



## **Evaluation of the Accuracy of Technology Forecasting Processes for Land Warfare Systems over a 20–30 Year Horizon**

Mahmoud Ghorbani<sup>1</sup>, Abdolrahim Pedram<sup>2</sup>

### **Abstract**

Forecasting changes in military technologies has significant impacts on determining the future battlefield environment, tactics, operations, and the management of defense research and development (R&D) investments. In the 1990s, following the collapse of the Soviet Union, a series of forecasts were made regarding the emergence of defense technologies and the development of future weapon systems up to the year 2020. These forecasts covered a wide range of systems, including unmanned systems, artillery, missiles, and electronic weapons. In this article, a quantitative and qualitative assessment of the accuracy of this group of forecasts—mainly in the field of land warfare technologies—is carried out. The overall accuracy, based on multiple criteria, is evaluated as very high, at approximately 0.76. Major differences in accuracy are generally observed between forecasts related to information acquisition and processing technologies and those aimed at physical effects. The evaluations are based on information available in open sources, which, according to experts, has not been considered a significant limiting factor in the assessment process.

**Keywords:** *Technology forecasting, accuracy assessment, defense technology, long-term forecasting, forecast evaluation.*

<sup>1</sup> PhD Student, Futures Studies Department, Supreme National Defense University, Tehran, Iran.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Futures Studies Department, Supreme National Defense University, Tehran, Iran.



## ارزیابی دقت فرآیندهای پیش‌بینی فناوری‌های رزم زمینی در افق ۲۰ تا ۳۰ ساله

محمود قربانی<sup>۱</sup>، عبدالرحیم پدram<sup>۲</sup>

### چکیده

پیش‌بینی تغییرات فناوری‌های نظامی، تأثیرات مهمی بر تعیین صحنه نبردهای آینده، تاکتیک‌ها، عملیات‌ها و نیز مدیریت سرمایه‌گذاری‌های تحقیق و توسعه دفاعی دارد. در دهه ۹۰ میلادی، پس از فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی، پیش‌بینی‌هایی درباره ظهور فناوری‌های دفاعی و توسعه تسلیحات آینده، تا سال ۲۰۲۰ شده است. این پیش‌بینی‌ها، سیستم‌های مختلفی را از جمله: سامانه‌های بدون سرنشین، توپ‌ها، موشک‌ها تا تسلیحات الکترونیک دربرمی‌گیرند. در این مقاله، یک ارزیابی کمی و کیفی از دقت این دسته از پیش‌بینی‌ها، (عمدتاً در حوزه فناوری‌های رزم زمینی) انجام شده است. دقت کلی به واسطه استفاده از چندین معیار، بسیار بالا و در حدود ۰/۷۶ ارزیابی شده است. تفاوت‌های عمده در دقت، اغلب بین پیش‌بینی فناوری‌های کسب و پردازش اطلاعات و فناوری‌های با هدف تأثیرگذاری فیزیکی است. ارزیابی‌ها بر مبنای اطلاعات موجود در منابع آشکار انجام شده است که این موضوع از نظر خبرگان تقریباً به عنوان یک عامل محدود کننده در فرایند ارزیابی، شناخته نشده است.

**واژگان کلیدی:** پیش‌بینی فناوری، ارزیابی دقت، فناوری دفاعی، پیش‌بینی بلندمدت، ارزیابی

پیش‌بینی.

## مقدمه

نیروی زمینی، بخش بسیار مهمی از مجموعه نیروهای مسلح دنیا است و از آن به‌عنوان ستون فقرات نیروهای مسلح یاد می‌شود. در جنگ‌های متعارف امروز دنیا توقع درگیری‌های زمینی کمتر و احتمال عملیات‌های هوایی، دریایی و پدافند بیشتر است.<sup>۱</sup> اما در نهایت تکلیف جنگ بر روی زمین مشخص می‌شود نه در آسمان.<sup>۲</sup>

رشد و توسعه روزافزون و بسیار سریع فناوری‌ها، تأثیرات زیادی بر زندگی بشر داشته و این تغییر و تحولات فناورانه در عرصه‌رزم زمینی نیز، سبب پیچیدگی و تغییر شکل صحنه‌های نبرد شده است.

حفظ اقتدار و برتری نظامی کشورها، نیازمند شناخت صحنه‌های نبرد آینده، انتخاب و بکارگیری صحیح فناوری‌ها متناسب با تهدیدهای پیش‌رو است. درک نادرست از تأثیرات آینده فناوری می‌تواند عواقب ناگواری برای کشورها و ارتش‌های آن‌ها به همراه داشته باشد (تاک، ۲۰۱۸). ایجاد آمادگی‌های لازم برای اکتساب فناوری‌های دفاعی نیازمند پیش‌بینی فناوری در صحنه‌های نبرد آتی است. اما آیا این پیش‌بینی‌ها قابل اعتماد است؟ و یا اساساً دقت این پیش‌بینی‌ها به چه میزان است؟ این مقاله برآنست تا ضمن بیان مقدمه‌ای در باب پیش‌بینی و پیش‌بینی فناوری، به بررسی ارزیابی دقت پیش‌بینی‌های بلند مدت فناوری، بویژه فناوری‌های رزم زمینی آینده بپردازد.

## الف) پیش‌بینی<sup>۳</sup>

پیش‌بینی‌ها اهمیت زیادی در بسیاری از جنبه‌های زندگی ما دارند. شرکت‌های خصوصی در راستای تولید محصولات جدید، بازارهای فروش و قراردادهای اجرایی، سرمایه‌گذاری‌های هنگفتی بر مبنای پیش‌بینی‌ها انجام می‌دهند. سازمان‌ها و مراکز دولتی نیز در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی، سیاسی، نظامی، امنیتی و اجتماعی نیاز به پیش‌بینی دارند. پیش‌بینی‌های ضعیف می‌تواند نتایج فاجعه‌باری به همراه داشته باشد (آرمسترانگ، ۲۰۰۱).

تصمیم‌گیران نیز، زمانی که در خصوص آینده عدم قطعیت<sup>۴</sup> وجود داشته‌باشد نیاز به پیش‌بینی دارند. زمانی که پدیده‌ها، تحت کنترل و یا قابل اندازه‌گیری هستند نیاز به پیش‌بینی وجود ندارد. گاهی اوقات پیش‌بینی با برنامه‌ریزی<sup>۵</sup> اشتباه می‌شود. برنامه‌ریزی مرتبط با این موضوع

<sup>۱</sup> بیانات مقام معظم رهبری، حضرت آیت الله خامنه‌ای، در دیدار با فرماندهان نیروی زمینی ارتش در تاریخ ۱۳۹۱/۲/۳.

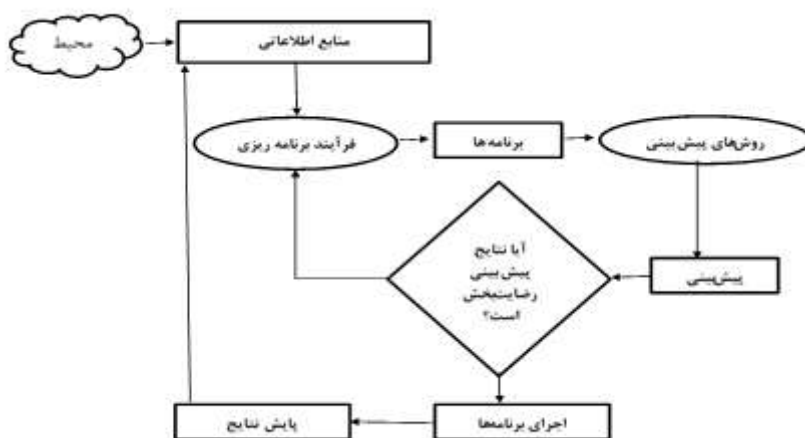
<sup>۲</sup> مصاحبه مشاور مقام معظم رهبری در امور بین الملل، جناب آقای دکتر ولایتی، در مصاحبه با خبرگزاری ایسنا در تاریخ ۱۳۹۷/۱/۲۵.

<sup>۳</sup> Forecasting

<sup>۴</sup> Uncertainty

<sup>۵</sup> Planning

است که جهان باید شبیه چه چیز باشد ولی پیش‌بینی درباره این است که جهان شبیه چه چیز خواهد بود. رابطه پیش‌بینی و برنامه ریزی بطور خلاصه در شکل ۱ نمایش داده شده است (آرمسترانگ، ۲۰۰۱). برنامه‌ریزان می‌توانند از روش‌های پیش‌بینی برای برآورد نتایج تصمیمات خود استفاده کنند. اگر نتایج پیش‌بینی‌ها رضایت‌بخش نباشد می‌توانند برنامه‌ها را بازبینی کنند و پیش‌بینی جدید انجام دهند و فرآیند را تا رسیدن به پیش‌بینی مطلوب تکرار کنند. آن‌ها می‌توانند نتایج واقعی را اجرا و رصد کنند تا در برنامه ریزی‌های آتی از آن استفاده کنند. در عمل بسیاری از سازمان‌ها تنها پیش‌بینی‌های خود را بازبینی می‌کنند و نه برنامه‌ها را؛ چرا که اعتقاد دارند تغییر پیش‌بینی‌ها، خود سبب تغییر رفتار می‌گردد.



شکل ۱- چارچوبی برای بیان ارتباط پیش‌بینی و برنامه ریزی

## ب) پیش‌بینی فناوری<sup>۱</sup>

پیش‌بینی فناوری بواسطه ارزش آن، هم در حوزه تجاری و صنعتی و هم در حوزه دفاعی به طور فزاینده در حال گسترش است. در فناوری‌های دفاعی پیش‌بینی در افق زمانی بیست سال معقول به نظر می‌رسد؛ این زمان، هم به اندازه کافی طولانی است که بتوان از طریق یک برون‌یابی صحیح آن‌را به آینده تعمیم داد و هم به قدر کافی کوتاه است که بتوان از طریق بررسی روندها در تحقیقات آزمایشگاهی به درک آینده، بدون پرداختن به گمانه‌زنی‌های اغراق-آمیز نائل آمد (اوهانلول، ۲۰۱۹). در سراسر جهان حداقل ۲۳ سازمان پیش‌بینی فناوری را به عنوان محصول اصلی خود برای مشتریان خارجی انجام می‌دهند (لارنر و همکاران، ۲۰۱۵).

علاوه بر این، همه سازمان‌ها به منظور برنامه ریزی فعالیت‌ها جهت دستیابی به اهداف داخلی خود، با شکلی از پیش‌بینی، بصورت ضمنی یا صریح، سر و کار دارند.

توسعه دهندگان و سازندگان محصول به منظور آگاهی از اینکه در کجا منابع توسعه محصول خود را سرمایه‌گذاری کنند و یا چگونه تاسیسات کارخانه جدید را طرح ریزی کنند به پیش‌بینی‌های فناوری نیاز دارند. ارائه دهندگان خدمات مانند حوزه سلامت (دوس و همکاران، ۲۰۱۶)، از پیش‌بینی‌های فناوری برای تعیین اینکه چه تجهیزات جدیدی باید خریداری شود یا اینکه آیا یک خرید به دلیل ظهور نسل جدید فناوری باید به تأخیر افتد یا خیر استفاده می‌کنند. دولت‌ها پیش‌بینی‌های فناوری را برای بهینه‌سازی تخصیص سرمایه به موسسات پشتیبانی آموزشی و تحقیقات علمی به کار می‌برند.

این مقاله درباره نوع خاصی از پیش‌بینی فناوری می‌باشد: پیش‌بینی‌های بلندمدت فناوری‌های دفاعی. دلایل ارزش چنین پیش‌بینی‌هایی برای یک پایگاه دفاعی با دلایلی که به پیش‌بینی‌های تجاری اهمیت می‌بخشد تفاوتی ندارد: یک موسسه تدارکات دفاعی پیش‌بینی‌های فناوری برای تعیین اینکه چه تلاش‌هایی برای توسعه و تدارک سیستم‌ها باید صورت گیرد و یا به چه میزان هزینه کند؛ استفاده می‌کند تا ارزش آینده فناوری حاصل را برای کسانی که باید در نبرد آینده بکنند بهینه‌سازی کند. اگر پیش‌بینی اشتباه باشد ارتش ممکن است درگیر نبرد با دشمنی شود که از سلاح‌های با فناوری برتر برخوردار است (ون‌کلورد، ۲۰۱۰)، همانند تجارتی که بر پیش‌بینی‌های فناوری برای پرهیز از شکست در برابر رقبای خود متکی است.

از سوی دیگر با وجود این مشابهت‌های اساسی، مدل‌های پیش‌بینی فناوری در تجارت و در انواع خاصی از سیستم دفاعی به واسطه افق‌های زمانی آنها تفاوت دارند. در اینجا افق زمانی، تعداد سال‌های بین تاریخ پیش‌بینی شده ظهور یک فناوری و زمان انجام آن پیش‌بینی است. در حالی که اغلب پیش‌بینی‌های فناوری (که برای اهداف تجاری انجام شده است) کوتاه مدت می‌باشند (افق یک تا پنج سال است) پیش‌بینی‌های فناوری دفاعی در بسیاری موارد (هرچند استثنائات مهمی هم وجود دارد) میان مدت (۶ تا ۱۰ سال) یا بلندمدت (۱۱ تا ۳۰ سال) هستند. لزوم پیش‌بینی‌های بلندمدت در دنیای فناوری دفاعی از بازه‌های طولانی زمانی لازم برای توسعه کامل برخی انواع سامانه‌های دفاعی پیچیده، نشأت می‌گیرد.

در نظر گرفتن زمان حدود دو دهه برای یک برنامه اکتساب دفاعی عمده، از توسعه ایده تا دستیابی به قابلیت‌های عملیاتی اولیه امری رایج است (برای سیاست‌گذاران نیز به همین منوال است) (گوور، ۲۰۱۷). علاوه بر این توسعه علوم پایه و توسعه دانش فناورانه در زمینه مهندسی سیستم‌های پیشرفته اغلب ۱۰ سال دیگر یا بیشتر طول خواهد کشید. به این ترتیب اغلب افق زمانی ۲۰ ساله و یا بیشتر برای پیش‌بینی فناوری دفاعی اهمیت دارد. بنابراین این مقاله به طور خاص بر روی پیش‌بینی‌های فناوری دفاعی بلند مدت (۲۰ سال یا بیشتر) تمرکز می‌کند.

با این حال آیا چنین پیش‌بینی‌های بلندمدتی می‌تواند به اندازه کافی دقیق باشد؟ اغلب مشاهده می‌شود که هر قدر افق زمانی یک پیش‌بینی بلندتر باشد دقت پیش‌بینی کمتر است مثلاً از دقت ۳۸ درصد برای افق کمتر از ۱۰ سال به ۱۴ درصد برای افق بیش از ۱۱ سال کاهش می‌یابد (فای و همکاران، ۲۰۱۳). از این گذشته اگر دقت پایین باشد هیچ ارزشی در توسعه پیش‌بینی‌ها وجود ندارد. علاوه بر این یک پیش‌بینی غیردقیق و به طور بالقوه گمراه‌کننده، از عدم پیش‌بینی بدتر است. متأسفانه مطالعات عملی مرتبط نادر است. همانگونه که در ادامه این مقاله بیان می‌شود؛ مطالعات دقت پیش‌بینی به طور کلی اندک می‌باشند. در این میان تنها بخش کوچکی به پیش‌بینی‌های فناوری می‌پردازند. علاوه بر این همه آنها پیش‌بینی‌های کوتاه مدت را بررسی می‌کنند نه بلند مدت.

بخش‌های این پژوهش به صورت زیر است: نخست، داده‌های عملی ارزشمندی را به مجموعه کوچکی از داده‌ها در زمینه دقت پیش‌بینی بلند مدت اضافه می‌کند. دوم، یک پژوهش موردی درباره روش‌شناسی مناسب برای ارزیابی دقت پیش‌بینی‌ها را فراهم کرده و به توصیه‌هایی برای رویکردهای روش‌شناسی که موثر یافته شده می‌انجامد. سرانجام این ادعا را تایید می‌کند که پیش‌بینی بلندمدت فناوری با هدف پشتیبانی از مدیریت تصمیم‌گیری در سرمایه‌گذاری تحقیقات بلند مدت، هم امکان‌پذیر بوده و هم به اندازه کافی دقیق می‌باشد. در پیوست الف، شامل فهرست گزاره‌های پیش‌بینی آورده شده است و در پیوست ب، چک لیستی برای ارزیابی فرآیند پیش‌بینی ارائه شده است.

## پیشینه مطالعات ارزیابی دقت پیش‌بینی<sup>۱</sup>

مطالعات محدودی در خصوص دقت پیش‌بینی‌ها وجود دارد (دوس و همکاران، ۲۰۱۶). فای و همکاران (۲۰۱۳) مطالعات موجود درباره دقت پیش‌بینی را مرور کرده‌اند؛ نخستین مورد از این مطالعات در سال ۱۹۷۲ منتشر شده است. این مطالعات عبارتند از آرمسترانگ و گرومان (۱۹۷۲)، لورک و همکاران (۱۹۷۶)، آشر (۱۹۷۹)، ماکریداکیس و همکاران (۱۹۷۹)، کاربن و همکاران (۱۹۸۳)، گروو و همکاران (۲۰۰۰)، ماکریداکیس و هیبون (۲۰۰۰)، آلبرایت (۲۰۰۲)، آرمسترانگ (۲۰۰۶)، برگ و همکاران (۲۰۰۸)، و گلدشتاین و گیگرنزر (۲۰۰۹). تنها چند مورد از این مطالعات، مانند لرنر و همکاران (۲۰۱۵)، فای و همکاران (۲۰۱۳)، آلبرایت (۲۰۰۲)، و آشر (۱۹۷۹)، درباره فناوری‌ها می‌باشد بقیه، پیش‌بینی‌های اندازه بازار، درآمد شرکت‌ها، نتایج پزشکی، نتایج انتخابات و غیره را مورد پژوهش قرار می‌دهند.

در پژوهش فای و همکاران (۲۰۱۳)، هر پیش‌بینی بیان نموده است که یک رویداد فناورانه خاص پیش‌بینی می‌شود در چه زمانی اتفاق می‌افتد. اگر رویداد پیش‌بینی شده در بازه  $\pm 30\%$  از افق زمانی پیش‌بینی شده حول سال پیش‌بینی محقق گردد، آن پیش‌بینی موفقیت آمیز در نظر گرفته می‌شود. افق‌زمانی یعنی تعداد سال‌های بین تاریخ انجام پیش‌بینی و تاریخ تخمین زده شده برای وقوع پیش‌بینی.

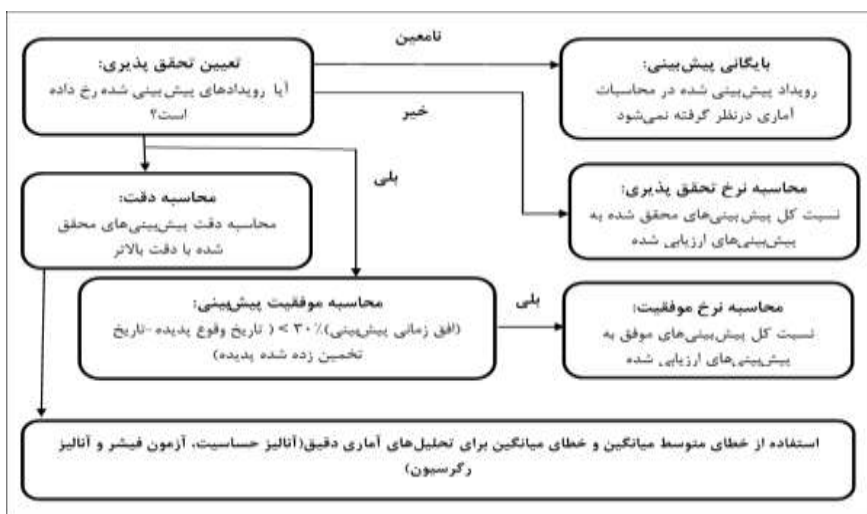
فای و همکاران (۲۰۱۳)، ۹ عامل موثر در دقت پیش‌بینی مورد بررسی قرار داده‌اند که عبارتند از: روش پیش‌بینی، حوزه فناوری، نوع پیش‌بینی، سطح آمادگی فناوری<sup>۲</sup>، درجه پیچیدگی فناوری، افق زمانی پیش‌بینی، منطقه جغرافیایی که پیش‌بینی در آنجا انجام شده است، منطقه جغرافیایی که پیش‌بینی برای آنجا انجام شده و نوع سند منتشر شده. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که از این ۹ عامل تنها ۲ عامل «روش پیش‌بینی» و «افق‌زمانی»، تاثیر عمده بر دقت پیش‌بینی دارند. همچنین دقت پیش‌بینی در روش‌های کمی بیش از دقت روش‌های کیفی است با این حال در روش‌های خبره محور، تعداد پدیده‌های بیشتری محقق شده است. از نظر افق زمانی نیز، پیش‌بینی‌های با افق زمانی کمتر، دقیق‌تر از پیش‌بینی‌های با افق زمانی بلندتر بوده است. به عنوان مثال پیش‌بینی فناوری برای کوتاه مدت (۱ تا ۵ ساله) و میان

1 Forecast accuracy assessment

2 Technology Readiness Level (TRL)

مدت (۶ تا ۱۰ ساله) حدود ۳۸ تا ۳۹ درصد و پیش‌بینی بلند مدت (۱۱ سال و بیشتر) تنها ۱۴ درصد موفقیت داشته‌است. فرآیند ارزیابی دقت فای و همکاران (۲۰۱۳)، در شکل ۲ نمایش داده شده است. دقت پیش‌بینی با محاسبه نرخ تحقق پذیری، دقت و نرخ موفقیت تعیین شده است.

در میان پیش‌بینی‌های فناوری، تمرکز عمده‌ای بر روی یک افق کوتاه به میزان ۳ تا ۵ سال وجود دارد و ارزیابی‌های دقت پیش‌بینی بلند مدت تقریباً وجود ندارد (لارنر و همکاران، ۲۰۱۵). در واقع پیش‌بینی‌هایی با افق بلندتر از بیست سال به اندازه‌ای نادر هستند که حداقل در یک پژوهش که آن‌ها انجام دادند، خارج از بحث در نظر گرفته شده و حذف شده‌اند. به طور کلی داده‌های پیش‌بینی طولی نادر می‌باشند. مطالعات انجام شده توسط آلبرایت (۲۰۰۲) و پارت و اندرسون-پارت (۲۰۱۱) احتمالاً تنها مطالب منتشر شده بانک داده‌های مربوط به دقت برای افق‌های بلند مدت (بیش از ۲۵ سال) می‌باشند (هالال ۲۰۱۳؛ رو و رایت ۲۰۱۱).



شکل ۲- فرآیند ارزیابی دقت پیش‌بینی (فای و همکاران، ۲۰۱۳)

رو و رایت (۲۰۱۱) به طور کلی بر چالش ارزیابی دقت پیش‌بینی‌ها تاکید می‌کنند و عنوان می‌دارند که شاید «دقت یک پیش‌بینی» معیار خوبی برای عملکرد پیش‌بینی نباشد؛ شاید توافق به دست آمده در تولید یک پیش‌بینی، محصول ارزشمندتری از فرآیند پیش‌بینی باشد. فیرات و همکاران (۲۰۰۸) نیز این دیدگاه را گزارش می‌کنند که برخلاف افق‌های کوتاه مدت، اگر

افق ۱۵ سال یا بیشتر باشد ارزیابی دقت دشوار شده و به‌کارگیری آن مشکل‌سازتر می‌گردد. به این ترتیب چند نمونه در نظر گرفته می‌شود که دقت پیش‌بینی‌ها در یک افق نسبتاً بلند مدت ارزیابی شده است.

مقاله دیگری (هالال ۲۰۱۳) نتایج چند پژوهش ارزیابی سالانه را گزارش می‌کند که نشان می‌دهد واریانس میانگین همه پیش‌بینی‌ها  $1-3+$  سال در افق‌های ۱۰ ساله می‌باشد. در این پژوهش هر پیش‌بینی، سالی را اعلام می‌کند که یک فناوری خاص به سطح اکتساب ۳۰ درصدی در کشورهای صنعتی رسیده باشد. ظاهراً این ارزیابی از نظرات نخبگان برای تعیین رسیدن فناوری به آن سطح از اکتساب در افق زمانی استفاده کرده است.

یک پژوهش نادر درباره دقت پیش‌بینی در افق ۳۰ ساله (پارنت و اندرسون-پارنت ۲۰۱۱) تحقیقی را در سال ۱۹۸۱ تشریح می‌کند که طی آن ۱۸ سناریوی در زمینه توسعه سلامت فکری مطرح شده است و وقوع ۹ مورد از آنها پیش‌بینی شده؛ در حالی که پیش‌بینی شده است که ۹ مورد دیگر رخ نمی‌دهد. در سال ۲۰۱۱، ارزیابی شده که ۵ مورد از این پیش‌بینی‌ها اشتباه بوده است که نشان دهنده دقت ۷۲ درصدی (۱۳ از ۱۸) می‌باشد.

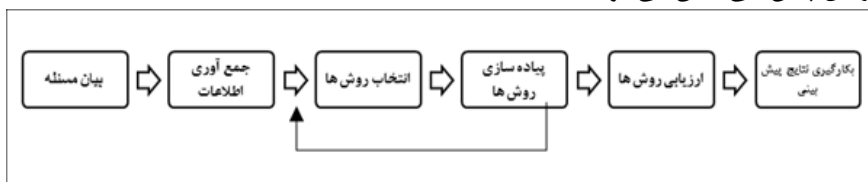
یک پژوهش منحصر به فرد در افق ۳۳ ساله، پیش‌بینی فناوری‌های انجام شده در سال ۱۹۷۶ برای سال ۲۰۰۰ را مرور می‌کند و در می‌یابد که پیش‌بینی‌ها در زمینه رایانه و ارتباطات در حدود ۸۰ درصد صحیح است درحالی‌که پیش‌بینی‌ها در سایر حوزه‌ها دقت کمتری در حدود ۵۰ درصد داشته است. همچنین باید به نمونه‌ای از یک پیش‌بینی در افق ۵۰ ساله اشاره شود که در سال ۱۹۶۴ توسط آیزاک آسیموف انجام شده است که به طور گسترده‌ای به عنوان یک پیش‌بینی با دقت بسیار بالا توسط مطبوعات در سال ۲۰۱۴ شناخته شده است. اما ارزیابی‌های مطبوعات، روایی بوده‌اند و اطلاعاتی از مشخصه کمی آن پیش‌بینی‌ها در اختیار نیست.

## پیش‌بینی فناوری و ارزیابی دقت

### فرآیند پیش‌بینی

زمانی یک پیش‌بینی می‌تواند دقت کافی را داشته باشد که مبتنی بر یک فرآیند منطقی و نظام‌مند باشد. فرآیند پیش‌بینی را می‌توان کلی به شش مرحله تقسیم نمود که از بیان مسئله شروع شده تا بکارگیری نتایج ادامه می‌یابد. این مراحل در شکل ۳ نمایش داده شده است. جهت اجرای صحیح این فرآیند، اصولی نیز تعریف می‌شود که در ارزیابی فرآیند پیش‌بینی نیز

می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این اصول تمامی مراحل فرآیند را پوشش می‌دهد و بکارگیری صحیح آن‌ها می‌تواند دقت نتایج پیش‌بینی را افزایش دهد. تعداد این اصول، ۱۳۹ اصل است که در قالب ۱۶ گروه اصلی، دسته‌بندی می‌شود. در ادامه، فهرست گروه‌های اصلی به تفکیک مراحل پیش‌بینی، بیان می‌شود:



شک ۳- فرآیند اجرای پیش‌بینی

### الف) مرحله بیان مسئله:

۱. تبیین اهداف
۲. سازماندهی مسئله

### ب) مرحله جمع آوری اطلاعات:

۳. شناسایی منابع اطلاعاتی
۴. جمع آوری داده‌ها
۵. آماده‌سازی داده‌ها

### ج) مراحل انتخاب و پیاده‌سازی روش‌ها:

۶. انتخاب روش
۷. اجرای روش: کلیات
۸. اجرای روش: قضاوت‌های خبرگی
۹. اجرای روش: کمی‌سازی
۱۰. اجرای روش: بکارگیری مدل‌های کمی به همراه متغیرهای توصیفی
۱۱. یکپارچه‌سازی قضاوت‌های خبرگی و روش‌های کمی
۱۲. ترکیب پیش‌بینی‌ها

### د) مرحله ارزیابی:

۱۳. ارزیابی روش‌ها
۱۴. ارزیابی عدم قطعیت‌ها

### ه) مرحله بکارگیری پیش‌بینی‌ها:

۱۵. ارائه پیش‌بینی‌ها
۱۶. یادگیری و بازخورد.

جزئیات و نکات مربوط به این اصول در هندبوک اصول پیش‌بینی، توسط آرمسترانگ، در سال ۲۰۰۱ ارائه شده است. فهرست اصول پیش‌بینی، بصورت کامل در پیوست ب بیان شده‌است و می‌تواند در قالب یک چک‌لیست کنترل فرآیند، مورد استفاده قرار گیرد.

### **پیش‌بینی بلندمدت فناوری‌های دفاعی**

در دهه ۱۹۹۰ مطالعاتی منتشر شده است که محققان در آن‌ها دیدگاه‌هایی درباره آینده فناوری های دفاعی ارائه کرده‌اند. برخی از آن‌ها سال ۲۰۲۰ را به عنوان افق خود تعیین نموده‌اند. جستجوهای فراوانی برای کارهای منتشر شده در بازه سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ در رابطه با پیش‌بینی های تسلیحات و فناوری‌های دفاعی در سال ۲۰۲۰ انجام شده‌است. این مقالات بازه وسیعی از کارهای تخیلی تا مقالات محبوب و نیز گزارش‌های فنی درون سازمانی و خلاصه های آن‌ها را شامل می‌شود.

از میان این مقالاتی را که جزئیات فنی معین بسیار کمی را ارائه کرده بودند یا افق زمانی آنها مبهم بود یا با سال ۲۰۲۰ تفاوت داشت حذف شده است. برای مثال هرچند پژوهشی با عنوان «انقلاب در امور نظامی: یک ارزیابی اولیه» (کرینویچ ۱۹۹۲) چند پیش‌بینی نظامی فناورانه مناسب ارائه کرده است ولی افق زمانی را مشخص ننموده است. بنابراین این مقاله در این پژوهش لحاظ نشده است. از سوی دیگر مقاله ای با عنوان «شرایط آینده: مشخصات و هدایت نبرد، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰» (هیوز ۲۰۰۳)، افق ۲۰۲۰ را هدف قرار داده است؛ اما پیش‌بینی‌های خود را با عبارات بسیار گسترده‌ای بیان نموده که ارزیابی در سال ۲۰۲۰ را دشوار می‌سازد. مثال های دیگری از قبیل گوردون و ویلسون (۱۹۹۸)، اپلیگیت (۲۰۰۱)، بیدل (۱۹۹۸) و غیره ایده‌های مهمی را درباره ماهیت و روند تسلیحات در سال ۲۰۲۰ ارائه کرده‌اند اما پیش‌بینی فناوری خاص در آنها اندک بوده است.

طی این فرآیند مقالات زیر انتخاب شده است که سبک و رویکرد آنها به طور مناسبی متنوع است:

- مقاله نیومن (۱۹۹۶) مجموعه ای از پیش‌بینی‌های فناوری از بازه وسیعی از منابع آشکار می‌باشد که هدف آن مخاطبین گسترده‌ای از خوانندگان رسانه‌های فعال است.

- ویکرز (۱۹۹۶) یک گزارش رسمی تهیه شده برای مرکز ارزیابی‌های راهبردی و بودجه می‌باشد که عمدتاً تحت حمایت دپارتمان دفاعی آمریکا فعالیت می‌کند.
  - کتاب اوهانلون (۲۰۰۰) به فناوری‌های آینده در میدان نبرد با استفاده از تحلیل خود محقق (که در اواخر دهه ۱۹۹۰ انجام شده) درباره مبانی علمی فناوری‌ها می‌پردازد.
  - اسکالز (۲۰۱۷، ۱۹۹۷) و اسکالز و پارمنتولا (۱۹۹۸) یافته‌های پروژه‌های با نام «ارتش آینده» را توصیف می‌کنند که توسط گروهی از افسران ارتش آمریکا در سالهای ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷ انجام شده است. این پروژه هرچند به طور خاص بر روی فناوری متمرکز نیست ولی شامل چندین پیش‌بینی درباره آینده فناوری‌ها می‌باشد. بعضی از این پیش‌بینی‌ها به سال ۲۰۲۵ اشاره دارند، نه سال ۲۰۲۰.
  - پترز (۱۹۹۱) یک داستان تخیلی و یک رمان ماجراجویی نظامی با توصیفات بسیار از فناوری‌های نظامی آینده می‌باشد. دقت عجیب برخی از فناوری‌های پیش‌بینی شده در این رمان می‌تواند از موقعیت نویسنده به عنوان یک افسر اطلاعاتی ارتش آمریکا در اروپا، در زمان نوشتن این رمان نشأت گرفته باشد.
- از این پنج منبع بسیار متفاوت مطالب فراوانی درباره فناوری‌های پیش‌بینی شده آینده استخراج شده است. در فرایند استخراج، فناوری‌های مربوط به تسلیحات هسته‌ای، شیمیایی و بیولوژیکی و نیز مباحث مربوط به مسائل راهبردی جدا شده است. همچنین منابع مربوط به فناوری‌های مرتبط با فعالیت‌های دریایی و هوایی نیز کنار گذاشته شده و به عمدتاً به مسائل مربوط به تسلیحات زمینی پرداخته شده است؛ علاوه بر این گزاره‌هایی را که برای یک ارزیابی معنادار بسیار مبهم بوده‌اند مثل «نقش رو به رشد اطلاعات» حذف شده است. و درنهایت عباراتی را که به فناوری‌های حساسی اشاره داشته‌اند که ارزیابی آن‌ها با اطلاعات حاصل از منابع آشکار ناممکن بوده نیز کنار گذاشته شده است.
- در بسیاری موارد پیش‌بینی‌ها به توصیفات و هشدارهایی مربوط بودند از قبیل «اگر پیشرفت کافی در پژوهش الف انجام شود ممکن است که فناوری ب تا سال ۲۰۲۰ در دسترس قرار گیرد». چنین عبارتی با یک گزاره ساده جایگزین است که فناوری ب، تا سال ۲۰۲۰ در دسترس خواهد بود. به طور کلی گزاره‌ها برای اطمینان از درجه‌ای از سازگاری، شفافیت و اختصار عوض شده‌است.

این فرایند استخراج، به ۸۶ گزاره پیش‌بینی منجر شده که چند نمونه از آنها در جدول ۱ نشان داده شده است. کل فهرست را می‌توان در پیوست الف مشاهده کرد. تعداد گزاره‌های استخراج شده از هر منبع در جدول ۲ نشان داده شده است. وقتی گزاره‌های یکسانی در بیش از یک منبع به دست آمده است تلاش شده که گزاره‌های مشابه در یک گزاره ترکیب شود. به همین دلیل تعداد کل در جدول ۲ بیش از ۸۶ گزاره می‌باشد.

برای مقایسه دقت پیش‌بینی‌ها در گروه‌های مختلف فناوری‌ها، گزاره‌های پیش‌بینی را در گروه‌هایی دسته‌بندی شده است که به طور مشترک در حوزه فناوری‌های دفاعی قرار داشته اند (پیوست الف که این گروه‌ها در آن نشان داده شده مشاهده شود). گروه‌هایی که در اینجا به صورت بسیار غیر رسمی تعریف شده است به صورت زیر می‌باشد:

- «اثرات خط دید»: در این دسته همه پیش‌بینی‌های مربوط به تسلیحات و سایر سیستم‌هایی که اثراتی بر اهداف دشمن ایجاد می‌کند که مستقیماً از دید تیرانداز قابل مشاهده است جمع‌آوری شده است. (به مثال‌های را در پیوست الف مراجعه شود).
- «اثرات خارج از خط دید»: این دسته شامل پیش‌بینی‌های مربوط به تسلیحات و سایر سیستم‌هایی می‌باشد که مهمات یا عوامل دیگر را بر اهدافی ارسال می‌کند که به طور مستقیم قابل مشاهده نیستند.
- «محافظت»: پیش‌بینی‌هایی درباره سیستم‌های بکار رفته برای محافظت، یعنی شکست یا کاهش اثرات ایجاد شده به واسطه دشمن روی اهداف دوست.
- «پلتفرم‌ها»: پیش‌بینی‌هایی درباره سیستم‌هایی که رزمندگان و تجهیزات را به میدان نبرد و اطراف آن منتقل می‌کنند.
- «تسلیحات سایبری و الکترونیک»: پیش‌بینی‌ها درباره سیستم‌های بکار رفته برای اختلال در ارتباطات، پردازش و ذخیره اطلاعات دشمن.
- «حسگری و جمع‌آوری اطلاعات»: پیش‌بینی‌ها درباره سیستم‌هایی برای کسب اطلاعات درباره تجهیزات دشمن و دوست.
- «فرماندهی و کنترل»: پیش‌بینی‌ها درباره سیستم‌هایی برای تفسیر اطلاعات میدان نبرد و تصمیم‌گیری و برقراری ارتباط درباره اقدامات.

جدول ۱: مثال‌هایی از گزاره‌های پیش‌بینی. حروف V، N، H، P و T به منبع پیش‌بینی اشاره دارند (مثلاً P برای پترز، H برای اوهانلون، و ...)

حوزه پیش‌بینی	گزاره پیش‌بینی	مرجع پیش‌بینی
اثرات خط دید	مهمات یک تانک به وسیله لیزر هدایت خواهد شد	H
پلتفرم‌ها	یک وسیله نقلیه زمینه رباتیک (بدون سرنشین) به عنوان یک دیده‌بان به کار خواهد رفت	H، P
اثرات خارج از خط دید	دسته‌هایی از پهپادهای مسلح (مهمات گشت‌زن) قادر خواهند بود اهداف زمینی بسیاری را نابود کنند	V، H، S

جدول ۲: تعداد گزاره‌های لحاظ شده در تحلیل‌ها به ازای هر منبع

اسکالز (S)	پترز (P)	ویکرز (V)	نیومن (N)	اوهانلون (H)	سایر (T)
۱۴	۱۲	۱۶	۲۰	۳۳	۵

در برخی موارد یک گزاره پیش‌بینی دقیقاً در یکی گروه‌های ذکر شده قرار نمی‌گیرد و تلاش شده است بهترین گروه ممکن انتخاب شود.

منابع مورد استفاده، علاوه بر پیش‌بینی‌های فناوری، پیش‌بینی‌های ارزشمند کلی بسیاری را نیز درباره شرایط و روند فعالیت‌های دفاعی در سال ۲۰۲۰ ارائه داده‌اند. اما لحاظ کردن ملاحظات چنین پیش‌بینی‌هایی، در حوزه مد نظر این پژوهش قرار ندارد.

### ارزیابی موفقیت پیش‌بینی‌ها

ارزیابی موفقیت یک پیش‌بینی فناوری عموماً توسط خبرگان آن موضوع در زمانی که پیش‌بینی انجام شده است یعنی در افق زمانی یا بعد از آن انجام می‌شود. خبرگان دیدگاه‌های خود را درباره اینکه آیا این فناوری درجه تاثیر پیش‌بینی شده (مثلاً ضعیف، متوسط، قوی) را بر روی صنعت مربوطه در افق زمانی دارا بوده است (لرنر و همکاران ۲۰۱۵) یا اینکه آیا این فناوری، نرخ اکتساب پیش‌بینی شده را به نمایش گذاشته ارائه می‌کنند (فای و همکاران ۲۰۱۳). در صورتیکه تاثیر یا نرخ اکتساب پیش‌بینی با مقدار پیش‌بینی شده در افق زمانی در نظر گرفته شده برای آن مطابقت کند یا از آن فراتر رود پیش‌بینی موفق در نظر گرفته می‌شود.

برای مثال در سال ۱۹۹۰ یک پیش‌بینی عنوان می‌کند که در سال ۲۰۰۵ (افق زمانی) فناوری الف، نرخ اکتساب ۲۰ درصد را به نمایش خواهد گذاشت. بعداً در سال ۲۰۰۵ گروهی از خبرگان فناوری الف را مرور کرده و ارزیابی می‌کنند که در واقع به نرخ اکتساب ۲۰ درصد رسیده یا از آن فراتر رفته است. در این صورت پیش‌بینی موفق ارزیابی می‌شود.

در مورد فناوری‌های دفاعی اغلب مشاهده درجه‌ای از تأثیر یا یک نرخ اکتساب، بدون یک درگیری مسلحانه واقعی در مقیاس قابل توجه ناممکن است. مقدار کاربرد میدانی، معیار مناسبی برای ارزیابی فناوری نیست زیرا که به‌کارگیری میدانی یک فناوری‌های دفاعی جدید اغلب در انتظار یک الزام دفاعی واقعی است. دستیابی به هدف این پژوهش یعنی تنها پیش‌بینی پویایی فناوری، بر خلاف پیش‌بینی توسعه‌های دفاعی-سیاسی در یک افق زمانی، رویکرد متفاوتی نیاز دارد.

تصمیم گرفته شد که بر سطح آمادگی فناوری تمرکز شود (وزارت دفاع آمریکا ۲۰۰۹). به ویژه تصمیم گرفته شد که یک پیش‌بینی مثلاً «در سال ۲۰۲۰ انتظار داریم فناوری الف» به این صورت تعبیر شود که تا سال ۲۰۲۰ فناوری الف به سطح آمادگی ۸ خواهد رسید؛ یعنی یک سیستم واقعی ساخته شده است و از طریق تست‌ها و نمایش‌ها ارزیابی شده است. توجه شود که بالاترین سطح آمادگی فناوری ۹ که سیستم را از طریق فعالیتهای عملیاتی موفق سیستم اثبات می‌کند در نظر گرفته نشده است زیرا که فرصت‌ها برای انجام عملیات‌ها تابعی از شرایط سیاسی دفاعی است، نه ذاتا خود فناوری. تمایل براین نبوده که پویایی فناوری با پویایی سیاسی-دفاعی تلفیق شود. اینگونه استدلال می‌شود که اگر یک نبرد و ضرورت دفاعی رخ دهد یک فناوری با سطح آمادگی ۸ در چرخه تولید و عملیات قرار خواهد گرفت.

علاوه بر پذیرش سطح آمادگی فناوری ۸ به عنوان اثباتی بر وجود یک فناوری، همچنین فناوری در صورتی موجود در نظر گرفته می‌شود که برای فروش تجاری ارائه گردد یا حداقل بر اساس یک مبنای آزمایشی، به‌طور موفقیت آمیزی میدانی شود. برای اختصار در این مقاله یک گزاره پیش‌بینی به طور کلی صحیح ارزیابی می‌شود اگر مطابق منابع آشکار یکی از شرایط زیر در سال ۲۰۲۰ یا قبل از آن در هر کشور به لحاظ فناوری توسعه یافته، اعمال گردد:

- نمونه اولیه سیستم در سطح آمادگی فناوری ۸ نمایش داده شود یا

- سیستم برای فروش تجاری ارائه گردد یا

- سیستم حتی به صورت آزمایشی برای کاربرد عملیاتی به کار رود.

علاوه بر این نتیجه گرفته می‌شود که پیش‌بینی‌های بلندمدت همواره ارزیابی‌های صفر و یک یعنی ارزیابی یک پیش‌بینی به عنوان کاملاً موفق یا کاملاً ناموفق را نمی‌پذیرد. به دلیل

این که ماهیت و رویکردهای فناوری مناسب می‌تواند به طور چشمگیری در یک افق بلندمدت تغییر کند؛ برای اهداف فناوری بلند مدت، ارزیابی یک درجه کسری که طبق آن فناوری واقعی در افق زمانی به فناوری پیش‌بینی شده نزدیک می‌شود مناسب‌تر به نظر می‌رسد. مثال زیر را در نظر بگیرید. فرض کنید یک پیش‌بینی عنوان کند که طی ۳۰ سال، فناوری الف فعالیت‌های ب و ج را انجام خواهد داد. در افق زمانی سی سال بعد، ارزیاب متوجه می‌شود که فناوری الف در واقع فعالیت ب را اجرا می‌کند اما به دلیل تغییرات در محیط نظامی فعالیت ج دیگر مدنظر نیست و بنابراین موجود نمی‌باشد. آیا می‌توان این پیش‌بینی را کاملاً موفق حساب کرد؟ احتمالاً خیر؛ حداقل باید یک اعتبار جزئی برای آن در نظر گرفت.

بنابراین در این پژوهش، مقیاس اعتباردهی کسری زیر برای یک پیش‌بینی هم کمی و هم کیفی، به خبرگان ارائه شده است: کاملاً غلط (۰)، تا حدی درست (۰/۲ - ۰/۲۵)، نیمه درست (۰/۵۰)، تا حد زیادی درست (۰/۷۵ - ۰/۸۰)، و کاملاً درست (۱). ولی در اغلب موارد ارزیابی‌های خبرگان صفرو یک بوده است.

شایان ذکر است که خبرگان، برای در نظر گرفتن توسعه‌های فناوری در سراسر جهان توجیه شدند. ارزیابی بر روی هیچ کشور خاصی متمرکز نبوده است. فناوری، صرف‌نظر از کشوری که در آن توسعه رخ می‌دهد و یا ارتشی که به این فناوری دسترسی داشته، موجود در نظر گرفته شده است.

مجموعه ۱۰ خبره در فرایند ارزیابی شرکت داشته‌اند. هر خبره ارزیابی خود را به طور جداگانه ارائه کرده و مخیر بوده، تنها گزاره‌هایی را ارزیابی کند که به حوزه تخصصی او تعلق دارد. بنابراین هر پیش‌بینی توسط همه ده ارزیاب سنجش نشده است. هر گزاره پیش‌بینی توسط ۴ الی ۱۰ ارزیاب سنجش شده و به طور کلی ۶۳۷ ارزیابی صورت گرفته است.

جدول ۳ نمونه نتایجی از ارزیابی‌های تخصصی را نشان می‌دهد. برای هر گزاره پیش‌بینی حداقل ۴ ارزیابی تخصصی و در برخی موارد ۹ ارزیابی تخصصی به دست آمده است. در حالی که برای بسیاری از پیش‌بینی‌ها ارزیابی‌های همه خبرگان یکسان بوده در برخی موارد دیدگاه‌ها تفاوت داشته است. به جای میانگین‌گیری ساده ارزیابی‌های واگرا، یک داوری انجام شده است: ارزیابی‌های غالب با ملاحظه ویژه، نسبت به خبرگانی که دانش بیشتری در آن حوزه داشتند و با توجه به شواهد موجود در مقالات، زمانی که شواهد شفاف بودند، انتخاب شده‌اند.

مثلاً برای گزاره نخست در جدول ۳ نتیجه ارزیابی داوری شده، یک می باشد. برای گزاره دوم نیز، یک. برای سومین گزاره، ارزیابی داوری شده ۰/۵ می باشد. شایان ذکر است که ارزیابی های داوری شده الزاماً دیدگاه‌های نویسندگان این مقاله نیست.

به ناچار، ارزیابی‌ها با توجه به این واقعیت که پیش‌بینی‌ها اغلب به شیوه نسبتاً مبهمی صورت پذیرفته اند به چالش کشیده شده است. گاهی اوقات تعیین اینکه دقیقاً چه ویژگی‌ها یا صفات یا فعالیت‌های در فناوری‌های پیش‌بینی شده مد نظر قرار گرفته اند دشوار بوده است. خبرگان باید تفاسیر و فرضیات قابل‌قبولی را، معمولاً به طور ضمنی، درباره جزئیاتی که پیش‌بین در زمینه آن پیش‌بینی مد نظر داشته لحاظ می‌کردند.

جدول ۳: نتایج نمونه حاصل از ارزیابی‌های تخصصی برای چند گزاره پیش‌بینی.

(برچسب‌های E ۱ تا E ۱۰، به ۱۰ خبره اطلاق می‌شوند).

گزاره پیش‌بینی	E ۱	E ۲	E ۳	E ۴	E ۵	E ۶	E ۷	E ۸	E ۹	E ۱۰
یک تانک (یا تفنگ یا خمپاره) بدون اپراتور فعالیت خواهد کرد	۱		۱	۱	۱	۰	۰/۷	۱		۱
یک وسیله نقلیه زمينه رباتیک (بدون سرنشین) به عنوان یک دیده‌بان به کار خواهد رفت	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۷	۱		۰/۳
یک پلتفرم هوایی رزمی از روتور مایل استفاده خواهد کرد	۰/۵	۰/۵			۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵		۰

چالش دیگر مربوط به این موضوع بود که پیش‌بینی یک فناوری می‌تواند به حداقل سه دسته مختلف از پیشرفت فناوریانه اطلاق شود. در ارائه یک پیش‌بینی، یک پیش‌بین می‌تواند یک فناوری را در ذهن داشته باشد که توسعه ارزشمندی را ایجاد کند اما تا زمانی که با یک سیستم کامل برای کاربرد نهایی یکپارچه نشود نمی‌تواند فعالیتی را به یک کاربر عرضه کند. از سوی دیگر یک پیش‌بین می‌تواند درباره یک سیستم کاملاً یکپارچه پیش‌بینی کند که توسط کاربر نهایی مورد نظر به کار گرفته شده باشد. یا یک پیش‌بین می‌تواند درباره یک قابلیت نهایی، یعنی سودمندی ارائه شده برای کاربر نهایی، پیش‌بینی کند که توسط برخی سیستم‌ها که احتمالاً تعیین نشده، قابل دستیابی است.

برای اهداف این پژوهش و ارزیاب‌های خبره فرض شده است که یک گزاره پیش‌بینی به گزاره‌ای اطلاق می‌شود که مشخصه آن، دربرگرفتن ویژگی‌های فناورانه معین یا یک قابلیت برای اجرای یک فعالیت مفید معین، باشد. ماهیت دقیق سیستم به کار رفته توسط یک پیش بین دو یا سه دهه قبل می‌تواند مورد تردید باشد و به تفاسیر و فرضیاتی نیاز داشته باشد که همواره صریح یا بین خبرگان یکسان نبوده است؛ این موضوع محدودیت دیگری برای روش شناسی پژوهش حاضر بوده است.

اما چالش دیگر پیش‌روی ارزیابان آن بوده که با در نظر گرفتن ماهیت دفاعی فناوری‌های تحت بررسی؛ آنها باید بر اطلاعات حاصل از منابع آشکار تکیه می‌کردند. حتی زمانی که دانش حرفه‌ای آن‌ها عنوان می‌کرد که منابع آشکار، سطح توسعه یک فناوری را کمتر از حد واقعی گزارش کرده‌اند یا برعکس آن را بسیار خوش‌بینانه مطرح نموده‌اند، خبرگان به ارائه ارزیابی‌های خود بر اساس دانش موجود منتشر شده محدود بوده‌اند.

### تجزیه و تحلیل یافته‌ها

دقت یک گزاره پیش‌بینی واحد، به صورت ارزیابی داوری شده آن گزاره پیش‌بینی تعریف می‌شود که در بخش قبلی تشریح شد. مثلاً برای گزاره نخست در جدول سه دقت ۱ بوده و برای گزاره سوم دقت ۰/۵. برای مجموعه‌ای از گزاره‌های پیش‌بینی از عبارت «دقت میانگین» برای اشاره به میانگین حسابی دقت همه گزاره‌های درون مجموعه استفاده شده است. دقت میانگین برای هر ۸۶ گزاره پیش‌بینی (پیوست الف ملاحظه شود) ۰/۷۶ بود. این عدد تا حد زیادی با دو پیش‌بینی دیگر برای افق‌های بلند تر از ۲۰ سال مطابقت دارد. در یکی از این دو (پارنت و اندرسون - پارنت ۲۰۱۱) دقت میانگین ۰/۷۲ بوده است. در دیگری (آلبرایت ۲۰۰۲) دقت از ۰/۸۰ برای حوزه‌های مربوط به رایانه و ارتباطات تا کمتر از ۰/۵۰ برای سایر حوزه‌های فناوری بوده است. از سوی دیگر این مقدار بسیار بیشتر از ۰/۱۴ گزارش شده توسط فای و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد.

می‌توان دقت پیش‌بینی‌های محققان - پیش‌بینی‌های مطرح شده در این پژوهش - را مقایسه کرد. هرچند اعتقاد بر این است که چنین مقایسه‌ای به دلایل متعدد، نه ارزشمند است و نه برای پیش‌بین‌ها مناسب. مثلاً هدف یک کار تخیلی، عمدتاً ارزش ادبی و سرگرمی آن است، نه دقت پیش‌بینی‌ها؛ حتی اگر آنها در آینده رخ دهند (در مورد پترز ۱۹۹۱).

سایر پیش‌بین‌ها مثلاً اوهانلون (۲۰۰۰) مباحث بسیاری درباره عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های خود مطرح کرده‌اند که به ناچار در این پژوهش نادیده گرفته شده است. بنابراین پیش‌بین‌ها مقایسه نمی‌شوند.

از سوی دیگر مقایسه مقادیر دقت میانگین برای دسته‌های مختلف ارزیابی‌ها آموزنده است (جدول ۴). به بیان دیگر آن دسته‌هایی که سهم بیشتری از فناوری‌های مربوط به گردآوری، پردازش و انتشار اطلاعات را شامل شده‌اند از گروه‌های دیگری که به اثرات فیزیکی تر ارتباط داشته‌اند بهتر بوده‌اند. این امر با ملاحظه ارائه شده در کار آبرایت (۲۰۰۲) تایید می‌شود که پیش‌بینی‌های صورت گرفته در سال ۱۹۶۷ برای سال ۲۰۰۰ در زمینه رایانه و ارتباطات در حدود ۸۰ درصد صحیح بوده در حالیکه پیش‌بینی‌ها در همه حوزه‌های دیگر از درستی کمتر از ۵۰ درصد برخوردار بوده است. آبرایت (۲۰۰۲) فرض می‌کند که «روندهای پایدار افزایش قابلیت‌ها و کاهش هزینه‌های فناوری‌های به کار رفته برای رایانه‌ها و ارتباطات در سال ۱۹۶۷ واضح بوده‌اند فلذا پیش‌بینی‌های دقیق بلندمدت را ممکن ساخته‌اند.» همانند آبرایت (۲۰۰۲) فرض می‌شود که پیش‌بینی‌های مربوط به گردآوری اطلاعات (حسگری) و پردازش، دقت بیشتری نسبت به سایر پیش‌بینی‌ها دارد. برای کمی کردن این ملاحظه، گروه پیش‌بینی‌هایی که دسته‌های تأثیرات خط دید، تأثیرات خارج از خط دید، حفاظت و پلتفرم‌ها (در مجموع ۴۳ گزاره با دقت متوسط ۰/۶۵) را با پیش‌بینی‌های تسلیحات سایبری و الکترونیک، حسگری و گردآوری اطلاعات، و فرماندهی و کنترل (مجموعاً ۳۸ گزاره با دقت میانگین ۰/۸۷) مقایسه شده است.

جدول ۴: دقت میانگین پیش‌بینی‌ها برای دسته‌های مختلف گزاره‌های پیش‌بینی

حوزه پیش‌بینی	اثرات خط دید	اثرات خارج از خط دید	حفاظت	پلتفرم‌ها	تسلیحات سایبری و الکترونیک	حسگری و جمع‌آوری اطلاعات	فرماندهی و کنترل
میانگین دقت	۰/۵	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۸۱

برای تعیین اینکه آیا تفاوت بین دو مقدار متوسط به لحاظ آماری معنادار است توجه شود که غالب گزاره‌ها (۷۱ از ۸۶ مورد) به صورت صفر یا یک ارزیابی شده است و بنابراین می‌توان داده‌ها را به صورت دو بخش برآورد نمود. با فرض اینکه همه مقادیر دقت برابر با یا بیشتر

از ۰/۵۰، بیانگر پیش‌بینی‌های معتبر هستند؛ مشاهده می‌شود که گروه نخست دارای ۳۰ پیش‌بینی معتبر از مجموع ۴۳ مورد و گروه دوم دارای ۳۶ پیش‌بینی معتبر از مجموعه ۳۸ مورد است. با استفاده از  $N-1$  آزمون خی-دو که توسط کمپل (۲۰۰۷) توصیه شده، سطح قابل توجه  $P=0/0044$  محاسبه می‌شود. اگر فرض شود که پیش‌بینی‌های معتبر آنهاستند که مقادیر دقت بالای ۰/۵۰ را دارند، آنگاه گروه نخست دارای ۲۷ پیش‌بینی معتبر از مجموع ۴۳ مورد و گروه دوم دارای ۳۲ پیش‌بینی معتبر از ۳۸ مورد است. سطح قابل توجه  $P=0/0035$  همچنان قابل قبول است. به بیان دیگر احتمال زیادی وجود دارد که دو گروه، دو جمعیت پدیده‌های فناورانه را منعکس کنند که در زمینه آزمون‌پذیری پیش‌بینی‌ها اختلاف داشته باشند. راه دیگر برای بررسی دقت پیش‌بینی‌ها، در نظر گرفتن بخشی از همه پیش‌بینی‌ها است که حداقل تا حدی صحیح ارزیابی می‌شوند. در مجموعه داده‌های این پژوهش مشاهده می‌شود که از ۸۶ گزاره پیش‌بینی، ۶۶ مورد به عنوان صحیح در سطح ۰/۵۰ یا بالاتر ارزیابی شده‌است. با این معیار، دقت کلی مجموعه پیش‌بینی‌ها ۸۶ درصد است.

علاوه بر این می‌توان پرسید که آیا یک گزاره پیش‌بینی، به یک روند توسعه فناوری اطلاق می‌شود که در زمان ارزیابی، هنوز هم امیدوار کننده و موفق لحاظ می‌گردد. اگر چنین باشد پیش‌بینی در دهه ۱۹۹۰، مدیران تحقیقات را در جهت درستی هدایت می‌کرد حتی اگر سیستم پیش‌بینی شده هنوز تا سال ۲۰۲۰ توسعه نیافته باشد و به عنوان موضوعی برای تحقیق و توسعه فعال باقی مانده باشد. فهرست گزارش‌های پیش‌بینی این پژوهش بررسی شده و آنهاست که (۱) پیشرفت‌های تحقیق و توسعه قابل توجهی در آن حوزه‌ها رخ داده؛ همچنین (۲) جهت‌گیری سرمایه‌گذاری فعال تحقیق و توسعه در این زمان را نشان می‌دهد شناسایی شده است. در نتیجه، حداقل ۷۲ مورد از ۸۶ گزاره، معیارهای فوق را برآورده می‌کند. با این معیار ۸۹ درصد از گزاره‌های پیش‌بینی بر این اساس که جهت‌های صحیح و امیدوار کننده تحقیق و توسعه را پیش‌بینی کرده‌اند درست در نظر گرفته می‌شود. لذا اگر پیش‌بینی‌ها با یک میانگین ساده از همه ارزیابی‌ها سنجیده شوند، دقت آن‌ها ۰/۷۶ است. اگر با جزئی از همه گزاره‌هایی که در سطح ۰/۵۰ یا بیشتر ارزیابی شدند سنجیده شوند ۰/۸۱، و اگر با تعداد گزاره‌هایی که به عنوان جهت‌های تحقیق و توسعه موفق و امیدوار کننده ارزیابی شده‌اند سنجیده شوند ۰/۸۹ است.

برای مرور محدودیت‌های این پژوهش ابتدا باید به چند چالش در مورد ارزیابی‌های تخصصی اشاره شده در بخش قبلی پرداخته شود. ارزیاب‌ها مجبور بودند گزارش‌های پیش‌بین‌ها را که اغلب خلاصه، مبهم و وابسته به موضوع مناقشات در جامعه فناوری دفاعی دو تا سه دهه قبل بودند را رمزگشایی کنند. یک ذهنیت اجتناب‌ناپذیر در تفاسیر ارزیابان از معنی گزاره‌های پیش‌بینی و همچنین درجه کامل بودن و موثر بودن فعالیت‌هایی که پیش‌بین‌ها از سیستم‌های پیش‌بینی شده انتظار داشتند وجود داشت. از آنجایی که ارزیاب‌ها ملزم بودند که بر اطلاعات موجود در منابع آشکار تکیه کنند (که همواره کاملاً قابل اطمینان یا دقیق نبودند)، تفاوت‌های اجتناب‌ناپذیری در آشنایی ارزیاب‌ها با مقالات و تفاسیر آنها از بلوغ و آمادگی سیستم توصیف شده در مقاله وجود داشت. به طور کلی این چالش‌ها در همه مقالات پیش‌بینی فناوری وجود داشتند.

شاید یک محدودیت بسیار عمیق‌تر، همچنین مشترک برای مقالات پیش‌بینی فناوری، این واقعیت باشد که این پژوهش برای یک تحلیل کمی موارد منفی اشتباه تلاش نمی‌کند یعنی به شکست پیش‌بین‌ها در پیشگویی فناوری‌هایی که در واقعیت محقق شدند نمی‌پردازد. این موضوع به عنوان یک مسئله مهم برای تحقیق آینده مورد ملاحظه قرار خواهد گرفت. موضوع مهم دیگر برای پژوهش آتی، و محدودیتی برای مقاله حاضر، نیاز به قرار دادن دقت پیش‌بینی‌های فناورانه بلندمدت در یک چارچوب نظری است. این کار به ویژه می‌تواند برای بررسی آن که آیا امواج کندراتیف (که به عنوان امواج بلند یا امواج K نیز شناخته می‌شود) به دقت پیش‌بینی‌های فناورانه بلند مدت مربوط است ارزشمند باشد. مثلاً برخی محققان (کوکیا ۲۰۱۷، ۲۰۱۸؛ گلدشتاین ۲۰۰۶) مطالبی درباره ارتباط امواج K، تسلیحات و نوآوری ارائه می‌کنند. برای مثال کوکیا (۲۰۱۷) تأکید می‌کند که پویایی ظهور فناوری به شدت توسط تلاش‌های راهبردی سازمان‌های هدفمند قدرت‌های بزرگ هدایت می‌شود، و یک فرمول بندی نظری (کوکیا ۲۰۱۸) ارائه می‌کند که در آن تسلیحات در فازهای ناپایداری امواج K قرار گرفته که به خوشه‌های نوآوری منجر می‌شود و سپس به نوبه خود پویایی موج K را ایجاد می‌کند. طبق نظر روتان (۲۰۰۶) بدون یک نبرد یا یک هزینه نظامی قوی، نوآوری کاهش یافته که به نرخ پایین‌تر رشد بهره‌وری منجر می‌شود.

رابطه بین نبرد با نوآوری همواره به طور مستقیم توسط هزینه تحقیق و توسعه دفاعی به هم ارتباط پیدانمی‌کند. برای مثال دوره زمانی بین جنگ جهانی اول و دوم دوره ای با بودجه نظامی پایین و همچنین نوآوری گسترده و موفق بود (مورای و میل ۱۹۹۸). این دوره بین دو جنگ، دشواری‌های فرمول بندی یک چارچوب نظری از عواملی که به نرخ بالای نوآوری منجر می‌شوند را نشان می‌دهد زیرا کشورهای مختلف به طور موفقیت‌آمیزی به دلایل مختلفی نوآوری می‌کنند. درس‌های جنگ اخیر، و انتظارات جنگ بعدی، نقش مهمی را ایفا می‌کنند. همانگونه که مبانی روانی در ارزیابی تهدیدها چنین نقشی را دارد (هاردی و همکاران ۲۰۱۱). بدیهی است که این پویایی پیچیده می‌تواند بخشی از آنچه که دقت پیش‌بینی‌های فناوری دفاعی بلندمدت را سبب می‌شود باشد.

### نتیجه‌گیری

پیش‌بینی‌های فناوری دفاعی به واسطه ماهیت آنها اصولاً بلند مدت با افق‌های مفید بلندتر از ۲۰ سال می‌باشند. بنابراین در نظر گرفتن دقت چنین پیش‌بینی‌های بلند مدتی به منظور توسعه و تدارک فناوری دفاعی، به ویژه در تصمیمات مدیریتی مهم درباره تخصیص منابع مالی به موضوعات تحقیقاتی بلندمدت اهمیت دارد.

یافته کلیدی و سهم این پژوهش آن است که دقت پیش‌بینی‌هایی که توسط چندین محقق در دهه ۱۹۹۰ با افق معین سال ۲۰۲۰ انجام شد به طور قابل قبولی بالا است. دقت میانگین اندازه گیری شده گزاره‌های پیش‌بینی توسط ارزیابی خبره محور ۰/۷۶ می‌باشد. این مقدار تا حد زیادی با دو پیش‌بینی شناخته شده دیگر با افق‌های بالای ۲۰ سال، پارت و اندرسون-پارنت (۲۰۱۱) و آلبرایت (۲۰۰۲)، قابل مقایسه بوده و از مقدار پیش‌بینی‌شده در برخی کارهای دیگر مثلاً فای و همکاران (۲۰۱۳) بسیار بالاتر است.

در صورتی که پیش‌بینی‌ها به این صورت انجام شود که آیا یک گزاره پیش‌بینی به روند توسعه یک فناوری که امیدوار کننده بوده و در این زمان پیشرفت‌های قابل توجهی به نمایش گذاشته باشد اطلاق می‌شود؛ دقت پیش‌بینی‌های انجام شده با ملاحظات این پژوهش نسبت به پژوهش‌های قبلی حتی بالاتر است. یافته دیگر آن که با این معیار، ۸۹٪ از گزاره‌های پیش‌بینی از این منظر که جهت‌های معتبر و امیدوار کننده تحقیق و توسعه را پیش‌بینی کرده‌اند صحیح

می باشند. در دهه ۱۹۹۰ این پیش‌بینی‌ها به درستی به جهت‌های فناوری اشاره کرده‌اند که پیشرفت و تداوم حوزه‌های فعال توسعه و سرمایه‌گذاری را به نمایش گذاشته‌اند.

یافته مهم دیگر آن است که برخی دسته‌های فناوری، دقت پیش‌بینی بسیار بالاتری نسبت به سایرین نشان داده‌اند. به ویژه اینکه یک تفاوت عمده و معنادار آماری بالا در دقت پیش‌بینی‌های مربوط به فناوری‌های اطلاعاتی (یعنی تسلیحات سایبری و الکترونیک، حسگری و گردآوری اطلاعات، و فرماندهی و کنترل) و فیزیکی (یعنی اثرات خط دید، اثرات خارج از خط دید، و حفاظت و پلتفرم‌ها) وجود دارد. مورد دوم مجموعاً ۴۳ گزاره با دقت میانگین ۰/۶۵ ارائه کرده است در حالی که مورد اول مجموعاً ۳۸ گزاره با دقت میانگین ۰/۸۷ داشته‌است. این نتایج بسیار مشابه با نتایج آلبرایت (۲۰۰۲) بوده و یافته‌های آن را تایید می‌کند. دلایل چنین تفاوت‌های معناداری در دقت پیش‌بینی‌ها آشکار نیست؛ این تفاوت‌ها احتمالاً از اختلاف در ماهیت و بلوغ فناوری‌های رشدیافته، نشأت گرفته و باید موضوع تحقیق آینده باشد.

سایر یافته‌ها و سهم این پژوهش به جنبه‌های روش‌شناسی ارزیابی دقت پیش‌بینی مربوط است. نخست انجام چنین ارزیابی‌هایی بر روی ترکیبی از پیش‌بینی‌ها از پیش‌بینی‌های متعدد به جای مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌ها از یک محقق بسیار مناسب است. این کار سبب رفع این نگرانی‌ها می‌شود که یک پیش‌بینی نادرست بتواند مقادیر مورد انتظار دقت را تغییر دهد و یا اینکه کسی باید پیش‌بینی خاصی را انتخاب کند تا یک پیش‌بینی کاملاً دقیق به دست آید.

در رابطه با رویکرد اجرایی ارزیابی‌ها، ارزیابی اینکه آیا یک فناوری در افق زمانی به یک سطح آمادگی معین رسیده است یا خیر چندان دشوار نبوده است. این کار نسبت به بررسی اثرات یا سطح اکتساب یک فناوری بسیار آسان‌تر و عینی‌تر است. روش اول بر خود فناوری تمرکز می‌کند در حالی که در روش دوم بلوغ فناوری را به طور نامناسبی با بازار و شرایط رقابتی تلفیق می‌کند. بنابراین استفاده از آمادگی فناوری به عنوان یک معیار کلیدی برای ارزیابی اینکه آیا یک پیش‌بینی موفقیت‌آمیز است یا خیر توصیه نمی‌شود. علاوه بر این ارزیابی‌های «اعتبار جزئی» که امتحان شده است نیز مفید بوده و بکارگیری آنها آسان بوده است. مشارکت چندین ارزیاب خبره (در مورد این پژوهش تا ۱۰ نفر) مطلوب است زیرا این کار سبب بهبود کیفیت کلی ارزیابی‌ها می‌شود.

هرچند تمرکز این پژوهش بر روی فناوری دفاعی بوده، محدودیت استفاده از اطلاعات موجود در منابع آشکار، مانع قابل توجهی نبوده است. تنها در چند مورد خبرگان یک موضوع احساس کردند که نمی‌توانند و نباید هیچ‌گونه نظری درباره یک گزاره پیش‌بینی ارائه دهند زیرا انجام چنین کاری می‌تواند اطلاعاتی را آشکار کند که برای حوزه عمومی نیست. کم بودن این موارد تا حدی به ماهیت بلند مدت پیش‌بینی‌ها، در افق ۲۰ تا ۳۰ ساله، مربوط است که در این پژوهش در نظر گرفته شده است. پیش‌بینی در چنین افق‌های بلند مدتی طبیعتاً در منابع آشکار صورت می‌گیرد حتی برای فناوری‌های دفاعی. ارزیابی دقت - به ویژه ارزیابی‌های سطح واقعی آمادگی فناوری سیستم‌های تحت بررسی - در زمانی که به فناوری دفاعی پرداخته می‌شود می‌تواند چالش برانگیز تر باشد؛ اما در عمل مشخص شده است که این کار چندان دشوار نبوده به جز در موارد اندکی که باید از این پژوهش حذف می‌شدند.

با توجه به اینکه فناوری‌های دفاعی بخش عمده‌ای از اقتصاد را در بر گرفته و یک عامل وجودی در زندگی یک ملت می‌باشند باید از تحقیقات بیشتری استقبال کرد که دقت پیش‌بینی بلند مدت فناوری‌های دفاعی را بررسی کنند. کار بعدی باید شامل ایجاد سیستم فرایندی برای پیش‌بینی پیوسته و ارزیابی فناوری‌های باشد شاید تا حدودی مشابه با آنچه که توسط پروژه بلند مدت «تک‌کست»<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد (هلال ۲۰۱۳).

اگر ارزیابی‌ها توسط گروه‌های مختلف محققین به دلیل تفاوت در روشهای ارزیابی آن‌ها قابل مقایسه نباشند، چنین فرآیندی برای ارزیابی پیوسته اثرگذاری کمتری خواهند داشت. ایجاد یک مجموعه هماهنگ استاندارد سازی شده از روش‌های مناسب برای استفاده یکدست در جامعه پیش‌بینی فناوری، یک پیشرفت بسیار مطلوب و موضوع مناسبی برای کار بعدی می‌باشد.

موضوع مهم دیگر برای کار بعدی درباره روش شناسی پیش‌بینی ارزیابی موارد منفی اشتباه - فناوری‌هایی که پیش‌بینی نمی‌شوند در افق زمانی ظهور می‌کنند - در پیش‌بینی فناوری می‌باشد. شکست در پیش‌بینی یک فناوری (مورد منفی اشتباه) به اندازه پیش‌بینی غلط که یک فناوری ظهور می‌کند جدی است. اگر کشوری در پیش‌بینی یک فناوری دفاعی حیاتی و سرمایه‌گذاری مناسب برای آن شکست بخورد ممکن است با غافلگیری شدیدی از سوی

دشمنی مواجه شود که آن فناوری را شناسایی کرده بود. کار بعدی درباره این موضوع ارزش قابل توجهی خواهد داشت.

مطابق این پژوهش، آینده بلند مدت فناوری نه تنها غیر قابل پیش‌بینی نیست؛ بلکه می‌تواند بسیار دقیق هم باشد. همچنین این پیش‌بینی‌ها می‌توانند سهم ارزشمندی در تصمیمات مدیریت تحقیق و توسعه دفاعی داشته باشد.

## مراجع

- Albright, R.E., 2002. What can past technology forecasts tell us about the future? *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 69 (5), 443–464.
- Applegate, M., 2001. *Preparing for Asymmetry: As Seen Through the Lens of Joint Vision 2020*. Army War College, Strategic Studies Institute, Carlisle Barracks, PA.
- Armstrong, J. S., 2001. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, xii and 849 pages. ISBN 0-7923-7930-6
- Armstrong, J.S., 2006. How to make better forecasts and decisions: avoid face-to-face meetings. *International Journal of Applied Forecasting* 5, 3–15.
- Armstrong, J.S., Grohman, M.C., 1972. A comparative study of methods for long-range market forecasting. *Manag. Sci.* 19 (2), 211–221.
- Ascher, W., 1979. Problems of forecasting and technology assessment. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 13 (2), 149–156.
- Berg, J.E., Nelson, F.D., Rietz, T.A., 2008. Prediction market accuracy in the long run. *Int. J. Forecast.* 24 (2), 285–300.
- Biddle, S., 1998. The past as prologue: assessing theories of future warfare. *Secur. Stud.* 8 (1), 1–74.
- Campbell, I., 2007. Chi-squared and Fisher-Irwin tests of two-by-two tables with small sample recommendations. *Stat. Med.* 26, 3661–3675.
- Carbone, R., Andersen, A., Coriveau, Y., Corson, P.P., 1983. Comparing for different time series methods the value of technical expertise individualized analysis, and judgmental adjustment. *Manag. Sci.* 29 (5), 559–566.
- Coccia, Mario, 2017. The source and nature of general-purpose technologies for supporting next K-waves: global leadership and the case study of the US Navy's Mobile User Objective System. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 116, 331–339.
- Coccia, Mario, 2018. A theory of the general causes of long waves: War, general purpose technologies, and economic change. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 128, 287–295.
- Collins, K., 2014. In 1964 Isaac Asimov accurately predicted how technology would look in 2014. In: *WIRED*, Friday 3 January 2014.

- Department of Defense (DoD), 2009. Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook.
- Doos, L., Packer, C., Ward, D., Simpson, S., Stevens, A., 2016. Past speculations of the future: a review of the methods used for forecasting emerging health technologies. *BMJ Open* 6 (3), e010479.
- Firat, A.K., Woon, W.L., Madnick, S., 2008. Technological Forecasting—A Review. Composite Information Systems Laboratory (CISL), Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Fye, S.R., Charbonneau, S.M., Hay, J.W., Mullins, C.A., 2013. An examination of factors affecting accuracy in technology forecasts. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 80 (6), 1222–1231.
- Goldstein, Joshua S., 2006. The predictive power of long wave theory, 1989–2004. In: Devezas, Tesselano C. (Ed.), *Kondratieff Waves, Warfare and World Security*. vol. 5. IOS Press, pp. 137–144.
- Goldstein, D.G., Gigerenzer, G., 2009. Fast and frugal forecasting. *Int. J. Forecast.* 25 (4), 760–772.
- Gordon IV, J., Wilson, P.A., 1998. The Case for Army XXI Medium-weight Aero-motorized Divisions: A Pathway to the Army of 2020. Strategic Studies Institute, US Army War College, Carlisle Barracks, PA.
- Goure, D., 2017. Will proposed reforms really make army acquisition faster? In: *The National Interest*, December 19, 2017.
- Grove, W.M., Zald, D.H., Lebow, B.S., Snitz, B.E., Nelson, C., 2000. Clinical versus mechanical prediction: a meta-analysis. *Psychol. Assess.* 12 (1), 19.
- Halal, W.E., 2013. Forecasting the technology revolution: results and learnings from the TechCast project. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 80 (8), 1635–1643.
- Hardie, Iain, Johnson, Dominic, Tierney, Dominic, 2011. Psychological aspects of war. *The Handbook on the Political Economy of War* 72.
- Hughes, P.M., 2003. Future conditions: the character and conduct of war, 2010 and 2020. In: Briefing Presented at Center for Information Policy Research. Harvard University, Guest Presentations, Spring.
- Kott A, Perconti P., 2018 Long-term forecasts of military technologies for a 20–30 year horizon: an empirical assessment of accuracy. *Technological Forecasting and Social Change*.
- Krepinevich, A.F., 1992. *The Military-technical Revolution: A Preliminary Assessment*. Center for Strategic and Budgetary Assessments, Washington, DC.
- Lerner, J.C., Robertson, D.C., Goldstein, S.M., 2015. Case studies on forecasting for innovative technologies: frequent revisions improve accuracy. *Health Aff.* 34 (2), 311–318.

- Lorek, K.S., McDonald, C.L., Patz, D.H., 1976. A comparative examination of management forecasts and Box-Jenkins forecasts of earnings. *Account. Rev.* 51 (2), 321–330.
- Makridakis, S., Hibon, M., 2000. The M3-competition: results, conclusions and implications. *Int. J. Forecast.* 16 (4), 451–476.
- Makridakis, S., Hibon, M., Moser, C., 1979. Accuracy of forecasting: an empirical investigation. *J. R. Stat. Soc. Ser. A* 142 (2), 97–145.
- Murray, Williamson R., Millett, Allan R., 1998. *Military Innovation in the Interwar Period*. Cambridge University Press.
- Newman, R.J., 1996. Warfare 2020. *US News & World Report* 121 (5), 34–41.
- O'Hanlon, M.E., 2000. *Technological Change and the Future of Warfare*. Brookings Institution Press, Washington, DC.
- O'Hanlon, M.E., 2019. Forecasting change in military technology, 2020-2040. The paper draws from Michael E. O'Hanlon, *The Senkaku Paradox: Risking Great Power War Over Small Stakes* (Washington, DC: Brookings Institution Press, forthcoming 2019).
- Parente, R., Anderson-Parente, J., 2011. A case study of long-term Delphi accuracy. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 78 (9), 1705–1711.
- Peters, R., 1991. *The War in 2020: Bush, Clinton, and the Generals*. Pocket Books, New York, NY.
- Rowe, G., Wright, G., 2011. The Delphi technique: past, present, and future prospects—introduction to the special issue. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 78 (9), 1487–1490.
- Ruttan, V.W., 2006. Is war necessary for economic growth? In: *Military Procurement and Technology Development*. Oxford University Press, New York.
- Scales, B., 2017. Battle for Army's soul resumes: lessons from army after next. In: *Breaking Defense*. 28 Apr. 2017.
- Scales Jr., R.H., 1997. The annual report for the army after next project to the chief of staff of the army, July 1997. Fort Monroe, VA: U.S. Army training and doctrine command. Cited from: Scales Jr., R. H. (2000). In: *Revised Edition of Future Warfare Anthology*. U.S. Army War College, Carlisle Barracks, PA.
- Scales Jr., R.H., Parmentola, J.A., 1998. The army after next: intertwining military art, science, and technology out to the year 2025. *Army RD&A journal*. Cited from: Scales Jr., R. H. (2000). In: *Revised Edition of Future Warfare Anthology*. U.S. Army War College, Carlisle Barracks, PA.
- Van Creveld, M., 2010. *Technology and War: From 2000 BC to the Present*. Simon and Schuster, New York, NY.
- Vickers, M.G., 1996. *Warfare in 2020: A Primer*. Center for Strategic and Budgetary Assessments.