فصلنامه مدیریت و پژوهش‌های دفاعی، سال نوزدهم، شماره ۸۷، بهار ۱۳۹۹: ۷۲ ـ ۴۷

روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف و ردگیری پهپادهای رزمی

روح‌الله امینی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۷

چکیده

هدف اصلی این تحقیق ارائه روشهایی برای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف و ردگیری پهپادهای رزمی است که از نوع کاربردی، و به روش توصیفی ـ تحلیلی انجام شده است. جامعه آماری این تحقیق شامل مجموعه فرماندهان و کاربران سامانه‌های مورد نظر است که ۴۳ نفر به‌صورت هدفمند انتخاب شده‌اند. براساس یافته‌های ادبیات و مبانی نظری تحقیق، پرسشنامه، طراحی شده، و روایی آن از طریق خبرگان مورد تأیید قرار گرفته و برای پایایی آن نیز با استفاده از نرم‌افزار Spss و ضریب آلفای کرونباخ اقدام شده است. پس از تأیید، روایی و پایایی پرسشنامه به تحلیل داده‌ها اقدام شد. نتایج تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها حاکی است که هشت مؤلفه کاربردی برای ارتقای کارکردهای رادارهای آرایه فازی در کشف و ردگیری پهپادهای رزمی در ابعاد فناوری، شیوه به‌کارگیری و نیروی انسانی مشخص شد که در فرایند تحقیق مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن منعکس شد.

کلید واژه‌ها: رادارهای آرایه فازی، پهپادهای رزمی، ارتقای کارکرد، کشف و ردگیری اهداف دشمن.

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت امور دفاعی دانشگاه جامع امام حسین (ع) marzie.amini71@yahoo.com

مقدمه

رادارهای آرایه فازی یکی از پیشرفته‌ترین سامانه‌های الکترونیکی و مخابراتی است که طی چند دهه گذشته برای کاربردهای نظامی پدید آمد. توانایی جابه‌جایی پرتو آنتن بدون نیاز به چرخش مکانیکی سازه آنتن، امکان چند عملیات مختلف با یک سامانه یا اجرای بسیار سریع یک عمل را فراهم می‌کند. اساسی‌ترین تفاوتهای رادارهای آرایه فازی با رادارهای رایج نسل گذشته، چگونگی اسکن پترن تشعشعی است. در این نوع رادارها با استفاده از شکل‌دهی بیم، امکان اسکن پترن تشعشعی در هر جهت ارتفاع و سمت به‌صورت الکترونیکی به‌وجود می‌آید. امروزه چگونگی گسترش و شیوه‌های به‌کارگیری این‌گونه رادارها تحول قابل توجهی در نبردهای هوایی به‌وجود آورده است. از سوی دیگر بررسیها و مطالعات دربارهٔ جنگهای سه دهه اخیر و روند توسعه فناوریهای مرتبط با آن نشان می‌دهد که پهپادهای رزمی در عرصه‌های نبرد امروزی و آینده، نقش تعیین‌کننده‌ای خواهد داشت (شریفان و همکاران، ۱۳۹۷). پیشرفت فناوریها در این عرصه باعث شده است که روزبه‌روز از سطح مقطع راداری آنها کاسته شود و در عوض بر توان رزمی آنها از جمله سرعت، مانورپذیری، حمل مهمات، آسانی در به‌کارگیری و عملیات، شبکه‌محور شدن، ضد راداری و... افزوده شود، به‌همین دلیل استفاده از این پرنده‌ها برای عملیاتهای مختلف رزمی ـ شناسایی روزبه‌روز افزایش می‌یابد تا آنجا که در مناطق عملیاتی کشور به‌دفعات زیاد این نوع پرنده‌ها حتی با چشم عادی نیز مشاهده شده است. با وجود پیشرفتهای چشمگیری که در حوزه پهپادهای رزمی صورت گرفته است، هنوز جامعه نظامی از توان نظامی این دستگاه‌ها به‌طور کامل باخبر نیست و از تهدیدات واقعی این سلاحها و ویژگیهای کاربردی آن در مأموریتهای گوناگون خبر ندارند؛ اما آنچه مورد توجه جدی است اینکه رادارهای عملیاتی در پاره‌ای از موارد به‌گونه مطلوبی قادر به‌کشف این نوع پرنده‌ها نیست؛ ولی رادارهای آرایه فازی می‌تواند پرتوهای انرژی رادار را با پهنای متفاوت در کسری از ثانیه در سطحی بسیار وسیع گسیل دهد و در برابر انواع پرنده‌ها از جمله پهپادها و موشکهای کروز حساسیت خوبی داشته باشد؛ در واقع در هر زمان می‌تواند پالسهای راداری کوتاه، باریک و دقیقی بفرستد که کشف آنها بسیار مشکل است (نصیری، ۱۳۹۳).

حال تا چه حد می‌توان به دقت و توان این سامانه‌ها تکیه کرد؟ چگونه می‌توان کارایی و عملکرد این سامانه‌ها را ارتقا بخشید تا به‌گونه مطلوبی پهپادهای رزمی دشمن را در حداقل زمان کشف کنند؟ این مطالب از مهمترین دغدغه‌های این تحقیق است؛ از این‌رو برای پی بردن به این‌گونه تهدیدات و

مقابله با آن، آگاهی از تواناییها و محدودیتها و ضعفهای آنها بسیار مهم است. با توجه به تجهیز دشمن به انواع پهپادهای رزمی، ارائه راهکارهای مقابله با آنها، اجتناب‌ناپذیر و حیاتی است. از طرفی در پدافند هوایی، اولین و مهمترین گام برای مقابله، کشف، شناسایی و ردگیری پهپادهای رزمی است؛ پس مسئله اصلی تحقیق این است که با چه روشها و شیوه‌هایی می‌توان کارکردهای فنی و عملیاتی رادارهای آرایه فازی متعلق به‌سامانه‌های پدافند هوایی را برای کشف و ردگیری بهتر و دقیقتر پهپادهای رزمی بهبود بخشید. این تحقیق در صدد پاسخگویی به این سؤال است.

روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق از نوع کاربردی و روش آن نیز توصیفی ـ تحلیلی است. برای جمع‌آوری داده‌ها از روش کتابخانه‌ای (فیش‌برداری) و میدانی (پرسشنامه) استفاده شده است. جامعه آماری این تحقیق شامل مجموعه فرماندهان و کاربران سامانه‌های مورد نظر است که ۴۳ نفر به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. هم‌چنین براساس یافته‌های ادبیات و مبانی نظری تحقیق، پرسشنامه محقق‌ساخته، طراحی، و بعد از تأیید روایی آن در جامعه نمونه توزیع شد. هم‌چنین پایایی پرسشنامه از طریق محاسبه ضریب آلفای کرونباخ به‌میزان ۰/۸۸۱ تعیین شد که نشان می‌دهد سؤالات پرسشنامه از پایایی و اعتمادپذیری قابل‌قبولی برخوردار است.

سؤالات تحقیق

سؤال اصلی

مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف و ردگیری پهپادهای رزمی چیست؟

برای پاسخ به سؤال اصلی، سؤالات فرعی ذیل تنظیم شد که در صورت پاسخ به‌آنها پاسخ سؤال اصلی داده می‌شود.

سؤالهای فرعی

۱. ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپادهای رزمی چیست؟

۲. مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف پهپادهای رزمی چیست؟

۳. مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در ردگیری پهپادهای رزمی چیست؟

پیشینه تحقیق

با بررسیهای منابع مختلف آموزشی و پژوهشی (بویژه مراکز نظامی)، سایتهای اینترنتی، نشریات علمی داخلی و خارجی، هیچ‌گونه تحقیق مستقلی در این زمینه انجام نشده است؛ اما برخی از تحقیقاتی که به‌نوعی با این تحقیق مرتبط است و می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد به شرح ذیل است:

۱. زاهدی و عباسی‌آرند (۱۳۹۷) در مقاله خود با عنوان «تصحیح خطای فاز آنتنهای آرایه فازی بزرگ با استفاده از الگوریتم ژنتیک»، الگوی تشعشعی آنتن آرایه فازی را با استفاده از الگوریتم ژنتیک به‌طور مطلوبی به الگوی مطلوب در حالت بدون خطا باز می‌گردانند.

۲. کازرونی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی با عنوان «ارائه یک روش کاربردی به‌منظور کالیبراسیون آنتنهای آرایه فازی» با یک روش عملی و ساده، فرایند کالیبراسیون آنتن آرایه فازی را تشریح و تبیین کرده‌اند که در آن از تغییردهنده‌های فاز فریتی استفاده شده است.

۳. کارول. فردینانند. براون (۲۰۰۹) در مقاله خود با عنوان «رادارهای آرایه فازی» معماری سامانه‌های آرایه فازی، مدارات تغییردهنده فاز، سامانه‌های آرایه فازی مجتمع، الگوریتم‌های پرتوسازی و... را به تفصیل تشریح کرده‌اند.

۵. موسوی و همکاران (۱۳۹۶): «مقایسه عملکرد زاویه سنجی رادار میمو (MIMO)»، این مقاله به بررسی و مقایسه زاویه‌سنجی رادار میمو و مکان‌شناختی و رادار آرایه فازی می‌پردازد. وی برای تخمین زاویه هدف در رادار آرایه فازی از روش زاویه‌سنجی مونوپالس استفاده کرده است. رادار آرایه فازی می‌تواند با پیچیدگی اجرای بسیار کمتر از رادار میمو به عملکردی بهتر از آن از نظر میانگین مربع خطا و بایاس تخمین زاویه هدف دست یابد.

مفهوم‌شناسی

پهپادهای رزمی

پهپادهای رزمی آن دسته از هواپیماهای بدون سرنشین است که توان حمل و به‌کارگیری سلاح علیه اهداف هوایی و سطحی را دارد. برخی از کارشناسان، امروزه پهپادهایی را رزمی می‌گویند که تهاجمی

و مستقیماً از طریق اپراتور و انتحاری به هدف حمله می‌کند (آیین‌نامه عملیات نیروی هوافضا، ۱۳۹۶).

رادارهای آرایه فازی

رادارهای آرایه فازی به‌آن دسته از رادارهایی گفته می‌شود که توانایی جابه‌جایی پرتو آنتن بدون نیاز به چرخش مکانیکی سازه آنتن را دارد که این فناوری توان این‌گونه رادارها را در اجرای چند عملیات مختلف با یک سامانه یا اجرای بسیار سریع یک عمل فراهم می‌کند (بررسی مقایسه‌ای رادارهای آرایه فازی، ۱۳۹۳).

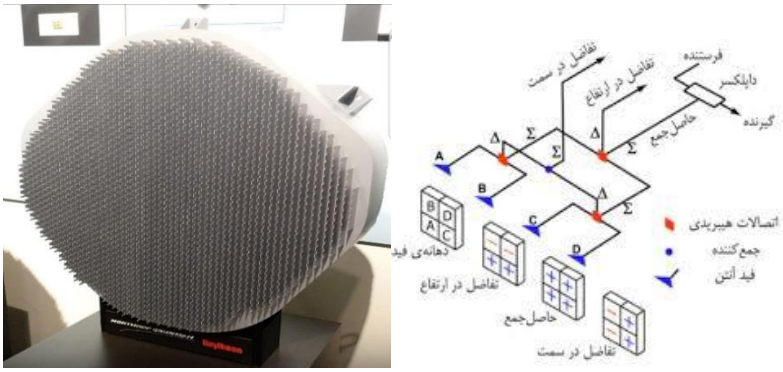
آنتنهای آرایه فازی از تعداد بسیار زیادی انتشاردهنده و یک شیفت‌دهنده فاز تشکیل شده است. بیمها با تغییر فاز یک سیگنال تابشی توسط انتشاردهنده، شکل داده می‌شود و برای ایجاد تداخل امواج افزاینده و یا کاهنده، جهت امتداد بیمها در راستای مناسب به‌کار می رود (درستی، ۱۳۸۷).

آرایه آنتن، سامانه تشعشعی است که شامل چندین تشعشع‌کننده یا عنصر تکی است. این عناصر چون در یک آرایه در کنار هم قرار دارند هر یک در میدان القایی بقیه واقع می‌شوند. بنابراین، این عناصر بر روی هم اثر می‌گذارند و پرتو کلی ایجاد می‌کنند که به‌صورت جمع برداری تک تک پرتوها ایجاد می‌شود. نمونه ابتدایی این رادارها "آرایه فازی غیرفعال" و سری جدید "آرایه فازی فعال" است. در این رادارها به‌جای گردش آنتن رادار، امواج به چرخش در می‌آید (کازرونی، ۱۳۹۴). در این سامانه آنتن آرایه‌ای شامل تعداد زیادی آنتن تکی است که با تغییر فاز به تغذیه‌کن‌های آنتن تکی پرتو به گردش در می‌آید. از ویژگیهای این‌گونه رادارها اسکن بسیار سریع محیط اطراف (در حد میلی ثانیه)/ توان هدایت چندین موشک به سمت هدف/ مقاومت زیاد علیه اقدامات ضد الکترونیک و کشف بسیار مشکل محل رادار توسط سامانه‌های الکترونیکی گیرنده و هشدار راداری است. در نمونه فعال این رادارها می‌توانند تا ۱۰۰۰ بار در ثانیه تغییر فاز بدهند (علی‌نژاد، ۱۳۹۰).

اساسیترین تفاوتهای رادارهای آرایه فازی با رادارهای رایج نسل گذشته چگونگی اسکن پترن تشعشعی است. در این نوع رادارها با استفاده از بخش شکل‌دهی بیم[1] امکان اسکن پترن تشعشعی در هر جهت سمت[2] و ارتفاع[3] به‌صورت الکترونیکی به‌وجود می‌آید. اصطلاح شکل‌دهی بیم یا شکل‌دهی بیم دیجیتال[4] به روند پردازشی اطلاق می‌شود که سیگنالهای آنتن را دریافت، و با پردازش بر

1. Beam Former
2. Elevation
3. Azimuth
4. Digital Beam Forming = DBF

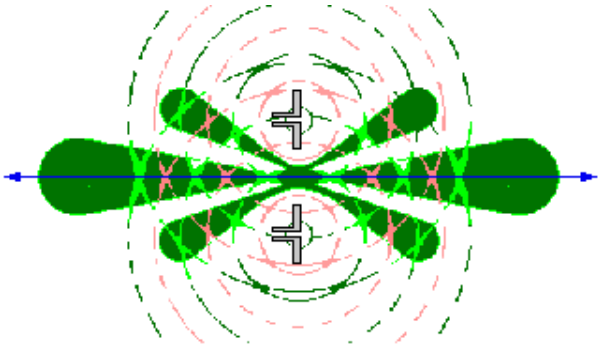
نمونه‌برداریهای انجام شده از امواج الکترو مغناطیسی در هر المان آرایه‌ای یک دسته از بیمها را پراکنده می‌کند که در فضا به‌صورت متفاوت جهتدار شده است. از عوامل پر اهمیت در DBF بحث اصلاح خطای مربوط به Side Lobeها است (علی‌نژاد، مهدی، ۱۳۹۰).



شکل ۱. نمونه‌ای از انتشاردهنده (راست) و تقسیم‌بندی امواج و تفاضل آنها در سمت و ارتفاع (چپ)

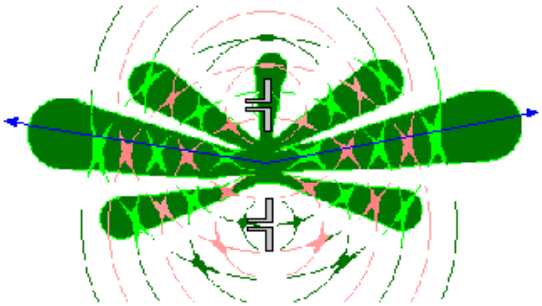
اصول آرایه فازی

آنتنهای آرایه فازی از تعداد بسیار زیادی انتشاردهنده و یک شیفت‌دهنده فاز تشکیل شده است. بیمها با تغییر فاز سیگنال تابشی توسط انتشاردهنده شکل داده می‌شود و برای ایجاد تداخل امواج افزاینده و یا کاهنده، جهت امتداد بیمها در راستای مناسب به‌کار می‌روند (زاهدی، ۱۳۹۷). در شکل ۱ انتشاردهنده‌ها با سیگنالهای هم فاز تغذیه می‌شود؛ با تداخل افزاینده (سازنده) سیگنالها در مسیر اصلی تقویت، و تمرکز بیم با تداخل کاهنده (مخرب) بیشتر می‌شود (https://WWW.Microwaves101-2019).



شکل ۲. انتشاردهنده‌ها با سیگنالهای هم‌فاز

در شکل ۲ سیگنال تابشی با ۱۰ درجه اختلاف فاز نسبت به بیم اصلی، پرتو تابشی ضعیفی نسبت به بالایی شیفت داده شده است؛ به همین دلیل مسیر سیگنال انتشار داده شده بالاتر از مسیر قبلی قرار می‌گیرد. در شکل ۳ به دلیل به‌کار نگرفتن رفلکتور، سایدلوپها به بزرگی لوپ اصلی است. همواره با افزایش اختلاف فاز بین سیگنالها، بیم اصلی باریکتر می‌شود. حال اگر سیگنال تابیده شده با تغییر فاز ایجاد شده از میان شیفت‌دهنده فازی عبور کند، سمت بیم به‌صورت الکترونیکی قابل هدایت خواهد بود. بهترین حالت، زمانی است که بتوان میدان دید آنتن را به ۱۲۰ درجه رساند (۶۰ درجه چپ و ۶۰ درجه راست) که با یک محاسبه سینوسی می‌توان تغییر فاز حرکت را محاسبه کرد (رضازاده‌جنتی، ۱۳۹۳). ساختار آنتنهای خودکار به‌گونه‌ای است که می‌تواند به‌عنوان نورافکن در درون اصلی آنتن باشد. برای آنتنهای آرایه فازی اجزای انتشاردهنده براساس چیدمان منظم فازی و جهت اصلی بیمی مرتب شده که برای آن تعریف شده است؛ به‌عنوان مثال یک نمونه آنتن RPV117 از ۱۵۸۴ انتشاردهنده تشکیل شده است (http://WWW.Radar Basics-2013).



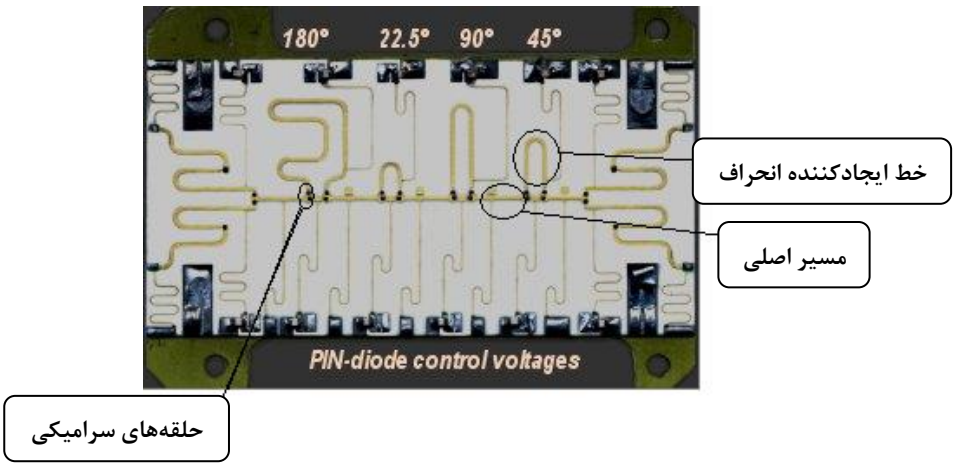
شکل ۳. به‌کار نگرفتن رفلکتور

انواع شیفت‌دهنده‌ها

الف. شیفت‌دهنده‌های فازی

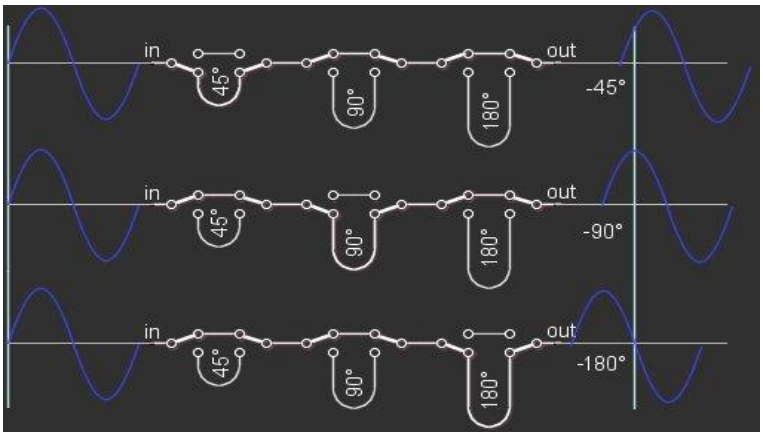
خطوط ایجادکننده انحراف از تعداد تنظیم‌کننده‌ها بیشتر است. در شکل ۴ یک سوئیچ چهار خطی شیفت‌دهنده فاز نشان داده شده است. خطوط ایجادکننده انحراف با مقادیر انحراف متفاوت به یک مسیر سوئیچ، و برای ایجاد ۱۶ فاز زاویه‌ای بین صفر تا ۵/۳۳۷ درجه در مراحل مختلف با اختلاف ۵/۲۲ درجه مرتب شده است. اندوکتیویته‌ها (فیلترهای کاهنده سیمی مارپیچی کوچک) مقدار ولتاژ برای ۲۴

پین دیود (به‌صورت تعریفی) را تأمین می‌کند. این الگو از شیفت‌دهنده‌ها هم برای مسیر فرستندگی و هم مسیر گیرندگی طراحی شده است. انشعاب بین این دو مسیر به سوئیچ‌های پین دیودی بستگی دارد که بر سر حلقه‌های داخلی و خارجی قرار گرفته است (https://WWW.Microwaves101-2019).



شکل ۴. یک شیفت‌دهنده فاز با سوئیچ چهار خطی

شیفت‌دهنده باید بیشترین انحراف را برای سمتگیری بیم در مسیر تعیین‌شده ایجاد کند و هم‌چنین مجموعه‌ای از انرژیها و پالسهای برگشتی را به‌عنوان پالس ویدئویی از همان خطوط ایجادکننده انحراف دریافت کند. این کنترل‌کننده، آخرین تغییر فاز اولین سیگنال برگشتی را به گیرنده انتقال می‌دهد. شیفت‌دهنده فاز، مسیر سیگنال امواج ماکرویو را از طریق کابلهایی با طولهای متفاوت به سمت انتشاردهنده‌ها تعیین می‌کند. کابلها موجها را به تأخیر می‌اندازد و بدین ترتیب در خروجی، فاز مربوط شیفت داده می‌شود (https://WWW.Microwaves101-2019).



شکل ۵. چگونگی تغییر فاز در شیفت‌دهنده

شکل ۵ سه پایه تأخیری با تغییر فاز مربوط را نشان می‌دهد. این سوئیچ های سریع، پین دیود است. یک رایانه مرکزی، مقدار صحیح تغییر فاز را برای هر یک از انتشاردهنده‌ها و سوئیچ‌ها در ترکیبی مناسب (با توجه به تعداد و فاصله بین شیفت‌دهنده‌ها) محاسبه می‌کند (https://WWW.Microwaves 101-2019).

اصول گسترش سامانه‌های راداری پدافند هوایی

ـ انبوهی[1]

انبوهی به‌معنای تخصیص تعداد مناسبی جنگ‌افزار به‌منظور دفاع از امکانات در اولویت است. برای دفاع هوایی نزدیک از پایگاه‌ها، نقاط حیاتی و حساس، باید رادارها و دیگر سلاحهای ضدهوایی را در آن نقاط به‌مقدار کافی مستقر کرد تا هر سلاحی از پوشش مجاور برخوردار باشد. این اصل با تمرکزیافتن جنگ‌افزارها در حول و حوش امکانات تحقق می‌یابد؛ برای مثال سلاحهای ارتفاع پست در کمیتهای کمتر از دو قبضه به‌کارگیری نمی‌شود. فرماندهان برای تمرکز قدرت آتش پدافند هوایی ممکن است مخاطره کاهش تمرکز آتش را در دیگر مناطق بپذیرند (علی‌نژاد، ۱۳۹۰).

ـ تنوع

تنوع جنگ‌افزارها از طریق به‌کارگیری مجموعه‌ای از جنگ‌افزارهای مکمل به‌دست می‌آید. این ترکیب به‌گونه‌ای است که محدودیت برخی از سلاحها با توانایی دیگر سلاحها جبران، و مانع مغلوب‌شدن جنگ‌افزارهای خاصی می‌شود که در معرض تهدید هوایی دشمن قرار دارد. مانورهایی که

1. MASS

هواپیماها برای انهدام و یا خنثی‌سازی آتش هر سامانه در این شرایط انجام می‌دهند می‌تواند به آسیب‌پذیری آن در برابر سامانه‌های دیگر منجر شود (کافی، ۱۳۹۱).

ـ تحرک‌پذیری[1]

یگانهای پدافند هوایی به‌منظور تأمین پوشش پدافند هوایی نیروهای سطحی و حفظ خود از تعرضات دشمن باید از توان تحرک‌پذیری برخوردار باشند تا بتوانند همسان نیروهای سطحی حرکت کنند و در برابر تهدید دشمن، واکنش نشان دهند. این امر، نخستین اولویت در جابه‌جایی پشتیبانی از اجرای مأموریت است. شرایط میدان نبرد ممکن است ضرورت جابه‌جاییهای اضافی را برای حفظ توان باز زیستی مطرح کند (علی‌نژاد، ۱۳۹۰).

ـ یکپارچگی[2]

جنگ‌افزارهای پدافند هوایی در طرح عملیاتی به‌مثابه تشکیلات کلی و یکپارچگی درنظر گرفته می‌شود. این به دلیل دستیابی به برتری هوایی، صرفه‌جویی در قوا، هماهنگی بین عناصر رزم و استفاده از ظرفیتهای متقابل و رفع محدودیتهای احتمالی است. یکپارچگی براساس دکترین، به‌کارگیری سلاحهای پدافند هوایی مبنی بر "فرماندهی متمرکز و اجرای غیرمتمرکز" صورت می‌گیرد. وجود سامانه‌های ارتباطی مطمئن یکی از پیش نیازهای به‌کارگیری یکپارچه سامانه‌های پدافند هوایی است. در طرح سامانه‌های پدافند هوایی یکپارچگی عمودی و افقی در عرض و عمق میدان نبرد باید اعمال شود (کافی، ۱۳۹۱).

سطوح ارتفاعی سامانه‌های پدافند هوایی

اصولاً سامانه‌های پدافند هوایی کشور را به لحاظ توان عملیاتی به گروه‌ها و طبقات گوناگونی تقیسم می‌کنند که رایجترین آن از نظر ارتفاع و برد است؛ بر این اساس، سامانه‌های پدافند هوایی از نظر ارتفاع و بُرد در سه طبقه کلی زیر قرار می‌گیرد (کافی، ۱۳۹۱):

۱. تجهیزات ارتفاع کم یا برد کوتاه: تمام سامانه‌هایی که توان عملیاتی از صفر تا ارتفاع ۱۵۰۰۰ پا و برد حداکثر ۲۵ کیلومتر را دارد سامانه‌های پدافند هوایی ارتفاع کم یا برد کوتاه معرفی می‌شود.

۲. تجهیزات ارتفاع متوسط یا برد متوسط: تمامی سامانه‌های با توان عملیاتی از ۱۵۰۰۰ پا تا ارتفاع ۴۵۰۰۰ پایی و برد متوسط تا ۵۰ کیلومتر برای تعیین حدود ارتفاع متوسط درنظر گرفته می‌شود.

۳. تجهیزات ارتفاع زیاد یا برد بلند: سامانه‌های با توان عملیاتی بیش‌از ۴۵۰۰۰ پا تا ارتفاع ۸۰۰۰۰ پا

1. Mobility
2. Intergaration

و برد بیش از ۵۰ کیلومتر را در این دسته قرار می‌دهند. شروع این طبقه از حداکثر ارتفاع متوسط آغاز می‌شود و به بالاتر ادامه می‌یابد. مبنای تعیین این ارتفاع، سقف پرواز هواپیماهای شناسایی راهبردی است که در ارتفاع زیاد پرواز می‌کنند.

مراحل اجرای مأموریتهای پدافند هوایی

مأموریتهای عملیاتی پدافند هوایی توسط تجهیزات راداری و دیگر جنگ‌افزارها در چهار مرحله به‌شرح ذیل انجام می‌شود:

ـ کشف

جستجو و کشف به معنی پیدا کردن اهداف هوایی دشمن با رادار و یا دیده‌بانی چشمی است. رادارهای مجهز از مسافتهای دور، موقعیت اهداف را هنگام پرواز با تعیین سمت، برد و ارتفاع روی صفحه رادار مشخص می‌کنند. این اقدام (مراقبت از قلمرو هوایی کشور)، اولین مرحله اجرای عملیاتهای پدافند هوایی است. شبکه راداری موظف است پروازهای داخلی و خارجی را، که در حریم هوایی جمهوری اسلامی ایران انجام می‌شود، کنترل، و هرگونه تهدید و حمله هوایی را در کمترین زمان ممکن به جنگ‌افزارهای پدافند هوایی اعلام کند تا دشمن نتواند با استفاده از اصل غافلگیری به اهداف خود دست یابد. دیده‌بانی چشمی نیز با پوشش نقاط مورد نیاز، نقاط کور راداری و یا ضعفهای تکنیکی و تاکتیکی احتمالی شبکه راداری را پوشش خواهد داد (آیین‌نامه عملیات پدافند هوایی سپاه، ۱۳۹۴).

ـ شناسایی و طبقه‌بندی

شناسایی به معنی تشخیص اهداف کشف‌شده با طبقه‌بندی آنها به خودی یا دشمن با استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی و بصری و یا روشهای هماهنگ است. روش اصلی شناسایی و تطبیق مشخصات هواپیمای کشف‌شده با طرحهای پروازی هماهنگ‌شده براساس مقررات بین‌المللی است که با اطلاعات پرواز مطابقت داده می‌شود. در صورتی که اطلاعات پرواز موجود نباشد، شناسایی و تماس رادیویی با هواپیما و یا استفاده از رادارهای ثانویه (رادار شناسایی دوست از دشمن) انجام می‌شود. در مجموع پس از کشف اشیای پرنده، مراکز عملیات منطقه‌ای موظفند حداکثر پس‌از دو دقیقه آن را به یکی از طبقات خودی، ناشناس، بیگانه، مجاز، متخاصم، مظنون به‌متخاصم و خنثی طبقه‌بندی کنند. درنهایت، تمام پرنده‌های کشف‌شده با عنوان "خودی" و یا دشمن و مشکوک طبقه‌بندی می‌شود. از طریق شناسایی بموقع تهدیدها و رویارویی بموقع با آنها در واقع دفاع در عمق تحقق می‌یابد. لازمه دفاع

در عمق هم داشتن برخی لوازم و تجهیزات است؛ مثل تجهیزات دوربرد راداری یا شنود الکترونیک که بموقع این تهدیدات را شناسایی کند؛ اما قبل از اینکه تهدیدات شناسایی شود، لازمه‌اش داشتن اشراف اطلاعاتی خوب است و اشراف اطلاعاتی خوب نیز با توجه به سامانه‌های اطلاعاتی موجود، صورت می‌گیرد (آیین‌نامه عملیات پدافند هوایی سپاه، ۱۳۹۴).

ـ ردگیری هدف[1]

ردگیری هدف در پدافند هوایی به معنی قفل و تعقیب راداری هدف با استفاده از سامانه‌های راداری، اپتیکی و یا جنگ‌افزارهای پدافند هوایی است تا پس از کشف هدف، پیوسته تحت مراقبت باشد و سامانه‌های جنگ‌افزاری آماده درگیری با هدف باشند تا پس از ورود به ناحیه درگیری، بلافاصله تمام جنگ‌افزارها بتوانند با هدف درگیر شوند و آن را منهدم کنند (آیین‌نامه عملیات پدافند هوایی سپاه، ۱۳۹۴).

ـ درگیری و انهدام

زمانی را که هر جنگ‌افزار در حال تعقیب هدف (درگیری اولیه) و یا تیراندازی به‌سوی آن است (درگیری اصلی) درگیری می‌نامند. اگر هواپیمای متخاصم به حریم کشور تجاوز کند و به سمت منطقه پدافندی برود، مأموریت انهدام هواپیمای متخاصم به سامانه‌ها و جنگ‌افزارهای پدافند هوایی آن منطقه واگذار می‌شود و مرکز فرماندهی و کنترل، دستور درگیری را صادر می‌کند. در این اوضاع، سامانه‌های پدافند هوایی با توجه به وضعیت و مختصات تهدید نسبت به درگیری و انهدام اهداف اقدام می‌کنند. معمولاً در تهاجم گروهی هواپیماهای دشمن به منطقه، خدمه پدافندی تا حدودی سردرگم خواهند شد که برای جلوگیری از این حالت و اجرای آتش به‌گونه‌ای مؤثر باید تمام سامانه‌های پدافندی در اختیار مرکز فرماندهی و کنترل باشد و با دستور آن به درگیری اقدام کنند. در صورت واگذاری استقلال تاکتیکی به سامانه‌های پدافندی باید با رعایت قواعد تقدم در درگیری به درگیری با اهداف اقدام کنند (آیین‌نامه عملیات پدافند هوایی سپاه، ۱۳۹۴).

قواعد درگیری شامل اعلام معیارهای شناسایی هواپیماهای متخاصم و دستورالعملهای کنترل فضا است. این قوانین توسط فرماندهی پدافند هوایی تهیه می‌شود و در روشهای جاری تاکتیکی بین یگانهایی توزیع می‌شود که مأموریت پدافند هوایی دارند (تا آخرین رده‌ای که لازم است) (آیین‌نامه

۱. در برخی از منابع این مرحله جزئی از مرحله درگیری به‌شمار می‌رود؛ هم‌چنین در برخی منابع به‌جای ردگیری از مفهوم رهگیری استفاده شده است که به پدافند هواپایه مربوط است.

عملیات پدافند هوایی سپاه، ۱۳۹۴).

ـ پهپادهای رزمی

در سرواژه RQ، R علامت اختصاری است که برای کلمه Reconnaissance یا همان عملیات "شناسایی" به‌کار می‌رود و Q علامت اختصاری برای "هواپیمای بدون سرنشین" است.

ـ RQ به‌هواپیماهای بدون سرنشین شناسایی اشاره دارد.

ـ MQ به‌هواپیمای بدون سرنشین مسلح یا رزمی دلالت می‌کند.

ـ CQ هواپیمای بدون سرنشین حمل‌ونقل یا ترابری است.

ـ FQ هواپیمای بدون سرنشین هوا پرتاب است.

ـ AY به هواپیمای بدون سرنشین الگو یا نمونه اولیه (در مرحله طراحی و ساخت) اشاره می‌کند.

ـ AX هواپیمای بدون سرنشین آزمایشی یا تجربی است (نیک‌بخش و حبیبی، ۱۳۹۲).

با توجه به مطالعات اکتشافی، مهمترین پهپادهای رزمی که طی سالهای گذشته در عملیاتهای نظامی فعالیت کرده‌اند به همراه ویژگیهای فنی و عملیاتی آنها به‌شرح ذیل معرفی می‌شود:

۱. پردیتور ام.کیو۱ (MQ-1 Predator)

پهپاد رزمی MQ-1 هواپیمایی رزمی با ارتفاع متوسط و پایداری زیاد است. مأموریت اولیه آن ایجاد آتش ممانعتی و شناسایی مسلحانه علیه اهداف زودگذر خطرناک است. علاوه بر آن، گشت و مراقبت هوایی، حمله به اهداف نیمه‌مستحکم ثابت و متحرک زمینی، شناسایی مسلحانه و تجسس هوایی از دیگر مأموریتهای این پرنده است (عملیات هوافضا، ۱۳۹۷).

شکل ۶ . پهپاد رزمی MQ-1

برخی از محموله‌ها و تجهیزات جانبی این پهپاد عبارت است از: دوربین الکترو اپتیکال، دوربینهای دید در روز با زاویه دید باز، حسگر مادون قرمز نسل سوم، هدف‌یاب و مسافت‌یاب لیزری، تسلیحات شامل دو موشک هوا به سطح هلفایر با هدایت لیزری و موشک هوا به هوای F.I.M 92، رادار روزنه مصنوعی (SAR)، سامانه ناوبری INS، GPS و خلبان خودکار، نشست و برخاست خودکار با چرخ، ترمز و فرود خودکار بر روی چرخ، توان لینک با هواپیمای جوینت استار[1] و هم‌چنین زیردریایی در فاصله ۱۸۵ کیلومتری. البته با وجود این امکانات این پرنده نمی‌تواند اهداف متحرک از طریق کنترل با لینک ماهواره‌ای را منهدم کند. هم‌چنین در وضعیت آب‌وهوایی نامساعد و در ارتفاعات زیاد با محدودیتهایی از قبیل افت ارتباطی روبه‌رو است (Dronewarfare, 2017). جدول ۱ برخی از ویژگیهای فنی و عملیاتی این پرنده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپاد رزمی MQ-1

ابعاد	(بر حسب متر) طول: ۸، ارتفاع: ۲/۱، فاصله بالها: ۱۷
ارتفاع پروازی	۷۶۲۰ متر
حداکثر برد	۱۱۰۰ کیلومتر
سرعت	۲۲۳ کیلومتر در ساعت
باند ارتباط داده	VHF ،UHF ،KU ،S ،L

۲. گری.ایگل.ام.کیو۱ (MQ-1 Gray Eagle)

این پهپاد در گروه پهپادهای میانه‌پرواز قرار دارد و براحتی می‌تواند فاصله‌های زیادی را در میدانهای نبرد بدون تمام‌شدن سوخت ادامه دهد. این پرنده، نسخه بهینه‌شده پهپاد ام. کیو. پردیتور به‌شمار می‌آید و می‌توان از آن برای عملیاتهای پشتیبانی و هدف قرار دادن تانک یا نیروهای زمینی استفاده کرد (عملیات هوافضا، ۱۳۹۷).

1. Joint Star

شکل ۷. پهپاد رزمی MQ-1 (عقاب خاکستری)

برخی از محموله‌ها و تجهیزات جانبی این پهپاد عبارت است از: دوربین الکترو اپتیکال، تسلیحات شامل دو موشک هوا به سطح هلفایر با هدایت لیزری و موشک هوا به هوای F.I.M 92، رادار SAR با قدرت تفکیک ده سانتیمتر و توان کشف اهداف از ۴۰ کیلومتری حتی بین ابر و دود، سامانه ناوبری INS، GPS و خلبان خودکار، نشست و برخاست خودکار با چرخ، ترمز و فرود خودکار بر روی چرخ، توان لینک با هواپیمای Joint STAR و هم‌چنین زیردریایی در فاصله ۱۸۵ کیلومتری، هدف یاب لیزری، شناسایی دوست از دشمن (IFF) و ضبط ویدیویی شش ساعته. البته با وجود این امکانات، این پرنده نمی‌تواند اهداف متحرک از طریق کنترل با لینک ماهواره‌ای را منهدم کند؛ هم‌چنین در وضعیت آب‌وهوایی نامساعد و ارتفاع زیاد محدودیتهایی از قبیل افت ارتباطی دارد (عملیات هوافضا، ۱۳۹۷). جدول ۲ برخی از ویژگیهای فنی و عملیاتی این پرنده را نشان می‌دهد.

جدول ۲. ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپاد رزمی MQ-1

ابعاد	(بر حسب متر) طول: ۹، ارتفاع: ۲/۱، فاصله بالها: ۱۷
ارتفاع پروازی	۸۷۸۰ متر
حداکثر برد	۱۱۰۰ کیلومتر
سرعت	۳۰۷ کیلومتر در ساعت
باند ارتباط داده	KU/c

۳. هانتر (MQ-5 Hunter)

هانتر (به معنی شکارچی) از زمان جنگ بالکان در خدمت ارتش امریکا است و بتازگی تغییراتی در آن صورت گرفته است تا بتواند با سوخت سنگین و مهمات تهاجمی پرواز کند. این هواپیما توسط ارتش در عراق و افغانستان پرواز داده می‌شود (عملیات هوافضا، ۱۳۹۷).

شکل ۸ . پهپاد رزمی MQ-5 (شکارچی)

برخی از محموله‌ها و تجهیزات جانبی این پهپاد عبارت است از: دوربین الکترو اپتیکال، تسلیحات شامل دو موشک هوا به‌سطح هلفایر با هدایت لیزری و موشک هوا به‌هوای F.I.M 92، رادار SAR و قدرت تفکیک ده سانتیمتر و توان کشف اهداف از ۴۰ کیلومتری حتی بین ابر و دود، سامانه ناوبری INS، GPS و خلبان خودکار، نشست و برخاست خودکار با چرخ، ترمز و فرود خودکار بر روی چرخ، دارای سنسورهای هدف‌یابی و طیف گسترده الکترو اپتیک دید در روز و شب، هدف‌یاب لیزری، شناسایی دوست از دشمن (IFF)، البته با وجود این امکانات، این پرنده نمی‌تواند اهداف متحرک از طریق کنترل با لینک ماهواره‌ای را منهدم کند؛ هم‌چنین در وضعیت آب‌وهوایی نامساعد و در ارتفاعات زیاد با محدودیتهایی از قبیل افت ارتباطی روبه‌رو است (Drone warfare, 2017). جدول ۳ برخی از ویژگیهای فنی و عملیاتی این پرنده را نشان می‌دهد.

جدول ۳. ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپاد رزمی MQ-5 (شکارچی)

ابعاد	(بر حسب متر) طول: ۶، ارتفاع: ۲/۱، فاصله بالها: ۱۰/۵
ارتفاع پروازی	۵۴۰۰ متر
حداکثر برد	۸۱۰ کیلومتر
سرعت	۲۳۰ کیلومتر در ساعت
باند ارتباط داده	KU/c

٤. ریپیر. ام.کیو ۹ (MQ-9 Reaper)

حرف M در MQ-9 به‌کلمه Multirole (چند منظوره) باز می‌گردد. این ویژگی به فرمانده نبرد اجازه می‌دهد از آن به‌عنوان سلاح، حسگر یا در نقشی مشترک استفاده کند. این پرنده قادر به‌کنترل از راه دور و یا پرواز مستقل عملیاتی است و سامانه شکار و طول پرواز بلند برای هدفگیری دارد. وظیفه این هواپیما، شناسایی و نابودی دشمن در عراق، افغانستان و پاکستان و گشت‌زنی در امتداد مرزهای امریکا با مکزیک در منطقه هواچوکای آریزوناست (عملیات هوافضا، ۱۳۹۷).

شکل ۹. پهپاد رزمی MQ-9

برخی از محموله‌ها و تجهیزات جانبی این پهپاد عبارت است از: دوربین الکترواپتیکال، تسلیحات شامل بمبهای هدایت‌شونده لیزری GBU-12 و موشکهای ضد تانک هیل‌فایر، رادار SAR و قدرت تفکیک ده سانتیمتر و توان کشف اهداف از ۴۰ کیلومتری حتی بین ابر و دود، سامانه ناوبری INS،

GPS و خلبان خودکار، نشست و برخاست خودکار با چرخ، ترمز و فرود خودکار روی چرخ، دارای سنسورهای هدف‌یابی طیف گسترده الکترو اپتیک دید در روز و شب و هدف‌یاب لیزری. این پرنده نمی‌تواند اهداف متحرک از طریق کنترل با لینک ماهواره‌ای را منهدم کند؛ هم‌چنین در وضعیت آب‌وهوایی نامساعد و در ارتفاعات زیاد با محدودیتهایی از قبیل افت ارتباطی روبه‌رو است (عملیات هوافضا، ۱۳۹۷). جدول ۴ برخی از ویژگیهای فنی و عملیاتی این پرنده را نشان می‌دهد.

جدول ۴. ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپاد رزمی MQ-9

ابعاد	(بر حسب متر) طول: ۱۱، ارتفاع: ۳/۸، فاصله بالها: ۲۰/۱
ارتفاع پروازی	۱۵۷۰۰ متر
حداکثر برد	۵۹۲۶ کیلومتر
سرعت	۴۸۲ کیلومتر در ساعت
باند ارتباط داده	KU/c

۵ . ام. کیو. ۹ . بی (MQ-9b)

مأموریت این پهپاد رزمی در قالب عملیاتهای پشتیبانی هوایی نزدیک، شناسایی هوایی، گشت و مراقبت هوایی، جمع‌آوری سیگنال تعریف می‌شود؛ به‌علاوه میزان زیاد حمل تسلیحات که می‌تواند ۱۴ فروند موشک هلفایر را در شش محفظه زیر بالهای خود جای دهد؛ هم‌چنین با حسگرهای تصویربرداری قوی از فاصله ۱۸ کیلومتری، اهداف را با ابعاد حدود ده سانتیمتر تشخیص می‌دهد (عملیات هوافضا، ۱۳۹۷).

شکل ۱۰. پهپاد رزمی MQ-9-b

برخی از محموله‌ها و تجهیزات جانبی این پهپاد عبارت است از: دوربین الکترو اپتیکال، تسلیحات شامل دو موشک هوا به‌سطح هلفایر با هدایت لیزری و موشک هوا به‌هوای F.I.M 92، رادار SAR و قدرت تفکیک ده سانتیمتر و توان کشف اهداف از ۴۰ کیلومتری حتی بین ابر و دود، سامانه ناوبری INS، GPS و خلبان خودکار، نشست و برخاست خودکار با چرخ، ترمز و فرود خودکار روی چرخ، دارای سنسورهای هدفیابی طیف گسترده الکترو اپتیک دید در روز و شب، هدفیاب لیزری، شناسایی دوست از دشمن (IFF) و ضبط ویدیویی شش ساعته. البته با وجود این امکانات، این پرنده نمی‌تواند اهداف متحرک از طریق کنترل با لینک ماهواره‌ای را منهدم کند؛ هم‌چنین در وضعیت آب‌وهوایی نامساعد و در ارتفاعات زیاد با محدودیت‌هایی از قبیل افت ارتباطی روبه‌رو است (عملیات هوافضا، ۱۳۹۷). جدول ۵ برخی از ویژگیهای فنی و عملیاتی این پرنده را نشان می‌دهد.

جدول ۵. پهپاد رزمی MQ-9-b

ابعاد	(بر حسب متر) طول: ۱۱، ارتفاع: ۳/۸، فاصله بالها: ۲۰/۱
ارتفاع پروازی	۱۶۵۰۰ متر
حداکثر برد	۵۹۲۶ کیلومتر
سرعت	۴۸۲ کیلومتر در ساعت
باند ارتباط داده	KU/c

یافته‌های پژوهش

هدف اصلی این تحقیق ارتقای کارکردهای عملیاتی رادارهای آرایه فازی در کشف و ردگیری پهپادهای رزمی است؛ بنابراین ابتدا لازم است ویژگیها و توان عملیاتی پهپادهای رزمی بروشنی تفهیم، و مزیتها و محدودیتهای این پرنده‌ها مشخص، و سپس با توجه به این یافته‌ها، اقدامات لازم برای ارتقای کارکردهای رادارهای آرایه فازی انجام شود. بر این اساس و با توجه به اهداف، سؤالات و یافته‌های ادبیات و مبانی نظری تحقیق، پرسشنامه محقق ساخته، طراحی شد. این پرسشنامه میان اعضای نمونه توزیع شد و نتایج آن به شرح ذیل مورد تحلیل قرار گرفت. در این تحقیق، همگی پرسش‌شوندگان، تجربه زیادی در ارتباط با عملیات رادارهای آرایه فازی و پهپادهای رزمی داشتند و هم‌چنین محقق طی جلسات حضوری، توضیحات لازم را به‌منظور روشن شدن ابهامات احتمالی ارائه کرد که باعث شد پاسخ سؤالات برای آنها واضح و دور از تصورات ذهنی باشد.

توصیف داده‌های (گویه‌های) مربوط به ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپادهای رزمی

نتایج پاسخ‌های نمونه مورد بررسی به گویه‌های «ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپادهای رزمی» به‌شرح جدول ذیل ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج حاصل از پاسخهای نمونه مورد بررسی به گویه‌های مؤلفه ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپادهای رزمی

ردیف	عنوان	تعداد فراوانی					
		ک.موافق	موافق	بی نظر	مخالف	ک.مخالف	میانگین
۱	مداومت پروازی نسبتاً زیاد	۳۵	۸	۰	۰	۰	۴/۸۱
۲	توان اجرایی عملیات انتحاری	۳۱	۱۲	۰	۰	۰	۴/۷۶
۳	توان پرواز در ارتفاعهای مختلف	۶	۳۳	۴	۰	۰	۴/۷۲
۴	داشتن توان اختلال الکترونیکی	۴	۳۸	۱	۰	۰	۴/۶۹
۵	محدودیت در حمل و به‌کارگیری سلاحها در حجم بیشتر	۳۳	۱۰	۰	۰	۰	۴/۳۹
۶	آسانی در به‌کارگیری و عملیات	۳۰	۱۳	۰	۰	۰	۴/۰۶
۷	دقت و قدرت آتش نسبتاً زیاد در عملیاتهای رزمی	۱	۱۵	۲۳	۴	۰	۴/۰۴
۸	محدودیتهای پروازی در وضعیت آب‌وهوای نامساعد	۲۵	۱۴	۰	۴	۰	۳/۳۰
۹	میانگین کل	---	----	-----	----	-----	۴/۴۷۱

محقق برای پاسخگویی به این سؤال، که «مهمترین ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپادهای رزمی چیست؟» از آزمون t میانگین یک متغیره[1] استفاده کرده است.

جدول ۷. آزمون T یک متغیره

سؤال فرعی ۱	مقدار آزمون μ = ۳							
	تعداد	میانگین	آماره t	درجه آزادی	سطح معناداری	اختلاف میانگین	سطح اطمینان ۰/۹۵	
							حد پایین	حد بالا
	۴۳	۴/۴۷	۲۸/۶۰۸	۳۹	۰,۰۰۰	۱/۶۲	۱/۵۱	۱/۷۴

1. One Sample T test

نتایج جدول نشان می‌دهد که سطح معناداری مؤلفه مهمترین ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپادهای رزمی از میزان خطا (۰/۰۵) کمتر است و می‌توان به خروجیهای آزمون اطمینان کرد. با توجه به اینکه میانگین این مؤلفه از (۴/۴۷) بیشتر، و حد پایین و بالا مثبت است، نشان می‌دهد که مؤلفه مورد نظر؛ پذیرفتنی و قابل‌قبول است. هم‌چنین میانگین تمامی شاخصها از میانگین متوسط (۳) بیشتر است؛ یعنی از نظر پاسخگویان همه موارد به‌عنوان مهمترین ویژگیهای فنی و عملیاتی پهپادهای رزمی مورد پذیرش است.

توصیف داده‌های (گویه‌های) مربوط به مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف پهپادهای رزمی

نتایج پاسخ‌های نمونه مورد بررسی به گویه‌های «مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف پهپادهای رزمی» به‌شرح جدول ذیل ارائه شده است:

جدول ۸. نتایج پاسخهای نمونه مورد بررسی به گویه‌های مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف پهپادهای رزمی

ردیف	عنوان	تعداد فراوانی					
		ک.موافق	موافق	بی‌نظر	مخالف	ک.مخالف	میانگین
۱	بهره‌گیری از رادارهای برد بلند در شناسایی و کشف اولیه اهداف	۳۵	۸	۰	۰	۰	۴/۸۳
۲	چابک و متحرک‌سازی رادار در شناسایی پهپادهای رزمی	۳۲	۱۱	۰	۰	۰	۴/۷۴
۳	گسترش رادارهای آرایه فازی در مناطق مختلف پدافندی	۳۰	۹	۲	۰	۰	۴/۷۴
۴	بهره‌گیری از مدهای فرکانسی گوناگون برای شناسایی پهپادها	۵	۳۶	۱	۰	۰	۴/۷۴
۵	به‌کارگیری روشهای مختلف ضد جمینگ به‌منظور ایجاد پایداری	۳۲	۹	۲	۰	۰	۴/۶۵
۶	شبکه کردن تمامی رادارهای آرایه فازی تحت یک فرماندهی	۲۹	۱۳	۰	۰	۰	۴/۶۲
۷	بهره‌گیری از پایوران و اپراتوران خلاق و دانش‌محور	۱۰	۱۷	۱۴	۰	۰	۴/۳۰
۸	افزایش عملکردی سوئیچ فرکانسی در کشف پهپادهای رزمی	۲۵	۱۴	۰	۴	۰	۴/۰۴
۹	میانگین کل						۴/۵۸

محقق برای پاسخگویی به‌این سؤال، که «مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف پهپادهای رزمی چیست؟» از آزمون t میانگین یک متغیره استفاده کرده است.

جدول ۹. آزمون T یک متغیره

	مقدار آزمون μ = ۳							
سؤال فرعی ۲	تعداد	میانگین	آماره t	درجه آزادی	سطح معناداری	اختلاف میانگین	سطح اطمینان ۰/۹۵	
							حد پایین	حد بالا
	۴۳	۴/۵۸	۳۰/۱۷	۳۹	۰,۰۰۰	۱/۲۱	۱/۴۰	۱/۶۷

نتایج جدول نشان می‌دهد که سطح معناداری مؤلفه مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف پهپادهای رزمی از میزان خطا (۰/۰۵) کمتر است و می‌توان به خروجیهای آزمون اطمینان کرد. با توجه به‌اینکه میانگین این مؤلفه از (۴/۵۸) بیشتر، و حد پایین و بالا مثبت است، نشان می‌دهد که مؤلفه مورد نظر، پذیرفتنی و قابل‌قبول است؛ هم‌چنین میانگین تمامی شاخصها از میانگین متوسط (۳) بیشتر است؛ یعنی از نظر پاسخگویان، همه موارد به‌عنوان مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در کشف پهپادهای رزمی مورد پذیرش است.

توصیف داده‌های (گویه‌های) مربوط به‌مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در ردگیری پهپادهای رزمی

نتایج پاسخ‌های نمونه مورد بررسی به‌گویه‌های «مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در ردگیری پهپادهای رزمی» به‌شرح جدول ذیل ارائه شده است:

جدول ۱۰. نتایج پاسخ‌های نمونه مورد بررسی به گویه‌های مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در ردگیری پهپادهای رزمی

ردیف	عنوان	تعداد فراوانی					
		ک.موافق	موافق	بی‌نظر	مخالف	ک.مخالف	میانگین
۱	داشتن توان پردازش چندین هدف همزمان	۳۴	۷	۲	۰	۰	۴/۶۵
۲	به‌کارگیری هدایت امن موشک به سمت اهداف	۳۳	۸	۱	۰	۰	۴/۶۰
۳	بهره‌گیری از چندین بیم همزمان با سرعت زیاد	۳۶	۴	۲	۰	۰	۴/۵۵
۴	بهره‌گیری از قفل پایدار، روی اهداف با سطح مقطع راداری پایین	۸	۳۰	۴	۰	۰	۴/۴۴
۵	استفاده از قدرت تفکیک برد و زاویه نسبتاً زیاد در ردگیری اهداف	۳۲	۹	۰	۰	۰	۴/۴۱
۶	توسعه سرعت و قدرت عملکرد نسبتاً زیاد در تعقیب اهداف گوناگون	۳۳	۱۰	۰	۰	۰	۴/۰۴
۷	بهره‌گیری از فناوری هدایت امن موشک به سمت اهداف	۱۱	۱۷	۱۴	۰	۰	۳/۹۳
۸	به‌کارگیری توان پردازش سیگنال در محیط جنگ الکترونیک	۳۲	۱۰	۰	۰	۰	۳/۹۳
۹	میانگین کل						۴/۳۱

محقق برای پاسخگویی به این سؤال، که «مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در ردگیری پهپادهای رزمی چیست؟» از آزمون t میانگین یک متغیره استفاده کرده است.

جدول ۱۱. آزمون T یک متغیره

سؤال فرعی ۳	مقدار آزمون μ = ۳							
	تعداد	میانگین	آماره t	درجه آزادی	سطح معناداری	اختلاف میانگین	سطح اطمینان ۰/۹۵	
							حد پایین	حد بالا
	۴۳	۴/۳۱	۳۱/۰۶	۳۹	۰,۰۰۰	۱/۳۵	۱/۴۷	۱/۷۲

نتایج جدول نشان می‌دهد که سطح معناداری مؤلفه مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در ردگیری پهپادهای رزمی از میزان خطا (۰/۰۵) کمتر است و می‌توان به خروجیهای آزمون اطمینان کرد. با توجه به اینکه میانگین این مؤلفه از (۴/۳۱) بیشتر، و حد پایین و بالا

مثبت است، نشان می‌دهد که مؤلفه مورد نظر، پذیرفتنی و قابل‌قبول است؛ هم‌چنین میانگین تمامی شاخصها از میانگین متوسط (۳) بیشتر است؛ یعنی از نظر پاسخگویان، همه موارد به‌عنوان مهمترین روشهای ارتقای کارکردها و توان رادارهای آرایه فازی در ردگیری پهپادهای رزمی مورد پذیرش است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در حوزه تهدیدات سخت با توجه به مطالعات، نظر خبرگان و فرماندهان آشنا به امور راهبردی و دفاع هوایی بروشنی می‌توان دریافت که گام اول حمله دشمن، حملات هوایی در حجم زیاد خواهد بود؛ در این راستا واکنش صحیح سامانه پدافند هوایی به‌میزان زیادی به توان کشف و شناسایی بهنگام اهداف بستگی دارد. اتکای صرف به وضع موجود و نپرداختن به‌تحقیق، توسعه و تولید حسگرهای شناسایی پیشرفته به‌یقین در آینده ما را با مشکلاتی روبه‌رو خواهد کرد. یکی از این حسگرهای مورد اتکا در این عرصه، رادارهای آرایه فازی است که با گسترش و توسعه آن در مجموعه رادارهای پدافند هوایی، بسیاری از مشکلات اساسی در حوزه دفاع هوایی برطرف می‌شود و در رزم آینده، کارایی قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. در این تحقیق برای ارتقای کارکردهای رادارهای آرایه فازی در برابر پهپادهای رزمی با توجه به توان فنی و عملیاتی پهپادها و نقاط ضعف و قوت این پرنده‌ها از یک سو و توان فنی و عملیاتی رادارهای آرایه فازی پدافند هوایی از سوی دیگر به‌تدوین راهکارها اقدام شد که درنهایت در حوزه کشف و ردگیری به هشت مؤلفه کاربردی به‌منظور ارتقای عملکرد رادارهای آرایه فازی دست یافتیم.

بنابراین باتوجه به نتایج تحقیق پیشنهاد می‌شود:

ـ تحقیق و توسعه دربارهٔ تولید رادارهای آرایه فازی با توان نوینِ چابکی و الگوی تشعشی گوناگون

ـ توسعه و ارتقای فناوریهای پردازشگر و سامانه گیرنده رادارهای آرایه فازی به‌منظور افزایش دقت و قدرت تفکیک در برد و زاویه و ایجاد توان پردازش چندین هدف به‌طور همزمان

ـ توسعه و ارتقای فناوریهای مربوط به ضد جمینگ رادارهای آرایه فازی

ـ بهره‌گیری از فناوری هدایت امن موشک به سمت اهداف با استفاده از سامانه هدایت رادارهای فازی

ـ به‌کارگیری توان پردازش سیگنال در محیط جنگ الکترونیک و ارتقای توان کاهش جمینگ نویز از طریق لوپ کناری آنتن

کتابنامه:

الف) منابع فارسی

۱. درستی، محمد (۱۳۸۷). ساختار سامانه‌های راداری آرایه فازی. تهران: دانشگاه هوافضای عاشورا.

۲. رضازاده جنتی، محمدرضا (۱۳۹۳). **بررسی مقایسه‌ای رادارهای آرایه فازی**. پایان‌نامه کارشناسی. دانشگاه هوافضای عاشورا.

۳. زاهدی، عباسی‌آرند (۱۳۹۷). **مجله علمی ـ پژوهشی علوم و فناوری‌های پدافند نوین**. ش ۹ (۲): ۲۲۱ ـ ۲۲۹.

٤. شریفان، محمداسماعیل و همکاران (۱۳۹۷). راهبردهای توسعه بهره‌گیری از پهپاد در افزایش توان رزمی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران. **فصلنامه مطالعات دفاعی راهبردی**. س ١٦، ش ۷۲: ١٧٦ ـ ١٥٣.

٥. علی‌نژاد، مهدی (۱۳۹۰). **سایت‌یابی و گسترش سلاحهای پدافند هوایی**. تهران: دانشگاه هوافضای عاشورا.

٦. کازرونی، مرتضی و همکاران (۱۳۹٤). طراحی آنتن یک رادار آرایه فازی نمونه به‌همراه باند گپ الکترومغناطیسی و ارزیابی عملکرد این آرایه به‌هنگام از کار افتادن بعضی از عناصر تشعشعی. **فصلنامه مهندسی برق دانشگاه تبریز**. دوره ٤٥. ش ٤: ٤٤ ـ ۳۸.

۷. کافی، سعید (۱۳۹۱). **تنوع جنگ‌افزارها**. تهران: دانشکده فرماندهی و ستاد.

۸. موسوی و همکاران (۱۳۹٦). **مجله علمی ـ پژوهشی رادار**. س پنجم. ش ۳.

۹. نیروی هوافضای سپاه (۱۳۹٤). **آیین‌نامه عملیات پدافند هوایی سپاه**.

۱۰. نیروی هوافضای سپاه (۱۳۹٦). **فرماندهی پهپاد، بررسی کاربردهای نوین پهپاد**.

۱۱. نصیری، مهدی (۱۳۹۳). اصول و مفاهیم مخابرات و رادار در سامانه‌های پدافند هوایی، تهران: دانشگاه هوافضای عاشورا.

۱۲. نیک‌بخش‌حبیبی، حسن (۱۳۹۳). **هواپیماهای بدون سرنشین**. پایان‌نامه کارشناسی، دانشگاه هوافضای عاشورا.

ب) منابع خارجی و وبگاه‌ها

1. Drone warfare: The death of precision". Bulletin of the Atomic Scientists.

2017-05-11. Archived from the original on 2017-10-11. Retrieved 2017-07-22 , available at http:// the bullentin.org/
2. https://WWW.Microwaves101
3. WWW.radartutorial.eu/01.basics/Radar Principle.en.html
4. https://fa.wikipedia.org/wiki/Karl Ferdinand Braun