

بررسی چالش‌های مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین

اردشیر محمدی^۱

حسین نواده توپچی*^۲

ایرج فروزان^۳

حسین شکوهی^۴

ابراهیم ایجایی^۵

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

هدف این پژوهش بررسی چالش‌های مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در صحنه نبرد آینده و ارائه راهکارهایی برای حل مشکلات و موانع موجود می‌باشد. این پژوهش از نوع کاربردی است و از روش‌های مطالعه کتابخانه‌ای و مراجعه به اسناد و مدارک و ابزار پرسشنامه برای گردآوری داده‌ها و از نمونه‌گیری هدفمند برای انتخاب حجم نمونه جامعه آماری مورد تحقیق استفاده شده است. برای وزن دهی و تعیین اولویت چالش‌های دفاع هوایی (سامانه‌های کشف، سامانه‌های فرماندهی و کنترل و سامانه‌های سلاح) بر متغیر وابسته (مقابله با سامانه هواپیمای بدون سرنشین) از روش AHP استفاده شده است. نتایج حاصله از انجام تحقیق، نشان داد که متغیرهای اصلی تحقیق با ضریب هماهنگی کمتر از ۱۰٪ بر مقابله با سامانه هواپیمای بدون سرنشین تاثیر دارد. پیشنهادهای این تحقیق تاکید و اهتمام بیشتر فرماندهان دفاع هوایی بر چالش‌های قید شده به ترتیب نتایج تحقیق و نیز لزوم ارتقاء سامانه‌های دفاع هوایی در صحنه‌های نبرد آینده، با الویت اتخاذ استراتژی‌های دفاعی جامع و ارتقاء قابلیت‌های کشف هواپیمای بدون سرنشین با سطح مقطع راداری کم و بکارگیری فناوری‌های نوین در سامانه‌های سلاح بوده است.

واژه‌های کلیدی:

دفاع هوایی، سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین، صحنه نبرد آینده.

^۱ عضو هیئت علمی دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران.

^۲ استادیار علوم دفاعی راهبردی دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، تهران، ایران.

^۳ استادیار علوم دفاعی راهبردی دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، تهران، ایران.

^۴ دانشیار دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی، تهران، ایران.

^۵ استادیار دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Email: htoupchi@gmail.com



مقدمه

در دهه‌های اخیر، سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین (UAS)¹ در خدمات مختلف نظامی به کار گرفته شده‌اند، از سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین دستی کوچک گرفته تا سامانه‌های تاکتیکی و هواپیماهای خلبان از راه دور (RPA)² بزرگ با مداومت پروازی طولانی در ارتفاع متوسط و بالا، در عین حال بازار غیرنظامی شاهد رشد تصاعدی سامانه‌های عمدتاً کوچک‌تر این نوع سامانه‌ها است؛ که برای استفاده عمومی و تفریحی در نظر گرفته می‌شوند. با این حال به دلیل افزایش سوءاستفاده از هواپیماهای بدون سرنشین تجاری و تفریحی خارج از قوانین و مقررات (COTS)³ در مجاورت فرودگاه‌ها، در فضای عمومی و تأسیسات نظامی، این نوع استفاده مورد توجه نهادهای مجری قانون و جوامع حفاظتی و نیروهای نظامی قرار گرفته است. امروزه دفاع در برابر سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین نه تنها یک ضرورت در زمان جنگ است بلکه به یک اقدام مهم و ضروری در زمان صلح نیز تبدیل شده است. به تازگی، صنایع مختلف با توسعه حسگرها و سامانه‌های درگیری و انهدام برای مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین (C-UAS)⁴، و استفاده عمومی و تفریحی از آنها واکنش نشان داده‌اند. این سامانه‌ها به طور خاص برای تشخیص، ردیابی و انهدام اجسام پرنده ارتفاع کم، سرعت کم و کوچک (LSS)⁵ طراحی شده‌اند، سازمان آتلانتیک شمالی (ناتو)⁶ با انجام یک سری مطالعات⁷ با محوریت دفاع در برابر تهدیدات هوایی ارتفاع کم، سرعت کم و کوچک LSS و ایجاد یک گروه کاری مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین با تمرکز بر سوءاستفاده تروریستی از سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین به این تهدید جدید واکنش نشان داد. (NATO C-UAS WG, 2019) با این حال، فناوری به سرعت در حال توسعه است، در بسیاری از موارد، سریع‌تر از آنچه صنایع دفاعی یا سازمان‌ها که بتوانند واکنش نشان دهند. در نتیجه، نیروهای نظامی باید استفاده دشمن از سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین را در مجموعه مأموریت‌های مشابه، با طیفی از اطلاعات، نظارت و شناسایی (ISR)⁸ تا حملات هوایی بدون سرنشین انجام شده به وسیله خط دید مستقیم (LOS)⁹ و همچنین ارتباطات فراتر

¹ UAS: Unmanned Aircraft Systems

² RPA: Remotely Piloted Aircraft

³ COTS: Commercial-Off-The-Shelf

⁴ CUA: Countering Unmanned Aircraft Systems

⁵ LSS: Low, Slow and Small

⁶ NATO: North Atlantic Treaty Organization

⁷ NATO Science & Technology Organization (STO), 'SCI-301-RTG Defeat of Low Slow and Small (LSS) Air Threats'

⁸ Intelligence, Surveillance & Reconnaissance

⁹ LOS: Line of Sight

از خط دید، (BLOS)^۱، با استفاده از طیف الکترومغناطیسی و حوزه فضا به همان شیوه پیش‌بینی کنند. امروزه به‌طور مختصر تلاش‌ها با طیفی از ملاحظات جهت مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین انجام می‌شود، اما برای پوشش همه جنبه‌های دفاعی در برابر عملیات احتمالی دشمن در زمان صلح و جنگ توسط این سامانه‌ها کافی نیست. (André, 2014) برای درک طیف کامل مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین، توجه به این نکته ضروری است که تمرکز انحصاری بر روی هواپیماهای بدون سرنشین (UA)^۲ یا «پهپاد» خاصی تصویر کامل را ارائه نمی‌دهد. بسته به اندازه و کاربرد آن‌ها، سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین به چند دسته تقسیم می‌شوند و از اجزای متعددی تشکیل شده‌اند؛ بنابراین برای مقابله مؤثر با این سامانه این سامانه‌ها لازم است رویکردهای متناسب و متفاوتی اتخاذ کرد.

از سوی دیگر، بسیاری از سامانه‌های دفاع هوایی کنونی، برای کشف، ردگیری و درگیری با هواپیماهای متعارف که برای رهاسازی بمب‌ها و نابودسازی هدف، باید تا نزدیکی آنها پرواز کنند، تکامل یافته‌اند؛ ولی توانایی این جنگ‌افزارها بر ضد تهدیدهای کنونی و نسل آینده به‌طور چشم‌گیری کاهش یافته است، (André, 2014: P13) سامانه‌های دفاع هوایی، باید توانایی رویارویی با تهدیدهایی چون هواپیماهای سرنشین‌دار متعارف، هواپیماهای رادار گریز، موشک‌های هوا به زمین، موشک‌های کروز، موشک‌های دورایستا؛ موشک‌های ضد رادار و هواپیماهای بدون سرنشین را داشته باشند. اما دشوارترین بخش مقابله با تهدیدهای هواپیماهای بدون سرنشین با سطح مقطع راداری خیلی کم و به کارگیری فناوری رادار گریزی^۳ است. در سال‌های اخیر اقداماتی برای مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین در زمینه‌های دکترین و تاکتیک‌ها، تکنیک‌ها و رویه‌ها توسط نیروهای نظامی در سراسر دنیا صورت گرفته است. با توجه به کامل نبودن آن‌ها و عدم پوشش تمامی جنبه‌های تهدیدات هواپیماهای بدون سرنشین در زمان صلح و جنگ، و توسعه روزافزون استفاده از آنها در زمان صلح و جنگ، مطالعه و بررسی بیشتر برای شناخت چالش‌های دفاع در برابر آنها ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش در پی بررسی چالش‌های مقابله با سامانه هواپیماهای بدون سرنشین و تاثیر آن بر سامانه دفاع هوایی در صحنه نبرد آینده است. در بخش انتهایی این پژوهش به منظور استخراج چالش‌های مهم و اساسی مقابله با سامانه هواپیماهای بدون سرنشین، عوامل مؤثر بر سامانه دفاع هوایی به سه حوزه کشف، فرماندهی و کنترل و سامانه سلاح‌ها، طبقه‌بندی شده است و از بین چالش‌های متعدد بر اساس پرسشنامه‌های تنظیم شده

¹ BLOS: Beyond Line of Sight

² UA: Unmanned Aircraft

³ Stealth

به ترتیب چالش‌هایی که از ضرایب بیشتری برخوردار و موثرتر و مرتبط‌تر بودند تعیین گردیدند؛ سپس اهمیت و وزن هر یک از عوامل با استفاده از روش AHP و مقایسه دودو عوامل تعیین شدند.

مبانی نظری تحقیق

طبقه‌بندی سامانه‌های هواپیماهای بدون سرنشین

ناتو سامانه هواپیماهای بدون سرنشین UAS را به سه کلاس اختصاصی برابر جدول زیر، از کلاس I برای خیلی کوچک (میکرو)^۱، کوچک‌تر (مینی)^۲ و کوچک^۳، کلاس II برای سامانه‌های تاکتیکی متوسط (MALE)^۴ و کلاس III برای هواپیماهایی با استقامت طولانی‌مدت^۵ (HALE) طبقه‌بندی می‌شوند. (ATP-3. 3. 8. 1, 2019) با مقایسه سه کلاس مختلف، کاربرد، اندازه و ارتفاع عملیاتی آن‌ها به‌تنهایی، می‌توان نتیجه گرفت که مقابله با این طیف از UAS نیاز به انبوهی از رویکردهای مختلف برای هر کلاس خاص دارد. هواپیماهای بدون سرنشین UA می‌تواند بال ثابت یا بال چرخشی داشته باشد و برخی حتی دارای طرح‌های پنهان‌کاری باشند. سامانه‌های کوچک‌تر (کلاس یک) معمولاً از اصل بال چرخشی پیروی می‌کنند، درحالی‌که سامانه‌های بزرگ‌تر (کلاس سه) تقریباً منحصراً از طراحی بال ثابت استفاده می‌کنند. سامانه‌های تاکتیکی (کلاس دو) از هر دو اصل پیروی می‌کنند. طرح‌های پنهان‌کار عمدتاً با هواپیماهای بزرگ HALE، اما گاهی اوقات با سامانه‌های تاکتیکی نیز یافت می‌شود. (NATO C-UAS WG, 2019, P14)

جدول (۱) طبقه‌بندی سامانه‌های هواپیماهای بدون سرنشین (Castrillo, 2022: P,3)

ریز پهپاد کمتر از ۱۵ کیلوگرم، پهپاد کوچک از ۱۵ تا ۱۵۰ کیلوگرم	کلاس I ^۶
پهپاد تاکتیکی از ۱۵۰ کیلوگرم تا ۶۰۰ کیلوگرم	کلاس II ^۷
HALE/MALE ^۹ بزرگ‌تر از ۶۰۰ کیلوگرم	کلاس III ^۸

هواپیماهای بدون سرنشین بزرگ‌تر می‌توانند در ارتفاعات تا ۳۰، ۰۰۰ پا و در برخی موارد حتی بالاتر کار کنند. بخش سطح مقطع رادار (RCS)^{۱۰} این هواپیماها قابل‌مقایسه با سایر هواپیماهای قدیمی است، بنابراین می‌توان با آنها توسط اکثر سیستم‌های دفاع هوایی و موشکی

^۱ Micro

^۲ Mini

^۳ Small

^۴ MALE: Medium-Sized, Tactical Systems

^۵ HALE: High-Altitude Long-Endurance

^۶ Class I

^۷ Class II

^۸ Class III

^۹ HALE/MALE: High-Altitude Long-Endurance, Medium-Altitude Long-Endurance.

^{۱۰} RCS: Radar Cross Section

(AMD)^۱ شناسایی و درگیر شد. با این حال، مهمات مدرن زمین به هوا ارزان نیست و برای درگیر شدن با اهداف بارزش بالا طراحی شده است. تعداد زیاد یا انبوهی از هواپیماهای بدون سرنشین ارزان قیمت ممکن است به سرعت و نسبت هزینه و سود، سیستم‌های دفاع هوایی و موشکی سنتی را ناکارآمد کرده و کار آیی سیستم‌های فعلی را کاهش دهند. پدافند هوایی کوتاه برد (SHORAD)^۲، سیستم‌های ضد موشک، توپخانه و خمپاره (C-RAM)^۳ و حتی توپخانه ضد هوایی قدیمی ممکن است یک دفاع مؤثر، اما کارآمد در برابر هواپیماهای بدون سرنشین ارائه دهد (André, 2020). تفاوت هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) با درون^۴: اصطلاحات «هواپیماهای بدون سرنشین (UA)» و درون و همچنین اختلاف مانند «وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین» (UAV)^۵ یا «هواپیماهای خلبان از راه دور» (RPV)^۶ اغلب به جای یکدیگر استفاده می‌شوند، اما در واقع به طور عمدی برای انعکاس ویژگی‌ها یا تائیدیه‌های سامانه‌های بدون سرنشین و کلاس‌های خاصی تعریف شده‌اند در صورت لزوم مقابله با این سامانه‌ها، مهم‌ترین عوامل، پیچیدگی کلی سامانه و اندازه هواپیما است؛ بنابراین، این مقاله دسته‌ها و طبقات مختلف سامانه‌های بدون سرنشین را تحت دو عبارت زیر خلاصه می‌کند: اصطلاح «هواپیماهای بدون سرنشین (UA)^۷» مجموعه‌ای از وسایل نقلیه را توضیح می‌دهد، و از واژه «UA» برای پرداختن به سامانه‌های نظامی که در دسته‌های II و III ناتو قرار دارند استفاده می‌کند. UA معمولاً بخشی از یک سامانه پیچیده است که می‌تواند شامل ایستگاه‌های کنترل زمینی اختصاصی، عناصر کنترل مأموریت، چندین خدمه هوایی، سامانه ارتباطی نظامی و همچنین زیرساخت‌های اختصاصی برای تدارکات و نگهداری باشد. هواپیماهای بدون سرنشین معمولاً توسط کارکنان آموزش دیده و اغلب خلبانان واجد شرایط اداره می‌شود تا با خیال راحت در کنار دیگر کاربران حریم هوایی فعالیت کنند.

^۱ Air and Missile Defense

^۲ Short-Range Air Defense

^۳ C-RAM or Counter-RAM Rocket, Artillery, and Mortar

^۴ DRONE: Dynamic Remotely Operated Navigation Equipment

تجهیزات پیمایش از راه دور پویا

^۵ UAV: Unmanned Aerial Vehicle

اصطلاح وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAV) دیگر توسط ناتو استفاده نمی‌شود، اما اغلب هنوز در حوزه‌های عمومی استفاده می‌شود.

^۶ RPA: Remotely Piloted Aircraft

اصطلاح هواپیمای خلبان از راه دور (RPA) برای نشان دادن این مورد استفاده می‌شود که UA باید توسط خلبان کنترل شده و تحت استانداردهای مشابه خلبان هواپیمای سرنشین دار آموزش دیده باشد.

^۷ UA: Unmanned Aircraft

وقتی نه تنها به هواپیما بلکه سایر اجزای سامانه یا کل سامانه اشاره می‌شود، از اصطلاح «سامانه هواپیمای بدون سرنشین» یا «UAS»^۱ استفاده می‌کنیم. اصطلاح «هواپیمای بدون سرنشین درون» معمولاً برای انواع سامانه‌های بدون سرنشین استفاده می‌شود و به‌طور گسترده در حوزه مدنی و شخصی پذیرفته شده است. از این رو، از اصطلاح «هواپیمای بدون سرنشین درون» برای پرداختن به انواع سامانه‌های مصرفی و تجاری استفاده می‌شود که به‌طور کلی کوچک‌تر و پیچیده‌تر از همتایان نظامی خود هستند. «هواپیمای بدون سرنشین درون» دلالت بر این دارد که این سامانه معمولاً توسط یک فرد و لزوماً یک اپراتور واجد شرایط، توسط کنترل از راه دور به‌صورت دستی، در مجاورت نسبتاً نزدیک هواپیما و تحت شرایط خط دید (LOS)^۲ اداره می‌شود؛ همچنین از «هواپیمای بدون سرنشین» برای اکثر سامانه‌های نظامی که در رده کلاس ناتو قرار می‌گیرند استفاده می‌شود، زیرا اندازه و پیچیدگی آن‌ها با مدل‌های مصرف‌کننده تجاری موجود قابل مقایسه است، بنابراین هنگام مقابله با آن‌ها نیاز به رویکردی مشابه است. (WG,2019: 30)

چالش‌های مقابله با پهپادها در جنگ‌های آینده

بخش عمده‌ی جنگ‌های آینده از انسان محوری به سمت تجهیزات محوری و به ویژه تجهیزات هوایی مهم و حیاتی پیش می‌رود. پهپادها با استفاده از جثه کوچک، سرعت و قدرت مانور بالا و خاصیت پنهان‌کاری (شناساگریز) می‌توانند در عملیات نفوذ به حریم هوایی دشمن و انجام مأموریت‌های جاسوسی، مراقبت (نظارت) و توقف دفاع هوایی دشمن، مورد استفاده قرار گیرند. برای پهپادها به عنوان سکوی جدید تسلیحاتی، ویژگی‌ها و مزایایی به شرح ذیل را بر می‌شمارند:

جدول (۲) نقش پهپاد در جنگ‌های آینده (مختاریان، ۸۲-۱۳۸۱ص ۶۸)

ردیف	نقش پهپاد در جنگ‌های آینده
۱	سرعت و قدرت مانور بالای پهپادها
۲	منحرف کردن سامانه پدافند هوایی دشمن
۳	انجام مأموریت‌های دشوار جاسوسی و مراقبتی
۴	فناوری حساس و واکنش سریع
۵	نفوذ به حریم هوایی دشمن
۶	پنهان‌کاری (رادارگریزی)
۷	تداوم پروازی
۸	فناوری برتر و غیره...

^۱ UAS: Unmanned Aircraft Systems

^۲ LOS: Line-of-Sight

همچنین در جنگ‌های آینده پهپادها می‌توانند به‌عنوان اهداف کاذب مورد استفاده قرار گیرند (مختاریان، ۸۲-۱۳۸۱ص ۶۶-۶۸). عواملی چون سطح مقطع راداری کم، سرعت پایین و علائم حرارتی نه چندان زیاد، شناسایی و هدف قراردادن پهپاد را مشکل نموده است و این قابلیت، انعطاف‌پذیری آن‌ها را در صحنه‌های نبرد افزایش خواهد داد. پروفایل‌های مختلف پروازی و استفاده از عوارض طبیعی نیز باعث افزایش مضاعف قابلیت نفوذ به منطقه دشمن در این سیستم می‌شود. پهپادها که در عملیات‌های مختلف شرکت دارند در ارتفاع پروازی ایمنی نسبت به سلاح‌های انفرادی نفرات دشمن انجام وظیفه می‌کنند. در جنگ‌های آینده سامانه‌های پهپادی در امر نظارت بر تحرکات دشمن، جمع‌آوری اطلاعات و ارسال آن به مراکز فرماندهی کاربرد دارد و از نظر فنی در برنامه‌های عملیاتی فرماندهان در میادین نبرد قابل استفاده هستند. همچنین قادرند تمام نیازهای عملیاتی را برآورده سازند؛ لذا گرایش متداول نیروی هوایی به استفاده از جنگنده‌های سرنشین‌دار نباید مانع بهره‌گیری از پهپادهای جنگنده در جنگ‌های پیچیده آینده گردد. علاوه بر وظیفه جمع‌آوری اطلاعات، نقش پهپادها در آینده شامل جنگ الکترونیک، حمله زمینی، فریب و سرکوبی دفاع هوایی دشمن خواهد بود. این سامانه‌ها همچنین کاندیداهای خوبی برای پیاده‌سازی برنامه تکنولوژی پنهان‌کاری بوده و دارای شرایطی مناسب برای تبدیل شدن به سیستم‌های موشکی کروزر هستند (گودرزی، ۱۳۸۷ص ۱۴۰).

با گسترش سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین و هواپیماهای بدون سرنشین درون در دو دهه گذشته شاهد تکامل توانمندی‌های بدون سرنشین نظامی، عمدتاً در حوزه هوایی بوده‌ایم. موفقیت عملیات UAS در سراسر جهان علیه تروریسم و همچنین استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین توسط خود تروریست‌ها، تقاضای بی‌سابقه‌ای را برای این سامانه‌ها در هر دو طرف ایجاد کرد. حداقل ۹۵ کشور در حال حاضر دارای UAS هستند یا برنامه‌های توسعه خود را اجرا می‌کنند. (Dan, 2019)

محیط‌های نبرد آینده

برخلاف اکثر رشته‌های نظامی، چالش دفاع در برابر سامانه هواپیماهای بدون سرنشین محدود به یک سناریوی زمان جنگ نیست. در عوض، بخش قابل توجهی از کار مقابله با هواگردهای بدون سرنشین از قبل باید به‌عنوان یک وظیفه در زمان صلح بررسی شود.

زمان جنگ: نه‌تنها در یک سناریوی درگیری برابر و رودررو، بلکه در طول سطوح پایین‌تر تشدید تنش بین طرف‌های درگیری، استفاده متخاصم از سامانه‌های بدون سرنشین علیه نیروهای نظامی در سراسر طیف کلاس‌ها و قابلیت‌های UAS باید پیش‌بینی شود. به‌خصوص در مراحل

اولیه یک درگیری در حال توسعه، UAS ممکن است انتخاب ارجح باشد زیرا خطر تلفات انسانی را در بر نمی‌گیرد، بنابراین پتانسیل تشدید را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، این ممکن است آستانه بکارگیری UAS را نیز کاهش دهد که به نوبه خود نیاز به مقابله با این سامانه‌ها را در مراحل اولیه افزایش می‌دهد. در زمان جنگ، نیروهای نظامی می‌توانند از طیف کامل فعالیت‌های رزمی برای مقابله با پهپاد استفاده کنند که فقط مانند هر اقدام جنگی توسط حقوق بین‌الملل بشردوستانه (IHL)^۱، قوانین درگیری‌های مسلحانه (LoAC)^۲ و قوانین درگیری (RoE)^۳ محدود می‌شود. این لزوماً به این معنا نیست که مقابله با پهپاد در زمان جنگ آسان‌تر از زمان صلح خواهد بود، اما مجموعه اقدامات نظامی بالقوه به‌طور قابل توجهی گسترده‌تر است و شامل هدف قرار دادن تأسیسات زمینی و کارکنان پهپاد - و گزینه‌های درگیری محدودتر هستند.

زمان صلح: تهدید UAS در زمان صلح را می‌توان تقریباً به‌طور انحصاری به هواپیماهای بدون سرنشین مصرفی و تجاری محدود کرد، در حالی که در عین حال، تهدید سامانه‌های نظامی بزرگ‌تر را می‌توان تقریباً نادیده گرفت، با این فرض که نظارت منظم حریم هوایی برای بازدارندگی کشورهای خارجی از ورود غیرمجاز به سیستم ملی فضای هوایی (NAS)^۴ آن کافی است. چالش اصلی مقابله با پهپاد در زمان صلح، دفاع از حریم هوایی نیست، بلکه مشکل شناسایی تهدیدات پهپادها در وهله اول است و سپس ایمن‌سازی تأسیسات نظامی و زیرساخت‌های غیرنظامی حیاتی از نفوذ غیرمجاز و آسیب احتمالی، در عین حال، زمان، قوانین داخلی معمولاً فعالیت‌های نظامی را به حداقل محدود می‌کند. در نهایت، حفاظت و ایمنی جمعیت غیرنظامی بر همه اقدامات دفاعی اولویت دارد که به‌طور قابل توجهی گزینه‌های «سنتی» برای دفاع در برابر اشیاء پرنده را محدود می‌کند. به‌سادگی هیچ آسیب جانبی قابل قبولی در زمان صلح وجود ندارد. به‌عنوان مثال، مانور دادن پهپادها به مکان‌های امن یا فرود آن‌ها به شیوه‌ای کنترل شده قبل از انجام اقدامات متقابل نهایی که از این‌رو، رویکردهای جدیدی مورد نیاز است. (NATO C-UAS WG, 2019: P,40)

منفی کاذب و مثبت کاذب: به‌منظور مفید بودن، سامانه‌های تشخیص مقابله با سامانه‌های بدون سرنشین C-UAS باید سطوح پایینی از منفی کاذب و مثبت کاذب در سامانه‌های کشف تولید کنند. دستیابی به این امر دشوار است. عناصر شناسایی C-UAS باید به‌اندازه کافی حساس باشند تا تمام پهپادهای فعال در منطقه مورد استفاده را شناسایی کنند، اما سامانه‌هایی که بیش از حد حساس هستند ممکن است تعداد قابل توجهی از موارد مثبت کاذب ایجاد کنند و

^۱ IHL: International Humanitarian Law

^۲ LoAC: Laws of Armed Conflict

^۳ RoE: Rules of Engagement

^۴ NAS: National Airspace System

سامانه را غیرقابل استفاده کنند. با توجه به نتایج آزمایش سامانه‌های ضد پهپاد FAA، تشخیص مثبت‌های واقعی از مثبت کاذب در محیط‌های به‌هم‌ریخته نیازمند «سطح بالایی از نیروی انسانی» است. (John R, 2018)

تشخیص استفاده مشروع و غیرقانونی از پهپاد: در محیط‌های عملیاتی آینده که استفاده مشروع و مجاز از پهپاد رایج است، برای اپراتورهای C-UAS اهمیت فزاینده‌ای خواهد داشت که بتوانند بین پهپادهای مجاز و قانونی و غیرقانونی تمایز قائل شوند. به‌عنوان مثال، در یک رویداد ورزشی بزرگ ممکن است، فضای هوایی مملو از پهپادهای قانونی فیلم‌برداری در کنار پهپادهای غیرمجاز که خطری امنیتی ندارند وجود باشد، به گفته یکی از مقامات دخیل در عملیات، تیم ضد پهپاد پلیس فدرال آمریکا (FBI)^۱ در طول استقرار خود در جام بوول ۲۰۱۹، فقط «چند ثانیه» از سرکوب پهپادی که معلوم شد، به‌عنوان بخشی از یک سرویس سینمایی تحریم شده فعالیت می‌کرد فاصله داشته‌اند. به‌ویژه با توجه به خطرات بالقوه انهدام پهپاد در محیط‌های غیرنظامی، اپراتورهای C-UAS باید ابزارهایی را برای تعیین سریع و قابل‌اعتماد سطح تهدید یک پهپاد ورودی بر اساس اطلاعات محدود ارائه‌شده توسط فناوری‌های شناسایی موجود توسعه دهند^۲ فناوری شناسایی از راه دور ممکن است پس از اجرا، راه زیادی برای رسیدگی به این مشکل داشته باشد، اما به‌طور کامل رفع نخواهد شد. در حوزه نظامی، این نیز می‌تواند یک مسئله باشد. یک سامانه C-UAS که نمی‌تواند تفاوت بین هواپیماهای بدون سرنشین متحد و دشمن را تشخیص دهد، می‌تواند به‌طور تصادفی پهپادهای دوست را ساقط کند (Dan & Arthur, 2017).

زمان تصمیم‌گیری: اپراتورهای ضد پهپاد ممکن است فقط یک بازه زمانی بسیار کوتاه برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه آیا پهپاد ورودی واقعاً مخرب است، داشته باشند. به‌عنوان مثال، در نظر بگیرید که یک تیم امنیتی با یک سامانه ضد پهپاد که برد شناسایی مؤثر ۷۵۰ متر و یک عنصر بازدارنده دارد که در صورت فعال شدن می‌تواند سطح معینی از خطر را برای جمعیت ایجاد کند، از یک اجتماع بزرگ محافظت می‌کند (بخش زیر را ببینید). اگر یک پهپاد با سرعت ۱۵ متر در ثانیه به سمت جمعیت حرکت کند (سرعتی نسبتاً استاندارد برای بسیاری از سامانه‌های تجاری موجود در بازار امروز)، تیم کمتر از ۵۰ ثانیه برای تصمیم‌گیری در مورد پاسخ مناسب خواهد داشت. به لطف پیشرفت‌ها در فناوری‌های پیشرفته، پهپادهای تجاری موجود در سال‌های

^۱ FBI: Federal Bureau of Investigation

^۲ برخی سامانه‌ها ممکن است بتوانند شماره ثبت پهپاد را شناسایی کنند که می‌تواند به این تخمین کمک کند، اما چنین سامانه‌هایی هنوز نمی‌توانند بدون تردید معقول ثابت کنند که یک پهپاد در همان لحظه باهدفی مخرب کار می‌کند. به‌عنوان مثال، تصور کنید که یک کاربر غیرمجاز از یک پهپاد دزدیده‌شده برای انجام یک حمله استفاده می‌کند.

آینده بسیار سریع‌تر می‌شوند و پنجره پاسخ مناسب برای C-UAS را بیشتر خطرات بازدارندگی بسیاری از -اگر نه همه- تکنیک‌های جلوگیری از هواپیماهای بدون سرنشین می‌توانند در شرایط خاص خطرناک باشند. پهپادهای که پروازشان با وسایل جنبشی قطع می‌شود ممکن است با نیروی قابل توجهی به زمین بیفتند. حتی برخی از سامانه‌های مبتنی بر شبکه که مجهز به چتر نجات هستند تا پهپاد در دام را به زمین بیاورند. اگر چتر نجات به درستی مستقر نشود یا اگر ممانعت در ارتفاع کم رخ دهد، روش کنترل شده ممکن است خطرناک باشد. عناصر بازدارنده برای برخورد با یک پهپاد متحرک باید بسیار دقیق باشند و در صورت غیبت می‌توانند برای ناظران خطرناک باشند. عوامل دوربرد مانند لیزرها و امواج ماکروویو پر قدرت می‌توانند تهدیدی جدی برای هواپیماهایی باشد که در بالای یک پهپاد هدف قرار می‌گیرند. در همین حال، سامانه‌های پرازیت می‌توانند با پیوندهای ارتباطی قانونی در مجاورت خود تداخل ایجاد کنند. برای مثال، اگر در فرودگاه مورد استفاده قرار گیرند، می‌توانند عملیات مدیریت ترافیک هوایی را مختل کنند.^۱ استفاده از سامانه‌های جعل یا پرازیت GPS، به‌ویژه در مناطقی که سایر نهادها به ناوبری GPS قابل اعتماد متکی هستند، خطرناک است (مثلاً هواپیماهای سرنشین دار در یک فرودگاه). کاهش می‌دهند. (Paulina J, 2018)

اثربخشی سامانه‌های سلاح: مانند سامانه‌های تشخیص، هیچ سامانه سلاح ممانعتی صد درصد مؤثر نیست. پس از یک تمرین پنج‌روزه ضد پهپاد در سال ۲۰۱۷ که در آن شرکت‌های دفاعی و استارت‌آپ‌های متعددی محصولات ضد پهپاد خود را روی پهپادهای که در فاصله تقریباً ۲۰۰ متری کار می‌کردند آزمایش کردند، سازمان مشترک شکست بداهه تهدید که این رویداد را برگزار کرد، گزارش داد که پهپادها، به‌طور کلی، «بسیار انعطاف‌پذیر در برابر آسیب» بودند و به این نتیجه رسیدند که بیشتر سامانه‌های C-UAS نیاز به توسعه بیشتر دارند. تمرینات اخیر C-UAS نشان می‌دهد که این مشکل همچنان یک مشکل پایدار است. مانند سامانه‌های تشخیص، همه سامانه‌های بازدارنده دارای اشکالات خاصی هستند:

- سامانه‌های پرازیت فرکانس رادیویی هیچ تأثیری در برابر هواپیماهای بدون سرنشینی که بدون پیوند فرکانس رادیویی فعال عمل می‌کنند ندارند.
- بسیاری از مسدودکننده‌های سیگنال برد مؤثر محدودی در حدود چند صد متر دارند، به این معنی که سامانه باید بسیار نزدیک به هواپیمای بدون سرنشین متجاوز باشد تا بتواند با

^۱ سامانه‌های پرازیت پیشرفته که فقط فرکانس کار پهپاد مورد نظر را مسدود می‌کنند و همچنین آنتن‌های پرازیت مستقیم، ممکن است با ارتباطات قانونی تداخل ایجاد کند، اما این فناوری تازه در حال ظهور در بازار است و هنوز به‌عنوان گواهی‌نامه کاملاً ایمن تأیید نشده است...

موفقیت آن را کاهش دهد و بدون دیدمستقیم به پهباد مؤثر نیستند. پارازیت‌هایی که قادر به کار در فواصل طولانی و فراتر از خط دید هستند باید به‌طور قابل توجهی قدرتمندتر باشند، اما پارازیت‌های قوی‌تر نیز خطر تداخل بیشتری برای ارتباطات قانونی دارند. (Eric, 2017)

• همه سامانه‌های جنبشی ممکن است با هواپیماهای بدون سرنشینی که به‌سرعت یا در الگوهای غیرقابل پیش‌بینی حرکت می‌کنند مبارزه کنند. (و هنگامی که آن‌ها طبق برنامه کار خود را انجام می‌دهند ممکن است اجزای هواپیمای بدون سرنشین را که برای تحقیقات قانونی ضروری است از بین ببرند).

• در همین حال، ساخت و پیاده‌سازی سامانه‌های جعل از لحاظ فنی بسیار دشوار است و ممکن است به‌طور جهانی در برابر همه هواپیماهای بدون سرنشین مؤثر نباشد. به‌عنوان مثال، هواپیماهای بدون سرنشینی که با لینک‌های ارتباطی محافظت‌شده ساخته شده‌اند، می‌توانند در برابر حملات جعل مقاوم باشند. (همان منبع، ص ۹)

پیشرفت در فناوری هواپیماهای بدون سرنشین: فناوری هواپیماهای بدون سرنشین به‌خودی‌خود ثابت نمی‌ماند و پیشرفت‌ها در این زمینه چالش‌های جدیدی را برای سامانه‌های پهباد ضد پهباد ایجاد خواهد کرد. همان‌طور که بازار سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین گسترش می‌یابد و دامنه انواع هواپیماهای بدون سرنشین متنوع‌تر می‌شود، سامانه‌های ضد هواپیماهای بدون سرنشین باید به‌اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشند تا پهبادهای را که در اشکال و اندازه‌های مختلف وجود دارند شناسایی و خنثی کنند. این هواپیماها می‌توانند از هواپیماهای بدون سرنشین بزرگ که قادر به حمل محموله‌های سنگین با سرعت‌های بسیار بالا هستند تا پهبادهای نظارتی کوچک با پرواز کم که ممکن است تنها چند گرم وزن داشته باشند را شامل شود. این تهدید هر سه تا شش ماه یک‌بار در حال تغییر است - این فقط تطبیقی است... به دلیل ماهیت تطبیقی مشکل توانایی استفاده از پهبادهای کوچک به طرق مختلف و نمی‌توانید به آن اعتماد کنید، این یک چالش مداوم خواهد بود. روی یک تکنیک برای پاسخ به آن‌ها. (Vayl S, 2019)

همچنین پیشرفت‌های فناوری فردی در حال ظهور هستند که چالش‌های منحصربه‌فردی را از منظر پهباد ضد پهباد ایجاد می‌کنند. شاید در کوتاه‌مدت مهم‌ترین تحقیق فعال برای توسعه پهبادهای باشد که می‌توانند در محیط‌های محروم از GPS کار کنند (G. Balamurugan, J. Valarmathi and V. P. S, 2016) که در برابر هر نوع پارازیت (که در حال حاضر رایج‌ترین روش منع در بازار است) مقاوم هستند. به‌عنوان مثال، طبق رسانه دولتی روسیه، ارتش روسیه در

حال برنامه‌ریزی برای استقرار پهپادهای نظارتی بدون گلوپاس در قطب شمال برای ردیابی شناورها در مناطق وسیع است. (Paulina, 2018) درحالی‌که آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفته دفاعی ایالات‌متحده درحال توسعه پهپادهای مولتی روتور مستقل و بدون GPS است که می‌تواند با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه حرکت کند.

سایر مسیرهای تحقیقاتی به دنبال توسعه سامانه‌هایی هستند که قادر به شکست دادن فعالانه حملات پارازیت یا جعل هستند. درنهایت، پهپادها می‌توانند طوری برنامه‌ریزی شوند که از فرکانس‌های خاص هدف‌گیری شده توسط یک پارازیت فرار کنند، یا باندهای فرکانسی را در طیف وسیعی تغییر دهند، یا یک سری مانورهای فرار را به محض تشخیص سیگنال پارازیت آغاز کنند. (Walker-Roberts & Hammoudeh, 2019) گیرنده‌های GPS مدرن نیز به‌طور فزاینده‌ای برای به حداقل رساندن تداخل از زمین طراحی می‌شوند که می‌تواند پارازیت آن‌ها با سامانه‌های زمینی را دشوار کند. سایرین با ویژگی‌هایی برای شناسایی حملات جعل دریافتی درحال توسعه هستند، در روشی مشابه، پهپادهای مصرفی ممکن است به‌زودی از طریق شبکه‌های LTE موبایل قابل کنترل باشند و نه از طریق پیوند RF. یک پهپاد LTE را می‌توان در چیزی که یک مقاله به‌عنوان (Yong, et al: 2018) «محدوده عملیات اساساً نامحدود» توصیف می‌کند، کار کرد که یافتن خلبان را سخت‌تر می‌کند. علاوه بر این، مهار پهپادهای LTE با سامانه‌های پارازیتی بدون تداخل در ارتباطات سلولی همه‌جا، دشوار یا خطرناک است. (Angus, 2019)

انگیزه همه این پیشرفت‌ها سخت‌تر کردن مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین است. تا حدودی طعنه‌آمیز، بسیاری از این پیشرفت‌ها ناشی از تلاش برای ایمن‌تر کردن هواپیماهای بدون سرنشین است. برخی از پهپادهای تجاری موجود امروزه قبلاً با سامانه‌های پرش فرکانس به‌صورت استاندارد عرضه می‌شوند، این ویژگی در نظر گرفته شده برای ایجاد پیوند انعطاف‌پذیرتر با اپراتور است که با این‌وجود می‌تواند هواپیما را در برابر پارازیت قوی‌تر کند. محققان دانشگاه زوریخ درحال توسعه یک پهپاد چند رو توری هستند که می‌تواند به‌طور خودکار از اجسام متحرک سریع در فاصله نزدیک طفره رود. ایده این است که هواپیماهای بدون سرنشین را قادر می‌سازد تا از موانعی مانند پرندگان یا هواپیماهای دیگر اجتناب کنند، اما همین ویژگی می‌تواند پهپاد را قادر سازد تا از تورها و سایر پرتابه‌ها اجتناب کند (Davide, et al, 2019)

گسترش فناوری C-UAS همچنین توسعه فناوری‌هایی را تسریع خواهد کرد که سامانه‌های C-UAS را کمتر مؤثر می‌کند - اقدامات متقابل در برابر اقدامات متقابل - به‌ویژه در محیط‌های نظامی. به‌عنوان مثال، پهپادها ممکن است طوری برنامه‌ریزی شوند که در الگوهای کار کنند که تشخیص آن‌ها را با الگوریتم‌های خودکار تشخیص هدف دشوار می‌کند. روتورها ممکن است برای

کاهش صدای موتور پهپاد اصلاح شوند تا بتواند از تشخیص صوتی جلوگیری کند. پهپادهای نظامی می‌توانند شروع به حمل دستگاه‌هایی برای تشخیص حملات جعل دریافتی کنند. پهپادها ممکن است به گونه‌ای طراحی شوند که امضای راداری آن‌ها کاهش یابد (برخی گمان می‌کنند که پهپادهای داعش اغلب دقیقاً به همین دلیل در نوار بسته می‌شوند. گروه‌ها ممکن است مکان «خانه» پهپاد مملو از مواد منفجره را به عنوان هدف موردنظر برنامه‌ریزی کنند، به طوری که اگر پهپاد مسدود شود و حالت «بازگشت به خانه» (یک ویژگی استاندارد در بسیاری از پهپادهای تجاری) را آغاز کند، مستقیماً به سمت نقطه اصلی پرواز کند. مکانی که اپراتورهای C-UAS سعی در محافظت از آن دارند. در نهایت، ظهور ازدحام پهپادها (تجمعات ساده از پهپادهای متعدد) طیفی از چالش‌های فنی بسیار آزردهنده را از منظر دفاعی به همراه خواهد داشت. ^۱ گروهی از پهپادها با هر سامانه بازدارنده‌ای که تعداد «شلات» کمتری نسبت به تعداد هواپیماهای موجود در آن دسته داشته باشد، پیشی می‌گیرد - برای مثال، گروهی متشکل از ده پهپاد در برابر یک توپ توری که فقط پنج تور را در خود جای می‌دهد، در نظر بگیرد. یک گروه همچنین می‌تواند هر سامانه ضد هواپیمای بدون سرنشین را با ناحیه شناسایی یا بازدارندگی مؤثرتر از گسترش خود ازدحام شکست دهد. برای مثال، پارازیت‌های جهت‌دار، فقط یک پرتو باریک از فرکانس رادیویی را پخش می‌کنند و به همین دلیل در برابر گروهی از پهپادها که در منطقه‌ای وسیع‌تر از آن پرتو پخش شده‌اند، بی‌اثر خواهند بود. برخی از محصولات شناسایی و ردیابی ممکن است حتی نتوانند بیش از تعداد انگشت‌شماری پهپاد را به‌طور هم‌زمان ردیابی کنند. (Scott & Camron, 2019) یک «توده» برای دستیابی به این اثرات لازم نیست پویا یا واقعاً مستقل باشد. ۱۰ اپراتور هواپیمای بدون سرنشین که ده هواپیمای بدون سرنشین را به‌طور هماهنگ به پرواز درمی‌آورند، ممکن است به همان اندازه سخت باشد که یک گروه خودمختار واقعی از ده هواپیما دفاع کنیم. درحالی‌که تعدادی از شرکت‌ها در حال توسعه محصولات ضد پهپاد هستند که قادر به انهدام چندین هواپیمای ورودی هستند، این یک قابلیت توسعه باقی می‌ماند.

فقدان داده‌های عملیاتی: فقدان مشخصی از اطلاعات در مورد سابقه عملیاتی سامانه‌های مستقر شده وجود دارد. هیچ‌یک از تولیدکنندگان C-UAS که در تهیه این گزارش به آن‌ها مراجعه نکرده است، جزئیاتی در مورد عملکرد محصول خود در استفاده در دنیای واقعی ارائه

^۱ در سال ۲۰۱۸، کمیته‌ای متشکل از کارشناسان موضوعی که توسط آکادمی‌های ملی علوم، مهندسی و پزشکی تشکیل شد، به این نتیجه رسیدند که فناوری‌های لازم برای استقرار گروه‌های مشارکتی تا صدها پهپاد تا سال ۲۰۲۵. به‌طور گسترده در دسترس خواهند بود.

نمی‌دهد. این خلأ اطلاعاتی، دانستن اینکه چه چیزی واقعاً کار می‌کند و چه چیزی کار نمی‌کند، پیش‌بینی مشکلات احتمالی و انتخاب سامانه‌ی که به بهترین وجه با نیازهای آن‌ها سازگار است را برای دارندگان احتمالی C-UAS دشوار می‌کند (Scott & Andy, 2019).

هزینه: فناوری ضد پهپاد گران است. اگرچه اکثر تولید کنندگان لیست قیمت خود را فاش نمی‌کنند، اطلاعات قیمت نسبتاً پراکنده موجود نشان می‌دهد که این فناوری از دسترس بسیاری از سازمان‌های کوچکی که مایل به محافظت از حریم هوایی خود هستند خارج است. طبق مطالعه سال ۲۰۱۹ توسط آزمایشگاه ملی سانديا، از ۱۲۳ محصول ضد پهپاد که اطلاعات قیمت‌گذاری برای آن‌ها در دسترس بود، ۷۷ محصول بیش از ۱۰۰,۰۰۰ دلار هزینه داشتند. نصب سامانه‌های ضد پهپاد برای جلوگیری از حوادث آتی و طبق مطالعه تجهیز ۱۶ فرودگاه شلوع آلمان به سامانه‌های شناسایی پهپاد دیوتش فلگسچرینگ^۱ بیش از نیم میلیارد یورو هزینه خواهد داشت آموزش کارکنان، تعمیر و نگهداری و زمان کارکنان برای راه‌اندازی سامانه ضد پهپاد همگی متحمل هزینه‌های اضافی قابل توجهی هستند (Josh, 2019).

قانونی بودن: در ایالات‌متحده و بسیاری از کشورهای دیگر، سامانه‌های ضد پهپاد یک اشکال مشترک دارند: ممکن است همیشه قانونی نباشند. در بسیاری از موارد، سردرگمی و ابهام قابل توجهی در مورد ابعاد حقوقی دقیق استفاده از فناوری ضد پهپاد وجود دارد. این به این دلیل است که این فناوری اغلب تابع قوانین متعددی است که باهم تداخل دارند که برای رسیدگی به سایر فناوری‌ها، مدت‌ها قبل از وجود فناوری ضد پهپاد، پیش‌نویس شده بودند. افزودن به این ابهام، این واقعیت است که بیشتر دولت‌ها هنوز سیاست‌های جامع ویژه C-UAS را ایجاد نکرده‌اند، درحالی‌که تنظیم‌کننده‌های فضای هوایی همچنان به تدوین مقرراتی ادامه می‌دهند که ممکن است به‌نوبه خود بر C-UAS تأثیر بگذارد. دستگاه‌های پارازیت سیگنال، از جمله سامانه‌های هدایت‌شده پیشرفته‌تر، در بسیاری از کشورها غیرقانونی یا محدود هستند. در ایالات‌متحده، سامانه‌های پارازیت ممکن است قانون استراق سمع را نیز نقض کنند که ره‌گیری ارتباطات الکترونیکی را ممنوع می‌کند. (حتی سامانه‌هایی که صرفاً یک پهپاد را با دانلود اطلاعات مکان و تله‌متری آن شناسایی و ردیابی می‌کنند، ممکن است این قانون را نقض کنند). در همین حال، سامانه‌های جعل ممکن است با قانون تقلب و سوءاستفاده رایانه‌ای مغایر باشد. هر دو سامانه جنبشی و غیر جنبشی ممکن است قانون خرابکاری هواپیماهای ایالات‌متحده را نیز نقض کنند که جرمه‌های سنگین و حتی مجازات زندان را برای هرکسی که عمداً در حریم هوایی ایالات‌متحده «آتش می‌زند، آسیب می‌رساند، از بین می‌برد، از کار می‌اندازد یا ویران می‌کند»

¹ Deutsche Flugsicherung

تعیین می‌کند. تا زمان نگارش این مقاله، به چهار آژانس فدرال - وزارت دفاع، وزارت انرژی، وزارت دادگستری و وزارت امنیت داخلی - اجازه درگیری و انهدام هواپیماهای بدون سرنشین در حریم هوایی ایالات متحده داده شده است. این آژانس‌ها از C-UAS برای محافظت از تأسیسات حساس دولتی مانند سایت‌های هسته‌ای و پایگاه‌های نظامی استفاده می‌کنند و همچنین برای امنیت در هنگام رویدادهای بزرگ مانند جام بوول استفاده می‌کنند. (John, 2019)

چنین محدودیت‌ها و ابهامات قانونی در سراسر جهان منعکس شده است. در بریتانیا، مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین به هر طریق ممکن است مقررات قانون امنیت هوانوردی و قانون خسارت جنایی را نقض کند. پارازیت یک هواپیمای بدون سرنشین احتمالاً قانون تلگراف بی‌سیم و مقررات سازگاری الکترومغناطیسی را نقض می‌کند. سامانه‌های مبتنی بر لیزر می‌توانند با دستور ناوبری هوایی ۲۰۱۶ مغایرت داشته باشند.^۱ در اروپا، حس‌گرهای C-UAS که اطلاعات شناسایی شخصی را جمع‌آوری می‌کنند ممکن است مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها را دخیل کنند. (Deepan and Paul, 2018) تجزیه و تحلیل مفصل توسط جانانان روپرشت از موانع قانونی مختلف برای استفاده از C-UAS در ایالات متحده در اینجا موجود است (D3. 1 – Data “protection, Social, Ethical and Legal Frameworks”)

فقدان استاندارد: هیچ استاندارد بین‌المللی برای طراحی و استفاده مناسب از سامانه‌های C-UAS وجود ندارد. این بدان معناست که ممکن است بین عملکرد و قابلیت اطمینان سامانه‌ها تفاوت‌های قابل توجهی وجود داشته باشد که ممکن است، در سطح برگه مشخصات، بسیار مشابه به نظر برسد. با توجه به اینکه تقاضا برای این فناوری تنها در چند سال گذشته ظاهر شده است، بسیاری از محصولات ارائه شده توسط شرکت‌هایی که ما شناسایی کردیم هنوز زمان بلوغ را نداشته‌اند. به نظر می‌رسد برخی از شرکت‌ها در تلاش هستند تا قبل از بلوغ مناسب یا آزمایش میدانی محصولات خود، از علاقه روزافزون به این فناوری سرمایه‌گذاری کنند. مقامات امنیتی ایالات متحده که در مورد پیشینه صحبت کردند، خاطرنشان کردند که بخش بزرگی از سامانه‌هایی که به طور فعال برای مشتریان دولتی ایالات متحده عرضه می‌شوند، آن‌طور که تبلیغ می‌شود، عمل نمی‌کنند. عدم وجود استانداردها نیز سؤالاتی را در مورد ایمنی این سامانه‌ها ایجاد می‌کند. به ویژه در محیط‌های غیرنظامی، یک سامانه C-UAS ناکارآمد ممکن است تهدیدی برای امنیت

^۱ تعدادی از قوانین بریتانیا نیز ممکن است پوشش قانونی برای اقدامات C-UAS، بسته به زمینه، فراهم کنند، از جمله قانون جنایی، قانون پلیس و شواهد جنایی، قانون عدالت کیفری و مهاجرت و قانون اختیارات تحقیق، اگرچه به طور بالقوه مقررات مربوطه در این قوانین در مورد موارد مربوط به ممنوعیت هواپیماهای بدون سرنشین آزمایش نشده است

عمومی باشد - برای مثال، یک سامانه پرازیت که با ارتباطات رادیویی اضطراری تداخل دارد، یا یک سامانه جنبشی که هدف موردنظر خود را از دست می‌دهد را در نظر بگیرید. (U. S. Department of Homeland Security, 2019)

الزامات فرماندهی و کنترل^۱: هر سامانه پدافندی زمین پایه دارای یک عنصر C2 است. این به واحدهای سامانه پدافندی زمین پایه اجازه می‌دهد تا در یک سیستم بزرگ‌تر پدافند هوایی (به‌عنوان مثال سیستم IAMD^۲ ناتو) تلفیق شده و مأموریت دستور داده‌شده برای کنترل فضای هوایی را به‌صورت محلی اجرا کنند. C2 می‌تواند وظایف فعالی که در یک طرح دفاعی برنامه‌ریزی شده تعبیه شده باشد یا وظایف واکنشی در قالب دفاع فردی یا دفاع فردی گسترده داشته باشد. لازم است اطمینان حاصل شود که یک واحد سامانه پدافندی زمین پایه تمام قوانین درگیری لازم را برای اجرای به‌موقع زنجیره انهدام دارد. به‌منظور دفاع از خود، این امر همیشه توسط ماده ۵۱ منشور ملل متحد تضمین می‌شود. برای هر سناریوی احتمالی دیگر، ناتو و سایر کشورها باید یک چارچوب قانونی منطقی در قالب قواعد درگیری برای هر واحد/فرماندهی/مأموریت ارائه دهند. این امر هنگامی پیچیده‌تر می‌شود که یک واحد سامانه پدافندی زمین پایه در یک کشور خارجی مستقر شود، به‌ویژه قبل از درگیری احتمالی. در این مورد، چارچوب قانونی برای استفاده از نیروی نظامی و اجرای C2 مؤثر باید با کشور میزبان هماهنگ و بدون تعارض باشد. دفاع فردی (نقطه‌ای) با استفاده از نیروی نظامی، حتی در زمان صلح، پاسخی مناسب برای حمله مسلحانه است، با این حال، پهباد می‌تواند برای آماده‌سازی چنین حمله‌ای بدون تهدید مستقیم برای کسی استفاده شود. در اینجا، به اصطلاح «معیارهای کارولین»^۳ می‌توان برای توجیه دفاع پیش‌دستانه در برابر تهدید قریب‌الوقوع استفاده کرد. (Matthew, 2018) باهدف نظامی مشخص برای پهباد کلاس‌های بالاتر، اعلام قریب‌الوقوع بودن باید از اهمیت کمتری برخوردار باشد، اما با فراوانی استفاده مدنی/تفریحی از پهباد کلاس یک، این موضوعی خواهد بود که نیاز به یک‌راه حل قوی دارد. همچنین، روند تشخیص تا درگیری باید به‌اندازه کافی سریع باشد تا در برابر تهدید پهباد مؤثر باشد. پروازهای پهباد کلاس سه بالا هیچ تفاوتی با تهدیدهای هوایی معمولی ندارند. با این حال، هر زمان که باید تصمیمی گرفته شود، عنصر C2 باید سریع‌تر در مورد روش‌های فنی و مجوز درگیری اقدام کند. در سازمان ناتو سامانه یکپارچه دفاع هوایی و موشکی^۴، واحدهای سامانه پدافندی زمین پایه می‌توانند در حالت‌های مختلف

¹ Command and Control Requirements

² IAMD: Integrated Air and Missile Defense

^۳ معیار کارولین به رابطه تکامل حقوق بین‌المللی دفاع از خود مربوط می‌شود.

⁴ NATINAMDS: Integrated Air and Missile Defense System

عملکرد (متمرکز، غیرمتمرکز یا خودمختار) باشند که این امر قدرت بهینه‌سازی را برای بهینه‌سازی نبرد هوایی در سطح مناسب قرار می‌دهد. دفاع فردی همیشه مستقل است، اما در دفاع پهپاد شرایط برای دفاع گسترده و تعبیه دفاع پهپاد در نبرد هوایی کلی باید به‌وضوح برای حفظ کنترل در صورت امکان و انعطاف‌پذیری در مواقع ضروری تعریف شود. با این حال، هر چه تصمیم تعامل مهم‌تر باشد، به‌ویژه با کوچک شدن اندازه پهپاد، احتمال بیشتری وجود دارد که این تصمیم در حالت عملکرد مستقل گرفته شود. استفاده از پهپاد می‌تواند با به‌کارگیری سطوح بالاتری از خودمختاری یا اطلاعات هوشمند AI^۱ افزایش یابد.

دکترین، تاکتیک‌ها، تکنیک‌ها و روش‌های آموزشی: مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین و سامانه‌های آنها چالشی فراگیر است اگرچه نحوه تأثیر تحصیل و آموزش تا پایین‌ترین سطح تاکتیکی را مورد تأکید می‌باشد. برای مقابله با این چالش، دکترین‌های مختلف آموزشی و تاکتیک، تکنیک و دستورالعمل‌ها باید شناسایی، بازبینی و در صورت لزوم تجدیدنظر شوند. شاید لازم باشد یک دکترین اختصاصی برای مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین به‌عنوان یک نقطه مرجع در نظر گرفته شود و از انتشار مطالب مرتبط با یکدیگر در نشریات زیاد جلوگیری شود. کارگروه ناتو برای مقابله با سامانه‌های هواپیماهای بدون سرنشین (NATO C-UAS WG)^۲ در فوریه ۲۰۱۹ به‌طور رسمی تأسیس کرده است. نظم و ترتیب ویژه مقابله با سامانه‌های هواپیماهای بدون سرنشین «نظم و ترتیب» حوزه دانش و مهارت‌های مورد تأیید ناتو است که از توانمندی‌های موجود و در حال توسعه پشتیبانی می‌کند (NATO C-UAS WG, 2019: 28).

پیشینه تحقیق

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهند که در منابع فارسی هیچ‌گونه تحقیقی با موضوع «بررسی چالش‌های دفاع هوایی برای مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در صحنه نبرد آینده» در قالب رساله یا مقاله در مقطع تحصیلات تکمیلی (دکترا) و کارشناسی ارشد انجام نگرفته است؛ ولی رساله و پایان‌نامه‌ها و مقالاتی که ممکن بود ارتباط بیشتری با این عنوان داشته باشند، مورد بررسی قرار گرفته و مهم‌ترین آن‌ها به‌صورت خلاصه ارائه می‌شود:

- مهدی علی‌نژاد در رساله دکترا در دانشگاه عالی دفاع ملی با عنوان: طراحی الگوی آرایه‌های دفاعی زمین بهوا در مقابله با تهدیدات علیه مناطق و مراکز حیاتی و حساس (در افق چشم‌انداز ۱۴۰۴) در یافته‌های تحقیق خود الگوی آرایه‌های دفاع زمین بهوا را شامل سه بُعد

^۱ AI: Artificial Intelligence

^۲ NATO C-UAS WG: NATO Countering Unmanned Aircraft System Working Group

۱- سامانه‌های سلاح با ۵ مؤلفه شامل سامانه‌های موشکی، سامانه‌های توپخانه‌ای، سامانه‌های دوش‌پرتابی، سامانه‌های انرژی مستقیم و سامانه‌های آفند جنگال ۲- سامانه‌های فرماندهی و کنترل شامل ۵ مؤلفه شامل مشاهده، توجیه، تصمیم‌گیری و اقدام، ارتباطات و شبکه‌سازی و بازی جنگ ۳- پدافند غیرعامل با ۴ مؤلفه شامل فریب، استتار و اختفاء، آمایش و مکان‌یابی، استحکامات و سازه‌های امن دانسته است. (علی‌نژاد، ۱۳۹۶)

- سید اسماعیل شهرآئینی در رساله دکترا در دانشگاه عالی دفاع ملی با عنوان: طراحی الگوی راهبردی چابک‌سازی یگان‌های عمده‌ی قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(صلی الله علیه وآله) آجا متناسب با تهدیدات ناهم‌تراز مورخه ۱۳۹۲ در شناسایی اهم ابعاد و عوامل و شاخص‌های چابک‌سازی یگان‌های عمده ق. پ. ه. خ (ص) تعداد ۶ بعد ۲۳ عامل و ۸۹ شاخص شناسایی و تبیین گردید. که برخی از آنها به شرح زیر معرفی می‌شوند: ۱- سامانه‌ی فرماندهی و کنترل (با ۴ عامل و ۲۱ شاخص) و سامانه‌ی مدیریت به عنوان اصلی‌ترین عامل و میزان امنیت و سرعت در برقراری ارتباطات به عنوان مهم‌ترین شاخص ۲- ساختار (با ۷ عامل و ۱۹ شاخص) و یکپارچگی و انسجام به عنوان اصلی‌ترین عامل و میزان هماهنگی درون سازمانی به عنوان مهم‌ترین شاخص ۳- فناوری (با ۲ عامل و ۱۹ شاخص) و عامل نرم‌افزار به عنوان اصلی‌ترین عامل و میزان تحرک به عنوان مهم‌ترین شاخص ۴- نیروی انسانی (با ۲ عامل و ۱۱ شاخص) و انضباط به عنوان اصلی‌ترین عامل و تناسب آموزش و بهسازی کارکنان با مأموریت و استخدام به عنوان مهم‌ترین شاخص. (شهرآئینی، ۱۳۹۲)

- عبدالرحیم پدram، مهدی احمدیان، یوسف امیرمزلقانی با ارائه مقاله‌ای با عنوان «آینده‌پژوهی در حوزه محصولات ضد پهپاد با استفاده از اولویت‌گذاری پابرجا» به روش آمیخته به فناوری‌های دفاعی ضد پهپادی با رویکرد آینده‌پژوهی نگریسته است و از اولویت‌گذاری پابرجا به عنوان یکی از روش‌های فعالیت آینده‌پژوهی استفاده کرده است و با مبنا قرار دادن الگوی اولویت‌گذاری با به‌کارگیری پانل خبرگان، شناسایی و ارزیابی تهدیدهای حال و آتی برخاسته از پهپادها را انجام داده و در یافته‌های پژوهش، ۱۱ نوع محصول ضد پهپادی که در برابر تهدیدهای آتی پهپادی مؤثرتر بوده نیز فهرست شده است. (پدram، احمدیان، امیرمزلقانی، ۱۳۹۷)

- سازمان آتلانتیک شمالی (ناتو)^۱ با انجام یک سری مطالعات^۲ با محوریت دفاع در برابر تهدیدات هوایی با عنوان «رویکرد جامع به مقابله با سامانه‌های هوایی بدون سرنشین» به تمام

¹ NATO: North Atlantic Treaty Organization

² NATO Science & Technology Organization (STO), 'SCI-301-RTG Defeat of Low Slow and Small (LSS) Air Threats

جوانب و مشکلات مقابله با سامانه هواپیماهای بدون سرنشین پرداخته است که در آن به هوشمندانه‌ترین و خلاقانه‌ترین فناوری‌ها مقابله با سامانه‌های هوایی بدون سرنشین، در حوزه‌های مختلف و مفاهیم جدید، از جنگ الکترونیک تا جنگ سایبری و از سلاح‌های جنبشی تا انرژی هدایت‌شده اشاره کرده است (NATO C-UAS WG, 2019).

جمع‌بندی پیشینه‌ها

- نقاط اشتراک پیشینه‌ها: با بررسی پیشینه‌های تحقیقات انجام گرفته مرتبط با موضوع تحقیق، نقاط اشتراک آن‌ها بیشتر با محوریت دفاع در برابر تهدیدات هوایی و مشکلات سامانه‌های دفاع هوایی در مقابله با سامانه هواپیماهای بدون سرنشین پرداخته است. همچنین در بعضی از تحقیقات به بررسی چالش‌های سامانه هواپیماهای بدون سرنشین برای پدافند هوایی پرداخته شده است. بررسی پیشینه‌های تحقیق مشخص شد که اولاً کلیه پژوهش‌های قبلی فقط به یک بُعد از چالش‌های سامانه هواپیماهای بدون سرنشین پرداخته‌اند و به شناسایی سایر ابعاد و چالش‌های موثر در مقابله و تبیین چالش‌های سامانه‌های کشف، سامانه‌های سلاح‌های پدافند هوایی و سامانه فرماندهی و کنترل آنها پرداخته نشده است.

- ثانیاً به پیشرفت‌ها در فناوری هواپیماهای بدون سرنشین کمتر پرداخته شده است.

- ثالثاً هیچ کار پژوهشی مستقل در خصوص مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین به عنوان یکی از مهم‌ترین مأموریت‌های پدافند هوایی و مشابه با عنوان " بررسی چالش‌های دفاع هوایی برای مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در صحنه نبرد آینده " در قالب رساله، مطالعات گروهی، مقاله و یا کار پژوهشی انجام نشده است.

- نوآوری تحقیق: بررسی چالش‌های مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین که از طریق روش علمی احصا شده است و همچنین تبیین چالش‌های سامانه‌های کشف، سامانه‌های سلاح‌های دفاع هوایی و سامانه فرماندهی و کنترل مؤثر بر دفاع هوایی کشور متناسب با تهدیدات سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در صحنه نبرد آینده که موجب تولید ادبیات جدید در حوزه علوم دفاع هوایی شده است از جنبه‌های نوآورانه این تحقیق می‌باشد.

روش پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و روش پژوهش توصیفی به شیوه پیمایشی با رویکرد آینده‌پژوهی و آمیخته هست. و برای جمع‌آوری اطلاعات از روش کتابخانه‌ای با بررسی متون و مراجعه به اسناد و مدارک در سطح نیروهای مسلح و نیز روش میدانی نظیر پرسشنامه استفاده شده است. از جمله شاخص‌های آماری توصیفی مورد استفاده این پژوهش، میانگین، مد، میانه

و انحراف معیار و از جمله روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۱ می‌باشد. جامعه آماری شامل ۱۸۰ نفر از مدیران، فرماندهان، محققان و متخصصان است که از دو مقوله آینده‌پژوهی و دفاع هوایی آگاهی نسبی داشتند. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران به نحو زیر محاسبه شده است:

$$n = \frac{340 \times (1.96)^2 \times 3.74}{(0.1)^2 (340 - 1) + (1.96)^2 \times 3.74} = 68$$

تجزیه و تحلیل

در این پژوهش به منظور استخراج چالش‌های مهم دفاع هوایی برای مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین، عوامل مؤثر در سه حوزه کشف، فرماندهی و کنترل و سلاح‌های طبقه‌بندی و از بین چالش‌های متعدد بر اساس پرسشنامه‌های تنظیم شده به ترتیب چالش‌های که ضرایب بیشتری داشتند و مؤثرتر و مرتبط‌تر بودند تعیین گردیدند؛ (به شرح جدول شماره ۳)، سپس اهمیت و وزن هر یک از عوامل با استفاده از روش AHP و مقایسه دودو عوامل تعیین شدند که در جداول شماره ۴، ۵، ۶ نشان داده شده است.

جدول (۳) شناسایی چالش‌های مؤثر در مقابله با سامانه‌های پهباد

چالش‌ها (عوامل و شاخص‌ها) مؤثر در حوزه سامانه سلاح	چالش‌ها (عوامل و شاخص‌ها) مؤثر در حوزه فرماندهی و کنترل	چالش‌ها (عوامل و شاخص‌ها) مؤثر در حوزه کشف	عنوان ردیف
شکاف‌های دفاعی ^۲	الگوریتم‌های هوشمند تلفیق	مشکلات عوارض زمین	۱
محدودیت تعداد سامانه‌های C-RAM	حالت‌های مختلف عملکرد (متمرکز، غیرمتمرکز یا خودمختار)	پراکندگی سامانه‌های کشف	۲
تطبيق اقدامات پدافند غیرعامل	رویکرد جامع در برابر پهباد	جنگ الکترونیک و سایبر الکترونیک	۳
انعطاف‌پذیری عملیاتی	استراتژی دفاعی جامع	آموزش نیروی انسانی	۴
میزان قابلیت اطمینان سامانه‌های سلاح	اقدام تاکتیکی در برابر عوارض زمین	حداکثر و حداقل برد سامانه‌های کشف	۵

^۱ AHP: Analytical Hierarchy process

^۲ شکاف پوشش سامانه‌های پدافندی زمین پایه با برد بیشتر در برابر پهباد کوچک در فاصله نزدیک

چالش‌ها (عوامل و شاخص‌ها) موثر در حوزه سامانه سلاح	چالش‌ها (عوامل و شاخص‌ها) موثر در حوزه فرماندهی و کنترل	چالش‌ها (عوامل و شاخص‌ها) موثر در حوزه کشف	عنوان ردیف
میزان آمادگی مداوم و مستمر سامانه‌های سلاح	محدودیت پوشش فضای کلی هوایی	قابلیت تلفیق سامانه‌های کشف	۶
نحوه تعامل سامانه‌های سلاح با سایر سامانه‌ها	بکارگیری کنترل فراتر از خط دید (BLOS) ^۱	الگوهای جستجو	۷
قابلیت تحرک سامانه‌های سلاح	تاکتیک‌ها، تکنیک‌ها و روش‌ها	پدافند غیرعامل سامانه‌های کشف	۸
بکارگیری فناوری‌های نوین در سامانه‌های سلاح	توانایی مقابله با جنگ الکترونیک و سایبر الکترونیک	حجم کلی فضای تحت پوشش	۹
قابلیت مقابله با تکنیک‌های (توده) ^۲	روند تشخیص تا درگیری	قابلیت تحرک سامانه‌های کشف	۱۰
میزان آتش کشندگی سامانه‌ها	پدافند غیرعامل سامانه C4I	سرعت، ارتفاع و قابلیت مانور	۱۱
قابلیت مانور	قوانین درگیری زنجیره انهدام	نیروهای عملیات ویژه (SOF)	۱۲
میزان آموزش نیروی انسانی در سامانه‌های سلاح	همزمان‌سازی، سازماندهی اقدامات از نظر زمان، مکان و هدف	نابودی پدافند هوایی دشمن (DEAD) ^۳	۱۳
طراحی دفاع ترکیبی / لایه‌ای	میزان انعطاف‌پذیری شبکه	سطح مقطع راداری	۱۴
آموزش و تمرین	برنامه‌ریزی تلفیق کامل دفاع پهباد		۱۵

¹ BLOS: Beyond-Line-of-Sight

² Swarm

³ DEAD: Destruction of Enemy Air Defense

جدول (۴) تعیین وزن عوامل موثر و چالش‌های مهم برای مقابله با سامانه‌های پهباد در حوزه کشف

ردیف	کد عامل	عنوان عامل	وزن عامل
۱	Q1-1-14	سطح مقطع راداری	11.03%
۲	Q1-1-1	مشکلات عوارض زمین	8.58%
۳	Q1-1-9	حجم کلی فضای هوایی تحت پوشش	7.90%
۴	Q1-1-5	حداکثر و حداقل برد سامانه‌های کشف	7.65%
۵	Q1-1-7	الگوهای جستجوی	7.29%
۶	Q1-1-6	قابلیت تلفیق سامانه‌های کشف	6.96%
۷	Q1-1-8	پدافند غیرعامل در سامانه‌های کشف	6.33%
۸	Q1-1-4	آموزش نیروی انسانی	6.18%
۹	Q1-1-11	سرعت، ارتفاع و قابلیت مانور	5.94%
۱۰	Q1-1-10	قابلیت تحرک سامانه‌های کشف	5.94%
۱۱	Q1-1-12	نیروهای عملیات ویژه (SOF)	5.76%
۱۲	Q1-1-13	نابودی پدافند هوایی دشمن (DEAD) ^۱	5.76%
۱۳	Q1-1-2	پراکندگی سامانه‌های کشف	5.52%
۱۴	Q1-1-3	جنگ الکترونیک و سایبر الکترونیک	5.15%

همانطوریکه در جدول شماره ۳ مشاهده می‌گردد عمده چالش‌های مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در حوزه کشف به ترتیب سطح مقطع راداری با حدود ۱۱٪، مشکلات عوارض زمین، ۸/۵۸٪ و حجم کلی فضای هوایی تحت پوشش ۷، ۹۰٪ و... بیان می‌کند.

¹ DEAD: Destruction of Enemy Air Defense

جدول (۵) تعیین وزن عوامل موثر برای مقابله با سامانه‌های پهپاد در حوزه فرماندهی و کنترل

وزن عامل	عنوان عامل	کد عامل	ردیف
9.51%	استراتژی دفاعی جامع	Q2-1-4	۱
8.67%	رویکرد جامع در برابر پهپاد	Q2-1-3	۲
7.97%	تاکتیک‌ها، تکنیک‌ها و روش‌ها	Q2-1-2	۳
7.76%	روند تشخیص تا درگیری	Q2-1-10	۴
6.86%	محدودیت پوشش فضای کلی هوایی	Q2-1-6	۵
6.41%	الگوریتم‌های هوشمند تلفیق	Q2-1-1	۶
5.22%	قوانین درگیری لازم را برای اجرای به موقع زنجیره انهدام	Q2-1-12	۷
5.17%	همزمان‌سازی، سازماندهی اقدامات از نظر زمان، مکان و هدف	Q2-1-13	۸
5.08%	میزان انعطاف‌پذیری و پاسخگو بودن شبکه	Q2-1-14	۹
4.91%	حالت‌های مختلف عملکرد (متمرکز، غیرمتمرکز یا خودمختار)	Q2-1-8	۱۰
4.68%	توانایی مقابله با جنگ الکترونیک و سایر الکترونیک	Q2-1-9	۱۱
4.45%	پدافند غیرعامل در سامانه فرماندهی کنترل	Q2-1-11	۱۲
4.37%	برنامه‌ریزی تلفیق کامل دفاع پهپاد	Q2-1-15	۱۳
4.04%	اقدام تاکتیکی در برابر عوارض زمین	Q2-1-5	۱۴
4.01%	بکارگیری کنترل فراتر از خط دید (BLOS)	Q2-1-7	۱۵

همانطوریکه در جدول شماره ۴ مشاهده می‌گردد مهم‌ترین چالش‌های برای مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در حوزه فرماندهی و کنترل در حوزه فرماندهی و کنترل به ترتیب: استراتژی دفاعی جامع با حدود ۹، ۵۱٪، رویکرد جامع در برابر پهپاد با ۸، ۶۷٪ و تاکتیک‌ها، تکنیک‌ها و روش‌های جدید در حدود ۷، ۹۷٪ و... می‌باشند. لذا بایستی عواملی که دارای وزن بیشتری می‌باشند مد نظر قرار گیرند.

جدول (۶) تعیین وزن عوامل موثر برای مقابله با سامانه‌های پهپاد در حوزه سامانه‌های سلاح

ردیف	کد عامل	عنوان عامل	وزن عامل
۱	Q3-1-9	بکارگیری فناوری‌های نوین در سامانه‌های سلاح	8.95%
۲	Q3-1-10	قابلیت مقابله با تکنیک‌های توده (دسته جمعی)	8.51%
۳	Q3-1-2	محدودیت تعداد سامانه‌های مقابله با پهپاد	8.01%
۴	Q3-1-4	انعطاف‌پذیری عملیاتی	7.66%
۵	Q3-1-1	شکاف‌های دفاعی	7.32%
۶	Q3-1-14	طراحی دفاع ترکیبی / لایه‌ای	6.76%
۷	Q3-1-7	نحوه تعامل سامانه‌های سلاح با سایر سامانه‌ها	6.56%
۸	Q3-1-8	آموزش و تمرین	6.50%
۹	Q3-1-5	میزان قابلیت اطمینان سامانه‌های سلاح	6.50%
۱۰	Q3-1-3	تطبيق اقدامات پدافند غیرعامل	6.17%
۱۱	Q3-1-11	میزان تاثیر آتش کشندگی سامانه‌های سلاح	5.84%
۱۲	Q3-1-12	قابلیت مانور	5.79%
۱۳	Q3-1-13	آموزش نیروی انسانی در سامانه‌های سلاح	5.60%
۱۴	Q3-1-6	آمادگی مداوم و مستمر سامانه‌های سلاح	5.34%
۱۵	Q3-1-15	قابلیت تحرک سامانه‌های سلاح	4.47%

همانطوریکه در جدول شماره ۵ مشاهده می‌گردد مهم‌ترین چالش‌های برای مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در حوزه سامانه‌های سلاح به ترتیب: بکارگیری فناوری‌های نوین (سلاح‌های لیزری، الکترومغناطیس پر قدرت و سامانه‌های اختلال، جعل و فریب و...) در سامانه‌های سلاح با حدود ۸، ۹۵٪، قابلیت مقابله با تکنیک‌های توده (دسته جمعی) با ۸، ۵۱٪ و محدودیت تعداد سامانه‌های مقابله با پهپاد ۸، ۰۱٪ و... می‌باشند. لذا بایستی عواملی که دارای وزن بیشتری می‌باشند مد نظر قرار گیرند.

نتیجه گیری و پیشنهاد

مطالعه و بررسی این پژوهش بیانگر این است که مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین و UAS چالشی فراگیر است و برای مقابله با این چالش، دکترین‌های نوین آموزشی نیروی دفاع هوایی و

تاکتیک‌ها، تکنیک‌ها و روش‌های جدید باید شناسایی، بازبینی و در صورت لزوم تجدیدنظر شوند. و لازم است یک دکترین اختصاصی مقابله هواپیماهای بدون سرنشین را به‌عنوان یک نقطه مرجع در نظر گرفت و از انتشار مطالب مرتبط با یکدیگر در نشریات زیاد جلوگیری کرد.

بنابراین راه‌حل واحد و مناسبی برای مقابله با انواع سامانه‌های بدون سرنشین یا اجزای آن وجود ندارد و مقابله با UAS مستلزم اتخاذ یک استراتژی دفاعی جامع با رویکردهای مختلف دفاع هوایی از همه رشته‌های نظامی و همچنین غیرنظامی است که می‌تواند به تلاش جامع مقابله با سامانه هواپیماهای بدون سرنشین کمک کنند. علاوه بر این، همه این اقدامات احتمالی متقابل نیاز به بازبینی در چارچوب‌های مختلف قانونی قابل‌استفاده در زمان جنگ، اما مهم‌تر از آن در زمان صلح دارد. زمان عامل اصلی برای مقابله با UAS یا هواپیماهای بدون سرنشین است. اکثر سامانه‌های موجود C-UAS فقط روی مراحل «تشخیص، ردیابی و درگیر شدن» تمرکز می‌کنند. اقدامات منفعلانه و اقدامات اولیه برای جلوگیری استفاده از UAS و استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین از همان ابتدا به کاهش تهدیدات احتمالی، و کسب زمان گران‌بها کمک می‌کند. پس از اتخاذ اقدامات فعال، سرعت تصمیم‌گیری تعیین‌کننده است. حساسه‌های غیرفعال نقش مهمی در دفاع پهپاد بازی خواهند کرد. به‌طور کلی اقدام تاکتیکی در برابر یک پهپاد کوچک‌تر، به‌ویژه اهداف کوچک در محیط‌های احتمالاً شلوغ، بسیار دشوار است. با این حال، سطح مقطع راداری (RCS)^۱ فقط با انرژی برکشتی از رادار رابطه دارد و بسیار وابسته به فرکانس است، بنابراین ممکن است وسایل دیگری برای موفقیت تشخیص یا پشتیبانی از حساسه‌های موجود وجود داشته باشد. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر برای مقابله با چالش‌های سامانه هواپیماهای بدون سرنشین در صحنه‌های نبرد آینده پیشنهاد می‌گردد:

- برای تسریع در فرآیند کشف پهپاد، از حسگرهای نوری در پهناهای باند بصری، مادون‌قرمز (IR)^۲ و ماوراءبنفش (UV)^۳ و همچنین، از حساسه‌های صوتی در فرکانس رادیویی (RF)^۴ یا حسگر نوری و حساسه‌های آکوستیک که در مقایسه با حساسه‌های راداری دارای محدوده نسبتاً کوتاهی هستند. استفاده شود.

¹ RCS: Radar Cross Section

² IR: infrared

³ UV: ultraviolet

⁴ RF: Radio frequency

- از حساسه‌های اطلاعات سیگنالی در دوبرخش حساسه‌های اطلاعات الکترونیکی (الینت) و حساسه‌های اطلاعات ارتباطی (کامینت) در کشف و شناسایی و رهگیری پهپاد و همچنین حساسه‌های اطلاعات سنجشی استفاده شود.
- با توجه به اینکه قابلیت‌های پهپاد به سرعت تکامل می‌یابد، حوزه ضد سامانه پهپادی نیز باید در لبه تحولات کنونی قرار گیرد، در غیر این صورت نیروهای نظامی در مأموریت‌های آینده دچار یک آسیب جدی و تعیین کننده خواهد شد.
- با طراحی دفاع ترکیبی / لایه‌ای شکاف‌های دفاعی برطرف گردد.
- از الگوریتم‌های هوشمند تلفیق در سامانه فرماندهی و کنترل استفاده شود
- برنامه‌ریزی مناسب در بکارگیری الگوهای جستجوی نرم‌افزاری در حساسه‌های راداری پدافند هوایی برای تشخیص هواپیماهای بدون سرنشین انجام شود.
- استراتژی دفاعی جامع و رویکرد جامع در برابر پهپاد توسط سامانه فرماندهی دفاع هوایی اتخاذ گردد.
- از فناوری‌های مختلف در سامانه‌های سلاح استفاده شود.
- برای تسریع در روند تشخیص تا درگیری و انتخاب سریع راه‌کار در شبکه فرماندهی و کنترل از حالت‌های مختلف عملکرد (متمرکز، غیرمتمرکز یا خودمختار) استفاده گردد.
- محدودیت تعداد سامانه‌های مقابله با پهپاد برطرف گردد.
- تلفیق کامل دفاع پهپاد در برنامه‌ریزی و اقدامات منظم دفاع هوایی در حفاظت از نیرو و نقاط حساس و حیاتی قرار گیرد.
- اقدامات پدافند غیرعامل برای مقابله با حملات پهپاد تطبیق داده شود.
- شکاف واقع‌بینانه قابلیت‌ها و تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری در برابر پهپاد در برنامه‌ریزی و اقدامات منظم دفاع هوایی قرار گیرد.
- نیروی پدافند هوایی «مقابله با سامانه هواپیماهای بدون سرنشین و هواپیماهای بدون سرنشین» را به یک رشته اختصاصی تبدیل کند تا برنامه‌های درسی مربوط به آموزش و تمرین را هماهنگ کند. رئیس‌بخش می‌تواند به برقراری رابطه بین همه رشته‌های مختلف درگیر در چالش مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین کمک کند.
- مرور سیاست‌های موجود و تدوین سیاست‌ها، آموزه‌ها و تاکتیک‌ها، تکنیک‌ها و روش‌های جدید از اولویت‌های اصلی قرار گیرد.
- نظم و ترتیب ویژه مقابله با سامانه‌های هواپیماهای بدون سرنشین «نظم و ترتیب» حوزه دانش و مهارت‌های مورد تاکید قرار گیرد.

قدردانی

از استادان راهنما و مشاور که در طول انجام پژوهش، دانشجو را یاری و دانش خویش را سخاوتمندانه در اختیار محقق قرار دادند و استواری پژوهش حاضر بر زحمات و دانش این بزرگواران قرار گرفته است بسیار سپاسگزارم.

منابع

- احمدیان، مهدی؛ پدرام، عبدالرحیم و زالی، سلمان. (۱۳۹۴). طراحی الگوی اولویت‌گذاری پابرجا در صنایع راهبردی. بهبود مدیریت، ۹(۴): ۳۱-۵۹.
- پدرام، عبدالرحیم؛ احمدیان، مهدی، و مزلقانی، یوسف امیر. (۱۳۹۷). آینده پژوهی درحوزه محصولات ضد پهپاد با استفاده از اولویت‌گذاری پابرجا. آینده پژوهی دفاعی، ۳(۱۱): ۱۴۳-۱۶۴.
- رستمی، محمود. (۱۳۸۶). فرهنگ واژه‌های نظامی، تهران: نشر ایران سبز
- شهرآئینی، سید اسماعیل. (۱۳۹۴). "طراحی الگوی راهبردی چابک‌سازی یگان‌های عمده‌ی قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص) آجا متناسب با تهدیدات ناهم‌تراز"، تهران: دانشگاه عالی دفاع ملی.
- علی‌نژاد، مهدی. (۱۳۹۰). پهپادها چالش‌های امروز پدافند هوایی، فصلنامه مطالعات دفاعی و امنیتی، ۶۲(۱۰۵).
- علی‌نژاد، مهدی. (۱۳۹۶). طراحی الگوی آرایه‌های پدافندی زمین پهوا در مقابله با تهدیدات علیه مناطق و مراکز حیاتی و حساس در افق چشم‌انداز ۱۴۰۴، تهران: انتشارات داعا.
- گودرزی، ناصر. (۱۳۸۷). فناوریهای نظامی، نگاه ۲، ۱(۴): ۱۴۰.
- محمدی سنجر، علی. (۱۳۸۵). فرهنگ اختصارات نظامی، تهران: نشر میعاد.
- مختاریان، علی. (۱۳۸۱). پرنده‌های بدون سرنشین به عنوان اهداف کاذب، معاونت پشتیبانی، مهندسی و تحقیقات صنعتی - گروه پهپاد، سالنامه پهپاد، ۱۱(۱): ۶۴.
- Martins, B. O., Michel, A. H., & Silkoset, A. (2020). Countering the Drone Threat. Peace Research Institute Oslo (PRIO).
- Haider, A. (2014). Remotely Piloted Aircraft Systems in Contested Environments. Joint Air Power Competence Centre JAPCC.
- André Haider, 'Unmanned Aircraft System Threat Vectors', in 'A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems', JAPCC, 2020
- André Haider, 'A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems', Joint Air Power Competence Centre (JAPCC), 2019. [Online]. Available: <https://www.japcc.org/portfolio/a-comprehensive-approach-to-countering-unmanned-aircraft-systems/>. [Accessed 13 Aug. 2020].
- Counter Unmanned Aircraft Systems Legal Authorities, U. S. Department of Homeland Security, 2019. Retrieved from https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/19_0502_cisa_dhs-cuas-legal-authorities-factsheet.Pdf

- Castrillo, V. U., Manco, A., Pascarella, D., & Gigante, G. (2022). A review of counter-UAS technologies for cooperative defensive teams of drones. *Drones*, 6(3), 65.
- Dictionary of Military and Associated Terms, 2015, Military-Strated
- Gettinger, D. (2019). The drone databook. Center for the Study of the Drone.
- Falanga, D., Kim, S., & Scaramuzza, D. (2019). How fast is too fast? The role of perception latency in high-speed sense and avoid. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2), 1884-1891.
- Deepan Sarma and Paul Quinn, eds., "D3. 1 – Data protection, Social, Ethical and Legal Frameworks," Diginext, Advanced holistic Adverse Drone Detection, Identification Neutralisation program, February 2018. http://aladdin2020.eu/wp-content/uploads/2018/04/ALADDIN_D3.1_DataProtectionSoEL_Framework_V1_0_PU.pdf
- Dan Gettinger and Arthur Holland Michel, "Drones at Home: Drone Incidents," Center for the Study of the Drone, 2017. <http://dronecenter.bard.edu/drones-at-homedrone-incidents>
- Martins, B. O., Michel, A. H., & Silkoset, A. (2020). Countering the Drone Threat. Peace Research Institute Oslo (PRIO).
- Balamurugan, G., Valarmathi, J., & Naidu, V. P. S. (2016, October). Survey on UAV navigation in GPS denied environments. In 2016 International conference on signal processing, communication, power and embedded system (SCOPES) (pp. 198-204). IEEE.
- Letter from John R. Dermody, P. E., Director, Office of Airport Safety and Standards, U. S. Federal Aviation Administration, May 7, 2019. https://www.faa.gov/airports/airport_safety/media/Updated-Information-UAS-Detection-Countermeasures-Technology-Airports-20190507.Pdf
- Brooks, S. H., Jacobus, C., Kohestani, C. G., Stikar, J. A., & Faye, E. J. (2019). Counter unmanned aircraft systems market survey (uur) (No. SAND-2019-2801). Sandia National Lab. (SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).
- Waxman, M. C. (2018). The Caroline Affair in the Evolving International Law of Self-Defense. Matthew Waxman, The Caroline Affair in Evolving International Law of Self-Defense, (Aug. 28, 2018), The LawFare Book Review, Columbia Public Law Research Paper, (14-600).
- NATO Standardization Office (NSO), 'ATP-3. 3. 8. 1 Minimum Training Requirements for Unmanned Aircraft Systems (UAS) Operators and Pilots', Edition B Version 1, May 2019.
- Paulina Glass, "Russia's New Arctic Drones Are Built to Spot Ships," *Defense One*, December 11, 2018. <https://www.defenseone.com/technology/2018/12/russia-newarctic-drones-are-built-spot-ships/153444/>
- Crino, S., & Dreby, A. (2019). Drone Technology Proliferation in Small Wars. *Small Wars Journal*, 3.
- S. Walker-Roberts and M. Hammoudeh, Written evidence submitted by Manchester Metropolitan University, U. K. Parliament Defense Committee, Domestic Threat of

Drone Inquiry, May 9, 2019. data. parliament. uk/writtenevidence/committeeevidence.svc/evidencedocument/defence-committee/domestic-threat-of-drones/written/101797.html

- The NATO Countering Unmanned Aircraft System Working Group (NATO C-UAS WG) has been formally established through the approval of the Countering Class I UAS practical framework, endorsed by NATO's Defense Ministers on their meeting on 13–14 Feb. 2019.
- Zeng, Y., Lyu, J., & Zhang, R. (2018). Cellular-connected UAV: Potential, challenges, and promising technologies. *IEEE Wireless Communications*, 26(1), 120-127.