



The Command and Control Model for Khatam Al-Anbiya Joint Air Defense Headquarter of the Country, with emphasizing on new air threats

Farshad Satarvand¹ ✉ | Mohsen Moradian² | Mohamad Hasan Ahmadzadeh fard³
Hamid Hemat⁴

1. Department Air Defense, Faculty of Command and Staff, Command and Staff University, Tehran, Iran. Email: ferysat1357@casu.ac.ir

2. Department of war, Faculty of war, Command and Staff University, Tehran, Iran. Email: Mohsen.moradian7@gmail.com

3. Department Air Defense, Faculty of Command and Staff, Command and Staff University, Tehran, Iran. Email: ahmadyhasan15@yahoo.com

4. Department Air Defense, Faculty of Command and Staff, Command and Staff University, Tehran, Iran. Email: hahe1350@gmail.com

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Applied research

Research Article

Article history:

Received

29 june 2026

Received in revised form

03 August 2026

Accepted

31 August 2026

Published online

22 September 2026

Keywords:

Air Defense,

Command and

Control, Modern

Air Threats,

Objective: Rapid technological advancements and the emergence of new air threats, including the proliferation of UAVs, precision-guided munitions, saturation attacks, electronic warfare, cyber operations, and hybrid warfare, have significantly reduced the effectiveness of traditional air defense command and control (C2) systems. This study aims to develop a comprehensive air defense C2 model based on emerging air threats.

Methodology: This research adopts an applied objective and a mixed-methods approach. In the qualitative phase, factors influencing air defense C2 were identified through an extensive literature review and expert interviews and integrated into a conceptual framework. The Strauss–Corbin grounded theory paradigm was used to analyze the relationships among causal, contextual, and intervening conditions, the central phenomenon, strategies, and consequences. In the quantitative phase, the proposed model was empirically validated.

Findings: Contextual conditions included financial constraints, uncertainty in the military environment, lack of integration in air power capabilities, and sanctions-related limitations. Intervening conditions included information and communication quality, training effectiveness, human–technology interaction, and modern C2 architecture requirements. Strategies involved system integration, enhanced command intelligence, and improved operational readiness.

Conclusion: The key outcomes of the proposed model were information superiority, organizational learning, enhanced operational effectiveness, and greater agility and operational flexibility, providing a framework for strengthening air defense C2 in response to emerging air threats.

Cite this article: Satarvand, Farshad., Moradian, Mohsen., Ahmadzadeh fard, Mohamad Hasan & Hemat Hamid. (2026). The Command and Control Model for Khatam Al-Anbiya Joint Air Defense Headquarter of the Country, with emphasizing on new air threats. *Warfare Study Quarterly*, 28 (8), 09-39. DOI: <http://doi.org/10.22034/qjws.2026.2092492.1344>

© The Author(s)

Publisher: Command and Staff University





الگوی فرماندهی و کنترل قرارگاه مشترک پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص) کشور مبتنی بر تهدیدات هوایی نوین

فرشاد ستاروند^۱ | محسن مرادیان^۲ | محمدحسن احمدزاده فرد^۳ | حمید همت^۴

۱. گروه پدافند هوایی، دانشکده فرماندهی و ستاد، دانشگاه فرماندهی و ستاد، نام شهر. تهران، نام کشور ایران. رایانامه:

fersyat1357@casu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه جنگ، دانشکده جنگ، دانشگاه فرماندهی و ستاد، نام شهر. تهران، نام کشور ایران.

رایانامه: Mohsen.moradian7@gmail.com

۳. گروه پدافند هوایی، دانشکده فرماندهی و ستاد، دانشگاه فرماندهی و ستاد، نام شهر. تهران، نام کشور ایران.

رایانامه: ahmadyhasan15@yahoo.com

۴. گروه پدافند هوایی، دانشکده فرماندهی و ستاد، دانشگاه فرماندهی و ستاد، نام شهر. تهران، نام کشور ایران.

رایانامه: hahe1350@gmail.com

اطلاعات مقاله چکیده

نوع مقاله:	هدف: پژوهش حاضر با هدف طراحی الگوی فرماندهی و کنترل قرارگاه پدافند هوایی مبتنی بر تهدیدات هوایی نوین انجام شد.
کاربردی	
مقاله پژوهشی	روش‌شناسی: جامعه اسنادی شامل اسناد عملیات، ساختار فرماندهی و کنترل، طرح‌های عملیاتی و رزمایش‌ها و جامعه آماری شامل فرماندهان و افسران ارشد پدافند هوایی بود. ۱۰ صاحب‌نظر به روش گلوله‌برفی و ۱۰۸ نفر به روش نمونه‌گیری طبقه‌ای و بر اساس فرمول کوکران انتخاب شدند. داده‌های کیفی با روش استروس-کوربین تحلیل و اعتبار الگو در بخش کمی ارزیابی شد.
تاریخ دریافت:	یافته‌ها: ۵۲۷ کد باز، ۷۰ مفهوم و ۲۶ مقوله در شش محور استخراج شد. پدیده محوری، فرماندهی و کنترل پدافند هوایی مبتنی بر تهدیدات هوایی نوین شناسایی شد. مهم‌ترین راهبردها شامل یکپارچگی سامانه‌ها، هوشمندی فرماندهی و افزایش آمادگی عملیاتی بود.
۱۴۰۵/۴/۵	
تاریخ بازنگری:	نتیجه‌گیری: الگوی پیشنهادی با ایجاد اشراف اطلاعاتی، یادگیری سازمانی، افزایش موفقیت عملیات و ارتقای چابکی و انعطاف‌پذیری عملیاتی، پاسخگویی فرماندهی و کنترل پدافند هوایی، تهدیدات هوایی نوین را تقویت می‌کند.
۱۴۰۵/۴/۵	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۵/۴/۵	
تاریخ انتشار:	
۱۴۰۵/۴/۵	
کلیدواژه‌ها:	فرماندهی و کنترل، پدافند هوایی، تهدیدات هوایی نوین.

استناد: ستاروند، فرشاد؛ مرادیان، محسن؛ احمدزاده فرد، محمد حسن و همت، حمید. (۱۴۰۵). الگوی فرماندهی و کنترل قرارگاه مشترک پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص) کشور مبتنی بر تهدیدات هوایی نوین. فصلنامه مطالعات جنگ، ۲۹ (۸)، ۳۹-۹. DOI: <http://doi.org/10.22034/qjws.2026.2092492.1344>

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش جمهوری اسلامی ایران

DOI: 10.22034/qjws.2026.2092492.1344



مقدمه

امنیت هوایی یکی از ارکان اساسی امنیت ملی و دفاعی کشورها محسوب می‌شود و نقشی تعیین‌کننده در حفظ تمامیت ارضی، صیانت از منافع ملی و استمرار کارکردهای حیاتی کشور ایفا می‌کند. در دهه‌های اخیر، توسعه شتابان فناوری‌های نوین نظامی و تغییر ماهیت، تنوع و پیچیدگی تهدیدات هوایی، محیط عملیاتی پدافند هوایی را با تحولات اساسی مواجه ساخته است. گسترش استفاده از سامانه‌های بدون سرنشین، تسلیحات هوشمند و دقیق، حملات اشباعی، جنگ الکترونیک، عملیات سایبری و تهدیدات ترکیبی، ضمن افزایش پیچیدگی صحنه نبرد، موجب کاهش زمان واکنش و افزایش فشار بر فرایند کشف، شناسایی، ارزیابی، تصمیم‌گیری و اقدام شده است. در چنین محیطی، اتکای صرف به الگوهای سنتی فرماندهی و کنترل نمی‌تواند پاسخگوی الزامات جدید عملیات پدافند هوایی باشد. فرماندهی و کنترل به‌عنوان هسته تصمیم‌ساز و هدایت‌کننده سامانه دفاع هوایی، مسئولیت جمع‌آوری، پردازش و توزیع اطلاعات، ایجاد اشراف اطلاعاتی و آگاهی موقعیتی، تصمیم‌گیری، هماهنگی و هدایت عملیات را بر عهده دارد. افزایش حجم و سرعت تولید داده‌ها، تعدد منابع اطلاعاتی، تنوع تهدیدات و کاهش مداوم زمان تصمیم‌گیری، ضرورت حرکت به سوی الگوهای فرماندهی و کنترل هوشمند، انعطاف‌پذیر، یکپارچه و شبکه‌محور را بیش از پیش آشکار ساخته است. بنابراین، اثربخشی پدافند هوایی در مواجهه با تهدیدات نوین، صرفاً به توانمندی تجهیزات و سامانه‌های درگیر وابسته نیست، بلکه به میزان تناسب ساختار، فرایندها، ارتباطات، اطلاعات و سازوکارهای تصمیم‌گیری فرماندهی و کنترل با ویژگی‌های محیط عملیاتی جدید نیز بستگی دارد. قرارگاه مشترک پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) کشور، به‌عنوان مسئول دفاع هوایی، در مواجهه با تهدیدات روزافزون و متنوع نوین، نیازمند الگویی از فرماندهی و کنترل است که بتواند ضمن ایجاد هماهنگی و یکپارچگی میان اجزای سامانه، از ظرفیت اطلاعات، ارتباطات و فناوری‌های نوین برای ارتقای سرعت و دقت تصمیم‌گیری و واکنش عملیاتی بهره‌گیرد. ازاین‌رو، بازنگری و طراحی الگوی فرماندهی و کنترل قرارگاه بر مبنای ویژگی‌های تهدیدات هوایی نوین، ضرورتی اساسی برای ارتقای کارآمدی و اثربخشی دفاع

از قلمرو هوافضایی کشور محسوب می‌شود. با توجه به پیچیدگی و چندبعدی بودن این مسئله، طراحی چنین الگویی مستلزم شناسایی دقیق ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های مؤثر بر فرماندهی و کنترل و همچنین تبیین روابط میان آنهاست. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف ارائه الگوی فرماندهی و کنترل قرارگاه مشترک پدافند هوایی کشور با تأکید بر تهدیدات هوایی نوین انجام شده است تا ضمن شناسایی الزامات و ابعاد اساسی این الگو، زمینه لازم برای تقویت نقاط قوت، رفع نقاط ضعف و ارتقای توان پاسخگویی سامانه فرماندهی و کنترل در برابر تهدیدات نوین فراهم شود. بر این اساس، سؤال اصلی پژوهش عبارت است از: ابعاد فرماندهی و کنترل قرارگاه پدافند هوایی مبتنی بر تهدیدات هوایی نوین کدام‌اند؟ در ادامه، سؤالات فرعی پژوهش عبارت‌اند از: مؤلفه‌های هر یک از این ابعاد کدام‌اند؟ شاخص‌های مرتبط با مؤلفه‌ها چیست؟ و روابط میان ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های شناسایی شده چگونه است؟

مبانی نظری و پیشینه‌های پژوهش:

فرماندهی و کنترل:

فرماندهی و کنترل یکی از بنیادی‌ترین کارکردهای سازمان‌های نظامی و دفاعی است که نقش محوری در برنامه‌ریزی، هدایت، هماهنگی و اجرای عملیات ایفا می‌کند. فرماندهی به معنای اعمال اختیار قانونی و حرفه‌ای برای هدایت نیروها و منابع در جهت تحقق اهداف مأموریتی است و کنترل به مجموعه فرآیندهایی اطلاق می‌شود که امکان نظارت، ارزیابی و اصلاح عملکرد واحدهای عملیاتی را فراهم می‌آورد. تعامل مؤثر این دو مفهوم موجب ایجاد وحدت فرماندهی، انسجام عملیاتی و افزایش اثربخشی سازمان‌های دفاعی می‌شود. تحولات فناوری و افزایش پیچیدگی محیط‌های عملیاتی موجب شده است که مفهوم فرماندهی و کنترل از ساختارهای سلسله‌مراتبی سنتی به سمت معماری‌های پویا، انعطاف‌پذیر و شبکه‌محور حرکت کند. در این رویکرد، سرعت تبادل اطلاعات، کیفیت آگاهی موقعیتی و قابلیت تصمیم‌گیری بهنگام از مهم‌ترین عوامل موفقیت محسوب می‌شوند.

فرماندهی و کنترل، اعمال اقتدار و هدایت قانونی یک فرمانده منصوب شده بر نیروهای واگذار شده به او، به منظور هدایت، هماهنگی و کنترل عملیات برای دستیابی به مأموریت محوله است. به عبارت دیگر، جان ام. کالینز فرماندهی و کنترل را فراهم آوردن کارکنان، تجهیزات، تسهیلات، روش‌ها و شیوه‌های لازم برای جمع‌آوری، پردازش و توزیع اطلاعات به منظور تصمیم‌گیری در جهت طرح‌ریزی، برنامه‌ریزی، هدایت عملیات و اعمال کنترل و نظارت می‌داند. (Collins, ۲۰۲۴)

پدافند هوایی و الزامات فرماندهی و کنترل: پدافند هوایی مجموعه اقدامات، سامانه‌ها و تدابیری است که به منظور کشف، شناسایی، رهگیری و مقابله با تهدیدات هوایی به کار گرفته می‌شود. کارآمدی این سامانه‌ها تا حد زیادی به عملکرد نظام فرماندهی و کنترل وابسته است؛ زیرا اطلاعات حاصل از حسگرها، رادارها و سامانه‌های شناسایی باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن تجزیه و تحلیل شده و تصمیم مناسب اتخاذ گردد. فرماندهی و کنترل پدافند هوایی علاوه بر مدیریت منابع و تجهیزات، وظیفه ایجاد تصویر عملیاتی مشترک، هماهنگی میان واحدهای عملیاتی و تخصیص بهینه توان رزمی را بر عهده دارد. از این رو، کیفیت اطلاعات، زیرساخت‌های ارتباطی، آموزش نیروی انسانی و قابلیت یکپارچه‌سازی سامانه‌ها از مهم‌ترین الزامات این حوزه به شمار می‌روند.

تهدیدات هوایی نوین: در گذشته، بخش عمده تهدیدات به هواپیماهای سرنشین‌دار محدود بود، اما امروزه فناوری‌های نوظهور و روش‌های جدید حمله، چالش‌هایی پیچیده برای سیستم‌های دفاعی ایجاد کرده‌اند که نیازمند بازنگری در استراتژی‌ها و قابلیت‌های دفاعی است. سامانه‌های بدون سرنشین، موشک‌های هوشمند، مهمات سرگردان، جنگ الکترونیک، حملات سایبری و عملیات ترکیبی، محیط عملیاتی پدافند هوایی را با چالش‌های جدیدی مواجه ساخته‌اند. بعضی از ویژگی اصلی‌های تهدیدات هوایی نوین، سرعت بالا، قابلیت مانور، سطح مقطع راداری پایین، بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند و اجرای هم‌زمان چندین نوع حمله است. این ویژگی‌ها موجب کاهش زمان تصمیم‌گیری و افزایش پیچیدگی فرآیند فرماندهی و کنترل شده و ضرورت بهره‌گیری از الگوهای نوین مدیریتی و فناوریانه را آشکار می‌سازد.

از آنجایی که درک دقیق تهدیدات نوظهور برای طراحی الگوهای فرماندهی و کنترل دفاع هوایی مؤثر ضروری است، این تهدیدات را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

پهپادها و سیستم‌های بدون سرنشین: پهپادها^۱ به یکی از مهم‌ترین تهدیدات هوایی نوظهور تبدیل شده‌اند. تنوع، دسترسی آسان و هزینه پایین آنها، طیف وسیعی از بازیگران را قادر به استفاده از این فناوری کرده است.

انواع تهدیدات پهپادی: پهپادهای انتحاری^۲: این پهپادها برای حمله مستقیم به اهداف طراحی شده‌اند و می‌توانند برای مدت طولانی در منطقه پرواز کرده و سپس به هدف اصابت کنند. مثال‌های شناخته‌شده شامل سوئیچ‌بلید و شاهد ۱۳۶ هستند. (Yunda & Mizin, ۲۰۲۴)

پهپادهای اف‌پی‌وی^۳: این پهپادهای کوچک با دوربین و کنترل از راه دور، به‌ویژه در میدان‌های نبرد اخیر (مانند اوکراین) به‌طور گسترده استفاده شده‌اند. آنها می‌توانند مهمات کوچک حمل کرده یا به‌عنوان سلاح انتحاری استفاده شوند. (Sorochkin & Matveev, ۲۰۲۴)

گله‌های پهپادی^۴: گله‌های پهپادی شامل ده‌ها یا صدها پهپاد کوچک هستند که به‌صورت هماهنگ و خودمختار عمل می‌کنند. این تهدید به دلیل تعداد زیاد، هماهنگی و توانایی غلبه بر دفاع‌های سنتی، چالش بزرگی برای سیستم‌های فرماندهی و کنترل ایجاد می‌کند.^۵

پهپادهای مجهز به هوش مصنوعی: این پهپادها قابلیت تصمیم‌گیری در زمان واقعی و سازگاری با شرایط پویا را دارند. این سیستم‌ها می‌توانند به‌طور مستقل عمل کرده و از اقدامات متقابل سنتی مانند مختل کردن سیگنال اجتناب کنند.

پهپادهای تجاری تعدیل‌شده: پهپادهای تجاری ارزان‌قیمت از دیگر تهدیدات پهپادی هستند که می‌توانند برای حمل مواد منفجره یا انجام شناسایی تعدیل شوند. دسترسی آسان به این فناوری، آنها را به تهدیدی برای فرودگاه‌ها، تأسیسات حیاتی و رویدادهای عمومی تبدیل کرده است. (Потерайло & Радченко, ۲۰۲۴)

¹ UAV :Unmanned Aerial Vehicle

² Kamikaze/Loitering Munitions

³ FPV :First-Person View

⁴ UAV Swarms

⁵ Assessing the Threat: Autonomous Commercial Drones and its Potential for Civilian Casualty Attacks .2024.

مقابله با ازدحام پهبادهای نیازمند رویکردهای جدید برای درگیری انبوه، شامل سلاحهای انرژی هدایت شده و سیستمهای درگیری خودکار است. رویکردهای سنتی یک به یک قادر به مقابله با صدها تهدید همزمان نیستند.

چالشهای فرماندهی و کنترل در مقابله با پهبادهای:

شناسایی و تشخیص: پهبادهای کوچک اغلب سطح مقطع راداری^۱ بسیار کمی دارند و شناسایی آنها با رادارهای سنتی دشوار است. سیستمهای فرماندهی و کنترل باید قادر به یکپارچه سازی حسگرهای متنوع (رادار، اپتیکی، صوتی، فرکانس رادیویی) باشند. تصمیم گیری سریع: با توجه به سرعت و چابکی پهبادهای، زمان تصمیم گیری بسیار محدود است. سیستمهای فرماندهی و کنترل باید قادر به پردازش سریع اطلاعات و تخصیص خودکار منابع دفاعی باشند.

مقابله با تعداد زیاد: گله های پهبادی می توانند سیستمهای دفاعی را با تعداد زیاد اهداف اشباع کنند. معماری فرماندهی و کنترل باید قادر به اولویت بندی اهداف، تخصیص بهینه منابع و هماهنگی چندین سامانه دفاعی به صورت همزمان باشد.

هزینه-اثربخشی: استفاده از موشکهای گران قیمت برای خنثی سازی پهبادهای ارزان قیمت از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. سیستمهای فرماندهی و کنترل باید قادر به انتخاب مناسب ترین روش خنثی سازی (سلاحهای کینتیک، جنگ الکترونیک، لیزر، شبکه) باشند.

راهکارهای مقابله با پهبادهای:

معماری دفاع چندلایه:

یک معماری چندلایه برای مقابله با پهبادهای باید شامل لایه های زیر باشد.

لایه ۱: شناسایی و تشخیص هویت (یکپارچه سازی حسگرهای متنوع، تشخیص خودکار و طبقه بندی اهداف، تخمین مسیر و پیش بینی هدف)

لایه ۲: جلوگیری از حمله (جنگ الکترونیک (قطع ارتباط، مختل سازی جی پی اس)، استتار و فریب (دود، هدف های جعلی)، اقدامات نرم^۲)

^۱ RCS: Radar Cross Section

^۲ Soft-Kill

لایه ۳: خنثی‌سازی فیزیکی (سلاح‌های کینتیک (توپ، موشک)، سلاح‌های انرژی‌محور (لیزر، مایکروویو)، اقدامات سخت^۱)

این معماری نیازمند یک سیستم فرماندهی و کنترل یکپارچه است که بتواند تمام لایه‌ها را هماهنگ کند و بر اساس شرایط عملیاتی، بهترین راهبرد را انتخاب کند. (۲۰۲۴، Babich & Jeromenk)

سلاح‌های هایپرسونیک:

سلاح‌های هایپرسونیک^۲: موشک‌هایی که با سرعت‌های بیش از ۵ ماخ (حدود ۶,۱۲۵ کیلومتر در ساعت) حرکت می‌کنند و یکی از چالش‌برانگیزترین تهدیدات برای سیستم‌های ردیابی و رهگیری دفاع هوایی مدرن هستند. این موشک‌ها قادر به نفوذ در اکثر سیستم‌های دفاع موشکی هستند. (۲۰۲۴، Khairna & Sirohi)

انواع سلاح‌های هایپرسونیک:

۱- موشک‌های بالستیک هایپرسونیک^۳: موشک‌های بالستیک قاره‌پیما با قابلیت حمل کلاهک‌های هسته‌ای، تهدید مستقیم علیه سرزمین اصلی کشورها محسوب می‌شوند و موشک‌های بالستیک هایپرسونیک در مسیر بالستیک پرواز می‌کنند اما با سرعت‌های هایپرسونیک.

۲- وسایل پرنده هایپرسونیک گلايدر(اچ جی وی)^۴: این وسایل پس از پرتاب با موشک، در لایه‌های بالایی جو با سرعت هایپرسونیک سر می‌خورند و مسیر غیرقابل پیش‌بینی دارند.

۳- موشک‌های کروزر هایپرسونیک^۵: این موشک‌ها با موتورهای اسکرمجت^۶ در ارتفاع پایین‌تر پرواز می‌کنند.

چالش‌های فرماندهی و کنترل در مقابله با سلاح‌های هایپرسونیک:

¹ Hard-Kill

² Hypersonic Weapons

³ Hypersonic Ballistic Missiles

⁴ HGV: Hypersonic Glide Vehicles

⁵ Hypersonic Cruise Missiles

⁶ Scramjet

الف) زمان تصمیم‌گیری بسیار کوتاه: انطباق با تهدیدات مافوق صوت نیازمند تغییرات بنیادین در شبکه‌های حسگر، زمان‌بندی درگیری و قابلیت‌های رهگیر است. توالی‌های درگیری سنتی باید از دقایق به ثانیه‌ها فشرده شوند.

سرعت بالای سلاح‌های هایپرسونیک، زمان تصمیم‌گیری را از دقایق به ثانیه کاهش می‌دهد. این امر نیازمند خودکارسازی گسترده فرآیندهای تحلیل و پیش‌بینی، کاهش زمان تأخیر اطلاعاتی (Information Delay Time -To)، کاهش زمان تصمیم‌گیری و تفویض وظیفه (Decision and Delegation Time -Td) است.

ب) پیش‌بینی مسیر: سلاح‌های هایپرسونیک، به‌ویژه اچ جی وی‌ها، قادر به مانور در حین پرواز هستند و مسیر آنها غیرقابل پیش‌بینی است.^۱ سیستم‌های فرماندهی و کنترل باید از الگوریتم‌های پیشرفته پیش‌بینی مسیر و هوش مصنوعی استفاده کنند. (۲۰۲۴ Malinowski).

ج) یکپارچگی ملی و متحدین^۲: دفاع در برابر سلاح‌های هایپرسونیک نیازمند معماری فرماندهی و کنترل جدیدی است که قادر به پردازش سریع داده‌ها و هماهنگی بین سیستم‌های ملی و متحدین باشد.

د) رویکرد ترکیبی: دفاع مؤثر در برابر سلاح‌های هایپرسونیک نیازمند ترکیبی از رهگیرهای کینتیک و روش‌های غیرکینتیک (مانند سلاح‌های انرژی‌محور) است.^۳ نیازمندی‌های معماری فرماندهی و کنترل در مواجهه با تهدیدات هایپرسونیک: نیازمندی‌های زیر برای معماری فرماندهی و کنترل در مواجهه با تهدیدات هایپرسونیک مطرح است.

۱- تطبیق‌پذیری: قابلیت سازگاری با دینامیک بالای فعالیت‌های فضای هوایی، انتخاب‌پذیری عملیاتی برای هماهنگی فعالیت‌های متنوع.

۲- چندکاناله بودن: قابلیت درگیری هم‌زمان با تعداد زیادی هدف هوایی.

۳- مدولار بودن: قابلیت جایگزینی اجزاء، قابلیت پیکربندی مجدد برای انجام وظایف جدید.

1 Congress Research Service (CRS), 2024, Hypersonic Missile Defense: Issues For Congress (Report No. If11623)

2 Missile Defense Advocacy Alliance, 2023

3 Congress Research Service (CRS), 2024, Hypersonic Missile Defense: Issues For Congress (Report No. If11623)

۴- اتوماسیون: کوتاه‌سازی قابل توجه تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌های خودکار، تجسم خودکار نتایج، دریافت انتخابی اطلاعات قابل اعتماد و به‌موقع.

۵- یکپارچگی: همکاری مؤثر با عناصر ملی و متحدین شناسایی هوایی و دفاع هوایی، یکپارچگی با سیستم‌های فرماندهی نبرد دفاع هوایی و موشکی یکپارچه^۱، سازگاری معکوس با تمام عناصر سیستم دفاع هوایی ملی. (Malinowski, ۲۰۲۴)

تهدیدات سایبری و اطلاعاتی: سیستم‌های فرماندهی و کنترل مدرن به‌شدت به شبکه‌های ارتباطی دیجیتال وابسته هستند، که آنها را در برابر تهدیدات سایبری آسیب‌پذیر می‌کند. (Wijaya, ۲۰۲۴)

انواع تهدیدات سایبری شامل موارد زیر است: حملات به زیرساخت‌های ارتباطی، قطع یا مختل‌سازی شبکه‌های ارتباطی، حملات انکار سرویس^۲ به سرورهای فرماندهی و کنترل، جاسوسی الکترونیکی و شنود ارتباطات، حملات به سیستم‌های حسگر و سلاح، نفوذ به سیستم‌های رادار و تغییر داده‌ها، دستکاری سیستم‌های شناسایی دوست-دشمن^۳، کنترل از راه دور سامانه‌های دفاعی و جنگ اطلاعاتی: (انتشار اطلاعات نادرست برای گمراه‌سازی، حملات روانی به اپراتورها و فرماندهان، تضعیف اعتماد به سیستم‌های خودکار) است.

چالش‌های فرماندهی و کنترل در مواجهه با تهدیدات سایبری: قابلیت اطمینان و تاب‌آوری: پیاده‌سازی جنگ شبکه‌محور^۴ در عین مزایای آن، آسیب‌پذیری‌های سایبری را افزایش می‌دهد. سیستم‌های فرماندهی و کنترل باید قابلیت عملکرد در شرایط مختل‌سازی شبکه، مکانیزم‌های افزونگی^۵ برای ارتباطات و قابلیت بازگشت سریع پس از حمله سایبری را داشته باشند.

امنیت داده و رمزنگاری: حفاظت از داده‌های حساس در حین انتقال و ذخیره‌سازی، احراز هویت قوی برای دسترسی به سیستم‌های فرماندهی و کنترل، جلوگیری از نفوذ و دستکاری داده‌ها.

1 IBCS: Integrated battlefield command system

2 DOS: Denial Of Service

3 IFF: Identification friend from foe

4 NCW: Network Centric Warfare

5 Redundancy

بین عمل‌پذیری امن: یکی از چالش‌های اصلی در سیستم‌های فرماندهی و کنترل چندملیتی، اطمینان از قابلیت همکاری^۱ در عین حفظ امنیت است. استانداردهای ارتباطی متفاوت بین تجهیزات خارجی و داخلی می‌تواند آسیب‌پذیری‌هایی ایجاد کند.

آموزش و آگاهی: محدودیت منابع انسانی ماهر در فناوری ارتباطات نظامی یکی از چالش‌های اصلی است. سیستم‌های فرماندهی و کنترل باید طراحی کاربرپسندی داشته باشند و آموزش جامع برای اپراتورها فراهم شود. (Wijaya, ۲۰۲۴)

عملیات چندحوزه‌ای^۲: تهدیدات مدرن اغلب در چندین حوزه (زمین، دریا، هوا، فضا، سایبر) به صورت هم‌زمان اجرا می‌شوند. مقابله با آنها نیازمند معماری فرماندهی و کنترل یکپارچه که بتواند عملیات در تمام حوزه‌ها را هماهنگ کند و تصویر عملیاتی واحد^۳ که اطلاعات دریافتی از تمام حوزه‌ها را نمایش دهد و فرآیندهای تصمیم‌گیری که تأثیرات متقابل بین حوزه‌ها را در نظر بگیرند است.

دومیترسکو تأکید می‌کند که دفاع هوایی و موشکی یکپارچه ناتو باید برای عملیات چندحوزه‌ای تطبیق یابد و قادر به هماهنگی با عملیات زمینی، دریایی و سایبری باشد. (Dumitrescu, ۲۰۲۴)

تهدیدات ترکیبی^۴: تهدیدات ترکیبی شامل ترکیبی از روش‌های نظامی سنتی، جنگ نامتقارن، تروریسم، جنگ سایبری و جنگ اطلاعاتی هستند سیستم‌های فرماندهی و کنترل باید قادر به شناسایی و تحلیل تهدیدات پیچیده و چندوجهی، هماهنگی پاسخ‌های متنوع (نظامی، سیاسی، اقتصادی، اطلاعاتی)، انعطاف‌پذیری در برابر تاکتیک‌های غیرمتعارف باشد.

تهدیدات فضایی: با افزایش وابستگی به ماهواره‌ها برای ارتباطات، ناوبری و شناسایی، تهدیدات علیه دارایی‌های فضایی (مانند سلاح‌های ضدماهواره) می‌توانند سیستم‌های فرماندهی و کنترل را به شدت مختل کنند. معماری فرماندهی و کنترل باید قابلیت عملکرد در شرایط محرومیت از جی‌پی‌اس داشته باشد و از سیستم‌های ناوبری جایگزین

1 Interoperability

2 Multi-Domain Operations

3 COP: common operation picture

4 Hybrid Threats

(مانند ناوبری اینرسی) استفاده کند همچنین قابلیت ارتباط از طریق کانال‌های جایگزین را داشته باشد.

تهدیدات کوانتومی: تهدیدات کوانتومی با توسعه فناوری‌های کوانتومی، امکان رمزگشایی پیشرفته و قابلیت‌های جدید در حوزه موقعیت‌یابی و شناسایی فراهم می‌شود. این تکنولوژی‌ها پتانسیل تغییر بنیادین در ماهیت جنگ الکترونیک را دارند. (Yang, ۲۰۲۴, & Chen)

معماری و چالش‌های فرماندهی و کنترل هوایی مدرن:

معماری چندلایه دفاع هوایی: معماری دفاع هوایی مدرن بر اساس رویکرد چندلایه^۱ طراحی می‌شود که شامل لایه‌های مختلف دفاعی در فواصل و ارتفاع‌های متفاوت است. لایه‌های دفاعی:

دفاع در برد بلند (Long-Range Defense): سامانه‌های موشکی برد بلند (مانند اس ۳۰۰، باور ۳۷۳)، شناسایی زود هنگام با رادارهای برد بلند و ماهواره‌ای، رهگیری تهدیدات در فاصله دور از دارایی‌های حیاتی.

دفاع در برد متوسط (Medium-Range Defense): سامانه‌های موشکی برد متوسط (مانند هاگ مرصاد تلاش سوم خرداد)، پوشش مناطق عملیاتی و شهرهای مهم.

دفاع در برد کوتاه و بسیار کوتاه (Short-Range and Very Short-Range Defense): سامانه‌های موشکی برد کوتاه (مانند تور ام ۱، راپیر)، سیستم‌های توپخانه ضد هوایی (مانند اورلیکن و اسکایگارد)، سیستم‌های لیزری و مایکروویو، دفاع نقطه‌ای از تأسیسات حیاتی.

دفاع در برابر تهدیدات کوچک (Counter-Small UAS): سیستم‌های جنگ الکترونیک، سیستم‌های شبکه و پهپادهای رهگیرکننده، سلاح‌های انرژی محور.

یکپارچگی لایه‌ها: یکپارچگی مؤثر لایه‌های مختلف دفاعی نیازمند یک سیستم فرماندهی و کنترل مرکزی است که اطلاعات از تمام حسگرها و سامانه‌ها را جمع‌آوری و ادغام کند، تصویر عملیاتی واحد ایجاد کند، اهداف را اولویت‌بندی و به مناسب‌ترین سامانه دفاعی تخصیص دهد، هماهنگی بین سامانه‌های مختلف را تضمین کند، و از تداخل و برخورد دوستانه جلوگیری کند. (Babich & Jeromenko, ۲۰۲۴)

1 Layered Defense

نیاز به اتوماسیون و تیم‌بندی انسان- ماشین:

الف- ضرورت اتوماسیون: با توجه به سرعت، تعداد و پیچیدگی تهدیدات نوظهور، تصمیم‌گیری انسانی محض دیگر کافی نیست اتوماسیون در سطوح مختلف فرماندهی و کنترل ضروری است:^۱

ب- اتوماسیون در سطح حسگر: شناسایی و طبقه‌بندی خودکار اهداف، ردیابی خودکار و پیش‌بینی مسیر، تشخیص خودکار دوست- دشمن.

ج- اتوماسیون در سطح تصمیم‌گیری: ارزیابی خودکار تهدید، اولویت‌بندی خودکار اهداف، پیشنهاد خودکار راهبردهای مقابله.

د- اتوماسیون در سطح اجرا: تخصیص خودکار سامانه‌های دفاعی، هماهنگی خودکار آتش، ارزیابی خودکار نتایج.

و) تیم‌بندی انسان- خودکار^۲: با وجود نیاز به اتوماسیون، نقش انسان در فرماندهی و کنترل همچنان حیاتی است. رویکرد تیم‌بندی انسان- خودکار به دنبال ترکیب بهینه توانایی‌های انسان و ماشین است.

مزایای تیم‌بندی انسان- خودکار: سیستم^۳ VHAT برای عملیات فرماندهی و کنترل ضروری می‌باشد. که شامل شناسایی، ردیابی و پیش‌بینی مسیر خودکار اهداف، پشتیبانی تصمیم با هوش مصنوعی، قابلیت بازرسی^۴ تصمیمات هوش مصنوعی، مدل‌های یادگیری ماشین مقیاس‌پذیر، قابلیت‌های آموزش پیشرفته، مدل‌های هوش مصنوعی سفارشی‌شده برای دفاع هوایی، پردازش توزیع‌شده داده، اعتماد و شفافیت است. (Sghaier, ۲۰۲۴) & Hadzagic

پن و همکاران تأکید می‌کنند که برای پذیرش تیم‌بندی انسان- خودکار، اپراتورها باید به تصمیمات هوش مصنوعی اعتماد داشته باشند. این امر نیازمند شفافیت در فرآیند تصمیم‌گیری هوش مصنوعی، قابلیت بازرسی و ردیابی تصمیمات، آموزش مناسب اپراتورها

1 Government Accountability Office, 2022, Missile Defense: Better Oversight And Coordination Needed for Counter Hypersonic Development.

2 HAT: Human-Autonomy Teaming

3 VHAT: Verifiable Human Autonomy Teaming

4 Auditability

برای درک محدودیت‌های سیستم، طراحی رابط کاربری مناسب است. (Pan & Xun)

سطوح اتوماسیون: سیستم‌های تیم‌بندی انسان-خودکار می‌توانند در سطوح مختلف اتوماسیون عمل کنند:

سطح ۱ (اطلاع‌رسانی): سیستم اطلاعات را به اپراتور ارائه می‌دهد.

سطح ۲ (پیشنهاد): سیستم گزینه‌ها را پیشنهاد می‌دهد.

سطح ۳ (تأیید): سیستم تصمیم می‌گیرد اما نیاز به تأیید انسان دارد.

سطح ۴ (نظارت): سیستم به‌طور خودکار عمل می‌کند و انسان نظارت می‌کند.

سطح ۵ (کاملاً خودکار): سیستم به‌طور کامل خودمختار عمل می‌کند.

دیویدسون پیشنهاد می‌کند که در سیستم‌های فرماندهی و کنترل برای مقابله با تهدیدات پهنپادی، تصمیم‌گیری خودکار با هوش مصنوعی و یادگیری ماشین انجام شود، اما تأیید نهایی قبل از فعال‌سازی خنثی‌سازی تهدید توسط انسان صورت گیرد.^۱ (Davidson, ۲۰۲۴)

مفهوم جنگ شبکه محور

جنگ شبکه‌محور یک مفهوم عملیاتی است که بر یکپارچگی شبکه‌ای تمام عناصر نظامی (حسگرها، تصمیم‌گیرندگان، سلاح‌ها) تأکید دارد. هدف جنگ شبکه محور، ایجاد مزیت اطلاعاتی از طریق:

تبادل اطلاعات زمان‌واقعی، آگاهی وضعیت مشترک^۲، تصمیم‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تر، هماهنگی بهتر بین واحدها.

مزایای جنگ شبکه محور در دفاع هوایی:

ویجایا مزایای زیر را برای پیاده‌سازی جنگ شبکه محور در سیستم‌های دفاع هوایی یکپارچه برشمرده است:

الف) بهبود آگاهی وضعیت: دسترسی زمان‌واقعی به اطلاعات از رادارها، حسگرها و سامانه‌های سلاح، تصویر عملیاتی واحد برای تمام سطوح فرماندهی، کاهش مه جنگ.^۳

1 Human-in-the-Loop.

2 Shared Situational Awareness

3 Fog of War

تصمیم‌گیری سریع‌تر: کاهش زمان چرخه اودا^۱، تسهیل تصمیم‌گیری توزیع‌شده، امکان پاسخ سریع به تهدیدات نوظهور.

هماهنگی بهتر: هماهنگی بین سامانه‌های مختلف دفاع هوایی، یکپارچگی با سایر نیروها (زمینی، دریایی، هوایی)، هماهنگی با نیروهای متحدین.

د) بهینه‌سازی منابع: تخصیص بهینه سامانه‌های دفاعی به اهداف، جلوگیری از تداخل و اتلاف منابع، افزایش اثربخشی کلی سیستم.

چالش‌های پیاده‌سازی جنگ شبکه محور: ویجایا چالش‌های زیر را برای پیاده‌سازی جنگ شبکه محور در کشورهای در حال توسعه مطرح می‌کند:

الف) تنوع تجهیزات: اتکا به تجهیزات نظامی خارجی متنوع با استانداردهای ارتباطی مختلف، مشکلات بین‌عمل‌پذیری بین سیستم‌های مختلف، نیاز به توسعه رابط‌های استاندارد.

ب) آسیب‌پذیری سایبری: افزایش سطح حمله^۲ با اتصال شبکه‌ای، نیاز به امنیت سایبری قوی، خطر نفوذ و دستکاری اطلاعات.

ج) محدودیت منابع انسانی: کمبود پرسنل ماهر در فناوری ارتباطات نظامی، نیاز به آموزش گسترده، چالش حفظ و نگهداری سیستم‌های پیچیده.

د) زیرساخت ارتباطی: نیاز به مدرن‌سازی زیرساخت‌های ارتباطی، تضمین پهنای باند کافی برای انتقال داده‌های زمان‌واقعی، قابلیت اطمینان و افزونگی شبکه. (Wijaya, ۲۰۲۴)

چرا تهدیدات نوظهور نیازمند الگوهای جدید هستند؟
تهدیدات هوایی نوظهور ویژگی‌هایی دارند که الگوهای سنتی فرماندهی و کنترل را به چالش می‌کشند که می‌توان آنها را به شرح ذیل برشمرد.

سرعت و چابکی: سلاح‌های هایپرسونیک با سرعت‌های بیش از ۵ ماخ حرکت می‌کنند و زمان تصمیم‌گیری را از دقایق به ثانیه کاهش می‌دهند. این امر نیازمند خودکارسازی گسترده فرآیندهای تحلیل، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری است. (Yunda & Mizin, ۲۰۲۴)

1 OODA: Observe, Orient, Decide, Act

2 Attack Surface

تعداد و پیچیدگی: گله‌های پهپادی^۱ می‌توانند شامل ده‌ها یا صدها پهپاد کوچک باشند که به‌صورت هماهنگ عمل می‌کنند. سیستم‌های فرماندهی و کنترل باید قادر به پردازش هم‌زمان اطلاعات مربوط به اهداف متعدد و تخصیص بهینه منابع دفاعی باشند.

تنوع و ترکیب: تهدیدات مدرن اغلب ترکیبی از حملات فیزیکی، الکترونیکی و سایبری هستند که در چندین حوزه (زمین، دریا، هوا، فضا، سایبر) به‌صورت هم‌زمان اجرا می‌شوند. این امر نیازمند معماری فرماندهی و کنترل چندحوزه‌ای است.

دسترسی و هزینه پایین: پهپادهای تجاری ارزان‌قیمت به تهدیدات قابل‌دسترسی برای بازیگران غیردولتی و گروه‌های شبه‌نظامی تبدیل شده‌اند. این امر طیف تهدیدات را گسترش داده و نیازمند الگوهای فرماندهی و کنترل انعطاف‌پذیر برای مقابله با تهدیدات متنوع است.

مهم‌ترین ویژگی‌های مورد نیاز فرماندهی و کنترل در جنگ‌های آینده:

– شبکه‌محور و یکپارچه^۲

- اتصال لحظه‌ای و ایمن بین همه سطوح فرماندهی، یگان‌ها و تجهیزات.
- قابلیت تعامل با دیگر سامانه‌ها^۳ حتی در سطح بین‌المللی.
- هوشمندسازی و استفاده از هوش مصنوعی.^۴
- تحلیل داده‌های عظیم^۵ و پشتیبانی از تصمیم‌گیری.
- پیش‌بینی رفتار دشمن، تشخیص تهدیدات و پیشنهاد گزینه‌های عملیاتی.
- تحرک‌پذیر، چابک و ماژولار^۶
- قابلیت استقرار سریع در مناطق مختلف
- انعطاف‌پذیری در برابر تغییر شرایط و تهدیدات پویا
- امنیت سایبری و مقاومت در برابر جنگ الکترونیک:
- سیستم‌های رمزگذاری پیشرفته و تشخیص نفوذ
- پایداری در محیط‌های با اختلال در ارتباطات و حملات الکترونیکی

1 UAV Swarms

2 Network-Centric & Integrated

3 Interoperability

4 AI-Driven

5 Big Data

6 Agile & Modular

- بلادرنگ بودن^۱
- انتقال و تحلیل سریع داده‌ها برای واکنش فوری و کاهش زمان (تصمیم تا اقدام^۲)
- تعامل انسان و ماشین^۳
- رابط‌های کاربری پیشرفته برای فرماندهان
- همکاری انسان و سامانه‌های خودکار (مثل پهپادها و ربات‌ها) در تصمیم‌گیری
- بهره‌گیری از فناوری‌های نوظهور:
- هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، واقعیت افزوده (AR/VR)، اینترنت اشیاء
- نظامی^۴ و فناوری‌های کوانتوم
- استفاده از فناوری‌های ماهواره‌ای و فضای سایبری
- آگاهی موقعیتی فراگیر^۵
- ادغام اطلاعات از رادار، حسگرها، ماهواره‌ها و نیروهای میدانی
- سیستم‌های شبکه‌ای و یکپارچه
- یکپارچگی بین نیروها: آینده دفاع هوایی به سمت ایجاد شبکه‌های یکپارچه خواهد رفت که شامل سیستم‌های اطلاعاتی از جمله رادارها، هواپیماهای جنگی، موشک‌ها و سامانه‌های دفاع هوایی است. این یکپارچگی باعث می‌شود که فرماندهان بتوانند تمامی تهدیدات را از چندین منبع به‌صورت هم‌زمان رصد کنند.
- عملیات چندحوزه^۶ دفاع هوایی در آینده به گونه‌ای طراحی می‌شود که با دیگر بخش‌های نیروهای مسلح (هوایی، دریایی، زمینی، فضایی و سایبری) هماهنگ باشد و تهدیدات در تمامی حوزه‌ها^۷ مدیریت شود.
- استفاده از هوش مصنوعی و اتوماسیون: تصمیم‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تر: با استفاده از هوش مصنوعی، فرماندهی و کنترل قادر خواهد بود تهدیدات را شناسایی کرده و بر اساس تحلیل‌های دقیق، تصمیمات فوری و بهینه اتخاذ کند.

¹ Real-Time Processing

² Decision-to-Action Time

³ Human-Machine Teaming

⁴ IOMT: Internet Of Military Things

⁵ Total Situational Awareness

⁶ Multi-Domain Operations

⁷ Air, Land, Sea, Space, Cyber

اتوماسیون در مدیریت منابع: سیستم‌های دفاع هوایی می‌توانند به‌طور خودکار منابعی مانند موشک‌ها، رادارها و جنگنده‌ها را بدون نیاز به مداخله انسانی در هر لحظه به بهترین شکل تخصیص دهند.

دفاع در برابر جنگ الکترونیک و تهدیدات سایبری: حفاظت از سیستم‌های ارتباطی: جنگ‌های آینده با تهدیدات سایبری و جنگ الکترونیک شدیدتری مواجه خواهند بود بنابراین، مدل‌های فرماندهی و کنترل باید مقاوم در برابر حملات سایبری و اقدامات جنگ الکترونیک مانند شبیه‌سازی سیگنال و اختلالات ارتباطی باشند.

پایداری ارتباطات: از آنجایی که حملات سایبری می‌توانند شبکه‌های ارتباطی را مختل کنند، استفاده از شبکه‌های رمزنگاری‌شده و مقاوم در برابر نفوذ ضروری خواهد بود.

پاسخگویی به تهدیدات سریع و تغییرپذیر:^۱

شناسایی تهدیدات جدید: با پیشرفت فناوری، تهدیدات هوایی جدیدی مانند پهپادها، موشک‌های کروز و جنگنده‌های سریع و بی‌صدا ظهور خواهند کرد. مدل فرماندهی و کنترل باید قادر به شناسایی سریع این تهدیدات و پاسخ‌دهی مؤثر به آن‌ها باشد. واکنش سریع: سیستم‌های دفاع هوایی در آینده باید قابلیت انجام واکنش‌های سریع و انعطاف‌پذیر داشته باشند، به‌ویژه در شرایطی که تهدیدات به سرعت در حال تغییر و تکامل باشند.

مدیریت منابع از راه دور و توزیع‌شده: در جنگ‌های آینده، ممکن است فرماندهان به دلایل مختلف (مثل خطرات حملات متقابل) از فاصله دور با نیروهای خود ارتباط برقرار کنند. این موضوع بر اهمیت استفاده از سیستم‌های ارتباطی پیشرفته و پلتفرم‌های ابری برای همکاری و مدیریت اطلاعات می‌افزاید.

استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند جی‌۵ و شبکه‌های خودمختار: سرعت بالا و تأخیر پایین شبکه‌هایی مانند جی‌۵ اجازه می‌دهند که اطلاعات به‌طور آنی و به‌طور گسترده منتقل شود.

کاربرد فناوری‌های جدید مانند واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR):

¹ Speed and Adaptability

تصویرسازی میدان نبرد: فرماندهان و نیروهای دفاع هوایی می‌توانند از فناوری‌های AR و VR برای نمایش تصاویر سه‌بعدی و دقیق از تهدیدات و وضعیت میدان نبرد استفاده کنند.

آموزش و شبیه‌سازی: استفاده از شبیه‌سازها برای آموزش پرسنل به آن‌ها کمک می‌کند تا در شرایط نزدیک به واقعیت تصمیم‌گیری کنند.

سیستم‌های اطلاعاتی مبتنی بر فضا و ابر:^۱

ماهواره‌ها و اطلاعات فضایی: استفاده از ماهواره‌ها برای شناسایی و ردیابی تهدیدات هوایی، به‌ویژه موشک‌های بالستیک، از ویژگی‌های مهم آینده دفاع هوایی خواهند بود. همچنین، سیستم‌های ابری به توزیع اطلاعات در سطح جهانی و بین نیروهای مختلف کمک می‌کنند.

اطلاعات فضایی: سیستم‌های دفاع هوایی نیاز به دسترسی به اطلاعات دقیق و لحظه‌ای از منابع فضایی دارند تا تهدیدات از فضا را شناسایی و با آنها مقابله کنند. فرماندهی و کنترل توزیع‌شده:^۲

فرماندهی و کنترل توزیع‌شده یعنی به‌جای اینکه همه تصمیم‌ها و مدیریت عملیات در یک مرکز فرماندهی واحد گرفته شود، شبکه‌ای از چندین مرکز کوچک و متصل به هم ایجاد شود که می‌توانند وظایف فرماندهی و کنترل را بین خود تقسیم کنند. به عبارت دیگر، فرماندهی و کنترل توزیع‌شده یعنی تبدیل یک مغز مرکزی به یک مغز جمعی، جایی که همه اجزا می‌توانند هم مستقل و هم هماهنگ عمل کنند. ویژگی‌های اصلی فرماندهی و کنترل توزیع‌شده:

شبکه‌ای بودن: همه مراکز فرماندهی از طریق ارتباطات امن (فیبر نوری، ماهواره، لینک داده تاکتیکی) به هم متصل هستند.

عدم تمرکز: هیچ مرکز فرماندهی واحدی به‌تنهایی کل سیستم را کنترل نمی‌کند؛ بلکه تصمیم‌ها بین چند نقطه پخش می‌شود.

انعطاف‌پذیری بالا: اگر یک مرکز فرماندهی منهدم یا مختل شود، مراکز دیگر بلافاصله کنترل را در دست می‌گیرند.

^۱ Cloud and Space-based Systems

^۲ Distributed Command and Control

سرعت واکنش بیشتر: تصمیم‌گیری‌ها نزدیک‌تر به صحنه نبرد گرفته می‌شود و نیاز به ارسال همه اطلاعات به یک مرکز اصلی از بین می‌رود. بقاپذیری بیشتر: سیستم فرماندهی و کنترل به‌صورت مجزا و در موقعیت‌های مختلف گسترش می‌یابد و دشمن نمی‌تواند با زدن یک هدف واحد، کل سیستم فرماندهی را فلج کند.

مزایا فرماندهی و کنترل توزیع‌شده پدافند هوایی: فرماندهی و کنترل توزیع شده در پدافند هوایی، امکان مدیریت چند جبهه هم‌زمان بدون ازدحام اطلاعات در یک نقطه را فراهم می‌نماید از این‌رو سامانه‌های راداری، موشکی و لیزری و سامانه‌های کشف و سلاح و فرماندهی و کنترل می‌توانند حتی بدون مرکز اصلی همچنان فعال بمانند و در رویارویی با پهنادهای انبوه یا موشک‌های هایپرسونیک که واکنش سریع لازم دارند، تاب‌آوری بیشتری داشته باشند و مراکز محلی می‌توانند به‌صورت خودکار تصمیم‌گیری کنند.

– سیستم متمرکز در مقابل سیستم توزیع‌شده:

درک تفاوت‌های بین سیستم‌های متمرکز و توزیع‌شده ضروری است. سیستم‌های متمرکز دارای یک نقطه کنترل مرکزی واحد، مانند یک هاب هستند که تمام فعالیت‌ها را کنترل می‌کند. از سوی دیگر، سیستم‌های توزیع‌شده مانند تیمی از افراد برابر هستند و هیچ نقطه کنترل واحدی ندارند. هر بخش از سیستم می‌تواند به‌طور مستقل عمل کند، اما آنها به‌طور یکپارچه با هم کار می‌کنند.

– ویژگی‌های سیستم‌های متمرکز:

نقطه کنترل واحد: در یک سیستم متمرکز، یک نقطه کنترل و اختیار واحد وجود دارد. این نهاد مرکزی معمولاً تمام تصمیمات را می‌گیرد و تمام منابع را مدیریت می‌کند. مدیریت متمرکز داده‌ها: تمام داده‌ها و منابع به‌صورت مرکزی ذخیره و مدیریت می‌شوند. این بدان معناست که تمام فعالیت‌های پردازش، ذخیره‌سازی و بازیابی داده‌ها در سیستم مرکزی انجام می‌شود.

ساختار سلسله مراتبی: سیستم‌های متمرکز اغلب دارای ساختار سلسله مراتبی هستند، به طوری که گره‌ها یا نهادهای سطح پایین‌تر به مرجع مرکزی گزارش می‌دهند و از او دستور می‌گیرند.

جریان ارتباطات: ارتباطات درون یک سیستم متمرکز معمولاً از گره‌ها یا موجودیت‌های جانبی به گره مرکزی جریان می‌یابد.

سادگی در مدیریت: سیستم‌های متمرکز از آنجا که تمام کنترل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها متمرکز هستند، مدیریت و اداره آنها نسبتاً ساده‌تر است. این امر می‌تواند منجر به هماهنگی کارآمد و عملیات ساده‌تر شود.

تفاوت‌های سیستم متمرکز و توزیع‌شده در زیر آمده است:

جدول شماره (۱): تفاوت سیستم متمرکز و توزیع‌شده

جنبه	سیستم متمرکز	سیستم توزیع‌شده
کنترل	کنترل و اختیار متمرکز	کنترل و اختیار غیرمتمرکز
مدیریت منابع	تمام منابع به صورت متمرکز مدیریت می‌شوند	منابع توزیع شده در چندین گره
جریان ارتباطات	ارتباطات به گره مرکزی	ارتباط مستقیم بین گره‌ها
تحمل خطا	نقطه شکست منفرد	افزونگی، آسیب‌پذیری کمتر در برابر نقاط شکست منفرد
مقیاس‌پذیری	مقیاس‌پذیری محدود به دلیل تمرکزگرایی	بسیار مقیاس‌پذیر، گره‌های جدید را می‌توان اضافه کرد
پیچیدگی	مدیریت نسبتاً ساده‌تر	مدیریت پیچیده‌تر

پیشینه‌های پژوهش:

هم‌زمان با توسعه فناوری‌های هوش مصنوعی، کلان‌داده، یادگیری ماشین و سامانه‌های خودکار، پژوهش‌های متعددی بر نقش فناوری‌های نوظهور در تحول فرماندهی و کنترل تأکید کرده‌اند. این مطالعات بیان می‌کنند که سامانه‌های هوشمند می‌توانند در فرآیند کشف، شناسایی، تحلیل و اولویت‌بندی تهدیدات نقش مؤثری ایفا کرده و زمان واکنش

عملیاتی را کاهش دهند. از سوی دیگر، گسترش تهدیدات هوایی نوین از جمله سامانه‌های بدون سرنشین، مهمات سرگردان، حملات اشباعی، جنگ الکترونیک و عملیات سایبری، موجب شده است که پژوهشگران بر ضرورت توسعه معماری‌های انعطاف‌پذیر، تاب‌آور و تطبیق‌پذیر در سامانه‌های فرماندهی و کنترل تأکید نمایند. با وجود تنوع مطالعات انجام‌شده، بررسی ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که اکثر تحقیقات بر ابعاد خاصی از فرماندهی و کنترل، فناوری‌های نوین یا تهدیدات آینده متمرکز بوده‌اند و کمتر پژوهشی به ارائه یک الگوی جامع فرماندهی و کنترل پدافند هوایی مبتنی بر تهدیدات هوایی نوین پرداخته است.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در حوزه فرماندهی و کنترل، پدافند هوایی، جنگ شبکه‌محور و مدیریت تهدیدات نوین در کشور انجام شده است. بخش عمده این مطالعات بر ارتقای کارآمدی سامانه‌های دفاعی، توسعه زیرساخت‌های اطلاعاتی و ارتباطی، افزایش هماهنگی میان واحدهای عملیاتی و بهبود فرآیند تصمیم‌گیری متمرکز بوده‌اند. بررسی مطالعات داخلی نشان می‌دهد که پژوهشگران بر اهمیت کیفیت اطلاعات، آموزش نیروی انسانی، توسعه زیرساخت‌های ارتباطی، ارتقای آگاهی موقعیتی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در افزایش اثربخشی سامانه‌های فرماندهی و کنترل تأکید داشته‌اند جمع‌بندی پیشینه پژوهش و تبیین شکاف پژوهشی بررسی مطالعات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که پژوهش‌های پیشین هر یک بخشی از ابعاد فرماندهی و کنترل پدافند هوایی را مورد توجه قرار داده‌اند. برخی بر توسعه فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی، برخی بر جنگ شبکه‌محور، برخی بر هوش مصنوعی و سامانه‌های هوشمند و برخی دیگر بر تهدیدات نوظهور تمرکز داشته‌اند. با این حال، چند خلأ اساسی در ادبیات پژوهش قابل مشاهده است: نبود یک الگوی جامع برای تبیین فرماندهی و کنترل پدافند هوایی در مواجهه با تهدیدات هوایی نوین؛ بررسی جداگانه عوامل فناورانه، انسانی، سازمانی و محیطی و فقدان نگاه یکپارچه؛ توجه محدود به تعامل میان تهدیدات هوایی نوین و تحول معماری فرماندهی و کنترل؛ فقدان چارچوبی که بتواند الزامات فرماندهی و کنترل هوشمند، شبکه‌محور و تطبیق‌پذیر را به‌صورت هم‌زمان تبیین نماید.

روش‌شناسی پژوهش:

تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر شیوه اجرا، از نوع پژوهش‌های آمیخته (کیفی-کمی) است. در مرحله کیفی، به‌منظور شناسایی ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بر فرماندهی و کنترل پدافند هوایی در مواجهه با تهدیدات هوایی نوین، از رویکرد نظریه داده‌بنیاد به روش اشتروس کوربین استفاده شد. در این مرحله، داده‌های مورد نیاز از طریق بررسی اسناد و منابع علمی و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با خبرگان حوزه فرماندهی و کنترل و پدافند هوایی گردآوری و طی مراحل کدگذاری باز، محوری و انتخابی تحلیل شدند. در نتیجه، تعداد ۵۲۷ کدباز، ۷۰ مفهوم و ۲۶ مقوله احصاء گردیدند که در مرحله کدگذاری محوری در شش محور شامل شرایط علی، شرایط زمینه‌ای، شرایط مداخله‌گر، پدیده محوری، راهبردها و پیامدها تبیین و در مرحله کدگذاری انتخابی مقوله اصلی و روابط آن با سایر محورها تبیین گردید.

در مرحله کمی، به‌منظور ارزیابی و اعتبارسنجی الگوی پیشنهادی، پرسشنامه با ۳ سوال شناختی و ۱۰۴ سوال تخصصی با طیف لیکرت ۵ گزینه‌ای مبتنی بر یافته‌های مرحله کیفی طراحی و در جامعه نمونه آماری (۱۰۸ نفر) پژوهش توزیع گردید. داده‌های گردآوری شده با استفاده از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

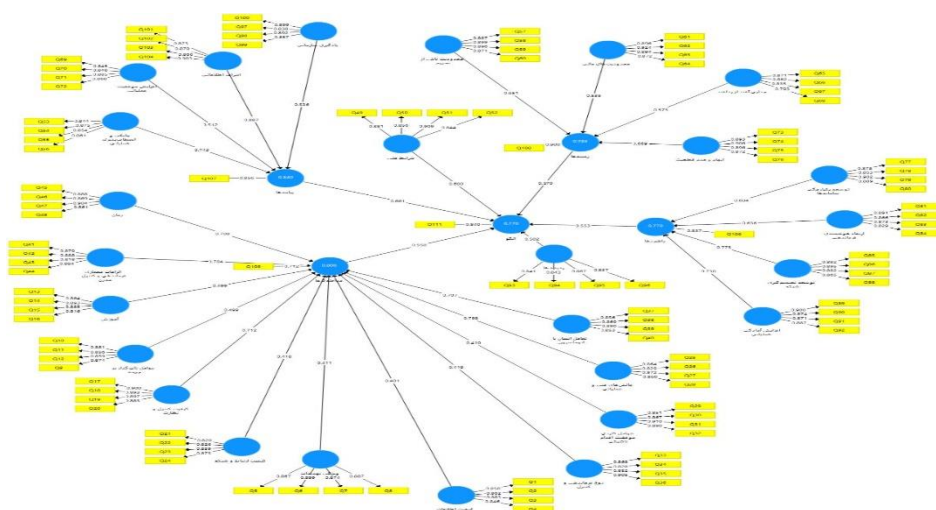
تجزیه و تحلیل داده‌ها:

نتایج تحلیل داده‌های کیفی نشان داد که فرماندهی و کنترل پدافند هوایی در مواجهه با تهدیدات هوایی نوین تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل فناورانه، انسانی، سازمانی و محیطی قرار دارد. بر اساس تحلیل انجام شده، مقوله محوری پژوهش «فرماندهی و کنترل پدافند هوایی مبتنی بر تهدیدات هوایی نوین» شناسایی شد. همچنین مهم‌ترین مقولات اصلی عبارت بودند از: شرایط علی تهدیدات هوایی نوین؛ تحول فناوری‌های نظامی؛ تغییر ماهیت محیط عملیاتی. شرایط زمینه‌ای محدودیت‌های مالی، عدم قطعیت در محیط نظامی، عدم وحدت در قدرت هوایی و محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها. شرایط مداخله‌گر کیفیت اطلاعات؛ کیفیت ارتباطات؛ آموزش؛ تعامل انسان و فناوری؛ الزامات معماری فرماندهی و کنترل نوین. عوامل کلیدی شامل موفقیت اقدام تاکتیکی، زمان، ویژگی تهدیدات نوین، نوع فرماندهی و کنترل، چالش‌های فنی و اجرایی. پیامدها شامل ایجاد اشراف اطلاعاتی، یادگیری سازمانی، افزایش موفقیت عملیات، چابکی و انعطاف‌پذیری عملیات و راهبردها

شامل توسعه یکپارچگی سامانه‌ها، ارتقاء هوشمندی فرماندهی، افزایش آمادگی عملیاتی شناسایی شدند.

یافته‌های بخش کیفی:

تحلیل بارهای عاملی استاندارد برابر نمودار زیر به دست آمد و در نهایت به مدل مفهومی زیر گردید.

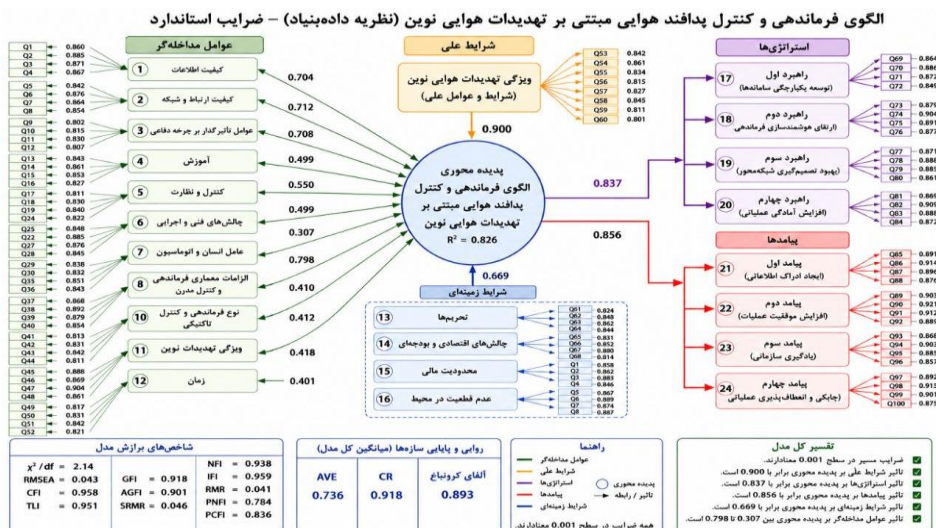


فرایند اعتبارسنجی کمی الگو:

پس از تدوین الگوی اولیه در مرحله کیفی، برای ارزیابی و اعتبارسنجی آن، پرسش‌نامه‌ای شامل سه سؤال شناختی و ۱۰۴ سؤال تخصصی با طیف لیکرت پنج‌گزینه‌ای طراحی شد. گویه‌های تخصصی از مفاهیم و مقوله‌های استخراج‌شده در مرحله کیفی مشتق شدند تا رابطه منطقی میان دو مرحله پژوهش حفظ شود.

در تحلیل کمی، پایایی درونی و روایی سازه بررسی شد و سپس شاخص‌های برازش مدل مورد ارزیابی قرار گرفتند. آلفای کرونباخ کل پرسشنامه ۰.۸۹۳، پایایی ترکیبی ۰.۹۱۸ و میانگین واریانس استخراج‌شده ۰.۷۳۶ گزارش شد. همچنین شاخص‌های $TLI=0.951$, $CFI=0.958$, $AGFI=0.901$, $GFI=0.918$, $CMIN/DF=0.836$, $SRMR=0.046$ و $RMSEA=0.043$ به دست آمدند. مجموعه این شاخص‌ها نشان

می‌دهد که مدل ارائه شده از پایایی و برازش مناسب برخوردار است. (شکل زیر)



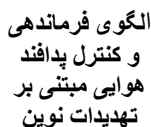
نتیجه‌گیری:

هدف اصلی این پژوهش ارائه الگوی فرماندهی و کنترل قرارگاه مشترک پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) کشور مبتنی بر تهدیدات هوایی نوین بود. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تحول سریع محیط امنیتی و نظامی، گسترش فناوری‌های نوظهور و ظهور تهدیدات هوایی پیچیده، ساختارهای سنتی فرماندهی و کنترل را با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. تغییر ماهیت تهدیدات، افزایش سرعت و پیچیدگی حملات، گسترش پهنادهای، جنگ الکترونیک، حملات سایبری و تهدیدات ترکیبی، مهم‌ترین عوامل علی مؤثر بر تحول فرماندهی و کنترل پدافند هوایی هستند. در چنین شرایطی، الگوی فرماندهی و کنترل باید از ساختارهای سلسله مراتبی سنتی به ساختارهای هوشمند، شبکه‌محور، توزیع‌شده و انعطاف‌پذیر تغییر یابد.

ساختار آموزشی، ساختار کنترلی، شبکه‌محوری، عوامل انسانی، عوامل سازمانی، عوامل محیطی و فرایندهای ارتباطی همچنین چالش‌های اجرایی، عملیاتی، فنی، حقوقی و هماهنگی سازمانی از جمله مهم‌ترین عوامل مداخله‌گر مؤثر بر اجرای الگوی مذکور محسوب شدند و محدودیت‌های ناشی از تحریم‌های غرب و بین‌المللی علیه کشور

جمهوری اسلامی، محدودیت‌های مالی، ساختار نامناسب قدرت هوایی ایران و ماهیت ابهام و عدم قطعیت در محیط نبرد از شرایط زمینه‌ای مهم در فرماندهی و کنترل است. بررسی راهبردهای استخراج‌شده نشان می‌دهد که توسعه فرماندهی و کنترل توزیع‌شده، فرماندهی و کنترل مشترک، معماری دفاع لایه‌ای، هماهنگی چندحوزه‌ای، ایجاد تصویر عملیاتی مشترک و یکپارچگی دفاع آفندی و پدافندی مهم‌ترین اقدامات لازم برای ارتقای اثربخشی پدافند هوایی در برابر تهدیدات نوین هستند که منجر به ایجاد اشراف اطلاعاتی، افزایش موفقیت عملیات، توسعه یادگیری سازمانی، ارتقای چابکی و انعطاف‌پذیری عملیاتی و افزایش پایداری عملیاتی خواهد شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آینده فرماندهی و کنترل پدافند هوایی کشور در گرو توسعه ساختارهای هوشمند، شبکه‌محور، داده‌محور و مبتنی بر فناوری‌های نوین است.

همچنین نتایج بخش کمی پژوهش نشان می‌دهد که مدل ارائه‌شده از اعتبار و پایایی مناسبی برخوردار است؛ به‌گونه‌ای که پایایی بارهای عاملی مقدار آلفای کرونباخ ۰.۸۹۳، پایایی ترکیبی ۰.۹۱۸ و میانگین واریانس استخراج‌شده ۰.۷۳۶ بوده و شاخص‌های برازش مدل در AMOS نیز در سطح قابل قبول ارزیابی شده‌اند. این موضوع بیانگر اعتبار علمی الگوی ارائه‌شده و قابلیت استفاده از آن در توسعه ساختار فرماندهی و کنترل پدافند هوایی کشور است.



پیشنهادهای:

– توسعه سامانه‌های دفاع هوایی هوشمند و خودمختار

با توجه به افزایش سرعت، پیچیدگی و حجم تهدیدات هوایی نوین، پیشنهاد می‌شود برنامه‌ریزی لازم برای توسعه سامانه‌های دفاع هوایی هوشمند و خودمختار در دستور کار نیروهای مسلح قرار گیرد. این سامانه‌ها با بهره‌گیری از هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و پردازش بلادرنگ داده‌ها قادر خواهند بود بخش قابل توجهی از فرآیند کشف، شناسایی،

طبقه‌بندی، اولویت‌بندی و مقابله با تهدیدات را به صورت خودکار انجام دهند و زمان واکنش عملیاتی را به حداقل برسانند.

– استقرار معماری فرماندهی و کنترل شبکه‌محور با معماری توزیع شده با توجه به ماهیت چندبعدی تهدیدات هوایی نوین، پیشنهاد می‌شود معماری فرماندهی و کنترل پدافند هوایی بر مبنای رویکرد شبکه‌محور توسعه یابد. در این معماری، تمامی حسگرها، سامانه‌های مراقبت، مراکز فرماندهی، سامانه‌های موشکی، جنگ الکترونیک و تجهیزات عملیاتی در قالب یک شبکه یکپارچه تبادل اطلاعات نموده و تصویر عملیاتی مشترک را برای تمامی سطوح فرماندهی فراهم می‌سازند.

توسعه همکاری انسان و سامانه‌های هوشمند پیشنهاد می‌شود الگوی «انسان در حلقه تصمیم‌گیری» به عنوان اصل راهبردی در طراحی سامانه‌های فرماندهی و کنترل آینده مورد توجه قرار گیرد. در این رویکرد، سامانه‌های هوشمند ضمن انجام تحلیل‌های پیچیده و ارائه گزینه‌های عملیاتی، تصمیم‌نهایی را در اختیار فرمانده انسانی قرار می‌دهند که این امر ضمن افزایش سرعت تصمیم‌گیری، کنترل انسانی بر عملیات را حفظ می‌نماید.

– ایجاد اکوسیستم دفاع هوایی مبتنی بر هوش مصنوعی پیشنهاد می‌شود یک اکوسیستم یکپارچه مبتنی بر هوش مصنوعی شامل حسگرهای هوشمند، سامانه‌های تحلیل داده، مراکز فرماندهی دیجیتال، تجهیزات خودمختار و سامانه‌های پشتیبان تصمیم ایجاد گردد تا امکان مقابله مؤثر با تهدیدات آینده از جمله پهپادهای هوشمند، حملات اشباعی، جنگ الکترونیک و عملیات ترکیبی فراهم شود.

– سرمایه‌گذاری در پژوهش و توسعه تجهیزات دفاعی نسل آینده ضروری است سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه طراحی و تولید تجهیزات دفاع هوایی خودمختار، سامانه‌های رهگیری هوشمند، رادارهای شناختی، سامانه‌های فرماندهی و کنترل مبتنی بر هوش مصنوعی و فناوری‌های تصمیم‌یار پیشرفته در اولویت برنامه‌های توسعه دفاعی کشور قرار گیرد.

– توسعه زیرساخت‌های شبکه‌محور و یکپارچه‌سازی سامانه‌های اطلاعاتی ایجاد شبکه‌های ارتباطی امن، پایدار و مقاوم در برابر جنگ الکترونیک و حملات سایبری، زمینه لازم برای تبادل سریع اطلاعات و تصمیم‌گیری مؤثر را فراهم می‌آورد.

– افزایش تاب‌آوری سامانه‌های فرماندهی و کنترل طراحی معماری‌های توزیع‌شده، پشتیبان و انعطاف‌پذیر به‌منظور تداوم عملکرد سامانه‌ها در شرایط بحران و حملات دشمن پیشنهاد می‌شود. نوآوری‌های پژوهش: پژوهش حاضر از ابعاد مختلف دارای نوآوری است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

نوآوری نظری: ارائه چارچوب یکپارچه فرماندهی و کنترل پدافند هوایی مفهومی پیوند تهدیدات هوایی نوین با تحول فرماندهی و کنترل مدیریتی تبیین نقش اطلاعات، ارتباطات و تعامل انسان-فناوری فناورانه حرکت به سمت معماری‌های هوشمند و شبکه‌محور. نوآوری مفهومی: تبیین فرماندهی و کنترل پدافند هوایی به عنوان یک سامانه تطبیق‌پذیر که در تعامل مستمر با محیط عملیاتی و تهدیدات نوظهور قرار دارد. نوآوری مدیریتی: ارائه راهکارهای عملی برای ارتقای کیفیت اطلاعات، توسعه ارتباطات، افزایش آگاهی موقعیتی و بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری در سامانه‌های فرماندهی و کنترل.

نوآوری فناورانه: تأکید بر توسعه معماری‌های شبکه‌محور، سامانه‌های هوشمند، فناوری‌های تصمیم‌یار و تعامل مؤثر انسان و سامانه‌های پیشرفته. نوآوری راهبردی: معرفی الگوی فرماندهی و کنترل تطبیق‌پذیر پدافند هوایی به عنوان چارچوبی برای مواجهه با تهدیدات هوایی نوین و محیط‌های عملیاتی آینده. **قدردانی:** از اساتید و همکاران گرامی و صاحب‌نظران و فرماندهان و کارکنان شبکه پدافند هوایی که من را در انجام این تحقیق یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

منابع:

منابع فارسی:

- بختیاری، ایرج، ۱۳۹۹، تحلیل محیطی آینده فرماندهی و کنترل در حوزه دفاع هوافضایی از منظر چالش‌ها و فرصت‌ها، فصلنامه علمی و پژوهشی فرماندهی و کنترل، ۴
- پوردستان، احمدرضا (۱۳۹۹)، رساله دکتری، تدوین دکترین صحنه جنگ ج.ا.ایران برای اداره جنگ احتمالی آینده، دانشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، دانشکده دفاع ملی، دانشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی.
- چشمانداز ۱۴۰۴، دانشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، دانشکده دفاع ملی.

- حاتمی، امیر (۱۳۹۹)، رساله دکتری، ارائه طرح راهبردی تسلیحات نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران در حوزه هوافضا و دریا مبتنی بر بازدارندگی، دانشکده دفاع ملی، دانشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی
- رضایی محسن، رشید غلامعلی، پوردستان احمدرضا، مؤلفه‌ها و ویژگی‌های فرماندهی و کنترل هوشمند در صحنه نبرد، ۱۳۹۹، فصلنامه علوم و فنون نظامی، سال شانزدهم، شماره ۵۴.
- ستاری‌خواه، علی و سیدرضا پردیس، "فرماندهی و کنترل ۱ (C4ISR)"، جلد یکم، انتشارات دانشگاه هوایی، ۱۳۹۹
- سلامی، حسین و نصرتی، علیرضا، (۱۳۹۲)، مدیریت راهبردی علائم کم‌سو در نبرد هوایی ناهم‌تراز، دانشگاه عالی دفاع ملی- دانشکده دفاع ملی، فصلنامه دفاع ملی، سال اول، شماره ۴۷
- فرمایشات مقام معظم رهبری و فرماندهی کل قوا امام خامنه‌ای (مدظله‌العالی) قابل دسترسی در www.khamenei.ir
- فهمیمی، مهدی و محمدرضا ولوی، "مروری بر ادبیات و معرفی طرح‌های مهم C4I"، انتشارات مؤسسه آموزشی تحقیقاتی صنایع دفاعی ۱۴۰۴
- گروه مؤلفین، "مدیریت صحنه نبرد"، گروه آموزش‌های تخصصی پدافند هوایی، انتشارات دافوس آجا، ۱۴۰۴
- مرکز آینده‌پژوهی علوم و فناوری دفاعی، (۱۴۰۲)، عملیات تأثیرمحور، رویکردها و ابعاد آن، مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، تهران.
- منابع انگلیسی:

- Babich, A. P. & Yeromenko, O. O. (2024). Architecture of the air defense system of troops and objects on the battlefield in the context of countering unmanned aerial vehicles. *Vyprobuvannya ta Sertyfikatsiya*, 2(4), 75–80. <https://DOI.org/10.37701/ts.04.2024.09>
- Congress Research Service (CRS), 2024, Hypersonic Missile Defense: Issues For Congress (Report No. If11623)
- Davidson, j, etal. (2024), unmanned systems study: command and control architecture for counter-UAS- operations. U.S. Department of defense-ALSSA technical study.
- Malinowski, P. (2020). Hypersonic Weapon as a New Challenge for the Anti-aircraft Defense Command and Control System. *Security and Defense*, 6(2), 89–90. <https://DOI.org/10.37105/SD.87>
- NATO Command and Control publications Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms

- Pan, J., Xun, C., & Xu, Y. (2024). Analysis of Command Efficiency for UAV Defense Swarm Based on Informationized Environment, 30–36. <https://DOI.org/10.1109/CIPAE64326.2024.00012>
- Semenenko, O., Koval, V., Vodchyts, O., & Dobrovolskyi, Y. (2024). A multi-domain operation – a modern view at the forms and methods of military operations adapting to the environment of challenges and threats transformation. *Military Security Journal*, 2(1), 17–34. <https://DOI.org/10.62524/msj.2024.2.1.02>
- Sghaier, M. O., Hadzagic, M., & Shahbazian, E. (2024). Verifiable Human Autonomy Teaming for NORAD C2 Operations. 2024 IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management (CogSIMA), 137–144. <https://DOI.org/10.1109/CogSIMA61085.2024.10553806>
- Sirohi, H. S., Khairnar, C. N., Kumar, P., & Kumar, A. (2024). A comprehensive review of modern counter-drone technologies: Trends, challenges, and future directions. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(5), 405–4418. <https://DOI.org/10.22214/ijraset.2024.62594>
- Sorochkin, O., Sosulin, M., & Matveev, Y. A. (2024). Prospects of military aviation through the integration of UAVs, AI and the latest technologies. *Communication, Informatization and Cybersecurity Systems and Technologies*, 1(6), 215–220. <https://DOI.org/10.58254/viti.6.2024.17.215>