$$Z^* = 109, \quad S = \{x_7, x_5, x_8, x_1, x_4, x_{15}, x_{16}\}$$

همچنین برای TP3 داریم:

$$Z^* = 104, \quad S = \{e_{13}, e_{67}, e_{51}, e_{813}, e_{115}, e_{1618}\}$$

در صورت ایجاد اختلال در یک مرکز فرماندهی و یا از بین رفتن تعدادی کانال ارتباطی توسط دشمن، شبکه مربوطه را دوباره بازطراحی کرده و بهینه مراکز فرماندهی و کنترل را به دست می آوریم. در این حالت، کافی است تغییراتی در برنامه ریزی مذکور ایجاد کرده و دوباره بهینه مراکز فرماندهی و کنترل را به دست آوریم.

نتیجه گیری

در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از روش های ریاضی، مدل گسترش مراکز فرماندهی و کنترل را در میدان نبرد ارائه دهیم. در ضمن، در تمامی حالات بیان شده، نظام فرماندهی غیرمتمرکز برای مقابله با نقطه بحرانی خرابی را طوری طراحی کردیم که در هنگام بحران خرابی، با جایگزین کردن مراکز فرماندهی و مسیرهای ارتباطی دیگر، بقا پذیری و قوام شبکه پدافندی حفظ شد. درواقع، با بررسی سناریوهای

احتمالی که فرمانده نبرد با آنها روبرو خواهد شد و در صورتی که دشمن در شبکه ارتباطی و کنترل ایجاد اختلال نمود، شبکه ارتباطی را دوباره بازطراحی کردیم.

روند بررسی مسئله بدین صورت بود که در ابتدا با ارائه یک تصویر کلی از مسائل موردنظر به تبیین مسئله و اهمیت و جایگاه این مسائل در حوزه نظامی پرداخته شد. سپس با شناسایی شاخص ها و وزن دهی شاخص های مدنظر، راه را برای تشکیل مدل بندی مسئله هموار ساختیم و در نتیجه به مدل بندی مسئله زبان ریاضی پرداخته شد. در نهایت، با حل مدل بیان شده، جواب بهینه موردنظر را به دست آوریم. شایان توجه است که مدل های بیان شده به زبان پژوهش عملیاتی و در قالب برنامه ریزی با اعداد صحیح انجام شده است. بنابراین با توجه به شبکه فرضی اخیر و جواب های ارائه شده، مدل های TP1، TP2 و TP3 می توانند پرسش های الف، ب و ج ارائه شده در تحقیق را جوابگو بوده و همانطوریکه با استفاده از این مدل ها در شبکه فرضی به جواب های بهین رسیدیم و مدل تحقیق را مورد آزمایش قرار دادیم، می توان در موارد مطالعاتی مشابه نیز جواب بهین مسئله را بدست آورد.

منابع

- [۱] اکبر تسیحی، "عوامل موثر در ارتقای علاقه به نظامیگری در دانشجویان دانشگاه افسری امام علی (ع)", فصلنامه مدیریت، ۱۳۹۰.
- [۲] طه، حمدی، آشنایی با تحقیق در عملیات (ج ۱)، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۶.
- [۳] محمدی، اردشیر، "ویژگی ارتباطی شبکه های فرماندهی و کنترل در میدان نبرد"، فصلنامه علوم و فنون نظامی، دافوس، ۱۳۸۹.
- [۴] معمر، مرتضی و همکاران، "هوشمندسازی امنیت در شناسایی

های مدیریت دانش؛ مورد مطالعه سامانه فرماندهی و کنترل، "فصلنامه راهبرد دفاعی، جلد ۱۱، شماره ۵۰، ۱۳۹۴.

[۲۰] امیرخانی، لیلا، سامانه ارتباطات مشترک، تهران: مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، ۱۳۹۰.

[۲۱] عبدی، فریدون، "سامانه فرماندهی و کنترل C5I2 و بررسی نقش رایانه ها در آن، "فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت نظامی، جلد ۱۱، شماره ۴۲، ۱۳۹۰.

[۲۲] کشتکار، مهران، ساختار فرماندهی و کنترل، حساسه ها، ارتباطات و مراکز امتزاج، تهران، دافوس آجا: پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۷.

[۲۳] اسفندیاری، مسعود، آینده فرماندهی و کنترل، تهران: مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاع، حوزه هسته ای نوآوری دفاعی، ۱۳۹۳.

[۲۴] سهیلی، حمیدرضا؛ غضنفری، مهدی؛ ناد، وحید، "شناسایی چالش های قابلیت توسعه سامانه فرماندهی و کنترل C4I، "فصلنامه فرماندهی و کنترل، ۱۳۹۵.

[۲۵] شهلایی، ناصر؛ مرادیان، محسن؛ لطفی، احمد؛ هادی نژاد، فرهاد، "طراحی مدل ریاضی برای پیش بینی مکان بهینه مراکز آمادی در شرایط جنگهای آینده، "مطالعات آینده پژوهی دفاعی، ۱۳۹۵.

[۲۶] حنفی، علی؛ لطفی، احمد، "ارائه مدل گسترش سامانه های متحرک موشکی در جنگهای آینده با استفاده از نظریه بازی و GIS، "آینده پژوهی دفاعی، ۱۳۹۶.

[۲۷] Daniel Ventre, Information Warfare, John Wiley & Sons, 2009.

[۲۸] Der-San Chen, Robert G. Batson, Yu Dang, Applied Integer Programming: Modeling and Solution, John Wiley & Sons, 2011.

[۲۹] Ding-Zhu Du, Peng-Jun Wan, Connected Dominating Set: Theory and Applications, Springer, 2013.

[۳۰] Miller, D. M. and J. W. Schmidt, Industrial Engineering and Operations Research, New York: John Wiley & Sons, 1984.

[۳۱] John K. Karlof, Integer Programming: Theory and Practice. Taylor & Francis, 2005.

[۳۲] Mokhtar S. Bazaraa, John J. Jarvis, Hanif D. Sherali, Linear Programming and Network Flows, John Wiley & Sons, 2010.

[۳۳] Oktay Günlük, Gerhard J. Woeginger, "Integer Programming and Combinatorial Optimization," in 15 the International Conference, 2011.

مهاجمان به شبکه، "در هفتمین کنفرانس فرماندهی و کنترل، ایران، ۱۳۹۲.

[۵] مهرگان، محمدرضا، پژوهش عملیاتی: برنامه ریزی خطی و کاربردهای آن، نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۸۸.

[۶] هیلر و لیبرمن، برنامه ریزی ریاضی، انتشارات تندر، ۱۳۷۰.

[۷] فاطمه اذعانی، "نقش تکنولوژی اطلاعات در C4I، "در نشریه علمی - خبری مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، ۱۳۷۹.

[۸] مهدی مقیمی، علی ایزدی، "ملزومات پیاده سازی سیستم آگاهی وضعیتی در سطح کشور، "در چکیده مقالات هفتمین کنفرانس علمی فرماندهی و کنترل، ایران، ۱۳۹۲.

[۹] اساتید دانشکده مدیریت، فرماندهی و کنترل مکانیزه و سنجش از راه دور، نزاجا: انتشارات مرکز مخابرات، ۱۳۸۱.

[۱۰] سید سعید آقایان، سعید فرشیان، "نقش لینکهای تاکتیکی در فرماندهی و کنترل، "در هفتمین کنفرانس علمی فرماندهی و کنترل ایران، ۱۳۹۲.

[۱۱] آلون تافلر، هایدی تافلر، جنگ و پاد جنگ: زنده ماندن در سپیده دم سده بیست و یکم، ۱۳۸۵.

[۱۲] مجتبی گلشنی، تئوری شبکه ها: کوتاهترین مسیر در شبکه و حداکثر جریان در شبکه، تهران: زمان، ۱۳۸۹.

[۱۳] وحید نادری و همکاران، "بررسی شاخص های انسانی در ارزیابی توسعه سامانه های فرماندهی و کنترل در سازمان های نظامی، "در هفتمین کنفرانس فرماندهی و کنترل، ایران، ۱۳۹۲.

[۱۴] روح الله درخشش، فریدون عبدی، مبانی فرماندهی و کنترل C4I، تهران: انتشارات دانشگاه افسری امام علی (ع)، ۱۳۹۳.

[۱۵] علوی، سید حسین، مظلومی، علی، "نقش و جایگاه فاوا در کنترل و فرماندهی اثربخش بر عملیات واکنش سریع، "در پنجمین اجلاس ملی فرماندهی و کنترل ایران، تهران، ۱۳۹۰.

[۱۶] حامدی فرد، میثم، تأثیر فناوری اطلاعات در فرماندهی و کنترل مدیریت بحران، دانشگاه پیام نور، تهران: پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۴.

[۱۷] جباری، لطفعلی، "سنجش اثر بخشی برنامه های آموزشی در سازمان ها، "مجله تدبیر، جلد ۱۲۷، ۱۳۸۰.

[۱۸] رسول پور، فایق، "نقش مهارت های مدیران در ارتقای عملکرد نیروی انسانی (مطالعه موردی آموزش و پرورش شهرستان مهاباد)، "در اولین کنفرانس بین المللی اقتصاد، مدیریت، حسابداری و علوم اجتماعی، ۱۳۹۳.

[۱۹] اخوان، پیمان، کشتکار، مهران، "بررسی و رتبه بندی توانمند سازی