

ISSN:2821-1588		https://www.jadm.khadu.ir	
	Journal of Air Defense Management Volume 4, Issue 15 Fall 2025 P.P. 77-102		
Research Paper			
Aerospace Defense Tactics for Laser Weapons Systems Usage Against UAV Threats			
Mohammad Sepehri ¹ , Ahmad Omrani ²			
1. Associate Prof., Faculty of Command and Control, Khatam al-Anbia University, Tehran, Iran. E-mail: Sepehri377@chmail.ir			
2. MSc, Center for Postgraduate Studies, Khatam al-Anbia University, Tehran, Iran. E-mail: A.omrani1364@gmail.com			
Article Information		Abstract	
Received: 2025/01/31	Background & Purpose: In recent years, the rapid advancements in military technologies have made the role of modern equipment in the conflict scene more prominent, and the diversity of threats has increased the necessity of utilizing a wide range of surface-to-air weapons, especially in the field of air defense. One of the newest defense technologies that has attracted the attention of military commanders is the use of lasers as directed energy weapons to counter and destroy unmanned aircraft. Accordingly, the use of laser weapons systems as defensive weapons requires careful examination based on the four principles of mass (concentration), combination, integration, and mobility, which are discussed. Methodology: This research is applied in terms of purpose and descriptive-survey with a mixed approach in terms of method. Data collection tools include document review, interviews, and questionnaires. The statistical population in the interview section includes 14 experts and elites in the relevant field who have been selected purposefully. The qualitative data were analyzed using content analysis. In addition, in the quantitative section, 50 experts from the Air Defense Force of the Army of the Islamic Republic of Iran and the Khatam al-Anbiya Air Defense Headquarters were randomly selected and studied. The quantitative data were collected through a questionnaire and analyzed using SPSS software, applying the Kolmogorov–Smirnov test and the one-sample t-test. Findings: The results of the qualitative analysis indicated the identification of 28 indicators grouped into four categories. Ten indicators were extracted for the principle of mass, four indicators for the principle of integration, seven indicators for the principle of combination, and seven indicators for the principle of mobility. According to the results of the t-test, all identified indicators were confirmed. Conclusion: The strategies for using laser weapons systems to counter drone threats in air defense were identified and prioritized based on the analysis of documents, evidence, and interviews with experts within the framework of the four principles of mass, combination, integration, and mobility which can be considered a valid basis for decision-making and enhancing the effectiveness of laser systems in the field of air defense.		
Accepted: 2025/08/30			
Keywords:			
Aerospace Defense, Laser Weapon System, UAV, Air Defense.			
Corresponding Author: Mohammad Sepehri			
Email: Sepehri377@ chmail.ir			
Citation: Sepehri, Mohammad and Omrani, Ahmad.(2025). Aerospace Defense Tactics for Laser Weapons Systems Usage Against UAV Threats. <i>Journal of Air Defense Management</i> , 4(15), 77-102.			

ISSN:2821-1588		https://www.jadm.khadu.ir	
	فصلنامه علمی مدیریت دفاع هوایی دوره ۴، شماره ۱۵ پاییز ۱۴۰۴ صص ۷۷-۱۰۲		
مقاله پژوهشی			
راه کنش‌های به کارگیری سامانه سلاح‌های لیزری در برابر تهدیدهای پهپادی محمد سپهری^۱، احمد عمرانی^۲ ۱. دانشیار، دانشکده فرماندهی و کنترل، دانشگاه خاتم‌الانبیاء، تهران، ایران. رایانامه: Sepehri377@chmail.ir ۲. کارشناسی ارشد، مرکز تحصیلات تکمیلی، دانشگاه خاتم‌الانبیاء، تهران، ایران. رایانامه: A.omrani1364@gmail.com			
چکیده		اطلاعات مقاله	
زمینه و هدف: در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های شتابان فناوری‌های نظامی، نقش تجهیزات نوین را در صحنه منازعات پررنگ‌تر ساخته و تنوع تهدیدها، ضرورت بهره‌گیری از طیفی گسترده از جنگ‌افزارهای زمین‌به‌هوا را به‌ویژه در حوزه پدافند هوایی افزایش داده است. یکی از جدیدترین فناوری‌های دفاعی که توجه فرماندهان نظامی را به خود جلب کرده، استفاده از لیزر به‌عنوان سلاح انرژی هدایت‌شده برای مقابله و انهدام هواپیماهای بدون سرنشین است. بر این اساس، به کارگیری سامانه سلاح‌های لیزری به‌عنوان جنگ‌افزاری پدافندی، نیازمند بررسی دقیق بر اساس چهار اصل توده (تمرکز)، ترکیب، تلفیق و تحرک است که به آن پرداخته می‌شود. روش‌شناسی: این پژوهش از لحاظ هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-پیمایشی با رویکردی آمیخته است. ابزارهای گردآوری داده‌ها شامل بررسی اسناد و مدارک، مصاحبه و پرسش‌نامه می‌باشد. جامعه آماری در بخش مصاحبه شامل ۱۴ نفر از صاحب‌نظران و نخبگان حوزه مربوطه است که به‌صورت هدفمند انتخاب شده‌اند. داده‌های بخش کیفی از طریق تحلیل محتوا تحلیل گردید. همچنین در بخش کمی، ۵۰ نفر از خبرگان نیروی پدافند هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران و قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) به‌صورت تصادفی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. داده‌های بخش کمی از طریق پرسش‌نامه گردآوری و با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و تی تک نمونه ای تحلیل گردید. یافته‌ها: نتایج تحلیل کیفی حاکی از شناسایی ۲۸ شاخص در قالب ۴ دسته بود. ۱۰ شاخص برای تحقق اصل توده، ۴ شاخص برای اصل تلفیق، ۷ شاخص برای اصل ترکیب و ۷ شاخص برای اصل تحرک استخراج شد. طبق نتایج آزمون تی نیز تمامی شاخص‌های شناسایی شده مورد تأیید قرار گرفت. نتیجه‌گیری: راه‌کنش‌های به کارگیری سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپادی در پدافند هوایی، بر مبنای تحلیل اسناد، مدارک و مصاحبه با صاحب‌نظران، در چارچوب چهار اصل توده، ترکیب، تلفیق و تحرک شناسایی و اولویت‌بندی گردید که می‌تواند مبنایی معتبر برای تصمیم‌سازی و تقویت کارآمدی سامانه‌های لیزری در حوزه پدافند هوایی به شمار آید.		تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰	
		کلیدواژه‌ها:	
		دفاع هوافضایی، سامانه سلاح لیزری، پهپاد، پدافند هوایی.	
		نویسنده مسئول: محمد سپهری	
ایمیل: Sepehri377@chmail.ir			
استناد: سپهری، محمد و عمرانی، احمد. (۱۴۰۴). راه‌کنش‌های به کارگیری سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپادها در پدافند هوایی. فصلنامه مدیریت دفاع هوایی، ۴(۱۵)، ۷۷-۱۰۲.			

مقدمه

مقام معظم رهبری (مدظله‌العالی) همواره بر تقویت بنیه دفاعی کشور تأکید داشته و استقلال، قطع وابستگی و توجه به راهبردها و سیاست‌های دفاعی را از اولویت‌های اساسی نظام دانسته‌اند. در دوران کنونی، این تأکیدات با گسترش علوم و فناوری‌های نوین در حوزه ساخت تجهیزات و تسلیحات آفندی، اهمیتی دوچندان یافته است. جنگنده‌های پیشرفته سرنشین‌دار و بدون سرنشین با قابلیت‌های متنوع، موشک‌های کروز، بالستیک و قاره‌پیما، سامانه‌های کشف و شناسایی، موقعیت‌یاب، مسافت‌یاب و جنگ الکترونیک و بسیاری تجهیزات دیگر، طیفی گسترده از تهدیدات نوظهور را ایجاد کرده‌اند. مقابله مؤثر با این تهدیدات مستلزم بسیج تمامی ظرفیت‌ها، بهره‌گیری از علوم و فنون مختلف و تلفیق آن‌ها با سامانه‌ها و تجهیزات دفاعی در نیروی پدافند هوایی است؛ چرا که غفلت از هر یک از این عوامل می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری به همراه داشته باشد. ایجاد توازن یا برتری پدافند هوایی کشور در برابر تهدیدات هوایی، یکی از اساسی‌ترین اقدامات در تحقق مأموریت دفاع از هوا و فضای کشور به شمار می‌رود.

یکی از جدیدترین فناوری‌های دفاعی در حوزه پدافند هوایی که اخیراً مورد توجه کارشناسان و فرماندهان نظامی قرار گرفته است، به‌کارگیری لیزر به‌عنوان «سلاح انرژی هدایت‌شده» برای انهدام پهپادها است. پهپادها به دلیل کاربردهای وسیع، هزینه پایین، ابعاد کوچک‌تر نسبت به جنگنده‌ها و مداومت پروازی بالا، نقش تعیین‌کننده‌ای در نبردهای معاصر ایفا می‌کنند. کشف این پرنده‌ها به دلیل سطح مقطع راداری کم و فناوری‌های پیشرفته در طراحی آنها دشوار است و حتی در صورت کشف، انهدام آن‌ها با چالش‌هایی همراه است. از این‌رو، سامانه‌های لیزری به دلیل هزینه پایین هر شلیک، قدرت تخریب بالا، سرعت و دقت زیاد و قابلیت انتشار پیوسته یا پالسی، قادرند از طریق تخریب بدنه پهپاد یا ایجاد اختلال در تجهیزات اپتیکی آن، نقش مؤثری در مقابله با این تهدیدات ایفا کنند. بنابراین، به‌کارگیری این سامانه‌ها به‌عنوان جنگ‌افزاری پدافندی، می‌تواند کارآمدی قابل توجهی در مقابله با تهدیدات ناشی از پهپادها داشته باشد.

بدون تردید، به‌کارگیری سامانه‌های سلاح لیزری در پدافند هوایی و دفاع هوافضایی مستلزم بررسی جامع ابعاد مختلف از جمله تأمین و ساماندهی نیروی انسانی متخصص، رعایت اصول به‌کارگیری جنگ‌افزار (توده/تمرکز، ترکیب، تلفیق و تحرک)، تدوین قوانین و دستورالعمل‌های دقیق و به‌روز و سایر الزامات سازمانی و عملیاتی است. دستیابی به کارکرد واقعی این سامانه‌ها منوط به بهره‌گیری صحیح از ظرفیت‌های آن‌ها در راستای مأموریت‌های

دفاع هوافضایی به‌طور عام و مقابله با پهپادها به‌طور خاص است.

بررسی‌های انجام‌شده توسط پژوهشگران نشان می‌دهد تاکنون پژوهش جامعی درباره چگونگی به‌کارگیری سامانه‌های سلاح لیزری در مقابله با تهدیدات پهپادی در نیروی پدافند هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران صورت نگرفته است. از این‌رو، مسئله اصلی این تحقیق، طراحی راه‌کنش‌های به‌کارگیری سامانه‌های سلاح لیزری دفاع هوافضایی مبتنی بر اصول توده (تمرکز)، ترکیب، تلفیق و تحرک برای مقابله با تهدیدهای پهپادها است.

هدف اصلی این پژوهش، بررسی راه‌کنش‌های دفاع هوافضایی در به‌کارگیری سامانه‌های سلاح لیزری برای مقابله با تهدیدهای پهپادی است. در راستای تحقق این هدف، مطالعه حاضر به چگونگی تمرکز و توده‌سازی سامانه‌های سلاح لیزری، نحوه یکپارچه‌سازی و تلفیق این سامانه‌ها با اجزای دفاع هوافضایی، و همچنین ارتقای میزان تحرک آن‌ها در مواجهه با تهدیدهای ناشی از پهپادها می‌پردازد. این مجموعه عوامل در کنار یکدیگر، ابعاد مختلف راه‌کنش‌های مؤثر برای استفاده کارآمد از سامانه‌های لیزری در دفاع هوافضایی را تشکیل می‌دهند.

پیشینه پژوهش

لیزر^۱، مخفف «تقویت نور به روش گسیل القایی تابش»، منبعی برای تولید نور تقریباً تک‌رنگ با تابش منسجم و الکترومغناطیسی است که به‌صورت یک پرتو متمرکز منتشر می‌شود (پرم، مارسنیاک و گودا، ۲۰۰۴: ۳). این پرتو معمولاً به‌عنوان یک ابزار مرگبار و بسیار قدرتمند شناخته می‌شود؛ به‌گونه‌ای که می‌تواند از شکل یک سلاح دستی برای سوزاندن سربازان تا تخریب سازه‌ها و نابودی اهداف زرهی مورد استفاده قرار گیرد. در واقع، لیزر قابلیت آن را دارد که به ابزاری کارآمد در کاربردهای مختلف نظامی تبدیل شده و نقش یک سلاح کشنده را ایفا کند (ظهوری، ۲۰۱۶: ۱). در این میان، تهدید هوایی به هر گونه عملیات هوایی دشمن اطلاق می‌شود که وضعیت پدافندی کشور هدف را به مخاطره اندازد (موحدی‌نیا، ۱۳۸۳: ۱۲). برای مقابله با این تهدیدها، دفاع هوافضایی به‌عنوان مجموعه‌ای از اقدامات پدافندی در جهت خنثی‌سازی هواگردها، موشک‌های مهاجم و نیز جلوگیری از فعالیت‌های فضایی دشمن تعریف می‌شود (واژه‌های مصوب فرهنگستان، ۱۳۸۸). در این چارچوب، سامانه فرماندهی و کنترل نقش محوری دارد و به مجموعه‌ای از عناصر فرماندهی،

^۱. Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

کنترل، مراقبت و شناسایی اطلاق می‌شود که از طریق شبکه‌های رایانه‌ای و مخابراتی، اطلاعات لازم را برای تصمیم‌گیری و ایجاد توانمندی در صحنه عملیات فراهم می‌سازد. این سامانه با گردآوری، پردازش اطلاعات و برقراری ارتباطات، فرمانده را در طرح‌ریزی، هدایت، هماهنگی و کنترل نیروها جهت اجرای مأموریت یاری می‌کند (چمنی و مبشری نیک، ۱۳۹۶: ۳).

اصول به‌کارگیری جنگ‌افزار پدافند هوایی؛ تجهیزات پدافند هوایی از نظر نوع و تعداد معمولاً محدود است؛ از این رو به‌ندرت می‌توان فرماندهی را یافت که تمامی جنگ‌افزارهای موردنیاز برای اجرای کامل مأموریت خود را در اختیار داشته باشد. بنابراین، فرمانده ناگزیر است از امکانات موجود بیشترین بهره را ببرد. برای تحقق این امر، فرمانده پدافند زمین به‌هوا باید اصول اساسی به‌کارگیری پدافند هوایی را به‌طور عمیق درک کرده و بر آن اساس، راه‌کنش‌ها و فنون رزمی را به‌گونه‌ای طراحی کند که بهره‌وری سازمان و توان رزمی سامانه‌ها به بالاترین سطح ممکن برسد.

طرح‌ریزی پدافند هوایی هم در دوره پیش از جنگ و هم پس از آغاز نبرد انجام می‌گیرد. طرح‌ریزی اولیه معمولاً بسیار دقیق و جامع است، اما در شرایط جنگ، این فرایند باید با سرعت بالا صورت پذیرد. فرماندهان و افسران عملیات باید بتوانند منطقه عمل تاکتیکی را به‌سرعت ارزیابی، اندازه‌گیری و تحلیل کرده و یگان‌های پدافندی را در زمان و مکان مناسب برای اجرای کامل مأموریت مستقر سازند. در فضای پویای میدان نبرد پیشرفته، طرح‌ریزی پدافند هوایی امری حیاتی و مستمر است (قنوات، ۱۳۸۷: ۱).

از مهم‌ترین ویژگی‌های یک سامانه پدافند هوایی می‌توان به متحرک بودن، توانایی پوشش ۳۶۰ درجه در برابر موشک‌های بالستیک، موشک‌های کروز، پهپادها، هواپیماها و راکت‌های سنگین، قابلیت درگیری هم‌زمان با اهداف متعدد، امکان یکپارچه‌سازی سامانه‌های مختلف و توان دفاع همه‌جانبه در برابر تهدیدهای متغیر و پیش‌رونده اشاره کرد (غفاری، ۱۴۰۰: ۱۶۹). در مجموع، اصول به‌کارگیری جنگ‌افزارهای پدافند هوایی شامل اصول اساسی، رهنمودهای به‌کارگیری و قواعد درگیری یگان‌ها و سامانه‌های پدافندی است.

توده^۱ جنگ‌افزارها؛ توده‌سازی جنگ‌افزار به معنای تخصیص تعداد کافی سامانه‌های پدافند زمین به‌هوا برای ایجاد پوشش مطمئن دفاعی، بر اساس اولویت‌های تعیین‌شده برای نقاط مهم، حساس و حیاتی است. با تمرکز مناسب این جنگ‌افزارها در پیرامون چنین نقاطی

^۱. Mass

می‌توان این اصل را محقق ساخت. بسته به میزان اهمیت، وسعت و آسیب‌پذیری تأسیسات، می‌توان از تعداد لازم آتشبارهای پدافند زمین‌به‌هوا بهره گرفت.

دسته آتش سامانه‌های پدافند ارتفاع کم، معمولاً برای دفاع از یک هدف کوچک مناسب است؛ در واقع «دسته»، کوچک‌ترین یگانی است که می‌توان مسئولیت یک مأموریت تاکتیکی پدافند زمین‌به‌هوا را به آن واگذار کرد. در مقابل، حداقل یگانی که از جنگ‌افزارهای برد متوسط و بلند برای ایجاد پوشش پدافندی بر یک منطقه نسبتاً وسیع—نظیر شهرها، تأسیسات بندری، مجتمع‌های نظامی، صنعتی و اقتصادی، مناطق گسترش لشکرها و مراکز پشتیبانی و لجستیک در نواحی عملیاتی—به‌کار گرفته می‌شود، «گردان» است. همچنین لازم است تأکید شود که استفاده انفرادی و پراکنده از سامانه‌های پدافند ارتفاع کم به‌هیچ‌وجه جایز نیست. (خرازیان و محمدی، ۱۴۰۰: ۱۵۹)

این اصل در تمامی رده‌های سازمانی پدافند هوایی و برای همه سامانه‌های جنگ‌افزاری کاربرد دارد و مستلزم برقراری پشتیبانی متقابل، پوشش جانبی و ایجاد پدافند لایه‌لایه و عمقی است. هدف آن، تأمین حجم بهینه‌ای از جنگ‌افزارهای پدافندی برای مقابله مؤثر با هواگردهای دشمن و حفاظت از نقاط آسیب‌پذیر نیروهای پشتیبانی‌شونده است. حفظ توانمندی پایدار پدافند هوایی برای ایجاد آتش پرحجم علیه دشمن نیز نیازمند استقرار متراکم سامانه‌های پدافندی است. در نبود توده‌سازی، این خطر وجود دارد که به‌صورت متوالی یا هم‌زمان، هر دو منبع ارزشمند—یعنی سامانه‌های پدافند هوایی و دارایی‌های تحت پوشش—در برابر حملات پرتعداد دشمن از دست بروند. (قنوات، ۱۳۸۷: ۲)

در دفاع در عمق نیز ضروری است که هم‌زمان با پیشروی دشمن، امکان برپایی لایه‌های پدافندی مستحکم‌تر فراهم شود؛ به‌گونه‌ای که دشمن از نظر کمی و همچنین از نظر تنوع سامانه‌های پدافندی با لایه‌های بیشتر مواجه گردد. این امر، ضریب موفقیت دشمن را کاهش داده و متقابلاً احتمال موفقیت نیروهای خودی را افزایش خواهد داد. (اسماعیلی و همکاران، ۱۴۰۱: ۲۶)

ترکیب جنگ‌افزارها؛ با بهره‌گیری از انواع جنگ‌افزارهای پدافند زمین‌به‌هوا در دفاع از یک نقطه یا منطقه، می‌توان به اصل یادشده دست یافت. در چنین شرایطی، توانمندی یک سامانه می‌تواند محدودیت‌های سامانه دیگر را جبران کند و مانورهای دشمن برای از کار انداختن یک جنگ‌افزار ممکن است موجب شود هواپیما در برابر نوع دیگری از سامانه‌های

پدافندی آسیب‌پذیر گردد. (خرازیان و محمدی، ۱۴۰۰: ۱۵۹)

ترکیبی کارآمد و هماهنگ از سامانه‌های جنگ‌افزاری، در حقیقت تکمیل‌کننده اصل «توده» است. به‌کارگیری مجموعه‌ای متنوع از سامانه‌های جنگ‌افزاری با تراکم مناسب، پیچیدگی عملیات مهاجمان را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد؛ زیرا آنان ناگزیرند ویژگی‌های هر سامانه پدافندی را در طراحی و اجرای راهبرد آفندی خود در نظر گیرند. مهاجمان شاید بتوانند تاکتیک‌ها و فنون خود را برای کاهش اثر یک سامانه یا چند سامانه پدافندی بهینه سازند؛ اما هنگامی که با آرایش گسترده‌ای از جنگ‌افزارهای پدافندی روبه‌رو شوند، هزینه ورود به چنین منطقه‌ای به‌طور قابل‌توجهی افزایش خواهد یافت. از این‌رو، ترکیب سامانه‌های موشکی ارتفاع کم، متوسط و بالا، همراه با جنگ‌افزارهای توپخانه‌ای پدافند زمین‌به‌هوا با کنترل راداری، الکترومکانیکی و مکانیکی که از نظر ویژگی‌های فناوریانه و عملیاتی همچون برد و ارتفاع مؤثر متفاوت‌اند، کارآمدترین ساختار پدافند هوایی را برای تجهیزات دارای اولویت ایجاد می‌کند. (قنوات، ۱۳۸۷: ۲)

تحرك^۱ جنگ‌افزارها؛ به‌منظور تأمین پدافند زمین به هوا برای نیروهای مانورکننده و همچنین حفاظت از خود یگان‌های پدافند، این یگان‌ها باید از تحرکی مشابه با نیرویی که از آن پشتیبانی می‌کنند برخوردار باشند. یگان‌هایی که مأمور پدافند از تأسیسات ثابت هستند نیز باید قادر به جابه‌جایی و استفاده از مواضع جایگزین باشند و در صورتی که مأموریت پشتیبانی از یگان‌های مانورکننده یا تأسیسات حیاتی دیگر به آن‌ها واگذار شود، توانایی انجام این نوع مأموریت را نیز داشته باشند (خرازیان و محمدی، ۱۴۰۰: ۱۶۰). به‌کارگیری توده و ترکیب در فضای پویا و پیچیده میدان رزم، مستلزم تحرک مستمر سامانه‌های پدافندی است. جابه‌جایی مداوم این سامانه‌ها برای پدافند از عناصر مانوری، تطبیق با تغییرات مکرر در تقدم‌ها و مأموریت‌های پدافندی و افزایش قابلیت بقا و پایداری آن‌ها در نبردهای زمینی و هوایی، امری اجتناب‌ناپذیر است (قنوات، ۱۳۸۷: ۳).

یکپارچگی^۲ جنگ‌افزارها؛ جنگ‌افزارهای پدافند زمین به هوا، برای انجام مأموریت و حفظ برتری هوایی، باید در قالب طرح گسترش کلی منظور شوند و به‌صورت متمرکز و هماهنگ به کار گرفته شوند؛ از تهیه و اجرای هرگونه طرح جداگانه باید خودداری شود. در صورتی که این جنگ‌افزارها در خط مقدم جبهه به کار گرفته شوند، لازم است در طرح

^۱. Mobility

^۲. Integrity

تاکتیکی یگان مانورکننده منظور شده و به‌صورت یکپارچه با سایر سامانه‌های پدافندی عمل کنند. همچنین، در پدافند از تأسیسات ثابت در یک منطقه، به جای اینکه هر نیرو سامانه‌های خود را به‌طور مستقل مستقر و به‌کار گیرد، باید یک طرح جامع منطقه‌ای تدوین شود و تمامی جنگ‌افزارهای موجود در این طرح گنجانده و به‌کار گرفته شوند (خرازیان و محمدی، ۱۴۰۰: ۱۶۰).

سامانه‌های پدافند هوایی آجا علاوه بر داشتن ویژگی‌های توده، ترکیب و تحرک، به‌منظور پاسخ‌گویی به نیازهای فرماندهان مانورکننده و دستورات مسئولان رده‌بالای پدافند، باید در قالب یک سازمان منسجم و یکپارچه فعالیت کنند. ماهیت تهدیدات هوایی که نیازمند واکنش تقریباً فوری نیروهای پدافندی است، ضرورت برقراری پیوندی کارآمد و مؤثر در فرماندهی و کنترل و هماهنگی میان تمامی سطوح سازمانی پدافند هوایی و عناصر مانوری که از خدمات پدافندی بهره‌مند می‌شوند را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (قنوت، ۱۳۸۷: ۴).

پیشینه تجربی

ذوالفقاری و همکاران (۱۴۰۱) در مقاله‌ای با عنوان نوآوری در فناوری نظامی با تأکید بر تسلیحات لیزری آمریکا، ضمن تعریف مفهوم نوآوری، به اهمیت نوآوری نظامی در صنایع دفاعی پرداخته‌اند. آنان با تمرکز بر فناوری لیزر، به معرفی ماهیت لیزر، تشریح کاربردهای نظامی آن، و بیان توانایی‌ها و محدودیت‌های این نوع تسلیحات پرداخته و در نهایت راهکارهایی برای مقابله با این فناوری ارائه کرده‌اند. هدف نویسندگان، طرح مهم‌ترین مسائل مرتبط با نوآوری نظامی در جنگ‌های آینده و ارائه راهکارهای عملیاتی برای بهره‌گیری در حوزه دفاعی جمهوری اسلامی ایران بوده است. بر این اساس، مجموعه‌ای از پیشنهادها برای مقابله با تسلیحات لیزری آمریکا و سایر کشورهای متخاصم ارائه شده است.

محمدبیگی و رضابور (۱۳۹۵) در مقاله‌ای با عنوان واکاوی کارایی سلاح‌های لیزری پرتوان علیه شناورهای تندرو، جزئیات فرآیند برهم‌کنش لیزر با سطوح فلزی و غیر فلزی تجهیزات و بدنه شناورها را بررسی کرده‌اند. همچنین تأثیر جنس بدنه، سرعت و زاویه حرکت شناور بر عملکرد و کارایی سلاح لیزری مورد تحلیل قرار گرفته است. در این پژوهش، فرآیند برهم‌کنش پرتو لیزر با سطح هدف بر اساس ویژگی‌های مختلف از جمله جنس بدنه، مدت‌زمان تابش لیزر، توزیع مکانی پرتو و قطر آن، سرعت و جهت حرکت هدف و... به‌صورت تفصیلی بررسی شده و نتایج زیر به دست آمده است؛

○ به دلیل توان محدود و واگرایی پرتو لیزر در مسیر تا رسیدن به هدف، سلاح لیزری در برد مؤثر و انهدام قطعی هدف با محدودیت جدی مواجه است.

○ برای وارد کردن آسیب جدی به هدف، لازم است تابش لیزر در مدت‌زمان نسبتاً طولانی بر سطح آن متمرکز بماند.

○ از آنجا که سلاح لیزری باید هنگام شلیک، با دقت بالا و در زمان کافی بر یک هدف ثابت بماند، در شرایط تهاجم گروهی با تعداد زیاد شناورهای مهاجم در مسیرهای مختلف، کارایی آن به شدت کاهش یافته و نمی تواند نقش مؤثری ایفا کند.

○ با توجه به تفاوت جنس و ضخامت بدنه شناورها، برای اثرگذاری مطلوب پرتو لیزر بر هر شناور، باید توان متوسط، نرخ پالس، قطر پرتو، توزیع انرژی و طول موج لیزر متناسب با هدف تنظیم شود.

سیده فاطمه نبوی و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله‌ای با عنوان اساس لیزر و کاربرد آن در صنعت روز، پس از ارائه تاریخچه‌ای از پیدایش لیزر، سه ویژگی اصلی آن یعنی مونوکروماتیک بودن، جهت‌مندی و همدوسی را تشریح کرده‌اند. همچنین پدیده «وارونگی جمعیت» به عنوان اساس کار لیزر توضیح داده شده است. در ادامه، اجزای تشکیل‌دهنده لیزر شامل دمنده (منبع انرژی خارجی)، محیط فعال و محفظه یا تشدیدگر اپتیکی معرفی شده و انواع لیزر برحسب طول موج و نوع محیط فعال توضیح داده می‌شود. سپس کاربردهای صنعتی لیزر شامل نشانه‌گذاری، برش، جوش، تمیزکاری، سخت‌کاری و پوشش‌دهی بیان شده و نوع لیزر مناسب برای هر کاربرد معرفی می‌گردد.

احمدیان و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای با عنوان راهبردهای توسعه بهره‌گیری از پهپاد در افزایش توان رزم نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، اصول، مبانی و نحوه به‌کارگیری پهپادها در ارتقای توان رزم نیروهای مسلح را بررسی کرده‌اند. بر اساس یافته‌ها، اولویت‌های اصلی این راهبردها عبارت‌اند از:

○ تحول در نگرش به نقش و جایگاه پهپاد، از سطح تاکتیکی به سطح عملیاتی و راهبردی در افق ۱۴۶۴، و تخصیص بودجه مناسب برای تحقیقات، ساخت و تولید انبوه پهپادها؛

○ ایجاد سازوکار یا سامانه‌ای برای اطلاع‌گیری به‌روز از آخرین رهیافت‌های جهانی و پیشرفت‌های دشمن در حوزه پهپاد؛

○ استفاده از سامانه‌های پیشرفته کنترل آتش در پهپادها برای انهدام اهداف متحرک با سرعت بالا؛

○ بهره‌گیری از سامانه‌های تباین نوری و تباین حرارتی در پهپادها برای انجام عملیات شناسایی دقیق و ایجاد آگاهی وضعیتی مستمر.

سوراتون^۱ و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله‌ای با عنوان کاربردهای فناوری لیزر در امور

حیاتی، نظامی و پزشکی، پس از مروری بر تاریخچه توسعه فناوری لیزر، به بررسی کاربردهای این فناوری در حوزه‌های مختلف نظامی و پزشکی می‌پردازند. آنان معتقدند ویژگی‌هایی چون انسجام، جهت‌مندی، تک‌رنگی و شدت بالای پرتو لیزر، آن را به فناوری‌ای کارآمد در عرصه پزشکی—به‌ویژه در دندان‌پزشکی، جراحی و ترمیم پوست—و همچنین در کاربردهای متنوع نظامی تبدیل کرده است. در این پژوهش سه نمونه از کاربردهای نظامی لیزر شامل سامانه‌های شبیه‌ساز سلاح، سامانه‌های لیزری ضد موشکی و سامانه تسلیحات لیزری نصب‌شده بر کشتی‌های نیروی دریایی مورد بررسی قرار گرفته است. نخستین سامانه شبیه‌ساز سلاح توسط ریچارد دای و دونالد رلی^۱ در سال ۱۹۷۶ برای آموزش تیراندازی به سربازان طراحی شد. این سامانه از لیزرهای نیمه‌هادی گالیوم آرسنید بهره می‌گیرد؛ لیزرهایی که توانایی کار در فرکانس‌های بالا را داشته و نسبت به گرما حساسیت کمتری نشان می‌دهند. شبیه‌ساز لیزری بر روی لوله سلاح نصب می‌شود و انتظار می‌رود در آینده جایگزین گلوله‌های واقعی در تمرینات گردد؛ موضوعی که علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی، ایمنی تمرینات نظامی را نیز افزایش می‌دهد.

سامانه لیزری ضد موشکی، که تحقیق و توسعه آن توسط پیتر لیوینگستون و آلون شنور^۲ انجام شده است، از سوخت شیمیایی برای تولید پرتو لیزر استفاده می‌کند. این سامانه‌ها در مقایسه با سامانه‌های لیزری با انرژی الکتریکی، ابعاد کوچک‌تر و قابلیت جابه‌جایی بیشتری دارند، هرچند هزینه‌های بالاتری را تحمیل می‌کنند. پرتو لیزر با سرعت نور حرکت می‌کند و از این‌رو سریع‌تر از موشک‌های دفاعی عمل می‌کند. هدایت این سامانه با استفاده از اشاره‌گر مادون قرمز انجام می‌شود؛ روشی که نسبت به تشخیص راداری، سرعت بالاتری داشته و در برابر موشک‌های پرسرعت با ارتفاع پروازی کم و نیاز به واکنش سریع، اثربخشی بیشتری دارد.

آستین تیلور^۳ (۲۰۲۱) در رساله دکترای خود در دانشکده نیروی دریایی کالیفرنیا با عنوان مطالعه وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین: راهبردهای درگیری سامانه سلاح لیزری کشتی برای مقابله با تهدیدهای پهپادهای^۴ گروهی در محیط دریایی به بررسی راهبردهای مقابله با تهدیدهای پهپادهای گروهی مهاجم علیه ناوهای جنگی با استفاده از سامانه‌های سلاح لیزری پرداخت. وی تشکیلات حمله گروهی پهپادها را تحلیل کرد و دو سناریوی

^۱. Richard Dye Donald Rely

^۲. Peter Livingstin Alvin schnorr

^۳. Austin Taylor

^۴. پرنده هدایت‌پذیر از دور

بالقوه تهاجم همگن و ناهمگن را تعریف نمود. همچنین، پنج راهبرد درگیری با استفاده از سلاح لیزری را برای مقابله با این تهدیدها پیشنهاد کرد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که تعداد پهپادهای مهاجم و نوع تشکیلات آن‌ها تأثیر قابل توجهی بر میزان موفقیت حمله دارد و پیچیدگی وضعیت در مواجهه با تهاجمات ناهمگن افزایش می‌یابد. نویسنده معتقد است که به‌کارگیری استراتژی درگیری توسط سامانه سلاح لیزری کشتی می‌تواند نتیجه نبرد را به نفع کشتی دفاعی تغییر دهد. این راهبردها نیازمند کسب اطلاعات دقیق‌تر درباره واکنش‌های دفاعی و نحوه حمله گروهی پهپادها است. به‌عنوان مثال، پهپادها می‌توانند با استفاده از پهپادهای دام و محافظ حمله کنند یا از پهپادهای مادر و بزرگ‌تر به‌عنوان پوشش برای پهپادهای کوچک‌تر و انتحاری بهره ببرند. از سوی دیگر، سامانه سلاح لیزری می‌تواند با پنج راهبرد اصلی عمل کند: «اولویت نزدیکی»، «کوتاه‌ترین درگیری»، «نابودسازی تیرانداز^۱»، «تمرکز بر گره‌های ارتباطی و اطلاعاتی» و «به حداکثر رساندن کشتار نرم».

کاوشال و کادوم^۲ (۲۰۱۷) در مقاله‌ای با عنوان «کاربردهای لیزر برای عملیات نظامی تاکتیکی» به بررسی جامع کاربردهای لیزر در عملیات نظامی، اعم از مأموریت‌های زمینی و استفاده از سکوها فضای، پرداخته‌اند. این مطالعه شامل تحقیقاتی در زمینه توسعه فناوری لیزر برای حسگرها، فاصله‌یاب‌ها و تعیین‌کننده‌های هدف است که برای عملیات اطلاعات، نظارت و شناسایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نویسندگان همچنین برخی پروژه‌های لیزری در حال انجام و اخیر (پس از سال ۲۰۱۰) را به تفکیک حوزه‌های مختلف شامل ارتباطات، شناسایی، شبیه‌سازی، کشتی‌های نظامی و سلاح‌های نظامی معرفی کرده و برخی برنامه‌های آینده را نیز بررسی کرده‌اند. در ادامه مقاله، انواع لیزر و کاربردهای بالقوه نظامی آن‌ها مورد بحث قرار گرفته و سناریوهای مختلف به‌کارگیری لیزر به‌عنوان سلاح یا در حوزه ارتباطات نظامی بررسی شده است. در نهایت، نویسندگان سلاح‌های لیزری را در سه طبقه کلی «لیزرهای انرژی پایین»، «لیزرهای انرژی متوسط» و «لیزرهای انرژی بالا» دسته‌بندی کرده و موارد کاربرد هر یک را شرح داده‌اند.

عفان احمد و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله‌ای با عنوان بررسی و تحلیل تکنولوژیکی لیزر و کاربردهای دفاعی آن به بررسی پروژه‌ها و برنامه‌های لیزری برای اقدامات دفاعی استراتژیک در زمین و فضا پرداختند. آن‌ها پیشرفت‌های اخیر فناوری لیزر در زمینه نشانگرهای هدف و فاصله‌یاب را مورد تجزیه و تحلیل دقیق قرار دادند. همچنین، مقاله به بررسی تحولات در حوزه ارتباطات لیزری و تحقیقات علمی مرتبط با سلاح‌های لیزری

^۱. Take Out the Shooter

^۲. Kaushal & Kaddoum

هدایت‌شونده با انرژی بالا که توانسته‌اند میدان نبرد نظامی را تحت تأثیر قرار دهند، می‌پردازد. نویسندگان سه سناریوی حمایتی، دفاعی و تهاجمی برای به‌کارگیری لیزر در نبردهای مدرن تشریح کرده‌اند.

سولودوف^۱ و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای با عنوان تجزیه و تحلیل تهدید وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین علیه تأسیسات هسته‌ای به مرور فناوری‌های به‌کاررفته در پهپادها و انواع طبقه‌بندی آن‌ها پرداختند. آن‌ها کاربردها و تهدیدات بالقوه پهپادها را بررسی و حوادث مرتبط با تهدیدهای پهپادها در فرانسه، ایالات متحده و امارات متحده عربی را تشریح کرده‌اند. نویسندگان همچنین تهدید پهپادها علیه تأسیسات هسته‌ای و روش‌های مقابله با آن‌ها را تحلیل کرده و بر اهمیت شناسایی و پاسخ به‌موقع به این تهدیدها تأکید می‌کنند. در نهایت، ضمن بیان نقاط ضعف و قوت فناوری‌های موجود در مقابله با پهپادها، پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده و اولویت‌بندی اقدامات ارائه کرده‌اند.

پیشینه موجود طیف گسترده‌ای از مطالعات مرتبط با فناوری لیزر و پهپادها را پوشش می‌دهد و از جنبه‌های مختلف شامل نوآوری نظامی، کاربردهای تاکتیکی و استراتژیک لیزر، تعامل لیزر با اهداف متحرک و تحلیل تهدید پهپادها مورد بررسی قرار گرفته است. ذوالفقاری و همکاران (۱۴۰۱) به خوبی به اهمیت نوآوری نظامی و جایگاه تسلیحات لیزری در جنگ‌های آینده پرداخته‌اند و با ارائه راهکارهایی برای بهره‌گیری و مقابله، زمینه‌ای مفهومی برای مطالعه فراهم کرده‌اند. با این حال، این مطالعه عمدتاً از دیدگاه سیاست‌گذاری و نوآوری نظامی محدود می‌شود و کمتر به تحلیل عملیاتی سامانه‌های لیزری در مواجهه مستقیم با تهدیدهای پهپادهای گروهی پرداخته است.

مطالعه محمدیگی و رضایور (۱۳۹۵) از منظر فیزیکی و فنی به بررسی برهم‌کنش پرتو لیزر با اهداف متحرک پرداخته و محدودیت‌های عملیاتی لیزر در شرایط واقعی، مانند حملات گروهی شناورها، را برجسته کرده است. این پژوهش به‌طور مستقیم کاربرد سامانه لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپاد را پوشش نمی‌دهد و عمدتاً به شناورها محدود می‌ماند، بنابراین انتقال یافته‌ها به محیط پهپادی نیازمند تحلیل تطبیقی و آزمون‌های عملیاتی بیشتر است. سیده فاطمه نبوی و همکاران (۲۰۲۰) و سوراتون و همکاران (۲۰۲۱) بیشتر به جنبه‌های فنی و انواع لیزر، کاربردهای صنعتی و نظامی و نمونه‌های سامانه‌های لیزری نظیر شبیه‌سازها و ضد‌موشکی پرداخته‌اند. اگرچه این مطالعات درک خوبی از قابلیت‌ها و محدودیت‌های لیزر ارائه می‌دهند، اما به‌صورت محدود به مواجهه با حملات گروهی پهپادی نمی‌پردازند و ابعاد استراتژیک و راهبردی مقابله با تهدیدهای هماهنگ پهپادها را منعکس نمی‌کنند.

^۱ Solodov

آستین تیلور (۲۰۲۱) یکی از معدود مطالعاتی است که به طور خاص تعامل سامانه‌های سلاح لیزری با حملات گروهی پهپادها را تحلیل کرده و راهبردهای عملیاتی مقابله را ارائه داده است. این پژوهش با معرفی سناریوهای همگن و ناهمگن و راهبردهای درگیری مختلف، یک چارچوب کاربردی برای مقابله با تهدیدات پیچیده پهپادی فراهم می‌کند. با این حال، محدودیت این مطالعه در تمرکز بر محیط دریایی و شرایط فرضی بوده و بررسی اثرات عوامل محیطی واقعی و پویایی‌های متغیر تهدیدهای پهپادی در محیط‌های مختلف کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به طور کلی، پیشینه موجود نشان می‌دهد که پژوهش‌های متعددی به جنبه‌های فنی، تاریخی و تاکتیکی لیزر و پهپادها پرداخته‌اند، اما شکاف مهمی در تحلیل یکپارچه راه‌کنش‌های سامانه‌های سلاح لیزری در مواجهه با تهدیدهای گروهی پهپادی و ارائه مدل عملیاتی برای محیط‌های متنوع وجود دارد. این امر ضرورت تحقیق حاضر را برای تدوین راهبردهای به‌کارگیری سامانه‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپادها برجسته می‌کند.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی-توسعه‌ای بوده و از نظر روش‌شناسی، آمیخته و از نوع موردی-زمینه‌ای محسوب می‌شود. گردآوری اطلاعات در این پژوهش به دو روش میدانی و کتابخانه‌ای انجام شده است؛ در بخش کتابخانه‌ای، اسناد و مدارک موجود، آرشیوها، کتب و اطلاعات موجود در وبگاه‌های اینترنتی مطالعه گردید و در بخش میدانی، از طریق مصاحبه با طرح پرسش‌های ساختاریافته، نظر خبرگان جمع‌آوری شد.

جامعه آماری این پژوهش شامل خبرگان و صاحب‌نظران عملیاتی و فنی نیروی پدافند هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران و قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) است که دارای حداقل مدرک کارشناسی ارشد، بیش از ۲۰ سال سابقه خدمت، مشاغل سازمانی سطح ۱۶ و بالاتر، و آشنا با سامانه‌های فرماندهی و کنترل، سامانه‌های دفاع هوایی، فناوری‌های فیزیک، لیزر و پهپاد می‌باشند. تعداد کل جامعه آماری ۵۰ نفر است که در بخش کیفی به صورت هدفمند تعداد ۱۴ نفر برای انجام مصاحبه انتخاب شدند و در بخش کمی نیز تمامی ۵۰ نفر در تحقیق مشارکت داده شدند. قلمرو مکانی پژوهش، شامل نیروی پدافند هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران و قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) بوده و قلمرو زمانی جمع‌آوری داده‌ها، سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ است. همچنین، قلمرو کاربرد پژوهش با فرض ثبات نسبی شرایط محیطی، تا پنج سال آینده و تا پایدار ماندن نتایج مورد انتظار است. قلمرو موضوعی تحقیق ترکیبی از علوم پدافند هوایی، فرماندهی و کنترل، علوم نظامی و فیزیک (لیزر) می‌باشد.

نظرات خبرگان در قالب فرم مصاحبه جمع‌آوری و با توجه به ماهیت کیفی پژوهش، با استفاده از روش تحلیل محتوا پردازش شد. داده‌های حاصل از پرسشنامه نیز با استفاده از نرم‌افزار *اس‌پی‌اس‌اس* در سطح توصیفی، با بهره‌گیری از آمارهای توصیفی و استنباطی (آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و آزمون تی) تحلیل گردید. برای سنجش پایایی پرسشنامه، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد که نتایج آن به شرح زیر است: عامل اول ۰,۹۱۲، عامل دوم ۰,۸۸۲، عامل سوم ۰,۹۴۱، عامل چهارم ۰,۸۱۳ و کل پرسشنامه ۰,۹۵۳. با توجه به اینکه این ضریب بالاتر از ۰,۷ است، پرسشنامه از پایایی عالی برخوردار می‌باشد.

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، مصاحبه با ۱۴ نفر از صاحب‌نظران به صورت حضوری و یا از طریق ارسال فرم مصاحبه انجام شد. تلاش گردید تا نظرات کارشناسی ایشان به طور کامل در تحلیل کیفی پژوهش و بر اساس اهداف تحقیق به کار گرفته شود. در جریان این مصاحبه‌ها، در مجموع ۲۸ گویه مؤثر بر به‌کارگیری سامانه‌های سلاح لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپادها شناسایی گردید.

با توجه به مطالعه اسناد و مدارک موجود، بررسی پیشینه‌ها و تحلیل مصاحبه‌های انجام‌شده با خبرگان، مدل مفهومی زیر به عنوان مجموعه عوامل مؤثر بر به‌کارگیری سامانه‌های سلاح لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپادها در پدافند هوایی استخراج شد.



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش - منبع اسناد، مدارک و مصاحبه با خبرگان

در این پژوهش هدف اصلی شناسایی و تحلیل راه‌کنش‌های بکارگیری سامانه سلاح-های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهنپایه در پدافند هوایی است. با توجه به نوظهور بودن این حوزه و عدم وجود پیشینه تحقیقاتی گسترده و جامع، تدوین فرضیه‌های مشخص و قطعی برای آزمون روابط علی میان متغیرها مقدور نیست. از این رو، تحقیق بر مبنای گردآوری داده‌ها و به منظور کشف الگوها، چالش‌ها و فرصت‌های موجود در به‌کارگیری سامانه‌های لیزری متمرکز شده است و در نتیجه، از آوردن فرضیه خودداری شده است.

نظرات صاحب‌نظران براساس تحلیل کیفی کدگذاری گردیدند در مرحله بعدکدگذاری باز که فرآیندی تحلیلی است و طی آن مفاهیم شناسایی‌شده و ویژگی‌ها و ابعاد مربوط به هر مفهوم کشف می‌شوند و در ادامه در مرحله کدگذاری انتخابی، می‌بایستی ضمن جمع و تبیین ارتباط بین مقوله‌ها، فرآیند رسیدن به یک مقوله محوری، با درکنار هم قرار دادن مقوله‌ها حول یک مقوله مرکزی، یک روایت نظری و نظام‌مند طرح شود.

تجزیه و تحلیل کیفی هدف اول؛ بررسی چگونگی بکارگیری توده (تمرکز) سامانه سلاح‌های لیزری جهت مقابله با تهدیدهای پهنپایه در دفاع هوایی

جدول ۱. مقوله‌بندی کدهای باز مصاحبه‌های پژوهش در ارتباط با سؤال اول تحقیق

مقوله محوری	زیر مقوله	شماره‌های کد
توده (تمرکز) سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپادها در نیروی پدافند هوایی	تأمین پوشش جانبی	۵۲-۴۳-۳۰-۲۳-۱۲-۵-۲
	تأمین پشتیبانی متقابل	۴۴-۳۴-۳۱-۲۴-۱۳-۱
	لحاظ نمودن تهاجم گروهی پهپادها	۵۱-۳۵-۱۴-۶-۳-۳
	لحاظ نمودن شرایط آب‌وهوایی	۴۸-۴۰-۷-۴
	لحاظ نمودن ویژگی‌های پهپاد متخاصم از قبیل جنس بدنه، رنگ بدنه	۳۶-۲۶-۸
	لحاظ نمودن محدودیت‌های سامانه سلاح‌های لیزری	۹-۱۰-۱۱-۱۶-۱۷-۱۸-۱۵-۲۱-۲۲-۲۸-۲۹-۳۲-۳۸-۴۱-۴۹
	ویژگی‌های منطقه تحت پوشش	۵۴-۵۳-۴۲-۳۷-۱۹
	لحاظ نمودن مزایای سامانه سلاح‌های لیزری	۲۰-۵۱-۵۰-۴۷-۴۶-۴۵-۳۹-۲۵

بررسی اسناد و مدارک و نظرات مصاحبه‌شوندگان مشخص نمود شاخص‌های موثر در چگونگی بکارگیری توده (تمرکز) سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپادها در دفاع هوافضایی عبارت‌اند از: "تأمین پوشش جانبی، تأمین پشتیبانی متقابل، توانایی مقابله با تهاجمات گروهی پرنده‌های بدون سرنشین، شرایط منطقه تحت پوشش (عوارض طبیعی، غیرطبیعی، وسعت)، تأمین آتش پر حجم بر روی اهداف متخاصم، مدت‌زمان تابش اشعه لیزر بر روی اهداف متخاصم، مدت‌زمان خنک‌کنندگی منبع تولید اشعه لیزر، هزینه بالای تولید هر سامانه، هزینه پایین هر شلیک، پدافند دور‌تادور در عمق"

تجزیه و تحلیل کیفی هدف دوم؛ بررسی چگونگی بکارگیری یکپارچگی سامانه سلاح‌های لیزری جهت مقابله با تهدیدهای پهپادها در دفاع هوافضایی

جدول ۲ مقوله‌بندی کدهای باز مصاحبه‌های پژوهش در ارتباط با سؤال دوم تحقیق

مقوله محوری	زیر مقوله	شماره‌های کد
یکپارچگی سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپادها در نیروی پدافند هوایی	تلفیق با سامانه فرماندهی و کنترل جهت بهره‌مندی از امکانات سامانه	۲۲-۱۹-۱۸-۱۷-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱ ۴۳-۴۲-۳۹-۳۸-۳۲-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۳
	تلفیق با شبکه پدافندی جهت تبادل اطلاعات	۳۴-۳۳-۳۱-۲۵-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰ ۴۴-۴۱-۴۰-۳۷-۳۵
	تلفیق در پست فرماندهی CP	۴۵-۲۶-۲۱-۲۰

بررسی اسناد و مدارک و نظرات مصاحبه‌شوندگان مشخص نمود شاخص‌های موثر در چگونگی بکارگیری یکپارچگی سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهپادها در دفاع هوافضایی عبارت‌اند از: "تلفیق با سامانه فرماندهی و کنترل جهت بهره‌مندی از امکانات سامانه، تلفیق با شبکه پدافندی جهت تبادل اطلاعات، لحاظ نمودن برد سامانه و همچنین تلفیق با سامانه‌های الکترواپتیک".

تجزیه و تحلیل کیفی هدف سوم؛ بررسی چگونگی بکارگیری ترکیب سامانه سلاح‌های لیزری جهت مقابله با تهدیدهای پهپادها در دفاع هوافضایی

جدول ۳ مقوله‌بندی کدهای باز مصاحبه‌های پژوهش در ارتباط با سؤال سوم تحقیق

مقوله محوری	زیر مقوله	شماره‌های کد
-------------	-----------	--------------

ترکیب با سایر سامانه سلاح‌های پدافندی (موشکی و توپخانه‌ای، دوش پرتاب و جنگالی)	۱-۵-۶-۸-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴-۱۵-۱۷
ترکیب با سامانه‌های هواپایه	۳-۴-۹-۲۰
ترکیب با سایر سامانه سلاح‌های لیزری پدافندی	۷-۱۱-۲۱

بررسی اسناد و مدارک و نظرات مصاحبه‌شوندگان مشخص نمود شاخص‌های موثر در چگونگی بکارگیری ترکیب سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهنپادها در دفاع هوافضایی عبارت‌اند از؛ "ترکیب با سایر سامانه سلاح‌های پدافندی (موشکی، توپخانه‌ای، دوش پرتاب)، ترکیب با سایر سامانه سلاح‌های لیزری، ترکیب با سامانه‌های هواپایه، شرایط جوی و آب‌وهوایی منطقه تحت پوشش، ویژگی‌های بدنه پرنده‌های بدون سرنشین (جنس و رنگ)، قابلیت انتشار پالسی (علیه تجهیزات اپتیکی) و پیوسته (علیه بدنه)"

تجزیه و تحلیل کیفی هدف چهارم؛ بررسی چگونگی بکارگیری تحرک سامانه سلاح‌های لیزری جهت مقابله با تهدیدهای پهنپادها در دفاع هوافضایی

جدول ۴ مقوله‌بندی کدهای باز مصاحبه‌های پژوهش در ارتباط با سؤال چهارم تحقیق

مقوله محوری	زیر مقوله	شماره‌های کد
تحرک سامانه سلاح-های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهنپادها در نیروی پدافند هوایی	زمان عملیاتی شدن	۱-۲-۲۴
	سرعت جابه‌جایی (نصب بر خودروهای تاکتیکی)	۳-۹-۱۱-۱۲-۱۳-۱۴-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۵-۲۷-۳۱
	سرعت دریافت اطلاعات هدف	۵-۲۳-۱۶
	طراحی فنی: به‌کارگیری لیزرهای مقاوم در برابر لرزش و حرکت (فیبری و جامد)	۶-۱۰-۱۵-۱۶-۲۶-۲۸-۲۹-۳۰-۳۲

بنابراین بررسی اسناد و مدارک و نظرات مصاحبه‌شوندگان مشخص نمود در چگونگی بکارگیری تحرک سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهنپادها در دفاع هوافضایی عبارت‌اند از؛ "مدت‌زمان عملیاتی شدن سامانه، مدت‌زمان درگیری با اهداف متخاصم (رهگیری و انهدام)، سرعت جابه‌جایی سامانه، سرعت دریافت اطلاعات از شبکه و یا سامانه‌های کشف، طراحی فنی سامانه (به‌کارگیری لیزرهای مقاوم در برابر لرزش و استرس)، نصب بر روی سکوها یا زمین پایه متحرک، آموزش کاربران سامانه (تسلط بر قابلیت‌ها و محدودیت‌ها)"

تجزیه و تحلیل کمی داده‌ها؛ نتایج حاصله از تجزیه و تحلیل اطلاعات شامل ۱۰ شاخص برای تحقق اصل توده، ۴ شاخص برای تحقق اصل تلفیق، ۷ شاخص برای تحقق اصل ترکیب و ۷ شاخص نیز برای تحقق اصل تحرک احصاء گردید که آزمون‌های مربوطه برای شاخص‌ها به شرح ذیل اجرا گردید.

آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد. اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند امکان استفاده آزمون پارامتریک وجود دارد و در غیر این صورت

باید آزمون ناپارامتریک استفاده کنیم. پس از تحلیل SPSS در برونداد آزمون کولموگروف - اسمیرنوف اگر آزمون معنی‌دار بود یعنی p کوچک‌تر از 0.05 بود، به معنی این است که توزیع نرمال نیست و باید آزمون ناپارامتریک استفاده کنیم. بنابراین اگر نتیجه این آزمون معنی‌دار نباشد امکان استفاده آزمون‌های پارامتریک وجود دارد. در محاسبه انجام شده p بزرگ‌تر از 0.05 بوده و به معنی این است که توزیع نرمال است و می‌توان آزمون پارامتریک (t) استفاده کرد.

به منظور تایید شاخص‌های شناسایی شده از آزمون تی تک نمونه‌ای استفاده شد. با توجه به طیف ۵ درجه‌ای لیکرت در پرسشنامه، مقدار آزمون برابر ۳ تعیین شد. بر این اساس اگر میانگین به دست آمده بزرگتر از ۳ و سطح معناداری کمتر از 0.05 و آماره تی نیز بزرگتر از 1.96 باشد، شاخص شناسایی شده تایید می‌گردد. در ادامه نتایج این آزمون ارائه شده است.

جدول ۵. آزمون تی جهت بررسی شاخصه‌های ارائه‌شده در توده (تمرکز)

شاخصه‌های مربوط به توده(تمرکز)	میانگین	۳= مقدار آزمون					
		آماره (T)	درجه آزادی (Df)	معیار تصمیم Sig. (2-tailed)	میانگین اختلافات	فاصله اطمینان ۹۵٪ اختلافات	
						کران بالا	کران پایین
تأمین پوشش جانبی	۴.۷	۱۷.۹۳۴	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۰۶۶۶۷	۱.۱۸۶۲	۰.۹۴۷۱
تأمین پشتیبانی متقابل	۴.۴	۱۴.۲۹۹	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۵۴۰۰۰	۱.۷۵۶۴	۱.۳۲۳۶
توانایی مقابله با تهاجمات گروهی پرنده‌های بدون سرنشین	۴.۷	۸.۷۲۶	۴۹	۰.۰۰۰	۰.۷۴۰۰۰	۰.۹۱۰۴	۰.۵۶۹۶
شرایط منطقه تحت پوشش (عوارض طبیعی، غیرطبیعی، وسعت)	۴.۷۲	۶.۵۰۵	۴۹	۰.۰۰۰	۰.۶۶۰۰۰	۰.۸۶۳۹	۰.۴۵۶۱
تأمین آتش پر حجم بر روی اهداف متخاصم	۴.۰۸	۸.۷۱۵	۴۹	۰.۰۰۰	۰.۹۸۰۰۰	۱.۲۰۶۰	۰.۷۵۴۰
مدت‌زمان تابش اشعه لیزر بر روی اهداف متخاصم	۴.۷۲	۱۱.۱۸۶	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۲۸۰۰۰	۱.۵۱۰۰	۱.۰۵۰۰
مدت‌زمان خنک‌کنندگی منبع تولید اشعه لیزر	۴.۸۸	۱۶.۶۷۱	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۶۸۰۰۰	۱.۸۸۲۵	۱.۴۷۷۵
هزینه بالای تولید هر سامانه	۳.۹۶	۱۰.۵۳۱	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۰۶۰۰۰	۱.۲۶۲۳	۰.۸۵۷۷
هزینه پایین هر شلیک	۴.۳	۱۲.۵۰۰	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۳۰۰۰۰	۱.۵۰۹۰	۱.۰۹۱۰
پدافند دورتادور در عمق	۴.۴	۸.۶۸۷	۴۹	۰.۰۰۰	۰.۹۶۰۰۰	۱.۱۸۲۱	۰.۷۳۷۹

میانگین امتیاز کلیه شاخص‌ها بیش از ۳ بوده و در نتیجه همه آن‌ها، مورد تأیید قرار می‌گیرد.

جدول ۶. آزمون تی جهت بررسی شاخصه‌های ارائه‌شده در یکپارچگی

شاخصه‌های مربوط به یکپارچگی	میانگین	۳= مقدار آزمون				
		آماره (T)	درجه آزادی (Df)	معیار تصمیم Sig. (2-tailed)	میانگین اختلافات	فاصله اطمینان ۹۵٪ اختلافات
						کران بالا

تلفیق با سامانه فرماندهی و کنترل (پست فرماندهی)	۴.۶۶	۱۰.۵۳۱	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۰۶۰۰۰	۰.۸۵۷۷	۱.۲۶۲۳
تلفیق با شبکه پدافند هوایی به منظور تبادل اطلاعات	۴.۸۶	۱۲.۵۰۰	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۳۰۰۰۰	۱.۰۹۱۰	۱.۵۰۴۵
لحاظ نمودن برد سامانه	۴.۶۶	۸.۶۸۷	۴۹	۰.۰۰۰	۰.۹۶۰۰۰	۰.۷۳۷۹	۱.۱۸۸۶
تلفیق با سامانه‌های الکترواپتیکی	۴.۷۴	۱۵.۵۳۳	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۶۰۰۰۰	۱.۳۹۳۰	۱.۸۰۷۵

میانگین امتیاز کلیه شاخص‌ها بیش از ۳ بوده و در نتیجه همه آن‌ها، مورد تأیید قرار

می‌گیرد.

جدول ۷. آزمون تی جهت بررسی شاخصه‌های ارائه‌شده در ترکیب

اخصه‌های مربوط به ترکیب	میانگین	مقدار آزمون = ۳					
		آماره (T)	درجه آزادی (Df)	معیار تصمیم (Sig. ۲tailed)	میانگین اختلافات	فاصله اطمینان ۹۵٪ اختلافات	
						کران بالا	کران پایین
کیب با سایر سامانه سلاح‌های پدافند (موشکی، توپخانه‌ای، دوش پرتاب)	۴.۸۸	۱۶.۴۵۰	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۳۰۵۳۰	۱.۶۵۱۰	۱.۰۰۴۵
ترکیب با سامانه‌های هوا پایه	۳.۶	۱۵.۲۳۷	۴۹	۰.۰۰۱	۱.۷۵۳۰۰	۰.۷۳۷۴۲۹	۱.۱۵۵۶
ترکیب با سایر سامانه سلاح‌های لیزری	۴.۷	۱۳.۵۵۶	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۶۸۵۱۰	۱.۳۳۲۰	۱.۸۷۲۵
شرایط جوی و آب‌وهوایی منطقه تحت پوشش	۴.۹	۱۰.۸۷۵	۴۹	۰.۰۰۰	۰.۴۶۱۴۷	۰.۲۶۷۵	۰.۶۵۱۲
ویژگی‌های بدنه پرنده‌های بدون سرنشین (جنس و رنگ)	۴.۷۶	۱۰.۸۶۵	۴۹	۰.۰۰۰	۰.۹۸۸۷۵	۰.۱۲۷۵	۱.۲۰۰۳
قابلیت انتشار پالسی (علیه تجهیزات اپتیکی) و پیوسته (علیه بدنه)	۴.۳	۱۱.۱۳۰	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۳۵۱۰۰	۱.۰۰۶۰	۱.۵۱۴۴
کم‌صدا بودن سامانه در هنگام شلیک	۴.۱	۱۳.۹۶۳	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۶۶۵۳۰	۱.۴۰۰۵	۱.۸۵۵۲

میانگین امتیاز کلیه شاخص‌ها بیش از ۳ بوده و در نتیجه همه آن‌ها، مورد تأیید قرار

می‌گیرد.

جدول ۸. آزمون تی جهت بررسی شاخصه‌های ارائه‌شده در تحرک

شاخصه‌های مربوط به تحرک	میانگین	مقدار آزمون = ۳					
		آماره (T)	درجه آزادی (Df)	معیار تصمیم (Sig. ۲tailed)	میانگین اختلافات	فاصله اطمینان ۹۵٪ اختلافات	
						کران بالا	کران پایین
مدت زمان عملیاتی شدن سامانه	۴.۸	۱۶.۴۵۰	۴۹	۰.۰۰۰	۱.۳۰۵۳۰	۱.۶۵۱۰	۱.۰۰۴۵
مدت زمان درگیری با اهداف متخاصم (قفل و شلیک)	۳.۶	۱۵.۲۳۷	۴۹	۰.۰۰۱	۱.۷۵۳۰۰	۰.۷۳۷۴۲۹	۱.۱۵۵۶

مدت‌زمان استقرار و ضد استقرار سامانه	۴۰۹	۱۳۰۵۵۶	۴۹	۰۰۰	۱۰۶۸۵۱۰	۱۰۳۳۲۰	۱۰۸۷۲۵
سرعت دریافت اطلاعات از شبکه و یا سامانه‌های کشف	۴۰۸۲	۱۰۰۸۷۵	۴۹	۰۰۰	۰۴۶۱۴۷	۰۲۶۷۵	۰۶۵۱۲
طراحی فنی سامانه (به‌کارگیری لیزرهای مقاوم در برابر لرزش و استرس)	۴۰۹۴	۱۰۰۸۶۵	۴۹	۰۰۰	۰۹۸۸۷۵	۰۱۲۷۵	۱۰۲۰۰۳
نصب بر روی سکوها یا زمین‌پایه متحرک	۴۰۸۶	۱۱۰۱۳۰	۴۹	۰۰۰	۱۰۳۵۱۰۰	۱۰۰۰۶۰	۱۰۵۱۴۴
موزش کاربران سامانه (تسلط به محدودیت‌ها و قابلیت‌ها)	۴۰۷۲	۱۳۰۹۶۲	۴۹	۰۰۰	۱۰۶۶۵۳۰	۱۰۴۰۰۵	۱۰۸۵۵۲

میانگین امتیاز کلیه شاخص‌ها بیش از ۳ بوده و در نتیجه همه آن‌ها، مورد تأیید است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج هدف اول: راه‌کنش‌های مربوط به چگونگی به‌کارگیری توده (تمرکز) سامانه سلاح‌های لیزری دفاع هوافضایی در برابر تهدیدهای پهپادی.

براساس تجزیه‌وتحلیل اسناد و مدارک، بررسی پرسش‌نامه‌ها و نیز پاسخ‌های به‌دست‌آمده از سؤال دوم مصاحبه با صاحب‌نظران و خبرگان، شاخص‌های مؤثر بر توده‌سازی (تمرکز) سامانه‌های سلاح لیزری برای مقابله با تهدیدهای پهپادی در دفاع هوافضایی به شرح زیر شناسایی گردید:

○ تأمین پوشش جانبی اماکن نقش مهمی در نحوه توده‌سازی سامانه‌های سلاح لیزری برای مقابله با تهدیدهای پهپادی دارد.

○ ایجاد پشتیبانی متقابل در کارآمدی توده سامانه‌های سلاح لیزری در برابر حملات پهپادی مؤثر است.

○ توانایی مقابله با تهاجمات گروهی پهپادها یکی از مؤلفه‌های کلیدی در توده‌سازی سامانه‌های لیزری محسوب می‌شود.

○ ویژگی‌های منطقه تحت پوشش شامل عوارض طبیعی، عوارض مصنوعی و گستره جغرافیایی، بر نحوه توده‌سازی سامانه‌های لیزری تأثیرگذار است.

○ تأمین آتش پر حجم بر روی اهداف متخاصم می‌تواند اثربخشی توده سامانه‌های لیزری را در مواجهه با تهدیدهای پهپادی تقویت کند.

○ مدت‌زمان موردنیاز برای تابش اشعه لیزر بر اهداف متخاصم از عوامل مهم در طراحی و چینش توده سامانه‌های لیزری است.

○ مدت‌زمان خنک‌کنندگی منبع تولید اشعه لیزر در حفظ آمادگی و کارکرد مستمر سامانه نقش حیاتی دارد.

○ هزینه بالای تولید سامانه‌های سلاح لیزری بر امکان‌پذیری توده‌سازی این سامانه‌ها اثر می‌گذارد.

○ هزینه پایین هر شلیک سامانه لیزری در مقایسه با دیگر سامانه‌های پدافندی، یکی از مزایای مؤثر در توده‌سازی محسوب می‌شود.

○ توانایی تأمین پدافند دورتادور و در عمق نیز از شاخصه‌های تعیین‌کننده در کارآمدی شبکه توده سامانه‌های لیزری به شمار می‌رود.

ترتیب اهمیت شاخص‌های توده‌سازی سامانه‌های سلاح لیزری در مقابله با تهدیدهای پهبادی از دیدگاه پاسخ‌گویان عبارت است از؛

○ مدت‌زمان خنک‌کنندگی منبع تولید اشعه لیزر

○ شرایط منطقه تحت پوشش (عوارض طبیعی، عوارض مصنوعی، وسعت)

○ مدت‌زمان تابش اشعه لیزر بر اهداف متخاصم

○ توانایی مقابله با تهاجمات گروهی پرنده‌های بدون سرنشین

○ تأمین پوشش جانبی

○ تأمین پشتیبانی متقابل

○ تأمین پدافند دورتادور و در عمق

○ هزینه پایین هر شلیک

○ تأمین آتش پر حجم بر اهداف متخاصم

○ هزینه بالای تولید هر سامانه

نتایج هدف دوم: راه‌کنش‌های چگونگی به‌کارگیری یکپارچگی سامانه سلاح‌های لیزری دفاع هوافضایی در برابر تهدیدهای پهباداها.

با تجزیه و تحلیل اسناد و مدارک، انجام مصاحبه با صاحب‌نظران و خبرگان، و نیز نتایج حاصل از پرسش‌نامه، شاخص‌های مرتبط با یکپارچگی سامانه سلاح‌های لیزری برای مقابله با تهدیدهای پهبادی در دفاع هوافضایی به شرح زیر استخراج شد؛

○ تلفیق سامانه سلاح‌های لیزری با سامانه فرماندهی و کنترل (پست فرماندهی) در ارتقای توان مقابله مؤثر است.

○ تلفیق با شبکه پدافند هوایی به‌منظور تبادل اطلاعات نقش تعیین‌کننده‌ای در کارآمدی یکپارچگی سامانه دارد.

○ لحاظ نمودن برد سامانه در طراحی الگوی یکپارچگی سامانه لیزری اهمیت دارد.

○ تلفیق با سامانه‌های الکترواپتیک (کشف و رهگیری) موجب افزایش دقت و سرعت

واکنش در برابر تهدیدهای پهپادی می‌شود.

بر اساس نظرات پاسخ‌گویان، اهمیت شاخص‌های یکپارچگی سامانه سلاح‌های لیزری به ترتیب زیر است:

- تلفیق با شبکه پدافند هوایی به‌منظور تبادل اطلاعات
- تلفیق با سامانه‌های الکترواپتیک (کشف و رهگیری)
- تلفیق با سامانه فرماندهی و کنترل (پست فرماندهی)
- لحاظ نمودن برد سامانه

نتایج هدف سوم: راه‌کنش‌های چگونگی به‌کارگیری ترکیب سامانه سلاح‌های لیزری دفاع هوافضایی در برابر تهدیدهای پهپادها.

بر اساس تجزیه و تحلیل اسناد، مصاحبه با کارشناسان و خبرگان، و داده‌های پرسش‌نامه، شاخص‌های مؤثر بر نحوه ترکیب سامانه سلاح‌های لیزری برای مقابله با تهدیدهای پهپادی در دفاع هوافضایی عبارت‌اند از:

- به‌کارگیری سامانه لیزری در کنار سایر سامانه‌های پدافندی (موشکی، توپخانه‌ای، دوش‌پرتاب) در کارایی ترکیب سامانه بسیار مؤثر است.
- به‌کارگیری همراه با سامانه‌های هواپایه موجب افزایش پوشش و انعطاف‌پذیری دفاعی می‌شود.

○ ترکیب با سایر سامانه‌های سلاح‌های لیزری می‌تواند توان تخریبی و سرعت واکنش را تقویت کند.

○ شرایط جوی و آب‌وهوایی منطقه تحت پوشش در عملکرد سامانه‌های لیزری تأثیر مستقیم دارد.

○ ویژگی‌های بدنه پهپادها (جنس و رنگ) در میزان اثرگذاری پرتوی لیزر مؤثر است.

○ قابلیت انتشار پالسی (علیه تجهیزات اپتیکی) و انتشار پیوسته (علیه بدنه) بر انتخاب نوع ترکیب سامانه اثرگذار است.

○ کم‌صدابودن سامانه هنگام شلیک به‌عنوان یک مزیت عملیاتی مدنظر قرار گرفته است.

بر اساس نظرات پاسخ‌گویان، رتبه‌بندی اهمیت شاخص‌های ترکیب سامانه سلاح‌های لیزری به شرح زیر است:

- شرایط جوی و آب‌وهوایی منطقه تحت پوشش
- ترکیب با سایر سامانه‌های پدافندی (موشکی، توپخانه‌ای، دوش‌پرتاب)
- ویژگی‌های بدنه پرنده‌های بدون سرنشین (جنس و رنگ)

- ترکیب با سایر سامانه‌های سلاح‌های لیزری
 - قابلیت انتشار پالسی (علیه تجهیزات اپتیکی) و پیوسته (علیه بدنه)
 - کم‌صدا بودن سامانه هنگام شلیک
 - ترکیب با سامانه‌های هواپایه
- نتایج هدف چهارم:** راه‌کنش‌های بکارگیری تحرک سامانه سلاح‌های لیزری دفاع هوافضایی در برابر تهدیدهای پهبادی.
- با تجزیه و تحلیل اسناد و مدارک، انجام مصاحبه با صاحب‌نظران و خبرگان، و همچنین بررسی داده‌های حاصل از پرسش‌نامه، شاخص‌های مربوط به تحرک سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهبادها در حوزه دفاع هوافضایی به شرح زیر شناسایی شد:
- مدت‌زمان لازم برای عملیاتی‌سازی سامانه در نحوه به‌کارگیری و ترکیب سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهبادی مؤثر است.
 - مدت‌زمان موردنیاز برای درگیری با اهداف متخاصم (قفل و شلیک) بر میزان تحرک سامانه در مواجهه با تهدیدهای پهبادی تأثیر دارد.
 - زمان موردنیاز برای استقرار و ضداستقرار سامانه از عوامل تعیین‌کننده در تحرک سامانه سلاح‌های لیزری محسوب می‌شود.
 - سرعت دریافت اطلاعات اهداف از شبکه یا سامانه‌های کشف بر کارآمدی تحرک سامانه در شرایط تهدید پهبادی مؤثر است.
 - طراحی فنی سامانه (از جمله استفاده از لیزرهای مقاوم در برابر لرزش و تنش) نقشی کلیدی در افزایش تحرک سامانه سلاح‌های لیزری دارد.
 - نصب سامانه بر روی سکوه‌های زمین‌پایه متحرک موجب افزایش تحرک و انعطاف‌پذیری آن در مقابله با تهدید پهبادی می‌شود.
 - آموزش کاربران سامانه (با تأکید بر تسلط بر محدودیت‌ها و قابلیت‌ها) از عوامل اثرگذار بر کارآمدی تحرک سامانه سلاح‌های لیزری به شمار می‌رود.
- بر اساس دیدگاه پاسخ‌گویان، اولویت‌بندی شاخص‌های تحرک سامانه سلاح‌های لیزری در مقابله با تهدیدهای پهبادی در دفاع هوافضایی به ترتیب اهمیت عبارت است از:
- طراحی فنی سامانه (به‌کارگیری لیزرهای مقاوم در برابر لرزش و استرس)
 - مدت‌زمان استقرار و ضداستقرار سامانه
 - نصب سامانه بر روی سکوه‌های زمین‌پایه متحرک
 - سرعت دریافت اطلاعات از شبکه یا سامانه‌های کشف

- مدت‌زمان لازم برای عملیاتی شدن سامانه
 - آموزش کاربران سامانه (تسلط بر محدودیت‌ها و قابلیت‌ها)
 - مدت‌زمان درگیری با اهداف متخاصم (قفل و شلیک).
- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:
- معاونت عملیات نپاجا در تمامی اقدامات مرتبط با خرید یا سفارش ساخت سامانه‌های سلاح لیزری برای مقابله با پهپادها، کلیه محدودیت‌های این سامانه‌ها - از جمله کاهش کارایی در شرایط جوی نامناسب (باران، مه، گردوغبار و ...)، برد محدود، نیاز به سامانه‌های خنک‌کننده منبع تابش، زمان موردنیاز برای تابش مستمر بر روی هدف، حساسیت نسبت به لرزش و فشارهای محیطی، خطی‌بودن مسیر انتشار پرتو و نیز عدم کارایی نسبت به برخی آلیاژها و رنگ‌های بدنه پهپاد - را مدنظر قرار دهد.
 - معاونت عملیات نپاجا در صورت خرید یا ساخت این سامانه‌ها، هنگام جانمایی، استقرار یا توسعه آنها، محدودیت‌های یادشده را به‌طور کامل لحاظ کند.
 - مرکز مطالعات و تحقیقات نپاجا نسبت به انجام پژوهش‌های نظری و تعریف پروژه‌های سطح یک، دو و سه در حوزه لیزر، کاربردهای نظامی آن و توسعه سامانه‌های سلاح لیزری دفاع هوافضایی اهتمام ورزد.
 - دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) به‌عنوان ریاست کارگروه لیزر و فوتونیک قرارگاه محوری فجر نپاجا، با بهره‌گیری حداکثری از ظرفیت‌های علمی و اعتباری قرارگاه فجر آجا و در همکاری با سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی نیرو، فعالیت‌های نظری و صنعتی مرتبط با سامانه‌های سلاح لیزری دفاع هوافضایی را توسعه دهد.
 - مرکز مطالعات و تحقیقات نپاجا، سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی نیرو و دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) به‌عنوان نهادهای اصلی دانش و پژوهش در نپاجا، با توجه به ظرفیت‌های اعتباری ایجادشده در چارچوب نقشه جامع علمی دفاعی - امنیتی کشور و طرح جهاد علمی، از توان علمی دانشگاه‌های برتر کشور بهره‌برداری کرده و برای ایجاد آزمایشگاه‌های مشترک، پژوهشکده‌های تخصصی مشترک و اجرای طرح‌های تحقیقاتی و صنعتی مشترک با این دانشگاه‌ها اقدام نمایند.
 - معاونت تربیت و آموزش نپاجا، مرکز مطالعات و تحقیقات نپاجا و دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) نسبت به برگزاری دوره‌های آموزشی، نشست‌های تخصصی، میزهای علمی، سمینارها و همایش‌هایی با محوریت لیزر و کاربردهای نظامی آن اهتمام ورزند.
 - معاونت تربیت و آموزش نپاجا و مرکز مطالعات و تحقیقات نپاجا با هدف ارتقای سطح

دانش تخصصی کارکنان، نسبت به گنجاندن مباحث مرتبط با سامانه‌های سلاح لیزری در کتاب‌ها و منابع آموزشی جنگ‌افزارهای پدافند هوایی اقدام نمایند.

○ معاونت اطلاعات نپاجا و فرماندهی جنگال نپاجا رصد مستمر اقدامات و دستاوردهای سایر کشورها در حوزه سامانه‌های سلاح لیزری را در دستور کار قرار داده، نتایج را به مبادی ذی‌ربط ارائه دهند و همکاری منظم با مرکز مطالعات و تحقیقات نپاجا، سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی نیرو و دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) داشته باشند.

○ فرماندهی پهپاد نپاجا با رصد و پایش مداوم آخرین فناوری‌های به‌کاررفته در حوزه پهپادها، تعامل مؤثر و مستمر با مراکز علمی و پژوهشی نیرو برقرار نماید.

○ معاونت تربیت و آموزش نپاجا زمینه اعزام تعداد بیشتری از کارکنان مستعد را برای ادامه تحصیل در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری در حوزه‌های فیزیک و لیزر فراهم سازد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، برخی زمینه‌های مطالعاتی برای تحقیقات آینده قابل توصیه است:

○ انجام تحقیقاتی با هدف بررسی میزان اثربخشی سامانه‌های سلاح لیزری در ارتقای توان رزم نیروی پدافند هوایی آجا و قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص).

○ مقایسه عملکرد انواع لیزرها در حوزه سامانه‌های سلاح دفاع هوافضایی به‌منظور شناسایی مزایا و محدودیت‌های هر فناوری.

○ بررسی کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در بهبود دقت، سرعت شناسایی و هدف‌گیری پهپادها توسط سامانه‌های سلاح لیزری.

○ مطالعه سایر کاربردهای لیزر در حوزه دفاع هوافضایی، از جمله ارتباطات، مسافت‌یابی، نشانه‌روی و سایر فناوری‌های مرتبط.

○ تحقیق درباره تأثیر پرتوی لیزر بر بدنه و تجهیزات الکترواپتیک انواع پهپادها، با هدف ارزیابی اثرات عملکردی و آسیب‌شناسی فنی این سامانه‌ها.

با این حال، مهم‌ترین محدودیت این پژوهش، نوظهور بودن استفاده از لیزر در حوزه دفاع هوافضایی و سطح بالای فناوری مرتبط بود که دسترسی به منابع پژوهشی غنی و معتبر، مانند کتاب‌ها و مقالات تخصصی، را محدود می‌کرد. علاوه بر این، محرمانگی اطلاعات سامانه‌های تولیدشده و محدودیت دسترسی به کارشناسان و صاحب‌نظران به دلیل مشغله‌های شغلی و تحقیقاتی، از دیگر موانع اصلی تحقیق به شمار می‌آمد.

تشکر و قدردانی

از زحمات تمامی کسانی که در انجام این تحقیق مساعدت و همکاری داشتند، تشکر و قدردانی می‌نماییم.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در مورد انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این، موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر توسط نویسندگان رعایت شده است.

دسترسی آزاد

این نشریه دارای دسترسی باز است و اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می‌دهد.

منابع

- اسماعیلی و همکاران (۱۴۰۱). اصول جنگ پدافند هوایی در محیط ناهمتراز. *فصلنامه علمی-پژوهشی فرماندهی و کنترل*، ۶(۲)،
- احمدیان و همکاران (۱۳۹۶). "راهبردهای توسعه بهره‌گیری از پهپاد در افزایش توان رزمی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران" *فصلنامه مطالعات دفاعی استراتژیک*، ۱۶(۷۲)، ۳۰-۱.
- چمنی، مسلم و مبشری نیک، محسن. (۱۳۹۶). *فرماندهی و کنترل ۱*، تهران: دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص)
- خرازیان، پیمان، محمدی، اردشیر. (۱۴۰۰). مدیریت صحنه نبرد در پدافند هوایی، تهران: ارتش جمهوری اسلامی ایران - دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا - انتشارات دافوس
- ذوالفقاری و همکاران (۱۴۰۱). نوآوری در فناوری نظامی، با تأکید بر تسلیحات لیزری آمریکا، *فصلنامه علمی آماد و فناوری دفاعی*، ۶(۱۷)، ۸۴-۵۵.
- غفاری، بهزاد (۱۴۰۰). تبیین مؤلفه‌های اثرگذار بر بُعد فیزیکی ارتقای توان رزمی پدافند هوایی جمهوری اسلامی ایران جهت مقابله با تهدیدهای هوایی آینده. *راهبرد دفاعی*، ۱۹(۷۳)، ۱۵۳-۱۸۴.
- قنوت، مسعود. (۱۳۸۷). *طرح‌ریزی به‌کارگیری جنگ افزارهای پدافند زمین به‌هو*، تهران: دانشگاه هوایی شهید ستاری.
- نبوی و همکاران (۱۳۹۸). اساس لیزر و کاربرد آن در صنعت روز. *مجله علمی مهندسی مکانیک*، ۲۸(۱۲۷)، ۶۱-۷۱.
- محمدیگی، مهدی و رضاپور کورنده پور، ابوالحسن. (۱۳۹۵). واکاوی کارایی سلاح‌های لیزری پرتوان علیه شناورهای تندرو، *دوفصلنامه مهندسی شناورهای تندرو*، ۴۵(۱۵)، ۲۶-۳۴

موحدی‌نیا، جعفر (۱۳۸۳). دفاع غیرعامل. تهران: مرکز برنامه‌ریزی و تالیف کتابهای درسی سپاه پاسداران انقلاب اسلامی

واژه‌های مصوب فرهنگستان، ۱۳۸۸

- Ahmed, S. A., Mohsin, M., & Ali, S. M. Z. (2021). Survey and technological analysis of laser and its defense applications. *Defence Technology*, 17(2), 583–592.
- Solodov, A., Williams, A., Al Hanaei, S., & Goddard, B. (2018). Analyzing the threat of unmanned aerial vehicles (UAV) to nuclear facilities. *Security Journal*, 31, 305–324.
- Kaushal, H., & Kaddoum, G. (2017). Applications of lasers for tactical military operations. *IEEE Access*, 5, 20736–20753.
- Nafisah, S., Tukiran, Z., Sheng, L. W., Rohim, S. N., Teck, V. S. I., Razali, N. L., & Morsin, M. (2021). Laser technology applications in critical sectors: Military and medical. *Journal of Electronic Voltage and Application*, 2(1), 38–48.
- Perram, G. P., Marciniak, M. A., & Goda, M. (2004). High-energy laser weapons: Technology overview. In *Laser Technologies for Defense and Security* (Vol. 5414, pp. 1–25).
- Taylor, A. B. (2021). *Counter-unmanned aerial vehicles study: Shipboard laser weapon system engagement strategies for countering drone swarm threats in the maritime environment* (Doctoral dissertation). Naval Postgraduate School, Monterey, CA.
- Zohuri, B., & Zohuri, B. (2016). Laser weapons. In *Directed energy weapons: Physics of high energy lasers (HEL)* (pp. 47–77).