آینده‌پژوهی دفاعی، سال هشتم، شماره ۲۸، بهار ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: ۲۲/ ۰۸/ ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۰۹/ ۰۳/ ۱۴۰۲

از صفحه ۳۳ تا صفحه ۵۵

تحلیل توسعه جهانی فناوری‌های مرتبط با ریزپرنده‌ها در یک دهه آتی

نوع مقاله: پژوهشی

علی میرزائی کهق[۱]*

چکیده

در این مقاله سعی شده است با استفاده از مبانی پیش‌بینی فناوری (پایش و دیدگاه خبرگان) و با استفاد از روش دلفی فازی، به تحلیل توسعه جهانی فناوری‌های مرتبط با ریزپرنده‌ها در یک دهه آتی پرداخته شود. پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی، از نظر راهبرد ترکیبی و از نظر اجرا در قالب تحقیقات توصیفی-پیمایشی است. جامعه آماری در دو سطح می‌باشد. سطح اول را خبرگان حوزه صنعت ریزپرنده‌ها و سطح دوم را اساتید دانشگاه در حوزه فناوری‌های مرتبط با ریزپرنده‌ها تشکیل می‌دهند. با توجه به هدف پژوهش، نمونه‌گیری هدفمند و تعداد آن‌ها در سطح اول ۹ نفر و در سطح دوم ۳۵ نفر انتخاب شدند. ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه محقق ساخته است که روایی آن با روش محتوایی و پایایی آن از روش آلفای کرونباخ صورت پذیرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از طریق روش دلفی فازی با استفاده از نرم‌افزارهای Spss و Excel انجام شد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که فناوری‌های مرتبط با ریزپرنده‌ها در ۲۹ شاخص قابل احصاء می‌باشند و از این تعداد ۹ شاخص که در حوزه فناوری‌های هوش مصنوعی و الکترونیک و مخابرات قرار می‌گیرند، در اولویت می‌باشند و بایستی مدنظر مسئولان، تصمیم سازان و برنامه ریزان کشور قرار بگیرند.

واژه‌های کلیدی:

ریزپرنده، پیش‌بینی فناوری، روش دلفی فازی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[۱] استادیار مهندسی هوافضا، دانشگاه افسری و تربیت پلیس امام حسن مجتبی (ع)، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Email: ali.mirzaee@apu.ac.ir

CC BY NC ND

10.22034/DFSR.2023.1972599.1658

مقدمه

ریز پرنده به پهپاد کوچک گفته می‌شود و پهپاد به معنی پرنده هدایت‌پذیر از دور می‌باشد. هرچند که تاکنون مرز دقیق و استاندارد جهانی برای تقسیم‌بندی پهپادها از نظر ابعاد وجود ندارد، اما پی اس[1] و جیان[2] (۲۰۲۰)، در مقاله‌ی خود با مرور و مقایسه کارهای تحقیقاتی انجام شده توسط محقیق مختلف و با میانگین‌گیری از محدوده‌های پارامترهای مختلف دخیل در طبقه‌بندی پهپادها، به این جمع‌بندی رسیده است که پهپادهایی با وزن زیر ۲ کیلوگرم، ابعاد زیر ۱۵ سانتی متر و حداکثر برد ۲کیلومتر در گروه ریزپزنده‌ها قرار می‌گیرند.

تاریخچه ریزپرنده‌ها با توسعه هواپیماهای مدل در قرن نوزدهم و توسعه هواپیماهای رادیو کنترلی در قرن بیستم آغاز شد. در ابتدا این ایده که پهپادهای کوچک یا خیلی کوچک بتوانند کاربردهای عملی داشته باشند در اوایل دهه ۱۹۹۰ شکل گرفت. در سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ دارپا[3] (آژانس پروژه‌های پژوهشی پیشرفته دفاعی) و نیروی دریایی آمریکا با انجام تحقیقات گسترده به این نتیجه رسیدند که ریزپرنده‌ها می‌توانند در انجام مأموریت‌های نظامی و غیر نظامی کاربرد داشته باشند و نقش مهمی ایفا نمایند (Mueller, 2009).

توسعه روز افزون کمی و کیفی انواع ریزپرنده‌ها از سوی شرکت‌های متعدد دولتی و خصوصی، دسترسی و بهره‌برداری از این وسایل پرنده را برای آحاد مردم تسهیل و کم هزینه کرده است. بطوری که تعداد کاربران این وسایل پرنده روز به روز در حال افزایش است. به موازات توسعه ساخت و کاربری ریزپرنده‌ها، استفاده‌های مثبت و منفی از این وسایل پرنده نیز در حال گسترش است. از اینرو بررسی و برآورد روند توسعه فناوری‌ها و قابلیت‌های عملکردی این تجهیزات و به تبع آن پیش‌بینی تهدیدها و فرصت‌های ناشی از ظهور ریزپرندها در جوامع بشری از ضروریات مدیریت مطلوب هر کشوری است. تهدیدها و فرصت‌هایی که می‌توانند جنبه های نظامی و غیرنظامی‌داشته باشند.

[1] PS
[2] Jeyan
[3] Defense Advanced Research Projects Agency of USA

از این‌رو در این مقاله سعی شده است با استفاده از مبانی پیش‌بینی فناوری (پایش و دیدگاه خبرگان) و با استفاد از روش دلفی فازی، اقدام به تحلیل توسعه جهانی فناوری‌های مرتبط با ریزپزنده‌ها در یک دهه آتی پرداخته شود. در این تحقیق پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و جمع‌آوری اطلاعات کلی در خصوص فناوری‌های مرتبط با حوزه ریزپرنده‌ها، با استفاده از نظر خبرگان اقدام به دسته‌بندی و احصاء شاخص‌های مرتبط با فناوری‌های ریزپرنده ها می‌شود. پس از صحت‌سنجی، غربال‌گری و اولویت‌بندی، این شاخص‌ها در اختیار مدیران و مسئولان جهت برنامه‌ریزی‌ها و سرمایه گذاری‌های کلان کشوری قرار می‌گیرد. تا در یک دهه آتی بتوانند در مقابل چالش‌های امنیتی و نظامی ناشی از توسعه ریزپرنده‌ها موفق عمل نمایند و از طرفی با ایجاد زیرساخت‌ها و ظرفیت‌های لازم از فرصت‌های پیش‌رو استفاده بهینه بعمل بیاورند.

مبانی نظری

طی دو دهه آینده، سرعت و تأثیر تحولات فناوری به احتمال زیاد افزایش می‌یابد. این تحولات تجارب و توانایی‌های انسان را تغییر داده و بهبود می‌بخشد. از طرفی ضمن ایجاد تنش‌ها و اختلالات جدید، توانایی مقابله با چالش‌هایی مانند پیری و تغییر اقلیم را افزایش و بطور کلی بهره‌وری در صنایع و زندگی بشر را ارتقاء می‌دهد. در دهه‌های آتی جهان شاهد افزایش رقابت های جهانی برای کسب فناوری‌های برتر مانند استعدادها، دانش و بازارها خواهد بود و این رقابت‌ها منجر به ایجاد رهبران جدید فناوری یا سلطه‌طلبی فناوری خواهد شد (گودرزی و اجلالی، ۱۴۰۰).

نحوه برنامه‌ریزی و تدوین سیاست‌های توسعه فناوری و وجود الگو و نقشه راه جامع، از عمده مسائل صنایع دفاعی می‌باشد که مدیران و برنامه‌ریزان این حوزه، با سئوالاتی در باره شیوه‌ی تحلیل شرایط درونی و محیطی صنعت، نحوه ارزیانی تحولات آینده و چگونگی تدوین و اجرای مراحل برنامه‌ریزی راهبردی، مواجه می‌باشند (امیری، رحمتی و رنجبر، ۱۳۹۵).

دنیای فناوری امروزه چنان در حال تغییر است که اطلاع از این تغییرها، هماهنگی و پاسخ مناسب و به موقع به آنها، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های سازمان‌های مختلف شده است. در

راستای حل این چالش، سازمان‌ها نیازمند دیدبانی و رصد تحول‌های فناورانه و اقدام لازم برای مواجهه با این تحول‌ها هستند (میرشاه ولایتی و نظری‌زاده، ۱۳۹۸).

فناوری از جمله مقولاتی است که روند پیشرفت و توسعه آن حرکت غیرخطی و پیچده‌ایی دارد و به متغیرهای متعددی وابسته است. هر کدام از این متغیرها به نوبه خود می‌توانند دارای تغییرات تدریجی یا انقلابی باشند. به طور کلی تغییرات و توسعه فناوری می‌تواند به دو صورت تدریجی یا انقلابی اتفاق بیفتد (خلیل، ۱۳۸۱: ۹۸).

تبیین و پیش‌بینی روندهای توسعه فناوری و گستردگی آن موضوعی چالش برانگیز است، زیرا عدم قطعیت‌ها و تحولات انقلابی در مسیر علوم پایه باعث دشواری تشخیص روندها می‌شود و ممکن است ارتباط بین فناوری و پیامدهای بالقوه آن را غیرمستقیم و پیچیده کند (GlobalTrends2040, 2021: 55).

بدیهی است که پیش‌بینی تغییرات انقلابی فناوری ناممکن یا بسیار سخت است. اما پیش بینی تغییرات تدریجی یا تکاملی با روش‌های علمی امکان پذیر است (البته نه بصورت صد درصد دقیق). پورتر[1] و روسینی[2] (۱۹۸۷) روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی را به پنج دسته قسمت کرده‌اند، که به شرح ذیل می‌باشند.

۱- پایش یا نظارت: یک روش نظام‌مند جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات است که از طریق آن پیش‌بینی‌ها صورت می‌گیرد. فرض اصلی این روش آن است که اطلاعات مفیدی در منابع علمی و اسناد وجود دارد که می‌توان آنها را جمع‌آوری کرد.

۲- نظر کارشناس یا خبره: در این روش نظرات کارشناسان در یک حوزه خاص جمع آوری و تحت تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. هرچند که پیدا کردن خبره مرتبط و جلب رضایت و مشارکت آنها مشکل است.

۳- برون یابی یا تحلیل روند: در این روش با استفاده از شیوه‌های ریاضی و آماری داده های گذشته به آینده تعمیم داده می‌شود. در این روش فرض می‌شود که آینده استمرار و

[1] Porter
[2] Rossini

امتداد گذشته است و تحول ناگهانی و انقلابی که روند جاری تحولات را تغییر دهد، پیش نخواهد آمد.

۴- مدل‌سازی: نمایش ساده شده‌ایی از ساختار و پویایی‌های جهان واقعی در قالب نمودار جریان، معادلات ساده، مدل‌های فیزیکی تا شبیه‌سازی رایانه‌ای است که امکان پیش‌بینی آینده را میسر می‌کند. با این روش می‌توان فرآیند مشخصی را برای پیش‌بینی آینده‌ی سامانه‌های پیچیده ایجاد نمود.

۵- سناریوسازی: جنبه‌هایی از آینده و مسیرهای منتهی از حال به آینده را به تصویر می کشد. در این روش مجموعه‌ای از سناریوها می‌توانند محدوده قابل قبولی از احتمالات آینده را نشان دهند. هرچند سناریوها می‌توانند تصورات غنی و پیچیده‌ایی از آینده را نشان دهند، اما احتمال افراط در تخیل و فاصله گرفتن از واقعیات وجود دارد.

در این تحقیق از ترکیب دو روش اول یعنی نظارت و نظر کارشناسان برای پیش‌بینی فناوری‌های ریزپرنده‌ها استفاده می‌شود.

پیشینه‌های پژوهش

هر چند که کارهای تحقیقاتی محدودی در خصوص پیش‌بینی فناوری‌های پهپادها صورت گرفته است و عمدتاً بدلیل داشتن کاربردهای نظامی قابل دسترس نیستند. لکن با بررسی کتابخانه‌ای که صورت گرفت، پیشینه‌های پژوهشی زیر قابل استناد بودند.

در سال ۲۰۱۶ لیو[1] و همکاران روند توسعه پهپاد در چین را با استفاده از روش تجزیه و تحلیل پتنت[2] نشان دادند و مشکلات موجود برای توسعه فناوری پهپاد در چین را روشن کردند (Liu & et al. , 2016).

فاهی و میلر با معرفی فناوری‌های کلیدی مرتبط با پهپادها، مانند پیشرفت‌های روباتیک، پیشرفت‌های یادگیری ماشین، پیشرفت‌های هوش مصنوعی، پیشرفت‌های رابط انسان و ماشین و غیره، نقشه راه وسایل نقلیه بدون سرنشین وزارت دفاع ایالات متحده در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۴۲ را تهیه کردند (Fahey & Miller, 2017).

پدرام و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهش خود به فناوریهای دفاعی ضدپهپادی با رویکرد آینده پژوهی پرداخته‌اند و در انجام این مهم از اولویت‌گذاری پابرجا به عنوان یکی از روشهای فعالیت

[1] Liu
[2] The patent analysis method

آینده پژوهی استفاده کرده‌اند. این تحقیق با مبنا قرار دادن الگوی اولویت‌گذاری و با به‌کارگیری پانل خبرگان، شناسایی و ارزیابی تهدیدهای حال و آتی پهپادها انجام شده و در یافته‌های پژوهش ۱۱ نوع محصول ضدپهپادی که در برابر تهدیدهای آتی پهپادی موثرتر بوده نیز فهرست شده است (پدرام، احمدیان و امیرمزلقانی، ۱۳۹۷).

محمد و همکارانش(۲۰۲۰) در مقاله خود به بررسی کاربردهای بالقوه پهپادها در شهرهای هوشمند آینده، پیامدهای آنها و مسائل فنی و غیرفنی پیش روی چنین کاربردهایی می‌پردازند. همچنین مقررات و فناوری‌های جاری و در حال توسعه را مورد بحث قرار می‌دهند. در کنار طیف وسیعی از کاربردهای ممکن با استفاده از پهپادها در شهرهای هوشمند، چندین موضوع باز را در نظر می‌گیرند. نمونه‌هایی از این مسائل شامل صدور مجوز و صدور گواهینامه، ارتباطات و امنیت، و ادغام یکپارچه پهپاد و شهرهای هوشمند است. ادغام پهپادها در شهرهای هوشمند به دلیل مسائل و نگرانی‌های متعددی مانند ایمنی، حریم خصوصی و استفاده اخلاقی و قانونی بسیار چالش برانگیز است (Mohamed et al. , 2020).

باتسنگل[1] و همکاران در سال ۲۰۲۰ روندهای فناوری در پهپادها را با استفاده از روش تخصیص نهفته دیریکله مدل‌سازی موضوع و تحلیل شبکه بررسی کرده‌اند. آنها روند سالانه موضوعات را در ۱۸ سال گذشته در فناوری‌های پهپاد تعیین کردند. علاوه بر این، آنها این موضوعات را به عنوان "موضوعات داغ" و "موضوعات سرد" دسته‌بندی کردند که نشان دهنده میزان ارتباط این موضوعات با فناوری‌های پهپاد است. با این حال، مطالعه آنها محدود به اسناد ثبت اختراع در سرویس اطلاعات حقوق مالکیت معنوی کشور کره بوده است (Battsengel & et al. , 2020).

آلتونتاس و آبا (۲۰۲۲) در مقاله خودشان از منحنی‌های S سلسله مراتبی برای پیش‌بینی فناوری‌های وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین استفاده نموده‌اند و بیان کرده‌اند که چرخه عمر توسعه فناوری با استفاده از سه شاخص یعنی، نسبت بلوغ تکنولوژیکی فعلی(TMR[2])، تخمین تعداد پتنت‌های بالقوه‌ای که می‌توانند در آینده اعطا شوند(PPA[3]) و پیش‌بینی عمر باقی مانده مورد انتظار(ERL[4])، ارزیابی می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که فناوری‌های پهپاد و زیرمجموعه‌های آن در مرحله رشد در چرخه حیات فناوری قرار دارند و بیشتر پیشرفت‌ها در

[1] Battsengel
[2] Technological maturity ratio
[3] potential patents that could be granted in the future
[4] forecasting the expected remaining life

فناوری پهپاد تا سال ۲۰۴۸ تکمیل خواهد شد. از این رو می‌توان این فناوری‌ها را فناوری‌های نوظهور در نظر گرفت (Altuntas & Aba, 2022).

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی، از نظر راهبرد پژوهش، ترکیبی و از نظر اجرا در قالب تحقیقات توصیفی-پیمایشی است. جامعه آماری در دو سطح می‌باشد. سطح اول را خبرگان حوزه کاربری و ساخت ریزپرنده‌ها (صنعت) و سطح دوم را اساتید دانشگاه در حوزه فناوری‌های مرتبط با ریزپرنده‌ها تشکیل می‌دهند. با توجه به هدف پژوهش نمونه گیری هدفمند و تعداد آن با رسیدن به اشباع نظری تعیین شد. سطح اول خبرگان جهت احصاء فناوری‌های مرتبط و به کار رفته در حوزه ریزپرنده‌ها تشکیل گردید. این گروه در واقع خبرگان با تجربه حوزه ریزپرنده‌ها به تعداد ۹ نفر می‌باشند که محقق با مشورت آنان و انجام طوفان فکری اقدام به دسته‌بندی فناوری‌ها و احصاء شاخص‌های مرتبط با این فناوری‌ها و طراحی پرسشنامه نمود. در این مرحله فناوری‌های مرتبط با حوزه ریزپرنده‌ها در پنج مولفه و ۳۶ شاخص دسته‌بندی شدند. ویژگی‌های این گروه خبرگان در جدول۱ آمده است. با توجه به اینکه ریزپرنده‌ها پدیده‌هایی نو ظهور هستند، تحقیقات انجام شده در این خصوص بسیار اندک و عمدتاً بدلیل سطح محرمانگی در دسترس نمی‌باشند. از طرفی اهداف پیشینه‌های یافت شده با اهداف تحقیق حاضر مطابقت کامل نداشتند. فلذا به منظور جامعیت دادن به تحقیق براساس نظر خبرگان، کل فناوری‌های بکار رفته در ریزپرنده‌ها توسط خبرگان سطح اول تجزیه، تفکیک و شاخص‌بندی شدند و به منظور بهره‌گیری از دیدگاه کاملاً تخصصی خبرگان دانشگاهی در اجرای فرایند دلفی، کل شاخص‌ها بر اساس رشته‌های مصوب وزارت علوم و تحقیقات و فناوری دسته‌بندی شدند. تا هر خبره صرفاً در حوزه تخصص خود اظهار نظر نماید.

جدول (۱) مشخصات خبرگان برای دسته‌بندی فناوری‌ها و احصاء شاخص‌ها (سطح اول خبرگان)

ویژگی‌های خبرگان سطح اول	سابقه کاری مرتبط بین ۱۰-۲۰ سال	سابقه کاری مرتبط بیش از۲۰ سال	کارشناس	کارشناس ارشد	دکتری	مجموع کل خبرگان
فراوانی	۴	۵	۳	۵	۱	۹

سطح دوم خبرگان که از اساتید دانشگاه‌ها می‌باشند، جهت پیش‌بینی روند توسعه جهانی شاخص‌های فن‌آوری‌ها (که توسط خبرگان گروه اول احصاء شده بودند) در ۱۰ سال آینده تشکیل شد. سطح دوم خبرگان به لحاظ تخصص گرایی در پنج گروه ۷ نفره تشکیل شدند. ویژگی‌های سطح دوم خبرگان که از اساتید به روز دانشگاه‌ها بوده و ارتباط مستقیم با تحولات فناوری دارند، در جدول شماره۲ آمده است.

جدول (۲) مشخصات خبرگان دلفی فازی (سطح دوم خبرگان-اساتید و مربیان خبره دانشگاه)

حوزه فناوری	کارشناس	کارشناس ارشد	دکتری	مجموع هر حوزه	مجموع کل خبرگان
سازه	-	۴	۳	۷	۳۵
آئرودینامیک و پیشران	-	۳	۴	۷	
دینامیک پرواز و کنترل	-	۳	۴	۷	
الکترونیک و مخابرات	۱	۳	۳	۷	
هوش مصنوعی	-	۵	۲	۷	

بنابراین در این تحقیق جهت جمع‌آوری اطلاعات در زمینه مبانی نظری و ادبیات پژوهش از مطالعات کتابخانه ایی، جهت جمع‌آوری داده‌ها به منظور تجزیه و تحلیل و پاسخ به خواسته های تحقیق از روش میدانی و دیدگاه خبرگان و پرسشنامه محقق ساخته استفاده شد. جهت تعیین روایی محتوایی، پرسشنامه تهیه شده در اختیار خبرگان با تجربه قرار گرفت و پس از اصلاحات مقتضی پرسشنامه نهایی شد و جهت پایایی پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد، ضرایب آلفای بدست آمده حاکی از قابل اعتماد بودن پرسشنامه می‌باشد.

جدول (۳) آلفای کرونباخ

ردیف	دسته فناوری‌های مرتبط با ریزپرنده‌ها	ضریب آلفای کرونباخ
۱	سازه	۰/۸۱
۲	آئرودینامیک و پیشران	۰/۸۳
۳	دینامیک پرواز و کنترل	۰/۸۸

۴	الکترونیک و مخابرات	۰/۹۳
۵	هوش مصنوعی	۰/۹۲

با توجه به ماهیت این پژوهش، جهت تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده از روش دلفی فازی و نرم افزارهای Excel و Spss استفاد شد. از آنجایی که با استفاده از روش دلفی فازی صحت سنجی، غربالگری و اولویت‌بندی این شاخص‌ها مورد بررسی قرار گرفت، در ادامه روش مذکور بطور اجمالی توضیح داده می‌شود. لازم به ذکر است چون پیش‌بینی فن‌آوری از موضوعات مورد علاقه پژوهشگران رشته‌های فنی و مهندسی می‌باشد، تمام فرمول‌های لازم با اندیس گذاری کامل انجام شده است تا قابلیت استفاده در نرم‌افزارهای مهندسی و ریاضی مانند متلب را نیز داشته باشند.

روش دلفی اولین بار در اواخر دهه ۱۹۵۰ در انجام پژوهش‌های موسسه رند[1] در زمینه بررسی علمی نظرات کارشناسان در پروژه‌های دفاعی و پیش‌بینی آینده فناوری‌های نظامی‌بکار گرفته شد (Powell,2003).

روش دلفی یکی از روش‌های کسب دانش گروهی است که اساس محاسبات این روش بر دیدگاه خبرگان بوسیله پرسشنامه‌های همراه با کنترل بازخورد استوار است (Dalkey & Helmer, 1963: 458). با این فرایند، خبرگان می‌توانند مسائل را شناسایی، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی کنند و چارچوبی را برای پیش‌بینی توسعه دهند (Okoli & Pawlowski, 2004). در روش دلفی برای حل عارضه گروه فکری از اصل ناشناس بودن استفاده می‌شود. در روش دلفی خبرگان و افرادی که در نظرسنجی استفاده می‌شوند، یکدیگر را نمی‌شناسند. این ناشناس بودن موانع و مشکلات همفکری گروهی را از بین می‌برد (Somerville, 2008). دیدگاه خبرگان توسط یک هماهنگ کننده گردآوری شده و سپس خلاصه نتایج توسط هماهنگ کننده در اختیار دیگر اعضا قرار داده می‌شود. سپس افراد بر اساس خلاصه نتایج مرحله قبل مجدداً دیدگاه خود را تعدیل کرده و مطرح می‌کنند. در نهایت پس از رسیدن به یک اجماع

[1] RAND Corporation

کلی، نتایج در قالب یک گزارش آماری (معمولا میانگین یا میانه) مطرح می‌شود و برای تصمیم گیری استفاده می‌شود (Antcliff, 2013).

هرگونه خطا و ناسازگاری در سنجش دیدگاه خبرگان، نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبات را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در رویکردهای دلفی سنتی، اگر چه از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خبرگان برای انجام مقایسات استفاده می‌شود، اما کمی‌کردن دیدگاه خبرگان به روش سنتی، امکان انعکاس کامل سبک تفکر انسانی را فراهم نمی‌سازد. فلذا از آنجایی که استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی[1] و بعضاً مبهم انسانی دارد، بهتر است که با بکارگیری منطق فازی به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت و با استفاده از مجموعه‌های فازی خطای محاسبات را کاهش داد (Habibi, 2015). بنابراین روش دلفی فازی که توسعه یافته روش سنتی دلفی می‌باشد، با بکار گیری اعداد فازی می‌تواند بعنوان ابزاری دقیق‌تر جهت کسب برآیند دیدگاه خبرگان مورد استفاده قرار بگیرد.

در اجرای روش دلفی فازی باید در گام اول طیف فازی مناسبی را برای فازی‌سازی عبارات کلامی پاسخ دهندگان انتخاب کرد. محققین طیف‌های فازی متعددی را برای این منظور معرفی کرده‌اند. اما در این مقاله بدلیل سادگی کاربرد و در عین حال مناسب بودن، از طیف فازی مثلثی برای مقیاس پنج درجه لیکرت در بیان اهمیت شاخص‌ها به صورت زیر استفاده می‌شود:

جدول(۴) متغیرهای کیفی و اعداد فازی مثلثی متناظر با آن‌ها در مقیاس پنج درجه لیکرت

خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
(۰, ۰, ۰/۲۵)	(۰,۰/۲۵, ۰/۵)	(۰/۲۵ .۰,۵ .۰,۰/۷۵)	(۰/۵,۰/۷۵ .۰, ۱)	(۰/۷۵, ۱, ۱)

پس از انتخاب طیف فازی مناسب، دیدگاه هر خبره در هر شاخص گردآوری و به صورت عدد فازی مثلث(l, m, u)، به شکل زیر ثبت می‌گردد:

$$a_{ij}^{r} = \left(l_{ij}^{r}, m_{ij}^{r}, u_{ij}^{r}\right) \ , \ i = 1,2,3,\dots,n \ , \ j = 1,2,3,\dots,N \ , r = number\ of\ round$$

[1] linguistic

a_{ij}^{r} دیدگاه خبره i ام در شاخص jام و راند rام و n و N به ترتیب تعداد خبرگان و تعداد شاخص‌های مورد بررسی می‌باشند.

در گام دوم دیدگاه‌های خبرگان در هر شاخص میانگین گیری می‌شود. روش‌های متعددی برای تجمیع فازی دیدگاه خبرگان در مقالات مختلف پیشنهاد شده است. لکن ساده‌ترین و پرکاربردترین روش محاسبه میانگین فازی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\bar{E}_{rj} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} l_{ij}^{r}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^{n} m_{ij}^{r}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^{n} u_{ij}^{r}}{n}\right)$$

$\bar{E}_{rj}$ میانگین فازی شاخص jام در راند rام می‌باشد.

در گام سوم اقدام به فازی زدایی میانگین فازی شاخص‌ها می‌گردد. تا به یک عدد قطعی و قابل درک از ارزش هر شاخص دست پیدا کنیم. روش‌های متعددی برای فازی زدائی وجود دارد. لکن یکی از روش‌های ساده برای فازی زدائی اعداد فازی مثلثی تحت عنوان میانگین حسابی می‌باشد که در ادامه معرفی می‌شود. اگر میانگین فازی شاخص jام در راند rام را بصورت زیر در نظر بگیریم.

$$\bar{E}_{rj} = \left(L_j^r, M_j^r, U_j^r\right)$$

مقداری قطعی میانگین فازی از روابط زیر بدست خواهد آمد.

$$z_{rj}^{1} = \frac{L_j^r + M_j^r + U_j^r}{3};\ z_{rj}^{2} = \frac{L_j^r + 2M_j^r + U_j^r}{4};\ z_{rj}^{3} = \frac{L_j^r + 4M_j^r + U_j^r}{6}$$

$$\bar{\mathrm{Z}}_{rj} = \max\left(z_{rj}^{1}, z_{rj}^{2}, z_{rj}^{3}\right)$$

$\bar{\mathrm{Z}}_{rj}$ مقدار قطعی میانگین فازی jام در راند rام می‌باشد که معادل بزرگترین مقدار z_{rj}^{i} بدست آمده می‌باشد (بوجادزیف، ۲۰۰۷).

در گام چهارم پس از فازی‌زدایی میانگین فازی بایستی اقدام به غربال شاخص‌ها نمود. برای این منظور شاخصی تحت عنوان آستانه تحمل در نظر گرفته می‌شود. اگر مقدار قطعی حاصل از فازی‌زدایی میانگین دیدگاه خبرگان، بزرگتر از آستانه تحمل باشد شاخص مورد نظر تایید و در غیر اینصورت حذف می‌گردد. معمولاً اندازه آستانه تحمل بیش از ۰/۵ و حدود ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود (GA & Aewk, 2021).

در گام پنجم اختلاف دیدگاه هر کارشناس در هر شاخص با میانگین دیدگاه‌ها در آن شاخص بصورت زیر محاسبه شده و مجدد به همراه پرسشنامه جدید در اختیار کارشناس مربوطه قرار می‌گیرد:

$$D_{ij}^{r} = \bar{E}_{rj} - a_{ij}^{r}$$

D_{ij}^{r} اختلاف دیدگاه خبره i ام در شاخص jام و راند rام با میانگین شاخص متناظر. توجه شود که این اختلاف دیدگاه منحصر به فرد بوده و برای هر کارشناس در برگه‌ایی جداگانه ضمیمه پرسشنامه جدید می‌شود.

در گام ششم نظر کارشناس‌ها مجدداً جمع‌آوری و میانگین فازی جدید شاخص‌ها محاسبه می‌گردد. سپس اختلاف میانگین پاسخ کارشناسان در هر شاخص با میانگین پاسخ کارشناسان در شاخص متناظر در پرسشنامه قبلی مقایسه می‌شود. تا زمانی که اختلاف اندازه دو میانگین متوالی بالای ۰/۲ باشد، این چرخه ادامه خواهد یافت و در نهایت مطابق منبع (یوسف و همکاران، ۲۰۲۱) شاخص‌های آخرین پرسشنامه‌ای که اختلاف میانگین همه شاخص‌های آن با پرسشنامه قبلی زیر ۰/۲ باشد، شاخص‌های نهایی تایید شده خواهند بود و براساس میانگین راند نهائی به غربال شاخص‌ها پرداخته می‌شود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نتایج حاصل از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و تشکیل کار گروه خبرگان سطح اول ۹ نفره، منجر به دسته‌بندی فناوری‌های مرتبط با ریزپرنده‌ها در ۵ دسته و ۳۶ شاخص مطابق جدول شماره ۵ گردید. اولین پرسشنامه مطابق جدول ۵ و بصورت مقیاس پنج درجه لیکرت تشکیل و بین جامعه آماری خبرگان سطح دوم مطابق جدول ۲ توزیع گردید. نمونه گیری هدفمند رایج‌ترین روش نمونه گیری مورد استفاده در روش دلفی فازی است (Musa et al. , 2022). از اینرو جامعه آماری صرفاً از بین متخصصین و صاحب نظرانی که بیشترین آشنایی با حوزه ریزپرنده‌ها در کشور داشته‌اند، انتخاب شدند. در پرسشنامه ضمن توضیح اهداف و روش اجرای پژوهش، از خبرگان خواسته شد که دیدگاه تخصصی خود را در خصوص روند توسعه شاخص‌های ذکر شده در ۱۰ سال آینده را مطابق مقیاس پنج درجه لیکرت (جدول۴) اعلام نمایند. جهت بهره گیری از دیدگاه‌های کاملا تخصصی و دقیق خبرگان، از آنها خواسته شد که صرفاً به آن دسته از

فناوری که تسلط دارند، پاسخ داده شود. فلذا مطابق جدول ۲ در هر دسته فناوری حداقل دیدگاه ۷ نفر از خبرگان مرتبط اخذ گردید. لازم به ذکر است که در پایان هر پرسشنامه با مطرح کردن سئوال باز از خبرگان خواسته شده است که نظرها و پیشنهادهای مکتوب خود را در خصوص هر کدام از شاخص‌ها مطرح شده و شاخص‌های احتمالی که از قلم افتاده است، اعلام نمایند.

جدول (۵) نتایج آزمون راند اول دلفی فازی مولفه‌ها و شاخص‌های فناوری

	عنوان فناوری‌های مرتبط با حوزه ریزپزنده‌ها	میانگین فازی احتمال وقوع			فازی زدایی میانگین
		L	M	U	
۱)	**فناوری‌های حوزه سازه**				۰/۷۶
۱	پیشرفت علم مواد از منظر کاهش وزن و حجم چه اندازه است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰/۹۶	۰/۷۶
۲	توسعه پلتفرم‌های نامتعارف به منظور افزایش توان عملیاتی از قبیل راه رفتن روی زمین، روی آب، زیر آب و... تا چه حدی خواهد بود؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱
۳	توسعه سازه‌های هوشمند[1] تا چه حدی است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱
۴	کاهش سطح مقطع راداری به منظور کاهش احتمال آشکارسازی و شناسایی چقدر خواهد بود؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۹۶	۰/۷۴
۵	پیشرفت‌های سازه‌ای تا چه حدی می‌توانند در افزایش استحکام تاثیر گذار باشند؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱
۶	توسعه استفاده از فناوری تاکسیدرمی‌در ساخت ریزپرنده‌ها چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۷	امکان استفاده از مواد جاذب رادار چقدر است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱
۲)	**فناوری‌های حوزه آئرودینامیک و پیشران‌ها**				۰/۷۴
۸	توسعه پیشرانه‌هایی با استفاده از سلول‌های خورشیدی چقدر است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷
۹	استفاده از پیشرانه‌های هیدروژنی تا چه حد است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۱۰	توسعه پلتفرم‌های بالزن به منظور بهبود علمکرد آیرودینامیکی چقدر است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱
۱۱	توسعه پیشرانه‌های ترکیبی چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۱۲	توسعه نسل باتری‌ها برای افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۱۳	ایجاد قابلیت استراحت و شارژ مجدد منبع چقدر است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱
۱۴	ایجاد قابلیت اتصال الکتریکی به مخزن انرژی به منظور تامین انرژی الکتریکی چقدر است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱

[1] Morphing structures

	عنوان فناوری‌های مرتبط با حوزه ریزپزنده‌ها	میانگین فازی احتمال وقوع			فازی زدایی میانگین
		L	M	U	
۱۵	افزایش استفاده از چند پره‌ها بجای بال ثابت چقدر است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱
	۳) فناوری‌های حوزه دینامیک پرواز و کنترل				۰/۷۶
۱۶	امکان توسعه روش‌های کنترلی (به کارگیری نرم افزارهای متن باز، انواع الگوریتم های کنترلی و...) چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۱۷	توسعه استفاده از تلفن همراه و تبلت به عنوان کنترل کننده چقدر است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷
۱۸	توسعه سیستم‌های پهپادی به منظور ایجاد شبکه‌های یکپارچه فضایی - هوایی – زمینی چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۱۹	امکان گسترش پرواز گروهی در عملیات‌های مختلف چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۲۰	توسعه روش‌های هدایت، برنامه‌ریزی مسیر و ماموریت با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی چقدر است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷
۲۱	توسعه روش‌های کنترلی مبتنی بر یادگیری بر اساس الگوریتم‌های شبکه عصبی و نیز یادگیری مبتنی بر مغز انسان و روش‌های فرا ابتکاری چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
	۴) فناوری‌های حوزه الکترونیک و مخابرات				۰/۷۹
۲۲	ارتقای امنیت لینک ارتباطی ریزپزنده‌ها با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۲۳	افزایش استفاده از پردازنده‌های آن بُرد و به کارگیری پردازشگرهای پیشرفته به منظور پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشرفته چقدر است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷
۲۴	ارتقای ماژول‌های مخابراتی به لحاظ کوچک‌سازی ارتقای تجهیزات رادیو نرم افزار[1] چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۲۵	ارتقای سامانه‌های ناوبری کمکی و محلی (جایگزین سامانه‌های جهانی) به منظور محافظت در برابر تهدیدات جمینگ و فریب چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۲۶	توسعه روش‌های ناوبری مستقل از جی پی اس[2] با استفاده از بینایی ماشین، پردازش تصویر و الگوریتم‌های مختلف در چه حدی است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷
۲۷	توسعه روش‌های ناوبری مستقل از جی پی اس با استفاده ترکیبی از سنسورها، لیدار، پردازش تصویر و... در چه حدی است؟	۰/۵۷	۰/۸۲	۰۰/۱	۰/۸۰
۲۸	ارتقای حسگرهای ناوبری با دقت بالا و سایز کوچک و نیز توسعه الگوریتم‌های ترکیبی حسگرها چقدر است.	۰/۵۷	۰/۸۲	۰۰/۱	۰/۸۰
۲۹	توسعه فناوری‌های سیستم‌های میکرو الکترو مکانیکی به منظور کاهش وزن و ابعاد چقدر است؟	۰/۵۷	۰/۷۹	۰/۸۶	۰/۷۴
۳۰	توسعه قابلیت‌های ریزپرنده‌ها با استفاده از حسگرهای پیشرفته با قابلیت نرخ	۰/۷۵	۰۰/۱	۰۰/۱	۰/۹۲

[1]. Software-Defined Radio(SDR)
[2] GPS

	عنوان فناوری‌های مرتبط با حوزه ریزپزنده‌ها	میانگین فازی احتمال وقوع L	M	U	فازی زدایی میانگین
	تصویربرداری بالا، تأخیر کم و عملکرد مناسب در شب چقدر است؟				
۳۱	توسعه استفاده از پهپادهای زیستی به صورت موجود زنده تا چه حدی است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵
۳۲	امکان جلوگیری از نفوذ امواج الکترو مغناطیسی به داخل موتورها چقدر است؟	۰/۷۵	۰۰/۱	۰۰/۱	۰/۹۲
	۵) فناوری‌های حوزه هوش مصنوعی				۰/۷۴
۳۳	ارتقای ریزپهپادها با استفاده از قابلیت تعمیر و خود بازیابی الهام گرفته از طبیعت چقدر است؟	۰/۳۶	۰/۶۱	۰/۸۶	۰/۶۱
۳۴	استفاده از ابزارهای پوشیدنی به جای ایستگاه زمینی (مانند دستکش، کلاه، عینک، کابین‌های پوشیدنی و...) چقدر است؟	۰/۷۵	۰۰/۱	۰۰/۱	۰/۹۲
۳۵	توسعه فناوری غبار هوشمند و کاربرد آن در ریزپرنده‌ها چقدر است؟	۰/۲۹	۰/۵۴	۰/۷۹	۵
۳۶	توسعه فناوری‌های مرتبط با رابط مغز انسان و رایانه به منظور کنترل ریزپرنده‌ها با ذهن چقدر است؟	۰/۷۵	۰۰/۱	۰۰/۱	۰/۹۲

بنا به اظهار نظر تعدادی از خبرگان دربخش پرسش باز، شاخص‌های ۲۱، ۲۳، ۲۶، ۲۷ و ۳۲ بدلیل همپوشانی که با سایر شاخص‌ها داشتند، حذف گردیدند و از طرفی سئوالات ۳۳ و ۳۵ به دلیل پائین‌تر بودن از آستانه تحمل حذف گردیدند. بنابراین سئوالات در پرسشنامه دوم به ۲۹ مورد کاهش پیدا کرد.

جدول (۶) نتایج آزمون راند دوم دلفی فازی مولفه‌ها و شاخص‌های فناوری

	عنوان فناوری‌های مرتبط با حوزه ریزپرنده‌ها	میانگین فازی احتمال وقوع L	M	U	فازی زدایی میانگین	اختلاف نظر خبرگان (راند اول و دوم)
	۱) فناوری‌های حوزه سازه				۰/۷۳	۰/۰
۱	پیشرفت علم مواد از منظر کاهش وزن و حجم چه اندازه است؟	۰/۵۷	۰/۸۲	۰۰/۱	۰/۸۰	۰/۰۴
۲	توسعه پلتفرم‌های نامتعارف به منظور افزایش توان عملیاتی از قبیل راه رفتن روی زمین، روی آب، زیر آب و... تا چه حدی خواهد بود؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱	۰/۰
۳	توسعه سازه‌های هوشمند تا چه حدی است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱	۰/۰
۴	کاهش سطح مقطع راداری به منظور کاهش احتمال آشکارسازی و شناسایی چقدر خواهد بود؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۹۶	۰/۷۴	۰/۰

	عنوان فناوری‌های مرتبط با حوزه ریزپرنده‌ها	میانگین فازی احتمال وقوع			فازی زدایی میانگین	اختلاف نظر خبرگان (راند اول و دوم)
		L	M	U		
۵	پیشرفت‌های سازه‌ای تا چه حدی می‌توانند در افزایش استحکام تاثیر گذار باشند؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱	۰/۰
۶	توسعه استفاده از فناوری تاکسیدرمی[1] در ساخت ریزپرنده ها چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰
۷	امکان استفاده از مواد جاذب رادار چقدر است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱	۰/۰
۲)	**فناوری‌های حوزه آئرودینامیک و پیشران‌ها**				۰/۷۴	۰/۰
۸	توسعه پیشرانه‌هایی با استفاده از سلول‌های خورشیدی چقدر است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷	۰/۰
۹	استفاده از پیشرانه‌های هیدروژنی تا چه حد است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰
۱۰	توسعه پلتفرم‌های بالزن به منظور بهبود علمکرد آیرودینامیکی چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰۴
۱۱	توسعه پیشرانه‌های ترکیبی چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰
۱۲	توسعه نسل باتری‌ها برای افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰
۱۳	ایجاد قابلیت استراحت و شارژ مجدد منبع چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۱	۰/۰۴
۱۴	ایجاد قابلیت اتصال الکتریکی به مخزن انرژی به منظور تامین انرژی الکتریکی چقدر است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱	۰/۰
۱۵	افزایش استفاده از چند پره‌ها بجای بال ثابت چقدر است؟	۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۷۱	۰/۰
۳)	**فناوری‌های حوزه دینامیک پرواز و کنترل**				۰/۷۶	۰/۰
۱۶	امکان توسعه روش‌های کنترلی (به کارگیری نرم افزارهای متن باز، انواع الگوریتم‌های کنترلی و...) چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰
۱۷	توسعه استفاده از تلفن همراه و تبلت به عنوان کنترل کننده چقدر است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷	۰/۰
۱۸	توسعه سیستم‌های پهپادی به منظور ایجاد شبکه‌های یکپارچه فضایی - هوایی – زمینی چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰
۱	امکان گسترش پرواز گروهی در عملیات‌های مختلف چقدر	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰

[1] Taxidermy

	عنوان فناوری‌های مرتبط با حوزه ریزپرنده‌ها	میانگین فازی احتمال وقوع			فازی زدایی میانگین	اختلاف نظر خبرگان (راند اول و دوم)
		L	M	U		
۹	ست؟					
۲۰	توسعه روش‌های هدایت، برنامه‌ریزی مسیر و ماموریت با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی چقدر است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷	۰/۰
۴)	**فناوری‌های حوزه الکترونیک و مخابرات**				۰/۷۷	۰/۰۲
۲۱	ارتقای امنیت لینک ارتباطی ریزپزنده‌ها با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰
۲۲	افزایش استفاده از پردازنده‌های آن بُرد و به کارگیری پردازشگرهای پیشرفته به منظور پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشرفته چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰۲
۲۳	ارتقای سامانه‌های ناوبری کمکی و محلی (جایگزین سامانه های جهانی) به منظور محافظت در برابر تهدیدات جمینگ و فریب چقدر است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷	۰/۰۲
۲۴	ارتقای حسگرهای ناوبری با دقت بالا و سایز کوچک و نیز توسعه الگوریتم‌های ترکیبی حسگرها چقدر است.	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰۵
۲۵	توسعه فناوری‌های سیستم‌های میکرو الکترو مکانیکی به منظور کاهش وزن و ابعاد چقدر است؟	۰/۵۰	۰/۷۵	۰۰/۱	۰/۷۵	۰/۰۱
۲۶	توسعه قابلیت‌های ریزپرنده‌ها با استفاده از حسگرهای پیشرفته با قابلیت نرخ تصویربرداری بالا، تأخیر کم و عملکرد مناسب در شب چقدر است؟	۰/۵۴	۰/۷۹	۰۰/۱	۰/۷۷	۰/۱۵
۲۷	توسعه استفاده از پهپادهای زیستی به صورت موجود زنده تا چه حدی است؟	۰/۶۴	۰/۸۹	۰۰/۱	۰/۸۵	۰/۱
۵)	**فناوری‌های حوزه هوش مصنوعی**				۰/۸۲	۰/۰۸
۲۸	استفاده از ابزارهای پوشیدنی به جای ایستگاه زمینی (مانند دستکش، کلاه، عینک، کابین‌های پوشیدنی و...) چقدر است؟	۰/۵۷	۰/۸۲	۰۰/۱	۰/۸۰	۰/۱۲
۲۹	توسعه فناوری‌های مرتبط با رابط مغز انسان و رایانه به منظور کنترل ریزپرنده‌ها با ذهن چقدر است؟	۰/۶۴	۰/۸۹	۰۰/۱	۰/۸۵	۰/۰۷

همان‌طور که در جدول ۶ قابل مشاهده است، خوشبختانه پرسشنامه در دومین راند همگرا شده و اختلاف میانگین تمامی‌شاخص‌ها در دو نوبت زیر ۰/۲ است. بنابراین لزومی به ادامه روند وجود ندارد و شاخص‌های حاصل در جدول ۶ شاخص‌های نهایی و غربال شده می‌باشند. گفتنی است همگرا شدن نتایج در دو راند دلالت بر این دارد که شاخص‌های اولیه تعیین شده در گروه

خبرگان ۹ نفره از دقت بالایی برخوردار است. بنابرین با مقایسه مقادیر نهایی میانگین‌های حاصل برای دسته‌های حوزه‌های فناوری و شاخص‌های مرتبط، می‌توان این حوزه‌ها و شاخص‌ها را بر اساس جدول شماره ۷ اولویت‌بندی نمود.

جدول (۷) الویت‌بندی حوزه‌های فناوری و شاخص‌ها، براساس نتایج نهایی تحلیل دلفی فازی

اولویت حوزه‌های فناوری	شاخص‌ها	اولویت‌ها
۱) هوش مصنوعی	توسعه فناوری‌های مرتبط با رابط مغز انسان و رایانه به منظور کنترل ریزپرنده‌ها با ذهن	۱
	استفاده از ابزارهای پوشیدنی به جای ایستگاه زمینی (مانند دستکش، کلاه، عینک، کابین‌های پوشیدنی و...)	۲
۲) الکترونیک و مخابرات	توسعه استفاده از پهپادهای زیستی به صورت موجود زنده	۱
	توسعه قابلیت‌های ریزپرنده‌ها با استفاده از حسگرهای پیشرفته با قابلیت نرخ تصویربرداری بالا، تأخیر کم و عملکرد مناسب در شب	۲
	ارتقای سامانه‌های ناوبری کمکی و محلی (جایگزین سامانه‌های جهانی) به منظور محافظت در برابر تهدیدات جمینگ و فریب	۲
	ارتقای حسگرهای ناوبری با دقت بالا و سایز کوچک و نیز توسعه الگوریتم‌های ترکیبی حسگرها	۳
	توسعه فناوری‌های سیستم‌های میکرو الکترو مکانیکی به منظور کاهش وزن و ابعاد	۳
	ارتقای امنیت لینک ارتباطی ریزپرنده‌ها با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته	۳
	افزایش استفاده از پردازنده‌های آن بُرد و به کارگیری پردازشگرهای پیشرفته به منظور پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشرفته	۳
۳) دینامیک پرواز و کنترل	توسعه روش‌های هدایت، برنامه‌ریزی مسیر و ماموریت با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی	۱
	توسعه استفاده از تلفن همراه و تبلت به عنوان کنترل کننده	۱
	توسعه سیستم‌های پهپادی به منظور ایجاد شبکه‌های یکپارچه فضایی - هوایی – زمینی	۲
	امکان گسترش پرواز گروهی در عملیات‌های مختلف	۲
	امکان توسعه روش‌های کنترلی (به کارگیری نرم افزارهای متن باز، انواع الگوریتم‌های کنترلی و...)	۲
۴) آئرودینامیک و پیشران‌ها	توسعه پیشرانه‌هایی با استفاده از سلول‌های خورشیدی	۱
	استفاده از پیشرانه‌های هیدروژنی	۲
	توسعه پلتفرم‌های بالزن	۲

اولویت‌ها	شاخص‌ها	اولویت حوزه‌های فناوری
۲	توسعه پیشرانه‌های ترکیبی	
۲	توسعه نسل باتری‌ها برای افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی	
۲	ایجاد قابلیت استراحت و شارژ مجدد	
۳	ایجاد قابلیت اتصال الکتریکی به مخزن انرژی به منظور تامین انرژی الکتریکی	
۳	افزایش استفاده از چند پره‌ها بجای بال ثابت	
۱	پیشرفت علم مواد از منظر کاهش وزن و حجم	۵) سازه
۲	توسعه استفاده از فناوری تاکسیدرمی در ساخت ریزپرنده‌ها	
۳	کاهش سطح مقطع راداری	
۴	پیشرفت‌های سازه‌ای در راستای افزایش استحکام	
۴	توسعه پلتفرم‌های نامتعارف به منظور افزایش توان عملیاتی از قبیل راه رفتن روی زمین، روی آب، زیر آب و...	
۴	توسعه سازه‌های هوشمند	
۴	استفاده از مواد جاذب رادار	

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که، هر چند پیش‌بینی فناوری از ضروریات هر جامعه‌ایی جهت مواجهه مطلوب با آثار و تبعات آن در آینده می‌باشد، اما به دلیل غیرخطی بودن روند تغییرات فناوری در طول زمان به واسطه رخدادهای احتمالی انقلابی و اکتشافات خارق العاده دانشمندان، پیش‌بینی دقیق و متقن غیر ممکن است. از اینرو روش‌هایی مانند پایش تجربیات گذشته بشری و استفاده از دانش خبرگان به عنوان روش‌هایی تقریبی قابل قبول و مفید جهت برنامه‌ریزی‌های آینده توسط محققین پیشنهاد شده است. در این تحقیق به منظور برآورد توسعه فناوری‌های مرتبط با ریزپرنده‌ها در ۱۰ سال آینده، پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ایی و بهره‌گیری از طوفان فکری کارگروه‌های خبرگان، روش دلفی فازی به دلیل استفاده هم‌زمان از دو عنصر مهم پیش‌بینی آینده (یعنی پایش و دیگاه خبرگان) مورد انتخاب قرار گرفت.

بر اساس نتایج مطالعات کتابخانه‌ای و طوفان فکری شکل گرفته توسط گروه خبرگان ۹ نفره، حوزه‌های فناوری مرتبط با ریزپزنده‌ها به پنج دسته و ۳۶ شاخص تقسیم‌بندی شد. که

بعد از اجرای روش دلفی فازی شاخصها به ۲۹ مورد کاهش و در نهایت مطابق جدول ۷ اولویت بندی شدند. نکته مهمی‌که در انجام این تحقیق حائز اهمیت است همگرا شدن نتایج اجرای راندهای دلفی فازی پس از دو مرحله اجرا می‌باشد. چونکه عموماً همگرایی این روش در راندهای بالای ۳ اتفاق می‌افتد و این نکته از معایب روش دلفی محسوب می‌گردد. اجرای روش دلفی ذاتاً نیاز به کار میدانی زیادی دارد و افزایش راندها بر میزان آن می‌افزاید. اما در این تحقیق بدلیل استفاده از دیدگاه گروه خبرگان در ابتدای تعیین شاخص‌ها و داشتن دانش لازم و تجربه مرتبط محقق در حوزه ریزپرنده‌ها، باعث تسریع در همگرایی و افزایش دقت و اعتبار نتایج شد. همانطور که در جدول ۶ نشان داده شده است بیشترین اختلاف نظر خبرگان ۰/۱۵ است و در ۲۳ مورد این اختلاف دیدگاه به صفر نزدیک است.

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد براساس اولیت‌بندی که در جدول۷ صورت گرفت حوزه های فناوری‌های هوش مصنوعی و الکترونیک و مخابرات در اولویت‌های اول می‌باشند. بنابراین در ۱۰ سال آتی بیشترین تحولات فنی ریزپرنده‌ها در این حوزه‌ها صورت خواهد پذیرفت. لازم به ذکر است نتایج یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات فاهی و میلر (۲۰۱۷) که با معرفی فناوری‌های کلیدی مرتبط با پهپادها، مانند پیشرفت‌های روباتیک، پیشرفت‌های یادگیری ماشین، پیشرفت‌های هوش مصنوعی، پیشرفت‌های رابط انسان و ماشین و غیره، نقشه راه وسایل نقلیه بدون سرنشین وزارت دفاع ایالات متحده در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۴۲ را تهیه کردند، مطابقت کامل دارد. همچنین تحقیقات انجام شده توسط محمد و همکارانش(۲۰۲۰) که در مقاله خود به بررسی هوشمند شدن پهپادها در آینده و کاربردهای بالقوه پهپادها در شهرهای هوشمند آینده، پیامدهای آنها و مسائل فنی و غیرفنی پیش روی چنین کاربردهایی می‌پردازند، با نتایج این تحقیق هم راستا می‌باشد.

در نهایت با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهاد می‌گردد که مدیران و مسئولان کشور در برنامه‌ریزی‌ها و سرمایه گذاری‌های کلان اقتصادی خود اولیت‌های حاصل از نتایج این پژوهش را بیشتر مدنظر داشته باشند. تا در ۱۰ سال پیش‌رو بتوانند در مقابل چالش‌های قانونی، اقتصادی، فرهنگی، امنیتی و نظامی ناشی از توسعه ریزپرنده‌ها موفق عمل نمایند و از طرفی با ایجاد زیرساخت‌ها و ظرفیت‌های لازم از فرصت‌های پیش‌رو استفاده بهینه بکنند. در این راستا پیشنهادات کاربردی به شرح اعلام می‌گردد.

۱- با اهمیت دادن به رشته‌های تحصیلی مرتبط با حوزه‌های هوش مصنوعی و الکترونیک و مخابرات و تعریف گرایش‌های جدید و میان رشته‌ایی(بخصوص بین رشته‌های فناوری نانو و مهندسی الکترونیک و مکانیک)، دانش پایه این فناوری‌ها را در کشور تقویت و بومی نمایند.

۲- ایجاد قطب علمی فناوری‌های ریزربات‌ها در یکی از دانشگاه‌های برتر کشور.

۳- ورود جدی صنایع دولتی، غیر دولتی و نظامی به موضوع ریزپرنده‌ها به موزات توسعه صنعت پهپاد در کشور.

۴- ایجاد ساز و کار لازم جهت ارتباط تنگاتنگ مراکز دانشگاهی با صنعت، جهت کاربست نتایج تحقیقات دانشگاه‌ها و تجاری‌سازی آن‌ها.

۵- اجرای اقدامات انگیزشی و هماهنگ ساز مانند برگزاری همایش‌ها و مسابقات بین‌المللی در حوزه ریزپرنده‌ها.

۶- انجام تحقیقات بعدی در راستای این تحقیق، جهت شفاف‌سازی آثار و تبعات توسعه ریزپرنده‌ها در ۱۰ سال آینده، مانند تبعات امنیتی، اقتصادی، فرهنگی، نظامی و...

قدردانی

بدین‌وسیله از کلیه اساتید و خبرگان محترم حوزه صنعت هوایی و دانشگاه‌ها که با همکاری و بذل عنایت در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند، کمال امتنان را داریم.

منابع

- امیری، حسن، رحمتی، رضا. و رنجبر، محمدعلی. (۱۳۹۵). تبیین نقش برنامه‌ریزی راهبردی در توسعه فناوری دفاعی آینده. *فصلنامه علوم و فنون نظامی، ۱۲(۳۶): ۱۴۱-۱۶۳.*
- پدرام، عبدالرحیم، احمدیان، مهدی. و امیرمزلقانی، یوسف. (۱۳۹۷). آینده پژوهی در حوزۀ محصولات ضد پهپاد با استفاده از اولویت‌گذاری پابرجا. *فصلنامه آینده‌پژوهی دفاعی، ۳(۱۱): ۱۴۳-۱۶۴.*
- خلیل، طارق. (۲۰۰۰). *مدیریت تکنولوژی: رمز موفقیت در رقابت و خلق.* ترجمه ثروت باقری، کامران و ملت پرست، ماهور (۱۳۸۱). چاپ اول، تهران: پیام متن.
- گودرزی، غلامرضا و اجلالی، محمدمهدی. (۱۴۰۰). تحلیل روندهای آینده فناوری‌های دفاعی در افق ده ساله، *فصلنامه آینده پژوهی دفاعی، ۶(۲۳)، ۳۷-۵۷.*
- منتظر، غلامعلی و جعفری، نیلوفر. (۱۳۸۷). استفاده از تکنیک دلفی فازی برای مشخص کردن سیاست‌های مالیاتی کشور، *مجله پژوهش‌های اقتصادی، ۸(۱)، ۹۱-۱۱۸.*

- میرشاه ولایتی، فرزانه و نظری‌زاده، فرهاد. (۱۳۹۸). الگوی دیدبانی فناوری: فرایند و ساختاری برای رصد تحول‌های فناورانه. *فصلنامه آینده‌پژوهی دفاعی*, ۴(۱۳): ۴۱-۶۸.

انگلیسی

- Altuntas, S. & Aba, S. (2022). Technology Forecasting of Unmanned Aerial Vehicle Technologies through Hierarchical S-Curves, *Defence Science Journal, 72(1): 18-29, DOI: 10. 14429/dsj. 72. 16823*
- Antcliff, D. Keeley, P. Campbell, M. Oldham, J. & Woby, S. (2013). *The development of an activity-pacing questionnaire for chronic pain and/or fatigue:* a Delphi technique, Physiotherapy.
- Battsengel, G. Geetha, S. & Jeon J. (2020). Analysis of technological trends and technological portfolio of unmanned aerial vehicle. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex*, ***6****(3): 48. doi: 10. 3390/joitmc6030048*.
- Bojadziev, G. & Bojadziev, M. (2007), *Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management*, Advances in British Columbia Institute of Technology, Canada, 2nd Edition.
- Ching-Hsue, C. & Yin, L. (2002). Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. *European Journal of Operational Research, Vol. 142, p. 147.*
- Dalkey, N. & Helmer O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science, 9(3): 458–467.*
- Fahey, K. M. & Miller, M. J. (2017). Unmanned systems integrated roadmap FY 2017-2042, https: //www. defensedaily. com/wp-content/uploads/post_attachment/206477. pdf
- GA, M. & Aewk, H. (2021). Enhanced fuzzy Delphi method in forecasting and decision-making. *Advanced in Fuzzy System; P: 1–6. https: //doi. org/10. 1155/2021/2459573*.
- GlobalTrends2040, (2021). A Publication of the National Intelligent Council.
- Habibi, A. Jahantigh, F. & Sarafrazi, A. (2015). Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items. *Asian Journal of Research in Business Economics and Management, 5(2): 130-143.*
- Heiko, G. (2012). Consensus measurement in Delphi studies Re-opinion and implications for future quality assurance. *Technological Forecasting & Social Change, Vol. 79, PP. 1525–1536*
- Liu, Q. Ge, Z. & Song, W. (2016). Research based on patent analysis about the present status and development trends of unmanned aerial vehicle in China. *Open J. Soc. Sci.* ***4****(7): 172–181. doi: 10. 4236/jss. 2016. 47027*.
- Mohamed, N. Al-Jaroodi, J. Jawhar I. Idries, A. & Mohammed, F. (2020). Unmanned aerial vehicles applications in future smart cities, *Technological Forecasting and Social Change,Volume 153, 119293. https: //doi. org/10. 1016/j. techfore. 2018. 05. 004.*

- Mueller, T. J. (2009). On the Birth of Micro Air Vehicles. *International Journal of Micro Air Vehicles, 1(1): 1-12.*
- Musa, M. S. Pauzi, S. F. Mahmud I. Zainal, M. A. Rahman, S. & Yaacob, Z. (2022). Revalidation of Women's Fishermen's Participation Scale in Entrepreneurship: A Fuzzy Delphi Method (FDM). *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 12(9): 644–652*.
- Okoli, C. & Pawlowski S. (2004). The Delphi method as a research tool: An example, design considerations, and applications. *Information & Management, 42(1): 15–29.*
- Powell, C. (2003). The Delphi technique: Myths and realities. *Journal of Advanced Nursing, 41(4): 376-382.*
- Porter, A. L. & Rossini F. A. (1978). *Technological Forecasting*. In Encyclopedia of Systems and Control, ed. M. Singh. Oxford, Pergammon: 4823-4828.
- PS, R. & Jeyan, M. L. (2020). Mini Unmanned Aerial Systems (UAV) - A Review of the Parameters for Classification of a Mini UAV. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, 7(3): 1-21.*
- Somerville, J. A. (2008). *Effective Use of the Delphi Process in Research: Its Characteristics, Strengths, and Limitations*. Unpublished doctoral dissertation, Oregon State University, Corvallis
- Yusoff, M. Fkrudin, A. Azmil, H. , Norhisham, M. , Hamat, W. & Norina, W. (2021). Application of Fuzzy Delphi Technique to Identify the Elements for Designing and Developing the e-PBM PI-Poli Module. *Asian Journal of University Education (AJUE). 17(1): p292-304.*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی