آینده‌پژوهی دفاعی، سال هفتم، شماره ۲۵، تابستان ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲

از صفحه ۱۳۷ تا صفحه ۱۶۶

مؤلفه‌های اثرگذار بر کشف و مقابله با هواپیمای بدون سرنشین در صحنه‌های نبرد آینده

اردشیر محمدی[۱]

حسین نواده توپچی*[۲]

ایرج فروزان[۳]

حسین شکوهی[۴]

ابراهیم ایجابی[۵]

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

بررسی ماهیت تهدیدهای سامانه هواپیمای بدون سرنشین (UAS)[۶]، نتایج جنگ‌های اخیر در منطقه غرب آسیا، پیشرفت روزافزون فناوری‌های نظامی به‌ویژه ویژگی‌های تهدیدهای هوایی آینده ازجمله وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAVs)[۷] لزوم توجه علمی و دقیق به مقوله پدافند هوایی را اجتناب‌ناپذیر نموده است. در این میان مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در زمان جنگ و صلح که امنیت ملی و نظامی، ایمنی عمومی و حریم خصوصی افراد را به خطر می‌اندازد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پدافند هوایی دارای سه بعد سامانه‌های کشف، شبکه فرماندهی و کنترل یکپارچه و سامانه‌های سلاح است که نقش اصلی را در عملیات دفاع هوایی به عهده دارند. هدف تحقیق تبیین مؤلفه‌های اثرگذار بر کشف و مقابله با سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در نبردهای آینده است. تحقیق از نوع کاربردی – توسعه‌ای بوده و رویکرد آن آینده‌پژوهانه و از روش موردی– زمینه‌ای استفاده شده است.

واژگان کلیدی:

پدافند هوایی، کشف، سامانه‌های مقابله با هواپیمای بدون سرنشین.

[۱] دانشجوی دکتری مدیریت دفاعی دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش جمهوری اسلامی ایران، تهران، ایران.

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

[۳] دانشیار 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 آینده‌پژوهی دانشگاه فرماندهی استاد ارتش جمهوری اسلامی ایران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Email: htoupchi@gmail.com

[6] UAS: unmanned aircraft systems

[7] UAVs:unmanned aerial vehicles

CC BY NC ND

DOI: 10.22034/DFSR.2022.555602.1607

مقدمه

یکی از مهم‌ترین ارکان هر نظام سیاسی که باعث ارتقای قدرت دفاعی و عامل بقای آن نیز به‌حساب می‌آید، طراحی سیاست دفاعی متناسب با راهبرد دفاعی و نظامی است. یک سامانه[۱] زمانی دارای خروجی مناسب است که خط و مشی حاکم بر آن از طریق طرح‌های مؤثر، به برنامه‌ی عملیاتی تبدیل گردد. چنانچه تدابیر و طرح‌های دفاعی از طریق برنامه‌های اجرایی قابلیت ترکیب با تجهیزات، ساختار و اندیشه‌های نظامی را داشته باشد، سیاست دفاعی آن کشور، چارچوب و راهنمای عمل مؤثری برای راهبرد دفاعی و نظامی آن کشور است. مهم‌ترین هدف سیاست دفاعی کشورها دفع تهدید علیه تمامیت ارضی، حاکمیت و استقلال کشور است (yarger, 2006: 15). چالش اصلی که باعث تهدید یک کشور می‌گردد، هماهنگ نبودن تدابیر دفاعی با طرح‌های ابلاغی و برنامه‌های عملیاتی هست و چنانچه بین سیاست دفاعی با راهبرد دفاعی و راهبرد نظامی ارتباطی منطقی وجود داشته باشد، علاوه بر دفع تهدیدهای موجود، باعث ایجاد بازدارندگی منعطف و پویا می‌گردد (سیاری، ۱۳۹۵:۴۵).

امروزه ارائه فنّاوری‌های پنهان‌کاری[۲] (با عامل انسانی و غیرانسانی) و به‌کارگیری وسیع پرنده‌های بدون سرنشین (UAV)[3] در نبردهای یک دهه اخیر چالش و بحرانی را برای سامانه پدافند هوایی نیروهای مسلح جهت مقابله با این تهدیدها به وجود آورده که مصداق عدم تطابق وضعیت موجود با وضعیت مورد انتظار است، تغییر ماهیت تهدید به لحاظ پیشرفت‌های فناورانه، تجهیزات و تاکتیک‌ها و روش‌های به‌کارگیری سامانه‌های هواپیماهای بدون سرنشین و ویژگی‌های عملیاتی آن‌ها، موجب ایجاد اختلاف بین وضع موجود و وضع مطلوب و کیفیت انجام مأموریت پدافند هوایی شده است، به‌طوری‌که پاسخگویی به این وضعیت نیازمند ارائه الگوی جدید پدافند هوایی (الگوی مطلوب) برای کشف هواپیماهای بدون سرنشین در نبردهای آینده شده است؛ این واقعیت که خلبان بخشی از چارچوب واقعی هواپیماهای بدون سرنشین نیست یا اصلاً ضروری نیست، اجازه داده تا دسته‌های جدیدی از هواپیما ایجاد شود و همچنین روش‌های جدیدی برای استفاده از آن‌ها با مهمات پیشرفته، برای اجرای عملیات آفندی امکان‌پذیر شود؛ بنابراین به توسعه‌دهندگان اجازه داده تا سامانه را با تفکری مأموریت محورتر از قبل طراحی کنند. به‌منظور

---

[۱] نگارندگان مقاله با رعایت مالکیت معنوی منابعی که از آن‌ها در تدوین این مقاله استفاده کرده‌اند، بجای تلفظ انگلیسی کلمات در متن مقاله، از کلمات معادل فارسی مناسب مصوب فرهنگستان فارسی به‌کار گرفته‌اند.

[2] Stealth

[3] Unmanned Aerial Vehicles

مقابله مؤثر با تهدیدهای پهپادها [۱]، کشف و تشخیص آن‌ها، به‌عنوان اولین گام توسط پدافند هوایی ضروری بوده و برای دستیابی به این مهم، تبیین و شناسایی شاخص‌ها و مؤلفه‌های اثرگذار بر کشف و مقابله با تهدیدهای سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در نبردهای آینده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

از سوی دیگر وسعت سرزمینی و پراکندگی جغرافیایی مراکز حیاتی و حساس کشور، همچنین گستره سازمانی (ساختار وسیع در حوزه دفاع هوایی) نیازمند هماهنگی، تفاهم و همسویی واحدهای مختلف آن و حرکت یکپارچه تمامی آن‌ها به‌سوی هدف و اجرای مأموریت به‌صورت هم‌افزا است. بعلاوه رویکردهای متعدد و متنوع دفاعی و کمبودهای مرتبط با تنوع تجهیزات و تسلیحات پدافند زمین به هوا، چالش‌های متعددی را برای مأموریت پدافند هوایی کشور جهت مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین به وجود آورده است که بایستی با توجه به این محدودیت‌ها نیازهای اصلی صحنه درگیری را متناسب با اولویت‌های دفع تهدید و یا تقلیل آن و بهره‌گیری از فرصت‌های موجود مدیریت نمود. امروزه دیگر روش‌ها و الگوهای سنتی دفاع هوایی کارساز نخواهد بود؛ برای بقاء در چنین شرایطی نیازمند به‌کارگیری آرایه‌ها و سامانه‌های روزآمد و متناسب با انواع تهدیدات هستیم به‌نحوی‌که بتوان با اشراف کامل اطلاعاتی به تهدیدات حال حاضر و شناخت تهدیدات آینده از ناحیه دشمن [۲] نسبت به بهره‌گیری و مدیریت صحنه جنگ اقدام نمود. در مسیر دستیابی به این امر، قطعاً نیازمند تبیین شاخص‌ها و مؤلفه‌های اثرگذار بر کشف و مقابله با تهدیدهای سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین در نبردهای آینده پدافند هوایی هستیم. تا به‌طور جامع و به روش علمی فناوری‌های موجود بررسی و به‌صورت هم‌افزا، انعطاف‌پذیر و بازدارنده، سرعت و فوریت پاسخگویی مناسب به تهدیدات هوایی پیش رو را داشته و از مراکز و مناطق حیاتی و حساس کشور به نحو مطلوبی حفاظت نماید.

پرتال جامع علوم انسانی

---

[۱] پهپاد: پرنده هدایت‌پذیر از دور

[۲] هم اکنون تمام تهدیدهای هوایی و فضایی آمریکا و سایر قدرت‌های منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای مبتنی بر فرماندهی و کنترل هوافضایی و فضا پایه است. یعنی هیچ تهدید هوایی ارتش آمریکا در حال حاضر بدون پشتیبانی نزدیک سامانه‌های فرماندهی و کنترل فضا پایه علیه کشور هدف به‌کار گرفته نمی‌شود. بدون تردید تهدیدهای هوایی این کشور در افق‌های زمانی پیش رو (میان مدت و بلند مدت) از نوع نوپدید و روباتیک بوده و همچنان مبتنی بر پشتیبانی نزدیک سامانه فرماندهی و کنترل هوافضایی و فضا پایه خواهد بود.

مبانی نظری

چالش‌های مقابله با پهپادها در جنگ‌های آینده: بخش عمده‌ی جنگ‌های آینده از انسان‌محوری به سمت تجهیزات محوری و به‌ویژه تجهیزات هوایی و فضایی پیش می‌رود. پهپادها با استفاده از جثه کوچک، سرعت و قدرت مانور بالا و ویژگی پنهان‌کاری (رادار گریزی) می‌توانند در عملیات نفوذ به حریم هوایی دشمن و انجام مأموریت‌های جاسوسی، مراقبت (نظارت) و سرکوب دفاع هوایی دشمن، مورد استفاده قرار گیرند. برای پهپادها به‌عنوان سکوی جدید تسلیحاتی، ویژگی‌ها و مزایایی به شرح ذیل را برمی‌شمارند:

جدول (۱) ویژگی پهپاد در جنگ‌های آینده

ردیف	ویژگی 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 (رادار گریزی)
۷	تداوم پروازی
۸	فناوری برتر و غیره

همچنین در جنگ‌های آینده پهپادها می‌توانند به‌عنوان اهداف کاذب مورد استفاده قرار گیرند (مختاریان، ۸۲-۱۳۸۱ ص ۶۶-۶۸). عواملی چون سطح مقطع راداری کم، سرعت پایین و علائم حرارتی نه‌چندان زیاد، شناسایی و هدف قرار دادن پهپاد را مشکل نموده است و این قابلیت، انعطاف‌پذیری آن‌ها را در صحنه‌های نبرد آینده افزایش خواهد داد. طرح‌های مختلف پروازی و استفاده از عوارض طبیعی نیز باعث افزایش مضاعف قابلیت نفوذ به منطقه دشمن در این سامانه می‌شود. پهپادها که در عملیات مختلف شرکت دارند در ارتفاع پروازی ایمنی نسبت به سلاح‌های انفرادی دشمن انجام وظیفه می‌کنند. در جنگ‌های آینده سامانه‌های پهپادی در امر نظارت بر تحرکات دشمن، جمع‌آوری اطلاعات و ارسال آن به مراکز فرماندهی و کنترل کاربرد بیشتری خواهند داشت. همچنین قادر خواهند بود تمام نیازهای عملیاتی فرماندهان را برآورده سازند؛ لذا گرایش متداول نیروی هوایی به استفاده از جنگنده‌های دارای سرنشین نباید مانع بهره‌گیری از پهپادهای جنگنده در جنگ‌های پیچیده آینده گردد. علاوه بر وظیفه جمع‌آوری اطلاعات، انجام جنگ الکترونیک، حمله زمینی، فریب و سرکوبی دفاع هوایی دشمن ازجمله نقش پهپادها خواهد بود. این سامانه‌ها همچنین جایگزین‌های خوبی برای پیاده‌سازی برنامه فنّاوری پنهان‌کاری بوده

و دارای شرایطی مناسب برای تبدیل‌شدن به سامانه‌های موشکی کروز هستند (گودرزی، ۱۳۸۷ ص ۱۴۰).

با گسترش سامانه‌های هواپیمای بدون سرنشین 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 (Gettinger, 2020).

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 قابل‌توجهی از اقدام مقابله با هواگردهای بدون سرنشین از قبل باید به‌عنوان یک وظیفه در زمان صلح طرح‌ریزی شود (Johanna, 2018).

زمان جنگ: نه‌تنها در یک سناریوی درگیری و رو در رو، بلکه در تمام سطوح در زمان افزایش 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 درحال‌توسعه، به‌کارگیری UAS ممکن است انتخاب ارجح باشد چراکه خطر تلفات انسانی را در برنمی‌گیرد، بنابراین احتمال خطر را کاهش می‌دهد. بنابراین به‌نوبه خود نیاز به مقابله با این سامانه‌ها را در مراحل اولیه افزایش می‌یابد. نیروهای نظامی در جنگ می‌توانند از طیف کامل فعالیت‌های رزمی برای مقابله با پهپاد استفاده کنند. 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 قابل‌توجهی در زمان جنگ گسترده‌تر است و شامل هدف قرار دادن تأسیسات زمینی و کارکنان مرتبط با کنترل پهپاد و گزینه‌های درگیری محدودتر هستند (NATO C-UAS WG,2019).

زمان صلح: تهدید UAS در زمان صلح را می‌توان تقریباً به‌طور انحصاری به هواپیماهای بدون سرنشین مصرفی و تجاری محدود کرد، درحالی‌که، 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 سامانه ملی فضای هوایی (NAS)[1] 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

[1] NAS:National Airspace System

آسیب احتمالی، درعین‌حال محدودیت در زمان و قوانین داخلی معمولاً فعالیت‌های نظامی را مخصوصاً در محیط شهری به حداقل کاهش می‌دهد. درنهایت، حفاظت و ایمنی جمعیت غیرنظامی بر همه اقدامات دفاعی اولویت دارد که به‌طور قابل‌توجهی گزینه‌های «سنتی» برای دفاع در برابر اشیاء پرنده را محدود می‌کند. به‌سادگی هیچ آسیب جانبی قابل قبولی در زمان صلح وجود ندارد. به‌عنوان‌مثال، مانور دادن پهپادها به مکان‌های امن یا فرود آن‌ها به شیوه‌ای کنترل شده قبل از انجام اقدامات متقابل نهایی، که ازاین‌رو رویکردهای جدیدی را طلب می‌کند. (همان منبع)

ابعاد و عناصر اصلی پدافند هوایی: ابعاد پدافند هوایی ج.ا.ایران از سه عنصر اصلی تشکیل‌شده که مجموعه این سه عنصر، اساس و بنیاد پدافند هوایی است: (غلامی، ۱۳۹۴: ۲-۱)

(۱) حسگرها[1]: به روش‌های گوناگون، وجود شیء پرنده را در فضای کشور کشف نموده و از محل و نحوه فعالیت آن شبکه یکپارچه پدافند هوایی را به طرق مختلف مطلع می‌نماید.

(۲) بازوهای اجرایی: مجریان سامانه یکپارچه پدافند هوایی هستند و وظیفه درگیری با متجاوزین به حریم هوایی یا دشمن را تحت فرمان و کنترل سامانه فرماندهی به عهده دارند و از دو بخش کاملاً مجزای هوا پایه و زمین پایه تشکیل شده‌اند.

(۳) شبکه فرماندهی و کنترل: مسئولیت جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل و تطابق اخبار و گزارش‌ها را به‌صورت لحظه‌ای در کل شبکه و اطلاع رسانی، کنترل و صدور فرمان‌ها به اعضاء شبکه یکپارچه پدافند هوایی را به عهده دارد. (همان منبع)

سامانه کشف: یک سامانه ضد هواپیمای بدون سرنشین، برای کشف هدف خود، باید به سامانه متشکل از یک یا چند حسگر شامل فناوری‌های مختلف مجهز باشد. در حقیقت، انواع مختلفی از حسگرها وجود دارد که برای کشف اهداف، از امواج الکترومغناطیسی و صوتی یا طیف نوری استفاده می‌کنند. به‌عنوان‌مثال، حسگرهای تصویری در طیف الکترومغناطیسی، در تمام فرکانس‌های قابل مشاهده کار می‌کنند، درحالی‌که یک رادار می‌تواند در فرکانس‌های ماکروویو کار کند. اولین تمایز فنّاورانه که می‌توانیم برای طبقه‌بندی حسگرها به آن اشاره‌کنیم، بین حسگر فعال و منفعل است. تفاوت اساسی بین دو نوع بر اساس استفاده از انرژی برای «احساس» اشیاء موجود در فضا است. برای حسگرهای فعال، تابش الکترومغناطیسی یا صوتی منتشر می‌شود که با استفاده از آن می‌توان فاصله اشیاء را در فضا اندازه‌گیری کرد، به‌عنوان‌مثال، اندازه‌گیری تأخیر بین تابش ساطع‌شده توسط خود حسگر و آن‌که توسط بازتاب‌های منعکس شده از اشیاء دریافت

[1] Sensors

شده است. رادارها و حسگرهای لیدار[1] متعلق به این گروه هستند. از طرف دیگر، حسگرهای منفعل انرژی را از محیط و از شیء شناسایی‌شده دریافت می‌کنند که می‌تواند برای بازسازی اطلاعات مفید استفاده شود. بیشتر حسگرهای منفعل مورد استفاده دوربین‌های نوری و مادون‌قرمز هستند (Castrillo & athers, 2022).

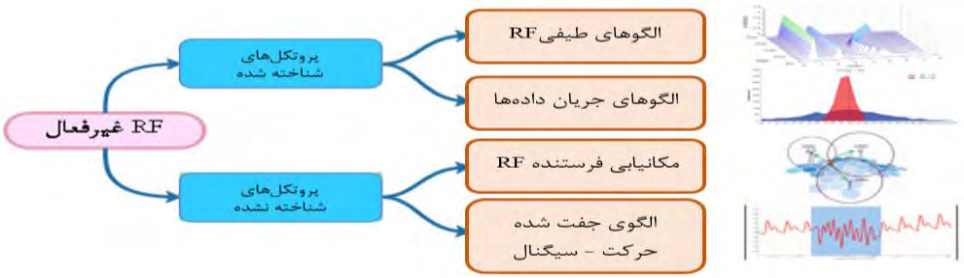
مؤلفه‌های اثرگذار در کشف سامانه هواپیماهای بدون سرنشین: از سال ۲۰۱۴، پنج فناوری برای تشخیص UAS ارائه شده است، ازجمله صوتی، مشاهده، فرکانس رادیویی غیرفعال، رادار و ترکیب داده‌ها، در این بخش به تبیین هر یک از مؤلفه‌های بعد سامانه کشف UAS پرداخته و مزایا و معایب آن بیان می‌شود (Wang, Liu, & Song, 2021).

(۱) کشف UAS مبتنی بر صوت:[2] در این روش برای کشف UAS از حسگرهای صوتی برای ضبط صدای UAS، استفاده می‌کند. آرایه‌های حسگر صوتی که در اطراف مناطق محدود مستقر شده‌اند، سیگنال صوتی را به‌صورت دوره‌ای ضبط می‌کنند و سیگنال صوتی را به ایستگاه‌های زمینی می‌رسانند. ایستگاه‌های زمینی ویژگی‌های سیگنال صوتی را استخراج می‌کنند تا مشخص کنند که آیا UAS در حال نزدیک شدن است یا خیر، به‌طور معمول، پس از دریافت سیگنال صوتی UAS، طیف توان یا طیف فرکانس برای کشف UAS مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. ویلیمک جی[3] و همکارانش کدگذاری خطی پیش‌بینی را برای تشخیص صدای موتور UAS از صدای موتور خودرو اتخاذ کردند، اما عملکرد آن تابع شرایط آب و هوایی بود. (Vilímek & Buřita, 2017) کیم، جی[4] و همکارانش یک سامانه تشخیص و تجزیه و تحلیل صدای UAS در زمان واقعی طراحی کردند که می‌توانست داده‌های صوتی بی‌درنگ را از حسگر دریافت کند و UAS را کشف کند (Kim and Others, 2017, pp. 1-5).

(۲) کشف مبتنی بر فرکانس رادیویی (RF)[5] غیرفعال[6]: UAS معمولاً حداقل یک پیوند داده ارتباطی فرکانس رادیویی RF را برای کنترل از راه دور خود برای دریافت دستورات کنترل یا ارائه تصاویر هوایی نیاز دارد. در این مورد، الگوهای طیفی چنین انتقالی به‌عنوان شواهد مهمی برای کشف و مکان‌یابی UAS استفاده می‌شود. فن‌آوری‌های مختلف RF غیرفعال در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. در بیشتر موارد، گیرنده‌های رادیویی تعریف شده نرم‌افزار (SDR)[7] برای ره‌گیری

[1] LiDAR:light detection and ranging
[2] Acoustic based UAS Detection
[3] Vilímek, J
[4] Kim, J
[5] RF:Radio Frequency
[6] Passive RF based Detection
[7] SDR:Software Defined Radio

کانال‌های RF استفاده می‌شوند. برای استفاده از الگوهای طیف UAS، یک الگوریتم تشخیص شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)[1] برای سیگنال فرکانس رادیویی UAS پیشنهاد شده که از سه ویژگی سیگنال استفاده می‌کند: شیب بهبود یافته، چولگی (عدم تقارن) بهبود یافته و کشیدگی بهبودیافته است. نتایج نشان داده که الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر ANN از سایر فناوری‌های تشخیص بهتر عمل می‌کند (Zhang and Others,2018).



شکل (۱) دسته‌بندی روش‌های RF غیرفعال

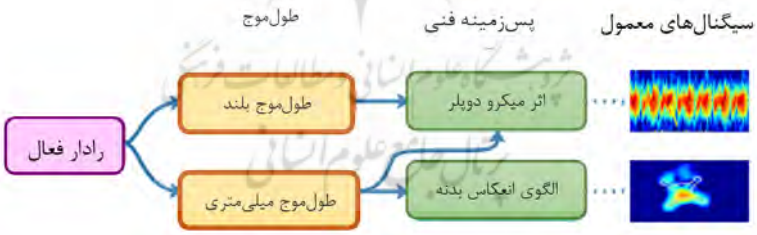
(۳) کشف UAS مبتنی بر مشاهده[2]: فناوری‌های کشف UAS مبتنی بر مشاهده عمدتاً بر پردازش تصویر متمرکز هستند. فیلم‌ها و دوربین‌ها برای گرفتن تصاویری از تجاوز UAS استفاده می‌شوند. ایستگاه‌های زمینی با روش‌های محاسباتی، شکل ظاهری UAS را از روی فیلم‌ها و عکس‌ها مشخص می‌کنند. روش‌های مرسوم عمدتاً بر روش‌های تقسیم‌بندی تصویر متکی هستند. تفاوت UAS و محیط، برای تعیین ورود هواپیمای بدون سرنشین غیرمجاز استفاده می‌شود. با استفاده از فناوری‌های متمایزسازی، تصاویر مزاحم پس‌زمینه مانند تصاویر پرندگان در حال پرواز از تصویر هواپیماهای بدون سرنشین متمایز می‌شود. فناوری‌های معمولی کشف UAS مبتنی بر مشاهده در شکل (۲) خلاصه شده است (Hengy and Others, 2017).

شکل (۲) دسته‌بندی روش‌های مبتنی بر مشاهده

[1] ANN:Artificial Neural Networks
[2] Vision based UAS detection

(۴) کشف UAS مبتنی بر رادار[1]: رادارها در کشف اجسام معلق در هوا در مقایسه با سایر حسگرها از نظر توانایی عملیات در روز و شب، استقلال از آب‌وهوا و توانایی اندازه‌گیری برد و سرعت به‌طور هم‌زمان دارای مزایای متعددی هستند. بااین‌حال، سامانه‌های راداری معمولی بر روی اهداف هوایی با اندازه متوسط و بزرگ با سطح مقطع راداری (RCS)[2] بزرگ‌تر از یک متر مربع تمرکز می‌کنند که تشخیص UAS کوچک و سرعت کم را غیرممکن می‌سازد. کشف UAS به دلیل سرعت پایین دشوار است، زیرا معمولاً از پردازش داپلر استفاده می‌شود؛ بنابراین، تلاش‌هایی برای توسعه الگوهای راداری جدید با افزایش وضوح کشف سامانه‌های معمولی مورد نیاز است. سه دسته از فناوری‌های شناسایی UAS مبتنی بر رادار شامل: شناسایی فعال، شناسایی غیرفعال و پردازش سیگنال پسین هست (Rovkin and Others, 2018, pp. 371-374).

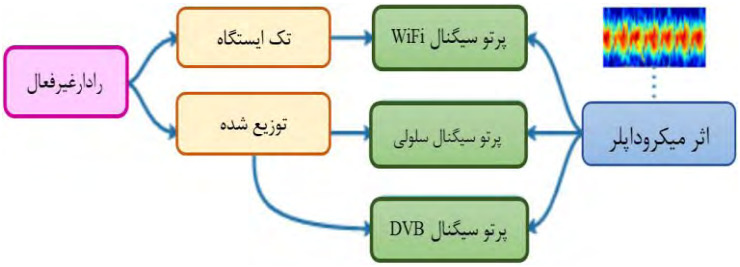
۱. **کشف فعال:** به‌طور معمول، دو راه برای افزایش وضوح سامانه‌های کشف رادار معمولی برای نظارت UAS وجود دارد: استفاده از حامل‌های فرکانس بالاتر و استفاده از تشکیل دهنده پرتو رادیویی نهایی، با ورودی و خروجی چندگانه (MIMO)[3]، برای استفاده از طول موج کوتاه‌تر، رادارهای موج پیوسته مدوله شده (FMCW)[4]، فرکانس باند X و باند W برای کشف UAS طراحی شده‌اند. با استفاده از آنتن دو ایستگاهی، سیگنال‌های دریافتی به جریان مربعی رقومی برای پردازش پسین تبدیل می‌شود. (Caris and Others, 2017, pp. 1-6) فرکانس رادار برای کشف UAS باید ۲۴ گیگاهرتز و سیگنال‌های باند فوق‌العاده گسترده (UWB)[5] و فرکانس حامل بالاتر باید شش گیگاهرتز (باند K) باشد (Nakamura and Hadama, 2017).



شکل (۳) دسته‌بندی روش‌های مبتنی بر رادار فعال

[1] Radar based UAS Detection
[2] RCS: Radar Cross-Section
[3] MIMO:Multiple Input Multiple Output
[4] FMCW: Frequency Modulated Continuous Wave
[5] UWB: using Ultra Wide Band

۲. **رادار غیرفعال:** رادارهای غیرفعال به فرستنده طراحی شده خاصی نیاز ندارند. از منابع رادار فعال موجود مانند سیگنال‌های سلولی می‌توان برای روشن کردن فضا استفاده کرد. رادارهای غیرفعال به دو دسته تقسیم می‌شود: رادار غیرفعال تک ایستگاهی و رادار غیرفعال مصنوعی توزیع شده، همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده‌شده است (Zywek, Krawczyk and Malanowski, 2018, pp. 1-10).



شکل (۴) دسته‌بندی روش‌های مبتنی بر رادار غیرفعال

رادار غیرفعال تک ایستگاهی: این نوع رادار غیرفعال تنها از یک منبع روشنایی بهره‌برداری می‌کند. تنوع سیگنال‌های دریافتی را می‌توان برای مشخص کردن ظاهر UAS تجزیه و تحلیل کرد. یک رادار غیرفعال مبتنی بر وفاداری بی‌سیمی (WiFi)[1] برای شناسایی و مکان‌یابی دو بعدی هواپیماهای کوچک استفاده می‌شود. بدیهی است که این مستقیم‌ترین انطباق رادارهای فعال است (Martelli and Others, 2017, pp. 1-6).

رادار غیرفعال مصنوعی توزیع شده: ایستگاه توزیع شده از زیرساخت‌های مخابراتی موجود به‌عنوان منابع روشنایی برای افزایش کشف UAS استفاده می‌کند. عمدتاً دو روش وجود دارد: راه‌حل‌های مبتنی بر سامانه سلولی و راه‌حل‌های مبتنی بر سامانه پخش ویدئوی رقومی (DVB)[2] رادارهای غیرفعال مبتنی بر سامانه سلولی: در این روش هواپیماهای بدون سرنشین، با استفاده از سیگنال منعکس شده از امواج سامانه جهانی همانند ارتباطات سیار (GSM)[3] مکان‌یابی و ردیابی کند (Knoedler, Zemmari, and Koch, 2016, pp. 1-4). از ویژگی‌های داپلر سیگنال سلولی سه G برای نظارت بر منطقه هدف و ردیابی مسیر UAS استفاده می‌کنند. نتایج نشان داد که هواپیماهای بدون سرنشین را می‌توان به‌وضوح در طیف داده‌ها ردیابی کرد. اشکال این روش این است که برای کالیبره کردن سیگنال دریافتی به یک گیرنده مرجع نیاز دارد، که دقت کشف به‌طور جدی به‌دقت کالیبراسیون بستگی دارد (Chadwick, 2017, pp. 1-6).

---

[1] WiFi: Wireless Fidelity
[2] DVB:Digital Video Broadcasting
[3] GSM: Global System for Mobile communications

رادارهای غیرفعال مبتنی بر سامانه پخش ویدئوی رقومی: سیگنال‌های تلویزیون رقومی فراگیر به‌عنوان یک منبع روشنایی کارآمد برای رادارهای شناسایی غیرفعال هواپیماهای بدون سرنشین در نظر گرفته می‌شوند. این نوع رادارهای شناسایی غیرفعال برای کشف هواپیماهای بدون سرنشین طراحی و آزمایش شدند (Fang and Others, 2018). مشابه روش‌های راداری فعال، می‌توان از اثر میکرو دوپلر استفاده کرد.

۳. **پردازش سیگنال پسین:** در تشخیص UAS، تلاش‌هایی برای استخراج سیگنال‌های بازتاب ضعیف و پراکنده اهداف از خروجی نویز انتهای RF مورد نیاز است. تحقیقات در این حوزه را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: کشف مبتنی بر ویژگی سیگنال مرسوم و تشخیص الگوی مبتنی بر یادگیری، طبقه‌بندی کلی سیگنال رادار در شکل (۵) آورده شده است.

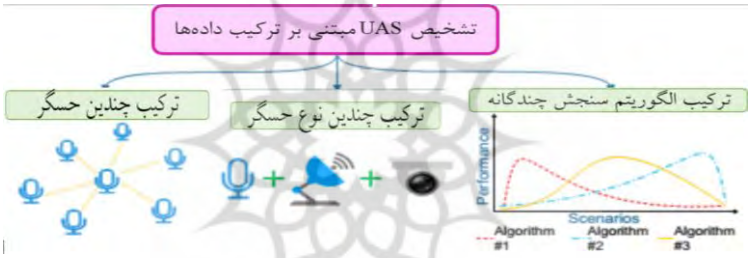
شکل (۵) طبقه‌بندی پردازش سیگنال رادار

کشف مبتنی بر ویژگی سیگنال: ثابت شده است که اثر میکرو داپلر ملخ‌های UAS یک ویژگی مفید برای کشف UAS است. روش‌هایی برای تخمین UAS با اندازه کوچک با تمرکز براثرهای میکرو داپلر پره‌های روتور چرخان مورد بحث قرار گرفته‌اند. (Zhao & Su, 2018, pp. 2048-2057) نتایج آزمایش‌های آن‌ها ثابت کرد که چنین ویژگی می‌تواند برای تشخیص UAS از سایر اشیاء پرنده استفاده شود. روشی مبتنی بر تبدیل هوف[1] برای بهبود عملکرد تشخیص و ردیابی پیشنهاد شده است (Zhou, Liu & Song, 2016, pp. 1-4).

کشف الگوی مبتنی بر یادگیری: روش‌های تشخیص الگوی مبتنی بر یادگیری قادر به طبقه‌بندی انواع مختلف اشیا هستند. نمونه‌ای از روش‌های طبقه‌بندی مرسوم که آزمایش طبقه‌بندی UAS در مقابل مسیرهای غیر UAS را بر اساس ترکیبی از پرنده، هواپیما و مسیرهای UAS شبیه‌سازی شده نشان داده که عمدتاً بر اساس ویژگی‌های آماری مسیرها است و نرخ دقت بالایی را به دست می‌دهد. روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی از تکنیک‌های یادگیری عمیق برای خودکار سازی فرآیند مهندسی ویژگی‌های یادگیری ماشین معمولی استفاده می‌کنند (Mohajerin and Others, 2014).

[1] houph transform روشی برای استخراج ویژگی‌ها در آنالیز تصاویر، بینایی رایانه‌ای و پردازش تصویر رقومی است

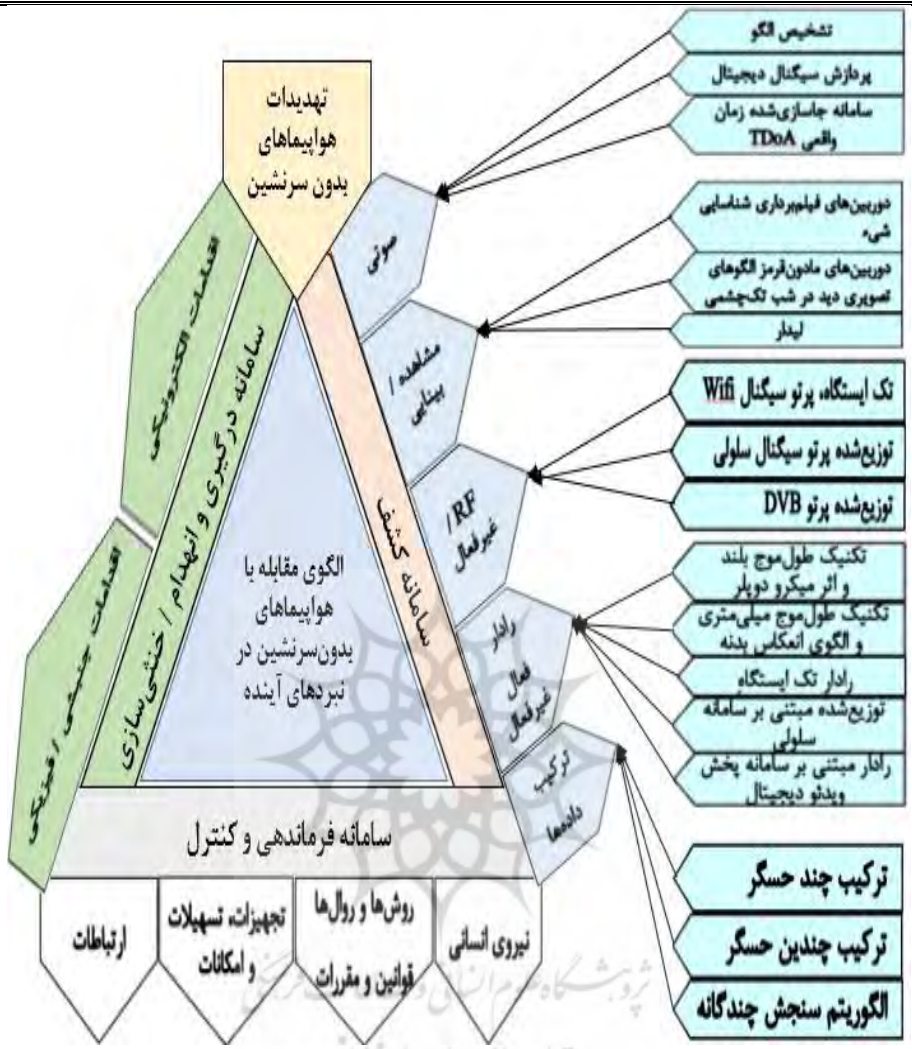
(۵). کشف UAS مبتنی بر ترکیب داده[1]: ادغام داده‌ها که فرآیند یکپارچه سازی چندین منبع داده برای تولید اطلاعات سازگارتر، دقیق‌تر و مفیدتر از اطلاعات ارائه شده توسط هر منبع داده یگانه است، پتانسیل تولید داده‌های ترکیبی را دارد که آموزنده‌تر و ترکیبی‌تر از ورودی‌های اصلی هستند. روش‌های ترکیب داده‌ها می‌توانند از مزایای هر روش برای به دست آوردن یک نتیجه ترکیبی که قوی‌تر، دقیق‌تر و کارآمدتر از روش‌های منفرد است، استفاده کنند. برای کشف UAS، ترکیب داده‌ها می‌تواند برای بهبود عملکرد سامانه کشف UAS برای غلبه بر معایب روش واحد که در برخی طرح‌های خاص وجود دارد، استفاده شود. بر اساس بحث فوق، معایب و مزایای هر روش ارائه شده شامل، محدودیت در وسعت منطقه کشف و دقت آن، آسیب‌پذیری در برابر طرح‌های کشف و کارایی محاسبات است. بر اساس مشکلات کلی فوق، تحقیق در مورد شناسایی UAS مبتنی بر ترکیب داده‌ها نشان داده شده در شکل (۶) را می‌توان به سه دسته طبقه‌بندی کرد: ۱) ترکیب داده‌های چند حسگری. ۲) ترکیب داده‌های چند نوع حسگر. ۳) ترکیب الگوریتم سنجش چندگانه (Wang, Liu, & Song, 2021)



شکل (۶) تشخیص UAS مبتنی بر ترکیب داده‌ها

مدل مفهومی تحقیق: با نگرش به اطلاعات گردآوری شده در قالب مدارک (اسناد و مدارک و مصاحبه با خبرگان)، چارچوب مفهومی مهم‌ترین مؤلفه‌های اثرگذار بعد کشف سامانه هواپیماهای بدون سرنشین جهت مقابله با آن‌ها در صحنه‌های نبرد آینده به شرح زیر و برابر شکل شماره (۷) ترسیم شده است.

[1] Data-fusion-based UAS Detection



شکل (۷) چارچوب مفهومی شاخص‌ها و مؤلفه‌های مؤثر بر کشف هواپیماهای بدون سرنشین

پیشینه تحقیق

در رابطه با موضوع تحقیق تعدادی رساله دکتری و مقاله علمی پژوهشی مرتبط مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت که خلاصه نتایج پژوهش‌هایی که ارتباط بیشتری با موضوع تحقیق داشتند برابر جدول زیر ارائه می‌گردد:

جدول (۲) خلاصه نتایج پژوهش‌های انجام شده مرتبط با موضوع

نویسنده	سال	عنوان موضوع رساله / مقاله	خلاصه نتایج (ابعاد، مولفه‌ها و شاخص‌های الگو)
مهدی علی‌نژاد	۱۳۹۶	رساله: طراحی الگوی آرایه‌های پدافندی زمین به هوا در مقابله با تهدیدات علیه مناطق و مراکز حیاتی و حساس (در افق چشم‌انداز ۱۴۰۴)	۱. سامانه‌های سلاح با پنج مؤلفه ۲. سامانه‌های فرماندهی و کنترل با پنج مؤلفه ۳. پدافند غیرعامل با چهار مؤلفه
سید اسماعیل شهرآئینی	۱۳۹۲	رساله: طراحی الگوی راهبردی چابک سازی یگان‌های عمده‌ی قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (صلی‌الله علیه وآله) آجا متناسب با تهدیدات ناهمتراز	۱. سامانه‌ی فرماندهی و کنترل (با چهار عامل و ۲۱ شاخص) ۲. ساختار (با هفت عامل و ۱۹ شاخص)
بهزاد غفاری	۱۴۰۰	مقاله: تبیین مؤلفه‌های اثرگذار بر بعُد فیزیکی ارتقای توان رزمی پدافند هوایی ج.ا.ایران جهت مقابله با تهدیدهای هوایی آینده	۱. سامانه‌های کشف ۲. سامانه سلاح (هوا پایه و زمین پایه) ۳. آماد و نگهداری و تعمیر ۴. بودجه دفاعی و ترابری
پورشاسب، عبدالعلی، خسروی، عباس	۱۳۹۶	مقاله: هفت‌آسمان پدافندی الگوی بومی لایه‌های پدافند هوافضایی با رویکرد آمیخته (عملیاتی و صنعتی)	بین شرایط ژئوپلیتیکی و اقتضائات ملی هر کشور با معماری لایه‌های پدافند هوایی رابطه معنادار وجود دارد.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با نگاه جامع و اساسی به موضوع، ابتداً آنچه هست را بررسی و توصیف کرده و سپس به روش علمی آنچه را که باید باشد را با ارائه الگویی مفهومی بیان می‌کند، بنابراین روش پژوهش توصیفی و موردی - زمینه‌ای به شیوه پیمایشی با رویکرد آینده پژوهانه و آمیخته هست. برای شناسایی مؤلفه‌های هر یک از ابعاد و شاخص‌های هر یک از مؤلفه‌ها از اسناد و مدارک و روش دلفی سنتی که مطابقت با موضوع پژوهش دارد استفاده شده است. در این پژوهش با استفاده از

تکنیک (ISM)[1] (مدل‌سازی ساختاری تفسیری) برای کشف ارتباط بین متغیرهای احصاء شده انجام گرفته است:

ایده اصلی مدل‌سازی ساختاری تفسیری تجزیه یک سامانه پیچیده به چند زیرسامانه (عناصر) با استفاده از تجربه عملی و دانش خبرگان به‌منظور ساخت یک مدل ساختاری چند سطحی هست این طراحی برای توسعه چارچوب الگو به‌کار می‌رود تا اهداف کلی تحقیق امکان‌پذیر شود (افجه‌ای و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۳۴). این الگو در تشخیص روابط درونی متغیرها مؤثر بوده و یک تکنیک مناسب برای تجزیه و تحلیل تأثیر یک متغیر بر متغیر دیگر است و در اولویت‌بندی و تعیین سطح عناصر یک سامانه کمک شایان به مدیران برای اجرای بهتر الگو طراحی شده می‌کند (وثوقی نیری و همکاران،: ۱۳۹۶). به‌عبارت دیگر، با استفاده از این رویکرد می‌توان روابط میان متغیرها را شناسایی، و الگوی ساختاری تفسیری از این عامل‌ها ارائه داد و در نهایت متغیرها را بر اساس قدرت نفوذ و میزان وابستگی طبقه‌بندی نمود (آذر و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۵۹). در این پژوهش مدل‌سازی ساختاری تفسیری برابر مراحل زیر انجام‌شده است:

مرحله اول: شناسایی متغیرهای مرتبط با مسئله: این مرحله با بررسی مطالعات گذشته، اسناد و دریافت نظر کارشناسان و خبرگان صورت گرفته است.

مراحله دوم: تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری[2]: در این مرحله متغیرهای مسئله به‌صورت دو به دو و زوجی باهم بررسی می‌شوند و پاسخ دهندگان (تکمیل‌کنندگان پرسش‌نامه) می‌توانند از چهار نماد استفاده کنند که هر نماد یک معنای خاص دارد:

V این معنا را می‌دهد که میزان تأثیر a در کشف بیشتر از b است.

A این معنا را می‌دهد که میزان تأثیر b در کشف بیشتر از a است.

X این معنا را می‌دهد که فرعی b و a میزان تأثیر یکسان در کشف دارند.

O این معنا را می‌دهد b و a نامربوط هستند؛ و میزان تأثیر آن‌ها در کشف قابل‌مقایسه نیستند.

با توجه به اینکه در این پژوهش مسئله میزان تأثیر در کشف گام‌ها در مراحل مورد نظر بود برای بررسی ارتباط دو به دویی این گام‌ها از مقیاس زیر کمک گرفته شد (بولانوس و همکاران، ۲۰۰۵).

گام a بر گام b اولویت دارد (عدد یک)

گام a بر گام b اولویت ندارد (عدد صفر)

سپس نتایج به‌دست آمده از پرسش‌نامه‌ها با یکدیگر جمع و در نهایت طبق روابط زیر ماتریس خود تعاملی ساختاری به دست می‌آید.

---

[1] ISM: Interpretive Structural Modelling

[2] Structural Self-Interaction Matrix

ابتداً یک مقیاس عددی واحد در نظر گرفته و اعداد به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه را با آن مقایسه می‌شود. درصورتی‌که عدد از مقیاس بزرگ‌تر باشد در جدول دسترسی اولیه عدد یک و در غیر این صورت عدد صفر قرار می‌دهیم.

$$M = \begin{cases} a_{ij} = 1 IF a_{ij} \geq m \\ a_{ij} = 0 IF a_{ij} < m \end{cases}$$

مرحله سوم: ایجاد ماتریس دسترسی اولیه[1]

مرحله چهارم: ایجاد ماتریس دسترسی نهایی[2]

مرحله پنجم: بخش‌بندی سطح

مرحله ششم: رسم مدل ساختار تفسیری

برای اجرای روش مدل سازی ساختاری تفسیری و ارائه الگو باید از نمونه‌گیری غیرتصادفی هدفمند یا قضاوتی استفاده کرد. در ضمن روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری ایجاب می‌کند که اطلاعات از خبرگان و متخصصین دریافت و تحلیل شود. ابزار جمع‌آوری اطلاعات در این روش پرسش‌نامه ساخت یافته است. در ادامه ماتریس مجاور تشکیل می‌شود و طول مسیری را که هر جزء از سامانه، در دسترس از جزء دیگر است را می‌توان با استفاده از توان ماتریس مجاور به دست آورد. در مرحله بعد ماتریس دسترسی با استفاده از نظریه اویلر محاسبه می‌شود. برای این کار ماتریس مجاور را به ماتریس همانی اضافه می‌کنیم و سپس این ماتریس را در صورت تغییر نکردن درایه‌های ماتریس به توان n می‌رسانیم. در ادامه افراز بندی الگو به سطوح مختلف انجام می‌شود. تفکیک سامانه به سطوح مختلف (افراز بندی به سطوح مختلف)، به شفاف سازی نقش هر یک از اجزای تشکیل دهنده و تعامل طرفینی آن‌ها کمک و فرایند تجزیه و تحلیل آن‌ها را نیز تسهیل می‌کند. در نهایت مراحل افراز بندی الگو فرایندی به سطوح مختلف بیان می‌شود.

ابزار گردآوری داده‌ها، مطالعه اسناد و مدارک بوده و از آنجا که این پژوهش با استفاده از روش‌های توصیفی و موردی - زمینه‌ای با رویکرد اکتشافی و آینده پژوهی انجام شده، بنابراین در این پژوهش ابزار گردآوری داده‌ها با توجه به ماهیت آن در تقدم یکم اسناد و مدارک بوده است. جامعه آماری این پژوهش شامل خبرگانی بوده که در زمینه پدافند هوایی و مدیریت راهبردی دفاعی صاحب‌نظر و دارای دانش و تجربه و سوابق مدیریتی و فرماندهی و تألیفات علمی و مدارک علمی معتبر بوده‌اند. که با توجه به مراحل عملی پژوهش، به شرح جدول زیر معرفی می‌شود:

---

[1] -Initial reachability matrix

[2] -Final Reachability Matrix

جدول (۳) حجم نمونه‌ها متناسب با مراحل اجرای پژوهش

مرحله	نمونه عملی	تعیین حداقل حجم نمونه لازم
دلفی	۱۰ نفر	گزینش صاحب‌نظران بر اساس اعتماد، اغنای محتوایی و خبرگی لازم در رابطه با موضوع (خبرگی متناظر با دانش، تجربه و اشراف به وضعیت)
ساختاری تفسیری	۲۵ نفر	روش نمونه‌گیری در این مرحله، نمونه‌گیری هدفمند (قضاوتی) است. نمونه‌گیری از خبرگان، شامل انتخاب از بین افرادی است که تجربه یا خبره بودن آن‌ها در حوزه مطالعاتی این پژوهش محرز شده است.

تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

شناسایی شاخص‌ها و مؤلفه‌های بعد کشف هواپیماهای بدون سرنشین

۱. کشف UAS مبتنی بر صوت: آرایه حسگر صوتی می‌تواند دقت تشخیص را بهبود بخشد و حسگرهای متعدد در مکان‌های مختلف می‌توانند موقعیت UAS را تعیین کنند.

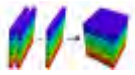
۲. کشف UAS مبتنی بر RF غیرفعال: RF غیرفعال به چندین آنتن نیاز دارد تا یک آرایه آنتن را تشکیل دهد و UAS را با توجه به ترکیب نتایج تشخیص هر آنتن شناسایی کند. روش‌های تشخیص RF غیرفعال به‌شدت به پروتکل مسافت سنجی و انتهای RF وابسته هستند.

۳. کشف UAS مبتنی بر مشاهده: اگرچه تشخیص مشاهده برای مدت طولانی مورد بررسی قرارگرفته است، تلاش‌های تحقیقاتی هنوز برای بهبود عملکرد آن‌ها مورد نیاز است.

٤. کشف UAS مبتنی بر رادار: رادار زمینی می‌تواند به‌خوبی نیازهای کشف UAS را در ارتش برآورده کند؛ اما برای استفاده غیرنظامی از کشف UAS در مناطقی مانند استادیوم‌ها و مناطق مسکونی، طرح‌های فعلی آسان و سریع در مکان‌های پرازدحام قابل‌استقرار نیستند. اکثر رادارها به‌شدت به آنتن‌هایی که بسیار بزرگ و فاقد انعطاف هستند وابسته هستند.

٥. کشف UAS مبتنی بر ترکیب داده‌ها: چندین سیگنال از سامانه‌های کشف مختلف که فرمت داده‌های متفاوتی دارند با هم ترکیب می‌شوند. روش‌های سنتی انجام گرفته بر روی داده‌های مختلف با دقت دریافت یکسان عملکرد خوبی دارند، برای کشف UAS غیرمجاز یا ناایمن، نظارت باید چندین داده را از سامانه‌های مختلف از جمله ویدئو، رادیو و صدا و غیره ترکیب کند. یک روش ترکیبی جدید می‌تواند داده‌ها را در قالب‌های مختلف به‌طور هم‌زمان وارد کرده و به‌راحتی در سامانه‌های تعبیه شده مختلف حمل کند.

جدول (۴) شاخص‌ها و مؤلفه‌های بعد کشف

مؤلفه‌های بعد کشف	شاخص‌ها	اصول	مزایا	معایب
صوتی	۱. تشخیص الگو ۲. پردازش سیگنال ۳. TdoA	الگوی صوتی موتورهای چرخان	کم هزینه، سبک‌وزن	تحت تأثیر شرایط آب و هوایی
بینایی	۱. دوربین‌های فیلم‌برداری ۲. دوربین‌های مادون‌قرمز	الگوی منحصربه‌فرد ظاهری	کم‌هزینه، سبک وزن، اندازه	مصرف بالا تأثیر نور محیطی، تشخیص محدود
RF غیرفعال	۱. تک ایستگاه پرتو سیگنال Wifi ۲. توزیع شده سلولی ۳. پرتو DVB	الگوی قابل تشخیص سیگنال‌های رادیویی	کم هزینه، دوربرد، ظرفیت، کشف	ظرفیت محدود به طرح FHSS و DSSS، اختلال با سایر دستگاه‌ها
رادار (فعال غیرفعال)	۱. تکنیک طول موج بلند و میلی‌متری و الگوی انعکاس ۲. رادار تک ایستگاهِ ۳. پخش ویدئو	اثرات پروانه‌های چرخان	برد بلند. دقت بالا	فعال: هزینه بالا، مصرف برق بالا،
		تغییرات در طیف	دور برد، کم هزینه	غیرفعال: عدم توانایی کشف
ترکیب داده 	۱. ترکیب چند حسگر ۲. ترکیب چندین حسگر ۳. الگوریتم سنجش چندگانه	تصمیم‌گیری ترکیبی	قابلیت اطمینان بالا	ظرفیت محاسباتی بالا و هزینه بالا

مدل سازی ساختاری تفسیری یکی از ابزارهایی است که تعامل بین متغیرهای مختلف را نشان می‌دهد. مدل سازی ساختاری تفسیری روابط بین متغیرها را به‌صورت روابط سلسله مراتبی نشان می‌دهد؛ بنابراین، این روش به‌منظور شناسایی و نشان دادن روابط بین اجزای مختلف که می‌توانند روابط پیچیده‌ای داشته باشند مورد استفاده قرار می‌گیرد (عطری و همکاران: ۲۰۱۳) گام‌های روش ساختاری تفسیری به شرح زیر است.

مرحله اول: تعریف گام‌ها: (۱: ترکیب داده چند حسگر۲: ترکیب چندین نوع حسگر و ...)

مرحله دوم: تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری

جدول (۵) ماتریس خود تعاملی ساختاری

شاخص‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸		۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱	۲۵	۲۱	۷	۵	۲	۳	۳	۵		۹	۶	۱۰	۱۹	۶
۲	۱۹	۲۵	۲	۴	۲۲	۵	۴	۱۸		۵	۷	۶	۱۸	۸
۳	۱۸	۲۰	۲۵	۶	۲	۲	۴	۲		۱۷	۱۸	۴	۸	۶
۴	۲۱	۲	۵	۲۵	۱۸	۲۰	۲۰	۱۹		۷	۴	۶	۴	۶
۵	۵	۱۷	۶	۶	۲۵	۳	۵	۱۶		۱۸	۶	۱۸	۲۰	۲۰
۶	۶	۹	۲	۲۳	۱۸	۲۵	۲۱	۲۲		۱۹	۲۰	۱۹	۱۸	۱۸
۷	۵	۸	۵	۱۹	۲۰	۱۷	۲۵	۲۱		۱۹	۱۹	۱۸	۱۹	۱۷
۸	۱۷	۲۲	۲۲	۱۸	۲۰	۴	۲	۲۵		۷	۴	۱۵	۱۳	۱۷
۹	۱۵	۳	۱۴	۶	۱۹	۶	۸	۷		۲۵	۱۴	۵	۱۹	۱۷
۱۰	۵	۶	۱۸	۸	۸	۵	۹	۸		۸	۲۵	۷	۹	۷
۱۱	۷	۱۶	۷	۴	۱۶	۷	۶	۱۷		۶	۵	۲۵	۱۶	۱۴
۱۲	۶	۷	۵	۷	۹	۵	۶	۶		۸	۵	۵	۲۵	۵
۱۳	۵	۷	۴	۷	۱۶	۶	۶	۱۷		۱۵	۵	۱۷	۱۵	۲۵

مرحله سوم: ایجاد ماتریس دسترسی اولیه

جدول (۶) ماتریس دسترسی اولیه

شاخص‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰
۲	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰
۳	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰
۴	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱
۶	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۷	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۸	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۹	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱
۱۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
۱۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱

شاخص‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰
۱۳	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱

مرحله چهارم: تهیه ماتریس دسترسی نهایی با طی مراحل مربوط به این مرحله ماتریس دسترسی نهایی برابر جدول زیر به دست آمد.

جدول (۷) ماتریس دسترسی نهایی

شاخص‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	قدرت نفوذ
۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۵
۲	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۸
۳	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۹
۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۳
۵	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱
۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۳
۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۳
۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۳
۹	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰
۱۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۵
۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱۰
۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱
قدرت وابستگی	۱۲	۱۲	۱۰	۷	۱۱	۴	۴	۱۱	۱۱	۹	۹	۱۲	۱۰	

مرحله پنجم: بخش‌بندی سطح نتیجه سطح‌بندی گام‌ها در ماتریس زیر مشخص شده است.

جدول (۸) نتیجه نهایی بخش‌بندی سطوح ماتریس دسترسی

شاخص	مجموعه مشترک	مجموعه ورودی	مجموعه خروجی	سطح
۱	۱، ۲، ۵، ۸،	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳	۱، ۲، ۵، ۸، ۱۲	۱
۲	۱، ۲، ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳	۱، ۲، ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۱

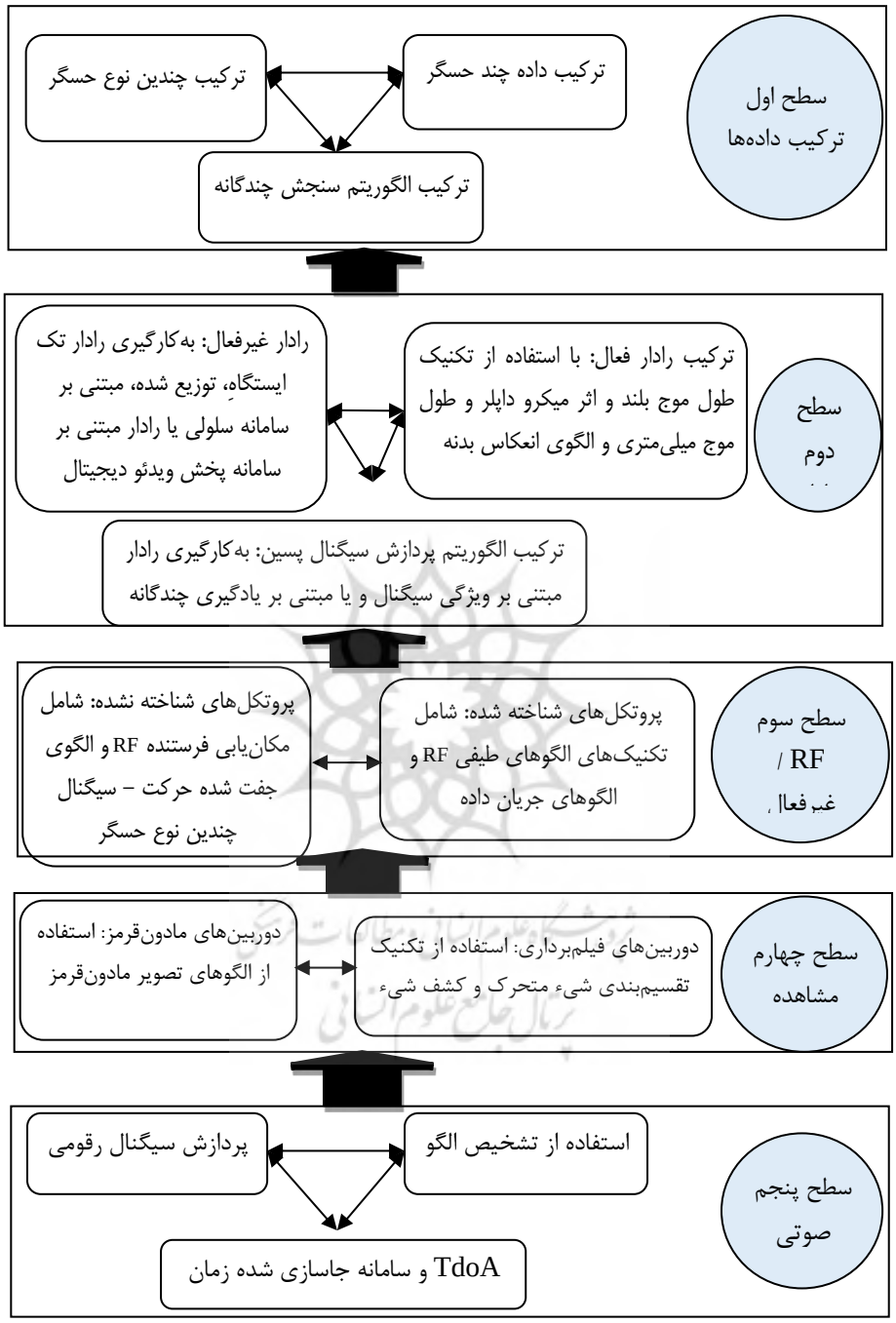
۲	۱، ۲، ۳، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳	۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳	۳، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۳	**۳**
۳	۱،۲،۳،۴،۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۱، ۱۳	۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۱، ۱۳	**۴**
۳	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳	**۵**
۵	۱،۲،۳،۴،۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۴، ۶، ۷، ۸	۴، ۶، ۷، ۸	**۶**
۵	۱،۲،۳،۴،۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۴، ۶، ۷، ۸	۴، ۶، ۷، ۸	**۷**
۴	۱،۲،۳،۴،۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳	۱،۲،۳،۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳	**۸**
۲	۱، ۲، ۳، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳	۲، ۳، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳	**۹**
۲	۱، ۲، ۳، ۹، ۱۰	۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۳	۳، ۹، ۱۰	**۱۰**
۴	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۲، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳	۲، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳	**۱۱**
۱	۱۲	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۱۲	**۱۲**
۵	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳	۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳	۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳	**۱۳**

مرحله ششم: رسم مدل ساختار تفسیری

بر اساس ماتریس بالا مدل ساختاری تفسیری مرحله کشف در شکل زیر آمده است. سطح‌بندی مختصات شکل دهنده مرحله کشف و همچنین نوع رابطه و تعامل بین گام‌ها بر اساس نظر پرسش‌شوندگان (خبرگان) انجام گرفت. در مدل‌سازی ساختاری تفسیری که جزء مدل‌های نرم تحقیق در عملیات و ساخت‌دهی مفاهیم در محیطی پویا و پیچیده هست، بهره‌گیری از نظرات خبرگان جهت سطح‌بندی و تعیین فرایند متعامل متغیرها ره‌گشاست. در همین امتداد هر گامی که در سطح پایین قرار گیرد به همان میزان تقدم آن بر سایر گام‌ها بیشتر و به نسبت وابستگی کم‌تری خواهد داشت. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود بر اساس مدل به‌دست آمده، استفاده از تشخیص الگو، پردازش سیگنال رقومی، TdoA و سامانه جاسازی شده زمان واقعی، دوربین‌های فیلم‌برداری (استفاده از تکنیک تقسیم‌بندی شیء متحرک و کشف شیء) و

دوربین‌های مادون‌قرمز (استفاده از الگوهای تصویر مادون‌قرمز) در سطح پنجم و چهارم به‌عنوان گام‌های کلیدی و مستقل هستند که بیشترین نفوذ را بر سایر گام‌های این مرحله داشته و نقش متغیر مستقل را ایفا می‌نمایند. هرگونه تغییر در این ویژگی‌ها می‌تواند تغییراتی را در کل مرحله کشف موجب شود. گام‌های، پروتکل‌های شناخته شده شامل تکنیک‌های الگوهای طیفی RF و الگوهای جریان داده و پروتکل‌های شناخته نشده (شامل مکان‌یابی فرستنده RF و الگوی جفت شده حرکت – سیگنال) در این مدل در سطح سوم قرار گرفته‌اند. گام‌های، رادار فعال (با استفاده از تکنیک طول موج بلند و اثر میکرو داپلر و طول موج میلی‌متری و الگوی انعکاس بدنه، رادار غیرفعال (به‌کارگیری رادار تک ایستگاهِ، توزیع شده، مبتنی بر سامانه سلولی یا رادار مبتنی بر سامانه پخش ویدئو رقومی) و پردازش سیگنال پسین (به‌کارگیری رادار مبتنی بر ویژگی سیگنال و یا مبتنی بر یادگیری) در این مدل در سطح دوم قرار گرفته‌اند. گام‌های، ترکیب داده چند حسگر، ترکیب چندین نوع حسگر و ترکیب الگوریتم سنجش چندگانه در این مدل در سطح اول قرار گرفته‌اند. این سطح به‌شدت تحت تأثیر گام‌های پیوندی و گام‌های مستقل سطوح دوم تا پنجم است و نیاز هست جهت تقویت گام‌های میانجی و در نهایت وابسته در سطح پنجم به‌خوبی تحلیل و بر اساس آن ارکان جهت ساز سامانه که در سطوح دوم، سوم و چهارم قرار دارند طرح‌ریزی و اجرا شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل (۸) مدل ساختاری تفسیری مرحله کشف

نتیجه‌گیری

با انجام مطالعات کتابخانه‌ای، مراجعه به نظر خبرگان و تجزیه و تحلیل سؤال‌های تحقیق نتایج زیرحاصل گردید:

الف. مهم‌ترین مؤلفه‌های بعد کشف بر اساس رتبه‌بندی از نظر اهمیت و همچنین مهم‌ترین شاخص‌های اثرگذار بر بعد کشف الگوی پدافند هوایی به شرح جدول شماره (۸) هست.

جدول (۹) مهم‌ترین مؤلفه‌ها و شاخص‌های اثرگذار بر کشف هواپیماهای بدون سرنشین

بُعد	مؤلفه		شاخص‌ها
کشف	ترکیب داده		ترکیب داده چند حسگر، ترکیب چندین نوع حسگر و ترکیب الگوریتم سنجش چندگانه
	رادار	رادار فعال	رادار فعال: با استفاده از تکنیک طول موج بلند و اثر میکرو داپلر و طول موج میلی‌متری و الگوی انعکاس بدنه
		رادار غیرفعال	رادار غیرفعال: به‌کارگیری رادار تک ایستگاهِ، توزیع شده، مبتنی بر سامانه سلولی یا رادار مبتنی بر سامانه پخش ویدئو رقومی
		پردازش سیگنال پسین	پردازش سیگنال پسین: به‌کارگیری رادار مبتنی بر ویژگی سیگنال و یا مبتنی بر یادگیری
	RF / غیرفعال		پروتکل‌های شناخته شده: شامل تکنیک‌های الگوهای طیفی RF و الگوهای جریان داده پروتکل‌های شناخته نشده: شامل مکان‌یابی فرستنده RF و الگوی جفت شده، حرکت سیگنال
	مشاهده / بصری		دوربین‌های فیلم‌برداری: استفاده از تکنیک تقسیم‌بندی شیء متحرک و کشف شیء دوربین‌های مادون قرمز: استفاده از الگوهای تصویر مادون قرمز
	صوتی		استفاده از تشخیص الگوِ، پردازش سیگنال دیجیتال، TdoA و سامانه جاسازی شده زمان واقعی

ب) مهم‌ترین تهدیدهای هواپیماهای بدون سرنشین مؤثر بر مأموریت پدافند هوایی کشور با ویژگی‌های فناورانه آینده (سرعت، نانو فناوری، لیزر، سامانه‌های خودکار مستقل (روبات‌ها) ...) و همچنین مؤلفه‌ها و شاخص‌های بعد کشف متناسب با این تهدیدها برابر جدول شماره (۹) مشخص گردید.

جدول (۱۰) تهدیدهای هواپیماهای بدون سرنشین، مؤلفه‌ها و شـاخص‌هـای بعد کشف

تهدیدهای هواپیماهای بدون سرنشین	مؤلفه متناسب با این تهدید	شاخص‌های متناسب با این مؤلفه
اجرای مأموریت‌های راهبردی و تاکتیکی (حملات تهاجمی و رزمی)	• انجام عملیات ممانعت هوایی • انجام عملیات سرکوب سامانه‌های پدافند هوایی • توانایی اجرای مأموریت‌های پشتیبانی نزدیک هوایی • انهدام هدف‌ها و حمله دقیق، عملیات ترکیبی • به‌کارگیری موشک‌ها، توپ‌ها، راکت‌ها، بمب‌ها و ... • ماندگاری طولانی در پرواز و در ارتفاع بالا	کشف سامانه هواپیماهای بدون سرنشین با انواع رادارهای فعال و غیر فعال
جنگ الکترونیک و حملات سایبری الکترونیک	• ایجاد اختلال، فریب و حملات الکترونیکی • مختل کردن سامانه‌های سلاح، شبکه فرماندهی و کنترل • اشباع شبکه عملیاتی و ارتباطی	قابلیت کشف اهداف در شرایط اختلال الکترونیکی
ریستا (مراقبت، شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات و اکتساب هدف)	• اجرای مراقبت، شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات • اکتساب هدف تعیین موقعیت دقیق • پردازش دقیق اطلاعات و افزایش سرعت تصمیم‌گیری • هدایت و کنترل عملیات • دورایستا بودن، مداومت پروازی بالا	کشف سامانه هواپیماهای بدون سرنشین با سطح مقطع راداری کم و دورایستا
توانایی انجام مأموریت‌های پدافندی هوایی	• انجام عملیات ره‌گیری هوایی • استفاده در تمرینات پدافند هوایی • ارزان‌تر بودن نسبت به هواپیماهای باسرنشین • حملات گروهی، کاهش آستانه تحمل سامانه‌های دفاعی	کشف سامانه هواپیماهای بدون سرنشین با RF/ غیرفعال
پیچیده و سخت بودن مراحل	• چندمأموریته بودن، توسعه پنهان‌کاری و شناساگریزی • سطح مقطع راداری کم	کشف هواپیماهای

تهدیدهای هواپیماهای بدون سرنشین	مؤلفه متناسب با این تهدید	شاخص‌های متناسب با این مؤلفه
کشف و درگیری آن‌ها	• سرعت خیلی‌کم، قابلیت مانور بالا • به‌کارگیری به شکل اهداف کاذب به‌صورت انبوه و توده • قابلیت نفوذ به لایه‌های پدافندی	بدون سرنشین با حسگرهای فعال و منفعل در تمام فرکانس‌ها

پیشنهادها

با توجه به استفاده گسترده از سامانه هواپیمای بدون سرنشین (UAS) در سراسر جهان در امور مختلف نظامی و غیرنظامی، برای مقابله با UAS، نیاز فوری به فناوری‌های نوآورانه برای کشف و شناسایی و درگیری و انهدام UAS وجود دارد. در طول ۵ سال گذشته، تلاش‌های تحقیقاتی قابل‌توجهی برای مقابله با UAS انجام‌شده است: که فناوری‌های کشف مبتنی بر صوت، مشاهده، فرکانس رادیویی غیرفعال یا ترکیب داده‌ها هستند؛ در این مقاله، یک بررسی جامع در زمینه کشف UAS ارائه شد، که در این راستا پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد.

(۱) از سامانه‌های کشف (به‌ویژه سامانه‌های راداری) با شاخص‌ها و ویژگی‌های شناسایی‌شده در این تحقیق ازجمله قابلیت کشف هدف‌ها با سطح مقطع راداری کم، قابلیت تلفیق با شبکهٔ یکپارچهٔ پدافند هوایی و ... از طریق طراحی، تولید و یا تهیهٔ سامانه‌های مرتبط استفاده شود.

(۲) سامانه‌های کشف (به‌ویژه سامانه‌هایRF/غیرفعال) با شاخص‌ها و ویژگی‌های شناسایی‌شده در این تحقیق ازجمله هوش مصنوعی (AI)[1] و یادگیری عمیق برای بهبود دقت و استحکام روش‌های تشخیص مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

(۳) با توجه به تهدیدات امنیتی و ایمنی ناشی از استفاده از UASها در زمان صلح در محیط شهری نسبت به به‌کارگیری سامانه‌های کشف صوتی و مشاهده اقدام‌های ضروری لازم هست.

[1] AI: artificial intelligence

(۴) نسبت به تخصیص بودجهٔ دفاعی به طرح‌های تحقیقاتی ساخت و تولید و یا خرید سامانه‌های کشف پدافند هوایی با شاخص‌های گفته‌شده اقدام گردد.

(۵) نیروهای پدافند هوایی کشور بر اساس نیازهای عملیاتی خود متناسب با ویژگی‌های تهدیدات هوایی و تدابیر، نسبت به درخواست تجهیزات پدافندی خود با ویژگی‌های الگوی این تحقیق اقدام نماید.

(۶) سازمان‌ها و صنایع دفاع در طراحی یا تولید تجهیزات پدافند هوایی موردنیاز هرکدام از مؤلفه‌های ابعاد سامانه‌های حسگر مؤلفه‌ها و شاخص‌های الگوی ارائه‌شده در این تحقیق را مدنظر قرار دهند.

(۷) نسبت به به‌کارگیری الگوی ارائه‌شده در این تحقیق در سازمان‌های مرتبط با پدافند هوایی نیروهای مسلح کشور جمهوری اسلامی ایران به‌منظور مقابله با هواپیماهای بدون سرنشین در نبردهای آینده اقدام گردد.

قدردانی

از کلیه استادان و خبرگان محترمی که با در اختیار گذاشتن وقت ارزشمند خود در تکمیل و انجام این پژوهش ما را یاری نمودند کمال تشکر را داریم.

منابع

- افجه‌ای، سید علی‌اکبر؛ دهقانان، حامد؛ خاشعی، ورنا؛ محو، استیوحید و هاشمی، سید محمود. (۱۳۹۵). طراحی مدل تصویرسازی سازمانی دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی با رویکرد ساختاری تفسیری (موردمطالعه دانشگاه علامه طباطبایی)، *فصلنامه پژوهش در نظام‌های آموزشی*. ۱۰ (۳۵): ۲۲۶-۲۵۶.
- افشردی، محمدحسین و نوشادی، غلامرضا (۱۳۹۸)، راهبرد پدافند هوایی صحنه عملیات (سناریو تهدید فرضی صحنه عملیات خوزستان)، *فصلنامهٔ مطالعات دفاعی استراتژیک*. ۱۷ (۷۶): ۵-۲۶.
- آذر، عادل؛ خسروانی، فرزانه و جلالی رضا. (۱۳۹۵). *تحقیق در عملیات نرم*، تهران: انتشارات سازمان مدیریت صنعتی.
- بالازاده، علی‌اصغر و خوشدل امامی، محسن (۱۳۹۴). *نقش پدافند هوایی در امنیت ملی و عملکرد آن*، تهران: انتشارات قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص)
- پورشاسب، عبدالعلی و طالبیان، احمدرضا. (۱۳۹۶). تهدیدات هوایی علیه سامانه‌های راداری قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیا (صلی ا... علیه و آلِ و سلم) آجا در جنگ‌های آینده، *فصلنامه مطالعات دفاعی استراتژیک*. ۱۵(۶۹): ۸۰-۵۸.

- پورشاسب، عبدالعلی؛ پورصادق، ناصر و عزیزی، محمد. (۱۳۹۷). ارائه الگوی ارتقاء سازمان برای رزم در جنگ‌های آینده، *فصلنامه مطالعات دفاعی استراتژیک*، ۱۶(۷۳): ۲۶-۵.
- سیاری، حبیب‌الله. (۱۳۹۲). *سیاست دفاعی*. جزوه درسی دانشگاه عالی دفاع ملی.
- شهرآئینی، سیداسماعیل. (۱۳۹۶). *الگوی راهبردی چابک سازی سازمان‌های پدافند هوایی متناسب با تهدیدات ناهمتراز*، تهران: انتشارات دانشگاه عالی دفاع ملی
- علی نژاد، مهدی. (۱۳۹۶). *طراحی الگوی آرایه‌های پدافندی زمین به هوا در مقابله با تهدیدات علیه مناطق و مراکز حیاتی و حساس در افق چشم‌انداز ۱۴۰۴*، رسالهٔ دکتری، دانشکده دفاع ملی، دانشگاه عالی دفاع ملی.
- غفاری، بهزاد. (۱۳۹۳). *بازطراحی سامانه‌های پدافند هوایی متناسب با جنگ‌های آینده*، پروژه تحقیقاتی، تهران: انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات قرارگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص) آجا.
- غلامی، براتعلی. (۱۳۹۴). *پدافند هوایی ناهمتراز*، تهران: نشر ایران سبز
- گودرزی، ناصر. (۱۳۸۷). *فناوری‌های نظامی، نگاه*، ۱(۴): ۱۴۰-۱۳۴
- مختاریان، علی. (۱۳۸۱). *پرنده‌های بدون سرنشین به‌عنوان اهداف کاذب*، معاونت پشتیبانی، مهندسی و تحقیقات صنعتی. گروه پهپاد. ۳(۱۱): ۶۶-۴۵
- میقانی، احمد؛ بوالحسنی، خسرو؛ رضایت، غلامحسین و علی‌نژاد، مهدی. طراحی الگوی آرایه‌های پدافند زمین به هوا در مقابله با تهدیدات علیه مراکز حیاتی و حساس در افق چشن انداز ۱۴۰۴، *فصلنامه مطالعات استراتژیک*. ۱۸(۸۰): ۸۲-۵۷
- وثوقی، نیری عبداله؛ پورعزت، علی‌اصغر؛ آقامحمدی، داوود و امیری، مجتبی. (۱۳۹۶). مدل‌سازی نرم تصویر ارتش آینده بر اساس رویکرد ساختاری تفسیری. *فصلنامه آینده‌پژوهی دفاعی*، ۲، (۵): ۱۱۰-۸۳.
- Bilgin G. (2022). *İnsansiz Hava Araci Kullanimina Yönelik Avrupa Konumsal Veri Altyapisi Ulaşim Ağlari Temasinin Genişletilmesi*.
- 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.
- Chadwick A. D. (2017). *Micro-drone detection using software-defined 3G passive radar*.
- Fang G. Yi, J. Wan X. Liu Y., & Ke H. (2018). Experimental research of multistatic passive radar with a single antenna for drone detection. *IEEE Access*, *6*, 33542-33551.
- Federal Aviation Administration, "*Unmanned aircraft Systems*," April 2019. [Online]. Available: https://www.faa.gov/uas/.
- Federal Aviation Administration. "FAA Aerospace Forecast 201939." April 2019. [Online]. Available: https://www.faa.gov/aerospace/ forecasts.

- FM 44-100. (2017). Chapter 2. Page 2-10.
- Frew, J. (2018). Drone Wars. The next generation. SIPRI Arms Transfers Database. *Stockholm International Peace Research Institute*.
- Gettinger D. (2020). Drone Databook Update: March 2020. *Center for the Study of the Drone at Bard College*.
- Gettinger D. (2020). The Drone Data Book (The Center for the Study of the Drone). Bard College.
- Hengy S. Laurenzis, M. Schertzer S. Hommes A. Kloeppel F. Shoykhetbrod A & Christnacher F. (2017 October). Multimodal UAV detection: Study of various intrusion scenarios. In *Electro-Optical Remote Sensing XI*.(Vol. 10434, pp. 203-212). SPIE.
- Jian M. Lu Z. & Chen V. C. (2017 May). *Experimental study on radar micro-Doppler signatures of unmanned aerial vehicles*. In 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf) (pp. 0854-0857). IEEE.
- Josephs L. (2019 April*). drone l.ights shut down london gatwick airport. stranding thousands of travelers*.
- Kim J. Park C. Ahn J. KO Y. Park J. & Gallagher J. C. (2017 March). Real-time UAV sound detection and analysis system. In *2017 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Knoedler B. Zemmari R. & Koch W. (2016, May). On the detection of small UAV using a GSM passive coherent location system. In *2016 17th International Radar Symposium (IRS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Martelli T. Murgia F. Colone F. Bongioanni C. & Lombardo. P. (2017 October). Detection and 3D localization of ultralight aircrafts and drones with a WiFi-based passive radar. In *International Conference on Radar Systems (Radar 2017)* (pp. 1-6). IET.
- Mohajerin N. Histon J. Dizaji R. & Waslander S. L. (2014, May). Feature extraction and radar track classification for detecting UAVs in civillian airspace. In *2014 IEEE Radar Conference* (pp. 0674-0679). IEEE.
- Nakamura R. & Hadama H. (2017). Characteristics of ultra-wideband radar echoes from a drone. *IEICE Communications Express*.
- 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.
- Ritchie, M. (2021). Multi-Frequency Micro-Doppler Based Classification of Micro-Drone Payload Weight. Frontiers in Signal Processing.
- Rovkin, M. E., Khlusov, V. A., Malyutin, N. D., Hristenko, A. V., Novikov, A. S., Nosov, D. M., ... & Ilchenkoy, V. E. (2018, May). Radar detection of small-size UAVs. In *2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT)* (pp. 371-374). IEEE.

- Song, H., Fink, G. A., & Jeschke, S. (Eds.). (2017). Security and privacy in cyber-physical systems: foundations, principles, and applications. John Wiley & Sons.
- Song. H. Liu. Y. and Wang. J "*UAS Detection and Negation*," U.S. Patent 62 833 153, 4 12. 2019.
- Vilímek J. & Buřita L. (2017 May). Ways for copter drone acustic detection. In *2017 International Conference on Military Technologies (ICMT)* (pp. 349-353). IEEE.
- Wallace R. J. Haritos T. & Robbins J. (2018). Building Evidence the Federal Aviation Administration's UAS Safety Strategy Needs Improvement. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*. 5(1): 10.
- Wang J. Liu Y. & Song H. (2021). Counter-unmanned aircraft system (s) (C-UAS): State of the art, challenges, and future trends. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, *36*(3), 4-29.
- Zhang H. Cao C. Xu L. & Gulliver T. A. (2018). A UAV detection algorithm based on an artificial neural network. *Ieee Access*, *6*, 24720-24728.
- Zhao Y. & Su Y. (2018). Cyclostationary phase analysis on micro-Doppler parameters for radar-based small UAVs detection. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *67*(9), 2048-2057.
- Zhou C. Liu Y. & Song Y. (2016 October). Detection and tracking of a UAV via Hough transform. In *2016 CIE International Conference on Radar (RADAR)* (pp. 1-4). IEEE.
- Zywek M. Krawczyk G. & Malanowski M. (2018 June). Experimental results of drone detection using noise radar. In *2018 19th International Radar Symposium (IRS)* (pp. 1-10). IEEE.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی