



ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
سازمان توسعه فناوری نانو
واحد رصد فناوری

روندهای علم و فناوری ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

سازمان علم و فناوری ناتو

خرداد ۱۴۰۰



فهرست مطالب

فهرست مطالب	۲
خلاصه اجرایی	۴
۱- مقدمه	۹
۱-۱- زمینه	۹
۲-۱- هدف	۱۲
۳-۱- رویکرد و نگرش	۱۳
۴-۱- مرور کلی	۱۶
۲- روندهای علم و فناوری	۱۸
۱-۲- توسعه علم و فناوری	۱۸
۲-۱-۱- زمینه و بافتار علم و فناوری	۱۹
۲-۱-۲- هم‌افزایی	۲۶
۲-۲- ارزیابی	۲۷
۲-۲-۱- تأثیر	۲۷
۲-۲-۲- توجه	۲۸
۳-۲-۲- بلوغ فناوری	۳۲
۴-۲-۲- قابلیت	۳۳
۵-۲-۲- دامنه‌های علم و فناوری	۳۴
۳-۲- فناوری‌های برافکن	۳۴
۲-۳-۱- داده: بزرگ داده‌ها و تجزیه و تحلیل پیشرفته	۳۴
۲-۳-۲- هوش مصنوعی (AI)	۳۷
۳-۳-۲- خودرانی	۴۰
۴-۳-۲- فناوری‌های فضایی	۴۳
۵-۳-۲- سیستم‌های تسلیحاتی مافوق صوت	۴۵
۴-۲- فناوری‌های نوظهور	۴۸
۱-۴-۲- فناوری‌های کوانتومی	۴۸
۲-۴-۲- فناوری‌های زیستی (و بهبود انسانی)	۵۲

۵۴.....	۲-۴-۳- مواد و روش‌های تولید نوین
۵۶.....	۲-۵- همگرایی، وابستگی‌های متقابل و هم‌افزایی:
۵۷.....	۲-۵-۱- داده/ هوش مصنوعی / خودرانی
۵۷.....	۲-۵-۲- داده/ کوانتوم
۵۸.....	۲-۵-۳- فضا/ فراصوت/ مواد
۵۹.....	۲-۵-۴- فضا/ کوانتوم
۶۰.....	۲-۵-۵- داده/ هوش مصنوعی / زیست‌فناوری
۶۱.....	۲-۵-۶- داده/ هوش مصنوعی / مواد
۶۱.....	۲-۶- مقابله با تهدیدات «EDT»
۶۲.....	۲-۷- خلاصه
۶۵.....	۳- روندهای زمینه‌ای
۶۵.....	۳-۱- مقدمه
۶۵.....	۳-۲- نوآوری و سرمایه‌گذاری
۷۲.....	۳-۳- محرک‌های استراتژیک
۷۲.....	۳-۳-۱- محیط عملیاتی (فضا و حوزه اطلاعات، قطب شمال، شهری)
۷۸.....	۳-۳-۲- فرهنگ، اخلاق و قانون
۸۱.....	۳-۳-۳- محیط‌زیست
۸۲.....	۳-۳-۴- متفرقه
۸۳.....	۳-۴- دفاع و امنیت
۸۶.....	۴- نتیجه‌گیری
۸۸.....	۵. ضمیمه «H»: مواد و روش‌های ساخت نوین
۸۸.....	۵-۱- مواد جدید و ساخت پیشرفته
۸۸.....	۵-۲- تعریف
۸۹.....	۵-۳- کلیدواژه‌ها
۹۰.....	۵-۴- بررسی اجمالی
۹۷.....	۵-۵- کاربردها و مفاهیم نظامی:
۱۰۱.....	۵-۶- توسعه علم و فناوری:
۱۰۳.....	۵-۷- کارت‌های حدس و گمان:

خلاصه اجرایی

گزارش حاضر که با عنوان «روندهای علم و فناوری: ۲۰۲۰-۲۰۴۰ میلادی» ارائه شده، به ارزیابی علوم و فناوری‌های نوظهور (Emerging) یا برافکن (Disruptive) و تأثیر بالقوه آنها بر عملیات‌های نظامی ناتو (NATO)، توانمندی‌های دفاعی و فضای تصمیم‌گیری سیاسی می‌پردازد. ارزیابی صورت گرفته، مبتنی بر بینش جمعی سازمان علوم و فناوری ناتو (STO) و شبکه همکار این سازمان بوده که شامل بیش از ۶۰۰۰ دانشمند، تحلیلگر، محقق و مهندس فعال و امکانات تحقیقاتی مرتبط می‌باشد. این بینش‌ها، ترکیبی از بررسی‌های گسترده ادبیات منبع‌باز آینده‌پژوهی در حوزه علم و فناوری (Science & Technologies-S&T) و برنامه‌های تحقیقاتی ملی است.

هدف از این گزارش، ایجاد درکی بهتر از فناوری‌های نوظهور و انقلابی (Emerging and Disruptive Technologies-EDTs) و کمک به تصمیم‌گیران نظامی و غیرنظامی فعلی و آتی است. در همین راستا، گزارش به‌طور خاص بر موارد زیر متمرکز شده است:

- چرا فناوری‌های نوظهور و انقلابی، برای فعالیت‌های آتی اتحادیه مهم می‌باشند؟ (منظور از اتحادیه، کشورهای عضو ناتو یا همان اتحادیه آتلانتیک شمالی «North Atlantic Alliance» است.)
- با گذشت زمان، انتظار می‌رود که این فناوری‌ها چگونه پیشرفت کنند؟
- این موضوع، از منظر عملیاتی و سازمانی، برای اتحادیه چه معنایی دارد؟

در نهایت، این گزارش برای ایجاد تمرکز بر تلاش‌های اتحادیه در حوزه علم و فناوری تهیه شده و موارد زیر را مد نظر قرار داده است: (۱) در سطح کلان، مروری بر تهدیدها و فرصت‌های ناشی از فناوری‌های نوظهور و برافکن دارد، (۲) در سطح کارکنان، کمک و راهنمایی برای طراحی مفاهیم و قابلیت‌های نظامی آتی خواهد بود و (۳) به‌طور کلی،

به سیاست‌گذاران در آماده‌سازی نیروهای اتحادیه و سازمان ناتو، برای موفقیت در مأموریت‌های خود در فضای امنیتی آینده کمک می‌کند.

انتظار می‌رود که طی ۲۰ سال آینده، چهار ویژگی اساسی، بسیاری از فناوری‌های پیشرفته نظامی را تعریف کنند:

- هوشمندی (Intelligent): بهره‌گیری از هوش مصنوعی یکپارچه، قابلیت‌های تحلیلی دانش‌محور و همزیستی هوش مصنوعی و انسان برای عرضه کاربردهای برافکن در طیف‌های فناورانه؛
- به‌هم‌پیوستگی (Interconnected): بهره‌برداری از شبکه دامنه‌های مجازی و فیزیکی، از جمله شبکه سنسورها، سازمان‌ها، افراد و نهادهای مستقل که از طریق روش‌های رمزگذاری جدید و فناوری‌های دفتر کل توزیع شده (Distributed Ledger Technologies)، به هم متصل شده‌اند؛
- توزیع شده (Distributed): به‌کارگیری و استفاده از سنجش، ذخیره‌سازی و محاسبات در مقیاس بزرگ، به صورت غیرمتمرکز و در همه جا، برای دستیابی به اثرات برافکن جدید در حوزه نظامی؛
- دیجیتال (Digital): اختلاط و ترکیب دامنه‌های انسانی، فیزیکی و اطلاعاتی، برای پشتیبانی از اثرات برافکن جدید.

فناوری‌هایی که دارای چنین ویژگی‌هایی باشند، از طریق توسعه دانش و مزیت تصمیم‌گیری، استفاده از منابع داده قابل اعتماد، بهبود اثربخشی و قابلیت‌ها در تمامی حوزه‌های عملیاتی و ابزارهای قدرتی و همچنین انطباق با یک محیط امنیتی مملو از فناوری‌های ارزان، توزیع شده و جهانی برای آینده، اثربخشی عملیاتی و سازمانی اتحادیه را افزایش می‌دهند.

هشت حوزه به شدت به‌هم‌پیوسته علم و فناوری، به‌عنوان مهم‌ترین تغییرات رادیکال استراتژیک ۲۰ سال آینده در نظر گرفته شده‌اند. در این بین، هفت مورد از این فناوری‌های نوظهور و انقلابی، در سال ۲۰۱۹ میلادی توسط وزرای

دفاع تأیید گردیده‌اند. این در حالی است که هشتمین مورد (مواد)، توسط سازمان علوم و فناوری ناتو، به‌عنوان حوزه‌ای برای بررسی و توسعه‌های آتی اضافه شده است. این حوزه‌های علم و فناوری، یا هم‌اکنون در مراحل ابتدایی توسعه قرار داشته و یا در حال توسعه سریع و انقلابی (Revolutionary) می‌باشند. فناوری‌های نوظهور و برافکن یاد شده، عبارتند از:

۱. داده (Data)

۲. هوش مصنوعی (Artificial Intelligence)

۳. سیستم‌های مستقل / خودکار / خودران (Autonomy)

۴. فضا (Space)

۵. فراصوت (Hypersonics)

۶. کوانتوم (Quantum)

۷. زیست‌فناوری (Biotechnology)

۸. مواد (Materials)

به نظر می‌رسد که توسعه فناوری در حوزه‌های داده، هوش مصنوعی، سیستم‌های خودران، فضا و فراصوت، عمده‌تاً دارای ماهیت برافکن باشند؛ چرا که تحولات و پیشرفت‌های این حوزه‌ها، بر پایه تاریخچه‌ای طولانی و مبتنی بر پشتیبانی از توسعه فناوری بنا شده است. بر همین اساس، در نتیجه فناوری‌های یاد شده، تحولات انقلابی شایان ذکری در توانمندی‌های نظامی حال حاضر در حال رخ دادن بوده، یا این فناوری‌ها طی ۵ الی ۱۰ سال آینده، تأثیر قابل توجهی به جا می‌گذارند. پیشرفت‌های جدیدی نیز در حوزه‌های کوانتوم، زیست‌فناوری و مواد در حال ظهور بوده که البته ایجاد ماهیت انقلابی آن‌ها در توانمندی‌های نظامی، نیازمند مدت زمان بیشتری خواهد بود (۱۰ تا ۲۰ سال).

گفتنی است که به احتمال زیاد، اثرات برافکن، از طریق ترکیب این فناوری‌های نوظهور و فعل‌وانفعالات پیچیده بین آن‌ها رخ خواهد داد. پیش‌بینی می‌شود که هم‌افزایی و وابستگی‌های داخلی زیر، در توسعه توانمندی‌های نظامی آتی، به شدت اثرگذار باشند:

- **داده، هوش مصنوعی و سیستم‌های خودران:** ترکیبی هم‌افزا از سیستم‌های خودران، بزرگ داده‌ها (Big Data) و هوش مصنوعی؛ با بکارگیری سنسورهای هوشمند و ارزان قیمتی که به صورت گسترده توزیع شده‌اند، در کنار واحدهای خودران (فیزیکی یا مجازی)، فناوری‌ها و روش‌های جدیدی شکل می‌گیرند که یک مزیت بالقوه نظامی، برای تصمیم‌گیری استراتژیک و عملیاتی خواهند بود.
- **داده، هوش مصنوعی و زیست‌فناوری:** هوش مصنوعی، همگام با بزرگ داده‌ها، به طراحی داروهای جدید، تغییرات ژنتیکی هدفمند، دست‌کاری مستقیم واکنش‌های بیوشیمیایی و سنسورهای زنده کمک خواهد کرد.
- **داده، هوش مصنوعی و مواد:** هوش مصنوعی، همگام با بزرگ داده‌ها، به طراحی مواد جدید، با خصوصیات فیزیکی منحصربه‌فرد کمک می‌کند. به‌طور خاص، این موضوع از پیشرفت‌های آتی در استفاده از مواد دو بعدی و طراحی‌های جدید پشتیبانی می‌کند.
- **داده و کوانتوم:** طی یک افق ۱۵ تا ۲۰ ساله، فناوری‌های کوانتومی از طریق افزایش قابل توجه قابلیت‌های سنسورها، ارتباطات ایمن و همچنین محاسبات، قابلیت جمع‌آوری، پردازش و بهره‌برداری از داده‌های «C4ISR» را افزایش می‌دهند.
- **فضا و کوانتوم:** سنسورهای کوانتومی مبتنی بر فضا که توسط ارتباطات توزیع کلید کوانتومی (Quantum Key Distribution) تجهیز می‌شوند، کلاس کاملاً متفاوتی از سنسورها را به وجود آورده که برای استقرار در ماهواره‌ها مناسب خواهند بود. شکل‌گیری شبکه‌هایی از سنسورهای تجاری‌تر، کوچک‌تر، کم‌مصرف‌تر،

حساس تر و با توزیع گسترده تر که به کمک سنسورهای کوانتومی ممکن می شود، جنبه ای اساسی از معماری «ISR» نظامی در ۲۰ سال آتی خواهد بود.

• **فضا، فراصوت و مواد:** توسعه مواد ناهمگون یا اگزوتیک (exotic materials)، طراحی های نوین،

کوچک سازی، ذخیره سازی انرژی، روش های تولید و پیشرانه ها (نیروی محرکه)، با کاهش هزینه ها، افزایش

قابلیت اطمینان، بهبود عملکرد و تسهیل ارائه تولیداتی ارزان قیمت در سیستم های مبتنی بر تقاضا، مواردی

بسیار ضروری برای بهره برداری کامل از فضا و محیط های فراصوت می باشند.

این فناوری ها، توانایی اتحادیه برای فعالیت در محیط های عملیاتی که به سرعت در حال تحول می باشند را گسترش

می دهد (محیط هایی همچون فضا، حوزه سایبری و مناطق شهری). با این حال، ناتو در راستای توسعه این فناوری ها،

برای تضمین و برطرف نمودن محدودیت های قانونی، سیاسی، اقتصادی و سازمانی، به چالش کشیده می شود.

۱- مقدمه

«پیش‌بینی بسیار دشوار است، به خصوص اگر در مورد آینده باشد».

نیلز بور (Nils Bohr)

۱-۱- زمینه

ناتو به‌عنوان اتحادیه‌ای از کشورهای هم‌فکر، برای صلح، امنیت و ثبات در سرتاسر منطقه یورو آتلانتیک (EuroAtlantic) تلاش می‌کند. این نهاد، چهارچوب اساسی برای همکاری دفاعی و امنیتی خود را در یک طیف وسیع عملیاتی، اعم از دفاع جمعی، مدیریت بحران یا امنیت مشترک فراهم می‌کند. با این وجود، ناتو امروز با یک محیط امنیتی خطرناک، غیر قابل پیش‌بینی و سیال مواجه بوده که با تهدیدها و چالش‌های موجود از همه جهات استراتژیک، از جمله بازیگران دولتی و غیردولتی، نیروهای نظامی هم‌تا و نزدیک (Near-Peer Military Forces)، تهدیدهای سایبری، فضا، تروریسم، جنگ ترکیبی و عملیات اطلاعاتی همراه می‌باشد.

ناتو موفق‌ترین اتحادیه تاریخ بوده که به شکل بی‌سابقه‌ای، صلح و ثبات را برای هفت دهه در سراسر جهان حفظ نموده است. این موفقیت، بر اساس یک چهارچوب نظامی و سیاسی بنا شده که ناتو برای مشاوره، همکاری، هماهنگی، بازدارندگی مؤثر و در نهایت اقدامات واحد ارائه می‌کند. عامل اصلی این موفقیت، جامعه علم و فناوری ناتو (موتور اصلی نوآوری ناتو) بوده که برای اطمینان از موفقیت اتحادیه در طیف‌های عملیاتی و دیپلماتیک، نیازهای فکری و فناوری این سازمان را تأمین می‌کند.

ایجاد اتحادیه‌ای با توانایی پاسخگویی به نیازهای فعلی و آتی و در طیف گسترده‌ای از عملیات‌های بالقوه، نیازمند تعادل ظریفی بین نیازهای امروز و دهه‌های آتی است. دستیابی به این هدف، با درک روشن از چشم‌انداز علم و

فناوری، به‌ویژه نقش توانمندکننده و بی‌ثبات‌کننده فناوری‌های نوظهور و برافکن (EDT) آغاز می‌شود. اگر ناتو خواهان حفظ نمودن حاشیه فکری، فناوری، علمی و نوآورانه‌ای باشد که طی ۷۰ سال گذشته از آن بهره‌مند بوده است، باید به درک کامل این تحولات، کاربرد بالقوه و پیامدهای عملیاتی و استراتژیک آن‌ها بپردازد. علاوه بر این، لازم است که تمام اتحادیه را به شکل خلاقانه‌ای درگیر نموده، تا با تهدیدها و فرصت‌های مرتبط سازگار شده و از سرمایه بی‌نظیر مالی و فکری موجود استفاده نمایند.

دفتر علوم و فناوری ناتو (STO)، نقشی تعیین‌کننده در حمایت از نوآوری، ارائه بینش عمیق در مورد چالش‌های اتحادیه، اطمینان از ادغام قابلیت‌های اتحادیه و در دسترس قرار دادن شبکه‌ای به‌هم‌پیوسته از کارکنان فعال در حوزه علم و دانش داشته و قادر است تا مبتنی بر شواهد، به ناتو، اعضای اتحادیه و شرکا، مشاوره‌های لازم را ارائه نماید. در هسته اصلی، نقش جامعه علم و فناوری ناتو به این شرح می‌باشد:

"... حفظ مزیت علمی و فناوری ناتو، به واسطه تولید، به اشتراک‌گذاری و استفاده از دانش پیشرفته علمی، پیشرفت‌های فناورانه و نوآوری، به منظور حمایت از وظایف اصلی اتحادیه"

علم و فناوری، بر قابلیت‌ها و توانمندی‌های دفاعی اتحادیه و کل ملت‌ها تأثیر داشته است. طی ۷۰ سال گذشته، ناتو از استراتژی‌های مبتنی بر فناوری، اتخاذ تصمیمات مربوطه و استفاده از مزایای علم و فناوری، به شکل مؤثری برای تأثیر فکری، سیاسی، اقتصادی و نظامی استفاده کرده است. با این حال، در سال‌های اخیر به دلیل بسیاری از چالش‌های استراتژیک، اقتصادی، اجتماعی و فنی، این مرز فکری و فناوری کاهش یافته و نگرانی پیرامون از دست دادن این برتری فناورانه، بسیار شدید و واقع‌گرایانه شده است.



شکل ۱- پنج رویکرد در سازمان علوم و فناوری ناتو (STO)

همان‌طور که دبیرکل ناتو، جنس استولتنبرگ (Jens Stoltenberg) اشاره می‌کند:

«لبه فناوری ناتو، همواره عامل مهمی در توانایی برای جلوگیری و دفاع در برابر دشمنان بالقوه بوده است. امنیت آینده ما، به توانایی در درک، اتخاذ و پیاده‌سازی فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، سیستم‌های خودران و سیستم‌های فراصوت بستگی خواهد داشت. در اکتبر ۲۰۱۹، وزیرای دفاع، نقشه راه فناوری‌های نوظهور و برافکن (EDT) را برای کمک به ساختار کاری ناتو در حوزه‌های مهم فناوری تصویب نمودند. این کار، به آن‌ها امکان داد تا به منظور بازدارندگی و دفاع، توسعه قابلیت‌ها، هنجارهای قانونی و اخلاقی و همچنین جنبه‌های کنترل تسلیحات، پیامدهای این فناوری‌ها را در نظر بگیرند».

۱-۲- هدف

روندهای علم و فناوری (۲۰۲۰-۲۰۴۰)، بستر لازم برای کارهایی را فراهم می‌کند که زمینه‌ساز توسعه نقشه راه فناوری‌های نوظهور و برافکن می‌باشد. هدف اصلی این طرح، افزایش سطح درک از پتانسیل تحولات علم و فناوری برای تقویت عملیات نظامی اتحادیه است. به این ترتیب، این گزارش برای تصمیم‌گیری پیرامون موارد زیر راهگشا خواهد بود:

- چرا فناوری‌های نوظهور و برافکن، برای فعالیت‌های آتی اتحادیه مهم خواهند بود؟
 - این فناوری‌ها، چگونه در طول زمان ایجاد می‌شوند؟
 - در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت، چه تحولات و پیامدهای بالقوه‌ای برای اتحادیه انتظار می‌رود؟
- اتحادیه از طریق پیش‌بینی بهتر فضای امنیتی آتی نسبت به دشمنان احتمالی، مزیت رقابتی خود را حفظ نموده است. آینده‌نگاری و پیش‌بینی علم و فناوری، یک جنبه اساسی از این آماده‌سازی است. در این راستا، تلاش بر این نیست که آینده را با جزئیات پیش‌بینی کنیم (چراکه این کار، در بهترین حالت بسیار دشوار بوده و در بدترین حالت هم، غیرممکن خواهد بود). در عوض، می‌کوشیم تا زمینه‌ای برای پیش‌بینی توسعه و تأثیر بالقوه فناوری بر عملیات‌های آتی اتحادیه فراهم گردد.

تجزیه و تحلیل روند فناوری و فرآیند رصد، گام‌های اساسی برای شناسایی فناوری‌های جدید و مهم نظامی و انتقال تأثیر بالقوه این فناوری‌ها بر ناتو و رهبری ملی آن خواهد بود. فناوری‌های شناسایی شده، این نوید را می‌دهند که امکان توسعه توانمندی‌های برافکن نظامی را برای نیروهای متحد (BLUE) و بالقوه خصمانه (RED) فراهم کنند. برای کشف پیامدهای این تغییرات، گزارش حاضر به ارزیابی روندهای فناوری‌های نوظهور و/یا برافکن از منظر تأثیر

بر عملیات ناتو و توسعه توانمندی‌های اصلی ناتو طی ۲۰ سال آینده می‌پردازد. این حوزه‌های علم و فناوری گسترده بوده و همپوشانی‌های قابل توجهی با یکدیگر دارند. در خصوص این فناوری‌ها، انتظار می‌رود که:

- طی یک دوره بیست ساله بالغ شوند؛
- ماهیت تحول‌گرا یا انقلابی داشته باشند؛
- نوظهور بوده یا تغییرات نسلی در توسعه علم و فناوری ایجاد کنند.

دفتر علوم و فناوری ناتو، وظیفه ارائه این ارزیابی‌ها را بر عهده دارد. همان‌طور که در منشور «STO» (سال ۲۰۱۲ میلادی) آمده است:

«این واحد، برای انجام مأموریت خود، مشاوره به ناتو و رهبری ملل پیرامون مسائل مهم تحقیق و توسعه‌ای، از جمله شناسایی فناوری‌های نوظهور و ارزیابی تأثیر آن‌ها بر دفاع و امنیت را در دستور کار قرار می‌دهد».

۳-۱- رویکرد و نگرش

هدف از این گزارش، دستیابی به مخاطبان گسترده، چه در داخل و چه در خارج از ناتو و شرکای آن است. ما این کار را برای ایجاد یک بحث صریح و آشکار در مورد فرصت‌ها و ریسک‌های بالقوه ناشی از تحولات فناورانه طی ۲۰ سال آینده انجام می‌دهیم. بدین ترتیب، گزارش حاضر مبتنی بر موارد زیر تدوین شده است:

- روند فناوری مورد بحث در ادبیات؛
- یک چشم‌انداز جهانی پیرامون پیشرفت فناوری؛
- استدلال منطقی شکل گرفته بر مبنای تخصص علم و فناوری.

گفتنی است که روندهای کاندید علم و فناوری و همچنین فناوری‌های برافکن و نوظهور، با استفاده از ملاحظات زیر مشخص شده است:

- با این رویکرد که مسائل هزینه‌ای مانع نباشند، احتمالاً طی ۲۰ سال آینده، این فناوری‌ها تحقق می‌یابند؛
 - چالش مهم و شفافی برای نیروهای اتحادیه به دنبال خواهند داشت؛
 - به‌طور قابل توجهی، بر قابلیت‌های اتحادیه یا تصمیمات برنامه‌ریزی آن تأثیر می‌گذارند.
- «روندهای علم و فناوری: ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی»، جایگزین گزارش «روندهای فناوری دفتر علوم و فناوری ناتو» (STO Technology Trends) بوده که در سال ۲۰۱۷ ارائه شده است. البته برای تهیه گزارش جدید، از مبانی، پیش و درس‌های آموخته شده در آن گزارش استفاده شده است. علاوه بر این، گزارش حاضر طیف گسترده‌ای از گزارش‌های منبع باز، ارزیابی‌های داخلی و آینده‌پژوهی را هم بکار گرفته تا درک جامعی از چشم‌انداز فناوری آینده ایجاد نماید. این منابع، عبارتند از:
- روند موجود علم و فناوری ناتو و مطالعات صورت گرفته در خصوص محیط امنیتی آینده و بحث‌ها و ارزیابی‌های موجود در این حوزه؛
 - فعالیت‌های رصد فناوری که توسط سازمان علم و فناوری انجام گرفته که از آن جمله، می‌توان به کارت‌های دیده‌بان فناوری (Technology Watch Cards-TWC) (فوریه ۲۰۱۹) و «Von Karman Horizon Scans» اشاره نمود؛
 - متا آنالیز و بررسی منابع باز رصد فناوری و مقالات و گزارشات مربوط به آینده‌نگاری در حوزه‌های دفاعی، امنیتی و صنعتی؛
 - کارگاه‌های آموزشی مربوط به فناوری‌های نوظهور و برافکن که تحت حمایت مالی ناتو و مشارکت سیستم نوآوری برگزار شده است؛

- مطالعات و برنامه‌های تحقیقاتی اتحادیه و شرکا در حوزه فناوری‌های نوظهور و برافکن.

با استفاده از همه این منابع و با مشورت کارکنان ناتو، تصویری از چشم‌انداز آتی فناوری ایجاد شده و مجموعه‌ای از حوزه‌های علم و فناوری انتخاب شده است. این مجموعه، شامل حوزه‌های برجسته‌ای از علم و فناوری است که به احتمال زیاد، کشورهای ناتو و اتحادیه را با تغییر مواجه نموده و با یک طبقه‌بندی از فناوری‌های نوظهور و برافکن و نقشه راه مصوب وزرای دفاع در اکتبر ۲۰۱۹، تلفیق شده‌اند. همچنین در این گزارش، دسته‌ای از فناوری‌های نوظهور جدید نیز که شامل مواد جدید و تولید چابک (Agile Manufacturing) می‌باشند، به موارد قبلی افزوده شده است. هر یک از این فناوری‌ها، به بخش‌های قابلیت و حوزه‌های تمرکز فناوری تقسیم شده و محدوده‌های ویژه‌ای را برجسته می‌کنند که نیازمند تحقیق و توسعه می‌باشند. (ضمیمه «I» گزارش اصلی ناتو، این تقسیم‌بندی را با جزئیات بیشتری توصیف نموده است).

در مطالعه این گزارش، چند نکته مهم را به خاطر داشته باشید:

۱. پیش‌بینی روندهای علم و فناوری، کار دشواری است، اگرچه برخی شواهد نشان می‌دهند که چنین مطالعاتی در پیش‌بینی توسعه علم و فناوری در افق‌های زمانی گسترده، موفق بوده‌اند؛
۲. فناوری‌ها به ندرت به صورت یک روند خطی ساده تکامل می‌یابند و هم‌افزایی‌های پیچیده بین فناوری‌های نوظهور و برافکن، اغلب به اندازه خود این فناوری‌ها اهمیت دارد؛
۳. فهرست «EDT» ها، گروهی از فناوری‌های مرتبط را به وجود می‌آورند که قادر به ایجاد تغییرات فناورانه رادیکال خواهند بود. توسعه زیر فناوری‌ها، ممکن است بسیار متفاوت از کل باشد. علاوه بر این، این گروه‌بندی منحصر به فرد نبوده و می‌توان بسیاری از این نوع طبقه‌بندی‌ها را در ادبیات یافت. اگرچه همه این خوشه‌ها یا طبقه‌بندی‌ها ساده هستند، اما این خوشه‌بندی خاص فناوری‌ها، برای اهداف ما مفید شناخته شده است؛

۴. فناوری، در طول تاریخ محرکی برای تغییر ماهیت تضاد و تعارض انسانی بوده، اما خود یک تعارض نمی‌باشد. در این زمینه، اولین قانون فناوری کرازبرگ (Krazberg) را باید در نظر داشت که می‌گوید: «فناوری نه خوب است و نه بد و همچنین بی‌طرف هم نیست». از فناوری‌های جدید، به‌طور حتم در تعارضات استفاده می‌شود. به همین دلیل، لازم است که چگونگی وقوع آن‌ها را بفهمیم. این درک، اولین قدم ضروری برای حمایت از تصمیمات سیاست‌گذاری فناوری، توسعه توانمندی‌های بالقوه و آماده‌سازی اقدامات متقابل دفاعی است. بدین ترتیب، باید به این موضع اشاره نمود که بحث در مورد تأثیر علم و فناوری در عملیات‌های آتی ناتو (به‌عنوان مثال، کارت‌های حدس (Conjecture Cards) که در ضمیمه‌های گزارش اصلی ناتو ارائه شده)، لزوماً به‌عنوان نشانه‌ای از تلاش‌های تحقیقاتی حال حاضر یا آینده این سازمان نخواهد بود.

۱-۴- مرور کلی

در فصل‌های آتی، تحلیلی از روندهای علم و فناوری مرتبط با امور نظامی شناسایی و معرفی شده که ممکن است بر توسعه قابلیت‌های ناتو و چالش‌های عملیاتی این نهاد طی ۲۰ سال آینده (سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی) تأثیر داشته باشد. (رویکرد و منابع داده کلیدی برای انجام این ارزیابی، در پیوست ۱ گزارش اصلی ناتو شرح داده شده است.)

ارزیابی در سه بخش ارائه شده است:

۱. مروری بر ماهیت کلی توسعه علم و فناوری که شامل حوزه‌های ویژه فناوری‌های نوظهور و انقلابی و اثرگذار بر ناتو طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی است (فصل دوم). این فناوری‌ها، با در نظر گرفتن وضعیت

و نرخ پیشرفت و همچنین پیامدهای نظامی، به طور جداگانه ارائه می شوند. بررسی اجمالی، با در نظر گرفتن هم افزایی های بالقوه و مهم بین این «EDT» ها دنبال می شود، چرا که در هم پوشانی بین آنها، تحولات برافکن قابل توجهی ایجاد می شود؛

۲. زمینه استراتژیک گسترده و محرک هایی که بر توسعه علم و فناوری دفاعی تأثیر خواهند گذاشت، بیان می گردد (فصل سوم)؛

۳. ضمایم جداگانه، جزئیات بیشتری برای هر یک از این فناوری ها ارائه نموده که حاصل تحقیقات گسترده «STO» و فعالیت های رصد فناوری صورت گرفته می باشد. همچنین این بخش، شامل «کارت های حدس» بوده که خلاصه ای از کاربردهای بالقوه این فناوری ها در آینده را معرفی می کند. گفتنی است که نسخه های اولیه این کارت ها، در کارگاه هایی استفاده گردیده و پشتیبانی برای تحلیل و معرفی پتانسیل های این فناوری ها را ممکن می سازد.

(لازم به ذکر است که در میان بخش های مختلف ضمایم گزارش اصلی ناتو، فقط بخش مواد آن در ترجمه حاضر ارائه شده است. همچنین در انتهای سند اصلی ناتو، لیست گسترده ای از منابع مفید و اطلاعات کتابخانه ای ارائه شده که در بخش های مختلف متن و به تناسب مورد، از آنها استفاده شده است.)

۲- روندهای علم و فناوری

در مسابقات هاکی، به سمتی می‌روم که توپ (پاک هاکی) قرار است به آنجا برود، نه جایی که قبلاً آنجا بوده است.

وین گرتزکی (Wayne Gretzky)

۲-۱- توسعه علم و فناوری

ناتو چگونه می‌تواند بهترین و پیشرفته‌ترین فناوری‌هایی که قادر به ایجاد تأثیرات برافکن نظامی هستند را کشف، توسعه و بهره‌برداری نماید؟ منظور از علم و فناوری نوظهور یا برافکن چیست؟ این فناوری‌های نوظهور یا برافکن یا بینش‌های علمی چه چیزهایی هستند؟ منظور از یک اتحادیه چابک و نوآور چیست؟ در این فصل، برای پاسخ به سؤالات یاد شده، خلاصه‌ای از چشم‌انداز فناوری‌های مدرن ارائه می‌شود. تعریف محدود فناوری‌ها، به شرح زیر می‌باشد:

- نوظهور: آن دسته از فناوری‌ها یا اکتشافات علمی که انتظار می‌رود در دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی، به بلوغ رسیده و در حال حاضر، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته یا تأثیرات آن‌ها بر عملکرد، دفاع و عملیات اتحادیه کاملاً مشخص نیست؛
- برافکن: آن دسته از فناوری‌ها یا اکتشافات علمی که انتظار می‌رود تأثیر عمده یا شاید انقلابی بر عملکرد دفاعی، امنیتی یا سازمانی ناتو در دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی داشته باشند؛
- همگرا: ترکیبی از فناوری‌ها که به روشی جدید ترکیب شده و یک اثر برافکن ایجاد می‌کنند.

باید در نظر داشت که همه فناوری‌ها یا اکتشافات علمی، نوظهور یا برافکن نیستند. همچنین، ایجاد تغییرات رادیکال، صرفاً توسط فناوری صورت نمی‌گیرد. علاوه بر این، همه فناوری‌های نوظهور، برافکن نخواهند بود. همه فناوری‌های

برافکن هم، نوظهور نیستند. از سوی دیگر، همه فناوری‌های همگرا، توسط فناوری‌های نوظهور هدایت و تحریک نمی‌شوند. در این گزارش، ما بر آن دسته از فناوری‌هایی متمرکز می‌شویم که به احتمال زیاد، در یک بازه زمانی بیست ساله، برافکن خواهند بود؛ از جمله آن‌هایی که از مرحله اکتشاف اولیه خارج شده، اما هنوز به‌طور گسترده‌ای مورد بهره‌برداری قرار نگرفته‌اند. شناخت الگوی طبیعی توسعه این فناوری‌ها، پیش‌شرط لازم برای درک و ارزیابی تأثیرات بالقوه آن‌ها بر ناتو و اتحادیه می‌باشد.

۲-۱-۱- زمینه و بافتار علم و فناوری

انقلاب نظامی نسل هفتم، با تغییر سریع در فضای فناوری (یک بار دیگر) پیش می‌رود. درگیری سازمان‌یافته انسانی (جنگ در شدیدترین حالت آن)، یک برخورد اساسی از اراده‌ها بین گروه‌های بزرگ اجتماعی است (برای مثال، دولت‌ها، شبه دولت‌ها، انجمن‌ها، جوامع و ...). در چنین درگیری‌هایی، با وجود رقابتی هم‌ردیف یا حتی تهدیدهای نامتقارن، فناوری یک محرک مرزی و اثرگذار خواهد بود. هرچه فناوری دموکراتیک، به مرکزیت وجود انسان نزدیک‌تر شود، نقش بزرگ‌تری در شکل‌گیری تعارض پیدا می‌کند. همان‌طور که ژنرال ریچارد بارونز (Sir Richard Barrons)، فرمانده سابق نیروهای مشترک (انگلیس) اشاره می‌کند:

«همان گستره وسیع فناوری انقلاب صنعتی چهارم (داده، پردازش، اتصال، هوش مصنوعی، رباتیک، علوم زیستی، سیستم خودران و ...) که نحوه زندگی، کار و بازی ما را تغییر داده، اکنون قواعد جنگ را هم دگرگون می‌کند؛ فرآیندی که حداقل یک نسل را در بر خواهد گرفت ... تحولات نظامی، عمدتاً مربوط به جذب و انطباق سریع فناوری و روش‌های مشتق شده از حوزه مدنی در کاربردهای برافکن نظامی است ... موفقیت نظامی آتی، متعلق به کسانی است که برای ارائه قدرت جنگی جدید، ترکیبی از فناوری‌های مبتنی بر اطلاعات را درک نموده و با طی نمودن مراحل طراحی و ساخت، آن‌ها را به بهره‌برداری برسانند».

با این توافق کلی که محیط فناورانه در حال انتقال، یک فاکتور مهم محسوب می‌شود، می‌توان گفت که از منظر استراتژیک و ژئوپلیتیک (به فصل ۳ مراجعه کنید)، ماهیت درگیری‌ها در حال تغییر است. این تغییر ماهیت، خود را در جنگ‌های ترکیبی (Hybrid War)، ابر جنگ‌ها (Hyper War)، جنگ‌های ممیتیک (Memetic Warfare) یا نسل جدید تعارضات نشان می‌دهد. در هر یک از این موارد، فناوری‌های برافکن، با فناوری‌های موجود و توانمندی‌های نظامی ادغام شده، تا راه و روش‌های جدیدی را برای درگیری ایجاد نمایند.

فاکتورهای مشترکی که این فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم را به هم پیوند می‌دهند، بدین شرح است: همه آن‌ها به نوعی شکل گرفته‌اند که ماهیتی هوشمند، به هم پیوسته، توزیع شده و دیجیتال (Intelligent, Interconnected, Distributed and Digital-I2D2) دارند. به طور خاص، یادآور می‌شویم که چشم‌انداز علم و فناوری، با موارد زیر مشخص می‌شود:

- هوشمند: هوش مصنوعی یکپارچه و کامل، توانایی تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری از طریق طیف فناورانه.
- ✓ سیستم خودران (Autonomy): سیستم‌های خودران مجهز به هوش مصنوعی، توانایی تصمیم‌گیری مستقل در برخی از سطوح را خواهند داشت. چنین سیستم‌هایی، ممکن است رباتیک، مبتنی بر پلتفرم و یا نهادمحور (دیجیتال) باشند.
- ✓ هوش انسانی (Humanistic Intelligence): ادغام یکپارچه سیستم‌های روانی، اجتماعی و فناوری (psycho-social-techno systems)، از رفتارهای هم‌افزا و تیم‌سازی‌های انسان-ماشین پشتیبانی می‌کند.
- ✓ تجزیه و تحلیل دانشی (Knowledge Analytics): استفاده از روش‌های تحلیلی پیشرفته (از جمله هوش مصنوعی)، کاوش مجموعه‌هایی از داده‌های بزرگ و ریاضیات پیشرفته و ارائه بینش، دانش و مشاوره‌هایی که تاکنون غیرعملیاتی بوده را ممکن می‌سازد.

- به هم پیوسته: بهره‌برداری از شبکه‌ای (یا مش) همپوشان از دامنه‌های واقعی و مجازی، از جمله سنسورها،

سازمان‌ها، مؤسسات، افراد، نهادهای مستقل و فرآیندها.

✓ ارتباطات ایمن (Trusted Communications): استفاده از فناوری‌هایی مانند فناوری‌های دفتر

کل توزیع شده (به عنوان مثال بلاک چین)، توزیع کلید کوانتومی (QKD)، رمزنگاری کوانتومی و

عوامل سایبری هوش مصنوعی، برای اطمینان از تعاملات قابل اعتماد و تبادل اطلاعات.

✓ سیستم‌های هم افزا (Synergistic Systems): توسعه سیستم‌های پیچیده مختلط (فیزیکی یا

مجازی) و سیستم‌هایی که امکان ایجاد اکوسیستم‌های جدید (به عنوان مثال شهرهای هوشمند) را

فراهم می‌کنند.

- توزیع شده: سنسجش، ذخیره‌سازی، محاسبه، تصمیم‌گیری و تحقیق و توسعه در مقیاس بزرگ غیرمتمرکز و

در همه جا.

✓ محاسبات مرزی (Edge Computing): قرارگیری سیستم‌های ذخیره‌سازی، محاسبات و

تجزیه و تحلیل مبتنی بر هوش مصنوعی در نهادها و اشیای نزدیک به منابع اطلاعاتی.

✓ سنسجش در همه جا (Ubiquitous Sensing): تعبیه سنسورهای کم هزینه برای ایجاد شبکه‌های

بزرگی از حسگرها در دامنه‌های اطلاعات فیزیکی / انسانی.

✓ تولید غیرمتمرکز (Decentralised Production): بهره‌گیری از طراحی کمک گرفته از هوش

مصنوعی، مواد بدیع، و (مواد مخلوط) فناوری‌های چاپ سه بعدی و چهار بعدی، با هدف پشتیبانی

از ساخت و تولید دیجیتال به هنگام.

✓ علم و فناوری دموکراتیزه شده (Democratised S&T): کاهش هزینه‌های طراحی و تولید،

افزایش قابلیت‌های محاسباتی و در دسترس بودن گسترده اطلاعات علم و فناوری که باعث افزایش

نوآوری و تولید علم نوین می‌گردد.

• دیجیتال: تلفیق حوزه‌های انسانی، فیزیکی و اطلاعاتی، برای ایجاد واقعیت‌های جدید فیزیولوژیکی، روانی،

اجتماعی و فرهنگی.

✓ همزاد دیجیتالی (Digital Twin): یک شبیه‌سازی دیجیتالی از موجودات فیزیکی، بیولوژیکی یا

اطلاعاتی که به صورت دیجیتالی (غالباً نزدیک به زمان واقعی)، به نسخه اصلی متصل شده و از

تجزیه و تحلیل پیش‌گویانه، آزمایش و ارزیابی پشتیبانی می‌کند.

✓ واقعیت‌های مصنوعی (Synthetic Realities): ایجاد واقعیت‌های شناختی یا فیزیکی درک شده

جدید، مبتنی بر ادغام سیستم‌های روانی، اجتماعی و فنی. چنین واقعیت‌هایی، ممکن است ماهیتی

افزوده، مجازی، اجتماعی یا فرهنگی داشته باشند.

«EDT»های جدید، هنوز کاملاً شکل نگرفته‌اند یا از محیط‌های عملیاتی نظامی که می‌توان به آن‌ها فکر کرد، به دور

هستند.

تلاش، آزمایش و نوآوری برای تبدیل این فناوری‌ها به قابلیت‌های عملیاتی نظامی، الزامی بوده و این‌ها به نوبه خود،

باعث ایجاد تغییرات در نیروهای اتحادیه و ساختار نیروها خواهند شد. هر یک از چهار ویژگی شناسایی شده، با هم

ترکیب می‌شوند تا یک روند خاص نظامی ایجاد نمایند. شکل ۲ این مسئله را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۲- هوشمند، به‌هم‌پیوسته، توزیع شده و دیجیتال (I2D2) در روندهای نظامی

- **هوشمند + توزیع شده (سیستم‌ها و عوامل خودران):** سیستم‌های هوشمند و به شدت مستقل و خودران که از توانایی‌های نیروهای انسانی فراتر می‌روند، در حال جایگزینی می‌باشند. تا به امروز، این سیستم‌ها کاملاً محدود بوده و از قوانین ثابت و سطوح مختلفی از کنترل مستقیم انسان بهره می‌برده‌اند. افزایش استفاده از هوش مصنوعی، سیستم‌های خودران را قادر به اتخاذ تصمیمات پیچیده‌تر، هدایت خودکار و در عین حال، همکاری بیشتر بین انسان و ماشین می‌کند. این افزایش استفاده از عوامل هوشمند، به‌طور چشمگیری در واقعیت‌های مصنوعی ما، از جمله در حوزه سایبری، شبکه‌های جنگی و شبکه‌های اجتماعی دیجیتال گسترش می‌یابد. عوامل خودران، تجزیه و تحلیل سریع، مشاوره و دوره‌های عملیاتی را برای برنامه‌ریزی استراتژیک، عملیاتی و تاکتیکی فراهم نموده و منجر به افزایش اثربخشی حلقه «OODA» (یعنی مشاهده،

جهت‌گیری، تصمیم‌گیری و اقدام) و ایجاد دیدگاهی کاملاً متفاوت در مورد مشکلات قدیمی می‌شوند. این شبکه‌های نبرد هوشمند، سرعت تصمیم‌گیری را به سطوحی افزایش می‌دهند که به روش‌های جدید تعامل و تجسم انسان و ماشین نیاز دارد. در نتیجه، رقابت بین شبکه‌های نبرد، فشارهای تکاملی بیشتری بر روی الگوریتم‌ها ایجاد نموده که هر یک، به دنبال یک لبه یا ترکیبی از اثرات بوده و منجر به یک پیروزی قاطع خواهند شد. به همین ترتیب، وسایط نقلیه خودران که این قابلیت را داشته باشند، با ایجاد شبکه‌ای بزرگ از سنسورها، اثربخشی را در تعارضات افزایش می‌دهند.

- **به هم پیوسته + دیجیتال (شبکه‌های نبرد):** تکامل شبکه‌های «C4ISR» چابک و انعطاف‌پذیر، وابستگی‌های عملیاتی عمیقی را ایجاد می‌کنند که زمینه‌ساز اقدامات نظامی خواهد بود. چنین شبکه‌های نبرد در حال تکاملی، خود به‌طور فزاینده تبدیل به اهداف شده و در معرض اثرات ناشی از تعارضات قرار می‌گیرند. این افزایش اعتماد به اتصال بی‌وقفه و گسترده، ارزش هدف قرار دادن چنین شبکه‌های نظامی یا غیرنظامی را از طریق اطلاعات غیرمجاز، سایبری یا فیزیکی افزایش می‌دهد. چنین حملاتی، ممکن است مدت‌ها قبل از آغاز درگیری انجام شده و به همین دلیل، می‌تواند به‌طور غیرمستقیم، به تدارکات، پرسنل، اطلاعات، سیستم مالی یا سایر عناصر پشتیبانی‌کننده شبکه‌های عملیاتی و استراتژیک مدرن حمله کند.

- **به هم پیوسته + توزیع شده (دامنه‌های در حال گسترش):** با گسترش محیط عملیاتی که شامل فضا، فضای سایبری و حوزه اطلاعات است، نیاز به تفکر، برنامه‌ریزی و فعالیت به شیوه بسیار گسترده، به هم پیوسته و چند حوزه‌ای، به شدت افزایش می‌یابد. تعداد رو به رشد و توزیع گسترده سنسورهای چند دامنه‌ای، مأموریت‌های چند دامنه‌ای و افزایش قابلیت‌های پردازشی که به‌طور فزاینده‌ای در لبه مرزی شبکه جاسازی شده‌اند، تقاضاهای جدیدی برای تسلط، قابلیت‌های ضد دامنه، محافظت و اقدامات متقابل ارائه می‌دهند.

افزایش بهره‌برداری از دامنه‌های جدید، ناگزیر به جستجوی دامنه‌های برتر و همراه با هزینه و تقاضای قابلیت‌های بیشتر خواهد بود.

• **هوشمند + دیجیتال (جنگ دقیق):** افزایش دیجیتالی شدن در بین قابلیت‌های «C4ISR»، همراه با

کوچک‌سازی، پردازش مرزی و کاهش هزینه‌ها، زیربنای پیشرفت‌های فناورانه‌ای بوده که امکان ایجاد سیستم‌های هوشمند، متصل و توزیع شده را به‌طور فزاینده‌ای فراهم می‌کند. در مجموع، این امر افزایش چشمگیر توسعه ضربات دقیق و قابلیت‌های اثربخشی را به دنبال دارد. هجوم و استفاده از سلاح‌های ارزان‌قیمت و کم‌هزینه، قابلیت‌های با ارزش بالا را به خطر می‌اندازد؛ در حالی که افزایش روند دیجیتالی شدن، آسیب‌پذیری‌های جدید و تاکنون پیش‌بینی نشده را به دنبال خواهد داشت. سنسورهای جدید (مثلاً فناوری کوانتومی) و افزایش اعتماد به واقعیت‌های مصنوعی (مجازی، اجتماعی، مختلط، دوقلو و ...)، خطرات و فرصت‌هایی را به همراه دارد. استفاده از ابزارهای تحلیلی بیشتر و پیچیده‌تر و بکارگیری حجم زیادی از داده‌های دیجیتال، منجر به توسعه قابلیت‌های عملیاتی جدید می‌شود (به عنوان مثال، طرح‌های جدید سلاح‌های مافوق صوت که با استفاده از مدل‌های محاسباتی دینامیک سیالات و با قابلیت اطمینان بالاتر و سنسورهای داخلی ساخته شده‌اند).

هوش مصنوعی، چشم‌انداز جنگ را تغییر خواهد داد و این در حالی است که در دسترس بودن داده‌های دیجیتالی، به سیستم‌های توزیع شده و به‌هم‌پیوسته (خودران)، امکان تجزیه و تحلیل، انطباق و پاسخگویی را فراهم می‌کند. این تغییرات، به نوبه خود، به‌طور بالقوه از تصمیم‌گیری بهتر از طریق تجزیه و تحلیل پیش‌گویانه حمایت می‌کند. همه این‌ها، در بستر هم‌افزایی و همزیستی سیستم‌ها، از جمله سنسورها، جوامع و سازمان‌ها صورت می‌گیرد. به این ترتیب، «EDT»‌ها حداقل برای یک نسل، به تغییر روش‌ها و ابزارهای درگیری ادامه داده و در عین حال، به ادغام و کار در کنار سیستم‌های موجود هم احتیاج دارند.

۲-۱-۲- هم‌افزایی

نیروهای ناتو برای حفظ برتری مرزی نظامی / فناوریانه خود و غالب شدن در عملیات‌های آتی، باید به‌طور مستمر در حال تحول، سازگاری و نوآوری بوده، تا بدین وسیله، ویژگی‌های اعتباری، شبکه‌ای، آگاهی، چابکی و مقاوم بودن خود را حفظ نمایند. در مواردی که «EDT»ها یکدیگر را فعال می‌کنند، یا جایی که حوزه‌های انسانی، اطلاعاتی یا فیزیکی با هم همپوشانی دارند، این سازگاری سریع و برافکن خواهد بود. در بخش‌های بعدی گزارش، چندین ارتباط هم‌افزایی (Synergy) کلیدی شناسایی شده است.

علاوه بر ارتباطات بین فناوری‌های نوظهور و انقلابی، باید توجه داشت که بسیاری از مواردی که منجر به ایجاد و محدود شدن توسعه مؤثر قابلیت‌های جدید می‌شوند، غیر فنی هستند. مورای (Murray) در این خصوص اظهار می‌دارد:

«آنچه در سازگاری فناوری و همچنین نوآوری فناوریانه اهمیت دارد، این است که فناوری‌های جدید و پیشرفته، به‌خوبی در مفاهیم مؤثر و هوشمند مبارزه گنجانده شده‌اند: این پیچیدگی فناوری نیست که مهم است، بلکه چهارچوب بزرگ‌تر است».

برای توسعه فعال فناوری‌های نوظهور و انقلابی و تبدیل آن‌ها به قابلیت‌های اتحادیه، بایستی پیامدهای فرهنگی، مفاهیم، تحمل ریسک، ساختار سازمانی، سیاست‌ها، معاهدات، سرمایه انسانی و اخلاق، کاملاً ارزیابی شوند. در صورت توسعه کامل این فناوری‌ها در قابلیت‌های عملیاتی جدید، این فاکتورها باید به اندازه فناوری تکامل یابند.

۲-۲- ارزیابی

برای درک وضعیت و نرخ توسعه فناوری‌های نوظهور و انقلابی، لازم است چندین دیدگاه در مورد هر یک از آن‌ها در نظر گرفته شود: (۱) تأثیر نظامی بالقوه، (۲) سطح توجهات در خصوص یک فناوری خاص یا حوزه علمی، (۳) سطح آمادگی فناوری فعلی، (۴) افق زمانی که انتظار می‌رود علم یا فناوری کاملاً بالغ شود، (۵) ارتباط با قابلیت‌های عملیاتی ناتو و (۶) حوزه‌های علم و فناوری مربوط به تحقیق.

این مدل ارزیابی، مسئله‌ساز خواهد بود؛ چراکه هر یک از این فناوری‌ها، جنبه‌های اصلی متفاوتی را در بر می‌گیرند که به‌طور بالقوه، هر یک در مرحله‌ای متفاوت از توسعه قرار دارند. از همین رو، برای گزارش حاضر، هر «EDT» به منظور تمرکز توسعه، به چندین ناحیه تقسیم شده است.

۲-۲-۱- تأثیر

ارزیابی تأثیر بالقوه فناوری‌های نوظهور یا برافکن، یک روند ساده و سراسر نیست. انجام موفقیت‌آمیز این امر، مستلزم در نظر گرفتن تهدیدهای محیطی (موجود و آینده)، محدودیت‌های قانونی و سیاست‌گذاری، عوامل سیاسی، تصمیمات سرمایه‌گذاری و همچنین برآورد پتانسیل سازمانی (مثلاً انگیزه کارآفرینی و تحمل ریسک) است. در صورتی که این مسیر تحول‌آفرین و برافکن، ترکیبی پیچیده از چنین فناوری‌هایی (یعنی هم‌افزایی) را شامل شود یا نیاز به توسعه مفاهیم جدید داشته باشد، برآوردهای مذکور را با پیچیدگی بیشتری همراه می‌سازد.

برای دستیابی به اهداف این گزارش، در جدول ۱، تأثیر را تا حدودی ذهنی و غیردقیق تعریف می‌کنیم.

جدول ۱- اثرات «EDT»

مقیاس	کارایی
	(سرعت، دامنه، دقت، کشنده بودن، مقرون به صرفه بودن، در دسترس بودن، قابلیت اطمینان یا سایر ویژگی های قابلیت)
متوسط	۱۰ تا ۵۰ درصد
بالا	۵۰ تا ۱۰۰ درصد
انقلابی	بیش از ۱۰۰ درصد یا انجام فعالیت ها و وظایفی که تاکنون عملی نشده یا غیرممکن بوده اند.

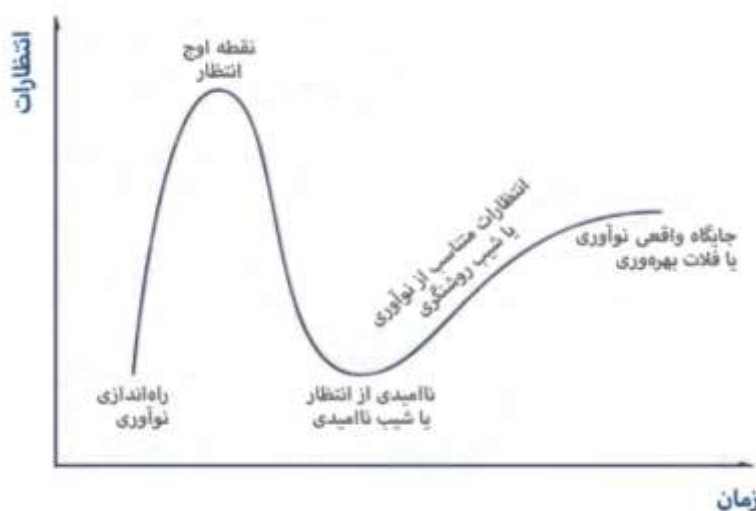
ارزیابی ها بر اساس منابع مختلفی انجام می گیرد که از آن جمله، می توان به بررسی و مرور ارزیابی ها از روندهای پیشین، نتایج کارگاهی و همچنین فعالیت ها و گزارش های مرتبط با رصد فناوری «STO» اشاره نمود.

۲-۲-۲- توجه

توسعه فناوری در بسیاری از سطوح، کاملاً مبتنی بر فرآیند چرخه ای است. مشهورترین این چرخه ها، چرخه محبوبیت یا جذابیت فناوری گارتنر (Gartner Hype Cycle) است (شکل ۳) که مبتنی بر کار هوارد فوسدیک (Howard Fossdick)، پیرامون جامعه شناسی پذیرش فناوری توسعه یافته است.

فناوری ها، همواره از ابتدا تا انتهای چنین چرخه ای پیشرفت نمی کنند. در واقع، اکثر فناوری ها با شکست مواجه می شوند. بسیاری از راهکارهای علمی یا اکتشافات فناورانه، به نوآوری ختم نمی شوند، یا پس از یک اشتیاق اولیه، به عنوان راه های غیرمولد توسعه، از خاطر عموم ناپدید می شوند؛ و یا ممکن است بعداً به عنوان تحولات همگرای جدید که باعث تقویت و روح بخشیدن به یک ایده قدیمی می شوند، ظاهر گردند. در نهایت، ممکن است فناوری های موفق هم ظاهر شوند، زیرا ایده های بدیع، باعث ایجاد نوآوری شده و فناوری های قدیمی چنان در سیستم های تولید ادغام می شوند که به جز از نظر فنی، ارتباط اصلی به کلی از بین می رود. چنین فرآیندهای تکاملی که مبتنی بر

شکست‌های قهرمانانه یا خطاهای خلاقانه هستند، برای پیشرفت علمی و فناوری ضروری می‌باشند؛ زیرا درس‌ها و ایده‌هایی که به وجود می‌آیند، اغلب به زمینه‌های کاملاً جدیدی برای اکتشاف، نوآوری و توسعه منجر می‌شوند.



شکل ۳- چرخه هایپ گارتنر

در چرخه هایپ، یک روند موفقیت‌آمیز فناوری، پنج مرحله اساسی را طی می‌کند:

- **راه‌اندازی نوآوری (Innovation Trigger):** پس از یک دوره طولانی پشتیبانی از تحقیقات، نشانه‌هایی از یک موفقیت بالقوه در فناوری جدید پدیدار می‌شود. در این مرحله، آزمایشات اولیه صورت گرفته، منجر به اثبات مفهومی داستان و شکل‌گیری علاقه رسانه‌ای می‌گردد. این جرقه، باعث افزایش تبلیغات و فعالیت‌های جستجوی اینترنتی می‌شود. در این مرحله، هیچ محصول قابل دوامی وجود نداشته و دوام تجاری همچنان اثبات نشده است.
- **نقطه اوج انتظار (Peak of Inflated Expectations):** تبلیغات اولیه، داستان‌های موفقیت بسیاری ایجاد می‌کند که اغلب با چندین شکست همراه هستند. در این مرحله، علاقه به حوزه بیشتر از هر زمانی

است (که به عنوان مثال، با جستجوهای صورت گرفته در وب اندازه گیری می شود). برخی از شرکت های نوآور، در این مسیر اقدام نموده و در مقابل، بسیاری هم این کار را نمی کنند.

• **شیب ناامیدی (Trough of Disillusionment):** محدودیت های فناوری روشن شده و برخی از

تلاش های اجرایی، نمی توانند نتایج مفیدی به دنبال داشته باشند. در نتیجه، علاقه عمومی کاهش یافته و داستان های منفی بیشتر می شوند (اگرچه این نوع نگاه ممکن است بیش از حد بدبینانه باشد). سرانجام برخی از توسعه دهندگان و تولیدکنندگان، به سراغ حوزه های مرتبط دیگری رفته یا کاملاً شکست می خورند. در این مرحله، یک انشعاب رخ می دهد. در واقع، سرمایه گذاری و توسعه های مداوم، تنها در صورتی اتفاق می افتد که از طریق پالایش و اصلاح فناوری، پیشرفت مستمر رخ داده و از مکانی که این فناوری بیشترین کاربرد را داشته یا با سایر فناوری ها همگرایی نموده یا تقاضا ایجاد می کند، درکی حاصل شود. اگر این اتفاق نیافتد، فناوری در نهایت غیرمولد تلقی شده و کاملاً از نظر محو می شود، یا به ابتدای کار بازگشته و منتظر تحولات بعدی، همگرایی فناورانه یا تغییر شرایط می ماند.

• **شیب روشننگری (Slope of Enlightenment):** با درک بهتر از موارد عملی و جایی که می توان فناوری

را به بهترین وجه به کار برد، پتانسیل ها شروع به تبلور نموده و به طور گسترده تری درک و ارزیابی می شوند. در این مرحله، نسل بعدی محصولات ظاهر شده و با آزمایشات بیشتر و موفقیت آمیزتر و محصولات آزمایشی، توجه مثبت شروع به افزایش می کند. البته برخی از شرکت ها همچنان محتاطانه عمل می کنند.

• **فلات بهره وری (Plateau of Productivity):** پذیرش جریان اصلی اتفاق می افتد. با درک بهتر ارزش،

کاربرد و محدودیت ها، فناوری بازار خود را پیدا کرده است. هنوز هم ممکن است موضوعات و ایده های جدیدی به وجود آیند و به طور بالقوه، چرخه جدیدی را شروع کنند. در غیر این صورت، فناوری چنان در

چشم‌انداز فناوریانه ادغام می‌شود که استفاده از آن معمول می‌شود، تا زمانی که با پیشرفت فناوریانه جدید، جایگزین گردد.

تبادل بخشیدن به بالاترین سطح انتظار و پایین‌ترین سطح ناامیدی، یک نکته بسیار کلیدی در تصمیم‌گیری پیرامون سرمایه‌گذاری و قابلیت‌های بلندمدت است. چرخه هایپ گارتنر، برای این منظور مفید است. اگرچه این رویکرد کاملاً شناخته شده است، اما در استفاده از آن به‌عنوان ابزار ارزیابی و تصمیم‌گیری، اشکالاتی مشاهده شده است. به‌طور خاص، قرار دادن دقیق فناوری در منحنی و همچنین تمرکز بر توجهاتی بیش از مقدار قابل اندازه‌گیری، کمی مسئله‌ساز است. بنابراین با تعمیم موضوع، ارزیابی را ساده نموده و وضعیت توجه و درک فناوری را فقط در دسته‌های گسترده توصیف می‌کنیم. این دسته‌ها، عبارتند از:

- راه‌اندازی: فناوری جدید یا کشف علمی؛
- انتظار: افزایش تبلیغات و بحث و گفتگو؛
- ناامیدی: بررسی محدودیت‌ها؛
- روشنگری: درک سودمندی؛
- بهره‌وری: کاربرد بالغ.

این گزارش، توجهات فناوریانه را از طریق این موارد ارزیابی می‌کند: بررسی ارزیابی‌های فناوری گارتنر، سایر تجزیه و تحلیل‌های آینده‌نگاری فناوری که قبلاً ذکر شده، فعالیت‌های رصد فناوری «STO» و تجزیه و تحلیل فعالیت‌های جستجوی وب از طریق «Google Trends».

۲-۲-۳- بلوغ فناوری

به طور کلی، یک مسیر توسعه برای علم و فناوری موفق، با استفاده از سطح آمادگی فناوری (Technology Readiness Levels -TRL) سنجیده شده که در آن، هر مرحله یک رمپ یا مکث بالقوه برای آن فناوری خاص به شمار می رود (جدول ۲). این سطوح، خلاصه مفیدی را برای تفسیر سطح بلوغ فناوری فراهم نموده و به طور گسترده ای در صنعت و دولت مورد استفاده قرار می گیرد.

فناوری ها یا علوم زیربنایی، ممکن است به دلایل مختلفی اعم از ارتباط با یکدیگر یا وابستگی به سایر فناوری ها، هزینه ها، اخلاق، سیاست ها، اطلاعات یا محدودیت های انسانی، در تولید قابلیت های عملیاتی جدید ناموفق بوده یا در هر نقطه از مسیر «TRL» ها متوقف شوند. با این حال، توسعه های ناموفق در علم و فناوری، برای اطلاع رسانی و در نهایت ایجاد رویکردها و فناوری های جدید بسیار حیاتی بوده و خود ممکن است در انتقال از اصول اساسی به قابلیت های عملیاتی مؤثر باشند.

جدول ۲- سطوح آمادگی فناوری

TRL 9	سیستم واقعی از طریق عملیات موفق در مأموریت اثبات شده است.
TRL 8	سیستم واقعی کامل شده و صلاحیت آن توسط تست ها تأیید شده است.
TRL 7	سیستم پروتوتایپ در محیط ایجاد شده است.
TRL 6	مدل سیستم / زیرسیستم یا پروتوتایپ، در یک محیط مرتبط اجرا شده است.
TRL 5	اجزا و/یا نمونه در محیط مرتبط تأیید شده است.
TRL 4	اجزا و/یا نمونه در محیط آزمایشگاهی تأیید شده است.
TRL 3	عملکرد کلیدی آزمایشی و تحلیلی و/یا مشخصات آن اثبات مفهومی شده است.
TRL 2	مفهوم فناوری یا کاربرد آن، فرموله شده است.
TRL 1	اصول اساسی، مشاهده و گزارش شده است.

ما در درجه اول، از طریق بررسی رصد فناوری‌های «STO»، مطالعات مربوط به آینده و همچنین مراجعه به چندین محاسبه‌گر «TRL» موجود، سطح فعلی آمادگی فناوری را ارزیابی می‌کنیم. لازم به ذکر است که فناوری‌های نوظهور، معمولاً در محدوده «TRL» یک تا پنج قرار دارند.

۲-۲-۴- قابلیت

برای ناتو، فناوری‌های نوظهور و برافکن، از منظر تأثیر توانمندی‌های دفاعی فعلی و آتی بر اتحادیه مورد توجه قرار دارد. به منظور ایجاد درکی بهتر، هر یک از این فناوری‌ها از نظر تأثیر بالقوه بر قابلیت‌های عملیاتی ناتو ارزیابی می‌شوند. طبقه‌بندی قابلیت عملیاتی ناتو، لیستی ساختاریافته از توانمندی‌ها و زیرقابلیت‌ها را ارائه می‌دهد. ارزیابی فقط برای سطح اول طبقه‌بندی عملیاتی ارائه می‌شود: آماده‌سازی، پروژه، مشارکت، «C3»، پایداری، محافظت و اطلاع‌رسانی (این ارزیابی، برای تمامی «EDT»‌ها و در پیوست‌های «A» تا «H» گزارش اصلی ناتو ارائه شده است). ارزیابی از یک مقیاس سه نقطه‌ای استفاده می‌کند که تأثیر کم، متوسط یا زیاد بر عملکرد قابلیت عملیاتی مرتبط را توصیف می‌کند (جدول ۳). این ارزیابی ذهنی، ارزیابی مقدماتی اثرات برافکن بالقوه را ممکن می‌سازد.

جدول ۳- اثرات «EDT» بر قابلیت‌های ناتو

رابطه: انتظار می‌رود که تأثیر این «EDT» بر قابلیت‌های عملیاتی فعلی و آتی، باشد.	
پایین	ماهیتاً محدود و ثانویه
متوسط	در کل متوسط بوده یا فقط در یک زیرمجموعه محدود، از اهمیت قابل توجهی برخوردار باشد.
بالا	تأثیر قابل توجه و انقلابی

۲-۲-۵- دامنه‌های علم و فناوری

به‌طور کلی، علوم دفاعی به سه حوزه بزرگ تقسیم شده که شامل تحقیقات در «گستره‌های انسانی» (از جمله بیولوژیکی)، «اطلاعات» و «حوزه‌های فیزیکی» علم و فناوری است. پیوند «EDT» ها به این سه زمینه اصلی تحقیقات علمی، به ایجاد اطمینان از رویکرد جامع تحقیق و همچنین توسعه و عملیاتی کردن آن کمک می‌کند (این ارزیابی، برای تمامی «EDT» ها و در پیوست‌های «A» تا «H» گزارش اصلی ناتو ارائه شده است). به این منظور، از یک مقیاس سه نقطه‌ای برای توصیف همسویی، یا ارتباط کم، متوسط و زیاد حوزه‌های تحقیقاتی در توسعه هر «EDT» استفاده می‌شود (جدول ۴).

جدول ۴- اتصال «EDT» به گستره‌های علم و فناوری

رابطه: میزان ارتباط تحقیقات «EDT» در این گستره علم و فناوری به ناتو است.	
پایین	ماهیتاً محدود و ثانویه
متوسط	در کل متوسط بوده یا فقط در یک زیرمجموعه محدود، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.
بالا	ارتباط بسیار زیاد

۲-۳- فناوری‌های برافکن

۲-۳-۱- داده: بزرگ داده‌ها و تجزیه و تحلیل پیشرفته

(بزرگ) داده‌ها و تجزیه و تحلیل پیشرفته (Big Data and Advanced Analytics-BDAA)

بزرگ داده‌ها، داده‌هایی را توصیف می‌کنند که نمایانگر چالش‌های اندازه، سرعت، تنوع، صحت و تجسم می‌باشند. دیجیتال‌سازی فزاینده، گسترش سنسورهای جدید، حالت‌های ارتباطی جدید، اینترنت اشیاء (IoT) و مجازی‌سازی

فضاهای شناختی اجتماعی (به عنوان مثال رسانه های اجتماعی)، به طور قابل توجهی به توسعه داده های بزرگ کمک نموده است. آنالیز پیشرفته داده نیز، روش های تحلیلی پیشرفته ای را برای ایجاد و تجسم حجم زیادی از اطلاعات توصیف می کند. این تکنیک ها، طیف گسترده ای از روش های منتج شده از حوزه های تحقیقاتی را در سرتاسر علوم داده و تصمیم گیری، از جمله هوش مصنوعی، بهینه سازی، مدل سازی و شبیه سازی (M&S)، مهندسی عوامل انسانی و تحقیقات عملیاتی شامل می شوند.



شکل ۴- بزرگ داده ها و تجزیه و تحلیل پیشرفته

از ابتدای دهه ۱۹۶۰ میلادی، دنیای ما به طور فزاینده ای دیجیتالی و مجازی شده است. انتظار می رود که طی بیست سال آینده، این روند تسریع شده و تأثیر برافکن بر عملیات ها و قابلیت های اتحادیه داشته باشد. مجموعه داده هایی که از نظر بزرگی به سختی قابل کنترل منطقی می باشد (تعریفی

که باید به آن توجه نمود و سالانه تغییر می کند)، به دلیل افزایش حجم، سرعت، تنوع، صحت و تجسم، مجموعه قابل توجهی از چالش های فنی، سازمانی و قابلیت همکاری داخلی را به همراه خواهند داشت. سنسورهای توزیع شده، سیستم های خودران، فناوری های جدید ارتباطی (مثلاً 5G)، افزایش استفاده از فضا، فضاهای شناختی - اجتماعی مجازی، همزادهای دیجیتال و توسعه روش های تحلیلی جدید و گسترده، توانایی ما را در درک فضاهای انسانی، فیزیکی و اطلاعاتی پیرامونی افزایش می دهد. «BDAA»، یک فناوری امکان پذیر برای همه «EDT» ها بوده و در بهره برداری از آنها برای ارتقای توانمندی های نظامی، بسیار مهم خواهد بود. به طور خاص، فناوری هوش مصنوعی برای توسعه الگوریتم ها و برنامه های جدید، به داده های آموزشی با کیفیت بالا نیاز دارد.

«BDAA»، امکان افزایش کارایی عملیاتی، کاهش هزینه‌ها، بهبود تدارکات، نظارت بر دارایی‌ها در زمان واقعی و ارزیابی‌های پیش‌بینی شده از برنامه‌های رزمی را برای ناتو فراهم می‌سازد. این حوزه، به‌طور قابل توجهی، آگاهی از موقعیت در سطوح استراتژیک، عملیاتی، تاکتیکی و سازمانی ایجاد نموده و به استفاده عمیق و گسترده از تجزیه و تحلیل پیش‌گویانه، برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری پیشرفته در همه سطوح منتج می‌شود. «BDAA»، پتانسیل ایجاد یک مزیت دانشی و تصمیم‌گیری داشته که می‌تواند در طیف قابلیت‌های ناتو، یک تحول بزرگ پدید آورد. این امکان وجود دارد که با استفاده از سنسورهای ارزان‌قیمت توزیع شده (به‌عنوان بخشی از اینترنت اشیاء) که توسط پروتکل‌های ارتباطی جدید (مانند 5G) به یکدیگر مرتبط شده‌اند و تجزیه و تحلیل و انتشار اطلاعات مهم در زمان واقعی را ممکن می‌سازند، هدف‌گذاری‌های متحرک و ایستای ناتو تحت تأثیر قرار گیرد. دشمنان بالقوه، به دنبال یک مرز فنی مشابه بوده و بازیگران تهدید نامتقارن، برای رسیدن به اهداف یا ایجاد تغییرات رادیکال، از منابع اطلاعاتی باز و در دسترس استفاده می‌کنند.

صنعت، به شدت در «BDAA» سرمایه‌گذاری نموده و همچنان در توسعه و کاربرد کلی آن پیشرو خواهد بود. اثربخشی این سرمایه‌گذاری، زمینه‌ساز اقتصاد دانشی فعلی است. با این وجود، بنا بر نیازهای منحصربه‌فرد نیروهای نظامی ناتو، برای توسعه روش‌ها و استانداردهایی برای قابلیت همکاری داخلی، به اشتراک‌گذاری، جمع‌آوری، مدل‌سازی و شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل، طبقه‌بندی، نظارت، ارتباطات و مدیریت داده‌ها، تقاضا وجود دارد. در نهایت، این امر که داده‌های بیشتر و الگوریتم‌های پیشرفته، به تصمیمات بهتری منجر خواهند شد، امری مسلم نیست. شناخت زمینه پیچیده اجتماعی/شناختی/فنی پیرامون تصمیم‌گیری، نقش مناسب و ادغام «BDAA» در این خصوص، برای توسعه یک مزیت تصمیم‌گیری در ناتو، ضروری خواهد بود.

جدول زیر، تأثیر بالقوه، وضعیت، نرخ توسعه و همچنین حوزه‌های مشخص شده برای تحقیقات متمرکز در خصوص این «EDT» را نشان می‌دهد. (ضمیمه «A» در گزارش اصلی ناتو، بررسی جامع‌تری از این «EDT» ارائه می‌دهد.)

جدول ۵- داده‌های بزرگ و آنالیز پیشرفته (BDAA) در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

«EDT»	حوزه تمرکز فناوری	اثر	وضعیت	TRL	افق زمانی
داده	آنالیزهای پیشرفته	انقلابی	انتظار	۴	۲۰۲۵
	ارتباطات	بالا	روشنگری	۶	۲۰۳۰
	تصمیم‌گیری	انقلابی	ناامیدی	۶	۲۰۲۵
	سنسورها	بالا	انتظار	۴	۲۰۳۰

رابطه:							پایین	متوسط	بالا
سلسله‌مراتب قابلیت	آماده‌سازی	پروژه	به‌کارگیری	«C3»	تقویت	محافظت	آگاه‌سازی		
حوزه علم و فناوری	انسانی	اطلاعاتی			فیزیکی				

۲-۳-۲- هوش مصنوعی (AI)

هوش مصنوعی

هوش مصنوعی، به توانایی ماشین‌ها برای انجام کارهایی اشاره دارد که به‌طور معمول، به هوش انسانی نیاز دارند (مانند شناخت الگوها، یادگیری از تجارب قبلی، نتیجه‌گیری، پیش‌بینی یا اقدام). این کار، به صورت دیجیتال یا به‌عنوان نرم‌افزار هوشمندی عمل می‌کند که پشت سیستم‌های فیزیکی مستقل و خودران قرار دارد.

در دسترس بودن داده‌های بزرگ، هم منجر به توسعه هوش مصنوعی شده و هم نیازمندی به این فناوری را به دنبال داشته است. از اواسط دهه ۱۹۵۰ میلادی، هوش مصنوعی در سه چرخه اصلی توسعه حرکت نموده است. در نتیجه این روند، الگوریتم‌های هوش مصنوعی همچون سیستم‌های خبره (Expert System) و یادگیری ماشینی (Machine Learning)، عمیقاً در فناوری مدرن جای گرفته‌اند. با این حال، در سال ۲۰۱۲ میلادی، جهش قابل

توجهی در کاربرد این فناوری‌ها برای حل مشکلات عملی پدید آمد. این جهش، ناشی از پیشرفت‌های صورت گرفته در الگوریتم‌های اصلی (یادگیری عمیق «Deep Learning») و همچنین دسترسی قابل ملاحظه به آموزش‌های عمومی در این حوزه بوده است.

در هماهنگی با «BDAA»، هوش مصنوعی توانایی تأثیر انقلابی بر عملیات و قابلیت‌های ناتو را خواهد داشت. هوش مصنوعی، نقطه اتکایی است که در اطراف آن، بزرگ داده‌ها به دانش عملی و در نهایت، به یک مزیت تصمیم‌گیری در ناتو تبدیل می‌شوند.



شکل ۵- هوش مصنوعی

ادغام هوش مصنوعی در مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های

جنگی، سیستم‌های سازمانی، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری، سیستم‌های دفاع سایبری و وسایط نقلیه خودران، امکان تصمیم‌گیری سریع و مؤثرتر انسان- ماشین را فراهم می‌کند. استفاده از هوش مصنوعی بر روی سنسورها، به منظور پیش‌پردازش اطلاعات و فراهم نمودن استفاده انطباقی از فرکانس‌ها (برای مثال، رادار شناختی) و پهنای باند، منجر به کاهش ترافیک ارتباطی می‌شود. همچنین هوش مصنوعی، تأثیر قابل توجهی بر انجام تلاش‌های علم و فناوری ناتو خواهد داشت، زیرا متا آنالیز تحقیقات موجود، اکتشافات جدیدی را نشان داده و علاوه بر شناسایی حوزه‌های تحقیقاتی امیدوارکننده، ابزارهای علم و فناوری بهبود یافته‌ای را برای پشتیبانی از تحقیقات بیشتر فراهم می‌کند.

در دنیای تجارت، هوش مصنوعی با سرمایه‌گذاری قابل توجه تحقیق و توسعه‌ای بسیاری از کشورها، در اولویت قرار گرفته است. اگرچه اغلب تحقیقات، مبتنی بر ابزارهای منبع باز گسترده و داده‌های در دسترس عموم صورت می‌گیرد، اما کسب‌وکار، مهم‌ترین نیروی محرکه هوش مصنوعی است. ماهیت شکننده اکثر کاربردهای فعلی و نیاز به هوش مصنوعی قابل توضیح، تنها دو چالش جدی فنی است که باید برطرف شوند. مشکلات پیچیده مرتبط با تیم‌سازی

انسان- هوش مصنوعی و مسائل روانی / اجتماعی / فنی نیز، لازم است مورد توجه قرار گیرند. با وجود این محدودیت‌ها، تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ میلادی، سهم هوش مصنوعی در اقتصاد جهانی، به ۱۵,۷ تریلیون دلار برسد.

علی‌رغم بیش از ۶۰ سال تحقیق در مورد هوش مصنوعی، توسعه هوش مصنوعی عمومی یا «Artificial General Intelligence-AGI» (به معنای رفتار هوشمندانه تعمیم یافته در سطح انسانی)، یک چالش فنی قابل توجه (و بالقوه غیرممکن) دارد. بعید به نظر می‌رسد که طی ۲۰ سال آینده، سیستم‌های هوش مصنوعی بتوانند این سطح از توانایی شناختی را برآورده نمایند.



چالش‌های سیاسی، قانونی و قابلیت همکاری داخلی، مسائلی جدی برای ناتو خواهند بود. اطمینان از این‌که مشاوره‌های ارائه شده توسط هوش مصنوعی، قابل اعتماد، اخلاقی و مطابق

شکل ۶- هوش مصنوعی در دنیای واقعی

با قوانین تعهد ملی (Rules of

Engagement-ROE) هستند، نیازمند شناخت رویکردهای هوش مصنوعی، با تأکید زیاد بر توضیح، اعتماد و همکاری انسان و هوش مصنوعی است. به‌ویژه در زمینه عملیات اتحادیه، تعریف فرآیندها و استانداردهای تأیید، اعتبارسنجی و اعتباربخشی (VV&A) این سیستم‌های هوش مصنوعی، ضروری خواهد بود.

جدول زیر، تأثیر بالقوه، وضعیت، نرخ توسعه و همچنین حوزه‌های مشخص شده برای تحقیقات متمرکز در خصوص این «EDT» را نشان می‌دهد. (ضمیمه «B» در گزارش اصلی ناتو، بررسی جامع‌تری از این «EDT» ارائه می‌دهد).

جدول ۶- هوش مصنوعی در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

«EDT»	حوزه تمرکز فناوری	اثر	وضعیت	TRL	افق زمانی
هوش مصنوعی	الگوریتم‌های پیشرفته	انقلابی	انتظار	۴	۲۰۳۰
	هوش مصنوعی کاربردی	انقلابی	انتظار	۶	۲۰۳۰
	همزیستی انسان و ماشین	بالا	راه‌اندازی	۴	۲۰۳۰

رابطه:						
پایین		متوسط		بالا		
سلسله‌مراتب قابلیت	آماده‌سازی	پروژه	به‌کارگیری	«C3»	تقویت	محافظة
حوزه علم و فناوری	انسانی	اطلاعاتی			فیزیکی	

۲-۳-۳- خودرانی

خودرانی

خودرانی، توانایی یک سیستم برای پاسخگویی به موقعیت‌های نامشخص است که به منظور تحقق اهداف، مبتنی بر دانش و درک زمینه‌ای از جهان، خود و شرایط، به‌طور مستقل و با ترکیب و انتخاب از بین اقدامات مختلف عمل می‌کند. خودرانی، با درجاتی از رفتار مستقل (سطوح استقلال)، از کاملاً دستی تا کاملاً خودکار مشخص می‌شود. رباتیک، مطالعه طراحی و ساخت سیستم‌های خودران است که شامل تمام سطوح استقلال (از جمله کنترل کامل انسانی) است. وسایط نقلیه بدون سرنشین، ممکن است از راه دور و توسط یک شخص کنترل شوند یا بسته به مأموریت، کاملاً خودران عمل کنند. کاربردها، شامل دسترسی به مناطق غیرقابل دسترسی، نظارت مداوم، استقامت طولانی، ربات‌های پشتیبانی از سربازان، قابلیت‌های ارزان‌تر و تحویل لجستیکی خودکار است.

تاریخچه سیستم‌های خودران در امر دفاع، حداقل به سال ۱۸۹۸ میلادی و نمایش نیکولا تسلا (Nikola Tesla) از

یک قایق بدون سرنشین و کنترل از راه دور باز می‌گردد. با این حال، طی بیست سال گذشته، فشار قابل توجهی برای استفاده از سیستم‌های خودران در طیف گسترده‌ای از محیط‌های فیزیکی و مجازی وجود داشته است. موفقیت این تلاش‌ها، به‌طور



شکل ۷- سیستم‌های خودران

فزاینده‌ای در افزایش استفاده از پلتفرم خودران «UxVs»، با هوشمندی، نظارت، هدف‌گیری و شناسایی (ISTAR) و پلتفرم‌های ضربات دقیق دیده می‌شود. هدف نهایی و همیشگی، اتحاد و به هم پیوستن انسان و سیستم خودران (در هر سطح از عملیات مستقل) در یک تیم قوی بوده که این امکان را به سیستم می‌دهد تا وظایف کسل‌کننده، کثیف، خطرناک و ارزشمند را انجام دهد (چهار «D» رباتیک: dull, dirty, dangerous, dear). انگیزه اصلی، کاهش هزینه‌ها، کاهش نیروی انسانی، بهبود اثربخشی عملیاتی و کاهش تلفات است.

رویکردهای خودرانی، ممکن است از سیستم‌های کاملاً خودران تا نیمه خودران یا حتی بدون سرنشین باشد. سطوح خاص خودرانی، تابعی از سنسورها، نوع مأموریت، پیوندهای ارتباطی، پردازش «On-Board» و محدودیت‌های قانونی و سیاسی است. انگیزه برای توسعه هر چه بیشتر سیستم‌های نیمه خودران و کاملاً خودران در عملیات، به طرز چشمگیری قابلیت‌های آینده ناتو را به محیطی گسترش می‌دهد که «هر سرباز به‌عنوان یک گروهان»، «هر کشتی به‌عنوان یک گروه ضربت» و «هر هواپیما به‌عنوان یک اسکادران» عمل کند.

توسعه سیستم‌های خودران، اساساً توسط نیازهای عملیاتی مانند «HALE» (High Altitude Long Endurance)، افزایش سطح هوش مصنوعی یکپارچه و فاکتورهای انسان/ ماشین تحریک می‌شود (مثلاً چگونه

می‌توان تیم/سیستم کلی انسان و ماشین را با حفظ نظارت و تصمیم‌گیری ضروری افراد، مؤثرتر نمود). به‌طور خاص، ملاحظات قانونی، سیاسی و قابلیت همکاری داخلی، استفاده از سیستم‌های خودران در سرتاسر زنجیره کشتار (Kill Chain) را به چالش می‌کشد. با توجه به مزایای عملیاتی ناتو و دشمنان بالقوه، تردیدی وجود ندارد که استفاده از سیستم‌های خودران، می‌تواند قابلیت‌های عملیاتی را طی بیست سال آینده به‌طور قابل توجهی تقویت، تهدید و فعال نماید.

جدول زیر، تأثیر بالقوه، وضعیت، نرخ توسعه و همچنین حوزه‌های مشخص شده برای تحقیقات متمرکز در خصوص این «EDT» را نشان می‌دهد. (ضمیمه «C» در گزارش اصلی ناتو، بررسی جامع‌تری از این «EDT» ارائه می‌دهد).

جدول ۷- خودرانی در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

«EDT»	حوزه تمرکز فناوری	اثر	وضعیت	TRL	افق زمانی
خودرانی	سیستم‌های خودران	انقلابی	انتظار	۶	۲۰۲۵
	تیم‌سازی انسان-ماشین	انقلابی	راه‌اندازی	۴	۲۰۳۰
	رفتار خودران	بالا	انتظار	۴	۲۰۳۰
	اقدامات متقابل	بالا	نامیدی	۵	۲۰۲۵

رابطه:								پایین		متوسط		بالا			
سلسله مراتب قابلیت		آماده سازی		پروژه		به کار گیری		«C3»		تقویت		محافظت		آگاه سازی	
حوزه علم و فناوری				انسانی				اطلاعاتی				فیزیکی			

فناوری‌های فضایی (Space Technologies-ST)

به‌طور کلی، فضا تقریباً از ۹۰ تا ۱۰۰ کیلومتر (خط کارمان «Karman Line») بالاتر از سطح دریا آغاز می‌شود. فناوری‌های فضایی، از محیط عملیاتی منحصربه‌فرد فضا بهره‌برداری نموده و یا باید با آن مقابله نمایند که این کار، شامل «آزادی عمل، میدان دید جهانی، سرعت، آزادی دسترسی»، «نزدیکی به خلأ»، «ریز گرانش» (micro-gravity)، «ایزولاسیون» و «محیط‌های شدید (از منظر دما، لرزش، صدا و فشار)» می‌باشد.

بشر بیش از ۶۰ سال است که به‌طور مؤثر از فضا استفاده می‌کند. با این وجود، دو روند به‌هم‌پیوسته و متقابل ظهور یافته که در حال بهره‌برداری از فضا و ویژگی‌های مبتنی بر آن می‌باشند. اول، صنعت جهانی فضای تجاری است که نه تنها در توسعه ماهواره‌ها، بلکه به‌طور فزاینده‌ای در سنسورها، ارتباطات و سامانه‌های پرتابی نقش اصلی را ایفا نموده است. این روند، منجر به کاهش چشمگیر در

هزینه‌های راه‌اندازی، گزینه‌های جدید برای استقرار سیستم‌های مبتنی بر فضا و دسترسی تجاری نزدیک به زمان واقعی به اطلاعات باکیفیت و مشتق شده از فضا (EO/IR، SAR و ELINT) شده است. دوم،



شکل ۸- نگاهی به اتحادیه از فضا

فناوری‌ها و روش‌های ساخت جدید که ماهیت، در

دسترس بودن و هزینه‌های استفاده از فضا را به کلی تغییر داده‌اند (مثلاً چاپ سه بعدی). چنین فناوری‌هایی، شامل گزینه‌های پیشرفته جدید، مانند پیش‌رانه الکتریکی پیشرفته، هوش مصنوعی «On-Board»، رباتیک پیشرفته، سرویس از راه دور ماهواره‌ها، سیستم‌های کوچک‌سازی (ماهواره‌های کوچک‌تر و ارزان‌تر)، سنسورهای پیشرفته و جدید،

چاپ سه بعدی، ذخیره سازی بهبود یافته و کارآمد و فناوری های رمزگذاری نسل بعدی می باشد. در نتیجه، فضا به طور فزاینده ای تجاری، متراکم، پرمناقشه و رقابتی می گردد.

استفاده از فضا برای «C4ISR»، ناوبری (جهت یابی) و دفاع، در بسیاری از قابلیت های موجود ناتو نقش اساسی داشته و در نهایت، این چیزی است که ناتو برتری فناورانه خود را بر آن بنا نهاده است. این استفاده از فضا و داده های مشتق شده از آن، طی بیست سال آینده افزایش یافته و قابلیت های «C4ISR» را به طور فزاینده ای در همه جا فراهم می کند. فناوری های فضایی، در ترکیب با «BDAA» و هوش مصنوعی، این توانایی را دارند که به طور قابل توجهی، آگاهی موقعیتی را در همه سطوح بهبود بخشند، از ارزیابی های اثربخشی عملیاتی نزدیک به زمان واقعی پشتیبانی کنند و موفقیت هدف گذاری را افزایش دهند. با این وجود، هرچه قابلیت های اتحادیه بیشتر بر این دارایی ها متکی شوند، خطرات و ریسک های ناشی از سیستم های «ASAT» (ضد ماهواره) یا سیستم های پارازیتی رباتیک حادثتر می شوند. مدارهای متراکم، استفاده فزاینده از صور فلکی بزرگ و کوچک و افزایش بقایای فضایی، می تواند اثرات زیادی بر اثربخشی و قابلیت اطمینان سیستم های مبتنی بر فضا داشته باشد.

بسیاری از کشورها، حضور و دسترسی به فضا را به میزان قابل توجهی افزایش داده اند. با این وجود، انتظار می رود که توسعه های تجاری و استفاده بیشتر از داده های مشتق شده از فضا، حوادث بیست سال آینده را تحت سلطه خود قرار دهند. استفاده گسترده از فضا، سیاست ها و مسائل قانونی مختلفی ایجاد می کند. این چالش های حقوقی و سیاسی، شامل تعارض بین استفاده تجاری، دانشگاهی و نظامی، حکمرانی جهانی (فضایی) و پتانسیل نظامی شدن فضا می باشد. جدول زیر، تأثیر بالقوه، وضعیت، نرخ توسعه و همچنین حوزه های مشخص شده برای تحقیقات متمرکز در خصوص این «EDT» را نشان می دهد. (ضمیمه «E» در گزارش اصلی ناتو، بررسی جامع تری از این «EDT» ارائه می دهد).

جدول ۸- سیستم‌های فضایی در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

«EDT»	حوزه تمرکز فناوری	اثر	وضعیت	TRL	افق زمانی
فضا	پلتفرم‌ها	متوسط	انتظار	۶	۲۰۲۵
	عملیات	متوسط	انتظار	۵	۲۰۳۰
	سنسورها	بالا	راه‌اندازی	۳	۲۰۳۵

رابطه:						
پایین		متوسط		بالا		
سلسله‌مراتب قابلیت	آماده‌سازی	پروژه	به‌کارگیری	«C3»	تقویت	محافظة
حوزه علم و فناوری	انسانی	اطلاعاتی			فیزیکی	

۲-۳-۵- سیستم‌های تسلیحاتی مافوق صوت

سیستم‌های تسلیحاتی مافوق صوت (Hypersonic Weapon Systems-HWS)

سیستم‌های تسلیحاتی مافوق صوت (موشک‌ها، وسایل نقلیه و ...)، با سرعت‌هایی بیش از ۵ ماخ (۶۱۲۵ کیلومتر در ساعت) کار می‌کنند. در چنین رژیم، تجزیه هوا قابل توجه شده و افزایش گرما می‌تواند تهدید شدیدی برای جسم متحرک باشد. مراحل پرواز فراصوت، در هنگام ورود مجدد از فضا به جو یا در طی پرواز پایدار در جو توسط موشک، اسکرام جت یا جت با موتور احتراقی مافوق صوت (Scramjet) و یا پیش‌رانه سیکل ترکیبی رخ می‌دهد. این کلاس از سیستم تسلیحاتی، شامل موشک‌های ضربتی هوایی (HCM)، مانور وسایط نقلیه سرنشین دار برای ورود مجدد (HGV)، منهدم‌کننده کشتی‌های دریایی-زمینی و هواپیماهای ضربتی است. سیستم‌هایی از این نوع، ممکن است اساساً فقط به اثرات حرکتی متکی بوده یا شامل کلاهک‌های تکمیلی (هسته‌ای یا غیرهسته‌ای) باشند. اقدامات مقابله‌ای علیه سیستم‌های مافوق صوت، به دلیل سرعت و قدرت مانور آن‌ها، چالش‌برانگیز است.

تحقیقات در مورد سیستم‌های مافوق صوت، به ۷۰ سال قبل از آغاز عصر فضا باز می‌گردد. پیشرفت‌ها و آزمایشات اخیر، احتمال تولید و استقرار سلاح‌های مافوق صوت عملیاتی طی ده سال آینده را افزایش داده است. چهار نوع از سیستم‌های مافوق صوت که به‌طور معمول در مورد آن‌ها بحث می‌شود، عبارتند از:

(۱) آوانگارد یا موشک هدایت‌پذیر فراصوت (Hypersonic Glide Vehicles-HGV)؛

(۲) موشک‌های کروزر مافوق صوت (HCM)؛

(۳) ریل‌گان مافوق صوت؛

(۴) هواپیماهای مافوق صوت.

تمرکز اصلی این «EDT»، بر روی سیستم‌های موشکی («HGV» و «HCM») خواهد بود.

مواد و روش‌های پیشرفته جدید، توسعه‌های اخیر در تحقیقات مافوق صوت را امکان‌پذیر نموده و احتمال استفاده گسترده و عملیاتی از آن‌ها را به شدت افزایش داده است. چین، روسیه، آمریکا، انگلیس، فرانسه، هند، ژاپن و استرالیا، همگی تحقیق و آزمایش سیستم‌های مافوق صوت را به صراحت تأیید کرده‌اند. این سیستم‌ها، با توجه به کاهش زمان واکنش برای ارزیابی هشدار/ حمله تاکتیکی و یکپارچه (ITWAA)، دشواری در ایجاد و توسعه اقدامات متقابل و تهدیدی که برای اهداف با ارزش بالا دارند (به صورت منفرد یا دسته جمعی)، از نظر استراتژیک به شدت برافکن محسوب می‌شوند.

در ارتباط با قابلیت‌ها و توانمندی‌های مافوق صوت ناتو، نوعی افزایش اثربخشی (کشنده بودن و پاسخگویی) در برابر اولویت اهداف زمینی و دریایی فراهم است. به دلیل سرعت زیاد، طراحی سلاح نسبتاً ساده می‌شود. چنین سرعتی، شانس اصابت موفقیت‌آمیز را افزایش داده و در مقابل، خطرات رهگیری را کاهش می‌دهد. انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۲۵ میلادی، سامانه‌های آمریکا در هواپیماهای بدون سرنشین مافوق صوت تعبیه شده و تا سال ۲۰۳۵ میلادی،

روانه میدانین شوند. چین و روسیه هم، برنامه‌های مافوق صوت پیشرفته و سیستم‌های تسلیحاتی مرتبط را هدف قرار داده‌اند.

نگران‌کننده‌تر این‌که چنین مزایایی، برای یک دشمن هم‌تا هم در دسترس است. با توجه به هزینه‌های بالای مرتبط با توسعه سیستم‌های مافوق صوت، بعید است که در این دوره زمانی، دسترسی بازیگران نامتقارن میسر شود.

سلاح‌های مافوق صوت، چالش‌های قابل توجهی در برابر استراتژی‌ها و فناوری‌های مقابله دفاعی دارند. این چالش، به‌طور ویژه به دلیل سرعت‌های زیاد و احتمال ازدحام بالا است. اقدامات مقابله‌ای، نظیر استفاده از رویکردهای کشتار نرم (Soft Kill) (مثلاً



شکل ۹- سیستم دفاعی «HGV»

مسدود کردن، فریب و ...)، ممکن است تا حدی مفید

باشد. با این وجود، جنگ‌افزارهای انرژی هدایت شده (Directed Energy Weapons) مانند لیزرهای پرنرژی یا پرتو ذرات، در کنار رهگیرهای فضایی، بهترین امید را برای یک کشتار سخت (Hard Kill) فراهم می‌کنند. اگر قرار باشد که طی ۱۰ سال آینده، اقدامات مقابله‌ای دفاعی مؤثری انجام گیرد، این سیستم‌ها باید در محدوده سیاستی مناسب و همراه با محدودیت‌های قانونی، تصفیه و عملیاتی شوند.

جدول زیر، تأثیر بالقوه، وضعیت، نرخ توسعه و همچنین حوزه‌های مشخص شده برای تحقیقات متمرکز در خصوص این «EDT» را نشان می‌دهد. (ضمیمه «F» در گزارش اصلی ناتو، بررسی جامع‌تری از این «EDT» ارائه می‌دهد.)

جدول ۹- سیستم‌های مافوق صوت در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

«EDT»	حوزه تمرکز فناوری	اثر	وضعیت	TRL	افق زمانی
مافوق صوت	پلتفرم‌ها و پیش‌رانه	بالا	راه‌اندازی	۵	۲۰۲۵
	اقدامات متقابل	بالا	راه‌اندازی	۳	۲۰۳۰

رابطه:	پایین	متوسط	بالا
سلسله‌مراتب قابلیت	آماده‌سازی	پروژه	به‌کارگیری
حوزه علم و فناوری	انسانی	اطلاعاتی	فیزیکی

۲-۴- فناوری‌های نوظهور

۲-۴-۱- فناوری‌های کوانتومی

فناوری‌های کوانتومی (Quantum Technologies-QT)

نسل جدید فناوری‌های کوانتومی، از فیزیک کوانتوم و پدیده‌های مرتبط در مقیاس اتمی و زیر اتمی (به‌ویژه درهم تنیدگی و درهم‌نهی کوانتومی) استفاده می‌کنند. این اثرات، پیشرفت‌های چشمگیر فناوری را در حوزه‌های رمزنگاری (cryptography)، محاسبات، ناوبری (جهت‌یابی) و زمان‌بندی دقیق، سنجش و تصویربرداری، ارتباطات و مواد پشتیبانی می‌کنند.

ریشه‌های مکانیک کوانتوم، به سال‌های ابتدایی قرن گذشته بازمی‌گردد. به‌طور کلی، این مفهوم برای توصیف رفتار ماده در مقیاس اتمی (کمتر از ۱۰ نانومتر) استفاده می‌شود. پدیده‌های کوانتومی، زیربنای بسیاری از فناوری‌های مدرن،

از جمله ترانزیستور، انرژی هسته‌ای، میکروسکوپ‌های الکترونی، ابرسانایی، ردیاب‌های فوتوالکتریک، تصویربرداری پزشکی (تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی و تصویربرداری با گسیل پوزیترونی)، لیزرها و دستگاه‌های حالت جامد هستند. طی ده سال گذشته، از پدیده‌های کوانتومی (به‌ویژه برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی)، برای توسعه فناوری‌های نوظهور و جدید استفاده شده است. این نسل بعدی از توسعه‌ها، شامل سنسورهای فوق‌العاده حساس، ساعت‌های فوق‌العاده دقیق، رمزگذاری غیرقابل شکست، ارتباطات و محاسبات کوانتومی می‌باشد.

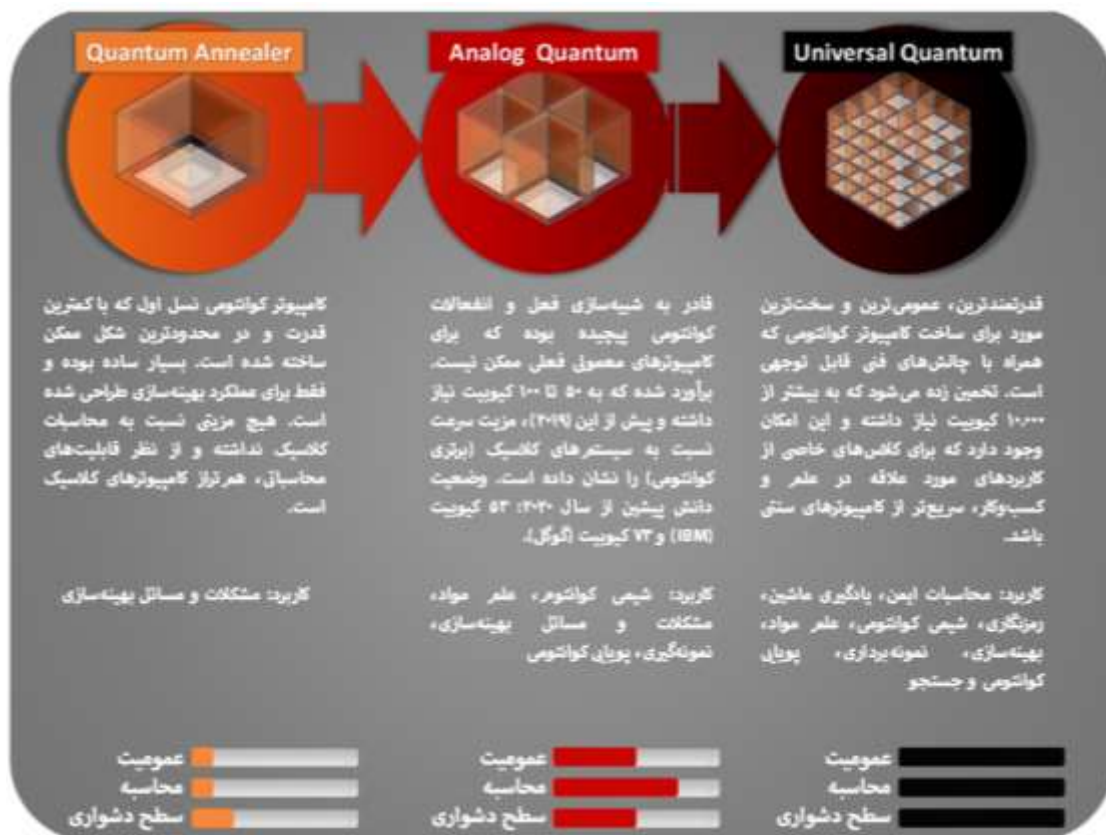
اگرچه فناوری‌های جدید کوانتومی، پتانسیل تأثیر انقلابی بر عملیات ناتو دارند، اما بیشتر آن‌ها (و نه همه)، در مراحل اولیه توسعه قرار داشته و پیش از توسعه سیستم‌های عملیاتی، چالش‌های فنی قابل توجهی در پیش است. استفاده از سنسورهای بسیار حساس گرانشی، مغناطیسی یا صوتی، به‌طور قابل توجهی اثربخشی قابلیت‌های جنگ زیر آب را افزایش داده و اقیانوس‌ها را شفاف می‌کند. رادار کوانتومی، این امکان را دارد که فناوری‌های مخفی‌کاری را منسوخ نموده، شناسایی دقیق‌تر هدف را ممکن کرده و امکان کشف و نظارت پنهانی را فراهم نماید. ساعت‌های دقیق (Accurate Clocks)، امکان توسعه سیستم‌های (دقیق) «موقعیت‌یابی، ناوبری و زمان‌بندی» (PNT) را برای استفاده در مناطق غیر قابل دسترس به «GPS» (مثلاً زیر یخ) فراهم می‌کند. رمزگذاری کوانتومی غیر قابل شکست، ارتباطات قوی‌تر و ایمن‌تری را پشتیبانی می‌کند. محاسبات کوانتومی، به‌طور بالقوه بیشترین اثرات تحول‌آفرینی و برافکن بودن را در بین تمامی فناوری‌های کوانتومی دارا بوده و توانایی ارائه کارهای محاسباتی کلاسیک (و قبلاً غیر قابل انجام) در زمینه‌هایی مانند بهینه‌سازی، «BDAA»، هوش مصنوعی و مدل‌سازی و شبیه‌سازی را فراهم می‌سازد. این لبه محاسباتی، پتانسیل تصمیم‌گیری و اثربخشی عملیاتی نیروهای ناتو را به میزان قابل توجهی افزایش داده و همچنین قادر است که برای نخستین بار، تکنیک‌های رمزگذاری فعلی و داده‌های رمزگذاری شده را قابل باز شدن نماید.

در نظر گرفتن قابلیت همکاری داخلی، برای اجرای موفقیت‌آمیز برخی از قابلیت‌های فعال شده کوانتومی، بسیار مهم است. استانداردسازی پیرامون رمزگذاری کوانتومی و پروتکل‌های ارتباطی، یک نگرانی فوری خواهد بود. «PNT»

روندهای علم و فناوری ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

سنسورها و محاسبات، چالش‌های قابلیت کمتری در خصوص همکاری داخلی دارند؛ چرا که این ویژگی‌ها، به شدت در قابلیت‌های عملیاتی ادغام می‌شوند. البته این نیز احتمال نیز وجود دارد که منجر به اختلاف واضحی در کارایی عملیاتی بین اعضای اتحادیه شود.

احتمالاً فناوری‌های کوانتومی، در بین همه «EDT»ها، نوظهورترین و متغیرترین آن‌ها در توسعه و همراه با سرمایه‌گذاری‌های قابل توجه ملی و تجاری باشند. به‌طور خاص، قابلیت عملیاتی سنسورهای جدیدی که در سطح آزمایشگاهی معرفی شده‌اند، زمینه قابل توجهی برای ادامه تحقیقات می‌باشند. به‌طور کلی، این توافق وجود دارد که این توسعه، در سطح آمادگی فنی بسیار پایین‌تری نسبت به سایر فناوری‌های کوانتومی قرار دارد. «PNT» و «QKD»، بسیار نزدیک‌تر به میدانی عملیاتی هستند.



شکل ۱۰- سه نوع کامپیوتر کوانتومی

محاسبات کوانتومی (یا علم اطلاعات کوانتومی)، از توجه چشمگیر رسانه‌ای برخوردار بوده و توسعه تجاری قابل ملاحظه‌ای را تجربه نموده است. با این وجود، توسعه محاسبات عمومی کوانتومی (یعنی قابلیت پیشی گرفتن از محدودیت‌های تئوریک محاسبات کلاسیک یا همان برتری کوانتومی)، حداقل ۱۵ تا ۲۰ سال با ما فاصله دارد. اما کاربردهای تجاری و مرتبط با کسب‌وکار خارج از محیط‌های تحقیقاتی، برای ۵ تا ۱۰ سال دیگر پیش‌بینی شده است. دستیابی به این هدف، نیازمند غلبه بر برخی از چالش‌های مهم نظری و مهندسی (به‌ویژه در مورد تصحیح خطا) است که در نهایت، می‌تواند دستیابی به چنین سیستم‌هایی را در این دوره زمانی غیرعملی سازد. با این حال، تحقیق در مورد الگوریتم‌های بهینه شده کوانتومی غیر کلاسیک (به‌عنوان مثال، شبکه‌های عصبی کوانتومی برای هوش مصنوعی)، یک گزینه مناسب برای مشکلات دفاعی و امنیتی اتحادیه و یک استراتژی توسعه مقرون‌به‌صرفه در کوتاه‌مدت است. جدول زیر، تأثیر بالقوه، وضعیت، نرخ توسعه و همچنین حوزه‌های مشخص شده برای تحقیقات متمرکز در خصوص این «EDT» را نشان می‌دهد. (ضمیمه «D» در گزارش اصلی ناتو، بررسی جامع‌تری از این «EDT» ارائه می‌دهد).

جدول ۱۰- کوانتوم در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

«EDT»	حوزه تمرکز فناوری	اثر	وضعیت	TRL	افق زمانی
کوانتوم	ارتباطات	بالا	راه‌اندازی	۵	۲۰۳۰
	علم اطلاعات	انقلابی	راه‌اندازی	۴	۲۰۳۵
	ناوبری و جهت‌یابی دقیق	بالا	نامیدی	۶	۲۰۲۵
	سنسورها	متوسط	راه‌اندازی	۳	۲۰۴۰

رابطه:						
پایین		متوسط		بالا		
سلسله‌مراتب قابلیت	آماده‌سازی	پروژه	به‌کارگیری	«C3»	تقویت	محافظت
حوزه علم و فناوری	انسانی	اطلاعاتی			فیزیکی	
					آگاه‌سازی	

۲-۴-۲- فناوری‌های زیستی (و بهبود انسانی)

فناوری‌های زیستی و بهبود انسانی (Bio & Human Enhancement Technologies-BHET)

فناوری‌های زیستی، از ارگانیس‌ها، بافت‌ها، سلول‌ها یا اجزای مولکولی حاصل از موجودات زنده استفاده نموده تا اقداماتی در خصوص موجودات زنده یا مداخله در کار سلول‌ها و اجزای مولکولی سلول‌ها، از جمله ماده ژنتیکی آن‌ها انجام دهند. فناوری‌های بهبود انسانی (HET)، مداخلات زیست پزشکی هستند که شکل یا عملکرد انسان را برای بازگرداندن یا حفظ سلامتی، بیش از حد لازم بهبود می‌بخشند.



شکل ۱۱- فناوری زیستی

دست‌کاری در محیط‌زیست و بهبود و تقویت شرایط انسان، به نخستین روزهای بشریت باز می‌گردد؛ زمانی که اجداد ما برای ایجاد یک مزیت تکاملی، از پوست، سنگ و کشاورزی استفاده می‌کردند. با این حال، انتظار می‌رود که طی ۲۰ سال آینده، فناوری‌های زیستی و

ارتقاء انسانی (BHET)، در دسترس بوده و تعریف واقعی ما از معنای سرباز، ملوان یا خلبان بودن را تغییر دهد. این فناوری‌ها، طیفی از علوم بیولوژیکی را در بر می‌گیرند: دست‌کاری ژنتیکی (مثلاً CRISPR) برای توسعه پاتوژن‌ها یا اقدامات جدید متقابل پزشکی، روش‌های ساخت با بهره‌برداری از فرآیندهای بیولوژیکی، بهبود و ارتقای انسانی از طریق رباتیک یکپارچه (مثلاً اسکلت خارجی یا قطعات جایگزین)، رابط‌های عصبی، دید پیشرفته، همزیستی اجتماعی / فنی با هوش مصنوعی و سیستم‌های خودران، رویکردهای دارویی برای تقویت شناختی و فیزیکی، مجازی‌سازی

بیشتر محیط شناختی / اجتماعی برای حمایت از توسعه ساختارهای اجتماعی، اطلاعاتی و سازمانی جدید، سنسورهای زیستی جدید و بیوانفورماتیک که درک ما را از رفتارهای اجتماعی / شناختی، فیزیولوژیکی، اقتصادی و عصبی برای بهبود کارایی عملیاتی و انعطاف‌پذیری و همچنین افزایش اثربخشی هدف‌گیری غیرجنبشی افزایش می‌دهند.

زمینه‌های تحقیقاتی برافکن در حوزه «BHET» که مورد علاقه بالقوه ناتو است، شامل موارد زیر می‌باشد:

- بیوانفورماتیک و سنسورهای زیستی: جمع‌آوری، طبقه‌بندی، ذخیره‌سازی، بازیابی و تجزیه و تحلیل داده‌های بیولوژیکی و بیوشیمیایی؛
- تقویت انسان: استفاده از تغییرات ژنتیکی، عوامل دارویی، دستگاه‌های الکترومکانیکی یا رابط‌های عصبی برای افزایش عملکرد فیزیولوژیکی و عصبی انسان بیش از محدودیت‌های طبیعی؛
- فناوری‌ها و اقدامات متقابل پزشکی: توسعه روش‌های جدید تشخیصی، درمانی و واکسن (با استفاده از بیوانفورماتیک، مهندسی ژنتیک و سنسورهای زیستی)، برای پشتیبانی از تشخیص پیش‌نگرانه، شناسایی تهدید «CBRN» و درمان‌ها؛
- زیست‌شناسی مصنوعی: طراحی، مهندسی و ایجاد اجزا یا سیستم‌های بیولوژیکی اصلاح شده یا مصنوعی جدید.

گفتنی است که این تغییرات رخ داده و موضوعات قابل توجه اجتماعی، حقوقی و سیاسی به دنبال خواهند داشت. جدول زیر، تأثیر بالقوه، وضعیت، نرخ توسعه و همچنین حوزه‌های مشخص شده برای تحقیقات متمرکز در خصوص این «EDT» را نشان می‌دهد. (ضمیمه «G» در گزارش اصلی ناتو، بررسی جامع‌تری از این «EDT» ارائه می‌دهد).

جدول ۱۱- زیست فناوری و تقویت انسانی در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

«EDT»	حوزه تمرکز فناوری	اثر	وضعیت	TRL	افق زمانی
فناوری‌های زیستی	بیوانفورماتیک	متوسط	انتظار	۶	۲۰۲۵
	تقویت انسانی	بالا	انتظار	۵	۲۰۳۰
	اقدامات متقابل پزشکی	بالا	راه اندازی	۴	۲۰۳۰
	زیست‌شناسی مصنوعی	بالا	راه اندازی	۶	۲۰۲۵

رابطه:						
پایین		متوسط		بالا		
سلسله مراتب قابلیت	آماده سازی	پروژه	به کارگیری	«C3»	تقویت	محافظت
حوزه علم و فناوری	انسانی	اطلاعاتی			فیزیکی	
					آگاه سازی	

۲-۴-۳- مواد و روش های تولید نوین

مواد و روش های تولید نوین (Novel Materials and Manufacturing-NMM)

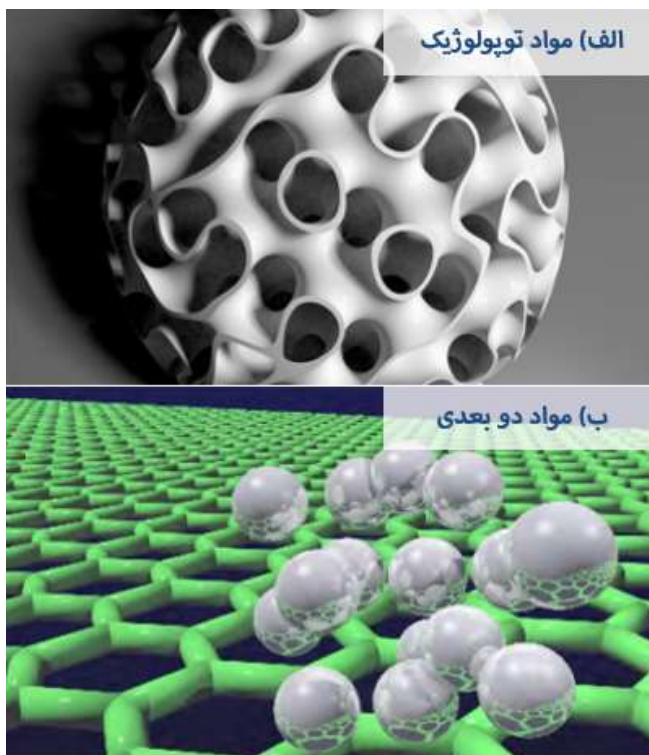
مواد پیشرفته و جدید، موادی مصنوعی با خصوصیات منحصربه فرد و نوین هستند. مواد پیشرفته، ممکن است با استفاده از تکنیک هایی بر گرفته از فناوری نانو یا زیست شناسی مصنوعی تولید شوند. توسعه این مواد، می تواند شامل پوشش هایی با مقاومت در برابر حرارت شدید، بدنه یا پلتفرم هایی با استحکام بالا، پوشش های پنهان، برداشت و ذخیره سازی انرژی، ابررسانایی، سنسورهای پیشرفته و آلودگی زدایی (Decontamination)، تولید انبوه مواد غذایی، سوخت و مواد ساختمانی باشد. تحقیق در مورد گرافن، سایر مواد جدید دو بعدی و مواد توپولوژیک، حوزه ای با پتانسیل بالا و علاقه روزافزون است. ساخت افزایشی (Additive Manufacturing) که اغلب به عنوان مترادفی برای چاپ سه بعدی استفاده می شود، فرآیندی برای ایجاد یک جسم جامد سه بعدی تقریباً دلخواه از یک مدل دیجیتال است که از طریق افزودن لایه ای مواد ایجاد می شود. ساخت افزایشی را می توان برای موارد

زیر استفاده کرد: ساخت سریع نمونه اولیه، تولید و تعمیر تجهیزات نظامی مستقر در محل و تولید قطعات دقیق، سفارشی یا منحصربه‌فرد.

توسعه و پیشرفت در مواد و روش‌های تولید نوین، جنبه‌های برافکن و نوظهور طی ۲۰ سال آینده را نشان می‌دهد. در حالی که جنبه‌های مختلف این «EDT»، مانند تولید چابک (مثلاً چاپ سه بعدی و چهار بعدی)، در زمینه‌های

توسعه قابلیت‌ها، تملک و لجستیک، به شدت برافکن ارزیابی می‌شود، در حال حاضر فناوری‌های اساسی به خوبی موجود بوده و همچنان با سرعت بالایی توسعه و گسترش یافته و در صنعت استفاده می‌شوند.

با این حال، در لبه مرزی تحقیقات، موضوعاتی همچون موارد زیر مطرح است: توسعه و بهره‌برداری از مواد جدید (مثلاً گرافن که برای اولین بار در سال ۲۰۰۴ کشف شد و سایر مواد دو بعدی)، خواص و ویژگی‌های مواد جدید، تولید طراحی‌هایی که تاکنون



غیرممکن بوده، روش‌های جدید ساخت و تولید

شکل ۱۲- مواد جدید

(مثلاً مبتنی بر فناوری‌های زیستی)، دست‌کاری مقیاس نانو در مواد، چاپ مواد ترکیبی و استفاده از هوش مصنوعی و «BDAA» برای یافتن مواد جدید. این حوزه‌های تحقیقاتی، با تمایل به کشف یا بهره‌برداری از خصوصیات جدید و منحصربه‌فرد فیزیکی (مثلاً ابررسانایی) و نیز مواد ارزان‌تر، قوی‌تر، سبک‌تر، بادوام‌تر یا با قابلیت بالاتر (مثلاً انرژی)، تحریک و هدایت می‌شوند.

۲-۵-۱- داده/ هوش مصنوعی / خودرانی

انتظار می‌رود که طی ۱۰ سال آینده، ترکیب هم‌افزای خودرانی، «BDAA» و هوش مصنوعی، بیشترین تأثیر برافکن را بر اتحادیه و توانمندی‌های نظامی آن داشته باشد. افزایش استفاده از سنسورهای هوشمند، توزیع شده، فراگیر، ارزان، به‌هم‌پیوسته و موجودیت‌های مستقل (فیزیکی یا مجازی)، منجر به حجم زیادی از داده می‌شوند که تجزیه و تحلیل آن‌ها با استفاده از روش‌ها و رویکردهای فعلی، عملاً غیرممکن خواهد بود. فناوری‌ها و روش‌های



به‌هم‌پیوسته، راه‌حل این مشکلات هستند. این فناوری‌ها، شامل «5G» (و فناوری‌های ارتباطی مشابه)، مدیریت شناختی «EM»، اینترنت اشیا (IoT)، «AIoT»، فناوری‌های بهتر باتری و حتی چاپ سه بعدی است. چنین تغییراتی، همراه با پشتیبانی تحولات فناورانه

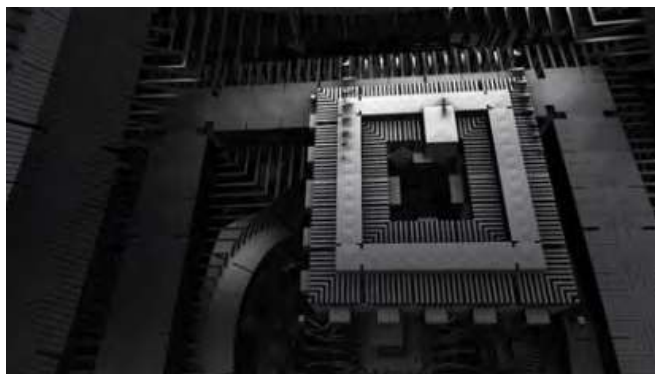
شکل ۱۳- معنا بخشی یا «Sense Making»

فضایی، زیستی و کوانتومی، امکان ایجاد یک مزیت تصمیم‌گیری استراتژیک و عملیاتی را برای ناتو فراهم آورده و نیاز به مفاهیم و قابلیت‌های جنگ سایبری و ممتیک جدیدی را به وجود می‌آورد.

۲-۵-۲- داده/ کوانتوم

طی یک افق ۱۵ تا ۲۰ ساله، فناوری‌های کوانتومی از طریق قابلیت‌های فزاینده سنسورها، ارتباطات ایمن و محاسبات، قابلیت جمع‌آوری، پردازش و بهره‌برداری از داده‌های «C4ISR» را به شدت افزایش می‌دهند. به‌طور خاص، محاسبات کوانتومی، ممکن است سرعت مدل‌سازی و شبیه‌سازی و نیز صحت آن‌ها برای تجزیه و تحلیل‌های پیش‌نگرانه را تا حد زیادی افزایش داده و یک رویکرد کوانتومی برای یادگیری عمیق شبکه‌های عصبی و تجزیه و تحلیل داده‌ها فراهم

آورد. همچنین این قابلیت محاسباتی و شبیه‌سازی فزاینده، از طریق متا آنالیز علوم موجود و شبیه‌سازی سیستم‌های تحت تأثیر کوانتوم، به‌طور قابل توجهی بر عملکرد علم و فناوری اتحادیه تأثیر می‌گذارد. این قابلیت، به نوبه خود



شکل ۱۴- درک عمیق‌تر

باعث کشف علوم بنیادی و کاربردی جدید، طراحی‌های جدید، ژن‌ها یا ارگانیسم‌های هدفمند و همچنین شناسایی مواد جدید با خواص شیمیایی و بیولوژیکی متفاوت خواهد شد. همه این موارد، بعد از سال ۲۰۴۰ میلادی، امکان ایجاد اثراتی برافکن خواهند داشت.

۲-۵-۳- فضا/ فراصوت/ مواد

فضا و فراصوت، حوزه‌های عملیاتی چالش‌برانگیزی را بوجود می‌آورند. توسعه مواد اگزوتیک، طراحی‌های جدید، کوچک‌سازی، ذخیره‌سازی انرژی، روش‌های ساخت و تولید و نیروی محرکه ضروری خواهند بود، اگر سیستم‌های



شکل ۱۵- دستیابی جهانی و نزدیک به زمان واقعی

فضایی و فراصوت، از مزایای ذاتی و فرصت‌های این حوزه‌ها به‌طور کامل بهره‌برداری نمایند. سیستم‌های فراصوت و فضایی، بسیاری از چالش‌های زیست‌محیطی مشابه را به اشتراک می‌گذارند. توسعه مواد ارزان‌قیمت، قوی و دارای مقاومت گرمایی فوق‌العاده، یک امر

ضروری برای توسعه سیستم‌های عملیاتی و مقرون‌به‌صرفه خواهد بود. علاوه بر این، استفاده فزاینده از چاپ سه و

چهار بعدی، با چاپ اجزا و قطعات ضروری (مثلاً موتورها)، به کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت اطمینان کمک خواهد کرد.

۲-۵-۴- فضا/ کوانتوم

سنسورهای کوانتومی مبتنی بر فضا که به ارتباطات «QKD» تجهیز می‌شوند، به کلاس‌های کاملاً متفاوتی از سنسورهای مناسب برای استقرار در ماهواره‌ها منجر می‌شوند. در حال حاضر، محدودیت‌های قدرت و حساسیت سنسورها، به‌طور قابل توجهی بر طراحی و عملیات ماهواره‌ای تأثیرگذار است. سنسورهای کوچک‌تر، با مصرف کمتر، حساس‌تر و بیشتر توزیع شده توسط فناوری‌های کوانتومی نسل بعدی، یک جنبه ضروری از معماری «ISR» ناتو در ۲۰ سال آینده خواهد بود.

اگر اتحادیه به حفظ یک شبکه ارتباطی جهانی کاملاً ایمن می‌اندیشد، توسعه «QKD» شبکه‌های ارتباط کوانتومی (Quantum Communication-QC) در مقیاس بزرگ ضروری است. در حال حاضر، «QC» ماهواره به زمین،



شکل ۱۶- ارتباطات جهانی مورد اعتماد
(Trusted Global Communications)

برای محدوده بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر ارائه شده است. به‌طور خاص، چین تعدادی از پروژه‌های بسیار بلندپروازانه را در این خصوص توسعه می‌دهد. انتظار می‌رود که تحولات فناورانه، طی ۵ تا ۱۰ سال آینده، این آزمایشات اولیه را تا حد زیادی گسترش داده و چهارچوب فناورانه‌ای برای قابلیت‌های تجاری قدرتمند فراهم سازد.

۲-۵-۵- داده/ هوش مصنوعی / زیست فناوری

هوش مصنوعی و فناوری‌های زیستی، با سرعت بسیار بالایی در حال توسعه هستند. این مسئله، ناشی از کاهش قابل توجه هزینه‌ها، افزایش سرعت و افزایش علاقه‌مندی‌های تجاری به این حوزه است. برای مثال، پروژه اصلی ژنوم انسانی، حدود ۱۰ ماه به طول انجامید و ۳ میلیارد دلار هزینه داشت (در سال ۲۰۰۱ میلادی). این پروژه، امروز در کمتر از یک ساعت انجام شده و با هزینه حدوداً ۱۰۰۰ دلار، ژنوم انسان را رمزگشایی می‌کند.

هوش مصنوعی، در هماهنگی با «BDAA» و فناوری‌های زیستی، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر اقتصاد و سلامت جهان خواهد داشت. چنین ترکیبی از «EDT» ها، به شدت به طراحی و کشف داروهای جدید، تغییرات ژنتیکی هدفمند، دست‌کاری مستقیم واکنش‌های بیوشیمیایی، توسعه عوامل بیولوژیکی



شکل ۱۷- مهندسی زیستی

بهینه شده، سنسورها (living sensors)، توسعه نشانگرهای اندازه‌گیری «CBRN» و شناسایی (از طریق تجزیه و تحلیل متا آنالیز) حوزه‌های تحقیقاتی جدید می‌انجامد. استفاده از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی طراحی عوامل بیولوژیک مولکول به مولکول یا سلول به سلول، توانایی ما برای ساخت داروهای جدید را گسترش داده و ابزارهای جدیدی برای سنجش ایجاد می‌کند. چنین تحولات پرافکنی، به علوم زیستی محدود نبوده و در تمام زمینه‌های توسعه علم و فناوری نمایان می‌گردد.

۲-۵-۶- داده/ هوش مصنوعی / مواد

هوش مصنوعی، در هماهنگی با «BDAA»، به طراحی مواد جدید، شناسایی و طراحی خواص فیزیکی منحصر به فرد،



شکل ۱۸- محصولات و مواد جدید

دستکاری مستقیم واکنش‌های شیمیایی، ایجاد طراحی‌های نوین و شناسایی (از طریق متا آنالیز) حوزه‌های تحقیقاتی جدید کمک خواهد کرد. به‌طور خاص، این امر از توسعه‌های بیشتر مواد دو بعدی پشتیبانی می‌کند. این تحول برافکن، در تمام زمینه‌های

توسعه علم و فناوری نمایان خواهد شد.

هوش مصنوعی و «BDAA»، در ترکیب با چاپ سه بعدی و چهار بعدی یا ساخت زیستی، تولید را به سمت لبه (یعنی کاربر) فشار داده و به شدت توسعه محصولات قابل اعتماد، متناسب و ساخته شده از ترکیبی از مواد را تسهیل می‌کند.

۲-۶- مقابله با تهدیدات «EDT»

نیروهای دشمن «RED»، پیچیده و خودسازگار هستند. اینکه توسعه نیروی «RED» ناشی از هر یک از «EDT»ها را به‌عنوان آینه‌ای ساده از توسعه نیروهای دوست یا خودی «BLUE» در نظر بگیریم، تا حدی گمراه‌کننده است. رقبای بالقوه نامتقارن و هم‌تا (Peer / Near-Peer)، مسیرهای مختلف بهره‌برداری را طی خواهند کرد و ممکن است به‌طور بالقوه، کاربردهای جدیدی را در حوزه‌های فیزیکی، انسانی یا اطلاعاتی هدف قرار دهند.

با این وجود، برای هر قابلیت نظامی، در نهایت یک سری اقدامات متقابل هم وجود دارد. به همین ترتیب، حتی در مواردی که محدودیت‌های ملی، قانونی و اخلاقی سخت‌گیرانه‌ای برای استفاده از چنین توانمندی‌هایی وجود داشته باشد، کشورهای اتحادیه بایستی علم و فناوری مناسب را برای توسعه چنین اقدامات متقابلی داشته باشند. برای مثال، این امر برای تهدیدهای مرتبط با «CBRN» ادامه خواهد داشت، جایی که اقدامات متقابل (پزشکی) ایجاد شده و در برخی موارد، منافع قابل توجهی در مبارزه با بیماری‌های ویروسی نظیر ابولا (Ebola) به دست آورده است.

توسعه اقدامات متقابل برای هر مزیتی که یک «EDT» ممکن است به همراه داشته باشد، باید در فرآیند توسعه قابلیت‌های ناتو در نظر گرفته شود. همان‌طور که فناوری به‌طور فزاینده‌ای جهانی و دموکراتیزه می‌شود، طول عمر یک مزیت فناورانه هم ممکن است به‌طور فزاینده‌ای کوتاه گردد. بنابراین، در مواردی که می‌توانند «EDT»ها را به‌طور مؤثر در کارکردهای سازمانی و عملیاتی ادغام کنند و همچنین مواردی که فشار بر لبه‌های مرزی فناوری را ادامه می‌دهند، موفقیت عملیاتی حاصل می‌گردد.

۷-۲- خلاصه

یک امر ضروری برای اتحادیه و کشورها، درک تأثیر بالقوه، سطح فعلی «Hype»، آمادگی، کاربرد عملیاتی و هم‌افزایی مرتبط با هر «EDT» است. همان‌طور که پوسونی (Possony) و پورنل (Pournelle) اشاره نموده‌اند، گزینه‌های معدودی برای سازگاری با این محیط وجود دارد:

«واقعیت اصلی در مورد فناوری در قرن بیستم، این است که این فناوری دارای نوعی شتاب است. اگرچه جریان فناورانه می‌تواند تا حدی هدایت شود، اما مانع شدن از آن، غیرممکن است. جریان، بی‌وقفه ادامه دارد و فقط سه گزینه باقی می‌گذارد. شما ممکن است با جریان شنا کنید و از تمام جنبه‌های فناوری نهایت بهره را ببرید. در مقابل،

ممکن است تلاش کنید تا به بیرون بنحزید و مابقی جهان را تماشا کنید، یا در مقابل جریان آب شنا کرده و اصطلاحاً غول چراغ جادو را دوباره در بطری قرار دهید ... تحقیقات، به خودی خود فناوری ایجاد نمی‌کند، بلکه فقط یکی از مهم‌ترین پیش‌نیازهای فناوری است. فناوری هم به خودی خود نمی‌تواند بقای ملی را تضمین کند».

«EDT»ها آماده هستند تا طی ۲۰ سال آینده، تأثیر قابل توجهی (مثبت و منفی) بر اتحادیه داشته باشند. با این وجود، اشتغال مولد این فناوری‌های جدید، چالش‌های جدی ایجاد نموده و سؤالات اساسی اخلاقی و قانونی مطرح می‌کند. استفاده گسترده از هوش مصنوعی، «BDAA» و خودرانی، دسترسی بیشتری به داده‌ها و دانش عملیاتی کلیدی را به دنبال داشته، اما در عین حال، ریسک ابهام بیشتری هم به دنبال خواهد داشت. اطلاعات، خود به‌طور فزاینده‌ای به یک حوزه جنگ و یک کالای حیاتی تبدیل خواهد شد. به موازات این روند، در عملیات‌هایی که انسان‌ها به‌طور مستقیم در چرخه تصمیم‌گیری دخیل نیستند، استفاده از سیستم‌های خودکار و خودران گسترش یافته و سرعت رقابت استراتژیک را افزایش می‌دهند.

علی‌رغم این جهش‌های بالقوه در نوآوری، فضای جنگی در حال تکامل، همچنان ترکیبی از سیستم‌های قدیمی و جدید تسلیحاتی خواهد بود. این ترکیب، ممکن است توانایی اتحادیه برای مبارزه مشترک را به چالش بکشد. شکاف‌های فنی، به چالش‌های اتصالی، ارتباطاتی، اعتقادی، حقوقی و قابلیت همکاری داخلی می‌انجامد. در نتیجه پیامدهای این فناوری‌ها، عدم تطابق‌های ناشی از قابلیت و ظرفیت و حتی کمبود ظرفیت‌ها، از جمله مواردی است که انتظار می‌رود کشورها با آن‌ها مواجه شوند.

همراه با تغییرات جمعیتی، پیشرفت‌های فناورانه به توسعه سرمایه انسانی مناسب انجامیده که می‌تواند در همه حوزه‌ها، از جمله سطوح استراتژیک، عملیاتی و تاکتیکی و در چندین حوزه مختلف فعالیت نماید.

اگرچه این احتمال وجود دارد که اتحادیه در برخی حوزه‌های «EDT» از مزیت فناورانه برخوردار باشد، اما «EDT»ها (به‌ویژه هوش مصنوعی، داده‌های بزرگ، فناوری زیستی و فراصوت) احتمالاً ارزان‌تر بوده و با دسترسی بیشتری در اختیار بازیگران دشمن قرار می‌گیرد. اگر به نحوه تلفیق و توسعه اقدامات متقابل توجه نشود، وابستگی اتحادیه به فناوری‌های پیشرفته، می‌تواند به‌طور فزاینده‌ای به یک مسئولیت و الزام تبدیل گردد. متحدین باید آماده باشند تا با روشی عملی اقدام کنند (معتبر، آگاهانه، شبکه‌ای، چابک و انعطاف‌پذیر). «EDT»ها باید با عملکردهای نظامی ناتو (آماده‌سازی، پروژه، محافظت، تعامل، پایداری، «C3» و اطلاع‌رسانی) همسو بوده و توسعه آن‌ها بر دستیابی به اثرات نظامی مطلوب متمرکز شود (اطمینان، جلوگیری، شکست، دفاع، انکار، تثبیت و تبدیل). ضروری است که ماهیت این فناوری‌های جدید را درک کنیم، پیامدهای آن‌ها را در دفاع و امنیت تجزیه و تحلیل کنیم، فرصت‌های ارائه شده را بررسی کنیم، مرزهای ممکن را تحت فشار قرار دهیم و اطمینان حاصل کنیم که آماده کاهش ریسک‌های آن‌ها هستیم. ناتو ماهیت بین‌المللی و مشارکتی خود را برای بررسی این موضوعات فراهم نموده است.

به ندرت (هرگز) پیش می‌آید که توسعه هر یک از «EDT»ها، با سرعتی ثابت انجام شده یا در مسیر خود برای استفاده عملی (چه در حوزه‌های نظامی و چه در حوزه‌های غیرنظامی)، عاری از خطا باشند. این که چگونه علم زیربنایی و فناوری‌های حاصل از آن توسعه می‌یابند، چه تعاملات پیچیده‌ای با یکدیگر خواهند داشت و در نهایت، چه توانمندی‌های نظامی ایجاد می‌کنند، اساساً از نظر نتیجه یا جدول زمانی نامشخص است. با این وجود، همان‌طور که دوايت آيزنهاور (Dwight D. Eisenhower)، رئیس‌جمهور سابق آمریکا و اولین فرمانده عالی متحدین ناتو در اروپا (SACEUR) گفته است: «برنامه‌ها بی‌فایده نیستند، اما برنامه‌ریزی همه چیز است»، فرآیند پیش‌بینی روندهای علم و فناوری، ناتو را برای فرصت‌ها و ریسک‌های مرتبط با این فناوری‌ها آماده می‌کند.

۳- روندهای زمینه‌ای

آن‌ها می‌گویند که حال، آینده را بوجود می‌آورد.

ولتایر (Voltaire)

۳-۱- مقدمه

پیشرفت‌ها و توسعه‌های علم و فناوری، در خلأ اتفاق نمی‌افتد، بلکه توسط نیازها و روندهای فناورانه، فردی، اقتصادی، اجتماعی و سازمانی هدایت می‌شوند. به نوبه خود، این تحولات علم و فناوری، رویدادهایی را تحریک می‌کنند که اساساً جوامع/ افراد را تغییر داده و سازمان‌ها و دولت‌ها را مجبور به تکامل می‌کنند. درک نیروهایی که این پیشرفت‌ها را ایجاد می‌کنند، اولین قدم اساسی در ارزیابی تحولات برافکن فنی و علمی آینده است.

در این بخش، مروری اجمالی بر نیروهای کلیدی جهانی و استراتژیک صورت گرفته که پیشرفت‌های فناورانه را به پیش می‌برند. این امر، در تعدادی از مطالعات آینده‌نگاری آمده است.

۳-۲- نوآوری و سرمایه‌گذاری

با توجه به این روندهای جهانی، ممکن است پیشرفت‌های خاص فناورانه، پیشرفت‌های غیرمنتظره، کاربردها و توانمندی‌های نظامی، از طریق چندین مسیر نوآوری ایجاد شود. چنین مسیری، ممکن است شامل استفاده جدید از فناوری‌های قدیمی، استفاده از فناوری‌های جدید برای مسائل و مشکلات قدیمی، استفاده از علم مدرن برای توسعه تکنیک‌های جدید و ابزارهای فنی که باعث ایجاد علم جدید و در نهایت فناوری‌های جدید می‌شود و همگرایی و ادغام خلاقانه فناوری‌های قدیمی و جدید باشد.



شکل ۱۹- نوآوری

برای ناتو، مسیر از ایده علم و فناوری به

قابلیت نظامی، با روند مستمر ارزیابی، توسعه

مفهومی و آزمایش گره خورده است. این

فرآیند، یک چهارچوب اساسی برای ارزیابی

ارزش بالقوه نظامی «EDT»ها و اطمینان از

وجود مفاهیم عملیاتی مناسب برای تبدیل

آنها به قابلیت‌های عملیاتی است. همکاری

اتحادیه، این فعالیت‌ها را از طریق

سرمایه‌گذاری و ارزیابی هماهنگ تسهیل

می‌کند. تفاوت در سطح بودجه علم و فناوری ملی، برنامه‌های اخذ و تملک، اولویت‌های عملیاتی و افق‌های زمانی،

از چالش‌های این همکاری محسوب می‌شود. با این وجود، تحقق منابع فکری و مالی موجود در سرتاسر اتحادیه،

یک چهارچوب قوی برای ارزیابی و توسعه قابلیت‌های مبتنی بر «EDT» فراهم می‌کند. علیرغم انحصارهای موجود،

فناوری‌های جدیدی که جایگزین مقرون‌به‌صرفه‌ای برای رویکردهای فعلی ارائه می‌دهند، در نهایت به‌طور گسترده و

سریعی پذیرفته می‌شوند. با این سرمایه‌گذاری، افزایش در دسترس بودن فناوری برای توانمندی‌های نظامی حاصل

می‌شود.

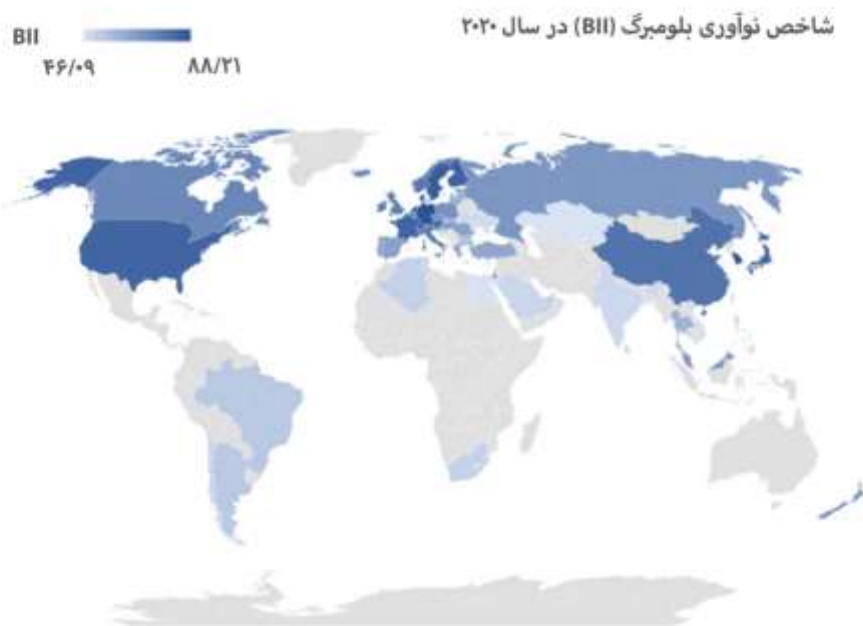
سطح بالای سرمایه‌گذاری، عموماً باعث پیشرفت سریع فناوری‌ها شده و موفقیت (واقعی یا بالقوه) آنها را در بازار

یا در میدان جنگ منعکس می‌کند. کشورهای نوآور، این سرمایه‌گذاری را به شکل تلاش‌های چشمگیر تحقیق و

توسعه‌ای، توسعه صنایعی با ارزش و ارزش افزوده قابل توجه و همچنین پرورش نیروی انسانی بسیار ماهر، مولد و

تحصیل‌کرده استفاده می‌کنند. شکل ۲۰، رتبه‌بندی ۶۰ کشور نوآور برتر در سال ۲۰۲۰ میلادی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که انتظار می‌رفت، کشورهای اتحادیه از نظر نوآوری رتبه بالایی دارند. نکته تعجب‌آور این‌که آمریکا از جایگاه نخست در سال ۲۰۱۳، به رتبه نهم در سال ۲۰۲۰ سقوط نموده و در مقابل، چین از مقام بیست و یکم در سال ۲۰۱۷، به مقام پانزدهم رسیده است.

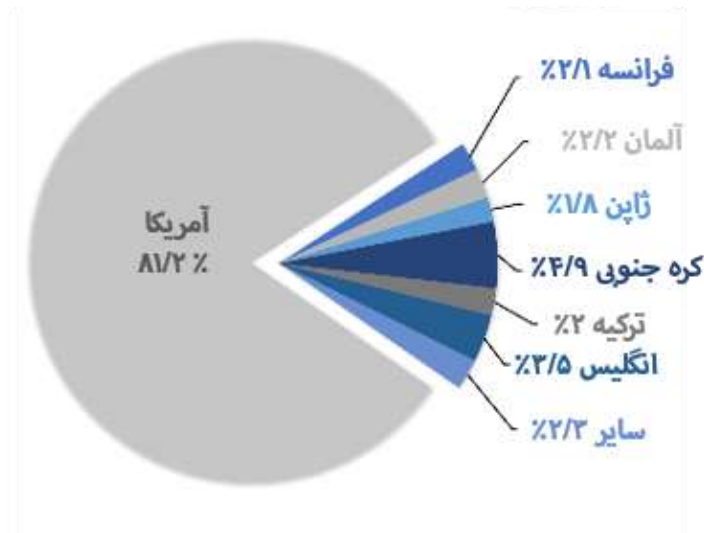


شکل ۲۰- شاخص نوآوری بلومبرگ (Bloomberg Innovation Index) - ۶۰ کشور برتر سال ۲۰۲۰، مقیاس از ۰ (ضعیف) تا ۱۰۰ (عالی)

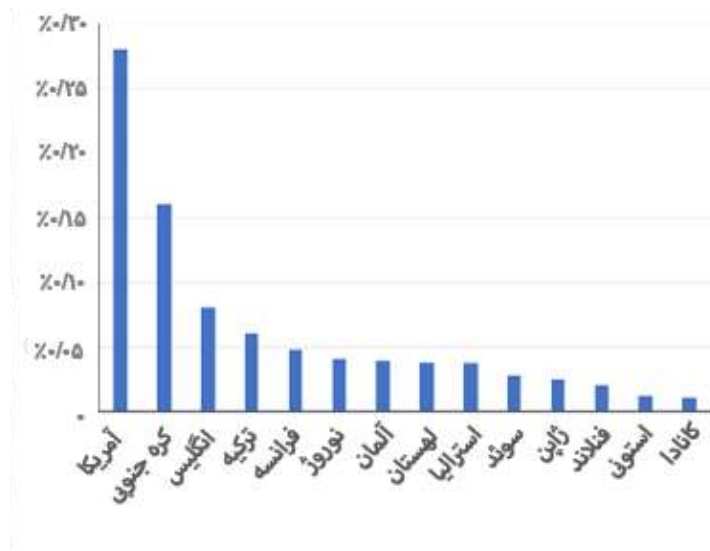
گفتنی است که همچنان سرمایه‌گذاری در علم و فناوری دفاعی قابل توجه بوده (شکل ۲۱) و اغلب به‌عنوان یک مکانیسم کلیدی برای شکل‌دهی به برنامه ملی نوآوری دیده می‌شود. با این حال، طی ۲۰ سال گذشته، محرک‌های توسعه علم و فناوری، به شکل فزاینده‌ای در خارج از جامعه دفاعی و امنیتی حاضر بوده و عملاً نیازهای تجاری و اجتماعی، انگیزه لازم برای قابلیت‌های جدید را فراهم نموده‌اند. جذب فناوری در یک جامعه، بر توسعه «EDT»‌ها و همچنین ایجاد آسیب‌پذیری‌های بالقوه در دو حوزه نظامی و غیرنظامی تأثیر می‌گذارد.

روندهای علم و فناوری ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

الف) سهم کل بودجه تحقیق و توسعه‌ای دولتی حوزه دفاع



ب) کشورهای با بالاترین سطح بودجه تحقیق و توسعه دفاعی دولتی



شکل ۲۱- بودجه تحقیق و توسعه دفاعی دولت‌ها- الف) سهم کل بودجه تحقیق و توسعه‌ای دولتی «OECD» در حوزه دفاع، به تفکیک کشورها در سال ۲۰۱۷ میلادی (با در نظر گرفتن برابری قدرت خرید) و ب) کشورهای عضو «OECD» با بالاترین سطح بودجه تحقیق و توسعه دفاعی دولتی به‌عنوان سهمی از تولید ناخالص داخلی در سال ۲۰۱۷ میلادی - (منبع: «OECD»، پایگاه داده «RDS»)

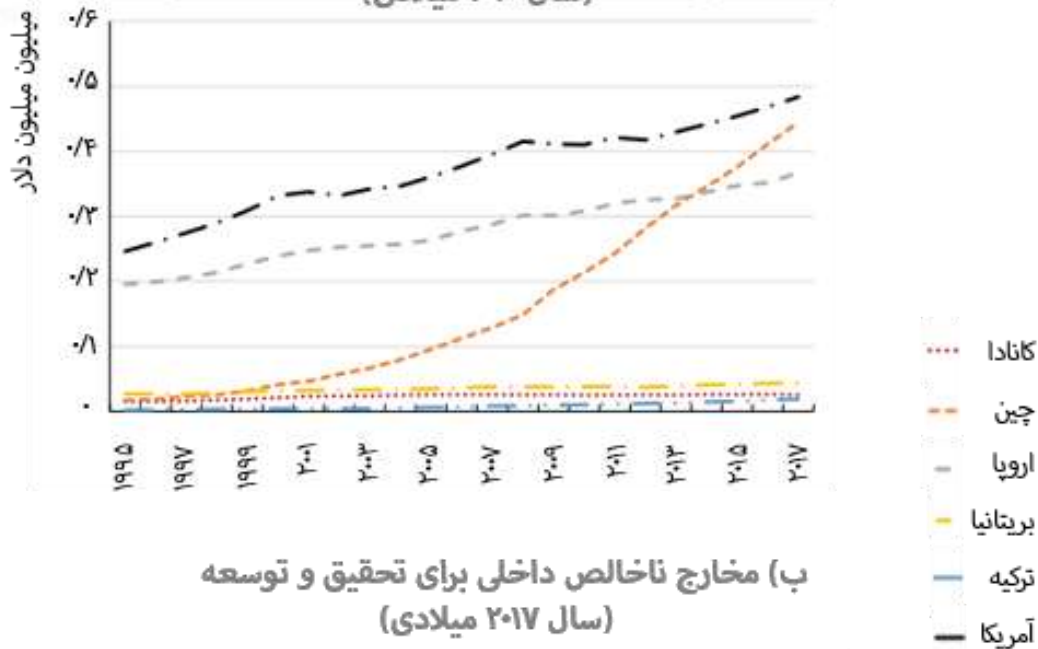
هنوز هم علم زیربنایی (آمادگی فناوری سطوح ۱ تا ۳)، برای چنین موفقیت‌های تجاری، اکثراً از محل بودجه‌های دولتی و فعالیت‌های تحقیقاتی ناشی شده که برای جذب ریسک‌های مرتبط با چنین تحولاتی، در موقعیت بهتری قرار دارند. سطح چنین سرمایه‌گذاری‌ها و نیز سرمایه‌گذاری‌های صنعتی، یک عامل حیاتی در تعیین نرخ بلندمدت توسعه فناوریانه و قابلیت‌ها می‌باشد.

سرمایه‌گذاری‌های فزاینده‌ای در زمینه هوش مصنوعی، محاسبات کوانتومی و اطلاعات، فضای تجاری، زیست‌شناسی مصنوعی، محاسبات ابری، امنیت سایبری و داده‌های بزرگ صورت گرفته است. این سرمایه‌گذاری‌ها، محرک اصلی قابلیت‌های جدید نظامی می‌باشند. برای مثال، سرمایه‌گذاری جهانی در تحقیقات هوش مصنوعی، تا سال ۲۰۳۰ میلادی، به بیش از ۱ تریلیون دلار می‌رسد که البته با سرمایه‌گذاری چین و هدف اعلام شده برای تبدیل شدن به رهبر جهان در هوش مصنوعی تا سال ۲۰۳۰، بسیار کم است. آمریکا و اتحادیه اروپا نیز، متعهد به حمایت از تحقیقات هوش مصنوعی با میلیارد‌ها دلار و یورو شده‌اند که از آن جمله، می‌توان به سرمایه‌گذاری بیش از ۲ میلیارد دلاری برای تحقیقات هوش مصنوعی در حوزه دفاع اشاره نمود.

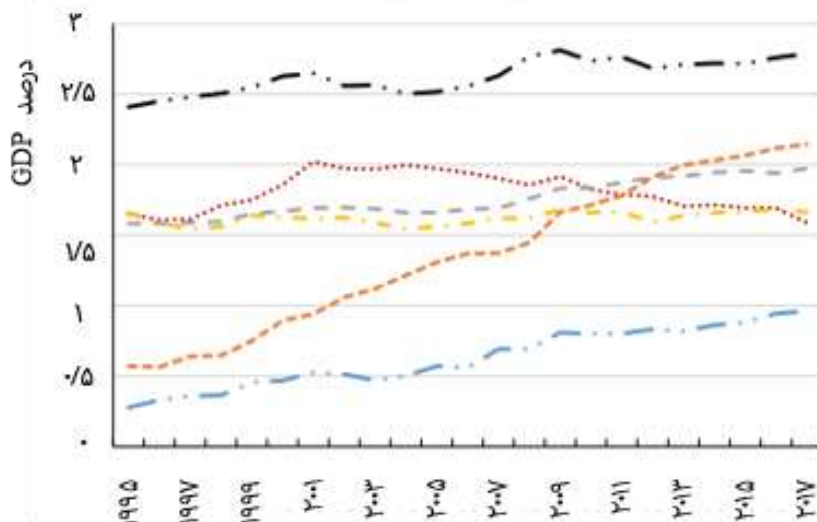
طی چند دهه گذشته، سرمایه‌گذاری جهانی در علم و فناوری، به‌طور اساسی تغییر یافته است. برای مثال، در دهه ۱۹۶۰ میلادی، سهم آمریکا از تحقیق و توسعه جهانی، برابر با ۶۹ درصد بوده است. این در حالی است که تا سال ۲۰۱۶، با افزایش قابل توجه سرمایه‌گذاری چین به‌عنوان تابعی از قدرت خرید و به‌عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی (GDP)، این سهم به ۲۸ درصد کاهش یافته است (شکل ۲۲).

روندهای علم و فناوری ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

الف) مخارج ناخالص داخلی برای تحقیق و توسعه
(سال ۲۰۲۰ میلادی)



ب) مخارج ناخالص داخلی برای تحقیق و توسعه
(سال ۲۰۱۷ میلادی)



شکل ۲۲- کل بودجه تحقیق و توسعه ای کشورهای منتخب (کانادا، چین، اتحادیه اروپا، انگلیس، ترکیه، آمریکا)-
الف) مخارج ناخالص داخلی برای تحقیق و توسعه (میلیون میلیون دلار)، سال ۲۰۲۰ میلادی - ب) مخارج ناخالص داخلی برای تحقیق و توسعه (درصد GDP)، سال ۲۰۱۷ میلادی- منبع: «OECD»، پایگاه داده «RDS»

به عنوان یک نکته جالب دیگر، سازمان توسعه و همکاری های اقتصادی «OECD»، دریافته است که:

«سهم دولت در کل بودجه تحقیق و توسعه در منطقه «OECD» و بین سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶ میلادی، چهار درصد کاهش یافته است (از ۳۱ درصد به ۲۷ درصد) ... اما روندهای فعلی برای هزینه های تحقیق و توسعه ای عمومی، ممکن است با جاه طلبی ها و چالش های مشخص شده در سیاست های مأموریت گرا متناسب نباشند. از سال ۲۰۱۰ میلادی، هزینه های تحقیق و توسعه دولتی در «OECD»، به طور کلی و تقریباً در تمام هفت کشور، نه تنها در مقادیر مطلق و نسبت به تولید ناخالص داخلی، بلکه به عنوان سهمی از کل هزینه های دولتی کاهش یافته است».

در همین زمان که بودجه دولتی کاهش یافته است، برخی تحقیقات نشان می دهد که نوآوری فناورانه در حال کند شدن است. البته افراد دیگری همچون بیل گیتس (Bill Gates)، کاملاً مخالف این موضوع هستند. با توجه به ابهام در تعریف نوآوری و مدت زمان طولانی بین سرمایه گذاری های ملی، کشف علمی و کاربرد عملی، ممکن است هر دو دیدگاه یاد شده درست باشد.

نوآوری (یعنی چیزی جدید و ابتکاری برای یک هدف)، لزوماً نباید نوظهور باشد. همچنین، برافکن بودن، لزوماً به یک فناوری تغییردهنده بازی نمی انجامد. جنبه های دیگر اکوسیستم نوآوری هم، به همان اندازه مهم هستند، مانند دسترسی، طراحی، انگیزه، هزینه ها، نیت، فرهنگ و انتظارات اجتماعی. علاوه بر این، پیشرفت در ریاضیات، مهندسی و عوامل انسانی، لزوماً فناورانه نیستند، اما ممکن است بسیار برافکن و نوآورانه باشند. دستاوردهای غیرمنتظره و هم افزایی، اغلب نقشی اساسی در گرد هم آوردن ایده ها، افراد و فناوری ها برای ایجاد یک تحول برافکن دارند. هزینه کم، فناوری های گسترده و در دسترس که در راه های خلاقانه استفاده می شوند و همچنین استفاده از طراحی های خلاقانه یا رفع مشکلات به روشی که پذیرش آسان را تسهیل نمایند، می تواند به شدت برافکن باشد (برای مثال، گوشی های آیفون شرکت اپل). در جستجو و بررسی نوآوری های نظامی، تمایز بین نوآوری و برافکن بودن و درک

ماهیت مهم این فاکتورهای جانبی که در تمام جنبه‌های «DOTMLPFI» (دکترین، سازمان، آموزش، مواد، رهبری، پرسنل، امکانات و قابلیت عملکرد داخلی) وجود دارد، ضروری است.

۳-۳- محرک‌های استراتژیک

محرک‌های کلیدی و استراتژیک زیر، احتمالاً روند فناوری طی ۲۰ سال آینده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این بخش، برخی فرضیات پیرامون این محرک‌ها ارائه می‌گردد.

۳-۳-۱- محیط عملیاتی (فضا و حوزه اطلاعات، قطب شمال، شهری)

دامنه عملیات بالقوه ناتو، در حال گسترش و تکامل یوده و این مسئله، چشم‌انداز ژئوپلیتیکی، نظامی، اقتصادی، اجتماعی، اقلیمی و فناوری را تغییر می‌دهد. فضا، حوزه اطلاعات، قطب شمال و حوزه‌های شهری، مناطق خاصی از این تکامل سریع هستند.

الف) دامنه فضایی

فضا برای بیش از ۶۰ سال گذشته، یک قلمرو انسانی بوده و از نظر نظامی، حداقل برای این مدت مورد توجه بوده است. با این حال، تجاری‌سازی، پیشرفته‌های جدید، مواد جدید، کوچک‌سازی سنسورها و تجهیزات الکترونیکی و همچنین تولید چابک، از موضوعات مورد توجه برای توسعه سریع می‌باشند. موارد یاد شده، به میزان قابل توجهی هزینه‌های دسترسی به فضا را کاهش داده و در دسترس بودن اطلاعات مشتق شده از فضا را افزایش می‌دهد. در نتیجه، فضا به‌طور فزاینده‌ای تحت مناقشه، تمرکز، رقابت و مسائل تجاری قرار می‌گیرد. با رشد روزافزون اتحادیه و

اعتماد جهانی به فناوری‌های مبتنی بر فضا، کنترل فضا می‌تواند به یک نقطه قابل توجه تبدیل شود. در چنین شرایطی، ریسک نظامی شدن اصلاً پایین و قابل صرف نظر نیست. این خطر، شامل استفاده از سلاح‌های ضد ماهواره (ASAT) (کشتن سخت یا نرم) است که امکان آلودگی محیط نزدیک به زمین را به همراه داشته و به‌طور قابل توجهی، خطر برخورد با زباله‌های فضایی را افزایش می‌دهد.

با توجه به این نگرانی‌ها، ناتو اخیراً فضا را به‌عنوان یکی از حوزه‌های عملیاتی خود اعلام نموده است. ضمن این‌که تلویحاً این نکته را به رسمیت شناخته که با افزایش استفاده صلح‌آمیز از فضا و فناوری‌های مبتنی بر فضا (برای مثال، ارتباطات و سنسجش)، خطر اقدامات سوء و خرابکارانه نیز در فضا افزایش می‌یابد. همان‌طور که ینس سولتنبرگ (Jens Stoltenberg)، دبیرکل ناتو در این خصوص اشاره کرده:

«ماهواره‌ها می‌توانند مسدود، هک یا مسلح شوند. سلاح‌های ضد ماهواره، می‌توانند ارتباطات و سایر خدمات جوامع ما، از جمله سفرهای هوایی، پیش‌بینی آب‌وهوا یا بانکداری را تحت تأثیر قرار داده و از کار بیندازند. همچنین، فضا برای بازدارندگی و دفاع از اتحادیه ضروری است: از جمله توانایی ناوبری، جمع‌آوری اطلاعات و تشخیص پرتاب موشک. در حال حاضر، حدود ۲۰۰۰ ماهواره به دور زمین می‌چرخند که حدود نیمی از آن‌ها، متعلق به کشورهای



شکل ۲۳- سیستم شناسایی خودکار ماهواره‌ای (S-AIS) برای آگاهی از موقعیت دریایی

عضو ناتو می‌باشد. ناتو قصد ندارد سلاحی در فضا قرار دهد. ما یک اتحادیه دفاعی هستیم و رویکرد ما کاملاً مطابق با قوانین بین‌المللی خواهد بود. اما تبدیل فضا به یک دامنه عملیاتی، به ما کمک می‌کند تا اطمینان حاصل کنیم که همه جنبه‌ها برای اطمینان از موفقیت مأموریت‌های ما در نظر گرفته می‌شوند».

با توجه به اعتماد اتحادیه به سیستم‌های فضایی، ناتو باید هوشیاری و توانمندی خود را در این حوزه افزایش دهد.

ب) اینفوسفر (سایبر، جنگ الکترونیک و طیف الکترومغناطیسی)

دامنه اطلاعات (شامل سایبر، جنگ الکترونیک و مدیریت طیف الکترومغناطیسی) یا اصطلاحاً اینفوسفر (Info-Sphere)، یک محیط عملیاتی منحصربه‌فرد است. این حوزه، توسط دیجیتالی‌سازی و مجازی‌سازی افراد، سازمان‌ها و جوامع، تحریک و هدایت می‌شود. دسترسی جهانی به رسانه‌های اجتماعی و ارتباطات سیار، جوامع مجازی جدید و افراد توانمندی ایجاد نموده که با شبکه‌های اجتماعی پیچیده و فارغ از مرزهای جغرافیایی کار می‌کنند. توانمندسازی اجتماعی و فردی پدید آمده، همانند نیاز به غذا، آب یا سرپناه، برای جهان مدرن اهمیت یافته است. این توانمندسازی در سرتاسر جهان و در تمام سطوح توسعه اقتصادی صادق بوده و ناشی از نیاز عمیق انسان به ارتباطات اجتماعی است. سیستم‌های ترکیبی و واقعیت مجازی، تمایز بین واقعیت‌های فیزیکی و مصنوعی را دشوار ساخته است. «5G»

و اینترنت اشیاء نیز، به‌طور فزاینده‌ای امکان استفاده از این حوزه را فراهم می‌کنند.

این توانمندی، توسط ملت‌ها و از طریق فایروال‌های ملی و معیارهای اجتماعی، برای کنترل، شکل دادن و محدود کردن گفتمان اجتماعی و ابراز نارضایتی فردی، به چالش کشیده شده است. در همین زمان، جوامع



شکل ۲۴- جنگ الکترونیک در محیط نظامی امروز

حاشیه‌ای و رقباتی نزدیک و هم‌تا، صدایی در حوزه اطلاعات پیدا کرده‌اند که با ترولینگ (Trolling)، رفتار

اوباش گرایانه و کمپین‌های اطلاع‌رسانی پیچیده‌تر می‌شود. استفاده از هوش مصنوعی برای ایجاد روایت‌های رقابتی و حقایق متناوب (مثلاً روایات جعلی عمیق، چت‌بات‌ها (Chatbots) و ...)، سؤالاتی برای آینده نیست، بلکه واقعیت امروز است.

فضای اطلاعاتی، یک دامنه عملیاتی در حال تکامل بوده و جایی است که دیگران به‌طور فزاینده‌ای، در آن فعالیت می‌کنند. عملیات ناتو در حوزه اطلاعات، به روش‌های پیچیده در زمینه مدیریت سایبری، جنگ الکترونیک و طیف الکترومغناطیس نیاز دارد. اینوسفر، یک حوزه عملیاتی حیاتی برای جنگ ترکیبی است. موفقیت در جنگ ترکیبی، مستلزم پیروزی در جنگ در حوزه اطلاعات است. این موفقیت، نیازمند توسعه روایت رقابتی اتحادیه، شکار در اقیانوسی عمیق و مبهم از داده‌هایی که چنین مجازی‌سازی و دیجیتالی‌سازی را ایجاد نموده و همچنین توسعه یک مزیت تصمیم‌گیری سریع، دقیق و اثرگذار است. تأثیر «EDT»‌ها در این زمینه، عمیق و ژرف خواهد بود.

ج) قطب شمال

قطب شمال، برای کشورهای اتحادیه، شرکا و دیگر کشورهایی که علاقه‌مند به تغییرات اقلیمی قطبی و توسعه منابع هستند، به‌عنوان منطقه‌ای با اهمیت استراتژیک مبدل شده است. نگرانی بیشتر، احیای مجدد فعالیت‌های نظامی روسیه و همچنین افزایش علاقه کشورهای غیر قطبی است.

افزایش فعالیت‌های نظامی و تجاری در قطب شمال، ناشی از جذابیت منابع، مسیرهای جدید حمل‌ونقل، گردشگری و تغییر شرایط آب و هوایی بوده و نشان می‌دهد که ناتو، نیاز به گسترش توانایی خود برای فعالیت در سرتاسر قطب شمال دارد. در حالی که بسیاری از کشورهای اتحادیه، دارای تجربه عملیاتی در قطب شمال هستند (برای مثال، شکل ۲۵)، این یک چالش برای اکثر قریب به اتفاق توانمندی‌های ناتو است که برای شرایط عملیاتی ملایم و بی‌خطرتر

طراحی شده‌اند. عملیات در مسافت‌های وسیع، جایی که ماهواره‌های کمی به‌طور منظم عبور می‌کنند، باعث می‌شود که «GPS» و پوشش ارتباطی کم باشد. شرایط آب و هوایی (هم در جو و هم در فضا)، عملکرد سنسورها، ارتباطات و وسایط نقلیه را کاهش می‌دهد. زمستان‌های یخ‌زده، حشرات انبوه، یخبندان، تابستان‌های کوتاه، باتلاق‌های حاوی آب و پوشش گیاهی خزه مانند و شرایط آب و هوایی بسیار متغیر، خطر بیشتری برای سلامتی انسان و تجهیزات لازم برای تحمل چنین شرایطی به همراه دارد. فناوری‌ها، از جمله بسیاری از مواردی که در این گزارش در نظر گرفته شده‌اند، برای موفقیت در قطب شمال به چالش کشیده خواهند شد.



شکل ۲۵- عملیات در قطب شمال- الف) هواپیمای «RCAF Twin Otter»، جزیره السمر (Ellesmere Island) - ب) کشتی «HDMS Knud Rasmussen»

د) تئاتر شهری (The Urban Theatre)

انتظار می‌رود که عملیات ناتو در مناطق شهری، روند فزاینده‌ای داشته باشد. برآوردهای سازمان ملل متحد، حاکی از این است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی، ۶۸ درصد از جمعیت جهان، در مناطق شهری زندگی خواهند کرد. با این روند، تعداد کلان‌شهرها (شهرهایی که جمعیت آن‌ها بیش از ۱۰ میلیون نفر است)، از ۲۸ شهر به ۵۰ مورد خواهد رسید. این افزایش شهرنشینی که ناشی از تغییرات اقتصادی و اقلیمی است، جوامع مدنی را تحت فشار قرار داده و در هر مقیاسی، چالشی بزرگ برای عملیات نظامی به شمار می‌رود.



شکل ۲۶- عملیات نظامی مشترک ناتو در یک محیط شهری

فضای تعامل محیط عملیاتی شهری آتی، ماهیتی کاملاً چند بعدی و ترکیبی خواهد داشت که موفقیت استراتژیک آن، بستگی به تعاملات موفق اطلاعاتی، اجتماعی، «EM» و فضای مجازی دارد. در محیط‌هایی که تشخیص تفاوت بین مبارزین و افراد عادی دشوار بوده، یا دقیقه به دقیقه تغییر می‌کند، نیاز به کار با کمترین خسارات و حذف خسارت‌های جانبی است. در این سناریوها، فناوری‌های جدید برای ایجاد آگاهی کافی از موقعیت و دقت (جنبشی یا غیر جنبشی) ضروری خواهند بود. این مسئله، به واسطه اینترنت اشیاء با میلیون‌ها سنسور و سیستم‌های حمل و نقل شهری، پیچیدگی عملیات را افزایش می‌دهد. البته ساختمان‌ها و سیستم‌های زیرزمینی، سیستم‌های سنسورها را مهار کرده و تداخل فرکانس رادیویی، می‌تواند عملکرد سنسور و ارتباطات را به شدت کاهش دهد. علاوه بر این، نیروهای نظامی باید در کنار دولت‌های محلی، «NGO» ها، «OGD» ها و نیروهای امنیتی، به‌طور جامع و هماهنگ عمل کنند. با این حال، ممکن است نیروهای نظامی مستقر چندملیتی، نتوانند کاملاً همکاری نموده و یا حتی اهداف استراتژیک یکسانی را دنبال نکنند.

۳-۲- فرهنگ، اخلاق و قانون

فرهنگ، اخلاق و قوانین، ادغام فناوری در جامعه را شکل داده و در نهایت، تأثیر و ارزش آن را تعریف می‌کند. در نتیجه، کشورهای اتحادیه در مورد استفاده عملیاتی از «EDT» ها و قابلیت‌هایی که ایجاد می‌کنند، با محدودیت‌های مختلفی مواجه می‌باشند. این محدودیت‌ها، در نهایت بر توسعه، قابلیت همکاری داخلی و به‌کارگیری «EDT» ها به‌عنوان بخشی از توانمندی‌های نظامی اتحادیه تأثیر می‌گذارد. همان‌طور که کاسپرسن (A. Kaspersen)، رئیس سابق ژئوپلیتیک و امنیت بین‌الملل در مجمع جهانی اقتصاد اشاره کرده است:

«امروزه، سرعت، پیچیدگی و فراگیر بودن نوآوری وجود دارد. ما به یک فرآیند تنظیمی نیاز داریم که بتواند بدون نیاز به جلوگیری از توسعه این فناوری‌های نوظهور، برای اهداف مفید، به چگونگی مسلح شدن آن‌ها نگاه کند. "حکمرانی سخت" قوانین و مقررات همچنان ضروری است، اما ما باید از مکانیسم‌های سریع‌تر "حکمرانی نرم"، مانند استانداردهای آزمایشگاهی، رژیم‌های آزمایش و صدور گواهینامه، بیمه‌نامه‌ها و سازوکارهایی مانند آنچه توسط دانشگاهیان برای تأیید و نظارت بر تحقیقات بالقوه خطرناک تنظیم شده‌اند، استفاده کنیم. این امر، نه تنها نیازمند پیش‌بینی و انطباق عملی تغییرات فناورانه است، بلکه تغییرات کلان فرهنگی هم مهم بوده که پیش‌بینی آن‌ها بسیار دشوارتر است».

برای اطمینان از مورد توجه قرار گرفتن چنین موضوعاتی اساسی، ناتو از موقعیت مناسبی برخوردار بوده تا قابلیت‌های نظامی ناشی از «EDT» را به روشی که از نظر قانونی تعریف شده است، به‌طور یکپارچه در عملیات‌های اتحادیه ادغام نموده و مورد استفاده قرار دهد.



شکل ۲۷- به سوی حاکمیت قانون در محیط دیجیتال

با پیشرفت سریع فناوری، چهارچوب‌های قانونی، هنجارها و مقررات اجتماعی تا حدی عقب مانده‌اند. علی‌رغم دستیابی جهانی و پیاده‌سازی بسیاری از فناوری‌ها، توافق‌نامه‌های نظارتی بین‌المللی کمی وجود دارد. همان‌طور که مرکز ثقل توسعه فناوری، به حوزه‌های تجاری منتقل می‌شود، خطرات و فرصت‌های مرتبطی نیز وجود دارد که از آن جمله، می‌توان به افزایش استفاده از قانون اشاره نمود. به موجب این مسئله، ممکن است اقدامات حقوقی استراتژیک، برای محدود کردن استفاده و بهره‌برداری از فناوری‌های مورد اختلاف استفاده شود. قرارداد با صنعت، ممکن است ریسک‌های عملیاتی را از طریق از دست دادن حق تعمیرات، محدودیت‌های

اضافی در عملکرد سیستم و مستندسازی نگهداری به دلیل محدودیت‌های مالکیت فکری افزایش دهد. متناوباً، توسعه داده‌ها و ابزارهای منبع باز در دسترس عموم (مانند افرادی که مجوز عمومی «GNU» (GNU General Public License) را به کار می‌گیرند)، به‌عنوان محرک نوآوری در تحقیقات هوش مصنوعی شناخته شده است.

مسائل اخلاقی و نظارتی، توسعه «EDT»ها را احاطه کرده و تأثیر مستقیمی بر توسعه قابلیت‌های مربوط به دفاع، به‌ویژه در زمینه‌های سیستم‌های خودران، هوش مصنوعی و بزرگ داده‌ها داشته است. از طرف دیگر، دموکراتیزه‌سازی فناوری (یعنی کاهش هزینه‌ها و افزایش دسترسی)، این نگرانی را به وجود می‌آورد که در برابر بازیگرانی سرکش و با فناوری‌های پیشرفته که توانایی آن‌ها فقط با تخیلشان محدود شده است، برای محافظت از جامعه چه میزان مقررات مورد نیاز است. به‌طور خاص، فناوری‌های شیمیایی، بیولوژیکی، رادیولوژی و هسته‌ای (CBRN)، به‌طور سنتی با

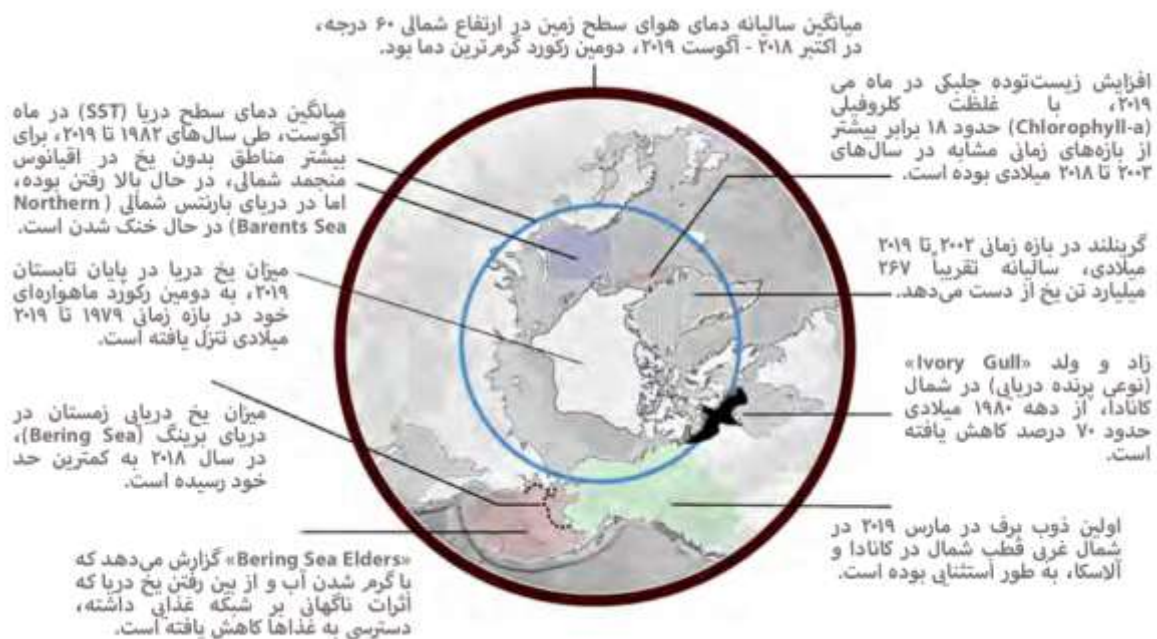
قوانینی برای جلوگیری از گسترش سلاح همراه می‌باشند. اما اگر کسی بتواند آزمایشگاه مهندسی زیستی را در حیاط خانه یا یک زیرزمین راه‌اندازی کند، ممکن است این مقررات ناکافی باشند.

از دیدگاه اجتماعی، مقاومت فرهنگی در برابر ادغام قابلیت‌های غیرنظامی در زرادخانه‌های نظامی وجود دارد. برای مثال، در حالی که سلاح‌های غیرکشنده ممکن است تلفات یا خسارات جانبی را حتی در سناریوهای جنگ شدید کاهش داده و اثربخشی عملیاتی را افزایش دهند، اما به نظر بسیاری از افراد، این قابلیت‌ها، سلاح‌های نظامی نیستند. همین تصور، باعث کند شدن تصویب و ادغام آن‌ها در جعبه ابزار عملیاتی می‌شود. به همین ترتیب، احتمالاً به دلیل مقاومت فرهنگی در جوامع غیرنظامی و نظامی، استفاده نظامی از اطلاعات و قابلیت‌های سایبری فعلی، کندتر از حد انتظار بوده است.

چالش‌های حفظ حریم خصوصی در دنیای دیجیتال و مجازی، بسیار عمیق است. وقتی صحبت از اخلاق و رازداری می‌شود، هیچ‌هنگار اجتماعی جهانی در مورد نحوه استفاده از داده‌های شخصی وجود ندارد. در غرب، جوامع به‌طور کلی در برابر استفاده از داده‌های خود توسط دولت‌ها مقاومت می‌کنند. با این وجود، حتی در کشورهای اتحادیه نیز ممکن است نگرانی‌های مرتبط با حریم خصوصی، تحت لوای امنیت ابطال شده و مورد بی‌توجهی قرار گیرد. بعضی از جوامع یا دولت‌ها، استفاده از چنین داده‌هایی برای تقویت هنجارهای اجتماعی را ارزش می‌دانند. دسترسی ممنوعه به کل داده‌های جمعیتی، یک مزیت واضح برای آموزش هوش مصنوعی و انجام تجزیه و تحلیل‌های پیشرفته اجتماعی است.

۳-۳-۳- محیط زیست

حفاظت از محیط زیست و نگهداری از آن، یک نگرانی کلیدی در بحث دفاع و امنیت است. همان طور که اشاره شد، تغییرات زیست محیطی، می تواند به سرعت منجر به ایجاد تغییرات در جامعه شود؛ یا استفاده از مواد سمی در تسلیحات نظامی، می تواند مناطق وسیعی را غیر قابل استفاده یا خطرناک نماید. نظارت و سرپرستی طولانی مدت محیط زیست (شهری، فضایی، دریایی، زمینی و هوایی)، از جمله در نظر گرفتن گیاهان و جانوران، یک فاکتور مهم در طراحی سیستم تسلیحات و همچنین آموزش آنها است.



شکل ۲۸- تغییر محیط قطب شمال

بنا بر تعدادی از مطالعات آینده نگارانه، تغییرات آب و هوایی در دهه های آتی، یک نیروی مخرب عمده خواهد بود (شکل ۲۸) که پتانسیل تغییر آب و هوا برای ایجاد درگیری های آبی را برجسته می کند. افزایش کمبودها و کنترل مواد غذایی، کمبود آب شیرین، کاهش تنوع زیستی، رقابت بر سر مواد معدنی و انرژی، همگی انسجام جهانی و توازن

قدرت را به چالش می‌کشند. تغییرات آب‌وهوایی و افزایش سطح آب دریا، افراد و شهرها را تهدید می‌کنند و منجر به مهاجرت‌های گسترده شده تا بتوانند خود را سازگار نمایند. پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی، بیش از ۱۵۰ میلیون نفر در سراسر جهان که در حال حاضر در خشکی زندگی می‌کنند، در سطحی پایین‌تر از حد جزر و مد باشند. پیش‌بینی از دست دادن کل جزایر و مناطق ساحلی و شهرها، مرزها و اقتصادهای ملی را به چالش کشیده و منجر به ایجاد تغییرات رادیکال در امور اجتماعی، اقتصادی و نظامی می‌شود.

۳-۳-۴- متفرقه

همچنین، یادآور می‌شویم که چندین روند استراتژیک دیگر نیز می‌توانند بر قابلیت‌ها یا عملیات‌های آتی ناتو تأثیرگذار باشند. این گزینه‌ها، شامل موارد زیر می‌باشند:

- **تغییر ماهیت کار:** افزایش اعتماد به هوش مصنوعی و خودرانی، باعث تعریف مجدد کار خواهد شد؛
- **آموزش:** استفاده از واقعیت‌های مجازی، هوش مصنوعی، داده‌های بزرگ و ...، آموزش شخصی را امکان‌پذیر می‌کند؛
- **لجستیک خودکار:** هوش مصنوعی و خودرانی، به‌طور فزاینده‌ای حمل‌ونقل و لجستیک خودکار را امکان‌پذیر می‌کند؛
- **فناوری‌های آب و غذا:** استفاده از مواد و تکنیک‌های جدید، همراه با مهندسی زیستی و فناوری‌های زیستی، ممکن است تأمین آب و غذا را افزایش دهد؛
- **سرمایه انسانی:** پیر شدن جمعیت جهانی، الگوهای مهاجرت اقتصادی و پیشرفت‌های ناهمگون در کشورها، می‌تواند جوامع و تلاش برای جذب نیرو توسط نیروهای نظامی را به چالش بکشد. علاوه بر این، توانایی

یک جامعه در بهره‌برداری و جذب فناوری‌های جدید، با در دسترس بودن افراد با استعداد و ماهر که قادر به پذیرش چالش هستند، محدود می‌شود. جابجایی‌های جمعیتی، از دست دادن شغل به دلیل هوش مصنوعی و سیستم‌های خودران، جهانی شدن استعداد و عدم تطابق مهارت‌های در حال رشد، ممکن است در نهایت توانایی اتحادیه در مدیریت و جذب تغییرات رادیکال و استفاده از فرصت‌های ارائه شده توسط «EDT»‌ها را به چالش بکشد؛

- **تغییر چهارچوب اقتصاد جهانی:** فشار فزاینده و جدا شدن چهارچوب اقتصادی بین‌المللی به سیلوهای محافظت شده فناوری (انشعاب)، مانع توسعه فناوری و اقتصادی خواهد شد؛
- **بیماری‌های عفونی و بیماری‌های همه‌گیر:** بیماری‌های جدید، کاهش میزان واکسیناسیون و افزایش مقاومت در برابر اقدامات متقابل (برای مثال آنتی‌بیوتیک‌ها)، سلامت و توسعه جهانی و عملیات اتحادیه را به چالش می‌کشد.

۳-۴- دفاع و امنیت

محیط دفاعی و امنیتی، خود در حال تغییر بوده که این مسئله، ناشی از تکامل ماهیت درگیری و عوامل ژئوپلیتیکی است. گفته می‌شود که هرج و مرج، پیچیدگی و رقابت، از ویژگی‌های تعیین‌کننده آینده خواهد بود. دو دهه پس از سقوط دیوار برلین، احتمال رقابت قدرت‌های بزرگ، بیش از هر زمان دیگری است. همان‌طور که در بیانیه اجلاس سران ناتو در سال ۲۰۱۹ میلادی در لندن آمده است:

«ما به عنوان یک اتحادیه، با تهدیدها و چالش‌های مشخصی روبرو هستیم که از همه جهات استراتژیک ناشی می‌شوند. اقدامات تهاجمی روسیه، تهدیدی برای امنیت یورو-آتلانتیک است. تروریسم در تمامی اشکال و مظاهر آن، تهدیدی

پایدار برای همه ما باقی مانده است. بازیگران دولتی و غیردولتی، نظم بین‌المللی مبتنی بر قوانین را به چالش می‌کشند. بی‌ثباتی در خارج از مرزهای ما، به مهاجرت‌های بی‌رویه کمک می‌کند. ما با تهدیدهای سایبری و ترکیبی روبرو هستیم ... برای حفظ امنیت، باید با هم به آینده نگاه کنیم. ما در حال پرداختن به وسعت و مقیاس فناوری‌های جدید هستیم تا ضمن حفظ ارزش‌ها و هنجارهای خود، برتری فناوری مرزی خود را هم حفظ کنیم ... ما فضا را برای ناتو به‌عنوان یک قلمرو عملیاتی اعلام کرده و ضمن رعایت قوانین بین‌المللی، اهمیت آن را در ایمن نگه داشتن و مقابله با چالش‌های امنیتی به رسمیت می‌شناسیم. ما در حال افزایش ابزارهای خود برای پاسخگویی به حملات سایبری هستیم و توانایی خود را برای آماده‌سازی، جلوگیری و دفاع در برابر تاکتیک‌های ترکیبی که به دنبال تضعیف امنیت و جوامع ما هستند، تقویت می‌کنیم. ما در حال تقویت نقش ناتو در امنیت انسانی هستیم. ما درک می‌کنیم که نفوذ فزاینده چین و سیاست‌های بین‌المللی، هم فرصت‌ها و هم چالش‌هایی را به وجود می‌آورد که بایستی به‌عنوان یک اتحادیه، با آن‌ها کنار بیاییم».

«ینس استولتبرگ»، دبیرکل ناتو هم اظهار داشته:

«نقش و نفوذ چین، نشانه دیگری از افزایش رقابت جهانی قدرت است ... رشد اقتصادی و قدرت فناورانه این کشور، رشد جهانی را تقویت می‌کند. این از نظر مالی و سیاسی، فرصت‌های زیادی را به همراه دارد. اما ظهور چین، تأثیراتی هم بر نظم جهانی بر اساس قوانین و امنیت ما خواهد داشت. ما این را در دریای چین جنوبی، در فضای مجازی و سرمایه‌گذاری‌های چین در زیرساخت‌های حیاتی می‌بینیم. بنابراین، ما باید چالش‌ها و فرصت‌های ارائه شده توسط چین را بهتر درک کنیم».



شکل ۲۹- دبیرکل ناتو، «ینس استولتبرگ» در اجلاس سران ناتو (لندن، ۲۰۱۹ میلادی)

روندهای علم و فناوری ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

انتظار می‌رود که طی ۲۰ سال آینده، چنین چالش‌های ژئوپلیتیکی افزایش یابد. این تحولات، چالش‌های عملیاتی قابل توجهی را برای اتحادیه ایجاد نموده که می‌تواند با افزایش دموکراتیزه‌سازی فناوری و همچنین تهدیدهای جدید فناوریانه از سوی رقبای هم‌تا و نزدیک، تروریست‌ها، جنایتکاران و نیروهای بی‌قاعده همراه باشد.

۴- نتیجه گیری

«ما تمایل داریم که تأثیر یک فناوری را در کوتاه مدت، بیش از حد ارزیابی نموده و در طولانی مدت نیز، تأثیر آن را دست کم بگیریم».

قانون آمارا (Amara's law)

درگیری و تضاد، پایدار است، اما با پیشرفت فناوری، ابزارها و درک علمی، ماهیت آن پیوسته تغییر می کند. این تکامل، یک ویژگی حیاتی برای جنگ یا مناطق درگیری (چه فیزیکی و چه مجازی) در آینده خواهد بود. این فضاهای عملیاتی پیچیده، چند حوزه ای و در حال تکامل، دارای پیامدهای قابل توجهی در توسعه و به کارگیری ابزارهای قدرت اتحادیه در آینده خواهند بود. اگر ناتو بخواهد استراتژی جدیدی از فناوری را توسعه دهد، باید این کار را در چهارچوب حوزه های جغرافیایی، ژئوپلیتیکی و نظامی در حال تکامل انجام دهد. این بخش ها، به خودی خود توسط فناوری هایی هدایت می شوند که به طور فزاینده ای هوشمند، به هم پیوسته، توزیع شده و دیجیتالی می باشند.

این گزارش، به دنبال این است که «EDT» ها، چگونه توانمندی های نظامی ناتو را در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی، دچار تحولات برافکن نموده، دچار تنزل کرده یا فعال می سازند. چنین ویژگی های فناوری های مدرن، محرک های تکامل و انقلاب فعلی در داده ها، هوش مصنوعی، خودرانی، فضا، کوانتوم، فراصوت، فناوری زیستی و مواد هستند. آنها به تنهایی یا به صورت ترکیبی، لبه فناوری لازم برای کارایی عملیاتی و سازمانی ناتو را تعریف می کنند. این که چنین فناوری هایی با چه سرعتی، به چه ترتیب و در نهایت تا چه حد موفق خواهند بود، یا چه تهدیدهایی را نمایان می کنند، هنوز مشخص نشده است. با این حال، پیش بینی های طولانی مدت از فناوری های نظامی، ضمن ارائه راهنمای اولویت بندی قابلیت ها و سرمایه گذاری های فناوری، تمرین مفیدی است. چالش های سیاسی /

روندهای علم و فناوری ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

فنی، قانونی و اخلاقی که این فناوری‌ها برای ناتو ایجاد می‌کنند، نمی‌تواند بیش از حد غلوآمیز باشد. دانستن این که چرا آنها یک مشکل یا فرصت را به دنبال دارند، چگونه آنها آشکار می‌شوند و این برای اتحادیه چه معنایی خواهند داشت، اولین گام مطلوب بوده و این اطمینان را ایجاد می‌کند که ناتو آمادگی فناورانه و عملیاتی مرتبط را دارا می‌باشد.

۵. ضمیمه «H»: مواد و روش‌های ساخت نوین

۵-۱- مواد جدید و ساخت پیشرفته

«طی دهه‌های آتی، پیشرفت‌ها در مواد و روش‌های تولید، تأثیر زیادی بر دفاع و امنیت ملی خواهد داشت. استفاده از مواد جدید، همراه با ساخت افزایشی و ترکیبی، موجب کارایی بیشتر، ضایعات تولیدی کمتر، طراحی و تولید کاملاً سفارشی و نیز توسعه و تلفیق الکترونیک و سنسورها شده و امکان طراحی و ساخت مشترک قطعات یدکی برای سلاح‌ها، وسایط نقلیه جنگی و سایر تجهیزات را فراهم می‌کند».

زلینسکی (A. Zelinsky)

۵-۲- تعریف

مواد و روش‌های تولید نوین (Novel Materials and Manufacturing-NMM)

مواد پیشرفته و جدید، موادی مصنوعی با خصوصیات منحصربه‌فرد و نوین هستند. مواد پیشرفته، ممکن است با استفاده از تکنیک‌هایی برگرفته از فناوری نانو یا زیست‌شناسی مصنوعی تولید شوند. توسعه این مواد، می‌تواند شامل پوشش‌هایی با مقاومت در برابر حرارت شدید، بدنه یا پلتفرم‌هایی با استحکام بالا، پوشش‌های پنهان، برداشت و ذخیره‌سازی انرژی، ابررسانایی، سنسورهای پیشرفته و آلودگی‌زدایی (Decontamination)، تولید انبوه مواد غذایی، سوخت و مواد ساختمانی باشد. تحقیق در مورد گرافن، سایر مواد جدید دو بعدی و مواد توپولوژیک، حوزه‌ای با پتانسیل بالا و علاقه روزافزون است. ساخت افزایشی که اغلب به‌عنوان مترادفی برای چاپ سه بعدی استفاده می‌شود، فرآیندی برای ایجاد یک جسم جامد سه بعدی تقریباً دلخواه از یک مدل دیجیتال است که از

طریق افزودن لایه‌ای مواد ایجاد می‌شود. ساخت افزایشی را می‌توان برای موارد زیر استفاده کرد: ساخت سریع نمونه اولیه، تولید و تعمیر تجهیزات نظامی مستقر در محل و تولید قطعات دقیق، سفارشی یا منحصربه‌فرد.

۵-۳- کلیدواژه‌ها

- مواد جدید (Novel Materials)
- ساخت افزایشی (Additive Manufacturing)
- تولید چابک (Agile Manufacturing)
- مواد زیستی (Bio-Materials)
- گرافن (Graphene)
- مواد دو بعدی (2D Materials)
- سیلیکون سیاه (Black Silicon)
- نمایشگرهای انعطاف‌پذیر (Flexible Displays)
- فناوری‌های نانویی (Nanotechnologies)
- پوشش‌های هوشمند (Smart Coatings)
- تولید زیستی (Bio-Fabrication)
- ساخت بایو (Bio-Manufacturing)

۵-۴- بررسی اجمالی

تحقیقات مربوط به مواد و روش‌های تولید نوین (NMM)، زمینه‌ساز بسیاری از موفقیت‌های انقلاب صنعتی بوده و انتظار می‌رود که این روند ادامه داشته باشد. طی ۲۰ سال آینده، سه حوزه اصلی فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای که برافکن به نظر می‌رسند، عبارتند از: (۱) مواد جدید، (۲) ساخت افزایشی و (۳) انرژی.

تحقیقات در مورد مواد جدید و تولید پیشرفته، یک زمینه گسترده برای مطالعه است که ویژگی‌های واقعاً منحصربه‌فرد و شگفت‌آور مواد دو بعدی، روش‌های جدید ساخت سه بعدی، طراحی‌های منحصربه‌فرد، مواد هوشمند، «M&S» کوانتوم، فناوری‌های نانو و تولید زیستی را در بر می‌گیرد. این‌ها به نوبه خود، طیف وسیعی از کاربردها داشته که شاید تولید و ذخیره‌سازی انرژی (مثلاً باتری)، یکی از برافکن‌ترین آن‌ها باشد.

از زمان جداسازی و شناسایی خصوصیات اولیه گرافن و اخیراً خانواده عایق‌های توپولوژیک و دی کالکوژناید‌های فلزات (Metal Dichalcogenides)، انقلابی در تحقیقات مواد دو بعدی رخ داده است. این مواد و دیگر مواد جدید و نوآورانه، هیجان قابل توجهی در تحقیق و توسعه ایجاد نموده‌اند که با کشف گرافن در سال ۲۰۰۴ میلادی و اعطای جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۱۰ به کاشفان آن یعنی گیم و نووسلوف (Geim and Novoselov) آغاز شد. گرافن ماده‌ای جدید بر پایه کربن بوده و دارای طیف گسترده‌ای از خواص مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی و الکتریکی است که در هیچ ماده شناخته شده دیگری یافت نمی‌شود. از نظر شیمیایی، پایدار، غیرسمی و سبک بوده و از مواد اولیه کاملاً در دسترس تولید می‌شود. خصوصیات گرافن، به تنهایی از خصوصیات معمول مواد بالاتر بوده و در عین حال، ترکیب این خصوصیات هم بی‌نظیر است. به‌طور گسترده‌ای انتظار می‌رود که این ماده، به بهبود قابل توجه مواد برای کاربردها در هوافضا (ساختارهای مرکب)، الکترونیک با فرکانس بالا (تراهرتز، رادار، خنک‌کننده)، پوشش‌های عملکردی (ضد یخ، محافظت در برابر خوردگی)، ذخیره‌سازی انرژی (باتری‌ها، ولترا خازن‌ها)، استتار (جاذب رادار)، فناوری‌های تسلیحاتی (انرژی، موشک)، حفاظت (زره‌پوش، منسوجات)، سنسورها (ردیاب‌های نوری، فشار، مواد

شیمیایی) و دستگاه‌های قابل حمل (نمایشگرها) منجر گردد. سایر مواد جدید دو بعدی، مانند فسفرین (Phosphorene)، نیتريد بور هگزاگونال (Hexagonal Boron Nitride) و دی کالکوژناید های فلزی (Metal Dichalcogenides) نیز، ویژگی‌های منحصربه‌فرد و شگفت‌انگیزی را نشان داده‌اند.

تحقیق و توسعه مواد دو بعدی، در سراسر جهان در حال انجام است. به‌طور خاص، چین در تحقیقات مواد دو بعدی، نقش اصلی را بر عهده گرفته و مانند کره جنوبی، به پیشرفت تجاری چشمگیری دست یافته است. در ژانویه ۲۰۱۳ میلادی، گرافن به‌عنوان یکی از دو پروژه پیشگام آینده و فناوری نوظهور اتحادیه اروپا، با تخصیص بودجه ۱۰ ساله یک میلیارد یورویی همراه شد و مهم‌ترین طرح تحقیقاتی اروپا را تشکیل داد.



شکل ۳۰- مواد دو بعدی

ویژگی‌های بنیادین این مواد دو بعدی، ممکن است عاملی کلیدی برای طیفی از فناوری‌های آتی باشد. در حالی که چالش‌ها از نظر تولید و مقیاس‌پذیری باقی مانده‌اند، گرافن و سایر مواد دو بعدی، پیشرفت‌های فناورانه‌ای پیشنهاد می‌کنند که بازی را به کلی تغییر می‌دهد. با این حال،

توسعه و کاربرد قابلیت‌های نظامی طی ۱۰ تا ۱۵ سال آینده، به احتمال زیاد انقلابی خواهد بود. قریب به اتفاق پیشرفت‌ها، از ترکیب مواد دو بعدی برای تشکیل کلاس‌های جدیدی از مواد با ساختار لایه‌ای و همچنین استفاده از مواد معمول به دست خواهد آمد. آزمایشات اولیه پیرامون صفحات گرافن دو لایه، سه لایه و پیچ‌خورده، ویژگی‌های الکتریکی قابل توجهی (مثلاً ابررسانایی) را نشان داده و سنسورهای زیستی امیدوارکننده‌ای را به همراه داشته است. به‌طور کلی، می‌توان انتظار بهبود مقاومت، عمر عملیاتی و کاهش وزن/اندازه را داشت. این تحقیقات، به دستگاه‌ها و کاربردهای پیشرفته جدیدی منجر می‌شوند که از آن جمله، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

«ادغام و یکپارچه‌سازی با دستگاه‌های نیمه‌هادی برای بهبود تشخیص عکس مادون‌قرمز در تصویربرداری حرارتی یا مدولاسیون نوری سریع‌تر برای ارتباطات پهن باند؛ ردیاب‌های جنگ بیولوژیکی و شیمیایی؛ موانع موجود در مولکول‌های خاص بیوشیمیایی؛ غشاهای رسانا برای تجهیزات الکترونیک انعطاف‌پذیر یا چاپی؛ تجهیزات الکترونیک با سرعت بالا برای پشتیبانی از توسعه فرکانس‌های ارتباطی تصویربرداری و برد (رادار) و تراهرتز (THz)؛ خنک‌سازی تجهیزات الکترونیکی با استفاده از هدایت حرارتی گرافن؛ توسعه اپتوالکترونیک (Optoelectronic) و فوتونیک گرافنی برای سلول‌های خورشیدی، صفحات لمسی، ردیاب‌های نوری و لیزرهای فوق‌سریع».

تحقیقات فعلی در خصوص مواد دو بعدی، بسیار گسترده بوده و از تولید و ذخیره‌سازی انرژی از طریق اپتوالکترونیک و سنجش زیست‌شیمیایی و پارچه‌های انعطاف‌پذیر سبک و قوی گرفته تا پلیمرهای رسانا را در بر می‌گیرد. از منظر دفاعی، به شکل منطقی تمرکز به سمت فناوری‌هایی است که می‌توانند مزایای اصلی را در کوتاه‌مدت و میان‌مدت فراهم نمایند. احتمالاً یکی از این زمینه‌های کلیدی، اپتوالکترونیک است. در صنعت، آزمایشاتی پیرامون استفاده از گرافن در انواع فناوری‌های مربوط به بخش‌هایی مانند الکترونیک، پزشکی، هوافضا، خودرو، ذخیره‌سازی انرژی، نمک‌زدایی آب، کامپوزیت‌ها، پوشش‌ها و رنگ‌ها، فناوری‌های خورشیدی، نفت و ارتباطات در حال انجام است.

مواد دیگر نیز، برای استفاده در مسائل و مشکلات دفاعی در دست بررسی می‌باشند. سیلیکون اگرچه به خوبی مطالعه شده و به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما دارای خواص یا حالت‌های دیگری هم هست که مورد توجه می‌باشند. برای مثال، سیلیکون سیاه، یک سیلیکون میکروساختار است که به دلیل تله‌های سطحی «micro-spike»، نور مرئی و مادون‌قرمز را به شدت جذب می‌کند. این ماده، قابلیت کاربرد بالقوه‌ای در تولید ردیاب‌های عکس، سیستم‌های دید در شب و سلول‌های خورشیدی دارد. نوع دیگری از مواد مورد بررسی، مواد توپولوژیک است؛ دسته‌ای از مواد کوانتومی که تحت تأثیر تغییرات محیطی، حالت‌های کوانتومی آن‌ها به‌طور غیرطبیعی پایدار است. عایق‌های توپولوژیکی، به دلیل ترکیب غیرمعمولی از ویژگی‌های عایق و رسانایی، مورد توجه خاص قرار می‌گیرند.



شکل ۳۱- چاپ سه بعدی

ساخت افزایشی (AM) یا چاپ سه بعدی، قابلیت تولید اجسام جامد سه بعدی از طیف گسترده‌ای از فلزات، پلاستیک‌ها و رزین‌ها و با اشکال تقریباً نامحدود را دارا بوده که مبتنی بر مدل‌های دیجیتالی ایجاد می‌شوند.

ساخت افزایشی، با استفاده از یک فرآیند مواد افزودنی

به دست می‌آید که به موجب آن، لایه‌های متوالی از مواد، به شکل‌های مختلف بر روی هم قرار می‌گیرند. ساخت افزایشی، نسبت به تکنیک‌های سنتی حذف یا ماشین‌کاری مواد که متکی به تراش، فرز یا سوراخ‌کاری می‌باشند، کاملاً متمایز است. در حال حاضر، «AM» به شدت بر تولید تجاری و زنجیره تأمین تأثیر می‌گذارد. البته چالش‌هایی هم بر سر کاربردهای ساخت افزایشی وجود دارد که از آن جمله، می‌توان به محدودیت در اندازه، دقت و کیفیت سطح و نیاز احتمالی برای ماشین‌کاری پس از ساخت اشاره نمود.

مواد تولیدی حاصل، ممکن است دارای خصوصیات منحصربه‌فردی باشند که تولید آن‌ها با استفاده از روش‌های معمول ساخت و تولید، غیرعملی یا غیرممکن باشد. از فناوری‌های ساخت افزایشی، ممکن است برای تولید سریع نمونه اولیه، تولید در محل و تعمیر تجهیزات نظامی مستقر و نیز تولید دقیق، سفارشی و منحصربه‌فرد قطعات استفاده نمود. صنعت، رهبر و پیشگام توسعه چاپ سه بعدی محسوب شده که توسعه بازار جهانی چاپ سه بعدی را از ۵,۸ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۶، به ۵۵,۸ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۷ می‌رساند.

طی ۲۰ سال گذشته، تکنیک‌ها، تجهیزات و فناوری ساخت افزایشی، به سرعت در حال پیشرفت بوده و به یکی از مؤلفه‌های اصلی تولید با ارزش بالا و تولید چابک تبدیل شده‌اند. ساخت افزایشی، اصطلاحی گسترده است که هفت فناوری اصلی را در بر می‌گیرد:

- VAT photopolymerisation
- Material jetting
- Binder jetting
- Material extrusion
- Powder bed fusion
- Sheet lamination
- Directed energy deposition

تکنیک‌های فعلی ساخت افزایشی، بیشتر برای تولید محدود، طراحی‌های تخصصی یا نمونه‌سازی کاربرد دارند. این سیستم‌ها (به همان میزان که محدود هستند)، هم در بازار داخلی و هم در بازار صنعتی، دارای محبوبیت بالایی

می‌باشند. به همین ترتیب، آن‌ها به‌طور گسترده در دسترس بوده و فراتر از چاپ مدل‌های ساده سه بعدی پلاستیکی پیش رفته‌اند (شکل ۳۲). تقریباً دو سوم از تولیدکنندگان آمریکایی، قبلاً چاپ سه بعدی را پذیرفته‌اند و حدود ۵۰ درصد از آن‌ها، از این تکنیک برای نمونه‌سازی و ارائه محصولات نهایی استفاده می‌کنند. با این وجود، سیستم‌های ساخت افزایشی،



شکل ۳۲- محفظه چاپ شده سوپر دراگو اسپیس ایکس (SpaceX Super Draco)

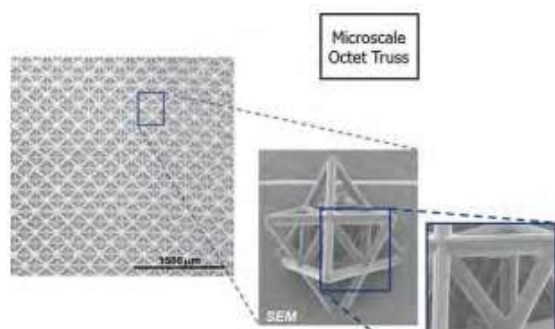
هنوز در سطح بلوغ لازم برای جایگزینی روش‌های سنتی ماشین‌کاری و ساخت برای تولید صنعتی گسترده و کامل قرار ندارند. این روند، در حال تغییر بوده و در دسترس بودن قابلیت چاپ سه بعدی، امکان تولید چابک و تولید مرزی را در صنایع مختلف فراهم می‌سازد.

کاربردهای بالقوه چاپ سه بعدی، عبارتند از: (۱) مدل‌سازی مفهومی و نمونه‌سازی اولیه، (۲) قطعات پیچیده با حجم کم مانند موتورهای موشک، (۳) قطعات جایگزین (کهنه و منسوخ)، (۴) سازه‌هایی که از مواد سبک و با مقاومت بالا

استفاده می‌کنند، ۵) مواد مخلوط و جاسازی الکترونیکی که به صورت افزوده و مستقیماً در قطعات ساخته می‌شوند، ۶) تعمیر قطعات در میدین جنگ، داخل کشتی یا در فضا، ۷) سازه‌های بزرگ که مستقیماً در محل ساخته شده و محدودیت‌های مربوط به اندازه وسایط حمل‌ونقل را رفع می‌کند، ۸) ساخت طراحی‌های جدید یا استفاده از مواد منحصربه‌فرد، ۹) سازه‌های بزرگ مانند ساختمان‌ها (با استفاده از مواد محلی) یا سیستم‌های تسلیحاتی (مانند کشتی) و ۱۰) مواد زیستی مانند بافت‌ها، اندام‌ها و اعضای جایگزین در بدن.

روند مربوط به چاپ چهار بعدی، چاپ سه بعدی را با مواد پیشرفته و حساس به شرایط محیطی ادغام می‌کند. این مواد، طوری برنامه‌ریزی شده‌اند که در صورت تحریک محیطی (مثلاً گرما، فشار، جریان، نور و ...)، شکل یا رفتار فیزیکی خود را تغییر می‌دهند.

یکی از فناوری‌های مرتبط، نانو فناوری است که در آن، فرآیندهایی برای دست‌کاری مواد در مقیاس اتمی صورت گرفته و اغلب منجر به ویژگی‌های جدید آن‌ها می‌شود. وزارت دفاع انگلستان، پیش‌بینی نموده که از سال ۲۰۳۰ میلادی، نانو ربات‌های پزشکی و دستگاه‌های «C4ISR» تقویت شده با نانو (برای مثال، میکرو رادار برای «UxV»‌های مینیاتوری)، مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۳۳- میکرو مواد سه بعدی

ساخت افزایشی (سه بعدی و چهار بعدی) و نانو فناوری، پیامدهای مستقیمی در دفاع و امنیت دارند. با این حال، این فناوری‌ها به‌طور گسترده‌ای در دسترس بوده و دارای کاربرد دوگانه می‌باشند. از همین رو، بازیگران نزدیک به هم‌تا و

غیردولتی را از مزایای مشابهی برخوردار می‌کنند. همچنین این امر، افزایش چشمگیر توانایی «RED» را به دنبال داشته و دسترسی به سیستم طراحی روش‌های غیرقانونی یا تأمین قطعات تحریم شده مانند قطعات مورد نیاز هواپیماها یا موشک‌های پیشرفته را امکان‌پذیر می‌سازد.

توسعه تکنیک‌ها و ابزارهای پیچیده برای توالی، سنتز و دست‌کاری مواد ژنتیکی، منجر به بلوغ سریع فرایند زیست‌شناسی مصنوعی شده است. این تحولات، به نوبه خود رویکردهای جدیدی را در زمینه تحقیق و توسعه مواد، تولید در مقیاس نانو، ساخت و تولید زیستی گشوده است. این رویکردها، با استفاده از عوامل بیولوژیکی مهندسی شده (سلول‌ها، پروتئین‌ها، قارچ‌ها و ...)، طیف گسترده‌ای از محصولات، اعم از داروها، اندام‌ها، بافت‌ها، چرم و حتی بتن را در دسترس قرار می‌دهند. ربات‌های زیستی خاص یا زنبوبات (Xenobots)، برای تولید در مقیاس نانو، در مراحل اولیه توسعه قرار دارند.

انرژی، ذخیره‌سازی و تولید، یک جنبه حیاتی برای پایداری میدان جنگ بوده که ماهیت فزاینده چند دامنه‌ای و غیرخطی درگیری‌های مدرن را توصیف می‌کند. به‌ویژه در ۱۰ سال گذشته، ذخیره‌سازی برق و انرژی‌های تجدیدپذیر، به شدت پیشرفت نموده‌اند. این پیشرفت‌ها، مبتنی بر توسعه مواد جدید، روش‌های تولید، مدیریت انرژی (برای مثال، استفاده از هوش مصنوعی) و رویکردهای جمع‌آوری انرژی بوده است. به‌طور خاص، باتری‌های لیتیوم یونی، یک فناوری مناسب برای سنسورها، وسایط نقلیه، محاسبات لبه‌ای (Edge computing)، دستگاه‌های تلفن همراه و ... می‌باشند. با اعطای جایزه نوبل شیمی ۲۰۱۹ به جان گودنوف (John B. Goodenough)، استنلی ویتینگهام (M. Stanley Whittingham) و آکیرا یوشینو (Akira Yoshino)، اهمیت علم مستتر در باتری‌های لیتیوم یونی شناخته شد.

تحقیقات انرژی، طیف گسترده‌ای از موضوعات و رویکردها را در بر می‌گیرد که همراه با افزایش سالیانه تقاضاهای اجتماعی و نظامی است. این تقاضا را نمی‌توان از طریق فناوری‌های موجود برطرف نمود و همچنان به پیشرفت‌های عمده‌ای نیاز می‌باشد. تحقیقات در مورد جمع‌آوری، تولید، ذخیره‌سازی و مدیریت انرژی، با شتاب بیشتری ادامه دارد. این تحقیقات شامل موارد زیر می‌باشد: ۱) انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، باد، زمین‌گرمایی و سوخت‌های زیستی، ۲) هیدروژن، ۳) همجوشی (همجوشی هسته‌ای، مهار مغناطیسی)، ۴) شکافت (نمک مذاب،

توریم، راکتورهای کوچک و ...، ۵) برداشت انرژی (بی سیم، زیستی / مکانیکی)، ۶) ذخیره سازی شبکه ای، ۷) مدیریت انرژی با هوش مصنوعی و ۸) باتری ها (گرافن، نانولوله های کربنی، حالت جامد، هوا فلزی و ...).

۵-۵- کاربردها و مفاهیم نظامی:

الف) نیروهای خودی یا «BLUE»:

کاربردهای دفاعی بسیاری برای مواد پیشرفته، فناوری های نانویی و تولید سه بعدی و چهار بعدی وجود دارد. می توان چنین فرض کرد که سیستم های آتی، به دلیل ترکیب مواد پیشرفته، سبک تر، قوی تر و دارای بازدهی بالاتری خواهند بود.

به طور خاص، گرافن و سایر مواد دو بعدی، برای موارد زیر استفاده می شوند:

- کاهش بار (وزن) تجهیزات (به دلیل توانایی جایگزینی اجزای حجیم با مواد و وسایل سبک وزن) که به طور خاص، برای عملیات های دوربرد و سیستم های هواپیما بسیار مهم می باشند؛
- تجهیزات الکترونیکی سبک، انعطاف پذیر و یکپارچه مستتر در پارچه که برای پنهان سازی دستگاه های پوشیدنی به کار می روند؛
- تجهیزات الکترونیکی سریع تر برای ارتباطات (پهنای باند گسترده تر) و بهبود محاسبات؛
- تشخیص بهبود یافته سیگنال های ضعیف (RF/ ماکروویو یا نوری) که دامنه فیزیکی پلتفرم های عملیاتی را (چه برای ارتباطات، یافتن برد یا تصویربرداری حرارتی / جستجوی گرمایی) گسترش می دهد؛

- غشاهایی (Membranes) که در برابر حمله بیوشیمیایی محافظت نموده یا حساسیت بیشتری نسبت به تشخیص (و همچنین انتخاب) بخارات انفجاری ایجاد می‌کنند؛
- مواد سبک و مقاوم در برابر ضربه برای سیستم‌های جدید زره‌پوش و سرباز که بسیار سبک‌تر از فناوری‌های فعلی می‌باشند. شواهد حاکی از آن است که گرافن، مقاومت در برابر شکست سرامیک را بهبود می‌بخشد. همچنین انتظار می‌رود که در صورت استفاده از چنین سرامیک‌هایی برای زره‌پوش‌ها، حفاظت بالستیک آن‌ها هم بهبود یابد. گرافن ممکن است مقاومت و خواص الاستیک الیاف‌های بالستیک مانند پلی‌اتیلن «UHMWPE» (ultrahigh molecular weight polyethene) را بهبود بخشد؛
- با افزودن گرافن به پلیمرها برای پوشش‌های جذب‌کننده رادار، بازتاب رادار را از همه سکوها (زمین، دریا و هوا) کاهش می‌دهد؛
- ذخیره انرژی در اولترا خازن‌ها و باتری‌ها، با استفاده از ذخیره‌سازی مبتنی بر گرافن (برخی از محصولات قبلاً برای کاربردهای فضایی تأیید شده‌اند)؛
- فناوری‌های پوشیدنی؛ انتظار می‌رود که گرافن به‌عنوان پوششی روی منسوجات لباس، برای بهبود مقاومت در برابر آب‌وهوا و نظارت بر استفاده از منسوجات هوشمند مفید باشد. محافظت شیمیایی دستکش، ماسک و ... نیز، ممکن است بهبود یابد؛
- افزایش بقای وسایط نقلیه از طریق کاهش بازتاب و تابش امواج الکترومغناطیسی توسط پوشش‌های هوشمند. کاربردهای خاص ساخت افزایشی برای پشتیبانی از عملیات یا توسعه قابلیت‌های اتحادیه عبارتند از:
 - توسعه محصول بهبود یافته، از طریق چرخه‌های کوتاه شده طراحی و توسعه مؤثر مبتنی بر هزینه/ زمان. همچنین ساخت افزایشی، می‌تواند بهینه‌سازی طراحی را با توجه به محدودیت‌های معمول ماشین‌کاری پشتیبانی نماید؛

- بهبود تعمیر و نگهداری و تدارکات با کاهش ذخایر قطعات یدکی (در داخل، کشتی یا خارج از کشور)، افزایش در دسترس بودن قطعات و کاهش هزینه‌های حمل و نقل. قطعات یدکی را می‌توان به صورت محلی تولید نموده و ذخیره‌سازی سخت‌افزاری را با ذخیره طرح‌های قابل چاپ، جایگزین نمود. چنین قطعاتی را می‌توان بر اساس اسکن سه بعدی، در محل تولید نموده و در نتیجه، عمر عملیاتی را به‌طور قابل توجهی افزایش داده، زنجیره لجستیک را کاهش داده و هزینه‌های چرخه عمر را به حداقل رسانید؛

- کاهش هزینه و افزایش اثربخشی طراحی‌های جدید و موارد پرهزینه، به‌ویژه در هوافضا یا محیط‌های دریایی. برای مثال، پره‌های توربین تک کریستالی پوشش داده شده با پوشش‌های مانع حرارت یا ملخ‌های زیردریایی شامل طراحی‌ها و پردازش موادی پیچیده هستند که این امر، هزینه‌بر خواهد بود. تعمیر مؤثر چنین اجزایی با استفاده از ساخت افزایشی، به‌طور قابل توجهی هزینه را کاهش داده و قابلیت دسترسی عملیاتی را افزایش می‌دهد؛

- تولید سیستم‌های تسلیحاتی خودران متناسب با تقاضا و در محل.

کاربردهای خاص زیست‌شناسی مصنوعی و فناوری نانو شامل موارد زیر است:

- تولید مواد شبه کالا (commodity-like)، با افزایش کارایی، امکان تولید به مقیاس را فراهم می‌کند، مثلاً سوخت، غذا و مصالح ساختمانی؛
- قابلیت‌های منحصربه‌فرد برای سنجش محیط و سایر پدیده‌هایی که در حال حاضر قابل تشخیص نبوده و یا در مقیاس‌های مورد نیاز در فضای جنگ نیستند؛
- ایجاد مواد مخصوص و دارای خواص شیمیایی یا فیزیکی ویژه، از جمله داروها، مکمل‌های غذایی و سایر مواد مورد نیاز فرآیندهای مونتاژ تولید در مقیاس نانو.

ب) نیروهای دشمن یا «RED»:

مزایای «RED» هم مانند «BLUE» است.

به طور خاص برای ساخت افزایشی:

- از آنجا که پیشرفت در ساخت افزایشی، عمدتاً تحت تأثیر منافع مدنی/ تجاری است، احتمالاً این فناوری‌ها در اختیار طیف وسیعی از کشورها، بازیگران غیردولتی و نیروهای نظامی قرار خواهد گرفت. به همین ترتیب، استفاده جدید از تهدیدهای نامتقارن (سلاح گرم، بمب دست‌ساز، سلاح‌های متناسب با وظیفه و ...)، باید پیش‌بینی شده و ممکن است تهدید قابل توجهی برای «BLUE» باشد.
- نگرانی‌های جدی در مورد مدیریت فناوری‌های ساخت افزایشی در کاربردهای دفاعی وجود دارد. طراحی‌های دیجیتال برای ساخت افزایشی مورد نیاز بوده و این‌ها به راحتی بازتولید می‌شوند (برای مثال، از طریق اسکن سه بعدی)، به اشتراک گذاشته می‌شوند، هک می‌شوند، اصلاح می‌شوند، جعل می‌شوند و به سرقت می‌روند.
- در دسترس بودن گسترده ساخت افزایشی و طراحی‌های جدید مرتبط، گسترش فناوری‌های دفاعی را برای بازیکنان غیردولتی و کشورهای غیردوست تشویق می‌کند. همچنین قطعات تحریم شده، به راحتی تولید شده و اثربخشی تحریم‌ها محدود می‌شود (برای مثال، قطعات و اجزای F-14).

ج) قابلیت همکاری داخلی:

با تولید یا استفاده از مواد دو بعدی، هیچ‌گونه چالش خاصی در ارتباط با قابلیت همکاری داخلی پیش‌بینی نشده است. با این وجود، این امر ممکن است منجر به برخی اختلافات فنی در بین نیروهای ناتو شود.

در صورت استفاده از قطعات پیشرفته چاپ سه بعدی و چهار بعدی در سیستم‌های پیشرفته تسلیحاتی، توسعه ساخت افزایشی به‌عنوان یک قابلیت کامل ناتو، نیازمند طراحی، نرم‌افزار، مالکیت فکری، فضای مجازی، صدور گواهینامه و تولید دارد. الزامات ایمنی، به تنهایی نشان می‌دهد که اگر بخواهیم قطعات و اجزای ساخت افزایشی را در مناطق دارای تنش بالا، مانند هوافضا مورد بهره‌برداری قرار دهیم، می‌بایست به گواهینامه و صلاحیت آن‌ها به‌عنوان قطعات اصلی یا جایگزین توجه کنیم. این امر، به درک گسترده‌ای از کلیه عواملی که منجر به تغییر در خصوصیات شده و



شکل ۳۴- استانداردهای تکرارپذیری
(Push-Button Replication)

روش‌هایی برای بازرسی دقیق، مشخص‌سازی و تأیید اجزا نیاز دارد. استفاده از طراحی‌های دیجیتال و اسکن و چاپ سه بعدی قطعات، ممکن است مالکیت فکری پیمانکاران را نقض نموده، یا خطر اقدامات قانونی علیه نیروهای اتحادیه را افزایش دهد و این مسئله، در حالی که توانایی عملیاتی را محدود می‌کند، در دسترس بودن عملیات را هم کاهش می‌دهد.

۶-۵- توسعه علم و فناوری:

تحقیق در مورد مواد گرافنی و دو بعدی، در مرحله اولیه توسعه، اما امیدوارکننده قرار دارد. طیف وسیعی از کاربردهای بالقوه موجود برای گرافن و فناوری‌های مرتبط، تعمیم عمومی کاربردها را در این نقطه غیرممکن می‌کند. برخی از کاربردها (اولترا خازن‌ها)، چسب‌ها و الاستومرها (لاستیک تایر)، به صورت تجاری در دسترس می‌باشند. بنابراین، «TRL» برای این موارد برابر با ۹ است. با این وجود، بیشتر کاربردها در «TRL»‌های نسبتاً پایین قرار دارند. نرخ توسعه در برخی مناطق سریع بوده که ناشی از سرمایه‌گذاری گسترده دولتی و خصوصی می‌باشد. در کوتاه‌مدت (صفر تا ۷ سال)، تکامل در کاربرد اولترا خازن‌ها، چسب‌ها، الاستومرها و کامپوزیت‌های فیبری (تجهیزات ورزشی) رخ

می‌دهد و برخی از پوشش‌ها هم، به «TRL 9» دست می‌یابند. در میان‌مدت (۸ تا ۲۰ سال)، مواد رابط حرارتی برای خنک‌سازی تجهیزات الکترونیکی، به «TRL 9» می‌رسند. برخی از سنسورها و کاربردهای الکترونیکی هم، در حال تجاری شدن هستند و بسیاری از پوشش‌ها برای مقاومت در برابر خوردگی هم، در دسترس قرار دارند. همچنین تا پایان دوره، پیشرفت قابل توجهی (TRL 6) در پوشش‌های استتار چندمنظوره (ساختاری) حاصل خواهد شد.

کاربرد تولید زیستی در مقیاس‌های نانو، هم‌اکنون در پایین‌ترین سطح آمادگی فناوری قرار دارد. پیش‌بینی می‌شود که بسیاری از مواد بیولوژیکی مصنوعی شناخته نشده و کاربردهای دیگر آن‌ها، طی ده تا پانزده سال آینده توسعه یافته و تا آن زمان، به «TRL 6» یا بالاتر رسیده باشند. «TRL» فعلی برخی از



شکل ۳۵- سلول بنیادی چاپ زیستی شده

فناوری‌های بیولوژیکی مصنوعی برای برنامه‌های کاربردی در بازه زمانی میان‌مدت، در سطوح ۱ تا ۳ قرار دارد. امروزه از فناوری ساخت افزایشی سه بعدی و چهار بعدی، در صنایع مختلف و برای اهداف گوناگونی استفاده شده و در عین حال، به سرعت در حال تکامل و گسترش می‌باشد. «TRL» این فناوری‌ها را برای یک کاربرد نظامی می‌توان بین ۴ تا ۶ ارزیابی نمود.

جدول زیر، تأثیر بالقوه، وضعیت، نرخ توسعه و همچنین حوزه‌های مشخص شده برای تحقیقات متمرکز در خصوص این «EDT» را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳- مواد جدید در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ میلادی

«EDT»	حوزه تمرکز فناوری	اثر	وضعیت	TRL	افق زمانی
مواد	مواد جدید	بالا	راه اندازی	۲	۲۰۴۰
	ساخت افزایشی	متوسط	روشنگری	۷	۲۰۲۵
	ذخیره سازی انرژی	متوسط	راه اندازی	۵	۲۰۳۰

رابطه:						
پایین		متوسط		بالا		
سلسله مراتب قابلیت	آماده سازی	پروژه	به کارگیری	«C3»	تقویت	محافظة
حوزه علم و فناوری	انسانی	اطلاعاتی			فیزیکی	

۷-۵- کارت های حدس و گمان:

- زیست شناسی مصنوعی (Synthetic Biology): استفاده از اجزای مصنوعی یا چاپ سه بعدی بدن انسان برای استفاده در پیوندها جهت التیام افراد آسیب دیده یا برای به روز رسانی انسانی.
- زره پوش هوشمند (Smartlite Armor): استفاده از بدنه یا لباس های سبک و بسیار انعطاف پذیر، اما مقاوم در برابر گلوله یا آتش هدایت شده.
- کاهش استفاده از انرژی (Reduce Energy Use): برداشت، ذخیره سازی و استفاده بهینه از انرژی که بدون از دست رفتن قابل توجه توانایی، نیازهای تأمین مجدد را کاهش می دهد.
- باتری های خود شارژ شونده (Self-Charging Batteries): تولید و ذخیره سازی انرژی تجدید پذیر متناسب با نیازهای روزمره یک سرباز از طریق سیستم های قابل حمل توسط سرباز.
- گرافن (Graphene): استفاده از زره های کامپوزیتی گرافن سخت الماس (diamond hard graphene) و صفحات مقاوم در برابر خوردگی که سبک تر از سیستم های قرن بیستم می باشند.

- پناهگاه‌های موقت (Temporary Shelters): پناهگاه‌های بزرگ و پایدار از مواد بسیار سبک و مقاوم که نحوه باز شدن و جمع شدن آن‌ها در عرض چند دقیقه به خاطر سپرده می‌شود.
- چاپ پلتفرمی (Platform Printing): توسعه و استقرار سریع وسایط نقلیه زمینی، شناورهای دریایی، هواپیماها، مسکن و فضاییماهای متناسب با وظایف و کارهای تعریف شده.
- مواد منفجره بافتی (Textured Explosives): چاپ سه بعدی مواد پرانرژی جاسازی شده و پنهان در ساختارها و سیستم‌ها (در دسترس افراد دولتی، بازیگران غیردولتی و افراد).
- عنکبوت نوردی (Spider climbing): بالا رفتن از دیوارها و پنجره‌ها با استفاده از مواد چسبنده‌ای که به دست‌ها و زانوها یا پاها زده می‌شود.