

آینده پژوهی و دید فناوری راهبردی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

فرهاد کیانی فلاورجانی^۱

چکیده

مقدمه: تسلیحات هایپرسونیک به عنوان یکی از پیچیده ترین و استراتژیک ترین فناوری های نظامی، نقش مهمی در بازتعریف موازنه های قدرت جهانی ایفا می کنند. آینده پژوهی در این حوزه به پیش بینی روندهای فناوری، پیامدهای نظامی و توسعه توانمندی های لازم برای رقابت و بقا در آینده می پردازد. هدف این پژوهش، شناخت تسلیحات هایپرسونیک، شناسایی فناوری های نوظهور و بررسی روند تولیدات علمی در این حوزه است. روش پژوهش: این پژوهش از نوع کاربردی و علم سنجی است و با استفاده از روش تحلیل جامعه آماری و جمع آوری اطلاعات کتابخانه ای انجام شده است. کلیدواژه های مرتبط با پژوهش در فاصله سال های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ از پایگاه های اسنادی معتبر (وب آف ساینس، اسکوپوس و ساینس دایرکت) استخراج و تحلیل شدند. جامعه آماری پژوهش شامل ۳۲۵ مقاله علمی پژوهشی است. داده ها با استفاده از نرم افزار VOSviewer تحلیل و مصورسازی شدند.

یافته ها: بررسی ها نشان می دهد روند انتشار اسناد علمی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک طی بازه زمانی مطالعه، روندی صعودی داشته است. کشور چین و ایالات متحده بیشترین پژوهش ها و حمایت ها (مانند بورسیه های تحصیلی، دوره های مشترک، و تجهیز زیرساخت ها) را در این زمینه انجام داده اند.

نتیجه گیری: وسایل هایپرسونیک به دلیل توانایی حرکت در سرعت های بالای ماخ و کاربردهای گسترده در صنایع نظامی و فضایی، موضوعی کلیدی در تحقیقات مدرن محسوب می شوند. تحلیل هم رخدادی واژگان با استفاده از نرم افزار VOSviewer نشان داد که مفاهیم اصلی مانند زاویه حمله، نیروی پرتاب، انتقال حرارت جابجایی، خواص مکانیک سیالات و سیستم های هدایت الکترونیکی دارای ارتباط های تنگاتنگی هستند. روند زمانی پژوهش ها نیز افزایش تمرکز بر راهبردهای هدایت پیشرفته و چارچوب های کنترلی در سال های اخیر را نشان می دهد. یکپارچگی میان علم آیرودینامیک، مکانیک سیالات و سیستم های کنترلی الکترونیکی، نقش اساسی در بهبود کارایی، دقت و پایداری وسایل هایپرسونیک ایفا می کند.

واژگان کلیدی: آینده پژوهی، استخراج فناوری، تسلیحات هایپرسونیک، علم سنجی و وضعیت علمی

۱- (نویسنده مسئول): دانشجوی دکترا مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مکانیک، شاهین شهر،

ایران، رایانامه: Aerospace1362@gmail.com

مقدمه

کلاهک‌های هایپرسونیک گلایدکننده هستند که هم‌اکنون لبه فناوری موشکی در بخش سرچنگی‌ها محسوب می‌شود. یک موشک ۶ مایخی (سرعت ۷۴۰۹ کیلومتر بر ساعت)، در هر ثانیه بیش از یک مایل (بیش از ۱٫۶ کیلومتر) سفر خواهد کرد؛ یعنی به عبارتی ۹۶ مایل در هر دقیقه (حدود ۱۵۵ کیلومتر در دقیقه). این میزان از سرعت، فقط مدت‌زمانی به اندازه ۳ دقیقه یا کمتر در اختیار بسیاری از سیستم‌های دفاع هوایی دوربرد قرار خواهد داد تا موشک مورد نظر را شناسایی، رهگیری و منهدم کنند. بسیاری از سامانه‌های دفاع هوایی موجود که برای شلیک به هواپیماها و موشک‌های کروز طراحی شده‌اند، احتمالاً از رهگیری سلاح‌های هایپرسونیک ناتوان هستند (چاتر و همکاران، ۲۰۱۹). اینگونه سلاح‌های هایپرسونیک بسیار مفید و قدرتمند هستند زیرا سرعت‌های مافوق صوت آن‌ها باعث کاهش فرصت مورد نیاز مدافعان برای واکنش نشان دادن شده و سرعت و قدرت پرواز آن‌ها نیز باعث می‌شود که سیستم‌های دفاع موشکی و هوایی مرسوم نتوانند به راحتی این سلاح‌ها را رهگیری و منهدم نمایند. سلاح‌های اصلی در این دسته‌بندی، موشک‌های کروز هایپرسونیک، بالستیک‌های هواپرتاب و گلایدرهای هایپرسونیک هستند (رایت و همکاران، ۲۰۱۵). همانطور که پیش از این اشاره شد، این موشک‌ها با سرعتی فراتر از ۵ ماخ حرکت می‌کنند با این تفاوت که موشک‌های کروز هایپرسونیک با موتور اسکرمت‌جت ارتفاع پروازی کمتری نسبت به گلایدرهای بالستیک هایپرسونیک دارند.

گلایدرهای هایپرسونیک خطری بزرگ برای سیستم‌های پیشرفته دفاع موشکی هستند. آن‌ها بر خلاف موشک‌های بالستیک مسیر حرکتی قابل پیش‌بینی ندارند (رایت و همکاران، ۲۰۲۳). از پیچیدگی‌های فنی ساخت سلاح هایپرسونیک، فراهم کردن قابلیت مانور در چنان سرعت‌های سرسام‌آور است. در سرعت هایپرسونیک مولکول‌های اتمسفر به حالتی از ماده به نام پلاسما تبدیل می‌شوند. موشک‌های هایپرسونیک به طور عمده چند ویژگی اصلی دارند (تریسی و همکاران، ۲۰۲۱): سرعت مافوق صوت (۵ تا ۲۵ سرعت صوت)، مسدود کردن امواج رادیویی، مانورپذیری بالا و تغییر مسیر، رادارگریز و غیرقابل پیش‌بینی بودن مسیر. موشک‌های هایپرسونیک در مقایسه با موشک‌های بالستیک معمولی در ارتفاع بسیار پایین‌تری پرواز می‌کنند. این موشک‌ها در مسیر اتموسفیری بالستیکی پایین حرکت می‌کنند. یعنی این که تا زمانی که یک سیستم دفاع ضد موشکی بتواند آن‌ها را رهگیری کند، این موشک‌ها آنقدر به هدفشان نزدیک شده‌اند که دیگر دیر شده است. افزون بر آن، موشک‌های هایپرسونیک می‌توانند در جریان پرواز مسیرشان را تغییر دهند (اکتان و همکاران، ۲۰۱۵). موشک‌های هایپرسونیک نقش مهمی در سیاست خارجی کشورهای برتر نظامی جهان در سال‌های آینده ایفا خواهند کرد، موشک‌هایی که ستون مرکزی ژئوپلیتیک این کشورها را تشکیل می‌دهند، در شرایطی که جغرافیا و قدرت تکنولوژیکی را می‌توان با این موشک‌های هایپرسونیک متحول نمود (هایام، ۲۰۲۲).

پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که مجموع هزینه‌های تسلیحات مافوق صوت در سال ۲۰۳۱ به ۲۲ میلیارد دلار خواهد رسید که ایالات متحده بزرگترین سرمایه‌گذار در این حوزه نظامی خواهد بود. موشک‌های هایپرسونیک بسیار ارزشمند هستند، به این دلیل که در حال حاضر هیچ روش عملیاتی و قابل اتکایی برای رهگیری و نابودی آن‌ها وجود ندارد. اما در شرایطی که تکنولوژی دفاعی پیشرفت خواهد کرد، روشی‌هایی برای مقابله با این موشک‌ها نیز ابداع خواهد شد، از جمله سلاح‌های با انرژی پرتابی هدایت شده و سلاح‌های غیرجنبشی که می‌توانند گزینه‌هایی برای دفاع در مقابل موشک‌های هایپرسونیک باشند (تریسی، ۲۰۲۱). اما این‌ها همه

تکنولوژی آینده هستند و در حال حاضر رقابت برای موشک‌های عملیاتی هایپرسونیک بین کشورهای ایالات متحده، روسیه و چین نیز بسیار شدید است. در هر صورت، هنوز هم هیچ دفاع موثری در مقابله با بارانی از موشک‌های بالستیک قاره پیمای متعارف نیز وجود ندارد (داوینس، ۲۰۲۰).

در حالی که می‌توان روسیه و چین را پیش‌تاز تولید سلاح‌های هایپرسونیک نامید (موشک‌های هایپرسونیک به صورت عملیاتی فقط روسیه در جنگ اوکراین استفاده کرده است (هومل، ۲۰۲۳).

موشک‌هایی که به دلیل سرعت بالای حرکت و پرواز در بالای جو زمین فرصت ردیابی را از هر پدافندی می‌گیرند. آمریکا هم برنامه گسترده‌ای برای تولید این دست سلاح‌ها دارد. روسیه در جنگ اوکراین از سلاح هایپرسونیک برای هدف قرار دادن یک انبار مهمات استفاده کرد و عملاً عملیاتی بودن آن را نشان داد (کرامر، ۲۰۲۳).

مبانی نظری و پیشینه‌های پژوهش

سلاح‌های هایپرسونیک، مرزهای جدید و نویی را در زمینه پیش‌رانه‌ها درنور دیده‌اند. آنها، پروازهای اتمسفریک فوق‌العاده سریعی را نوید می‌دهند. این فناوری، به سلاح‌ها اجازه می‌دهد تا از رهگیری توسط سامانه‌های پیشرفته دفاع موشکی در امان باشند. این سلاح‌ها برای سامانه‌های دفاع هوایی موجود در دنیا هدفی بسیار سخت محسوب می‌شوند. یک موشک ۶ مای (سرعت ۷۴۰۹ کیلومتر بر ساعت)، در هر ثانیه بیش از یک مایل (بیش از ۱۰۶ کیلومتر) سفر خواهد کرد؛ یعنی به عبارتی ۹۶ مایل در هر دقیقه (حدود ۱۵۵ کیلومتر در دقیقه). این میزان از سرعت، فقط مدت زمانی به اندازه ۳ دقیقه یا کمتر در اختیار بسیاری از سیستم‌های دفاع هوایی دوربرد قرار خواهد داد تا موشک موردنظر را شناسایی، رهگیری و منهدم کنند. بسیاری از سامانه‌های دفاع هوایی موجود که برای شلیک به هواپیماها و موشک‌های کروز طراحی شده‌اند، احتمالاً از رهگیری سلاح‌های هایپرسونیک ناتوان هستند.

جنگ‌های آینده به وسیله یگان‌های پرتحرک، چلبک و کاملاً انعطاف‌پذیر صورت خواهد گرفت که در این وضعیت باید پذیرفت که جنگ‌های آینده قابلیت محور خواهد بود. مبنای دکتین دفاعی جمهوری اسلامی ایران عبارت است از تولید ابزار قدرت برای بازدارندگی فعال و نیز دفاع مبتکرانه و موثر. توان موجود در حوزه طراحی و ساخت انواع موشک و پرتاب‌های برد بلند و به تازگی رونمایی از موشک هایپرسونیک فتاح بخشی از راهبرد و دکتین دفاعی است. امروزه توانایی تولید و به کارگیری انواع تسلیحات یکی از لوازم تبدیل شدن یک کشور به یک قدرت نظامی، سیاسی و اقتصادی منطقه‌ای و جهانی است. موشک‌ها همواره از مهمترین و مؤثرترین سلاح‌ها برای دفاع از قلمرو خودی و عملیات تهاجمی علیه دشمن محسوب می‌شوند. استفاده از توانمندی و قابلیت تسلیحات هایپرسونیک در حوزه نبردهای آتی نقش بسزایی در افزایش قدرت و نیروی بازدارندگی خواهد داشت. ارتش‌های دنیا به دنبال راه جدیدی در راستای برد در نبردهای آسمانی هستند.

مبانی نظری

دید فناوری:

دید فناوری^۱ فرآیندی نظام‌مند برای پیش‌بینی و ارزیابی تحولات علمی و فناوری در آینده و تأثیرات بالقوه آنها بر اقتصاد، جامعه و محیط زیست است. هدف دید فناوری، شناسایی فناوری‌های نوظهور و کلیدی است که می‌توانند در آینده مزیت رقابتی ایجاد کنند یا چالش‌های مهم را حل نمایند. دید فناوری یک رویکرد ساختاریافته و آینده‌نگر است که به پیش‌بینی و ارزیابی روندها و تحولات علمی و فناوری می‌پردازد. دید فناوری از طیف گسترده‌ای از روش‌ها و ابزارها برای تحلیل استفاده می‌کند، به عبارت دیگر دید فناوری، مجموعه‌ای از فعالیت‌ها در قالب فرایندی شامل گردآوری، تحلیل، برآورد و بهره‌برداری اطلاعات فناوری از محیط خارج برای اطمینان از تداوم رشد سازمان و یا فناوری دانست. دیده بانی باید برای هر نوع نوآوری و آینده پژوهی جهت خلق فرصت‌ها و یا تهدیدها انجام شود. با توجه به این تعریف دید فناوری بر جست و جو و گردآوری اطلاعات مرتبط برای تصمیم‌سازی تأکید دارد. به طور خلاصه، دید فناوری تلاش می‌کند تا به سوالات زیر پاسخ دهد:

- چه فناوری‌هایی در آینده ظهور خواهند کرد؟
 - چگونه می‌توان از این فناوری‌ها برای دستیابی به اهداف استراتژیک استفاده کرد؟
- از جمله:
- دلفی^۲: یک روش پرسشنامه‌ای مبتنی بر نظر خبرگان که در چندین مرحله انجام می‌شود تا به اجماع درباره روندها و پیشرفت‌های آتی برسد.
 - تحلیل روند^۳: بررسی روندهای تاریخی و داده‌های موجود برای پیش‌بینی تغییرات آینده.
 - سناریونویسی^۴: توسعه سناریوهای مختلف برای تصور آینده‌های ممکن و ارزیابی مسیرهای محتمل.
 - تحلیل پتنت و علم‌سنجی: استفاده از داده‌های پتنت‌ها و مقالات علمی برای شناسایی حوزه‌های فعال و پرشتاب در تحقیق و توسعه.
- دید فناوری با ترکیب تحلیل‌های علمی، مدیریتی و سیاست‌گذاری، ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در مواجهه با آینده‌ای پیچیده و ناشناخته است.

مفهوم علم‌سنجی

بر اساس تعریف‌های بسیاری که از علم‌سنجی^۵ مطرح شده است علم‌سنجی را می‌توان تجزیه و تحلیل کمی و تا حد امکان کیفی فرایند تولید، توزیع و استفاده از اطلاعات علمی و عوامل مؤثر بر آن و توصیف، تبیین و پیش‌بینی این فرآیند به منظور برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری، اعتلاء و آگاهی و آینده‌نگری علمی و پژوهشی در ابعاد فردی، گروهی، سازمانی و بین‌المللی دانست. علم‌سنجی یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی فعالیت‌های علمی و مدیریت پژوهش است (نوروزی، ۱۴۰۲). بررسی کمی تولیدات علمی، سیاست‌گذاری علمی، ارتباطات علمی دانش پژوهان و ترسیم نقشه علم، برخی از موضوعات این حوزه‌اند. در علم‌سنجی، ارتباطات علمی و شیوه‌های تولید، اشاعه و بهره‌گیری از اطلاعات علمی به روش غیرمستقیم و با بررسی منابع و مآخذ آنها ارزیابی می‌شود (نوروزی، ۱۴۰۲). نمایه‌های استنادی معتبر بین‌المللی همچون پایگاه‌های استنادی مؤسسه

¹ Technology Foresight

² Delphi

³ Trend Analysis

⁴ Scenario Planning

⁵ Scientometrics

کلریویت آنالیتیکز شامل وب آو ساینس، جی سی آر، این سایت، ای اس آی که افراد، مؤسسه ها، مجله ها، مقاله ها، کشورها را از لحاظ علمی مقایسه می کنند. همچنین پایگاه های استنادی مؤسسه الزیویر شامل اسکوپوس^۱، سایول^۲ و همچنین گوگل اسکالر^۳ از ابزارهای علم سنجی محسوب می شوند. علم سنجی می تواند عنصری کارآمد و مفید برای مسئولان و برنامه ریزان باشد تا مدیریت منابع مالی و انسانی در این راستا با بالاترین کارایی انجام پذیرد. جهت رشد و شکل گیری هر فناوری لازم است که نظام نوآوری در سطح ملی فعال گردد و عوامل و نهادهای گوناگون را برای کمک به رشد تکنولوژی همسو نماید (منصوریان، ۱۴۰۲).

تفاوت آینده پژوهی و دیدفناوری

در حالی که هر دو حوزه به آینده می پردازند، تفاوت هایی بین آنها وجود دارد: گستره: آینده پژوهی گستره وسیع تری دارد و به تمام جنبه های آینده (اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی و فناوری) می پردازد، در حالی که دیدفناوری به طور خاص بر تحولات علمی و فناوری تمرکز دارد. هدف: هدف آینده پژوهی درک و شناخت آینده است، در حالی که هدف دیدفناوری شناسایی فناوری های کلیدی و تأثیرات آنها برای تصمیم گیری های استراتژیک است. آینده پژوهی و دیدفناوری ابزارهای مکمل یکدیگر هستند که می توانند به درک بهتر و شکل دهی به آینده کمک کنند. آینده پژوهی دیدگاهی جامع از آینده ارائه می دهد، در حالی که دیدفناوری به طور خاص بر نقش فناوری در این آینده تمرکز دارد. آینده پژوهی و دیدفناوری هر دو به بررسی آینده می پردازند، اما با رویکردها و اهداف متفاوت. تفاوت این دو مفهوم، به توضیح بیشتر ابعاد مختلف آنها می پردازیم:

۱. گستره^۴:

آینده پژوهی: گستره وسیع تری دارد و به تمامی جوانب مرتبط با آینده، از جمله روندهای اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، زیست محیطی و فناوری می پردازد. آینده پژوهی به دنبال درک و شناخت کلی آینده و احتمالات مختلف آن است.

دیدفناوری: به طور خاص بر تحولات علمی و فناوری و تأثیرات آنها تمرکز دارد. دیدفناوری بیشتر به دنبال شناسایی فناوری های کلیدی، نوظهور و پیشرو و همچنین تأثیرات آنها بر صنایع، اقتصاد و جامعه است. به عبارت دیگر، دیدفناوری زیرمجموعه ای از آینده پژوهی است که به طور خاص به بُعد فناوری آینده می پردازد.

۲. هدف:

آینده پژوهی: هدف اصلی آینده پژوهی، شناخت و درک آینده و احتمالات مختلف آن است. این شناخت می تواند به افراد، سازمان ها و دولت ها در تصمیم گیری های بهتر، برنامه ریزی های بلندمدت و آمادگی برای چالش ها و فرصت های آینده کمک کند.

¹ Scopus

² SciVal

³ Google Scholar

⁴ Scope

دیدفناوری: هدف اصلی دیدفناوری، شناسایی و ارزیابی فناوری‌های کلیدی و تأثیرات آنها برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک است. این تصمیم‌گیری‌ها می‌تواند شامل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های خاص، توسعه سیاست‌های فناوری، تعیین اولویت‌های تحقیق و توسعه و ایجاد مزیت رقابتی باشد. آینده‌پژوهی به دنبال شناخت آینده است، در حالی که دیدفناوری به دنبال شکل‌دهی به آینده از طریق تمرکز بر فناوری است.

۳. رویکرد:

آینده‌پژوهی: از روش‌ها و تکنیک‌های متنوعی برای بررسی آینده استفاده می‌کند، از جمله:

- تحلیل روندها^۱
- سناریوسازی^۲
- نظرسنجی از متخصصان^۳
- تحلیل داده‌ها
- مدل‌سازی

دیدفناوری: عمدتاً بر روش‌های مرتبط با تحلیل فناوری تمرکز دارد، از جمله:

- تحلیل پتنت‌ها^۴
- نقشه‌راه فناوری^۵
- تحلیل شکاف فناوری^۶
- ارزیابی فناوری^۷

جدول ۱- مقایسه میان دو مفهوم علمی آینده‌پژوهی و دید فناوری

ویژگی	آینده‌پژوهی	دیدفناوری
گستره	وسیع (تمام جوانب مرتبط با آینده)	محدود (تمرکز بر علم و فناوری)
هدف	شناخت و درک آینده	شناسایی و ارزیابی فناوری‌ها برای تصمیم‌گیری استراتژیک
رویکرد	متنوع (تحلیل روند، سناریوسازی، نظرسنجی و غیره)	عمدتاً مرتبط با تحلیل فناوری (تحلیل پتنت، نقشه‌راه و غیره)
خروجی	گزارش‌ها، سناریوها، چشم‌اندازها، توصیه‌های سیاستی	شناسایی فناوری‌های کلیدی، نقشه‌های راه، گزارش‌های ارزیابی، توصیه‌های استراتژیک

۴. خروجی :

آینده‌پژوهی: خروجی‌های آینده‌پژوهی می‌تواند شامل گزارش‌ها، مقالات، سناریوها، چشم‌اندازها و توصیه‌های سیاستی باشد که به درک بهتر آینده و تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر کمک می‌کنند.

¹ Trend Analysis

² Scenario Planning

³ Expert Surveys

⁴ Patent Analysis

⁵ Technology Roadmapping

⁶ Technology Gap Analysis

⁷ Technology Assessment

دیدفناوری: خروجی‌های دیدفناوری معمولاً شامل شناسایی فناوری‌های کلیدی، نقشه‌های راه فناوری، گزارش‌های ارزیابی فناوری و توصیه‌های استراتژیک برای سرمایه‌گذاری و توسعه فناوری است.

آینده پژوهی و آینده نگاری

تفاوت‌های آینده‌پژوهی و آینده‌نگاری به ریشه‌های مفهومی، روش‌شناسی، اهداف و کاربردهای آن‌ها بازمی‌گردد. هرچند این دو مفهوم در بسیاری از جنبه‌ها با یکدیگر همپوشانی دارند، اما تفاوت‌های کلیدی بین آن‌ها وجود دارد.

تعاریف اولیه:

آینده‌پژوهی^۱: یک حوزه مطالعاتی بین‌رشته‌ای است که به بررسی احتمالات، روندهای ممکن و آینده‌های مطلوب می‌پردازد. هدف آن، درک بهتر آینده و تأثیر آن بر حال است تا بتوان تصمیمات آگاهانه‌تری در زمان حال گرفت.

آینده‌نگاری^۲: فرایندی نظام‌مند، مشارکتی و مبتنی بر شواهد است که برای بررسی و پیش‌بینی روندهای بلندمدت و شناسایی فرصت‌ها و چالش‌های بالقوه در آینده به کار می‌رود. هدف آن، ارائه اطلاعات و بینش‌های لازم برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت است.

گستره و تمرکز

آینده‌پژوهی: گستره وسیع‌تری دارد و به تمام جنبه‌های مرتبط با آینده، از جمله روندهای اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی، زیست‌محیطی و فناوری می‌پردازد. به دنبال درک و شناخت کلی آینده و احتمالات مختلف آن است.

آینده‌نگاری: بیشتر بر شناسایی روندهای کلیدی و تأثیرگذار در آینده و ارائه بینش‌های لازم برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک تمرکز دارد. معمولاً دارای تمرکز مشخص‌تری بر یک حوزه خاص (مانند فناوری، اقتصاد یا محیط زیست) است.

هدف اصلی

آینده‌پژوهی: هدف اصلی، شناخت و درک آینده و احتمالات مختلف آن است. این شناخت می‌تواند به افراد، سازمان‌ها و دولت‌ها در تصمیم‌گیری‌های بهتر، برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و آمادگی برای چالش‌ها و فرصت‌های آینده کمک کند.

آینده‌نگاری: هدف اصلی، ارائه اطلاعات و بینش‌های لازم برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت است. به عبارت دیگر، آینده‌نگاری بیشتر رویکردی عملیاتی و کاربردی دارد و به دنبال تأثیرگذاری بر تصمیمات و اقدامات است.

هر دو مفهوم مکمل یکدیگر هستند و می‌توانند در کنار هم برای دستیابی به تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و جامع در حوزه‌های مختلف به کار گرفته شوند.

همانطور که از واژه آینده نگاری پیداست، این رویکرد شامل تفکر درباره‌ی فرصت‌های جدید و در حال ظهور، چالش‌ها، روندها و گسست روندها و موارد مشابه است. اما هدف، تنها یک آینده‌پژوهی همراه با بصیرت بیشتر

¹ Futures Studies

² Foresight

نیست و آینده‌نگاری تنها به سناریوهای جذاب و الگوهای اقتصاد سنجی دقیق‌تر نمی‌پردازد. آینده‌نگاری شامل کنار هم قراردادن عوامل کلیدی تغییر و منابع دانش، به منظور توسعه‌ی چشم‌اندازهای راهبردی و اطلاعات برآوردی است. اساساً یکی از کارکردهای مهم علم در کنار تبیین، پیش‌بینی است. زیرا در قلمرو علوم تجربی، مشاهده، تجربه، قیاس، استقرا، حدس و ابطال و مواردی از این دست، بسته به دیدگاه علمی که اتخاذ می‌شود ابزارهایی هستند برای پیش‌بینی رویدادهای تعمیم‌پذیر و قابل تکرار (توکل، ۱۳۹۸).

جدول ۲- مقایسه‌ای میان دو مفهوم علمی آینده‌نگاری و آینده پژوهی

ویژگی	آینده پژوهی	آینده‌نگاری
گستره	وسیع (تمام جوانب مرتبط با آینده)	محدودتر (تمرکز بر روندهای کلیدی و تأثیرگذار)
هدف	شناخت و درک آینده	ارائه اطلاعات برای تصمیم‌گیری استراتژیک و برنامه‌ریزی
رویکرد	متنوع، شامل روش‌های کمی و کیفی	مشارکتی، مبتنی بر شواهد، اغلب ترکیبی از روش‌ها
خروجی	گزارش‌ها، سناریوها، چشم‌اندازها، توصیه‌های سیاستی	گزارش‌های استراتژیک، نقشه‌های راه، شناسایی فرصت‌ها و چالش‌ها

آینده‌پژوهی راهبردی دفاعی

آینده‌پژوهی راهبردی دفاعی شاخه‌ای از آینده‌پژوهی است که به مطالعه روندها، تهدیدها، فرصت‌ها، و سناریوهای محتمل در حوزه دفاع و امنیت می‌پردازد. هدف اصلی این حوزه، تدوین استراتژی‌هایی برای آماده‌سازی نیروهای دفاعی و امنیتی در برابر تغییرات آینده و افزایش تاب‌آوری در برابر تهدیدات نوظهور است. آینده‌پژوهی راهبردی دفاعی ابزاری حیاتی برای آماده‌سازی نیروهای دفاعی و امنیتی در برابر تهدیدات پیچیده آینده است. این حوزه با استفاده از رویکردهای علمی و تحلیلی، به سیاست‌گذاران و فرماندهان نظامی کمک می‌کند تا تصمیماتی مبتنی بر داده‌ها و سناریوهای واقع‌بینانه اتخاذ کنند. این فرآیند، نه تنها قدرت دفاعی یک کشور را افزایش می‌دهد، بلکه احتمال بروز بحران‌ها را نیز کاهش می‌دهد.

تسلیمات هایپرسونیک

موتور موشک‌های هایپرسونیک جزو موتورهای اسکرم‌جت هستند که می‌توانند آن‌ها را به سرعت‌های بالاتر برای اصابت به اهداف برسانند. موشک‌های هایپرسونیک به طور عمده چند ویژگی اصلی دارند: سرعت مافوق صوت (۵ تا ۲۵ سرعت صوت)، مسدود کردن امواج رادیویی، مانورپذیری بالا و تغییر مسیر، رادارگریز و غیرقابل پیش‌بینی بودن مسیر. سرعت موشک‌های هایپرسونیک در هنگام حرکت بین ۵ تا ۲۵ برابر صوت اعلام شده که در بازه ۱.۶ تا ۸ کیلومتر بر ثانیه است. به عبارتی باید گفت که حداقل سرعت موشک‌های هایپرسونیک ۳ هزار و ۵۰۰ مایل بر ساعت (۵ هزار و ۶۳۳ کیلومتر بر ساعت) است یعنی چیزی در حدود یک مایل بر ثانیه (یک هزار و ۶۰۰ کیلومتر بر ساعت) (بوسوتینیس، ۲۰۲۳).

موشک‌های هایپرسونیک موجود در دنیا سه نوع هستند نوع اول این موشک‌ها (aero-ballistic) این گونه هستند که معمولاً توسط یک هواپیما تا نقطه مورد نظر حمل شده و سپس شلیک و به سرعت فراصوت می‌رسند. بعد از این، موشک مذکور یک مسیر بالستیک را تا رسیدن به هدف طی می‌کند. نمونه معروف و شناخته شده این نوع از موشک‌های هایپرسونیک کینزال روسی است که بارها از جنگنده‌های روسی شلیک شده است (رایت و کمرون، ۲۰۲۳).

دومین نوع، Hypersonic glide vehicles (HGV) است. نوعی از موشک‌های هایپرسونیک که توسط یک موشک تا ارتفاع بالا (بیرون جو) هدایت شده و پس از بازگشت به داخل جو تا رسیدن به هدف خود مانور می‌دهد. چند نمونه معروف از این نوع DF-17 چین، آوانگارد روسیه و یک نوع نیز در آمریکا تولید و رونمایی شده است. (اکتون، ۲۰۱۵)

نوع سوم، hypersonic cruise missile (HCM) است. این نوع از موشک‌های هایپرسونیک توسط یک موشک به سرعت مافوق صوت می‌رسد و پس از آن با استفاده از موتور تنفس طبیعی اسکرم‌جت به حرکت خود ادامه می‌دهند. مزیت استفاده از این نوع، استفاده از موشک‌های کوچک‌تر برای پرتاب به سوی اهداف هستند. این یعنی هزینه کمتر و سهولت پرتاب (چاتر، ۲۰۱۹).

هدف اصلی از اجرای پژوهش

سوال اصلی پژوهش حاضر، این است که آینده راهبردی فناوری در حوزه تسلیحات هایپرسونیک (مافوق صوت) به کدام جهت متمایل خواهد بود؟ سوالات فرعی پژوهش نیز به ترتیب عبارتند از:

سوالات اصلی تحقیق

- وضعیت کنونی و آینده فناوری تسلیحات هایپرسونیک چگونه است؟
- چه روندهای فناورانه‌ای در توسعه این تسلیحات در حال شکل‌گیری است؟
- چه عواملی در توسعه و گسترش تسلیحات هایپرسونیک نقش کلیدی دارند؟
- چه مزایا و چالش‌هایی در استفاده از دید فناوری برای پیش‌بینی روندهای تسلیحات هایپرسونیک وجود دارد؟
- نقش تسلیحات هایپرسونیک در تغییر موازنه نظامی جهانی چیست؟

اهداف تحقیق

- تحلیل روندهای فناورانه تسلیحات هایپرسونیک:
- شناسایی مسیرهای تکنولوژیکی موجود و پیش‌بینی فناوری‌های نوظهور مرتبط با این حوزه.
- ارزیابی نقش دید فناوری در پیشرفت تسلیحات هایپرسونیک:
- ارائه چارچوبی برای استفاده از دید فناوری در پیش‌بینی و تحلیل این فناوری‌ها.

اهمیت تحقیق

این تحقیق با استفاده از آینده‌پژوهی و دید فناوری به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا برای تغییرات فناوری‌های پیشرفته نظامی آماده شوند و استراتژی‌های مناسبی برای حفظ امنیت و برتری دفاعی تدوین کنند.

پیشینه‌های پژوهش

در خصوص موضوع تحقیق فناوری تسلیحات هایپرسونیک در کشور فعالیت علمی قابل دسترسی مشاهده نشده است. در جدول زیر خلاصه‌ای فعالیت‌های علمی و تحقیقاتی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک در سطح بین‌المللی آورده شده است.

جدول (۲) خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده بین‌المللی در زمینه تسلیحات هایپرسونیک

سال انتشار	مجله	نویسندگان	عنوان مقاله (انگلیسی)	عنوان مقاله (فارسی)
2021	Johns Hopkins APL Technical Digest	David M. Van Wie	Hypersonics: Past, Present, and Potential Future	هایپرسونیک: گذشته، حال و آینده بالقوه
2021	Congressional Research Service Report	کمیته نویسندگان	Hypersonic Weapons: Background and Issues for Congress	تسلیحات هایپرسونیک: پیشینه و مسائل برای کنگره
2022	Comparative Strategy	کمیته نویسندگان	Hypersonic Weapons and Nuclear Deterrence	تسلیحات هایپرسونیک و بازدارندگی هسته‌ای
2021	Scientia Militaria	کمیته نویسندگان	Hypersonic Weapons and the Future of Nuclear Deterrence	تسلیحات هایپرسونیک و آینده بازدارندگی هسته‌ای
نامشخص	Center for Strategic and Budgetary Assessments	کمیته نویسندگان	Speeding Toward Instability? Hypersonic Weapons and the Risks of Nuclear Use	سرعت به سوی بی‌ثباتی؟ تسلیحات هایپرسونیک و خطرات استفاده هسته‌ای
2023	arXiv	Brian Gaudet, Kris Drozd, Roberto Furfaro	Deep Reinforcement Learning for Weapons to Targets Assignment in a Hypersonic Strike	یادگیری تقویتی عمیق برای تخصیص تسلیحات به اهداف در حمله هایپرسونیک
2021	arXiv	Brian Gaudet, Roberto Furfaro	Terminal Adaptive Guidance for Autonomous Hypersonic Strike Weapons via Reinforcement Learning	هدایت تطبیقی پایانه‌ای برای تسلیحات ضربتی هایپرسونیک خودمختار از طریق یادگیری تقویتی

این جدول می‌تواند به عنوان مرجع ارزشمندی برای بررسی موضوعات مرتبط با تسلیحات هایپرسونیک و آینده پژوهی دفاعی استفاده شود.

روش‌شناسی پژوهش

روش پژوهش ترکیبی از رویکردهای کیفی و کمی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک به‌منظور ترکیب مزایای هر دو روش و ارائه یک تحلیل جامع از فناوری‌های تسلیحات هایپرسونیک می‌باشد. این روش، با توجه به پیچیدگی و تحولات سریع این حوزه، از یک طرف از داده‌های کمی و مدل‌های عددی برای پیش‌بینی روندها استفاده می‌کند و از طرف دیگر از داده‌های کیفی برای استخراج مفاهیم و تحلیل‌های عمیق‌تر بهره می‌برد.

ترکیب روش‌های کیفی و کمی

روش کمی: تمرکز این روش بر تحلیل داده‌های عددی، آماری، و مدل‌سازی است. در پژوهش‌های کمی، پژوهشگر به دنبال استخراج نتایج قابل اندازه‌گیری است که می‌تواند با استفاده از ابزارهای ریاضی و نرم‌افزارهای تحلیلی بررسی و تحلیل شود.

روش کیفی: این روش به دنبال درک عمیق‌تری از پدیده‌ها از طریق تحلیل محتوای متنی، مصاحبه‌ها، و مطالعات موردی است. در این رویکرد، پژوهشگر به مفاهیم و الگوهای موجود در متون علمی، گزارش‌های صنعتی، و مصاحبه‌های متخصصان پرداخته و آنها را تحلیل می‌کند.

جمع‌آوری داده‌ها (کیفی و کمی)

داده‌های کمی:

جستجو در پایگاه‌های داده: مقالات علمی، گزارش‌ها، و نشریات علمی معتبر در زمینه تسلیحات هایپرسونیک و پیش‌بینی تحولات آینده در این زمینه استخراج می‌شود. مقالات علمی منتشرشده در مجلات معتبر (ISI، Scopus و دیگر منابع معتبر بین‌المللی) بررسی و داده‌های کمی مانند تعداد استناد، روندهای تکنولوژیکی و نمودارهای پیشرفت استخراج می‌شود.

مدل‌سازی پیش‌بینی‌ها: استفاده از مدل‌های ریاضی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری (مانند شبیه‌سازی‌های دینامیکی یا تحلیل ریسک) برای پیش‌بینی روند توسعه و تأثیر تسلیحات هایپرسونیک در آینده. داده‌های کیفی:

تحلیل محتوای مقالات و گزارش‌ها: استخراج مفاهیم کلیدی از مقالات و گزارش‌های علمی و صنعتی در زمینه فناوری‌های هایپرسونیک.

مطالعه موردی: بررسی موارد موفق یا شکست خورده در توسعه تسلیحات هایپرسونیک در کشورهای مختلف.

تحلیل داده‌ها (کیفی و کمی)

تحلیل کمی:

تحلیل شبکه‌های علمی: با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer، مقالات و تحقیقات موجود در زمینه تسلیحات هایپرسونیک را به‌منظور شناسایی الگوهای هم‌رخدادی و تعیین چگونگی تأثیر این تحقیقات در شکل‌دهی به آینده فناوری‌های هایپرسونیک تحلیل می‌شود.

تحلیل کیفی:

تحلیل محتوای اسناد و گزارش‌ها: از روش‌های کدگذاری برای شناسایی موضوعات کلیدی و استخراج یافته‌های مهم از منابع کیفی استفاده می‌شود. این اطلاعات می‌تواند شامل پیشرفت‌های فناوری، موانع، چالش‌ها و فرصت‌های فناوری‌های هایپرسونیک باشد.

ترکیب یافته‌ها و تحلیل نتیجه‌گیری

پس از انجام تحلیل‌های کمی و کیفی، نتایج به‌طور ترکیبی تحلیل می‌شود تا به‌طور جامع از هر دو روش بهره برده شود:

نتایج ترکیب‌شده: به‌عنوان مثال، اگر مدل‌های پیش‌بینی نشان دهند که تسلیحات هایپرسونیک در آینده به یک فناوری کلیدی تبدیل خواهند شد، تحلیل‌های کیفی می‌توانند دلایل پشت این پیش‌بینی‌ها را شفاف کنند (مانند سیاست‌های نظامی و نیازهای امنیتی خاص).

ارائه نتایج و پیشنهادات

نتایج کمی: با استفاده از نمودارها، جداول و مدل‌های پیش‌بینی، روندهای توسعه و تأثیرات فناوری‌های هایپرسونیک تحلیل می‌شود.

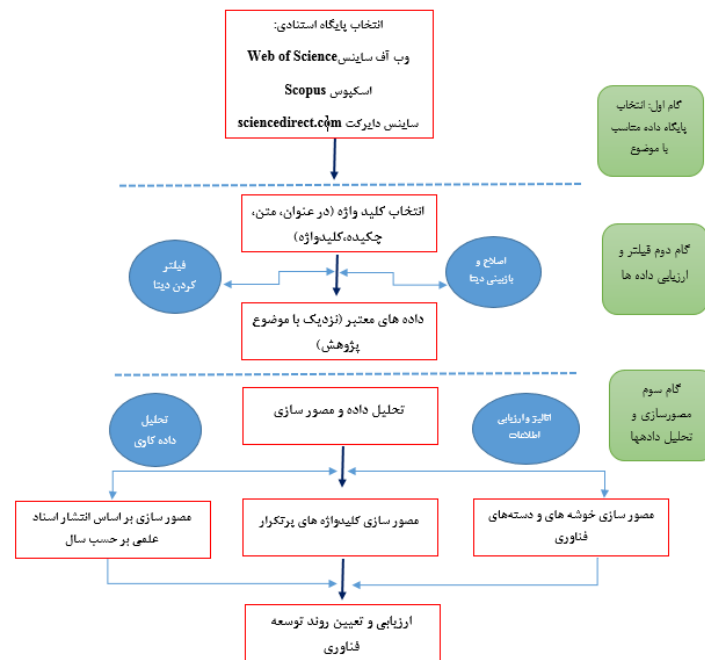
پیشنهادهای: ارائه پیشنهادات برای بهبود سیاست‌ها و استراتژی‌های دفاعی مبتنی بر تسلیحات هایپرسونیک. این روش پژوهش ترکیبی، به پژوهشگر این امکان را می‌دهد که از هر دو رویکرد کیفی و کمی برای درک و پیش‌بینی تحولات آینده در حوزه تسلیحات هایپرسونیک بهره‌برد. روش‌های کمی با استفاده از داده‌های آماری و مدل‌های پیش‌بینی، روندهای فناوری را شبیه‌سازی می‌کنند، در حالی که روش‌های کیفی می‌توانند زمینه‌های انسانی، فرهنگی و راهبردی را که در توسعه این فناوری‌ها نقش دارند، روشن کنند.

روند اجرایی تحقیق:

نتایج ارایه شده در این پژوهش علمی شامل بررسی مدارک و سندهای علمی (شامل مقالات علمی پژوهشی، مقالات کنفرانسی، مقالات مروری، فصل‌های کتاب، کتاب، نقدهای علمی، گزارشات علمی،...) منتشر شده در سطح بین‌المللی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک با استفاده از ابزار علم سنجی- شناسایی هم‌واژگان استخراج و تحلیل‌های مربوطه انجام شده است. در گام اول و در ابتدا در پایگاه استنادی اسکپوس به جستجوی حوزه مذکور اقدام که در نهایت تعداد ۱۸۳ سند علمی، سپس در پایگاه استنادی ساینس دایرکت که نهایتاً منتج به شناسایی ۳۱۶ سند علمی و نهایتاً پایگاه استنادی وب‌آف ساینس مورد جستجو قرار گرفت که ۹۷ سند علمی در حوزه مذکور شناسایی شد. در مجموع ۵۹۶ سند علمی (مقاله علمی پژوهشی، مقاله کنفرانسی، مقالات مروری، فصل کتاب، نقد علمی، کتاب،...) در سه پایگاه‌های داده (اسکپوس، ساینس دایرکت، وب‌آف ساینس) در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۴ در این حوزه علمی شناسایی شد، در مرحله بعد با غربالگری و فیلترگذاری برخی از مقالات با ناپیوستگی زیاد مثلاً مقالات حوزه مطالعات با رویکرد سیاسی و سایر موضوعات حذف گردید و فقط مقالات فنی مهندسی (به جهت تهیه خوشه‌های فناوری) مورد بررسی قرار گرفت در نهایت ۳۲۵ مقاله در تحلیل این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. این پژوهش که از نوع توصیفی- تحلیلی به شمار می‌رود، از تحلیل‌های علم سنجی روش‌های تحلیل شبکه، آمار توصیفی و تحلیلی و فنون مصورسازی استفاده شده است. برای گردآوری از پایگاه استنادی (اسکپوس، ساینس دایرکت، وب آف ساینس) استفاده شده و اطلاعات ۵۹۶ سند حوزه مرتبط با تسلیحات هایپرسونیک جمع‌آوری شده، که تولیدات علمی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۴ را پوشش می‌دهد. تجزیه و تحلیل در این تحقیق شامل دو روش تحلیل هم‌واژگانی و تحلیل علم سنجی می‌شود. هم‌واژگانی را از نظر مفهومی معادل co-word دانسته‌اند که گاه واژه co-occurrence را به جای آن هم به کار برده‌اند. در زبان فارسی واژه نخست را هم‌واژگانی و واژه دوم را هم‌رخدادی معنا کرده‌اند.

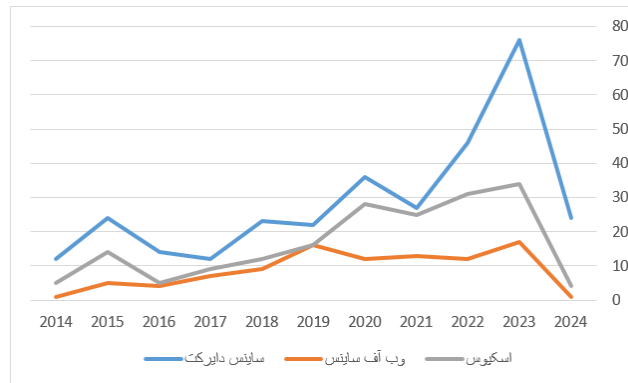
تجزیه و تحلیل داده‌ها

هدف اصلی از نگارش و تدوین این مقاله آینده پژوهی فناوری با استفاده از الگو علم‌سنجی (تحلیل هم‌واژگانی) جهت دستیابی سریع‌تر و کم هزینه‌تر به فناوری‌های موثر، نوظهور و بدیع در حوزه تسلیحات هایپرسونیک می‌باشد. شکل زیر روند اجرایی این پژوهش را نشان می‌دهد.



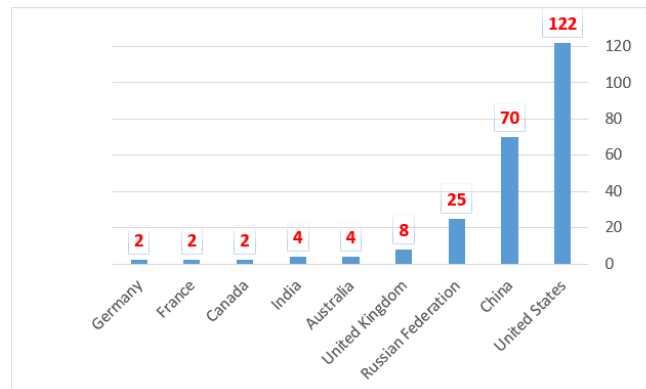
شکل (۱) شماتیک از فلوچارت و روند انجام داده کاوی علمی

شکل ۲ شماتیک از روند انتشار اسناد علمی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک را نمایش می‌دهد. همانطور که در شکل زیر نیز در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴ مشخص است در هر سه پایگاه علمی انتشار اسناد علمی در این حوزه فناوری به شدت سیر صعودی داشته است. در پایگاه داده ساینس دایرکت در سال ۲۰۲۰ در حدود ۳۵ سند علمی در این حوزه منتشر شده بود ولی در سال ۲۰۲۳ با رشد تقریباً دو برابری طی سه به ۷۵ سند علمی رسیده است. با توجه به زمان تدوین این مقاله هنوز سه ماه از سال میلادی ۲۰۲۴ گذشته است. اما در این سه ماه اخیر با کل اسناد منتشر شده در سال ۲۰۲۱ برابر می‌نماید. این حجم از فشار علم و فناوری علاقه و اشتیاق شناسایی علوم و فناوری‌های حوزه هایپرسونیک را نشان می‌دهد. برای دو پایگاه داده دیگر نیز این روند با شیب ملایم‌تری قابل مشاهده است.



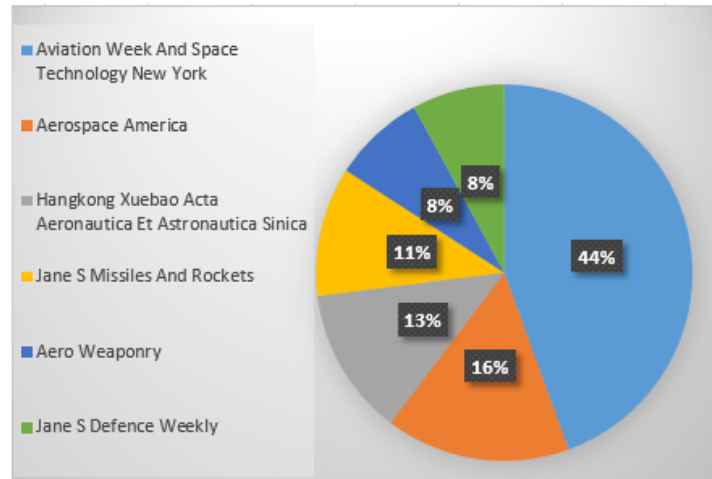
شکل (۲) شماتیکی از روند انتشار اسناد علمی در سه پایگاه داده اسکوپس، وب آف ساینس و سانس دایرکت در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

شکل ۳ شماتیکی از کشورهای پیشرو در این حوزه در انتشار اسناد علمی را نمایش می‌دهد. کشور ایالات متحده با ۱۲۲ سند علمی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴ در صدر جدول قرار دارد. بعد از ایالات متحده کشور چین با انتشار ۷۰ سند علمی، کشور روسیه با ۲۵ سند علمی، کشور انگلستان با ۸ سند علمی در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



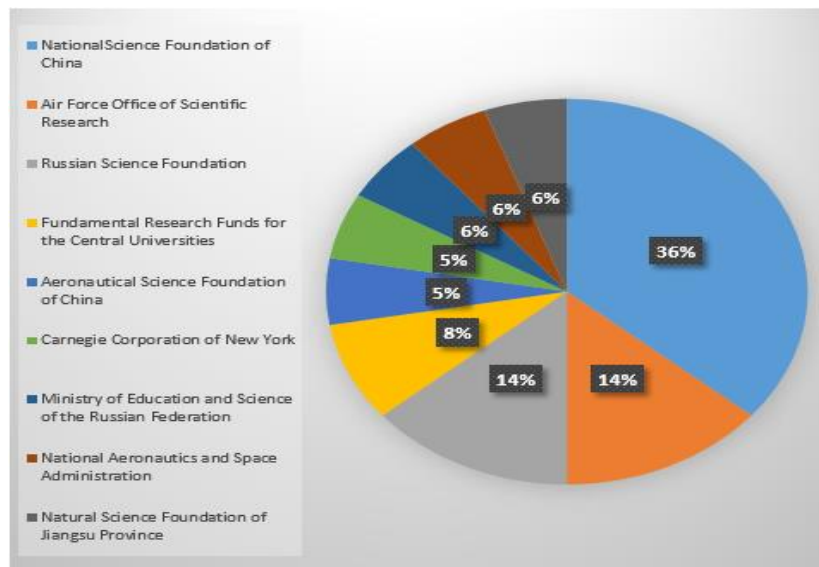
شکل (۳) شماتیکی از روند انتشار اسناد علمی بر حسب کشورها در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

شکل ۴ لیستی از برترین مجلات علمی و بیشترین منتشر کننده اسناد علمی در این حوزه را نشان می‌دهد. در فعالیت‌های تحقیقاتی پژوهشی جستجوی منبع علمی معتبر و به روز بسیار فرایندی با اهمیتی است. این موضوع در حوزه فناوریهای نوظهور و بدیع که هنوز به طور کلی اسناد علمی آن‌ها دارای گستردگی وسیع نیست به شدت چندین برابر خواهد بود. این شکل کمک شایانی به شروع یک فعالیت علمی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک که انتخاب منابع معتبر می‌باشد می‌نماید. مجله هفتگی تکنولوژی هوایی و فضایی نیویورک با حدود ۴۴ درصد تقریباً ۲۸ سند علمی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴ در صدر جدول قرار دارد.



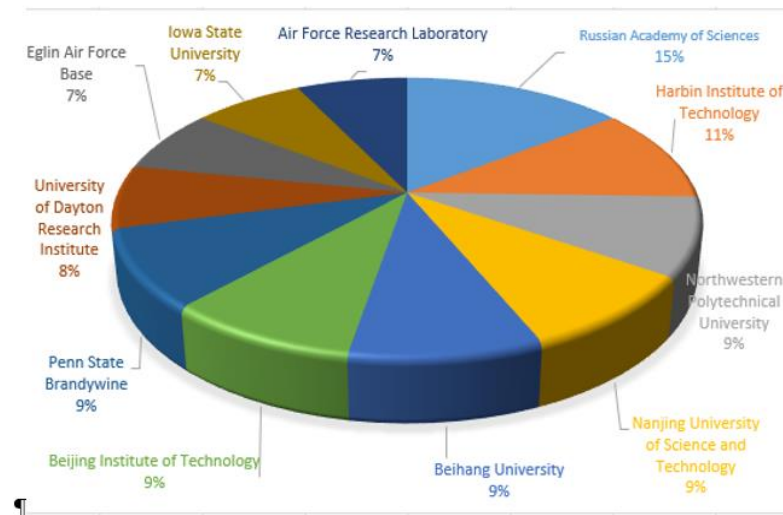
شکل (۴) شماتیکی از برترین مجلات بر حسب درصد انتشار در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

شکل ۵ لیستی از مهمترین حامیان مالی (اسپانسرها) در حوزه تسلیحات هایپرسونیک را نشان می‌دهد.



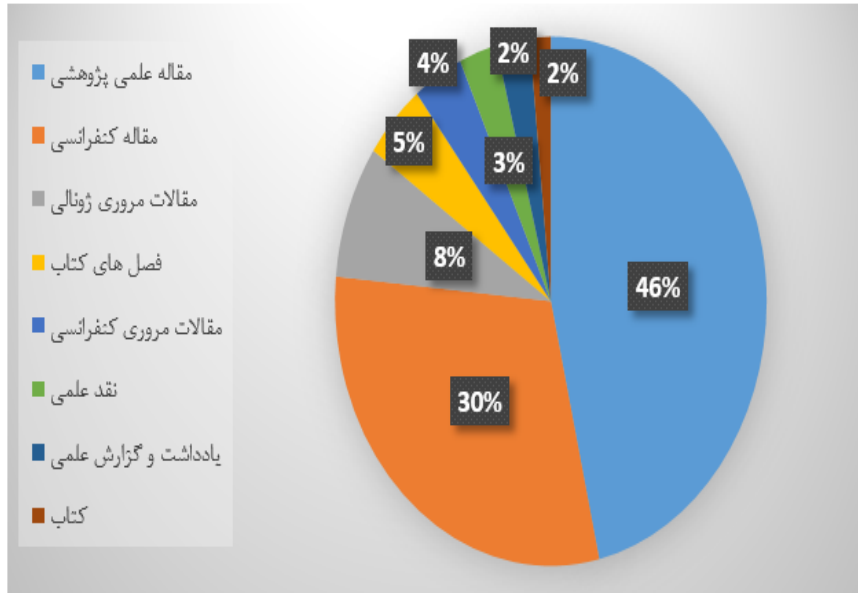
شکل (۵) شماتیکی از برترین حامیان مالی (اسپانسرها) در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

این حمایت‌های مالی در قالب کمک‌های مالی به دانشگاه‌ها، بورسیه تحصیلی، برگزاری دوره‌های مشترک، تجهیز و یا توسعه زیرساخت‌های علمی و دانشی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک بوده است. در صدر جدول موسسه علوم ملی از کشور چین، اداره تحقیقات علمی نیروی هوایی ایالات متحده و مرکز تحقیقات علمی روسیه قرار دارند. شکل ۶ لیستی از مراکز تحقیقاتی فعال و پیشرو در حوزه تسلیحات هایپرسونیک را نشان می‌دهد. مرکز تحقیقات علمی روسیه با تولید ۸ سند علمی، دانشگاه هاربین چین با تولید ۶ سند علمی، دانشگاه نورت‌وست با ۵ سند علمی، دانشگاه علم و فناوری نینجینگ با ۵ سند علمی در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفته‌اند.



شکل (۶) شماتیکی از پیشروترین سازمان‌های تحقیق و توسعه و پژوهش در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

شکل ۷ روند انتشار اسناد علمی را بر حسب نوع و طیف سند علمی نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است، بیشترین سند علمی تولید شده در این حوزه در قالب مقالات علمی پژوهشی تقریباً ۱۴۸ مقاله، مقالات کنفرانسی با ۹۶ مقاله، مقالات مروری علمی پژوهشی با ۲۶ و فصل‌های کتاب ۱۵ سند علمی در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۱۴ بوده است. نکته قابل توجه بحث مقالات مروری علمی پژوهشی (ژورنالی) است که به شدت در چند سال اخیر با استقبال مواجه شده‌اند و سهم زیادی از تولیدات علمی را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل (۷) شماتیکی از روند انتشار اسناد علمی بر حسب نوع سند علمی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

جدول ۳ لیستی از ۲۰ کلیدواژه‌های پرتکرار در مقالات در حوزه فناوری تسلیحات هایپرسونیک را نشان می‌دهد.

جدول (۳) لیست کلیدواژه‌های پرتکرار در مقالات

تعداد تکرار کلید واژه در مقالات	معادل فارسی	معادل در زبان اصلی	ردیف
36	وسیله مافوق صوت	Hypersonic Vehicles	1
20	اثرودینامیک مافوق صوت	Hypersonic Aerodynamics	2
14	تسلیحات مافوق صوت	Hypersonic Weapons	3
12	موشک بالستیک	Ballistic Missiles	4
9	آئرو دینامیک	Aerodynamics	5
9	موشک مافوق صوت	Hypersonic Missiles	6
8	دفاع موشکی	Missile Defense	7
7	بازدارندگی	Deterrence	8
7	موشک	Missiles	9
7	پرتابه ها	Projectiles	10
7	هواپیمای مافوق صوت	Supersonic Aircraft	11
6	فناوری نوظهور	Emerging Technologies	12
6	تکنولوژی مافوق صوت	Hypersonic Technology	13
6	اشعه مادون قرمز	Infrared Radiation	14
6	حل های عددی	Numerical Methods	15
5	راویه حمله	Angle Of Attack	16
5	هوش مصنوعی	Artificial Intelligence	17
5	سیستم هدایت الکترونیکی	Electronic Guidance Systems	18
5	تونل باد	Wind Tunnels	19
4	دینامیک سیالات محاسباتی	Computational Fluid Dynamics	20

شکل ۸ پرکاربردترین کلید واژه‌های پژوهش در حوزه تسلیحات هایپرسونیک را نشان می‌دهد. دایره‌ها (گره‌ها) در این نقشه نشان دهنده کلید واژه‌های موضوعی هستند. اندازه هر گره برابر است با مجموع وزن‌های گروه‌هایی که با گره مورد نظر ارتباط دارند. به عبارتی هرچه یک گره با گره‌هایی با وزن بالاتری ارتباط داشته باشد، اندازه و چگالی بیشتری دارد. چگالی همانند اندازه گره است، یعنی هرچه یک گره با گره‌های با وزن بالاتری در ارتباط باشد چگالی بیشتری دارد و از موضوعات اصلی، مهم و داغ محسوب می‌شود.

تصویر ارائه شده یک نمودار شبکه‌ای است که توسط نرم‌افزار VOSviewer ایجاد شده و ارتباط بین مفاهیم و فناوری‌های مرتبط با «وسایل نقلیه هایپرسونیک» (Hypersonic Vehicles) یا به طور خاص‌تر، تسلیحات هایپرسونیک را نشان می‌دهد. در اینجا تحلیل و ارزیابی تصویری ارائه می‌شود:

مفهوم مرکز نمودار:

وسایل نقلیه هایپرسونیک (hypersonic vehicles): این عبارت در مرکز نمودار قرار گرفته و نشان‌دهنده موضوع اصلی مورد بررسی است. این وسایل، وسایلی هستند که با سرعت‌های بسیار بالا (بیش از ۵ ماخ یا ۵ برابر سرعت صوت) در جو یا نزدیک فضا پرواز می‌کنند. خوشه‌ها و ارتباطات:

نمودار به چند خوشه اصلی تقسیم شده که هر کدام نمایانگر دسته‌ای از فناوری‌ها و مفاهیم مرتبط هستند. ارتباط بین خوشه‌ها با خطوط نشان داده شده که ضخامت خطوط نشان‌دهنده میزان ارتباط بین آن‌هاست. خوشه مربوط به آیرودینامیک و پرواز: شامل مفاهیمی مانند «زاویه حمله» (angle of attack)، «نیروی پرتاب» (ejection force) و «هواپیما» (aircraft) است. این خوشه به جنبه‌های مربوط به نحوه پرواز وسیله هایپرسونیک در جو و نیروهای وارد بر آن می‌پردازد.

خوشه مربوط به هدایت و کنترل: شامل «چارچوب کنترل» (control framework) و «استراتژی هدایت» (guidance strategy) است. این خوشه به چگونگی هدایت و کنترل وسیله هایپرسونیک در طول مسیر پرواز می‌پردازد. به دلیل سرعت بالا و شرایط خاص پرواز هایپرسونیک، طراحی سیستم‌های هدایت و کنترل بسیار پیچیده است.

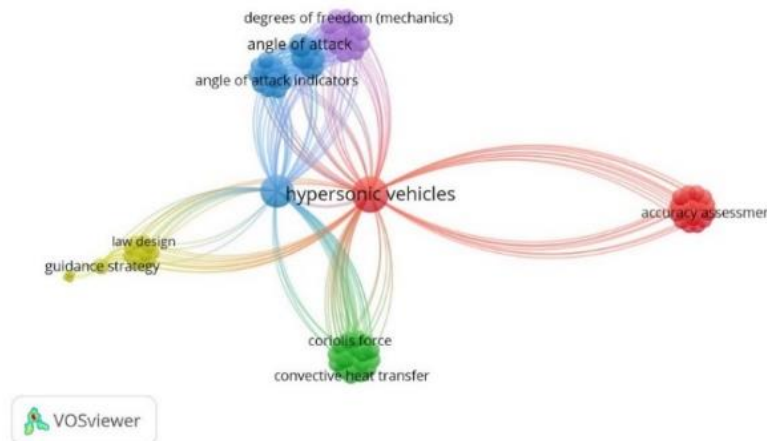
خوشه مربوط به اثرات فیزیکی و حرارتی: شامل «نیروی کوریولیس» (coriolis force)، «لزجت‌های دینامیکی» (dynamic viscosities) و «انتقال حرارت جابجایی» (convective heat transfer) است. این خوشه به چالش‌های فیزیکی و حرارتی ناشی از سرعت بسیار بالای وسیله هایپرسونیک می‌پردازد. نیروی کوریولیس در بردهای بلند و سرعت‌های بالا اهمیت پیدا می‌کند. لزجت هوا و انتقال حرارت جابجایی به دلیل اصطکاک شدید با هوا، باعث ایجاد حرارت بسیار زیاد روی سطح وسیله می‌شود که نیازمند مواد و سیستم‌های خنک‌کننده خاص است.

خوشه مربوط به سیستم‌های الکترونیکی و دقت: شامل «سیستم‌های هدایت الکترونیکی» (electronic guidance systems) و «ارزیابی دقت» (accuracy assessment) است. این خوشه به نقش سیستم‌های الکترونیکی در هدایت دقیق وسیله و همچنین ارزیابی میزان دقت اصابت به هدف می‌پردازد. خوشه مربوط به فضای نزدیک (near space): این خوشه به محیط پرواز وسایل هایپرسونیک اشاره دارد که می‌تواند در مرز بین جو و فضا باشد.

ارتباط بین فناوری‌ها:

ارتباط بین خوشه‌ها نشان می‌دهد که فناوری‌های مختلف چگونه با یکدیگر مرتبط هستند. برای مثال، ارتباط قوی بین خوشه آیرودینامیک و خوشه اثرات فیزیکی نشان می‌دهد که طراحی آیرودینامیکی وسیله هایپرسونیک به شدت تحت تأثیر اثرات حرارتی و نیروهای فیزیکی ناشی از سرعت بالا قرار دارد. همچنین، ارتباط بین خوشه هدایت و کنترل با خوشه سیستم‌های الکترونیکی نشان می‌دهد که سیستم‌های الکترونیکی پیشرفته برای پیاده‌سازی استراتژی‌های هدایت پیچیده ضروری هستند.

نمودار نشان می‌دهد که توسعه تسلیحات هایپرسونیک نیازمند تلفیق دانش و فناوری در زمینه‌های مختلف از جمله آیرودینامیک، هدایت و کنترل، مواد، الکترونیک و فیزیک است. چالش‌های فنی و مهندسی در این زمینه بسیار زیاد است و نیازمند تحقیقات و توسعه گسترده‌ای است. به طور خلاصه، این تصویر به خوبی پیچیدگی و چند وجهی بودن فناوری‌های مرتبط با تسلیحات هایپرسونیک را به تصویر می‌کشد.



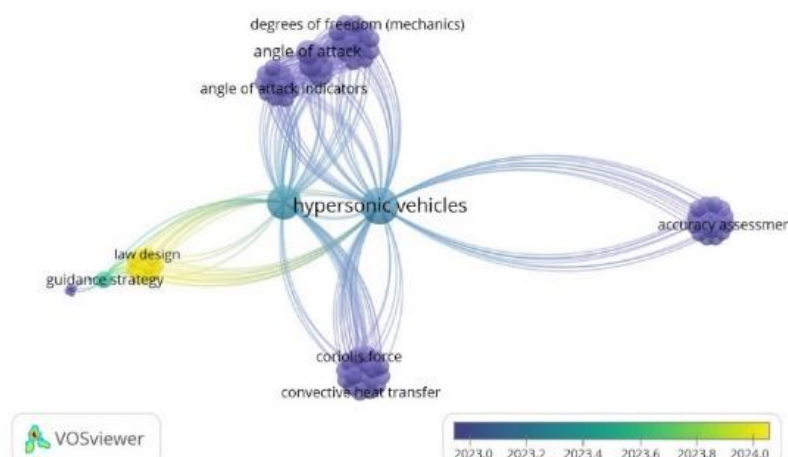
شکل (۸) پرکاربردترین کلیدواژه‌ها در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

شکل ۹ گره‌های رنگ روشن تر (زرد رنگ) موضوعات داغ و مرزدانشی و نوظهور در حوزه فناوری تسلیحات هایپرسونیک را نشان می‌دهد. تصویر ارائه شده، نموداری شبکه‌ای است که با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer ترسیم شده و روابط بین مفاهیم و فناوری‌های مرتبط با «وسایل نقلیه هایپرسونیک» را نشان می‌دهد. این نمودار، تصویری از ارتباطات علمی و فنی در این حوزه را ارائه می‌دهد. در ادامه، تحلیل دقیق‌تر این تصویر از دیدگاه یک استاد و متخصص مهندسی هوافضا ارائه می‌شود:

تحلیل زمانی (نمودار طیف رنگی پایین تصویر):

نوار طیف رنگی در پایین تصویر، توزیع زمانی انتشارات و تحقیقات مرتبط با این موضوعات را نشان می‌دهد. رنگ‌های آبی تیره به سال‌های اولیه و رنگ‌های زرد و سبز به سال‌های اخیر اشاره دارند. این نشان می‌دهد که تحقیقات در زمینه وسایل هایپرسونیک در سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته است.

این نمودار به خوبی نشان می‌دهد که توسعه وسایل هایپرسونیک نیازمند دانش و فناوری در زمینه‌های مختلف از جمله آیرودینامیک، هدایت و کنترل، مواد، الکترونیک، ترمودینامیک و فیزیک است. چالش‌های فنی و مهندسی در این زمینه بسیار زیاد است و نیازمند تحقیقات و توسعه گسترده‌ای است. به عنوان یک استاد و متخصص در این حوزه، تأکید می‌کنم که پیشرفت در این زمینه نیازمند همکاری بین رشته‌ای و استفاده از دانش روز دنیا است. این تصویر به خوبی پیچیدگی و چند وجهی بودن فناوری‌های مرتبط با وسایل هایپرسونیک را به تصویر می‌کشد.



شکل (۹) جدیدترین موضوعات (موضوعات فناوری داغ، نوظهور و مرز دانشی) در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

این شکل شبکه‌ای از مفاهیم و فناوری‌های مرتبط با وسایل هایپرسونیک را نشان می‌دهد. این نوع شبکه‌های علمی معمولاً بر اساس تجزیه و تحلیل هم‌رخدادی کلمات کلیدی در مقالات علمی ایجاد می‌شوند. تحلیل گراف به شرح زیر است:

مرکزیت موضوع: وسایل هایپرسونیک

گره مرکزی، عبارت "hypersonic vehicles" است که نشان‌دهنده تمرکز تحقیقاتی و پیوند سایر مفاهیم حول محور این فناوری است.

ارتباطات کلیدی در گراف:

گروه مفاهیم بالا سمت راست (رنگ آبی مایل به بنفش):

شامل مفاهیمی مثل "angle of attack" (زاویه حمله)، "near space" (فضای نزدیک)، "ejection force" (نیروی پرتاب).

این گروه بیشتر به موضوعات مرتبط با آیرودینامیک و پرواز در فضای نزدیک اشاره دارد.

زاویه حمله و نیروی پرتاب در طراحی آیرودینامیکی و پیش‌رانش وسایل هایپرسونیک بسیار مهم هستند.

گروه مفاهیم پایین سمت راست (رنگ بنفش):

عباراتی مثل "coriolis force" (نیروی کوریولیس)، "dynamic viscosities" (گرانروی دینامیک)، و "convective heat transfer" (انتقال حرارت جابجایی).

این گروه نشان‌دهنده چالش‌های ترمودینامیکی و مکانیک سیالات در سرعت‌های هایپرسونیک است، که دمای بالا، ویسکوزیته گازها و انتقال حرارت جابجایی از مهم‌ترین عوامل هستند.

گروه سمت راست مرکز (رنگ بنفش کم‌رنگ):

شامل مفاهیمی مثل "electronic guidance systems" (سیستم‌های هدایت الکترونیکی) و "accuracy assessment" (ارزیابی دقت).

به جنبه‌های الکترونیکی و دقت هدایت سلاح‌ها و وسایل هایپرسونیک اشاره دارد. این موضوع برای سیستم‌های نظارت، هدایت، و ناوبری بسیار حیاتی است.

گروه مفاهیم پایین سمت چپ (رنگ سبز و زرد):

شامل عبارت‌های "control framework" (چارچوب کنترلی) و "guidance strategy" (راهبرد هدایت).

مرتبط با راهبردهای کنترلی و هدایت وسایل هایپرسونیک است. روش‌های کنترلی پیشرفته برای تثبیت و هدایت در شرایط چالش‌برانگیز بسیار اهمیت دارند.

ارتباطات میان فناوری‌ها:

ترکیب آیرودینامیک (زاویه حمله و نیروی پرتاب) با موضوعات مکانیک سیالات و ترمودینامیک (انتقال حرارت).

ارتباط قوی بین چارچوب‌های کنترلی و سیستم‌های هدایت الکترونیکی نشان می‌دهد که همبستگی بین هدایت دقیق و کنترل پایدار در وسایل هایپرسونیک بسیار حیاتی است.

مفاهیم مختلف نظیر نیروی کوریولیس و دقت هدایت با طراحی مسیر پرواز در شرایط هایپرسونیک در ارتباط مستقیم هستند.

تحلیل دقیق زمانی و ارتباط میان فناوری‌های درگیر در وسایل هایپرسونیک:

۱. تحلیل زمانی (رنگ‌بندی محور زمانی از ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۴):

رنگ‌بندی شبکه در این نمودار بازه زمانی تحقیقاتی را نشان می‌دهد:

رنگ آبی: به مقالات و تحقیقات قدیمی‌تر (۲۰۲۳) اشاره دارد.

رنگ سبز تا زرد: به موضوعاتی با تحقیقات جدیدتر و فعال‌تر (۲۰۲۳.۸ تا ۲۰۲۴) مربوط است.

مشاهدات زمانی کلیدی:

مباحث مرتبط با کنترل و هدایت (Control & Guidance Strategy):

این مباحث به سمت زرد متمایل هستند که نشان می‌دهد در تحقیقات اخیر توجه قابل توجهی به راهبردهای هدایت پیشرفته و چارچوب‌های کنترلی برای بهبود دقت و پایداری دینامیکی وسایل هایپرسونیک وجود دارد.

مباحث انتقال حرارت و خواص سیال (Heat Transfer & Viscosity):

این مفاهیم (پایین شکل، با رنگ آبی غالب) نشان می‌دهند که موضوعات مکانیک سیالات و ترمودینامیکی بیشتر به سال‌های قبل تعلق دارند، احتمالاً به دلیل مطالعات پایه‌ای و تثبیت نسبی این حوزه‌ها.

سیستم‌های هدایت الکترونیکی و ارزیابی دقت:

این مفاهیم (سمت راست، رنگ آبی-سبز) بیانگر تحقیقات متوسط در بازه زمانی هستند. این ممکن است به توسعه فناوری‌های موجود برای افزایش دقت ناوبری در چالش‌های محیطی هایپرسونیک اشاره داشته باشد.

۲. تحلیل ارتباطات میان فناوری‌ها:

الف) ارتباط میان آیرودینامیک و خواص مکانیک سیالات:

مفاهیمی مثل:

زاویه حمله (Angle of Attack) و نیروی پرتاب (Ejection Force) (سمت بالا) با مفاهیمی نظیر ویسکوزیته دینامیکی (Dynamic Viscosities) و انتقال حرارت جابجایی (Convective Heat Transfer) (پایین) ارتباط مستقیم دارند.

این ارتباط نشان می‌دهد که:

چالش‌های آیرودینامیک در سرعت‌های بالای ماخ (تأثیر زاویه حمله بر جریان هوا و جریان شوک) مستقیماً به تغییرات گرانشی، تراکم‌پذیری سیال و مدیریت حرارتی در سیستم مربوط است. اهمیت مطالعات قدیمی‌تر (آبی) روی سیالات پایه برای توسعه کاربردهای پیشرفته‌تر در حوزه آیرودینامیک هایپرسونیک.

ب) سیستم‌های هدایت الکترونیکی و چارچوب‌های کنترلی:

ارتباط قوی میان:

اوبرد هدایت (Guidance Strategy) و چارچوب کنترلی (Control Framework) (سمت چپ) با سیستم‌های هدایت الکترونیکی (Electronic Guidance Systems) و ارزیابی دقت (Accuracy Assessment) (سمت راست). این ارتباط نشان‌دهنده روند ادغام سیستم‌های هوش مصنوعی، ناوبری لحظه‌ای و سامانه‌های کنترلی تطبیقی است که برای ناوبری دقیق‌تر وسایل هایپرسونیک حیاتی است. سیستم‌های کنترل پیشرفته به کاهش خطاهای مسیر و پایداری وسیله در محیط‌های بی‌ثبات کمک می‌کنند.

ج) وابستگی فیزیکی-حرارتی و پایداری دینامیکی:

انتقال حرارت جابجایی (Convective Heat Transfer) و نیروی کوریولیس (Coriolis Force) این مفاهیم به طور غیرمستقیم بر هدایت و کنترل اثرگذارند. مدیریت انتقال حرارت برای پیشگیری از آسیب‌های ساختاری ناشی از دماهای بالای پرواز هایپرسونیک مهم است. حرکات پیچیده ناشی از نیروهای کوریولیس در ارتفاعات بالا و سرعت‌های زیاد بر کنترل وسیله تأثیر می‌گذارد.

۳. مشاهدات و جمع‌بندی نهایی ارتباطات:

- تحقیقات جدیدتر بر راهبردهای کنترل متمرکز هستند:
- همان‌طور که رنگ سبز و زرد در بخش سمت چپ نشان می‌دهد، کنترل پایدار و هدایت لحظه‌ای از موضوعات تحقیقاتی داغ است.
- این امر به طراحی مدار دقیق برای وسایل هایپرسونیک نظامی و غیرنظامی وابسته است.
- آیرودینامیک و انتقال حرارت:
- تحقیقات گذشته (رنگ آبی) پایه‌گذار مفاهیمی نظیر مدیریت گرمای تولیدشده در سرعت‌های ماخ بالا و خواص فیزیکی محیط شده‌اند.
- سیستم‌های الکترونیکی هدایت به کمک فیزیک پایه:

▪ ارتباط مفاهیم قدیمی تر با سیستم های کنترلی نشان دهنده ی تکامل فناوری الکترونیک با استفاده از یافته های بنیادی در مکانیک سیالات و آیرودینامیک است.

▪ این ترکیب های زمانی و مفهومی بر اهمیت یکپارچگی علوم پایه و فناوری های نوظهور در توسعه وسایل هایپرسونیک تأکید دارد.

شکل ۱۰ تصویر نمایشی از یک نقشه حرارتی است که توسط ابزار VOSviewer برای تجسم ارتباطات و شدت تمرکز میان مفاهیم مرتبط با وسایل هایپرسونیک ایجاد شده است. این نقشه، خوشه های مرتبط با موضوعات مختلف را نشان می دهد و هر رنگ روشن تر (زرد) نشان دهنده اهمیت یا فراوانی بیشتر آن مفهوم در داده های تحلیل شده است. رنگ های تیره تر (آبی) نمایانگر شدت یا فراوانی کمتر هستند. خوشه مرکزی (Hypersonic Vehicles):

مرکز نقشه که با برچسب "Hypersonic Vehicles" مشخص شده، به عنوان هسته اصلی ارتباطات عمل می کند. این ناحیه بیانگر اهمیت کلیدی مفهوم "وسایل هایپرسونیک" به عنوان نقطه مرکزی تمامی تحقیقات و فناوری های مرتبط است.

سمت راست (سیستم های هدایت الکترونیکی و ارزیابی دقت):

این خوشه روی فناوری های مرتبط با هدایت و کنترل دقیق تمرکز دارد. ارتباطات نزدیک آن با هسته مرکزی نشان می دهد که فناوری هدایت الکترونیکی برای وسایل هایپرسونیک نقش کلیدی در دقت مأموریت ها دارد.

مفاهیمی مانند "ارزیابی دقت" نشان دهنده نیاز به فناوری های بسیار پیشرفته برای جلوگیری از انحراف مسیر در سرعت های فوق العاده بالا هستند.

سمت بالا (زاویه حمله، فضای نزدیک و نیروی پرتاب):

این خوشه مرتبط با مفاهیم آیرودینامیکی و فیزیکی است که بر پایداری وسیله در مسیر پروازی تأثیر می گذارند.

اصطلاحات "زاویه حمله" و "نیروی پرتاب" تأکید بر مکانیک پرواز در لایه های نزدیک به فضا و کنترل زاویه وسیله های پروازی در سرعت های هایپرسونیک دارند.

سمت چپ پایین (راهبردهای هدایت و چارچوب های کنترلی):

این خوشه نشان دهنده تلاش برای پایداری و پاسخ سریع در شرایط ناپایدار است. مفاهیم در این خوشه با فناوری های هوشمند و الگوریتم های کنترل تطبیقی ارتباط نزدیکی دارند.

سمت پایین (نیروهای فیزیکی و حرارت):

این خوشه به مدیریت حرارت و نیروهای مکانیک سیالاتی در این وسایل اشاره می کند.

اصطلاحاتی مانند "گرانروی دینامیکی"، "نیروی کوریولیس" و "انتقال حرارت جابجایی" تأکید می کنند که بررسی شرایط ترمودینامیکی و جریان هوا از چالش های اصلی وسایل هایپرسونیک است.

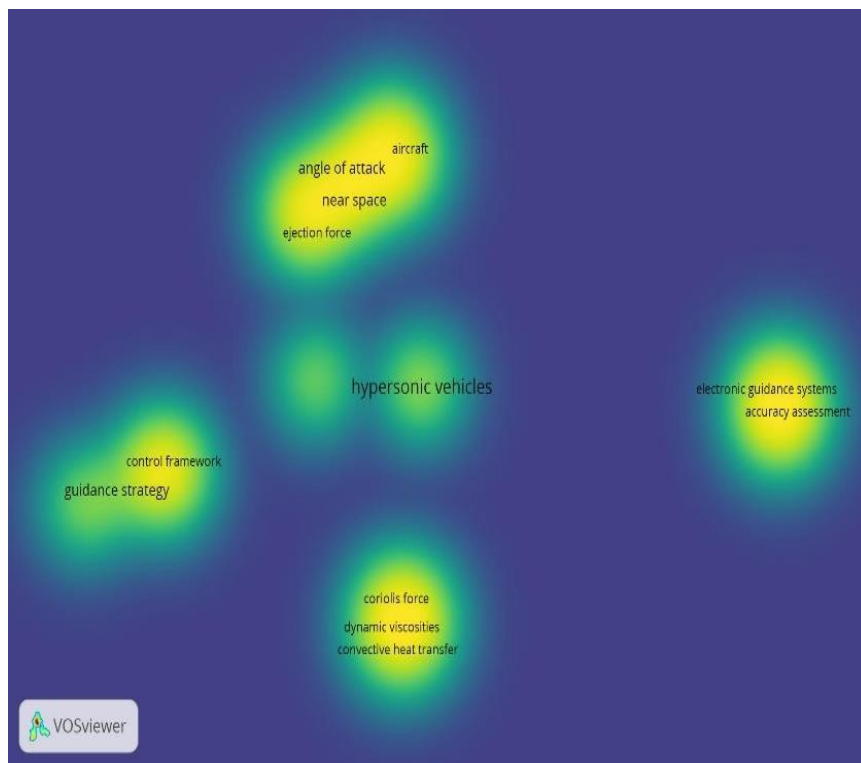
ارتباط مفاهیم:

رنگ‌های نقشه نشان می‌دهند که تمامی این خوشه‌ها از طریق فناوری "وسایل هایپرسونیک" به هم متصل‌اند. این موضوع بیانگر میان‌رشته‌ای بودن فناوری است که نیازمند تحقیقات عمیق در زمینه آیرودینامیک، سیستم‌های حرارتی، و الکترونیک هدایت می‌باشد.

این نقشه حرارتی به‌خوبی نشان می‌دهد که توسعه وسایل هایپرسونیک در سه حوزه اصلی زیر متمرکز است:

- پایداری آیرودینامیکی (زاویه حمله و نیروی پرتاب).
- مدیریت حرارتی و نیروهای فیزیکی.
- هدایت و کنترل دقیق (سیستم‌های الکترونیکی و ارزیابی دقت).

پژوهشگران برای حل چالش‌های این حوزه باید همکاری‌های میان‌رشته‌ای را تقویت کنند و در توسعه فناوری‌های تطبیقی و مواد مقاوم برای شرایط دشوار پروازی پیشرفت داشته باشند.



شکل (۱۰) جدیدترین موضوعات (موضوعات فناوری داغ، نوظهور و مرز دانشی) در حوزه تسلیحات هایپرسونیک

جدول (۴) درخت فناوری و شاخه‌های دانشی در حوزه تسلیحات هایپرسونیک



نتیجه گیری و پیشنهادها

تحلیل ارائه شده نشان می دهد که فناوری های درگیر در وسایل هایپرسونیک از سه حوزه اصلی نشأت می گیرند: آیرودینامیک، مکانیک سیالات و سیستم های الکترونیکی هدایت و کنترل. این ارتباطات با روندهای زمانی و اولویت بندی مفاهیم در سال های اخیر تقویت شده است. بر اساس این تحلیل، جمع بندی به تفصیل به شرح زیر ارائه می شود:

۱. پیشرفت های تحقیقاتی و روند زمانی:

تحقیقات اولیه (تا سال ۲۰۲۳) بیشتر بر روی چالش های فیزیکی و ترمودینامیکی متمرکز بوده است:

مدیریت حرارت جابجایی: در سرعت‌های هایپرسونیک، گرمایش آیرودینامیکی ناشی از اصطکاک هوا چالش‌های شدیدی برای طراحی حرارتی به همراه دارد. این موضوع همچنان به عنوان یکی از ستون‌های تحقیقات پایه باقی مانده است.

گرانروی دینامیکی و اثر کوریولیس: تحقیقات گذشته روی رفتار گاز در سرعت‌های بسیار بالا و اثرات نیروهای ناهمسانگرد در جو، پایه‌گذار دانش طراحی پایداری پرواز بوده‌اند.

در سال‌های اخیر (۲۰۲۳ به بعد)، تمرکز به سمت مباحث کنترل و هدایت پیشرفته تغییر کرده است: چارچوب‌های کنترلی تطبیقی و راهبردهای هدایت: این مفاهیم از نظر زمانی جدیدتر و ضروری‌تر شناخته می‌شوند. زیرا در محیط‌های متغیر و چالش‌برانگیز، نیاز به کنترل دینامیکی دقیق و پاسخ لحظه‌ای افزایش یافته است.

۲. ارتباطات کلیدی میان مفاهیم:

الف) ارتباط آیرودینامیک و مکانیک سیالات:

چالش‌های فیزیکی، مانند زاویه حمله (Angle of Attack)، نیروی پرتاب (Ejection Force) و نیروی کوریولیس (Coriolis Force)، به طور مستقیم بر روی پایداری، کنترل، و مسیر پرواز تأثیر می‌گذارند. به عنوان مثال:

تغییرات زاویه حمله و نحوه برخورد جریان هوا می‌تواند اثراتی مانند جدا شدن جریان (Flow Separation) و تولید شوک (Shock Waves) را تشدید کند.

این پدیده‌ها فشار روی پوسته وسیله را افزایش داده و مدیریت حرارت را پیچیده‌تر می‌کنند. انتقال حرارت جابجایی و خواص ویسکوزیته در این وضعیت اهمیت ویژه‌ای دارند، زیرا تغییرات سریع دما می‌تواند مقاومت ساختاری مواد را کاهش دهد.

ب) ارتباط هدایت و کنترل الکترونیکی:

بخش کلیدی دیگر نمودار نشان‌دهنده ارتباط میان راهبردهای هدایت (Guidance Strategies) و سیستم‌های هدایت الکترونیکی (Electronic Guidance Systems) است:

این مفاهیم نشان‌دهنده نقش پررنگ فناوری‌های الکترونیکی و سیستم‌های هوشمند در تنظیم دقیق مسیر پرواز و کاهش خطا هستند.

ترکیب چارچوب‌های کنترلی تطبیقی و داده‌های آنی حسگرها (مانند GPS و اینرسی) در سامانه‌های هدایت، باعث کاهش اختلالات محیطی، مانند اغتشاشات جو، می‌شود.

ارزیابی دقت (Accuracy Assessment): با افزایش تمرکز بر وسایل هایپرسونیک، ارزیابی دقت هدایت و تنظیم پارامترهای کنترل نقش کلیدی در تضمین موفقیت مأموریت دارد.

ج) وابستگی سیستم‌های دینامیکی به حرارت و کنترل:

مدیریت حرارت ناشی از سرعت ماک بالا به شدت بر روی طراحی سیستم‌های ناوبری و کنترل تأثیر دارد:

برای مثال، تغییر خواص سیالات مانند گرانش در دماهای بالا ممکن است باعث تأخیر یا تغییر در پاسخ کنترلی سیستم‌های الکترونیکی شود.

توسعه مواد پیشرفته‌ای که تحمل شرایط محیطی را داشته باشند، از چالش‌های دیگر است که هم‌راستا با سیستم‌های کنترلی عمل می‌کنند.

۳. چالش‌های کلیدی و مسیرهای آینده:

الف) مدیریت شرایط حرارتی:

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های طراحی، مدیریت حرارت شدید و اثرات آن بر سازه و عملکرد سیستم‌های داخلی است. توسعه سامانه‌های خنک‌سازی پیشرفته و مواد مقاوم در برابر حرارت به تحقیقات بین‌رشته‌ای نیاز دارد.

ب) سیستم‌های کنترلی هوشمند:

افزایش قابلیت انعطاف‌پذیری سیستم‌های هدایت و کنترل، به ویژه در سناریوهای پریسک: طراحی الگوریتم‌های هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی برای مقابله با اغتشاشات دینامیکی محیط. سیستم‌های تطبیقی برای کنترل وسیله تحت تغییرات سریع، مانند ورود به جو زمین یا مانورهای تاکتیکی.

ج) بهبود هماهنگی میان فیزیک پرواز و الکترونیک:

توسعه حسگرهای دقیق و پایدار که توانایی تحمل گرمای شدید را داشته و اطلاعات زمان-واقعی (Real-Time) برای سامانه‌های ناوبری فراهم کنند.

د) تقویت یکپارچگی فناوری‌ها:

هماهنگی موثر میان تحقیقات مکانیک سیالات، آیرودینامیک، سیستم‌های کنترل و مواد، برای طراحی وسایلی با عملکرد بهینه در شرایط چالش‌برانگیز. وسایل هایپرسونیک نیازمند دانش عمیق میان‌رشته‌ای از مکانیک سیالات، حرارت و دینامیک کنترل است. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که ارتقای فناوری در این حوزه نه تنها به درک فیزیکی دقیق‌تر، بلکه به یکپارچگی فناوری‌های پیشرفته هدایت الکترونیکی و کنترل تطبیقی بستگی دارد. گسترش این فناوری‌ها نیازمند تحقیقات مداوم در حوزه‌های مرتبط و ادغام نوآوری‌های جدید برای مقابله با چالش‌های محیطی پیش‌روی این وسایل است.

فهرست منابع منابع فارسی

۱. ابراهیم ایجابی، فرهاد درویشی سه تلانی، حسین مینایی، صفر فضلی، عین اله کشاورز. (1398). آینده نگاری راهبردی فناوری دفاعی در حوزه پدافند هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۲۰. *فصلنامه آینده پژوهی دفاعی*. 38-7.
۲. اسماعیل وزیری. (1389). *علم ایران در گروه موضوعی مهندسی هوافضا در سطح بین الملل: مطالعه ای علم سنجی بر اساس آمار پایگاه موسسه اطلاعات علمی (ISI)*. تهران: ویژه نامه همایش وضعیت اشتغال فارغ التحصیلان هوافضا.
۳. اسماعیل وزیری، رضا رجبعلی بگلو. (1389). مهندسی هوافضا ایران و جهان در آینه علم سنجی: مطالعه ای در پایگاه های استنادی. *دهمین کنفرانس انجمن هوافضا ایران*. تهران: انجمن مهندسی هوافضا.
۴. حسین ولی وند زمانی، حسین مینایی (1396). آینده نگاری فناوری رزم زمینی در جنگ آینده. *فصلنامه آینده پژوهی دفاعی*, ۷-۳۳.
۵. حمید کریمی، علیرضا عین القضاة. (1395). نقش فناوری های آینده در همگرایی و ارتقای توان نظامی بومی. *فصلنامه آینده پژوهی دفاعی*. 115-93.
۶. گلنسا گلینی مقدم، پروین طاهری. (1394). هم نویسنده و ضریب همکاری علمی پژوهشگران ایرانی هوافضا. *فصلنامه بازیابی دانش و نظام های معنایی*. 67-34.
۷. عبدالرضا نوروزی. (1402). *آشنایی با علم سنجی (مبانی، مفاهیم، روابط و اندیشه ها)*. تهران: دانشگاه شاهد.
۸. عبدالرضا نوروزی چاکلی. (1402). *هوافضا: مطالعه علم سنجی و تحلیل سنجه های مرکزیت شبکه هم نویسنده پژوهشگران*. *دوفصلنامه علمی - پژوهشی دانشگاه شاهد*. 67-34.
۹. کیومرث حیدری، فریدون عبدی. (1391). جنگ های آینده و مشخصات آن با تحلیلی بر دیدگاه برخی صاحب نظران نظامی غرب. *فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت نظامی*. 76-43.
۱۰. عرفان آهنگری، محمد سلطان آبادی، احمد رضایی. (1398). واکاوی تهدیدات و چالش های دفاعی - نظامی جنگ های آینده. *فصلنامه مطالعات جنگ*. 147-132.
۱۱. علی اصغر پور عزت، بهنام عبدی. (1397). شناسایی فراروندهای فناوری اطلاعات و ارتباطات و ارتباطات قابل توجه در آینده نگاری صنعت دفاعی در جهت نیل به الگوی اسلامی - ایرانی پیشرفت. *فصلنامه آینده پژوهی دفاعی*. 53-75.
۱۲. غدیر نظامی پور، سیدکمال طبایان، سید مجید الهی، امیر ناظمی، فرزانه میرشاهی ولایتی. (۱۳۹۵). معرفی معیارهای دیدبانی فناوری به عنوان ابزار آینده پژوهی. *فصلنامه راهبرد دفاعی*.
۱۳. غلامرضا گودرزی، محمد مهدی اجلائی. (1400). تحلیل روندهای آینده فناوری های دفاعی در افق ده ساله آینده پژوهی دفاعی. 57-37.

۱۴. غلامعلی رشید، کیومرث حیدری، ابوالحسن کبیری، علی مهدوی، محمود سعادت ارکان نجد. (1396). تدوین راهبردهای نظامی دفاع همه جانبه در برابر جنگ احتمالی آینده. *فصلنامه مطالعات دفاعی/استراتژیک*. 33-52 ,
۱۵. فرزانه میرشاه ولایتی، فرهاد نظری زاده، (1398) الگوی دیدبانی فناوری: فرایند و ساختاری برای رصد تحول‌های فناورانه. *آینده پژوهی دفاعی*. 41-68 ,
۱۶. محمد توکل. (1389). *جامعه‌شناسی علم*. تهران: جامعه شناسان.
۱۷. محمود براتیان، سجاد ذوالفقاری دهکردی، علیرضا عالی پور. (1402). تبیین نقش فناوری های نوظهور در رزم زیرسطحی ناوهای نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران. *فصلنامه علمی علوم و فناوری دریا*. 13-26 ,
۱۸. نوروزی چاکلی عبدالرضا. (1402). هوافضا: مطالعه علم‌سنجی و تحلیل سنجه‌های مرکزیت شبکه هم‌نویسندگی پژوهشگران، *دوفصلنامه علمی - پژوهشی دانشگاه شاهد*. 34-67 ,
۱۹. یزدان منصوریان. (1402). *روش تحقیق در علم اطلاعات و دانش‌شناسی*. تهران: سازمان مطالعه و تدوین (سمت).

منابع انگلیسی

1. Acton, J. M. (2015). Hypersonic Boost-Glide. *Science and Global Security*, 191-215.
2. Ait, A. (2018). <https://thedi diplomat.com/2018/05/russia-inducts-its-own-carrier-killer-missile-and-its-more-dangerous-than-chinas/>.
3. Bloembergen. (2022). *Slowing the Hypersonic Arms Race A Rational Approach to an Emerging Missile Technology*. union of concerned scientists.
4. Bosbotinis, J. (2023). *Hypersonic Systems 2023 Key Developments Report*. Virginia: Office of the Assistant Secretary of the Air Force (Acquisition, Technology and Logistics).
5. Cameron L. Tracy, D. W. (2021). Modelling the Performance of Hypersonic Boost-Glide Missiles. *Science and Global Security*, 135-170.
6. Chuter, A. (2019). *British military scrambles to speed up work on hypersonic engines*. Defense News.
7. David Wright, C. L. (2023). Hypersonic Weapons: Vulnerability to Missile Defenses and Comparison to MaRVs. *The Technical Basis for Arms Control, Disarmament, and Nonproliferation Initiatives*, 68-114.
8. DAVIS, S. (2020). *HYPERSONIC WEAPONS A TECHNOLOGICAL CHALLENGE FOR ALLIED NATIONS AND NATO? SCIENCE AND TECHNOLOGY COMMITTEE (STC)*.
9. Eric Higham, S. A. (2022). The Age of Hypersonic Weapons is Upon Us. *aerospace-and-defense-channel*.

10. https://www.militarytoday.com/missiles/kh_47m2_kinzhal.htm. (2023).
11. Hummel, R. (. (2022). <https://www.potomac institute.org/steps /featured-articles /april-2022/the-hypersonic-conundrum>.
12. Kramer, C. (2023). *U.S. Hypersonic Weapons and Alternatives*. Massachusetts Institute of Technology Global Security Technical Webinar Series.
13. Leyva, I. A. (2017). the Relentless Pursuit of Hypersonic Flight. *Physics Today*, 6-30.
14. Maitre, Emmanuelle. (2023). Hypersonic missiles: Evolution or revolution for missile nonproliferation and arms control instruments? *HCOC RESEARCH PAPERS*, 37-54.
15. (2023). *Missile Defence Project, Kinzhal, Missile Threat*. Center for Strategic and International Studies (CSIS).
16. O'hanlon, M. (2018). forecasting change in military technology, 2020-2040 The Brookings Institution. *Foreign Policy at Brookings*, 45-59.
17. Sayler, K. M. (2020). Emerging Military Technologies: Background and Issues for Congress. *Congressional Research Service*, 25-39.
18. Sayler, K. M. (2024). *Hypersonic Weapons:Background and Issues for Congress*. Congressional Research Service.
19. Shannon Bugos, K. R. (2021). *Understanding Hypersonic Weapons: Managing the Allure and the Risks*. Edwards Air Force Base: An Arms Control Association Report.
20. Tom Karako, M. D. (2022). *Complex Air Defense Countering the Hypersonic Missile Threat*. New York: A Report of the CSIS Missile Defense Project.
21. wie, D. v. (2021). Hypersonics:past ,present, and potential future. *Johns Hopkins APL Technical Digest*.
22. Wortzel, L. M. (2022). *Hypersonic Weapons Development in China, Russia and the United States Implications for American Security Policy*. ASSOCIATION OF THE UNITED STATES ARMY.
23. Wright, D. (2015). Research Note to Hypersonic Boost-Glide Weapons by James M. Acton: Analysis of the Boost Phase of the HTV-2 Hypersonic Glider Tests. *Science and Global Security*, 220-229.

Future research and strategic technology vision in the field of hypersonic weapons

Farhad Kini Falavarjani¹

Abstract:

Objective: The goal is to research the future and learn about hypersonic weapons and identify new and emerging technologies and examine the state of scientific productions in this field of technology.

Methodology: The research implementation method is statistical population analysis and library information collection. The current research is of applied and scientometric type, and scientific database analysis techniques were used in its conduct. Data and keywords related to research between 2014 and 2024 were searched and evaluated using document databases (Web of Science, Scapos, Science Direct). Vosviewer software was used to analyze the data and visualize the obtained information. The statistical population of the research is 325 scientific research articles in the field of hypersonic weapons.

Findings: The results of the survey show that the frequency and trend of publishing scientific documents in the field of hypersonic weapons is on the rise, China and the United States provide the most research and support (scholarships, joint courses, infrastructure and laboratory equipment, etc.). They have done technology in this area.

Originality: This technology allows weapons to avoid interception by advanced missile defense systems.

Key Words: Future research, technology extraction, hypersonic weapons, scientometrics and scientific status

¹ Corresponding Author :PhD student in aerospace engineering , Malek Ashtar University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering , Shahin Shahr, Iran E-mail: Aerospace1362@gmail.com