Research in Production and Operations Management
University of Isfahan E-ISSN: 2981-0329
Vol. 15, Issue 3, No. 38, Autumn 2024
https://doi.org/10.22108/pom.2024.139432.1530

(Research paper)

Proposing a Model for Selecting Innovative and Emerging Defence Technologies in the Defence Research Centres

Akbar Rahimi *
Faculty of Management and Industrial Enginiering, Malekashtar University, Tehran, Iran,
rahimi_akr@yahoo.com
Mohammad Hossein Karimi Govareshki
Faculty of Management and Industrial Enginiering, Malekashtar University, Tehran, Iran,
karimi-mo@muts.ac.ir
Mehdi Bararnia
Faculty of Management and Industrial Enginiering, Malekashtar University, Tehran, Iran,
bararnia-me@mut.ac.ir

Purpose: The creation and development of technology play a significant role as the main source of competitive advantage in any organization. In the most commonly accepted model, the process of technology management is referred to five structured stages including identification, selection, acquisition, exploitation and protection. The stage of identifying and choosing the appropriate technology among alternatives is challenging due to the vast increase in the number of technologies and their complexity. Technology selection means choosing a technology from a set of technologies that support similar tasks. In the defence sector, the rapid changes in technologies in today's world have had tremendous effects, and this makes present and future battles more complicated. The defence research centres have identified several emerging technologies or technological solutions to solve these challenges in different fields. But the important issue for researchers and managers of research centres is that among these technological solutions, which emerging technology should be chosen? What are the selection criteria for these innovative and emerging defence technologies? Therefore, a structural analysis of the criteria and factors involved in the selection process of emerging technology is necessary. Considering the key role of research centres in the creation and development of innovative and emerging defence technologies the necessity of their role in the

* Corresponding author, Orcid: 0000-0003-2846-1223 2981-0329 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

defence value chain and the governance of modern research in the defence sector, as well as the importance of choosing effective and efficient technologies, this article aims to provide a model for choosing innovative technology and emerging in line with their creation or development in defence research centres. The use of this model in these centres can lead to the evaluation and selection of emerging defence technology in a purposeful, appropriate and accurate manner.

Design/methodology/approach: This research has been done using a qualitative-quantitative mixed method, based on the opinions of experts in focus groups and the fuzzy hierarchical analysis technique. In this research, the theoretical literature related to the subject has been reviewed and the desired criteria and factors have been identified. Then, the existing criteria for the localization of technology selection criteria have been provided to a focus group consisting of seven managers, faculty members, and experienced researchers involved in the defence research projects and a new and native classification of the selection criteria has been proposed for emerging defence technology. Next, the weighting and determination of the importance coefficient of the technology selection criteria has been done with the participation of 15 experts using the FAHP method. Finally, to validate the proposed model, a case study has been conducted to select technology in the electrical and electronics research centre, whose experts consisted of five researchers and faculty members.

Findings: In this research, the criteria for selecting innovative and emerging technologies suitable for the defence ecosystem were categorized in the form of five criteria, and the results of the research indicated that the technology effectiveness criterion is the most important with an importance factor of 32%, and technological competence, feasibility and development capability, risk, and economic and commercial are respectively the next priorities in the selection of innovative and emerging technologies in defence research projects. To validate the proposed model and in line with the selection of defence technology in the field of electricity and electronics in a defence research centre, the proposed model was used in a practical environment, and based on the calculations, High Power Microwaves (HPM) technology as an innovative and emerging technology was selected among the three technological solutions to solve the technological need and challenge.

Research limitations/implications: The limitations and problems of interview data collection and access to the statistical population were due to protection and security restrictions since it was very difficult and time-consuming to involve defence managers and researchers in various fields. Also, in terms of the generalizability of the research results to the specific society, it should be noted that the focus of the current research was on managers and defence researchers in the research centres (supply and technology developers) and the end customers (executive staff of the armed forces) of technological and technological products. The proposed model focused on determining the criteria for selecting emerging technology in defence centres and their importance factor and has not addressed the stages of technology selection. However, in the case study, the authors tried to show how to use this model. Therefore, the issue of technology selection steps, examining the relationships and the intensity of the criteria of innovative and emerging defence technologies can also be considered as a future research subject.

Originality/value: From the pattern and criteria of technology selection proposed in this research, it can be inferred that in the selection of novel and emerging defence technology, one should pay attention to quantitative and qualitative criteria with different importance coefficients, and this selection is a multi-criteria and multilateral decision-making. There are technical and technological, socio-political, financial and economic factors in achieving the national and industrial goals of the defence sector. The model proposed focuses more on the specific criteria of defence research centres and the degree of importance and prioritization of emerging technology selection criteria in these centres rather than the creation of the emerging technology process. By addressing the validation of the model in a real environment, the authors attempted to show how to use the proposed model in practice.

Keywords: Technology selection, Innovative and emerging defence technology, Fuzzy hierarchical analysis, Prioritization, High Power Microwaves

پژوهش در مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۵، شماره ۳، پیاپی ۳۸، پاییز ۱۴۰۳
دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۳ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵ ص ۱-۲۹
https://doi.org/10.22108/pom.2024.139432.1530

(مقالهٔ پژوهشی)

ارائهٔ الگویی جهت انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی، به‌منظور خلق و توسعهٔ آنها در مراکز تحقیقاتی دفاعی

اکبر رحیمی*[۱]؛ محمد حسین کریمی گوارشکی[۲]؛ مهدی برارنیا فیروزجایی [۳]

۱- استادیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع،دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران، rahimi_akr@yahoo.com
۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع،دانشگاه صنعتی مالک اشتر،تهران، ایران، karimi-mo@muts.ac.ir
۳- کارشناس ارشد گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع،دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران، bararnia-me@mut.ac.ir

چکیده: با توجه به نقش کلیدی مراکز تحقیقاتی در خلق و توسعهٔ فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی و ضرورت نقش‌آفرینی آنها در زنجیرهٔ ارزش‌ساز دفاعی و همچنین حکمرانی تحقیقات نوین در بخش دفاع و اهمیت انتخاب فناوری‌های اثربخش و کارآمد، این مقاله با هدف ارائهٔ الگویی برای انتخاب فناوری بدیع و نوظهور در راستای خلق و یا توسعهٔ آنها در مراکز تحقیقاتی دفاعی ارائه شده است. به‌کارگیری این الگو در این مراکز، به‌صورت هدفمند، مناسب و دقیقی، به ارزیابی و انتخاب فناوری نوظهور دفاعی منجر می‌شود. این تحقیق از روش ترکیبی کیفی- کمی و ازطریق به‌کارگیری نظرات خبرگان در گروه‌های کانونی و استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به انجام رسیده است. در این تحقیق، معیارهای انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور متناسب با زیست‌بوم دفاعی، در قالب پنج معیار دسته‌بندی شد و نتایج تحقیق نشان داد که معیار اثربخشی فناوری‌ها با ضریب اهمیت ۳۲٪ دارای بیشترین اهمیت و معیار قابلیت اقتصادی و تجاری فناوری‌ها با ۸٪، دارای کمترین اهمیت در انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی‌اند. برای اعتباربخشی الگوی ارائه‌شده در این تحقیق و در راستای انتخاب فناوری دفاعی در حوزهٔ برق و الکترونیک در یک مرکز تحقیقاتی دفاعی، الگوی مذکور در محیط کاربردی، به کار گرفته شد و براساس محاسبات مبتنی بر الگوی ارائه‌شده، فناوری *HPM* به‌عنوان یک فناوری بدیع و نوظهور، انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب فناوری، فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی، تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

* نویسنده مسئول، Orcid: 0000-0003-2846-1223

2981-0329 / © University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

۱- مقدمه

خلق و توسعهٔ فناوری، به‌عنوان منبع اصلی مزیت رقابتی در هر سازمانی، نقش بسزایی دارد (Hamzeh & Xu, 2019). در بخش دفاعی، تغییرات سریع فناوری‌ها در جهان امروز، آثار شگرفی را بر جای گذاشته است و این امر، نبردهای حال و آینده را با پیچیدگی‌هایی روبه‌رو می‌کند. حفظ اقتدار و ارتقای توانمندی‌ها و بازدارندگی دفاعی، نیازمند اشراف کامل بر محیط آینده است؛ بنابراین لازم است تا جهت‌گیری‌های آیندهٔ این فناوری‌ها را شناخت. برای درک این جهت‌گیری، به تحلیل روندهایی نیاز است که نتیجهٔ آن، فضای آینده را ترسیم می‌کند (گودرزی و اجلالی[۱]، ۱۴۰۰). در این زمینه، پژوهش‌های مختلف (برای مثال گودرزی و اجلالی، ۱۴۰۰، امیری[۲]، ۱۳۹۶)، (O'hanlon, 2018) و همچنین اسناد دفاعی (برای مثال سند جامع علم و فناوری در حوزهٔ دفاعی و امنیتی ج.ا.ا[۳] ۱۳۹۹، گزارش مؤسسهٔ رند[۴] به درخواست پارلمان اتحادیهٔ اروپا در سال ۲۰۲۱ و گزارش مرکز تحقیقات کنگرهٔ آمریکا[۵] (Sayler , 2022)، روندهای فناوری‌های دفاعی را شناسایی کرده‌اند. رصد روند فناوری‌های دفاعی و ضرورت پاسخگویی به تهدیدات نوین در صنعت دفاعی و همچنین ویژگی‌های جنگ‌های نوین، منجر شده است تا صنایع دفاعی به‌عنوان پیشروی علم و فناوری کشور در حوزه‌های مختلف فناورانه، در راستای حل چالش‌ها و رفع نیازهای فناورانه، گام بردارند. طبق گفتهٔ محققان دفاعی کشور، فناوری ریزپرنده به‌عنوان یک مهمات هدایت‌شوندهٔ دقیق برای اهداف کاملاً حفاظت‌شده عمل می‌کنند. همچنین یک پهپاد ۱۰۰۰ دلاری، خطر یک اسکادران هوایی اِف ۲۲[۶] را ایجاد می‌کند. در جنگ مناقشهٔ کریمه، پهپادهای روسیه در حد بیلیون دلار به اوکراین خسارت وارد کردند؛ این نمونه‌ای از چالش‌ها و نیازهای فناورانهٔ دفاعی است. در همین راستا محققان دفاعی در مراکز تحقیقات دفاعی، برای حل این چالش‌ها در حوزه‌های مختلف، چندین فناوری نوظهور یا همان راهکار فناورانه را شناسایی کردند، اما مسئلهٔ مهم محققان و مدیران مراکز تحقیقاتی این است که از بین این راهکارهای فناورانه، کدام فناوری نوظهور باید انتخاب شود و معیارهای انتخاب این فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی چیست؟

تعیین فناوری‌های خاص و راه‌هایی ضروری است که سازمان‌ها به‌درستی آنها را مدیریت کنند (Hamzeh & Xu, 2019). در رایج‌ترین مدل پذیرفته‌شدهٔ فرآیند مدیریت فناوری، به پنج مرحلهٔ ساختاریافته شامل شناسایی، انتخاب، کسب، بهره‌برداری و حفاظت اشاره شده است (Lizarralde et al, 2020). شناسایی و انتخاب فناوری مناسب در میان گزینه‌های جایگزینی چالش‌برانگیز است که عمدتاً به‌دلیل افزایش گستردهٔ تعداد فناوری‌ها و پیچیدگی آنهاست. بنابراین، تجزیه‌وتحلیل ساختاری معیارها و عوامل دخیل در فرآیند انتخاب، ضروری است (Hamzeh & Xu, 2019). انتخاب فناوری به معنی گزینش یک فناوری از مجموعه فناوری‌هایی است که از وظایف مشابه پشتیبانی می‌کنند (Duffy et al., 2021). براساس مرور مطالعات پیشین (برای مثال بنیادی نائینی و همکاران[۷]، ۱۳۹۹؛ Lizarralde et al, 2020) در حوزهٔ انتخاب فناوری، مدل‌ها و الگوهای گوناگونی وجود دارد که در آنها معیارهای زیادی برای انتخاب فناوری ارائه شده است. عمدتاً مدل‌های انتخاب فناوری، برای ارزیابی مزایای مالی فناوری‌ها ایجاد شده‌اند و این یکی از دلایل اصلی است که منجر شده است تا در طول دورهٔ زمانی مختلف، از آنها انتقاد شود (Shehabuddeen et al., 2006). با توجه به پیشینهٔ موجود، لحاظ‌نکردن و محاسبه‌نشدن ریسک در انتخاب فناوری

استراتژیک، توجه‌نکردن به تهدیدهای مرتبط با فناوری‌های منتخب در فرآیند انتخاب فناوری و همچنین نگنجاندن عوامل بین سازمانی در محیط تصمیم‌گیری انتخاب فناوری، سه ضعف عمده در مدل‌ها و فرآیندهای انتخاب فناوری موجود برجسته می‌شود (Farooq & O'Brien, 2012).

با وجود مدل‌های مختلف انتخاب فناوری، مطالعات بسیار کمی دربارهٔ ارائهٔ مدل و معیارهای بومی و خاص برای انتخاب فناوری نوظهور در حوزهٔ دفاعی (برای مثال میرباقری و همکاران[۸]، ۱۳۹۸) انجام شده است. این شکاف مطالعاتی و مشکل منجر می‌شود که عموماً فناوران و متخصصان دفاعی با رویکرد صرف تجربی و یا دانش تخصصی حوزهٔ خود، با تمرکز بر قابلیت‌های مبتنی بر فناوری و یا با اعمال‌نظر دستوری مدیران و سلسله‌مراتب فرماندهی، در فرآیند مدیریت و انتخاب فناوری، فناوری دفاعی را انتخاب و ارزیابی کنند. همچنین منجر می‌شود که معیارهای اقتصادی و سازمانی در این فرآیند کمتر باشد و یا به‌کلی در نظر گرفته نشود. بنابراین در این مقاله در راستای سند جامع علم و فناوری دفاعی و حل چالش انتخاب فناوری نوظهور دفاعی، معیارهای ارزیابی و انتخاب فناوری نوظهور در صنعت دفاعی ارائه شده است تا با به‌کارگیری این معیارهای بومی، مراکز تحقیقات دفاعی به‌صورت هدفمند و دقیق‌تر ، فناوری نوظهور را در پروژه‌های دفاعی، برای خلق و توسعهٔ آنها به ارزیابی و انتخاب کنند.

۲- مبانی نظری

در این بخش، مهم‌ترین مفاهیم و تعاریف نظری موجود در پیشینهٔ موضوع ارائه و تلاش شده است تا این چیستی و ماهیت این مفاهیم، تا حد لازم تشریح شود.

۲-۱ فناوری‌های بدیع و نوظهور

فناوری تمام دانش، فرآیندها، ابزارها، روش‌ها و سیستم‌هایی تعریف می‌شود که برای خلق و ساخت کالاها و ارائهٔ خدمات به کار گرفته می‌شوند. یکی از انواع فناوری‌ها، فناوری بدیع و نوظهور است و به‌نوعی فناوری گفته می‌شود که هنوز به‌طور کامل تجاری و به بازار عرضه نشده است، اما ظرف حدود پنج سال آینده، این‌چنین خواهد شد. ممکن است در حال حاضر کاربرد آن محدود باشد، اما انتظار می‌رود در آینده به شکل چشمگیری تکامل یابد. مهندسی ژنتیک، نانو فناوری و ابررسانایی، نمونه‌هایی از فناوری‌های نوظهورند که موجب بروز تغییرات بزرگی در نهادهای اجتماعی و در خود اجتماع می‌شوند (خلیل[۹]، ۱۳۹۲). همچنین روتولو و همکاران[۱۰] (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای مدون، چیستی و ماهیت فناوری بدیع و نوظهور را بررسی کرده و این فناوری‌های را یک فناوری با رشد نسبتاً سریع و کاملاً جدید تعریف کرده‌اند که با درجهٔ خاصی از انسجام و تداوم در طول زمان مشخص می‌شود و با پتانسیل خود، تأثیر درخور توجهی بر حوزه‌های اجتماعی-اقتصادی می‌گذارد که ازنظر ترکیب نهادهای بازیگر و الگوهای تعامل بین آنها، همراه با فرآیندهای تولید دانش مرتبط‌اند. بااین‌حال، مهم‌ترین تأثیر آن در آینده نهفته است و بنابراین در مرحلهٔ ظهور هنوز تا حدودی نامشخص و مبهم است. بر این اساس، پنج ویژگی فناوری‌های بدیع و نوظهور شامل تازگی، رادیکالی‌بودن، رشد نسبتاً سریع، انسجام و همبستگی ویژگی‌ها، تأثیر برجسته و عدم قطعیت و ابهام وجود دارد (Rotolo et al., 2015). فناوری‌های بدیع و نوظهور با عنوان فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم

در چهار بعد ادراک، پردازش، شناخت کارکرد، ابزار ارتباطات، ناوبری و ساخت، تدارکات و زنجیرهٔ تأمین تقسیم می‌شود (گودرزی و اجلالی، ۱۴۰۰).

۲-۲ فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی

بخش نظامی-دفاعی در جهان، شاهد تحولات درخور توجهی است و از روندهای فناوری برای تقویت قابلیت‌ها استفاده می‌کند. روندهای اصلی فناوری‌ها شامل هوش مصنوعی، روباتیک و اینترنت اشیا، برای بهینه‌سازی عملیات دفاعی و افزایش کارایی نظامی‌اند. امروزه جنگ متعارف به شکلی فزاینده با رویکردهای جنگ ترکیبی جایگزین می‌شود و به تعبیری جنگ متعارف را با جنگ سایبری و دیگر قلمروهای جدید ترکیب می‌کند. روندهای نوظهور فناوری‌های نظامی، صحنهٔ نبرد را از چهار جنبهٔ برقراری ارتباط با یکدیگر و هدایت عملیات، قدرت کُشندگی و اثر تخریب، درجهٔ خودمختاری (کم‌کردن دخالت انسان) و پایداری در صنعت دفاعی تغییر می‌دهند (Startus-insights, 2024). در گزارش مرکز تحقیقات کنگرهٔ آمریکا (۲۰۲۲)، روند فناوری‌های بدیع و نوظهور نظامی در کشورهای آمریکا، چین و روسیه، زمینه‌های جدید هوش مصنوعی، تسلیحات کشندهٔ خودکار، تسلیحات فراصوت (هایپرسونیک)، تسلیحات انرژی هدایت‌شده، زیست‌فناوری، فناوری کوانتوم را معرفی کرده است (Sayler , 2022) همچنین دربارهٔ اهمیت این نوع فناوری‌ها باید گفت که کشورهای مختلف و به‌خصوص کشورهای پیشرفته در صنعت نظامی، توجه ویژه‌ای به فناوری نوظهور، به‌عنوان یک مزیت رقابتی و افزایش قدرت نظامی دارند؛ برای مثال در کشور آمریکا، اعضای کنگره و مقامات پنتاگون به‌طور فزاینده‌ای بر توسعهٔ فناوری‌های نظامی نوظهور برای تقویت امنیت ملی ایالات‌متحده و همگام‌شدن با رقبا متمرکز شده‌اند. ارتش ایالات‌متحده برای اطمینان از تسلط خود در عملیات نظامی و تضمین امنیت ملی ایالات‌متحده، مدت‌هاست که بر برتری فناوری تکیه کرده است (Sayler , 2022). در این راستا، آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفتهٔ دفاعی[11] در آمریکا، برای کشف و بهره‌برداری از فناوری‌های نوظهور برای اهداف نظامی و امنیتی، بر نوآوری دفاعی، تمرکز کرده است. در کشور ما و در بخش دفاع نیز، چنین رویکردی در قالب سازمان‌های تحقیقاتی دفاعی ازطریق تعریف و اجرای پروژهٔ مشترک با شبکهٔ همکاران در سطح کشوری، در حال اجراست.

۲-۳ انتخاب فناوری

به نظر کیزا[12] (۲۰۰۱)، انتخاب فناوری به معنای گزینش فناوری‌هایی است که باید روی آنها سرمایه‌گذاری شود. انتخاب فناوری، یک فرایند تصمیم‌گیری است که طی آن مناسب‌ترین فناوری (فرآیند تبدیل داده‌ها به ستاده یا محصول) از میان انتخاب‌های ممکن مشخص می‌شود. مسئلهٔ انتخاب فناوری یکی از مهم‌ترین مسائلی است که پیش روی مدیران و سیاست‌گذاران در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه قرار گرفته است و به سه سطح انتخاب فناوری در سطح ملی، انتخاب فناوری در سطح بخشی (صنعت) و انتخاب فناوری در سطح شرکت تقسیم می‌شود (فرسی[13]، ۱۳۹۱). انتخاب فناوری نشان‌دهندهٔ یک تصمیم حیاتی در مراحل اولیهٔ یک پروژهٔ تحقیقاتی است که تأثیر درخور توجهی بر دوام اقتصادی پروژهٔ تحقیقاتی دارد؛ از این رو نیاز به یک روش منضبط ارزیابی فناوری برای اطمینان از انتخاب مناسب‌تر، کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر راه‌حل است (RenderJan, 2016). با توجه به

اهداف و استراتژی‌های یک شرکت، باید برای انتخاب فناوری مناسب اقدام شود (انصاری و زارع[۱۴]، ۱۳۸۸). بنابراین انتخاب فناوری نوظهور در مراکز تحقیقاتی دفاعی ازنظر راهبردی، زمان، هزینه و تغییر پارادایم و شکل جنگ، اهمیت بالایی دارد؛ زیرا به‌دلیل تحریم همه‌جانبه، به‌ویژه تحریم فناورانه، امکان اکتساب فناوری در قالب خرید و همکاری علمی و فناورانه خیلی کم وجود دارد یا در بیشتر موارد وجود ندارد. بنابراین انتخاب نادرست فناوری نوظهور در مراکز تحقیقاتی دفاعی، به هدررفت زمان و هزینه و از آنها مهم‌تر، به ضعف در بازدارندگی دفاعی کشور منجر می‌شود.

۳ بررسی پیشینهٔ تحقیق

در حوزهٔ ارزیابی و انتخاب فناوری، مطالعات و مدل‌های گوناگونی وجود دارد. محققان قبلی در مدل‌های مختلف، معیارهای متفاوتی مانند فرهنگ، اهداف رقابتی بلندمدت و چرخهٔ عمر فناوری و ریسک را برای ارزیابی و اهداف انتخاب فناوری به کار گرفتند. در اینجا مهم‌ترین مطالعات داخلی و خارجی در این زمینه مرور می‌شود.

۳-۱ مطالعات داخلی

انصاری و زارع (۱۳۸۸)، تعیین عوامل مؤثر بر انتخاب و انتقال فناوری را با روش طوفان فکری، با حضور خبرگان و کارشناسان و روش کمی وزن‌دهی مطالعه کردند. این مقاله حاصل پروژه‌ای میدانی در شرکت صنعتی ایران‌خودرو است. در مقالهٔ حاضر تلاش شده است تا دربارهٔ فرایند انتخاب و انتقال فنّاوری بحث و بر مبنای آن الگوریتم کیفی و کمی انتخاب فنّاوری تشریح و معیارهای درست انتخاب فنّاوری معرفی شود؛ سپس با کمک کارشناسان خبره، ۲۳ عامل مؤثر مطرح در انتخاب فنّاوری در واحد تولید بدنهٔ خودرو در شرکت ایران‌خودرو انتخاب شد و پس از آن تأثیر هریک از عوامل مراحل فرایند مشخص و درنهایت فرایند طراحی الگوریتم تصمیم‌گیری در انتخاب و انتقال فنّاوری به داخل شرکت تعیین شد. بوشهری و نظری‌زاده[۱۵] (۱۳۹۰) در کتاب شناسایی، ارزیابی و انتخاب فناوری در سازمان، مدل‌های موجود انتخاب فناوری را بررسی کردند و پس از بررسی مدل‌ها، یک مدل انتخاب فناوری رادیکال و نوظهور را ارائه دادند. در این مدل پویش فناوری، محیط پویش (اقتصاد، بازارها، سیاست‌ها و جامعه)، آغاز ارزیابی فناوری، ارزیابی فناوری، انتخاب فناوری، بررسی یا ورود به فناوری، اجزای این فرایند است. فرسی (۱۳۹۱) در مطالعهٔ خود، عوامل مؤثر در انتخاب فناوری (مطالعهٔ موردی یک شرکت دانش‌بنیان) با روش AHP و نظر خبرگان را بررسی و تعیین و عوامل اقتصادی ، فنی، مالی، استراتژیک، زیست‌محیطی و انسانی و اجتماعی–سیاسی را به‌عنوان عوامل مؤثر در انتخاب فناوری معرفی کرد. علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی[۱۶] (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای، به توجیه و انتخاب فناوری پیشرفته با رویکرد تلفیقی فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی و ارزیابی نسبت جمعی فازی توجه کرده‌اند. معیارهای انتخاب فناوری در این مطالعه، به سه دستهٔ عمدهٔ بعد مالی، بعد عملیاتی و بعد نیروی انسانی تقسیم شده است.

میرباقری و همکاران (۱۳۹۸)، الگویی را برای روش‌شناسی، ارزیابی و انتخاب فناوری در پروژه‌های تحقیق و توسعهٔ نظامی، با تحلیل مقایسهٔ زوجی و آلفا کرونباخ ارائه کردند. براساس نتایج به دست آمده از این مطالعه، معیارهای هماهنگی باسیاست‌ها، راهبرد نظامی، قابلیت بازدارندگی نظامی، ارتقای خودباوری ملی و اعتمادبه‌نفس

محققان و همچنین در میان دسته‌بندی مربوط به معیارها، گروه معیارهای راهبرد و کارایی عملیاتی، اثر فناوری و خلاقیت و نوآوری، جزء بااهمیت‌ترین معیارهای انتخاب فناوری شناخته شدند. جعفری و همکاران[۱۷] (۱۳۹۹)، مدل انتخاب فناوری مناسب شرکت گاز استان فارس را با استفاده از فن آر–سوارا، وزن بررسی کردند. آنها مدل انتخاب فناوری مناسب برای شرکت گاز را با ۳۳ شاخص نهایی و در ۳ بعُد مالی و اقتصادی، راهبردی و فنی با اعتبارسنجی مدل و پرسش از خبرگان ارائه دادند. بنیادی نائینی و همکاران (۱۳۹۹)، به انتخاب هم‌زمان فناوری و روش انتقال آن از ارجح‌ترین تأمین‌کننده، با استفاده از روش تصمیم‌گیری ترکیبی بهترین–بدترین و تحلیل شبکه‌ای توجه کردند. نتایج حاصل از روش ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه‌ای خاکستری و بهترین–بدترین، به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا بتوانند در شرایط عدم قطعیت، با روشی سیستماتیک و دقیق به انتخاب تأمین‌کنندهٔ بهینه، با توجه به فناوری و روش انتقال مناسب آن مبادرت ورزند.

۳-۲ مطالعات خارجی

شهاب‌الدین و همکاران (۲۰۰۶) پس از بررسی رویکرد موجود، یک چارچوب جدید و بعد یک روش ارزیابی و انتخاب فناوری را ارائه دادند. اجزای کلیدی این چارچوب، متشکل از عوامل مرتبط با تصمیم‌گیری انتخاب فناوری، مفهوم فیلترکردن، دیدگاه فرآیندی به انتخاب فناوری و فرآیندهای مرتبط با آن، دیدگاه سیستمی به عوامل درونی و بیرونی کسب‌وکار است. در این مدل، دو فیلتر الزامات (اولیه و ثانویه) و فیلتر به‌کارگیری وجود دارد که هرکدام معیارهای مختص به خود را دارند. شیان جونگ چو[۱۸] (۲۰۰۹) مطالعه‌ای را با موضوع انتخاب فناوری ساخت پیشرفته، با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی انجام داد. انتخاب فناوری پیشرفته در مدیریت سیستم تولید، برای تعیین رقابت‌پذیری سیستم تولید بسیار مهم است. همچنین انتخاب یک فناوری پیشرفتهٔ مناسب، یک موضوع مهم برای مدیران در هنگام تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری برای بهبود عملکرد تولید است. همچنین ویژگی‌های متعددی در ارزیابی و انتخاب فناوری ساخت در نظر گرفته شده و بیشتر اطلاعات موجود در این مرحلهٔ ذهنی، مبهم است. شرکت‌های تولیدی در تلاش برای رقابت با دیگر شرکت‌های جهانی، بر فناوری پیشرفته سرمایه‌گذاری می‌کنند تا عملکرد تولیدی خود را ازنظر هزینه، کیفیت و انعطاف‌پذیری بهبود بخشند.

شین یونگ چی و همکاران[۱۹] (۲۰۱۰) یک مدل انتخاب ترکیبی را برای فناوری در حال ظهور در کشور تایوان، با روش تحلیل سلسله‌مراتبی ارائه دادند. آنها با روش دلفی فازی به‌طور مؤثر، قضاوت کارشناسان را دربارهٔ معیارهای انتخاب فناوری جمع‌آوری و با تحلیل سلسله‌مراتبی، معیارها و وزن آنها را شناسایی کردند. آنها همچنین ازطریق رویکرد استناد مشترک ثبت اختراع نیز، زمینه‌های اصلی تحقیق و توسعهٔ یک فناوری خاص را از داده‌های ثبت اختراع شناسایی کردند و در پایان از طریق این فرآیند پیشنهادی، به شناخت زمینه‌های کلیدی فناوری روی آوردند.

فاروق و اوبراین (۲۰۱۲) یک چارچوب انتخاب فناوری را متشکل از شش مرحلهٔ یکپارچه برای ادغام تولید در زنجیرهٔ تأمین، با روش آمیخته (تحلیل محتوا و AHP و مدل ارزیابی استراتژیک) ارائه دادند. لیزارالد و همکاران (۲۰۲۰) نقش ارزیابی و انتخاب فناوری را در توسعهٔ پایدار مراکز تحقیقاتی اسپانیا مطالعه کردند و یک مدل تصمیم‌گیری را با پیروی از روش چندمعیارهٔ MIVES برای ارزیابی یک یا چند فناوری ارائه داند. به نظر آنها نقش محوری مراکز تحقیق و توسعه در پیشرفت فناوری در بنگاه‌های صنعتی انکارنشدنی است و خودشان مسئولیت

شناسایی، جمع‌آوری، اکتساب، توسعه و انتقال فناوری را بر عهده می‌گیرند. در میان فعالیت‌های آنها، انتخاب کارآمد فناوری‌های نوظهور در فرآیند مدیریت فناوری، به یک چالش واقعی تبدیل می‌شود. در چنین سناریوهای ناهمگون، معمولاً مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، به‌عنوان یک رویکرد تصمیم‌گیری مناسب پیشنهاد می‌شوند. چندین کار تحقیقاتی، فناوری‌های خاص را در کاربردهای صنعتی انتخاب می‌کنند، اما مراجع بسیار کمی یافت می‌شود که مربوط به مؤسسات تحقیقاتی و به‌ویژه مراکز تحقیق و توسعه باشد. همچنین مارتین[۲۰] (۲۰۲۲) انتخاب فناوری در سامانه‌های اشتراک‌گذاری خودرو در هلند را با رویکرد ریاضی و فرایندهای تصمیم‌گیری مارکوف (SMDP) بررسی کرد.

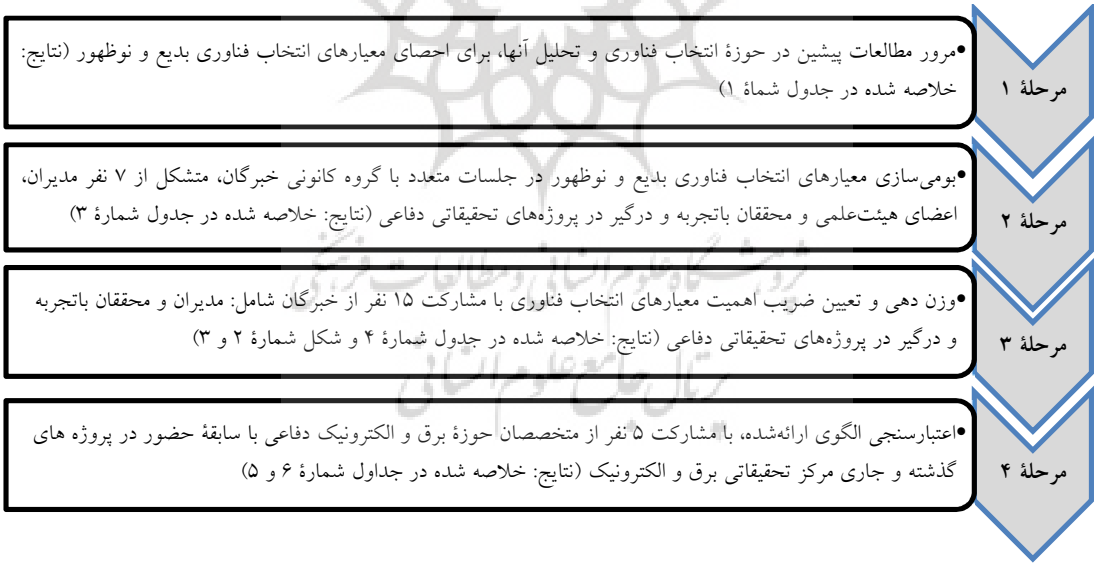
جدول ۱- معیارهای انتخاب فناوری، احصاشده از مرور تحقیقات پیشین

Table 1- Technology selection criteria, obtained from the previous research review

معیار	محقق
مرتبط‌بودن فناوری (پتانسیل بازار، کاربرد، ایجاد ارزش مشتری)، ریسک (ریسک فنی، ریسک تجاری، ریسک مالی)، صیانت‌پذیری، خلق گزینۀ متعدد، وابستگی‌های متقابل (وابستگی متقابل فنی، وابستگی متقابل تجاری)	(Chiesa, 2001)
قابلیت اطمینان، کیفیت، هزینۀ سرمایه، هزینۀ عملیات، سازگاری با سیستم موجود، قابلیت کاربرد و هم‌ترازی استراتژی	شهاب‌الدین و همکاران (۲۰۰۶)
عوامل فناورانه، عوامل مالی، عوامل تجاری، عوامل سازمانی، عوامل زیست‌محیطی	انصاری و زارع (۱۳۸۸)
شایستگی فنّاورانه (پیشرفت فناوری، نوآوری فناوری، کلیدی‌بودن فناوری، فناوری اختصاصی (مالکیت معنوی)، عمومیت فناوری در صنعت، ارتباطات و کاربردهای فناورانه، توسعه‌پذیری فناوری)، اثر تجاری (بازگشت سرمایه (ROI)، اثر بر سهم بازار موجود، پتانسیل ایجاد بازار جدید، اندازۀ بالقوۀ بازار، زمان‌بندی برای عملیاتی‌کردن فناوری)، ریسک (ریسک تجاری، ریسک فنی، ریسک مالی) و پشتیبانی کارکنان فنی	(Shen Yung-Chi et al., 2010)
سرمایه‌گذاری، زمان‌بندی، عدم قطعیت بالا، امکان‌پذیری فنی، سرعت تجاری‌سازی، پیامدها و اثر فناوری، امکان یادگیری یا همکاری اکتساب دانش فنی مرتبط با فناوری، ارزش‌گذاری (فرصت رقابت، نیازمندی یا کشش بازار، توانمندی موجود یا فشار علم)، تعهد راهبردی سازمان به فناوری، سابقۀ فنی به‌عنوان معیار شناسایی و نشانۀ ظهور فناوری (بتنت و مطالعات انجام‌شده)، قلمروی ارزیابی مبتنی بر مقاصد راهبردی و توانمندی سازمان، انواع توانمندی (فنی و R&D، خدمات‌دهی، زنجیرۀ تولید و کارایی آن)	بوشهری و نظری‌زاده (۱۳۹۰)
عوامل بین سازمانی در محیط تصمیم‌گیری (فرهنگ، اهداف رقابتی بلندمدت، ارتباط بین اهداف استراتژیک و مزیت رقابتی)، فرصت‌های مرتبط با یک فناوری، تهدیدات مرتبط با جایگزین فناوری، چرخۀ عمر فناوری، هزینه، کیفیت، زمان بین شروع و اتمام فرآیند تولید، توسعۀ محصول جدید (NPD)، انعطاف‌پذیری	(Farooq & O' Brien, 2012)
هزینه، انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان، کیفیت، بهره‌وری و تأثیر فناوری جدید بر کارکنان	(Ordoobadi, 202)
بعد عملیاتی (قابلیت اطمینان، بهره‌وری کیفیت، انعطاف‌پذیری)، بعد مالی (هزینۀ سرمایه، هزینۀ عملیات، هزینۀ نگهداری، هزینۀ اجرا)، بعد انسانی (انگیزش، همکاری و ارگونومی، ایمنی، آموزش)	علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی (۱۳۹۳)
هزینه، کارایی و بهره‌وری، میزان مصرف انرژی	(Tanga et al., 2014)
راهبرد و کارایی عملیاتی، اثر فناوری، خلاقیت و نوآوری، توجیه اقتصادی- امنیتی، امکان اکتساب فناوری، سیاسی-اجتماعی	میرباقری و همکاران (۱۳۹۸)
نوع فناوری، زیرساخت فناوری، آینده‌نگری، قوانین، ریسک، یادگیرندگی سازمان	بنیادی نائینی و همکاران (۱۳۹۹)
بعد مالی، بعد راهبردی، بعد فنی	جعفری و همکاران (۱۳۹۹)
بلوغ فناوری، وابستگی و ارتباط فناوری، بازار فناوری، ریسک‌های فناوری، صلاحیت کارکنان، امکانات و تجهیزات، استراتژی (نیاز استراتژیک و همسویی استراتژی)، هزینه، زمان‌بندی اجرا و بهره‌برداری از فناوری	(Lizarralde et al, 2020)
عدم قطعیت تقاضای مشتری، خدمات‌دهندگان، هزینه و حاشیۀ سود ناخالص	(Martin, 2022)

۴- روش تحقیق

پژوهش حاضر ازلحاظ هدف، یک تحقیق کاربردی و به‌لحاظ روش و ماهیت یک مطالعهٔ توصیفی- پیمایشی و ازنظر داده و تحلیل داده یک پژوهش کیفی- کمی محسوب می‌شود. داده‌های تحقیق با توجه به مراحل گوناگون تحقیق، به ترتیب به دو صورت کتابخانه‌ای و میدانی به‌وسیلهٔ مصاحبهٔ گروهی و پرسش‌نامه گردآوری شد. در این تحقیق ابتدا پیشینهٔ نظری مرتبط با موضوع و شناسایی مؤلفه‌های مدنظر مرور شد. برای شناسایی معیارها از گروه کانونی و برای رتبه‌بندی و اهمیت معیارهای ارزیابی و انتخاب فناوری نوظهور در پروژه‌های تحقیقاتی مراکز تحقیقاتی دفاعی، از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) استفاده شد. در این تحقیق ابتدا پیشینهٔ نظری مرتبط با موضوع و شناسایی معیارها و عوامل مدنظر بررسی شد و سپس معیارهای موجود در جدول۱ برای بومی‌سازی معیارهای انتخاب فناوری، گروه کانونی متشکل از ۷ نفر مدیران، اعضای هیئت‌علمی و محققان باتجربه و درگیر در پروژه‌های تحقیقاتی دفاعی قرار گرفت و پس از بحث و بررسی معیارهای ارائه‌شده در تحقیقات پیشین، یک دسته‌بندی جدید و بومی از معیارهای انتخاب فناوری نوظهور دفاعی ارائه شد. در ادامه، وزن‌دهی و تعیین ضریب اهمیت معیارهای انتخاب فناوری با مشارکت ۱۵ نفر از خبرگان شامل مدیران و محققان باتجربه و درگیر در پروژه‌های تحقیقاتی دفاعی، به‌وسیلهٔ روش FAHP به انجام رسید. در پایان نیز برای اعتبارسنجی الگوی ارائه‌شده، یک مطالعهٔ موردی برای انتخاب فناوری در مرکز تحقیقاتی برق و الکترونیک انجام شد که خبرگان آن متشکل از ۵ نفر از محققان و اعضای هیئت‌علمی آن مرکز بودند. تحقیق حاضر، در چهار مرحله به انجام رسیده است که مراحل اجرای آن، به‌ترتیب در قالب شکل شمارهٔ ۱ آمده است.



شکل۱- مراحل انجام تحقیق

Fig.1- Research Steps

این تحقیق در سال ۱۴۰۲ و در سطح مراکز تحقیقاتی راهبردی وزارت دفاع به انجام رسید. با توجه به اینکه در این تحقیق، از روش خبره‌سنجی برای تدوین مدل استفاده شد، به‌منظور افزایش روایی و پایایی آن سعی شد تا از مشارکت‌کنندگانی استفاده شود که در حوزهٔ مدنظر از تخصص و انگیزهٔ کافی برخوردار باشند (استادان دانشگاهی،

مدیران ارشد و کارشناسان صنایع دفاعی) و همچنین پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی معیارها، با حضور محقق و تشریح موارد موردنیاز و توضیحات کافی به پاسخگویان تکمیل شده است. شرط تعیین خبرگان در این تحقیق، شامل حداقل ۵ سال سابقهٔ کار تحقیقاتی، مدرک تحصیلی ارشد و دکتری و سابقهٔ پست سازمانی اجرایی و مدیریتی در سطح دانشگاه و مراکز و همچنین مشارکت در پروژه‌های تحقیقاتی بدیع و نوظهور در حال اجرا هستند. همچنین در این تحقیق از روش نمونه‌گیری گلوله برفی و هدفمند استفاده شد. اعضای حاضر در گروه کانونی این تحقیق نیز در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای وزن‌دهی به معیارها مشارکت داشتند. با توجه به اینکه در این تحقیق از روش خبره‌سنجی برای تدوین مدل استفاده شد، به‌منظور افزایش روایی و پایایی آن سعی شد تا از مشارکت‌کنندگانی استفاده شود که در حوزهٔ مدنظر از تخصص و انگیزهٔ کافی برخوردار باشند (استادان دانشگاهی) و همچنین پرسش‌نامه‌ها و جداول مقایسات زوجی معیارها، با حضور محقق و تشریح موارد موردنیاز و توضیحات کافی به پاسخگویان تکمیل شده است. با توجه به اینکه روش تنظیم و تحلیل پرسش‌نامه به روش سلسله‌مراتب فازی است، نرخ ناسازگاری نیز محاسبه شده است. براساس نتایج تحلیل انجام‌شده به‌وسیلهٔ نرم‌افزار اکسل (۲۰۱۶)، نرخ ناسازگاری براساس دو شاخص CR_g و CR_m در تمامی جداول مربوط به تحلیل و تعیین وزن مؤلفه‌ها و معیارها، کمتر از ۰٫۱ بودند که نشان داد ماتریس فازی، از سازگاری مناسبی برخوردار است. برای تعیین روایی پرسش‌نامه ازنظر دو نفر از استادان دانشگاهی بهره گرفته شد. در این تحقیق از دو تکنیک تحلیل محتوای گروه کانونی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است که شرح مختصری از آنها در زیر آمده است.

۴-۱ تحلیل محتوی در گروه کانونی

یکی از روش‌های گردآوری داده‌ها در طرح‌های کیفی، گروه‌های کانونی است که روشی برای تبادل افکار و مذاکره است و طبق یک برنامه‌ریزی دقیق طراحی می‌شود تا ادراکات و بینش مصاحبه‌شوندگان را در محیطی به دور از تهدید و فشار بسنجد (Morgan and Kreuger, 1993). پژوهشگر شرکت‌کنندگان را بر پایهٔ طرح پژوهش و توانایی همکاری انتخاب می‌کند. با توجه به معیارهای درخور توجه ارائه‌شده در تحقیقات پیشین و به‌دلیل همفکری و مشارکت همهٔ اعضای گروه کانونی در بومی‌سازی و دسته‌بندی معیارهای متناسب با زیست‌بوم تحقیقات دفاعی، در این تحقیق از روش گروه کانونی نخبگان استفاده شده است. به عبارت دیگر دلیل استفاده از تحلیل گروه کانونی، دستیابی به توصیفی عمیق و غنی از تجارب، نگرش‌ها و ادراک محققان دربارهٔ موضوع بررسی‌شده و بومی‌سازی معیارهای احصاشده از جدول ۱ است.

۴-۲ فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

بی‌اطمینانی موجود در قضاوت‌های ترجیحی، بی‌اطمینانی اولویت‌بندی آلترناتیوها را افزایش می‌دهد و به همان نسبت، تعیین توافق (ثبات منطقی) اولویت‌ها را مشکل می‌کند. AHP فازی برای اجتناب از این مخاطرات عملکردی توسعه یافت تا مسائل سلسله‌مراتبی ابهام‌دار را حل کند (رحیمی و همکاران[۲۱]، ۱۴۰۲). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره محسوب می‌شود که بر پایهٔ مقایسات زوجی استوار است. تئوری فازی برای مواجهه با بیشتر پدیده‌های جهان واقع به کار می‌رود که در آنها عدم قطعیت وجود دارد و

بسیاری از مجموعه‌ها، اعداد و رویدادهای دنیای واقعی را با منطق فازی توجیه می‌کند. در سلسله‌مراتبی فازی با تعمیم مفاهیم فازی در تعیین ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی دخالت داده می‌شود. بعد از تعریف معیارها، یک پرسش‌نامه تهیه می‌شود تا سطوح اهمیت این معیارها تعیین شود. روش فازی چانگ[۲۲] (۱۹۹۶)، شامل رسم نمودار سلسله‌مراتبی، تعریف اعداد فازی به‌منظور انجام مقایسه‌های زوجی، تشکیل ماتریس مقایسهٔ زوجی با به‌کارگیری اعداد فازی، محاسبهٔ ماتریس S برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسهٔ زوجی، محاسبهٔ درجهٔ بزرگیSها نسبت‌به همدیگر، محاسبهٔ وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی و در مرحلهٔ آخر محاسبهٔ بردار وزن نهایی است (رحیمی و برارنیا[۲۳]، ۱۴۰۰). رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی با اعداد فازی مثلثی نشان داده و اعداد به‌صورت سه‌گانه$M = (L\ M\ U)$ معرفی می‌شود. جدول۲، طیف ۹ مقوله‌ای فازی به کار گرفته شده در این تحقیق را برای مقایسات زوجی معیارها نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقیاس ۹ مقوله‌ای به کار گرفته شده برای مقایسهٔ زوجی معیارها درروش AHP فازی

Table 2- The scale of fuzzy AHP pair-wise comparison

ردیف	عبارت کلامی	معادل فازی	معادل فازی معکوس
۱	اهمیت یکسان	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)
۲	اهمیت یکسان به متوسط	(۱،۲،۳)	(۰٫۳۳،۰٫۵،۱)
۳	اهمیت متوسط	(۲،۳،۴)	(۰٫۲۵،۰٫۳۳،۰٫۵)
۴	اهمیت متوسط به زیاد	(۳،۴،۵)	(۰٫۲۰،۰٫۲۵،۰٫۳۳)
۵	اهمیت زیاد	(۴،۵،۶)	(۰٫۱۶،۰٫۲۰،۰٫۲۵)
۶	اهمیت زیاد به خیلی زیاد	(۵،۶،۷)	(۰٫۱۴،۰٫۱۶،۰٫۲۰)
۷	اهمیت خیلی زیاد	(۶،۷،۸)	(۰٫۱۲،۰٫۱۴،۰٫۱۶)
۸	اهمیت خیلی زیاد به کاملاً زیاد	(۷،۸،۹)	(۰٫۱۱،۰٫۱۲،۰٫۱۴)
۹	اهمیت کاملاً زیاد	(۸،۹،۱۰)	(۰٫۱۱،۰٫۱۱،۰٫۱۱)

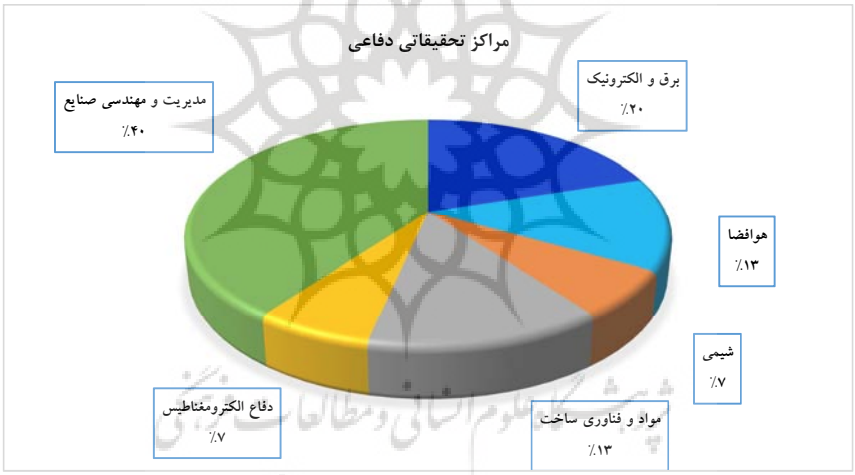
بیشتر مطالعات انجام‌شده در حوزهٔ انتخاب فناوری و به‌ویژه در سال‌های اخیر، مبتنی بر رویکرد ریاضی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده‌اند. در تأیید این مطلب، لیزارالد و همکاران (۲۰۲۰) معتقدند که انتخاب کارآمد فناوری‌های نوظهور در فرآیند مدیریت فناوری، به یک چالش واقعی تبدیل و با وجود سناریوهای ناهمگون برای انتخاب آنها، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌عنوان یک رویکرد تصمیم‌گیری مناسب پیشنهاد شده‌اند. از سوی دیگر، در تئوری‌های تصمیم‌گیری، ممکن است به‌کارگیری روش‌های مختلف، به جواب‌های مختلفی ختم شود و دلیل آن هم شاید این است که این روش‌ها جزء روش‌های بهینه‌سازی نیستند. درجایی که تمایز بین گزینه‌ها مشهود باشد، انتخاب روش‌های مختلف تصمیم‌گیری نزدیک به هم، تا حدودی جواب یکسانی را ارائه می‌کنند، اما درجایی که تمایز بین گزینه‌ها زیاد نباشد، انتخاب روش‌های تصمیم‌گیری به جواب‌های متمایز منجر می‌شود که در این حالت انتخاب روش مناسب باید با توجه به شرایط تصمیم‌گیری، انجام شود. در بین روش‌های گوناگون تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، چون روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) دارای ویژگی‌هایی ازجمله ساختار کاملاً مشخص و قاعده‌مند از توالی هدف، معیارها و زیرمعیارها و همچنین قابلیت تعیین دقیق اولویت معیارها مبتنی بر مقایسه‌های زوجی و همچنین قابلیت مقایسه‌شدن هر معیار با دیگر معیارها، بدون واسطهٔ

بالادستی خود او است و بی‌اطمینان موجود در قضاوت‌های ترجیحی، بی‌اطمینان اولویت‌بندی آلترناتیوها را افـزایش می‌دهد، به همان نسبت، تعیین توافق (ثبات منطقی) اولویت‌ها را مشکل می‌کند؛ بنابراین با توجه به اینکه در تحقیـق حاضر نیز، هدف ارائهٔ الگویی است که با تعیین معیارهای کلیدی و ضرایب اهمیت آنها، فناوری مناسب برای توسعهٔ آنها را در مراکز تحقیقات دفاعی انتخاب کند؛ بنابراین در تحقیق حاضر، روش تحلیل سلسله‌مراتبی فـازی (FAHP) به کار گرفته شده است.

۵- یافته‌ها

۵-۱ ویژگی‌های جمعیت‌شناختی خبرگان

توصیف آماری داده‌ها، گامی در جهت تشخیص الگوی حاکم بر آنهاست. به‌منظور شناخت بهتر ماهیـت جامعـهٔ خبرگان پژوهش و آشنایی بیشتر با متغیرهای پژوهش، لازم است این داده‌ها قبل از تجزیه‌وتحلیـل داده‌هـای آمـاری توصیف شود. در مرحلهٔ گردآوری داده‌ها در گروه کانونی ۷ نفر، پرسش‌نامهٔ تحلیل سلسـله‌مراتبـی فـازی ۱۵ نفـر و اعتبارسنجی الگوی ارائه‌شده، ۵ نفر از مدیران، اعضای هیئت‌علمـی دانشـگاهی و محققـان مراکـز تحقیقـات دفـاعی بودند. در شکل ۲، جامعهٔ آماری خبرگان برحسب مراکز تحقیقاتی دفاعی نمایش داده شده است.



شکل ۲- مراکز تحقیقاتی در مرحلهٔ FAHP

Fig. 2- Research centers in the FAHP phase

۵-۲ بومی‌سازی و دسته‌بندی معیارهای انتخاب فناوری در گروه کانونی

دسته‌بندی و بومی‌سازی معیارهای احصاشده از مطالعات و مدل‌های انتخاب فناوری، در این بخـش انجـام شـده است. در این راستا از مصاحبه و جمع‌بندی با گروه کانونی، یک دسـته‌بنـدی بـومی و جدیـد از معیارهـای انتخـاب فناوری بدیع و نوظهور در ۵ معیار مختلف ارائه شد. همان‌طور کـه در جـدول ۳ مشـاهده مـی‌شـود، معیـار قابلیـت شایستگی فناوری، امکان‌پذیری و قابلیت توسعه، قابلیت اقتصادی و تجاری فناوری، اثربخشی فناوری و ریسک‌های فناوری، به‌عنوان پنج دستهٔ معیار بومی انتخاب فناوری بدیع و نوظهور دفاعی در مراکز تحقیقاتی شناسایی شد. نکتـهٔ مهم این است که انتخاب فناوری، یکی از مراحل مدیریت فناوری است و در انتخـاب آن بایـد بـه دیگـر فراینـدها

ازجمله نحوهٔ اکتساب فناوری نیز توجه کرد. در این تحقیق، با توجه به مأموریت مراکز تحقیقاتی در خلق و توسعهٔ فناوری‌های دفاعی و با نظر گروه کانونی، روش تحقیق و توسعهٔ داخلی به‌عنوان روش پیش‌فرض اکتساب فناوری‌های بدیع و نوظهور در صنعت دفاعی است.

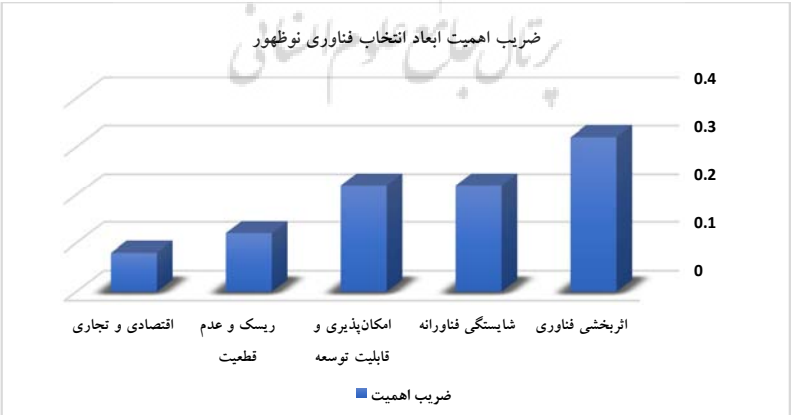
جدول۳- دسته‌بندی جدید معیارهای بومی انتخاب فناوری نوظهور (یافته‌های تحقیق)

Table 3- New classification of local criteria for selecting emerging technology (research finding)

معیار	زیر معیار
شایستگی فناوری	چرخهٔ عمر و سطح بلوغ فناوری در دنیا، سابقهٔ علمی و فنی (بتنت و مطالعات انجام‌شده در این حوزه)، میزان بدیع و نوآوربودن نسبت‌به فناوری مشابه، وابستگی و ارتباط با دیگر فناوری‌ها
امکان‌پذیری و قابلیت توسعه	توانمندی موجود دانشی برای خلق و توسعهٔ فناوری، انعطاف‌پذیری و قابلیت انطباق با سیستم موجود، قابلیت عملیاتی‌شدن و کاربردی‌شدن فناوری، آموزش و یادگیری دانش فنی مرتبط، مدت‌زمان رسیدن به فناوری، زیرساخت و تجهیزات آزمایشگاهی موجود
اثربخشی فناوری	راهبردی‌بودن فناوری، عملکرد فناوری در ارتقای قابلیت بازدارندگی دفاعی، مقیاس کاربرد و کاربری چندگانهٔ فناوری (بذر توسعهٔ فناوری)، اثربخشی فناوری نسبت‌به دیگر فناوری‌های مشابه
قابلیت اقتصادی و تجاری فناوری	بازدهی فناوری (ROA)، هزینه و سرمایه‌گذاری، پتانسیل تجاری‌سازی
ریسک فناوری	ریسک فنی (عدم اطمینان از دستیابی به فناوری)، ریسک اقتصادی (نرخ بازدهی مورد انتظار سرمایه‌گذاری)، ریسک مالی (تأمین مالی فناوری)، ریسک امنیتی و حفاظتی

۵-۳ وزن‌دهی و تعیین ضریب اهمیت معیارها؛ ارائهٔ الگوی نهایی سلسله‌مراتبی

پس از ارائهٔ معیارهای بومی و دسته‌بندی جدید از معیارهای ارزیابی و انتخاب فناوری خای بدیع و نوظهور در مراکز تحقیقاتی، به‌منظور وزن‌دهی و تعیین ضریب اهمیت معیارهای ارزیابی و انتخاب این فناوری‌ها، از فن تحلیل سلسله‌مراتبی فازی(FAHP) چانگ (۱۹۹۶) با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ استفاده sa. نتایج حاصل از تحلیل در جدول ۴ و شکل ۳ ارائه شده است. همچنین جدول ۳ نشان می‌دهد نرخ ناسازگاری (CR_g و CR_m) کمتر از ۰,۱ است و این نشان‌دهندهٔ این است که معیارها و زیرمعیارها دارای نرخ ناسازگاری مناسب و پذیرفتنی‌اند. نرخ ناسازگاری معیارهای اصلی نیز به میزان CR_g =۰,۰۷۳ و CR_m =۰,۰۵۳ است.



شکل ۳- ضرایب اهمیت معیارهای اصلی ارزیابی و انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی

Fig. 3- Importance coefficients of the main evaluation criteria and the selection of novel and emerging defense technologies

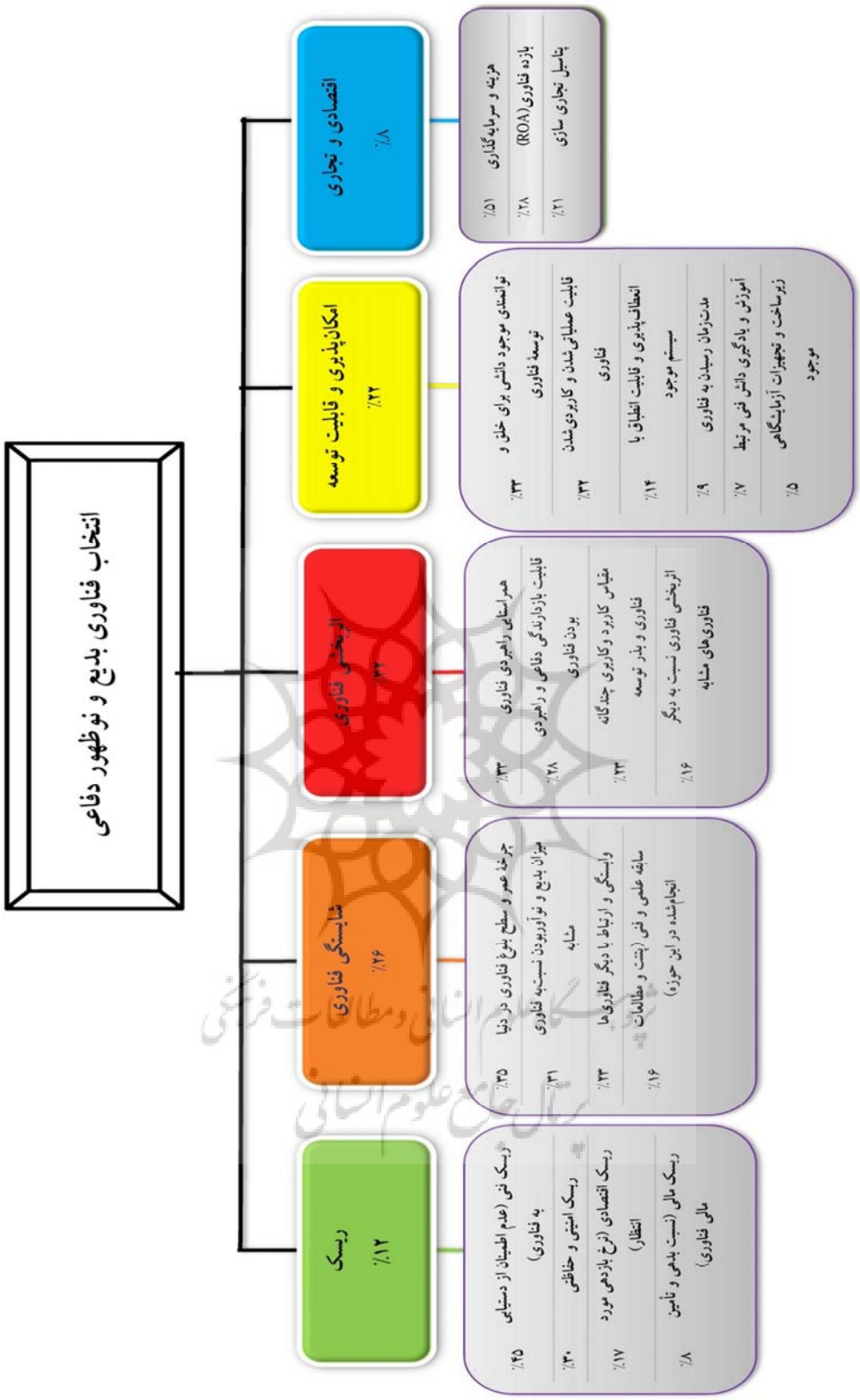
جدول ۴- ضریب اهمیت معیارهای انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور در مراکز تحقیقاتی

Table 4- Coefficient of importance of selection criteria for innovative and emerging technologies in research centers

رتبه	معیار اصلی	زیرمعیار	وزن نسبی	نرخ ناسازگاری CR_g	نرخ ناسازگاری CR_m
۱	**اثربخشی فناوری** ۰/۳۲	راهبردی‌بودن فناوری	۰/۳۳	۰/۰۷۳	۰/۰۴۱
		عملکرد فناوری در ارتقای بازدارندگی دفاعی	۰/۲۸		
		مقیاس کاربرد و کاربری چندگانه فناوری (بذر توسعهٔ فناوری)	۰/۲۳		
		اثربخشی فناوری نسبت‌به دیگر فناوری‌های مشابه	۰/۱۶		
۲	**شایستگی فناوری** ۰/۲۶	چرخهٔ عمر و سطح بلوغ فناوری در دنیا	۰/۳۵	۰/۰۳۴	۰/۰۵۱
		میزان بدیع و نوآوربودن نسبت‌به فناوری مشابه	۰/۳۱		
		وابستگی و ارتباط با دیگر فناوری‌ها	۰/۱۹		
		سابقهٔ علمی و فنی (بتنت و مطالعات انجام‌شدهٔ حوزهٔ فناوری)	۰/۱۵		
۳	**امکان‌پذیری و قابلیت توسعل فناوری** ۰/۲۲	توانمندی موجود دانشی برای خلق و توسعهٔ فناوری	۰/۳۳	۰/۰۸۲	۰/۰۹۱
		قابلیت عملیاتی‌سازی و کاربردی‌شدن فناوری	۰/۳۲		
		زیرساخت و تجهیزات آزمایشگاهی موجود	۰/۱۴		
		مدت‌زمان رسیدن به فناوری	۰/۱۴		
		انعطاف‌پذیری و قابلیت انطباق با سیستم موجود	۰/۰۷		
		آموزش و یادگیری دانش فنی مرتبط	۰/۰۵		
۴	**ریسک‌های فناوری** ۰/۱۲	ریسک فنی (نرخ توسعهٔ سطح فناوری)	۰/۴۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۱
		ریسک امنیتی اطلاعاتی	۰/۳۰		
		ریسک مالی (تأمین مالی فناوری)	۰/۱۷		
		ریسک اقتصادی (نرخ بازدهی مورد انتظار سرمایه‌گذاری)	۰/۰۸		
۵	**قابلیت اقتصادی و تجاری فناوری** ۰/۰۸	هزینه و سرمایه‌گذاری	۰/۵۱	۰/۰۷۷	۰/۰۳۸
		بازدهی فناوری (ROA)	۰/۲۸		
		پتانسیل تجاری‌سازی	۰/۲۱		

براساس جدول ۳ و شکل۳، در بین ۵ معیار اصلی، معیار اثربخشی فناوری با ضریب اهمیت ۳۲٪ بیشترین اهمیت را دارد و شایستگی فناورانه ۲۶٪، امکان‌پذیری و قابلیت توسعه ۲۲٪، ریسک ۱۲٪ و معیار اقتصادی و تجاری ۸٪ به ترتیب، در اولویت‌های بعدی در انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور در پروژه‌های تحقیقاتی دفاعی قرار دارند. شکل ۴ الگوی نهایی تحقیق را نشان می‌دهد که دربارهٔ هریک از معیارهای آن، شرح مختصری به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

۱ – معیار اثربخشی فناوری: درواقع منظور از شایستگی سازمانی فناوری، معیاری است که فناوری را برحسب توجه به ذی‌نفعان و اهداف کلان و راهبردهای سازمان و همچنین با اثربخشی نسبت‌به فناوری مشابه می‌سنجد. این معیار با ضریب اهمیت ۳۲٪، بیشترین اهمیت را در انتخاب فناوری نوظهور دفاعی دارد. زیرمعیارهای مدنظر آن به ترتیب اولویت و اهمیت شامل هم‌راستایی با راهبردها و اهداف سازمان، عملکرد فناوری در ارتقای قابلیت بازدارندگی دفاعی فناوری، مقیاس کاربرد و کاربری چندگانهٔ فناوری (بذر توسعهٔ فناوری) و اثربخشی فناوری نسبت‌به دیگر فناوری‌های مشابه‌اند؛



شکل ۴- الگوی سلسله‌مراتبی معیارهای انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی

Fig. 4. Hierarchical model of selection criteria for innovative and emerging defense technologies

۲- معیار شایستگی‌های فناوری: منظور از معیار شایستگی‌های فناوری، معیاری است که فناوری را برحسب معیارها و ظرفیت فنی و دانشی، بررسی میزان پیچیدگی فناوری و همچنین موارد نامشهود مرتبط با آن می‌سنجد. این معیار ضریب اهمیت ۲۶٪ را در انتخاب فناوری نوظهور دفاعی دارد. زیرمعیارهای مدنظر آن به ترتیب اولویت و اهمیت شامل چرخهٔ عمر و سطح بلوغ فناوری در دنیا، وابستگی و ارتباط با دیگر فناوری‌ها، سابقهٔ علمی و فنی (بتنت و مطالعات انجام‌شدهٔ حوزهٔ فناوری) و میزان بدیع و نوآوربودن نسبت‌به فناوری مشابه‌اند؛

۳- معیار امکان‌پذیری و قابلیت توسعهٔ فناوری: منظور از این معیار، معیارهایی است که فناوری را برحسب ظرفیت صنعتی، قابلیت اجرا و پشتیبانی فنّاوری و امکانات و ظرفیت علمی موجود در سازمان می‌سنجد. درواقع به‌نوعی از آن به امکان‌پذیری فنی نام برده می‌شود. این معیار ضریب اهمیت ۲۲٪ را در انتخاب فناوری نوظهور دفاعی دارد. زیرمعیارهای مدنظر آن به ترتیب اولویت و اهمیت شامل توانمندی موجود دانشی برای خلق و توسعهٔ فناوری، قابلیت عملیاتی‌سازی و کاربردی‌شدن فناوری، انعطاف‌پذیری و قابلیت انطباق با سیستم موجود، مدت‌زمان رسیدن به فناوری، آموزش و یادگیری دانش فنی مرتبط، تجهیزات آزمایشگاهی موجودند؛

۴- ریسک‌های فناوری: منظور از ریسک‌های فناوری، ریسک‌هایی است که فناوری را برحسب میزان نااطمینانی صنعتی و فنی (حساسیت، نوسانات و نامطلوب‌بودن)، اقتصادی و مالی به‌ویژه دربارهٔ چرخهٔ عمر، روند رشد و کارایی فناوری می‌سنجد. این معیار ضریب اهمیت ۱۲٪ را در انتخاب فناوری نوظهور دفاعی دارد. زیرمعیارهای مدنظر آن به ترتیب اولویت و اهمیت شامل ریسک فنی، ریسک امنیتی و اطلاعاتی، ریسک اقتصادی (نرخ بازدهی مورد انتظار سرمایه‌گذاری) و ریسک مالی (تأمین مالی فناوری) هستند؛

۵- قابلیت اقتصادی و تجاری فناوری: معیاری است که فناوری را برحسب هزینه و سرمایه‌گذاری لازم، بازدهی فناوری (ROA)، پتانسیل تجاری‌سازی فناوری و محصولات مبتنی بر این فناوری، در سازمان می‌سنجد. درواقع به‌نوعی از آن به امکان‌پذیری اقتصادی نام برده می‌شود. این معیار ضریب اهمیت ۸٪ را در انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی دارد.

۵-۴ اعتباربخشی الگوی ارائه‌شده در قالب مطالعهٔ موردی

در این بخش، اعتباربخشی الگوی سلسله‌مراتبی معیارهای انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی با بررسی الگوی ارائه‌شده در قالب یک مطالعهٔ موردی و براساس داده‌های واقعی بررسی شد. با توجه به اهمیت فناوری‌های حوزهٔ برق و الکترونیک و نقش‌آفرینی این حوزه در بیشتر پروژه‌های بدیع و نوظهور به‌عنوان دانش مادر، یک مرکز تحقیقاتی دفاعی در حوزهٔ برق و الکترونیک به‌عنوان مطالعهٔ موردی برای این اعتبارسنجی انتخاب شد. تهدیدات سلاح‌های کوچک و انبوه در جنگ‌های آینده و همچنین تهدیدات پهبادها به‌صورت گروهی، از چالش‌های فناورانهٔ جدی حال و آیندهٔ مبتنی بر تهدیدات و جنگ نسل ششم در صنعت دفاعی‌اند که در جنگ اخیر روسیه و اوکراین بسیار به کار رفته و به آنها توجه شده است. برای پاسخ‌گویی به این تهدیدات و در راستای ارتقای بازدارندگی دفاعی، بخش دفاع باید به فناوری‌های موردنیاز برای مقابله با این تهدیدات تجهیز شود. این دسته از فناوری‌ها، تنها در اختیار برخی از کشورها هستند که به هیچ وجه امکان اکتساب ازطریق آنها وجود ندارد.

این نیاز و چالش فناورانه ازطریق سلسله‌مراتب فرماندهی اعلام شده است. صنعت برق و الکترونیک و فناوری‌های ارتباطی، یکی از حوزه‌هایی است که در جنگ‌های نوین، به‌خصوص در رفع این تهدید و چالش فناورانه، نقش تعیین‌کننده دارد. بر همین اساس محققان و استادان مرکز تحقیقاتی مطالعه‌شده طی تحقیقاتی، سه راهکار فناورانه شامل ۱- دفاع با سلاح‌های انرژی مستقیم HPM[۲۴] ؛ - دفاع با سلاح‌های انرژی مستقیم لیزری؛ ۳- دفاع با سلاح‌های انرژی مستقیم ریلگان[۲۵] را برای حل این چالش معرفی کردند. حال سؤال این است که از بین این سه نوع سلاح که هرکدام فناوری‌های خاص خود را دارند، کدام نوع برای سرمایه‌گذاری و انجام تحقیق و توسعه در مرکز تحقیقاتی دفاعی انتخاب شوند. به عبارت دیگر، اولویت انتخاب با کدام راهکار فناورانه است. در ادامه، تشریح مختصری از هرکدام از این فناوری‌ها ارائه شده است.

الف) سلاح‌های انرژی مستقیم با توان بالا (HPM): فناوری به کار گرفته شده در این نوع سلاح‌ها، بیش از ۳۰ سال است که در حال توسعه است و پیشرفت‌های درخور توجهی در اندازه، وزن و قدرت سلاح ایجاد کرده است و دو نوع اصلی از فناوری HPM با عنوان HPM پیوسته و امواج پالسی وجود دارد (McGonegal, 2020). مهم‌ترین قابلیت‌های این فناوری عبارت‌اند از قابلیت مقابلهٔ گروهی پهباد و موشک کروز، کاهش زمان درگیری در اثر حرکت سریع موج الکترونیکی، کاهش هزینهٔ درگیری (هزینهٔ پالس الکترومغناطیسی فقط هزینهٔ برق مصرفی آن است)، امکان استفاده در محیط شهری (دفاع بی‌صدا) و امکان حفاظت از سایت‌های حساس (فرودگاه، هسته‌ای، نظامی) بدون اخلال در روند و عملکرد آنهاست.

ب)سلاح‌های انرژی مستقیم لیزری: فناوری به کار گرفته شده در این سلاح، با انرژی هدایت‌شده براساس لیزر است. پرتوی لیزر عموماً یک پرتوی کشندهٔ بسیار قدرتمند در نظر گرفته می شود که از یک تفنگ لیزری دستی برای تبخیر سربازان، تخریب ساختمان و زره‌های هدف ارسال می‌شود. یک سلاح انرژی مستقیم لیزری به‌سرعت برای درگیری‌های نزدیک درزمانی بسیار کوتاه عمل می‌کند. سلاح‌های با انرژی لیزری علاوه بر تخریب‌کنندگی، برای افزایش انعطاف‌پذیری و کارایی عملیاتی، در برابر طیف گسترده‌ای از تهدیدات هوایی اختلال ایجاد می‌کنند.

ج)سلاح انرژی مستقیم ریلگان: سلاح الکترومغناطیسی، نوع جدیدی از سلاح است که با فناوری پرتاب ریل الکترومغناطیسی توسعه یافته است. ریلگان یک وسیلهٔ موتور خطی است که به‌طور معمول به‌عنوان سلاح طراحی می‌شود و از نیروی الکترومغناطیسی برای پرتاب گلوله‌های با سرعت بالا استفاده می‌کند. به‌طور معمول پرتابه حاوی مواد منفجره نیست، در عوض برای ایجاد خسارت به سرعت، جرم و انرژی جنبشی متکی است.

۵-۴-۱ انتخاب فناوری بدیع و نوظهور در مطالعهٔ موردی

برای انتخاب فناوری نوظهور از بین سه راهکار فناورانه ارائه‌شده ازطریق متخصصان مراکز تحقیقاتی برق و الکترونیک، براساس طیف لیکرت، نظرسنجی انجام شد که نمونه‌ای از محاسبات آن در جدول ۴ آمده است.

در این فرآیند ابتدا پرسش‌نامه‌ای با طیف لیکرت شامل معیارها و زیرمعیارهای انتخاب فناوری نوظهور به دست آمده از شکل۴ تنظیم و در اختیار ۵ نفر از محققان و کارشناسان دفاعی حوزهٔ برق و الکترونیک قرار داده شد تا به فناوری‌های مدنظر برحسب معیارهای انتخاب فناوری الگوی ارائه‌شده در این تحقیق، امتیاز دهند. در ادامه، برای به دست آوردن فناوری منتخب امتیاز به دست آمده از هر معیار (میانگین نظرات متخصصان) را در وزن آن زیر معیار

(همان ضریب اهمیت به دست آمده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در جدول ۴) ضرب می‌کند تا نمرهٔ زیرمعیارها به دست آید. نمرهٔ نهایی زیرمعیارهای هر معیار در وزن معیار مدنظر ضرب می‌شود تا امتیاز معیار به دست آید. نمونهٔ محاسبات در جدول ۴ و جمع امتیازات موزون پنج معیار فناوری بدیع و نوظهور در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول۵- نمونهٔ محاسبات انتخاب فناوری بدیع و نوظهور

Table 5. Examples of calculations for the selection of innovative and emerging technology

معیار	زیر معیار	وزن زیرمعیار	فناوری ۱		فناوری ۲		فناوری ۳	
			امتیاز	امتیاز موزون	امتیاز	امتیاز موزون	امتیاز	امتیاز موزون
قابلیت اقتصادی و تجاری فناوری	بازده فناوری	۰/۲۸	۴	۰/۰۹	۲	۰/۰۴	۳	۰/۰۶
	هزینه و سرمایه‌گذاری کمتر	۰/۵۱	۳	۰/۱۲	۳	۰/۱۲	۲	۰/۰۸
	پتانسیل تجاری‌سازی	۰/۲۱	۴	۰/۰۶	۳	۰/۰۵	۴	۰/۰۶
			....	.....	....			

در این محاسبات، امتیاز ریسک فناوری به‌عنوان یک عامل کاهنده به شمار می‌آید و امتیاز آن از امتیاز کل ابعاد دیگر کسر می‌شود. امتیاز نهایی فناوری بدیع و نوظهور نیز به دست می‌آید. بر این اساس، سه راهکار فناورانه به ترتیب اولویت انتخاب عبارت‌اند از؛ ۱- دفاع با سلاح انرژی مستقیم (HPM)؛ ۲-دفاع با سلاح انرژی مستقیم ریلگان و ۳- دفاع با سلاح انرژی مستقیم لیزری. با توجه نتایج جدول ۶، فناوری HPM با امتیاز ۳,۵۵ به‌عنوان فناوری بدیع و نوظهور برای خلق و توسعه در مرکز تحقیقاتی دفاعی حوزهٔ برق و الکترونیک انتخاب شد.

جدول۶- نتایج محاسبات انتخاب فناوری بدیع و نوظهور مطالعهٔ موردی

Table 6.-The results of the selection calculations of innovative and emerging technology of the case study

رتبه	راهکار فناورانه	امتیاز نهایی
۱	فناوری نوظهور اول (HPM)	۳,۵۵۴
۲	فناوری نوظهور سوم (ریلگان)	۲,۶۷۹
۳	فناوری نوظهور دوم (لیزر)	۲,۱۴۰

۶- بحث

گرچه خلق و توسعهٔ فناوری‌های بدیع و نوظهور، افزایش قدرت نظامی و بازدارندگی دفاعی را به‌همراه دارند، اما باید به معیارهای انتخاب فناوری‌ها توجه کرد تا خطرات ناشی از نادرستی انتخاب و طولانی‌مدت‌شدن زمان اکتساب و بهره‌برداری از فناوری‌ها، کاهش یابد؛ به‌خصوص زمانی که با توجه به تحریم‌های ظالمانهٔ بخش دفاعی کشور، تحقیق و توسعهٔ داخلی، تنها راه اکتساب فناوری باشد. پس باید یک ارزیابی عمیق از فناوری‌های نامزد، منابع، تخصص و همچنین تجهیزات در دسترس انجام شود. از این رو به یک روش مناسب و منضبط انتخاب فناوری برای اطمینان از انتخاب مناسب‌تر، کارآمدتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر فناوری نیاز است. به انتخاب فناوری، به‌عنوان یکی از پنج مرحلهٔ فرآیند مدیریت فناوری توجه می‌شود. انتخاب فناوری مناسب در میان گزینه‌های جایگزین، به‌دلیل افزایش گستردهٔ تعداد فناوری‌ها و پیچیدگی آنها، ازجمله چالش‌برانگیزترین فرایند در این زمینه

است. بنابراین، تجزیه‌وتحلیل ساختاری معیارها و عوامل دخیل در فرآیند انتخاب ضرورتی، انکارناپذیر است. براساس مرور مطالعات در این تحقیق، مدل‌ها و الگوهای گوناگونی بررسی شده است که در آنها معیارهای زیادی برای ارزیابی و انتخاب فناوری وجود داشت. اما با وجود مدل‌های مختلف انتخاب فناوری، مدل و معیارهای بومی و خاص انتخاب فناوری بدیع و نوظهور در حوزهٔ دفاعی وجود ندارد. این شکاف مطالعاتی و مشکل منجر می‌شود که عموماً فناوران و متخصصان دفاعی با رویکرد صرف تجربی و یا دانش تخصصی حوزهٔ خود، با تمرکز بر قابلیت‌های مبتنی بر فناوری به انتخاب و ارزیابی فناوری دفاعی روی بیاورند. همچنین منجر می‌شود معیارهای اقتصادی و سازمانی در این فرآیند کمتر و یا به‌کلی در نظر گرفته نشود. تحقیق حاضر با روش آمیخته (کیفی و کمی)، مدل نهایی ارزیابی و انتخاب فناوری بدیع و نوظهور را در ۵ معیار اصلی شامل معیارهای اثربخشی فناوری، شایستگی‌های فناوری، امکان‌پذیری و قابلیت توسعهٔ فناوری، ریسک‌های فناوری، قابلیت اقتصادی و تجاری فناوری ارائه کرد.

ازنظر ابزار، مطالعهٔ حاضر نیز با تحقیقات قبلی چون شیان جونگ چو (۲۰۰۹)، شین یونگ چی و همکاران (۲۰۱۰)، فرسی (۱۳۹۱)، فاروق و اوبراین (۲۰۱۲)، میرباقری و همکاران (۱۳۹۸) ازنظر استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌خصوص تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) همخوانی دارد. همچنان که در پیشینهٔ پژوهش بیشتر مطالعات اشاره شده است، در حوزهٔ انتخاب فناوری، به‌ویژه در سال‌های اخیر، مبتنی بر رویکرد ریاضی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است. لیزارالد و همکاران (۲۰۲۰) معتقدند که در سناریوهای ناهمگونی چون انتخاب فناوری نوظهور، معولاً مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، یک رویکرد تصمیم‌گیری مناسب پیشنهاد می‌شوند. همچنین مطالعهٔ حاضر ازنظر داشتن رویکرد فازی در تحلیل (به‌دلیل داشتن عدم اطمینان موجود در قضاوت‌های ترجیحی) با مطالعهٔ علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی (۱۳۹۳)، شیان جونگ چو (۲۰۰۹) همخوانی دارد. شیان جونگ چو (۲۰۰۹) یک روش تصمیم‌گیری با ویژگی‌های چندگانهٔ فازی ایجاد کرد که در تصمیم‌گیری گروهی برای حل مسئلهٔ انتخاب فناوری سیستم ساخت و تولید زمانی به کار می‌رود که اطلاعات موجود ذهنی و نادقیق است.

مقایسهٔ نتایج ازنظر مدل، رویکرد الگوی انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی تحقیق حاضر مبتنی بر یک الگوی سلسله‌مراتبی است. درواقع اگرچه انتخاب فناوری در قالب یک فرایند انجام می‌شود، این الگو بیشتر بر معیارهای خاص مراکز تحقیقاتی دفاعی و درجهٔ اهمیت و اولویت‌بندی معیارهای انتخاب فناوری نوظهور در این مراکز تمرکز دارد. از این نظر با مدل شیان جونگ چو (۲۰۰۹)، تانگ و همکاران (۲۰۱۴)، لیزارالد و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. با این حال مدل انتخاب فناوری شهاب‌الدین و همکاران (۲۰۰۶)، شین یونگ چی و همکاران (۲۰۱۰)، فاروق و اوبراین (۲۰۱۲)، که رویکرد فرآیندی دارد، بر چندمرحله‌ای‌بودن انتخاب فناوری تمرکز می‌کند. به‌طور مشخص در مدل شهاب‌الدین و همکاران (۲۰۰۶)، دو فیلتر الزامات (اولیه و ثانویه) و فیلتر به‌کارگیری وجود دارد که هرکدام معیارهای مختص به خود را دارند. درواقع یک اسکن فیلتر وجود دارد که فناوری‌های منتخب باید از تمام موانع و مراحل عبور کنند تا به‌عنوان مطلوب‌ترین فناوری انتخاب شوند. آنها نشان می‌دهند که دو معیار الزامات فنی و مالی و قابلیت به‌کارگیری در انتخاب فناوری، نقش بالایی دارند. ازنظر معیارهای استفاده‌شده نیز، آنها از معیارهایی چون قابلیت اطمینان، کیفیت، هزینهٔ سرمایه، هزینهٔ عملیات، سازگاری،

قابلیت کاربرد و هم‌ترازی استراتژی در مدل خود استفاده کردند که از این نظر با مدل ارائه‌شدهٔ این تحقیق تطابق دارد.

همچنین تحقیق حاضر از ابعاد انتخاب فناوری، تطابق بالایی با مدل لیزارالد و همکاران (۲۰۲۰) دارد. آنها از ابعاد و معیارهایی چون بلوغ فناوری، وابستگی و ارتباط با فناوری، عوامل تجاری و بازار فناوری، ریسک فناوری، صلاحیت کارکنان، تجهیزات، استراتژی سازمان، هزینه‌ها و زمان‌بندی در مدل خود بهره بردند. براساس الگوی ارائه‌شده، ریسک‌های فناوری یکی از مهم‌ترین معیارهای انتخاب فناوری است و این موضوع با مطالعهٔ کیزا (۲۰۰۱)، شین یونگ چی و همکاران (۲۰۱۰)، فاروق و اوبراین (۲۰۱۲) همخوانی دارد، البته به نظر فاروق و اوبراین (۲۰۱۲)، ریسک مرتبط با یک فناوری ازنظر فرصت، مثبت و یا به شکل تهدیدی مرتبط با فناوری، منفی است. فرآیندهای انتخاب فناوری در پژوهش، عمدتاً فرصت‌های مرتبط با یک فناوری را در نظر گرفته‌اند و تهدیدات مرتبط با فناوری منتخب را در حین انتخاب استراتژیک، در نظر نمی‌گیرند. انتخاب یک فناوری به عوامل ناهمگنی بسیاری بستگی دارد. اول از همه، آن دسته از عواملی مشخصهٔ ماهیت ذاتی فناوری‌اند که از یک ارزیابی اولیه یا مقایسهٔ بین چندین فناوری، در رابطه با جذابیت آنها، اعم از علمی و فناورانه و بهره‌برداری بالقوهٔ آنها در بازار است. در مرحلهٔ دوم، تجزیه‌وتحلیل هدف فناوری، ویژگی‌ها و توسعه و اجرای آن در موقعیت نهادی مهم است. همسویی با استراتژی‌ها و پشتیبانی مدیریت قابلیت‌ها، چه در محیط‌های مکانیکی و چه در محیط‌های انسانی، عواملی‌اند که موفقیت در توسعه یا کسب فناوری را تسهیل یا مشروط می‌کنند.

به‌منظور مشخص‌کردن جایگاه تحقیق حاضر در بین تحقیقات پیشین و بیان دقیق نوآوری آن نسبت‌به مطالعات قبلی انجام‌شده در حوزهٔ انتخاب فناوری‌ها، جدول ۷، خلاصهٔ مقایسهٔ نتایج حاصل از این تحقیق را با نزدیک‌ترین مطالعات قبلی به این تحقیق، هم ازنظر نتایج و هم ازنظر روش تحقیق، ابزار و تکنیک‌های تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد. به‌طور خلاصه، نوآوری‌های تحقیق حاضر در مقایسه با تحقیقات پیشین در قالب سه بخش زیر ارائه می‌شود.

الف) نوآوری در موضوع و حوزهٔ پژوهش

تحقیق حاضر به‌طور خاص بر انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی تمرکز دارد. این نوع فناوری‌ها پنج ویژگی تازگی، رادیکالی‌بودن، رشد نسبتاً سریع، انسجام و همبستگی ویژگی‌ها، تأثیر برجسته و همچنین عدم قطعیت و ابهام دارند. مراکز تحقیقات دفاعی عمدتاً تحقیقات خود را با دو هدف انجام می‌دهند: یکی برای رفع گلوگاه‌های فناورانهٔ محصولاتی که در صنعت در حال تولیدند و دیگری خلق و اکتساب فناوری‌های جدیدی که قرار است در آینده به محصول دفاعی تبدیل شوند. این فناوری‌های دستهٔ دوم، خود به دو دسته تقسیم می‌شوند: یکی فناوری‌هایی که دانش پایهٔ آنها قبلاً در کشور وجود داشته و در حال حاضر وظیفهٔ‌بخش تحقیقات دفاعی، توسعه آنهاست؛ مانند تحقیقاتی که مثلاً در حوزهٔ شیمی، تلاش می‌کنند با خلق و توسعهٔ فناوری‌ها، قدرت تخریب موشک‌ها را افزایش دهند و دیگری تحقیقاتی که دانش پایهٔ آنها و تجربیات قبلی عملیاتی نزدیک به آنها، در کشور وجود نداشته است که در همین حوزهٔ شیمی، به تغییر سوخت موشک‌ها از مایع به جامد، اشاره می‌شود. هریک از این موشک‌ها سطح متفاوتی از بُرد، سرعت، زمان آماده‌سازی پرتاب و قابلیت حمل حجم خاصی از مواد منفجره‌اند که دستیابی به فناوری آنها، با اینکه هیچ دانش قبلی در داخل کشور وجود نداشته است، به‌نوعی فناوری‌های

نوظهور دفاعی محسوب می‌شود. تحقیق حاضر دربارهٔ این‌گونه فناوری‌هاست که در گروه کانونی تشکیل‌شده برای تدوین مدل به خوبی به این موضوع توجه شده است. با توجه به اینکه نزدیک‌ترین مطالعهٔ قبلی به تحقیق حاضر، مطالعهٔ میرباقری و همکاران (۱۳۹۸) است، تمرکز آن تحقیق بر فناوری‌های بدیع و نوظهور با این ویژگی‌ها نیست. معیارهای آن مطالعه در گروه کانونی خبرگان تحقیق حاضر، بحث و بررسی شد و این تفاوت به‌خوبی محسوس بود. مطالعهٔ آنها بیشتر دربارهٔ پروژه‌های تحقیقاتی نوع یک بوده است که دانش پایهٔ قبلی را در کشور داشته‌اند. نمونه‌ای از شواهد آن، توجه‌نکردن آن مطالعه به ریسک‌هاست که در قسمت نوآوری مدل نهایی در همین بخش تشریح می‌شود.

ب) نوآوری در متدولوژی تحقیق و تکنیک تحلیل داده

نوآوری تحقیق در این محور، خود در سه بخش «به‌کارگیری گروه کانونی خبرگان و بحث و بررسی معیارها در جلسات متعدد»، «استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتب فازی» و «اعتبار سنجی مدل در یک محیط واقعی و در یک مسئلهٔ واقعی» است که شرح مختصری از آنها در زیر ارائه می‌شود.

۱) در این تحقیق، ابتدا پیشینهٔ نظری مرتبط با موضوع و شناسایی معیارها و عوامل مدنظر از تحقیقات پیشین مرور (جدول ۱) و سپس معیارهای شناسایی‌شده، برای بومی‌سازی معیارهای انتخاب فناوری، در گروه کانونی متشکل از ۷ نفر مدیران، اعضای هیئت‌علمی و محققان باتجربه و درگیر در پروژه‌های تحقیقاتی-دفاعی طرح شد و پس از بحث و بررسی معیارهای ارائه‌شده در تحقیقات پیشین، در جلسات متعدد گروه کانونی، یک دسته‌بندی جدید و بومی از معیارهای انتخاب فناوری نوظهور دفاعی، متناسب با زیست‌بوم بخش دفاع تعیین و ارائه و در جدول۲، ارائه شد که به‌کارگیری این رویکرد کیفی و هم‌اندیشی مشترک خبرگان در جلسات متعدد گروه کانونی، از نوآوری‌های تحقیق است. نتایج ارائه‌شده در جدول (۳) نشان می‌دهد که معیارهای ارزیابی در ۵ دستهٔ اثربخشی فناوری، شایستگی فناوری، بعد امکان پذیری و قابلیت توسعهٔ فناوری، ریسک خلق و توسعهٔ فناوری و در آخر بعد اقتصادی- تجاری فناوری و در قالب ۲۱ زیرمعیار دسته‌بندی شدند. به‌کارگیری رویکرد گروه کانونی و بررسی معیارها در جلسات متعدد خبرگان درگیر در لایه‌های تصمیم‌گیری و فنی، از نوآوری‌های تحقیق است که نتایج آن در زمان ارائه به لایه‌های بالادستی مراکز تحقیقاتی دفاعی (وزارت دفاع و ستاد کل) تأکید و تأیید شد. در این دسته‌بندی، معیار ریسک با توجه به ویژگی خاص فناوری‌های نوظهور با نظر گروه کانونی، به‌عنوان یک معیار اصلی در نظر گرفته شد و از میان ۴ زیرمعیار ذکرشده (فنی، اقتصادی، مالی و امنیتی)، ریسک امنیتی و حفاظتی به‌عنوان یک زیرمعیار جدید نسبت‌به مطالعات و مدل‌های قبلی اضافه شد. در معیارهای اقتصادی و تجاری با وجود اینکه مطالعات قبلی، معیارهای مختلفی را مطرح کردند، در این دسته‌بندی گروه کانونی، فقط سه زیرمعیار بازدهی، هزینه/سرمایه‌گذاری و ظرفیت تجاری و بازاری را به‌عنوان زیرمعیارهای اقتصادی انتخاب فناوری نوظهور دفاعی از سوی گروه کانونی پیشنهاد شد. برخی معیارها (مثل عوامل زیست محیطی، خدمات دهندگان و عدم قطعیت تقاضا مشتری) نیز در مطالعات قبلی وجود داشت که در دسته‌بندی تحقیق حاضر به آن توجه نشد و از میان معیارهای انتخابی حذف شدند. برخی معیارها نیز با وجود تطابق با مطالعات قبلی در یک دسته معیار دیگری جانمایی شدند؛ به‌طور مثال، زمان‌بندی و قابلیت عملیاتی‌کردن

فناوری در مطالعات قبلی در معیارهای مالی و اقتصادی جانمایی شده است، ولی در تحقیق حاضر در دستهٔ معیارهای امکان‌پذیری و قابلیت توسعهٔ فناوری قرار گرفتند؛

۲) در رتبه‌بندی و تعیین اهمیت معیارها، با توجه به اینکه عدم اطمینان در قضاوت‌های ترجیحی افراد، عدم اطمینان اولویت‌بندی گزینه‌ها را افزایش می‌دهد، بنابراین باید از روشی استفاده می‌شد که عدم اطمینان اولویت‌بندی به حداقل خود کاهش یابد. به همین دلیل در این تحقیق برای تعیین میزان اهمیت معیارها، از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) استفاده شد که برای اجتناب از این مخاطرات عملکردی، توسعه یافته است. بنابراین به‌کارگیری این تکنیک برای تعیین وزن و اهمیت معیارهای خود، از نوآوری‌های تحقیق است؛

۳) برای سنجش اعتبار مدل ارائه‌شده، مدل تحقیق در یک محیط واقعی، مبتنی بر مسئلهٔ واقعی و در مرکز تحقیقاتی برق و الکترونیک دفاعی به کار گرفته شد و نتایج آن مبتنی بر معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق برای تیم تصمیم گیرنده، جذاب و بسیار نزدیک به واقعیت بود. این موضوع نیز در هیچ‌کدام از تحقیقات قبلی در یک محیط واقعی و مبتنی بر مسئلهٔ واقعی انجام نشده است که خود از نوآوری‌های تحقیق است.

ج) نوآوری در مدل نهایی (معیارها و زیرمعیارها)

مرور ویژگی فناوری‌های بدیع و نوظهور شامل تازگی، رادیکالی‌بودن، رشد نسبتاً سریع، انسجام و همبستگی ویژگی‌ها، تأثیر برجسته و عدم قطعیت و ابهام، نشان‌دهندهٔ این است که انتخاب فناوری نوظهور، توجه بالایی به بعد ریسک و عدم قطعیت را می‌طلبد؛ یعنی این ویژگی‌ها نشان‌دهندهٔ این موضوع‌اند که در انتخاب فناوری‌های نوظهور، توجه به بعد ریسک و عدم قطعیت، حتماً موردنیاز است و نتایج این تحقیق، این موضوع را به‌خوبی نشان می‌دهد که توجه به ریسک‌ها با ضریب وزنی ۰/۱۲، یک معیار اصلی در انتخاب این فناوری‌هاست. فناوری‌های نوظهور دفاعی، فناوری‌هایی‌اند که به‌دلیل تحریم‌های متعدد و گستردهٔ بخش دفاع، هیچ تجربه و دانش داخلی دربارهٔ کسب عملیاتی آنها، وجود ندارد؛ هرچند دستیابی به آنها برای ارتقای بازدارندگی دفاعی بسیار مهم است. با توجه به اینکه نزدیک‌ترین مطالعهٔ انجام‌شده با تحقیق حاضر، مقالهٔ میرباقری و همکاران (۱۳۹۸) است، به معیار ریسک و زیر معیارهای آن، در مطالعهٔ آنها توجه نشده است.

جدول ۷- خلاصهٔ مقایسهٔ نتایج و روش تحلیل داده‌های مطالعات قبلی با تحقیق حاضر

Table 7- Summary of the comparison of tools and results of the current study with previous studies

محقق و سال مطالعه	روش	نتایج مطالعه	مقایسهٔ نتایج مطالعه پیشین با تحقیق حاضر
شهاب الدین و همکاران (۲۰۰۶)	تحلیل محتوا و تجربهٔ عملیاتی	آنها رویکرد فرآیندی چند مرحله‌ای برای انتخاب فناوری در نظر گرفتند و نشان دادند که دو معیار الزامات فنی – مالی و قابلیت به کارگیری فناوری در انتخاب آن نقش مهمی دارند. معیارهای انتخاب فناوری در مطالعهٔ آنها شامل قابلیت اطمینان، کیفیت، هزینهٔ سرمایه، هزینهٔ عملیات، سازگاری با سیستم موجود، قابلیت کاربرد و هم‌ترازی استراتژی است.	الگوی ارائه‌شده در تحقیق حاضر، بیشتر بر معیارهای خاص مراکز تحقیقاتی دفاعی و درجهٔ اهمیت و اولویت بندی معیارهای انتخاب فناوری نوظهور در این مراکز تمرکز دارد تا ایجاد فرایند انتخاب فناوری نوظهور. البته با بررسی اعتباسنجی مدل در یک محیط واقعی، نویسندگان تحقیق حاضر، نحوهٔ به‌کارگیری الگوی ارائه‌شده را در این تحقیق نیز به‌صورت عملی نشان دادند.

محقق و سال مطالعه	روش	نتایج مطالعه	مقایسهٔ نتایج مطالعه پیشین با تحقیق حاضر
شین یونگ چی و همکاران (۲۰۱۰)	روش دلفی فازی، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، PCA رویکرد	معیارها براساس اهمیت و تأثیرگذاری در انتخاب فناوری به ترتیب اثر تجاری، ریسک (ریسک تجاری، ریسک فنی، ریسک مالی)، شایستگی فنّاورانه و پشتیبانی کارکنان فنی شناسایی شدند. مسئلهٔ مطالعه‌شدهٔ تحقیق، صنایع الکترونیک تایوان بود.	به‌دلیل تحریم همه جانبه در صنعت دفاعی کشور به ویژه تحریم فناورانه، امکان اکتساب فناوری در قالب خرید فناوری و همکاری علمی و فناورانه خیلی کم وجود دارد یا در بیشتر موارد، وجود ندارد. به همین دلیل نحوهٔ اکتساب براساس نظر خبرگان، عموماً مبتنی بر تحقیق و توسعهٔ داخلی است. بر همین اساس در الگوی حاضر، معیارهای تجاری که بر سرمایه‌گذاری و بازده مالی توجه دارند، اهمیت کمتری نسبت‌به اثربخشی، شایستگی، امکان‌پذیری، قابلیت توسعه و حتی ریسک مرتبط با فناوری دارند.
علی اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی (۱۳۹۳)	تحلیل شبکه‌ای فازی و ارزیابی نسبت جمعی فازی	معیارهای انتخاب فناوری در مطالعهٔ آنها براساس اولویت، به سه دستهٔ عمدهٔ بعد انسانی، بعد مالی و بعد عملیاتی تقسیم شد. مورد مطالعهٔ آنها، شرکت‌های حوزهٔ ماشین‌آلات کشاورزی بود.	معیارهای انتخاب فناوری در مطالعهٔ حاضر، به پنج دستهٔ عمدهٔ بعد اثربخشی فناوری، شایستگی فناوری، بعد امکان‌پذیری، ریسک، اقتصادی و تجاری تقسیم شد که ابعاد انسانی، مالی و عملیاتی، زیربخش‌های معیارها در نظر گرفته شده در این تحقیق‌اند. مورد مطالعهٔ تحقیق مراکز تحقیقات دفاعی بود.
میرباقری و همکاران (۱۳۹۸)	آزمون‌های آماری و آزمون فریدمن برای تعیین اهمیت معیارها	معیارهای هماهنگی با سیاست‌ها، راهبرد نظامی، قابلیت بازدارندگی نظامی، ارتقای خودباوری ملی و اعتمادبه‌نفس محققان و همچنین در میان دسته بندی مربوط به معیارها، گروه معیارهای راهبرد و کارایی عملیاتی، اثر فناوری و خلاقیت و نوآوری جزء بااهمیت‌ترین معیارهای انتخاب فناوری شناخته شدند. مورد مطالعهٔ تحقیق، مراکز تحقیقات دفاعی بود.	معیارهای انتخاب فناوری در مطالعهٔ حاضر، به پنج دستهٔ عمدهٔ بعد اثربخشی فناوری، شایستگی فناوری، بعد امکان‌پذیری و قابلیت توسعه، ریسک، اقتصادی و تجاری تقسیم شد. همچنین الگوی ارائه شده با دارابودن زیرمعیارهایی چون مقیاس کاربرد و کاربری چندگانهٔ فناوری و بذر توسعه، ریسک فنی، ریسک امنیتی و حفاظتی، ریسک اقتصادی، ریسک مالی، سابقهٔ علمی و فنی، وابستگی و ارتباط با دیگر فناوری‌ها نسبت‌به کار میرباقری و همکاران (۱۳۹۸) تمایز دارد. مورد مطالعهٔ تحقیق، مراکز تحقیقات دفاعی بود.
بنیادی نائینی و همکاران (۱۳۹۹)	روش تصمیم‌گیری ترکیبی بهترین-بدترین و تحلیل شبکه‌ای	معیارها بر اساس اهمیت و تأثیرگذاری در انتخاب فناوری، به ترتیب نوع فناوری، زیرساخت، آینده‌نگری، قوانین، ریسک و سازمان گیرنده شناسایی شدند. مورد مطالعه، تحقیق صنعت نفت بود.	معیارهای انتخاب فناوری در مطالعهٔ حاضر، به پنج دستهٔ عمدهٔ بعد اثربخشی فناوری، شایستگی فناوری، بعد امکان‌پذیری، ریسک، اقتصادی و تجاری تقسیم شد. مورد مطالعهٔ تحقیق، مراکز تحقیقات دفاعی بود.

گرچه در انتخاب فناوری، توجه به دیگر فرایندهای مدیریت فناوری ازجمله نحوهٔ اکتساب فناوری نیز مهم است، در مدل حاضر، با توجه به مأموریت مراکز تحقیقاتی دفاعی و نظر گروه کانونی، روش تحقیق و توسعهٔ داخلی به‌عنوان روش پیش‌فرض نحوهٔ اکتساب فناوری‌های بدیع و نوظهور در صنعت دفاعی در نظر گرفته شده است. محققان مطالعهٔ حاضر برای تعیین اهمیت معیارها و زیرمعیارهای انتخاب فناوری، با توجه به عدم اطمینان

موجود در قضاوت‌های ترجیحی و عدم اطمینان اولویت‌بندی آلترناتیوها، از تحلیل سلسله‌مراتب فازی و برای انتخاب فناوری نوظهور و اجرای آن، از روش مشابه کارت امتیازی متوازن استفاده کردند. همچنان‌که جدول ۷ نشان می‌دهد، مطالعهٔ میرباقری و همکاران (۱۳۹۸) قرابت بیشتری نسبت‌به دیگر مطالعات با موضوع تحقیق حاضر دارد و در انتخاب فناوری در پروژه های نظامی، معیارهایی چون راهبرد و کارایی عملیاتی، اثر فناوری، خلاقیت و نوآوری، توجیه اقتصادی، امنیتی، امکان اکتساب فناوری و سیاسی–اجتماعی را به کار گرفتند. با این حال در مقام مقایسه، آنها از آزمون‌های آماری و آزمون فریدمن[۲۶] برای تعیین اهمیت معیارها و از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای انتخاب فناوری و اجرای مدل مدنظر خود استفاده کردند. علاوه بر این ازنظر معیارها نیز، معیار ریسک و اثربخشی فناوری در تحقیق حاضر و مدل ارائه‌شده به‌عنوان معیارهای اصلی و کلیدی، در نظر گرفته شده است. از الگو و معیارهای انتخاب فناوری ارائه‌شده در تحقیق حاضر، این مطلب استنباط می‌شود که در انتخاب فناوری بدیع و نوظهور دفاعی، باید به معیارهای کمی و کیفی با ضریب اهمیت متفاوت توجه کرد و این انتخاب، یک تصمیم گیری چندمعیاره و چندجانبه است.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله با تحلیل مطالعات و مدل‌های پیشین انتخاب فناوری و با نظر گروه کانونی متشکل از ۷ نفر از مدیران، محققان و اعضای هیئت‌علمی، یک دسته‌بندی جدید را از ابعاد و معیارهای انتخاب فناوری نوظهور ارائه کردند. با توجه به اینکه مورد مطالعهٔ این تحقیق، یکی از مراکز تحقیقاتی دفاعی بود، از نظرت ۱۵ نفر از استادان، مدیران و فناوران مراکز تحقیقاتی حوزهٔ هوافضا، شیمی، مواد، برق و الکترونیک، دفاع الکترومغناطیسی، مدیریت و مهندسی صنایع برای اولویت‌بندی این ابعاد و معیارها به روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی بهره گرفته شد. مدل نهایی ارزیابی و انتخاب فناوری بدیع و نوظهور، شامل ۵ معیار شد که شامل معیارهای اثربخشی فناوری (راهبردی‌بودن فناوری، عملکرد فناوری در ارتقا بازدارندگی دفاعی، مقیاس کاربرد و کاربری چندگانه فناوری/بذر توسعهٔ فناوری)، اثربخشی فناوری نسبت‌به دیگر فناوری‌های مشابه)، شایستگی‌های فناوری (چرخهٔ عمر و سطح بلوغ فناوری در دنیا، میزان بدیع و نوآوربودن نسبت‌به فناوری مشابه، وابستگی و ارتباط با دیگر فناوری‌ها، سابقهٔ علمی و فنی/بتنت و مطالعات انجام‌شده در حوزهٔ فناوری)، امکان‌پذیری و قابلیت توسعهٔ فناوری (توانمندی موجود دانشی برای خلق و توسعهٔ فناوری، قابلیت عملیاتی‌سازی و کاربردی‌شدن فناوری، زیرساخت و تجهیزات آزمایشگاهی موجود، مدت‌زمان رسیدن به فناوری، انعطاف‌پذیری و قابلیت انطباق با سیستم موجود، آموزش و یادگیری دانش فنی مرتبط)، ریسک‌های فناوری (ریسک فنی/نرخ توسعهٔ سطح فناوری، ریسک امنیتی اطلاعاتی، ریسک تأمین مالی فناوری، ریسک اقتصادی) و قابلیت اقتصادی و تجاری فناوری (هزینه و سرمایه‌گذاری، بازدهی (ROA) فناوری، پتانسیل تجاری‌سازی) به ترتیب با ضرایب اهمیت ۳۲٪ ، ۲۶٪، ۲۲٪، ۱۲٪ و ۸٪ هستند. در پایان اعتباربخشی الگوی سلسله‌مراتبی، معیارهای انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی با بررسی الگوی ارائه‌شده در قالب یک مطالعهٔ موردی و براساس داده‌های واقعی پرداخته شد. از الگو و معیارهای انتخاب فناوری ارائه‌شده، این مطلب استنباط می‌شود که در انتخاب فناوری بدیع و نوظهور دفاعی، باید به معیارهای کمی و کیفی با ضریب اهمیت متفاوت توجه کرد و این انتخاب یک تصمیم‌گیری چندمعیاره و چندجانبه است؛ زیرا محدودیت‌ها و

معیارهای فنی و فناورانه، اجتماعی-سیاسی، مالی و اقتصادی برای تحقق اهداف ملی و صنعتی بخش دفاعی وجود دارد. ازطریق به‌کارگیری الگوی تحقیق حاضر، برای انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور مرکز تحقیقات دفاعی در حوزهٔ برق و الکترونیک انجام و فناوری نوظهورHPM به‌عنوان فناوری منتخب برای مقابله با تهدیدات سلاح‌های کوچک و انبوه و پهبادها به‌صورت گروهی انتخاب شد.

۷-۱ پیشنهادهای کاربردی و پیشنهاد تحقیقات آتی

یکی از محدودیت‌ها و مشکلات این تحقیق در زمینهٔ جمع‌آوری داده، مصاحبه و دسترسی با جامعهٔ آماری به‌دلیل محدودیت حفاظتی و امنیتی بوده و منجر شده است تا مشارکت‌دادن مدیران و محققان دفاعی در حوزه‌های مختلف بسیار سخت و زمان‌بر باشد. همچنین ازنظر تعمیم‌پذیری نتایج پژوهش به جامعهٔ خاص، تمرکز تحقیق حاضر بر مدیران و محققان دفاعی در مراکز تحقیقاتی (عرضه‌کنندگان و توسعه‌دهندگان فناوری) بوده و طرف مشتریان نهایی (کادر اجرایی نیروهای مسلح) محصولات فناورانه مورد توجه محققان قرار نگرفته است. الگوی ارائه‌شده برای انتخاب فناوری بدیع و نوظهور و سطح بالا دفاعی در نظر گرفته شده و با توجه به معیارها خاص، الگو برای انتخاب فناوری سطح پایین و صنعتی در محیط غیر دفاعی چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. این مشکل به بحث تعمیم‌پذیری نتایج پژوهش اشاره دارد که داده‌های مختص به یک جامعهٔ محدود و خاص را به دیگر جوامع تعمیم نمی‌دهد.

با توجه به اینکه معیارهای انتخاب فناوری باید مبتنی بر شاخص کاربردی و تخصصی و اندازه‌گیری‌پذیر و منطق درست برای اقناع متخصصان و مدیران برای اجراکردن باشد و این معیارها در این تحقیق به‌صورت بومی و خاص مراکز تحقیقات دفاعی و فقط برای فناوری‌هایی ارائه شده‌اند که ازطریق تحقیق و توسعه خلق و توسعه می‌یابند، بنابراین باید در انتخاب فناوری‌های دیگر مراکز تحقیقاتی به کار گرفته شوند تا مدیریت منابع مالی و انسانی به‌درستی انجام و تا حد ممکن از هدر رفت سرمایه‌ها جلوگیری شود. بازدارندگی دفاعی در اثر تمرکز بر فناوری‌های منتخب دارای عملکرد مؤثر در صحنهٔ نبردهای آینده نیز، نتیجهٔ مستقیم انتخاب درست این فناوری‌هاست که مدل ارائه‌شده به نحو مناسبی به انتخاب درست آنها کمک می‌کند. این مدل برای استفاده در یک مرکز تحقیقاتی دفاعی پیکربندی شده است، بنابراین به‌کارگیری این مدل در فرآیند انتخاب و انتقال فناوری پروژه‌های بدیع و نوظهور در شرکت‌ها نوپا و شرکت‌های صنعتی و دانشگاه‌ها، با توسعهٔ معیارها کاربرد دارد. با توجه به اینکه احتمالاً برای برخی از حوزه‌های فناوری معیارهای منحصربه‌فردتری نیاز است، انجام این تحقیق تنها و متمرکز در حوزه‌های خاص، ازجمله هوش مصنوعی، علوم شناختی، تسلیحات کشندهٔ خودکار، تسلیحات فراصوت (هایپرسونیک)، زیست‌فناوری، فناوری کوانتوم و غیره، پیشنهاد برای تحقیقات آتی مطرح می‌شود. در تحقیقات آتی از روش‌هایی چون دیمتل، دنپ و معادلات ریاضی مارکوف نیز برای اجرایی و پیاده‌سازی الگوی انتخاب فناوری تحقیق حاضر استفاده می‌شود. همان‌طور در بخش قبلی اشاره شد، الگوی ارائه‌شده بر تعیین معیارهای انتخاب فناوری نوظهور در مراکز دفاعی و ضریب اهمیت آنها تمرکز داشته و مراحل انتخاب فناوری را تشریح نکرده است. با وجود این در مطالعهٔ موردی، محققان تحقیق حاضر سعی کردند چگونگی کاربست این الگو را نشان دهند. بنابراین موضوع مراحل انتخاب فناوری،

بررسی روابط و شدت تأثیرگذاری معیارهای انتخاب فناوری‌های بدیع و نوظهور دفاعی بر یکدیگر نیز، به‌عنوان یک تحقیقات آتی دیگر، مدنظر پژوهشگران قرار می‌گیرد.

References

Aliakbari, F., & Shafiee NikAbadi, M. (2014). Justification and Selection of Advanced Technologies: Application of Hybrid MCDM Approach Based on FANP and FARAS. *Journal of Technology Development Management*, *2*(4), 109-134. https://doi.org/10.22104/jtdm.2016.223. [In Persian].

Amiri, H. (2017). Proposing a Model of the Effective Technological Forecasting in Defense Sector for Implementing Strategic Planning. *MILITARY MANAGEMENT QUARTERLY*, *17*(65), 29-53. [In Persian].

Ansari. M., & Zare, A. (2010). Determination of factors affecting the selection and transfer of technology: (Iran Khodro body production line). *Research Journal of Executive Management,* 9(1).

Approvals of the Supreme Council of Cultural Revolution (2019). *Comprehensive document of science and technology in the field of defense and security of the Islamic Republic of Iran*. number 99/18776/dash 12/27/2019. [In Persian].

Bonyadi Naieni, A., Amirghodsi, S., & Makui, A. (2020). Simultaneous Selection of the Technology and its Transfer Method from the Preferred Supplier Applying BWM and Grey ANP Methods. *Industrial Management Studies*, *18*(56), 209-243. [In Persian].

Bushehri, A., & Nazarizadeh, F. (2012). *Review of patterns of identification, evaluation and selection of technology in the organization*. Publications of the Educational and Research Institute of Defense Industries. [In Persian].

Chang, D.Y. (1996). Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research, 95*(3), 649-655. https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2.

Chiesa, V. (2001). *R & D Strategy & Organization: Managing Technical Change in Dynamic Contexts*. Imperial College Press.

Duffy, K., & Jeyaraj, A., & Sethi, V., & Sethi, V. (2021). Drivers of information technology choice by individuals. *International Journal of Information Management, Elsevier, 58*, 102320. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102320.

Farooq, S., & O' Brien, C. (2012). A Technology Selection Framework for Integrating Manufacturing within a Supply Chain. *International Journal of Production Research*, *50*(11), 2987-3010. https://doi.org/10.1080/00207543.2011.588265.

Farsi, M. (2012). *Determination of effective factors in choosing technology (a case study of a knowledge-based company).* [Faculty of Management, Thesis for Master's Degree, Islamic Azad University, Tehran Branch]. [In Persian].

Gudarzi, G., & Ejlali, M. M. (2021). Analysis of future trends in defense technologies over a ten-year horizon. *Defensive Future Studies*, *6*(23), 37-57. https://doi.org/10.22034/dfsr.2022.530777.1497. [In Persian].

Hamzeh, R., & Xu, X. (2019).Technology selection methods and applications in manufacturing: A review from 1990 to 2017. *Computers & Industrial Engineering, 138*, 106123. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106123.

Jafari, A., Mirghaderi, S., Mosleh Shirazi, A. N., & Sadeghzadeh, F. (2020). Designing Appropriate Technology Selection Model (Case study: Fars Province Gas Company). *Journal of Technology Development Management*, *8*(3), 123-150, https://doi.org/10.22104/jtdm.2021.4240.2538. [In Persian].

Khalil, T. M. (2013). *Technology Management* (Translator Seyed Mohammad Arabi). Cultural Research Office [In Persian].

Lizarralde, R., & Ganzarain, J., & Zubizarreta, M. (2020). Assessment and Selection of Technologies for the Sustainable Development of an R&D Center. *Sustainability*, *12*, 10087. https://doi.org/10.3390/su122310087.

Martin, L. (2022). Rebalancing in Shared Mobility Systems – Competition, Feature-Based Mode Selection and Technology Choice. *In Trautmann, N., Gnägi, M. (Eds) Operations Research Proceedings 2021. OR 2021. Lecture Notes in Operations Research*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08623-6_6.

Mcgonegal, j. (2020). *High power microwave weapons: disruptive technology for the future*. Air Command and Staff College.

Mirbagheri, S. M., Rafiei Atani, A., & Dashti, R. (2019). Introducing a Model for Methodology, Evaluation and Selection of Technology in Projects of Military Research and Development (Case Study: One of the Military Research Centers). *Defence Studies*, *17*(4), 149-179.[In Persian].

Morgan, D. L., & Krueger, R. A. (1993). When to Use Focus Groups and Why. In: D. L. Morgan (Ed.), *Successful Focus Groups: Advancing the State of the Art (pp. 3-9).* Newsbury Park, Sage Publications. http://dx.doi.org/10.4135/9781483349008.n1

O'hanlon, M. (2018). Forecasting change in military technology, 2020-2040 The Brookings Institution. *Foreign Policy at Brookings. Brookings Institution Press*.

Ordoobadi, Sh. M. (2012). Application of ANP methodology in evaluation of advanced technologies. *Manufacturing Technology Management*, *23*(2), 229-252. http://dx.doi.org/10.1108/17410381211202214.

Rahimi, A., & Bararnia, M. (2021). Providing a Model for Evaluating and Selecting Innovative Ideas Proposed by Knowledge-based Companies to the Defense Industries. *MILITARY MANAGEMENT QUARTERLY*, *21*(81), 63-94. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/IAMU.2021.529137.2565

Rahimi, A., Abbasi, M., & Berarnia, M. (2024). Proposing a model for the valuation of technology-based firms for acquisition by the Department of Defense (DOD). *Research in Production and Operations Management, 14*(4), 1-30. https://doi.org/10.22108/pom.2023.136100.1480. [In Persian].

RAND Corporation (2021). Innovative Technologies shaping the 2040 battlefield. *European Parliamentary Research Service (EPRS)*.

RenderJan. C (2016). *Technology Selection*.

Rotolo, D., & Hicks, D., & Martin, B. (2015). What Is an Emerging Technology? *Research Policy*, *Research Policy*, *44*(10), 1827-1843. http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.006.

Sayler, K. M. (2022). *Emerging Military Technologies: Background and Issues for Congress*. Congressional Research Service. Washington DC.

Shehabuddeen, N., Probert, D., and Phaal, R. (2006). From theory to practice: challenges in operationalizing a technology selection framework. *Tec novation*, *26*(3), 324–335. http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2004.10.017.

Shen, Y-C., & Chang, S-H., & Lin, G., & Yu, H-Ch. (2010). A hybrid selection model for emerging technology. Technological Forecasting and Social Change .*Technol Forecast Soc Change*, *77*(1), 151-166. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.05.001.

Shian-Jong Chuu (2009). Selecting the advanced manufacturing technology using fuzzy multiple attributes group decision making with multiple fuzzy information. *Computers & Industrial Engineering,* 57(3), 1033-1042. https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.04.011.

Startus-insights (2024).

Tang, Y., & Sun, H., & Yao, Q., & Wang, Y. (2014). The selection of key technologies by the silicon photovoltaic industry based on the Delphi method and AHP (analytic hierarchy process): Case study of China. *Energy, Elsevier*, *75*, 474-482. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.003

[1] Gudarzi & Ejlali
[2] Amiri
[3] Approvals of the Supreme Council of Cultural Revolution
[4] RAND Corporation
[5] Congressional Research Service
[6] F22
[7] Bonyadi Naieni et al.
[8] Mirbagheri et al.
[9] Khalil
[10] Rotolo et al.
[11] Defense Advanced Project Research Agency(DARPA)
[12] Chiesa
[13] Farsi
[14] Ansari & Zare
[15] Bushehri & Nazarizadeh
[16] Aliakbari & Shafiee NikAbadi
[17] Jafari et al.
[18] Shian-Jong Chuu
[19] Shen Yung-Chi et al.
[20] Martin
[21] Rahimi et al.
[22] Chang.
[23] Rahimi & Bararnia.
[24] High Power Microwaves
[25] Railgun
[26] Friedman test

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی