

تحولات همگرا در آینده علم و فناوری: مطالعه تطبیقی ایالات متحده، روسیه و چین

اسماعیل کلانتری^۱، غلامعلی منتظر^{۱*}

۱- دانشجوی دکتری، سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی فناوری اطلاعات، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۴

چکیده

به رغم روند واگرایانه علم و فناوری در قریب به چند صد سال گذشته، در میانه سده بیستم میلادی با ظهور جریان میان رشته‌ای و سپس در آغاز سده بیست و یکم با ظهور جریان علوم و فناوری‌های نوپدید، روند همگرایی علم و فناوری آغاز شده است. درک این روند همگرایی از ملزومات سیاست‌گذاری در حوزه علم و فناوری است. این پژوهش با مطالعه روندهای نوظهور علم و فناوری و اولویت‌های موضوعی علم و فناوری در سه کشور امریکا، روسیه و چین به دنبال یافتن شواهد همگرایی در این اولویت‌ها با رویکردی آینده‌نگرانه است. روش پژوهش تحلیل محتوای کیفی و نمونه آماری اسناد و مدارکی است که درباره روندهای نوظهور علم و فناوری منتشر شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد روندهای موضوعی علم و فناوری به سمت همگرایی میل می‌کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد این همگرایی نخست حول محور «فناوری اطلاعات» و در مراتب بعدی به ترتیب حول «فناوری زیستی و سلامت»، «انرژی» و «فناوری نانو» در حال شکل‌گیری است.

کلید واژگان: آینده علم و فناوری، میان رشته‌ای، علوم و فناوری‌های همگرا، تحلیل محتوای کیفی، فناوری اطلاعات.

۱- مقدمه

«وحدت معرفت» موضوعی است که با تاریخ علم پیوند دارد. متون و ایده‌های برجامانده در تاریخ دانش حاکی از آن است که انسان از ابتدای تلاش برای تحصیل معرفت آن را مانند مجموعه‌ای واحد در نظر داشت، اما به تدریج و در پی گستردگی دامنه دانش‌ها این درک حاصل شد که دستیابی به همه علوم ناممکن است؛ از این‌جا بود که تقسیم‌بندی علوم مطرح شد [۱]. علوم در این تقسیم‌بندی به تدریج و یک به یک از فلسفه جدا شدند [۲]. مشابه رویدادی که در علم رخ داده (یعنی سیر تاریخی از وحدت به کثرت)، در فناوری هم به وقوع پیوسته و بدین ترتیب علوم و فناوری در یک سیر تاریخی از گذشته تا حال به تدریج از وحدت به کثرت گرویده‌اند [۳]. در اواسط سده بیستم میلادی با ظهور جریان علوم و فناوری‌های میان رشته‌ای^۲ و پس از آن در اوایل سده بیست و یکم با آغاز جریان علوم و فناوری‌های نوپدید^۳ دو جریان همگرا در علم و فناوری شکل گرفت که خود نقطه عطفی در سیاست‌گذاری‌های آینده‌نگرانه علم و فناوری مبتنی بر همگرایی علم و فناوری است.

در این پژوهش منظور از آینده‌نگاری علم و فناوری، فرایندهای نظام‌مندی است که با هدف شناسایی حوزه‌های پژوهشی راهبردی و فناوری‌های عام‌نظهور با بیشترین منافع اقتصادی و اجتماعی انجام می‌شود [۴]. با وجود توجه کشورهای توسعه یافته به مفهوم اولویت‌گذاری موضوعی علم و فناوری، مفهوم اولویت‌گذاری در بسیاری کشورهای در حال توسعه از جمله ایران به درستی درک نشده است. تعیین بیش از ۱۰۰ اولویت در سند تحول راهبردی علم و فناوری کشور [۵]، فقدان اولویت‌گذاری توأم با سیاست‌گذاری و اکتفای صرف به نیازسنجی [۶] از جمله نشانه‌های درک نادرست از مفهوم اولویت‌گذاری علم و فناوری در ایران است. بدین ترتیب وقوع تغییرات بنیادین و دگرگونی‌های فراگیر مستلزم آمادگی سیاست‌گذاران برای رویارویی با تحولات در حال ظهور است [۷]. غفلت از این موضوع علاوه بر هدر دادن بیش از پیش منابع دولتی و خصوصی موجب بازماندن از پیشرفت در حوزه‌های علم، فناوری و نوآوری و شکست در رقابت‌های فزاینده علم و فناوری در گستره جهان خواهد شد [۸].

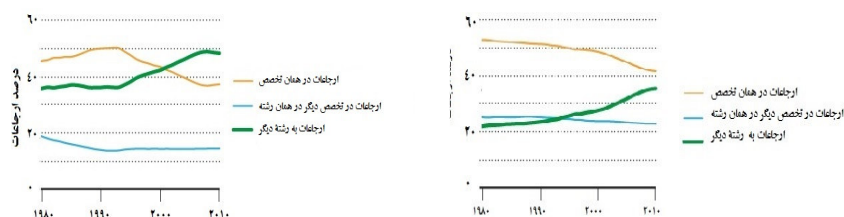
در این مقاله نخست به پیشینه و خاستگاه دو جریان «میان رشته‌ای» و «علوم و فناوری‌های همگرا» خواهیم پرداخت، همچنین شواهدی تاریخی ارائه خواهیم کرد که سیر

جریان علم و فناوری را به سمت همگرایی نشان می‌دهد. سپس به آینده‌نگاری‌های علم و فناوری به ویژه با تأکید بر روندها و اولویت‌های موضوعی علم و فناوری در سه کشور ایالات متحده، روسیه و چین می‌پردازیم. در نهایت در بخش جمع‌بندی به روندهای همگرایانه آینده علم و فناوری اشاره خواهیم کرد. نوآوری این پژوهش تلاش به منظور نشان دادن همگرایی در اولویت‌های موضوعی آینده‌نگاری علم و فناوری در سه کشور منتخب است.

۲- مبانی نظری

دست کم می‌توان دو جریان مهم را در سده بیستم بیان کرد که نقاط عطفی در روند واگرایانه علم و فناوری به سوی همگرایی بوده‌اند: نخست شکل‌گیری پژوهش‌های «میان رشته‌ای» و دوم پدید آمدن «علوم و فناوری‌های همگرا».

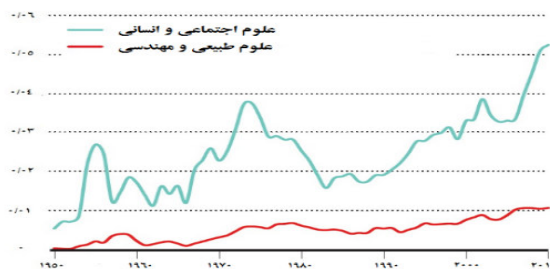
آکادمی ملی علوم آمریکا میان رشته‌ای را چنین تعریف می‌کند: «تلفیق محتوا، داده‌ها، روش‌ها و ابزارها، مفاهیم و نظریه‌های مربوط به دو یا چند رشته علمی یا مجموعه‌ای از دانش‌های تخصصی به منظور ارتقای فهم اساسی، پاسخ به پرسش‌های پیچیده و حل مسائلی که آن قدر گسترده یا پیچیده هستند که حل آن‌ها از عهده یک رویکرد یکتا خارج است» [۹]. تاریخ پژوهش‌های میان رشته‌ای به دهه ۱۹۶۰ برمی‌گردد. در این دهه پژوهش‌های میان رشته‌ای ابتدا در حوزه علوم و فناوری‌های کشاورزی و کاربردهایی از صنایع دفاعی مطرح شد. در دهه ۱۹۷۰ کشورهای صنعتی بودجه ویژه‌ای را برای پژوهش‌های میان رشته‌ای و چندرشته‌ای در حوزه‌های رقابت اقتصادی به ویژه در مهندسی رایانه، فناوری زیستی، پزشکی و مهندسی صنایع آغاز کردند [۱۰]. با درک ضرورت گذار از مفهوم تکررشته‌ای^۴ به تدریج مفاهیم چندرشته‌ای^۵، میان رشته‌ای^۶ و فرارشته‌ای^۷ نیز شکل گرفت. این مفاهیم اگرچه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند، ولی همگی بر ناتوانی یک رشته در پاسخ‌گویی به نیازهای بشر متفق هستند. بررسی ارجاعات به مقالات علمی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۰ میلادی نشان می‌دهد ارجاع به مقالات از رشته‌های دیگر هم در علوم طبیعی و هم در علوم اجتماعی روندی رو به افزایش داشته است. شکل‌های ۱ و ۲ روند ارجاعات به مقالات علمی را در این دوره به ترتیب در حوزه‌های علوم طبیعی و علوم اجتماعی نشان می‌دهد [۱۱].



شکل ۲ روند ارجاعات به مقاله‌های علوم اجتماعی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ [۱۱]

شکل ۱ روند ارجاعات به مقاله‌های علوم طبیعی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ [۱۱]

علاوه بر این شکل ۳، درصد پژوهش‌هایی را که در عنوان از واژه «میان رشته‌ای» استفاده کرده‌اند به تفکیک در حوزه‌های علوم طبیعی و علوم اجتماعی سال‌های ۱۹۵۰-۲۰۱۰ میلادی نشان می‌دهد که حاکی از یک روند افزایشی است [۱۱].



شکل ۳ درصد پژوهش‌هایی که در عنوان از واژه میان رشته‌ای استفاده کرده‌اند [۱۱]

علاوه بر جریان میان رشته‌ای‌ها، که بر همگرایی علوم و فناوری‌ها تأکید می‌کند، از اواخر سده بیستم میلادی تلاش‌های محققان برای متحد ساختن علوم مختلف شروع شده که در نهایت به اتحاد فناوری نانو، فناوری زیستی، فناوری اطلاعات و علوم شناختی منجر خواهد شد. همگرایی علوم و فناوری‌ها علاوه بر تولید محصولات جدید به پیشرفت و توسعه این حوزه‌ها

نیز کمک خواهد کرد. برای مثال همگرایی فناوری زیستی و فناوری نانو علاوه بر تولید محصولات و خدمات نوین توسعه بیشتر این دو حوزه را در پی خواهد داشت. محققان بر این باورند که تحولی که علوم و فناوری‌های همگرا ایجاد خواهد کرد بزرگ‌تر از تحولی است که ماشین بخار و انقلاب صنعتی در زندگی بشر ایجاد کرده است [۱۲].

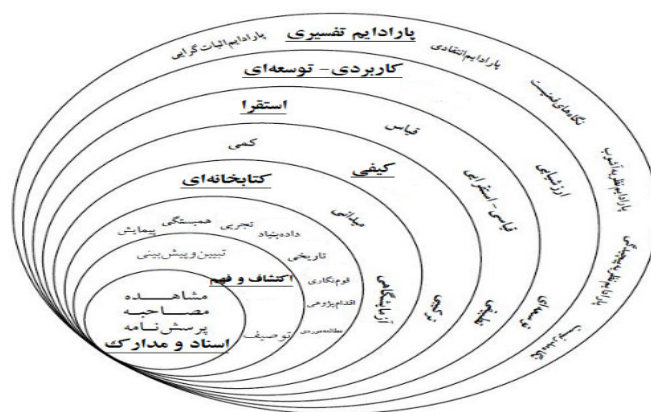
فناوری‌های همگرا یکدیگر را برای رسیدن به هدف مشترک توانمند می‌سازند [۱۲، ۱۳]. در برخی منابع علاوه بر چهار فناوری یادشده، فناوری اجتماعی هم به عنوان رکن پنجم به فناوری‌های همگرا افزوده می‌شود. فناوری اجتماعی به معنی علم پیش‌بینی رفتار جوامع (و نه توصیف آن) است. فناوری اجتماعی ناشی از همگرایی در اطلاعات در زمینه‌های علوم زندگی، علوم رفتاری (شامل روان‌شناسی و مطالعه شناخت) و علوم اجتماعی است. رویکردهای گردآوری داده‌ها و تحلیل در آن به وسیله ابزارهای جدید از حوزه‌هایی نظیر فناوری نانو، فناوری اطلاعات تکمیل می‌شود. شبیه‌سازی مبتنی بر کارگزار، مدل‌های ترکیب الگوریتم ژنتیک، روش‌های محاسبات تکاملی و واسطه‌های ماشین و مغز، روش‌های جدیدی را برای گردآوری داده‌ها و تحلیل آن‌ها فراهم می‌کنند [۱۲].

بدین ترتیب دو جریان میان رشته‌ای‌ها و علوم و فناوری‌های نوپدید، سرآغاز جریان همگرایی در علم و فناوری شدند. در این پژوهش همگرایی به معنی ناپدید شدن و کم‌رنگ شدن مرز بین علوم و فناوری‌ها و به نوعی ترکیب آن‌ها با یکدیگر است [۱۴].

۳- روش پژوهش

این پژوهش از انواع پژوهش‌های کاربردی است و پارادایم حاکم بر آن، پارادایم تفسیری است. پارادایم تفسیری به دنبال یافتن معنا در رفتار عوامل اجتماعی است [۱۵]. هدف اصلی پژوهش‌گر در این پژوهش شناسایی تحولات همگرایانه علم و فناوری در آینده است. این پژوهش از نظر گردآوری داده از نوع کیفی است. جامعه آماری پژوهش، اسناد، مدارک، مقالات و متونی است که درباره آینده علم و فناوری به ویژه در سه کشور ایالات متحده، روسیه و چین تدوین شده است. انتخاب این سه کشور به دو دلیل انجام شده است: نخست، ارائه شواهد همگرایی از هر سه قاره اروپا، آسیا و آمریکا؛ دوم، جایگاه ویژه علم و فناوری در این سه کشور به ویژه نقش آن در توسعه اقتصادی، همچنین راهبرد این پژوهش از نوع تحلیل محتوای

کیفی^۸ است. شکل ۴ روش‌شناسی این پژوهش را بر مبنای پیمای پژوهش ساندرز [۱۶] نشان می‌دهد.



شکل ۴ روش‌شناسی پژوهش بر مبنای پیمای پژوهش

تحلیل محتوای کیفی به پژوهش‌گر اجازه می‌دهد اصالت و حقیقت داده‌ها را به گونه ذهنی، ولی با روش علمی تفسیر کند [۱۷]. در تحلیل محتوای کیفی تبدیل داده‌ها به یافته‌ها مرهون خلاقیت پژوهش‌گر است و دستاوردی منحصر به فرد برای او به شمار می‌رود [۱۸]. سه رویکرد سنتی^۹، هدایت‌شده^{۱۰} و تراکمی^{۱۱} برای کاربرد تحلیل محتوا در ادبیات استفاده می‌شود. این پژوهش از رویکرد تحلیل محتوای سنتی استفاده می‌کند. در این رویکرد طبقات به گونه مستقیم از متن داده‌ها استخراج می‌شوند [۱۹]. بدین ترتیب اسناد موجود در حوزه آینده علم و فناوری در سه کشور ایالات متحده، روسیه و چین مورد استفاده قرار می‌گیرد. یافته‌های این پژوهش در قالب جداول مقایسه‌ای بیان می‌شود که معمولاً در پژوهش‌های کیفی استفاده می‌شود. اعتبارسنجی نتایج با استفاده از مقایسه با پژوهش‌های پیشین و نظریه‌ها و مدل‌های موجود انجام می‌شود. در تحلیل محتوای کیفی عینیت نتایج به وسیله وجود یک فرایند کدگذاری نظام‌مند تضمین می‌شود [۱۷].

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- آینده‌نگاری علم و فناوری در ارتش امریکا

در گزارش اخیر ارتش امریکا ۲۴ روند نوظهور علم و فناوری جهانی در افق سال ۲۰۴۵ پیش‌بینی شده است [۲۰]. جدول ۱ این روندها را نشان می‌دهد.

جدول ۱ روندهای روند نوظهور علم و فناوری در جهان [۲۰]

ردیف	روند	توضیح
۱	ریاتیک و سامانه‌های خودمختار	تا سال ۲۰۴۵ ربات‌ها و سامانه‌های خودمختار به امری عادی تبدیل خواهد شد. وسایط نقلیه مستقل، حمل و نقل را امن‌تر و کاراتر می‌کنند. ربات‌ها برای خودمراقبتی افراد مسن، برداشت محصول، حفاظت از زیرساخت‌های عمومی و فراهم کردن بسیاری از خدمات دیگر مورد استفاده قرار خواهند گرفت.
۲	تولید کارخانه‌ای افزودنی	طی ۳۰ سال آینده هزینه‌های چاپ سه‌بعدی به شدت کاهش می‌یابد و دسترسی به ابزارهای منبع باز و مدل‌های سه‌بعدی افزایش خواهد یافت.
۳	تحلیل‌پژوهی	در سال ۲۰۱۵ در جهان ۴/۴ ژنابایت داده تولید شده و انتظار این است این مقدار هر دو سال، دو برابر شود. در ۳۰ سال آینده توانایی ما در تحلیل بهتر مجموعه‌های عظیم و پویای داده بهبود خواهد یافت.
۴	افزودنی‌های انسانی	تا سال ۲۰۴۵ فناوری موجب می‌شود قابلیت‌های انسان فراتر از محدودیت‌های زیستی او شود. دستگاه‌های پوشیدنی متصل به اینترنت از طریق اینترنت اشیا، اطلاعاتی را که فراتر از حواس انسانی است در اختیار ما قرار می‌دهد. انسان هم به لحاظ بدنی و هم به لحاظ مغزی قوی‌تر خواهد شد.
۵	پردازش‌های ابری و همراه	تا سال ۲۰۳۰، ۷۵ درصد جمعیت جهان با وسایل همراه به شبکه اینترنت متصل هستند و ۶۰ درصد به اینترنت با پهنای باند وسیع دسترسی خواهند داشت.
۶	پیشرفت‌های پزشکی	تا سال ۲۰۴۵ پزشکی از طریق فناوری‌های چندگانه متحول خواهد شد. ژنومیک و اندام‌های مصنوعی در این زمینه نقش اساسی دارند.
۷	رایاسیهر	تا سال ۲۰۴۵ افزایش اینترنت اشیا و رشد وابستگی متقابل میان جنبه‌های متصل به شبکه زندگی روزانه، موضوع امنیت سایبری را به عنوان موضوعی مهم مطرح خواهد کرد. هنگامی که خودروها، لوازم خانگی، نیروگاه‌های برق، خیابان‌ها و میلیاردها شیء به یکدیگر متصل شده‌اند، قابلیت برای حمله‌های سایبری ویرانگر بسیار افزایش می‌یابد.



ادامه جدول ۱

ردیف	روند	توضیح
۸	انرژی	تا سال ۲۰۴۵ پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی برای انرژی تا ۳۵٪ افزایش یابد. توسعه روش‌هایی نظیر استخراج و حفاری، ذخایر عظیم نفت و گاز طبیعی را بیشتر در دسترس قرار داده است. در همین زمان، منابع انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر خورشید و باد در حال نزدیک شدن برابری هزینه با سوخت‌های فسیلی است.
۹	شهرهای هوشمند	فناوری اطلاعات و ارتباطات از مفهوم شهرهای هوشمند پشتیبانی می‌کند که داده‌ها و خودکارسازی را در مراکز شهری با منظور افزایش کارایی و توسعه پایدار به کار می‌گیرد.
۱۰	اینترنت اشیا	بر اساس برآوردها تا سال ۲۰۴۵ بیش از ۱۰۰ میلیارد شیء متصل به اینترنت وجود خواهد داشت. این اشیا شامل وسایل پوشیدنی، وسایل خانگی، وسایل پزشکی، حسگرهای صنعتی، دوربین‌های امنیتی، خودروها، لباس‌ها و سایر فناوری‌ها است. همه این وسایل مقادیر زیادی اطلاعات را تولید می‌کنند و به اشتراک می‌گذارند که چگونگی کار و زندگی ما را متحول خواهد کرد.
۱۱	فناوری آب و غذا	تا سال ۲۰۴۵ قریب به ۳/۹ میلیارد نفر (یعنی بیش از ۴۰ درصد جمعیت جهان) با نگرانی آب روبرو خواهند بود. محصولات تراریخته راه‌حلی فناورانه برای کاهش این نگرانی خواهد بود که البته خود نگرانی‌های جدیدی را به وجود می‌آورد.
۱۲	محاسبات کوانتومی	محاسبات کوانتومی از ویژگی‌های ذرات زیراتمی برای رمزنگاری و دستکاری داده‌ها استفاده می‌کند. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد سامانه‌های کوانتومی تا ۱۵ سال آینده به صورت کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرند.
۱۳	توانمندسازی اجتماعی	در ۳۰ سال آینده، فناوری‌های اجتماعی، به موتور توانمندسازی افراد برای شکل‌دهی خرده فرهنگ‌های شخصی تبدیل خواهد شد.
۱۴	دیجیتال پیشرفته	در سال ۲۰۱۵، ۶۸ درصد از آمریکایی‌ها تلفن‌های هوشمندی دارند که توان پردازش آن بیشتر از رایانه ناسا است که در سال ۱۹۶۹ موفق به پرتاب سفینه به ماه گردید؛ در ۳۰ سال آینده قدرت محاسبات بیشتر و دسترسی به منابع دیجیتال گسترده‌تر خواهد شد.
۱۵	واقعیت ترکیبی	واقعیت مجازی و واقعیت افزوده، اشتیاق زیادی در صنعت الکترونیک مصرفی ایجاد کرده است. واقعیت مجازی و واقعیت افزوده هم در فناوری سرگرمی و هم در سایر فناوری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.
۱۶	فناوری تغییرات آب و هوا	داده‌های کنونی نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰ دمای سطح کره زمین بین ۱/۴ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. در طول ۳۰ سال آینده، پیامدهای مخاطره‌آمیز افزایش دمای هوا، پیش‌رانی برای سرمایه‌گذاری در راه‌حل‌های فناورانه برای این موضوع است.

ادامه جدول ۱

ردیف	روند	توضیح
۱۷	مواد پیشرفته	در ۳۰ آینده نانومواد و سایر مواد جدید در لباس‌ها، مواد ساختمانی، وسایط نقلیه، جاده‌ها، پل‌ها و سایر موارد به کار گرفته خواهد شد.
۱۸	سلاح‌های تازه	تا سال ۲۰۴۵ فناوری‌های جدید تسلیحاتی شامل سامانه‌های انرژی هدایت‌شونده و سلاح‌های غیرمرگ‌بار در میدان‌های نبرد به صورت گسترده استفاده می‌شود.
۱۹	فضا	فناوری‌های جدید نظیر رباتیک، سامانه‌های نیروی محرکه پیشرفته، مواد سبک وزن، تولید کارخانه‌ای افزودنی و کوچک‌سازی، به طور چشم‌گیری موجب کاهش هزینه پرتاب انسان و مواد به فضا شده و افق‌های تازه‌ای را از قابلیت‌های جدید برای اکتشافات فضایی گشوده است.
۲۰	زیست‌شناسی ترکیبی	در طول ۳۰ سال آینده، با ظهور زیست‌شناسی ترکیبی، اندام‌های مهندسی‌شده به وجود خواهد آمد که می‌توانند سموم را شناسایی کنند، سوخت زیستی را از زباله‌های صنعتی خلق کنند و داروها را از طریق هم‌زیستی با بدن انسان‌ها فراهم کنند.
۲۱	تغییر ماهیت کار	در طول ۳۰ سال آینده، تحولات گسترده‌ای توسط فناوری در ماهیت کار انجام می‌شود. فناوری‌های جدید نظیر چاپ سه‌بعدی، فقدان نیاز به مکان برای کار، ابزارهای همکاری و بازاریابی مبتنی بر وب و تأمین مالی جمعی بخشی از این تحولات فناورانه است.
۲۲	حریم خصوصی	در سال ۲۰۴۵، بازاری برای حفاظت از حریم خصوصی شکل می‌گیرد که شامل فضاهای «پرون‌شبکه‌ای» است یعنی جایی که افراد می‌توانند به دور از حسگرهای متصل به شبکه‌ها زندگی کنند، مرخصی بگیرند و گرد یکدیگر جمع شوند.
۲۳	آموزش	فناوری، آموزش را تغییر می‌دهد. کلاس‌های درس برخط، آموزشگرهای دیجیتال تطبیق‌پذیر و مدارسی که از فناوری دیجیتال در کلاس‌های درس استفاده می‌کنند از جمله تغییراتی است که توسط فناوری در حوزه آموزش رخ می‌دهد.
۲۴	حمل و نقل و پشتیبانی	وسایط نقلیه خودمختار و هوشمند می‌تواند حمل و نقل و پشتیبانی را در طول ۳۰ سال آینده به کلی متحول کند. فناوری‌های حمل و نقل می‌تواند کارایی جابه‌جایی افراد و کالاها را درون و بین شهرها بهبود دهد.

تحلیل محتوای ۲۴ روند یادشده در جدول ۱ نشان می‌دهد این روندها حول محور هفت حوزه علم و فناوری در حال شکل‌گیری است. جدول ۲ این هفت حوزه و روندهای نوظهور مرتبط با آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲ حوزه‌های علم و فناوری و روندهای نوظهور مرتبط با آنها

ردیف	حوزه‌های علم و فناوری	روندهای نوظهور مرتبط	تعداد روندهای نوظهور مرتبط (از ۲۴ روند)
۱	فناوری اطلاعات	۱- رباتیک و سامانه‌های خودمختار؛ ۲- تولید کارخانه‌ای افزودنی؛ ۳- دانش تحلیل؛ ۴- افزودنی‌های انسانی؛ ۵- پردازش‌های ابری و همراه؛ ۶- رایاسپهر؛ ۷- شهرهای هوشمند؛ ۸- اینترنت اشیا؛ ۹- محاسبات کوانتومی؛ ۱۰- دیجیتال پیشرفته؛ ۱۱- واقعیت ترکیبی؛ ۱۲- تغییر ماهیت کار؛ ۱۳- حریم خصوصی؛ ۱۴- آموزش؛ ۱۵- حمل و نقل و پشتیبانی.	۱۵
۲	فناوری زیستی و سلامت	۱- پیشرفت‌های پزشکی؛ ۲- فناوری آب و غذا؛	۳
۳	فناوری نانو	۱- محاسبات کوانتومی؛ ۲- مواد پیشرفته.	۲
۴	انرژی	۱- انرژی.	۱
۵	محیط زیست	۱- فناوری تغییرات آب و هوا.	۱
۶	فناوری نظامی	۱- سلاح‌های پیشرفته.	۱
۷	فناوری اجتماعی	۱- توانمندسازی اجتماعی .	۱

همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، از مجموع ۲۴ روند نوظهور علم و فناوری که در گزارش ارتش امریکا به آن اشاره شده است، ۱۵ مورد در حوزه فناوری اطلاعات، سه مورد در حوزه فناوری زیستی و سلامت، دو مورد در حوزه فناوری نانو، یک مورد در حوزه انرژی، یک مورد در حوزه محیط زیست، یک مورد در حوزه فناوری نظامی و یک مورد هم در حوزه فناوری اجتماعی است.

۴-۲- اولویت‌های موضوعی علم و فناوری در فدراسیون روسیه

در سال ۲۰۱۴ قانونی به نام «برنامه‌ریزی راهبردی در فدراسیون روسیه» تصویب شد که در آن آینده‌نگاری علم و فناوری یکی از عناصر کلیدی نظام مطالعات آینده‌نگاری ملی برشمرده شده است. در آینده‌نگاری علم و فناوری روسیه در افق زمانی سال ۲۰۳۰ هفت حوزه کلیدی علم و فناوری در اولویت قرار گرفته است [۲۱]: فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، زیست فناوری، پزشکی و سلامت، مواد جدید و نانوفناوری، کاربرد بخردانه از طبیعت، سامانه‌های حمل و نقل و فضایی، کارایی انرژی و ذخیره انرژی. جدول ۳ حوزه‌های کاربردی کلیدی و تعدادی از محصولات نوآورانه را در هر حوزه نشان می‌دهد.

جدول ۳ حوزه‌های کاربردی کلیدی در اولویت‌های علم و فناوری روسیه [۲۱]

ردیف	اولویت علم و فناوری	حوزه‌های کاربردی کلیدی	برخی محصولات نوآورانه		
			افق ۲۰۲۰	افق ۲۰۲۵	افق ۲۰۳۰
۱	فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات	۱. فناوری‌های ارتباط راه دور؛ ۲. فناوری‌های تحلیل و پردازش داده؛ ۳. اجزای سخت‌افزار، وسایل الکترونیک و رباتیک؛ ۴. شبیه‌سازی و مدل‌سازی پیش‌گویانه؛ ۵. الگوریتم‌ها و نرم‌افزار؛ ۶. امنیت اطلاعات؛ ۷. سامانه‌ها و معماری رایانه.	زیرساخت‌های هوشمند، فناوری‌های ابری و چاپگرهای سه بعدی	بنگاه‌های هوشمند، واقعیت افزوده و واسط مغز-رایانه	آبر رایانش و اینترنت اشیا
۲	زیست فناوری	۱. توسعه مبانی علمی تحقیق و توسعه در زیست فناوری؛ ۲. زیست فناوری صنعتی؛ ۳. زیست فناوری کشاورزی؛ ۴. زیست فناوری زیست‌محیطی؛ ۵. زیست فناوری غذا؛ ۶. زیست فناوری جنگل؛ ۷. زیست فناوری آب.	گیاهان جدید، محصولات مهندسی سوخت و ساز و سوخت‌های زیستی نسل جدید	کشاورزی هوشمند	فرایندهای تولید پروتئین‌های نو ترکیب

ادامه جدول ۳

ردیف	اولویت علم و فناوری	حوزه‌های کاربردی کلیدی	برخی محصولات نوآورانه		
			افق ۲۰۲۰	افق ۲۰۲۵	افق ۲۰۳۰
۳	پزشکی و سلامت	۱. تشخیص مولکولی؛ ۲. شناسایی سازوکارهای بیماری‌زای سلولی و مولکولی؛ ۳. فناوری‌های سلولی زیست پزشکی؛ ۴. مواد زیست کامپوزیتی برای کاربردهای پزشکی؛ ۵. الکترودینامیک زیستی و پزشکی پرتویی؛ ۶. گذرنامه ژنومیک انسان؛ ۷. اکتشاف دارو.	پایش وضعیت بدن، واسط زیستی-الکتریکی، ربات‌های جراح و گذرنامه‌های ژنتیک	داروهای هوشمند، داروهای مبتنی بر سلول‌های زنده و مواد فرایندی بازتولیدی تحریک‌کننده	مواد زیستی جایگزین پذیر
۴	مواد جدید و نانوفناوری	۱. مواد کارکردی و ساختاری؛ ۲. مواد ترکیبی، فناوری‌های همگرا، مواد تقلیدی از طبیعت و مورد نیاز پزشکی؛ ۳. تشخیص مواد؛ ۴. شبیه‌سازی رایانه‌های مواد و فرایندها.	مواد برای سلول‌های الکتروشیمیایی	سامانه‌های دارورسانی، مواد زیست‌سازگار و مواد کامپوزیتی نانو ساختار	عناصر الکترونیکی مبتنی بر گرافن، فولرن، نانولوله‌های کربنی و نقاط کوانتومی و خودآرایی مولکولی
۵	استفاده بخردانه از طبیعت	۱. فناوری‌های ایمنی و حفاظت زیست محیطی؛ ۲. پایش محیط زیست، ارزیابی و آینده‌نگاری طبیعت و ضرورت‌های فناوری ژنی؛ ۳. استفاده بخردانه از منابع طبیعی؛ ۴. اکتشاف معدنی و توسعه یکپارچه منابع معدنی و هیدروکربنی؛ ۵. اکتشاف و کاربرد منابع اقیانوس، قطب شمال و قطب جنوب.	سامانه‌های پایش از دور	پردازش و بازیافت زیاله‌های همگانی و سامانه‌های پیچیده پردازش مواد خام معدنی و فناوری‌های بازیافت جدید	سامانه افزایش بازیافت نفت و منابع جایگزین انرژی

ادامه جدول ۳

ردیف	اولویت علم و فناوری	حوزه‌های کاربردی کلیدی	برخی محصولات نوآورانه		
			افق ۲۰۲۰	افق ۲۰۲۵	افق ۲۰۳۰
۶	سامانه‌های فضایی و حمل و نقل	<p>۱. مدل‌های تعادل اقتصادی- حمل و نقل و سامانه‌های حمل و نقل هوشمند با استفاده از منابع ابرمحاسبات در سطح اگزافلاپ؛</p> <p>۲. فناوری و مواد جدید برای ساخت و عملیات زیرساخت حمل و نقل در مناطق قطبی و زیرقطبی؛</p> <p>۳. فناوری برای کاهش اثرات مخرب حمل و نقل بر محیط زیست؛</p> <p>۴. فناوری‌ها برای اطمینان از سطح ایمنی در شرایط دشوار؛</p> <p>۵. خوشه‌های سفینه فضایی کوچک؛</p> <p>۶. هواپیماها و سفینه‌های فضایی برای راه‌اندازی ماهواره‌های کوچک زیرمداری؛</p> <p>۷. سامانه‌های انتقال انرژی بی‌سیم برای تجهیزات فضایی و حمل و نقل؛</p> <p>۸. سامانه‌های مستقل برای فرود هواپیماها و وسایل فضایی و ناوبری مستقل وسایل آبی و خشکی؛</p> <p>۹. عناصر انعطاف‌پذیر با عمر بالا برای سامانه‌های فضایی در حال حرکت و ساکن؛</p> <p>۱۰. مواد برای شرایط حدی پروازهای فضایی و سرعت بالا در محیط‌های آبی و خشکی.</p>	<p>افق ۲۰۲۰: آسانسور فضایی</p> <p>افق ۲۰۲۵: حمل و نقل هوشمند، حمل و نقل سبز و وسایل نقلیه نسل بعد</p> <p>افق ۲۰۳۰: نسلی جدید تقویت‌کننده‌ها، سامانه‌های حمل و نقل هوشمند، حمل و نقل سبز و وسایل نقلیه نسل بعد</p>	<p>سامانه‌های پایش شرایط برای وسایل نقلیه و مواد جدید برای آن‌ها</p>	

ادامه جدول ۳

ردیف	اولویت علم و فناوری	حوزه‌های کاربردی کلیدی	برخی محصولات نوآورانه		
			افق ۲۰۲۰	افق ۲۰۲۵	افق ۲۰۳۰
۷	کارایی انرژی و ذخیره انرژی	۱. مهندسی قدرت هسته‌ای ایمن؛ ۲. اکتشاف و استخراج سوخت‌های فسیلی به صورت کارا؛ ۳. استفاده کارا از منابع انرژی تجدیدپذیر؛ ۴. مهندسی قدرت و گرمای پاک به صورت کارا؛ ۵. آینده‌نگاری انرژی زیستی؛ ۶. ذخیره انرژی الکتریکی و گرمایی به صورت کارا؛ ۷. حمل و نقل سوخت و انرژی به صورت کارا؛ ۸. مدل‌سازی آینده‌نگرانه سامانه‌ها و فناوری‌های تولید قدرت؛ ۹. کاتالیست‌ها و مواد جدید برای مهندسی قدرت در آینده؛ ۱۰. مصرف انرژی به صورت کارا؛ ۱۱. توسعه پایه عناصر الکترونیکی پیشرفته برای مهندسی قدرت؛ ۱۲. سامانه‌های تولید قدرت هوشمند برای آینده؛ ۱۳. قدرت هیدروژنی؛ ۱۴. پردازش عمیق برای سوخت‌های ارگانیک.	نیروگاه‌های سیکل ترکیبی	فوتولتاییک با بازدهی بالا، شبکه‌های هوشمند، باتری‌های الکتروشیمیایی با ظرفیت بالا	سلول‌های سوختی و هیدرات‌های گازی

تحلیل محتوای اولویت‌های موضوعی علم و فناوری روسیه نشان می‌دهد این اولویت‌ها حول شش محور در حال شکل‌گیری است. جدول ۴ این شش حوزه و اولویت‌های مرتبط با

آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴ شش حوزه علم و فناوری و اولویت‌های روسیه مرتبط با آن‌ها

ردیف	حوزه‌های علم و فناوری	حوزه‌های کاربردی مرتبط	تعداد حوزه‌های کاربردی مرتبط (از ۵۴ حوزه)
۱	فناوری زیستی و سلامت	۱. توسعه مبانی علمی تحقیق و توسعه در زیست فناوری؛ ۲. زیست فناوری صنعتی؛ ۳. زیست فناوری کشاورزی؛ ۴. زیست فناوری زیست‌محیطی؛ ۵. زیست فناوری غذا؛ ۶. زیست فناوری جنگل؛ ۷. زیست فناوری آب. ۸. تشخیص مولکولی؛ ۹. شناسایی سازه‌های بیماری‌زای سلولی و مولکولی؛ ۱۰. فناوری‌های سلولی زیست پزشکی؛ ۱۱. مواد زیست کامپوزیتی برای کاربردهای پزشکی؛ ۱۲. الکترو دینامیک زیستی و پزشکی پرتویی؛ ۱۳. گذرنامه ژنومیک انسان؛ ۱۴. اکتشاف دارو.	۱۴
۲	انرژی	۱. مهندسی قدرت هسته‌ای ایمن؛ ۲. اکتشاف و استخراج سوخت‌های فسیلی به صورت کارا؛ ۳. استفاده کارا از منابع انرژی تجدیدپذیر؛ ۴. مهندسی قدرت و گرمای پاک به صورت کارا؛ ۵. آینده‌نگاری انرژی زیستی؛ ۶. ذخیره انرژی الکتریکی و گرمایی به صورت کارا؛ ۷. حمل و نقل سوخت و انرژی به صورت کارا؛ ۸. مدل‌سازی آینده‌نگرانه سامانه‌ها و فناوری‌های تولید قدرت؛ ۹. کاتالیست‌ها و مواد جدید برای مهندسی قدرت در آینده؛ ۱۰. مصرف انرژی به صورت کارا؛ ۱۱. توسعه پایه عناصر الکترونیکی پیشرفته برای مهندسی قدرت؛ ۱۲. سامانه‌های تولید قدرت هوشمند برای آینده؛ ۱۳. قدرت هیدروژنی؛ ۱۴. پردازش عمیق برای سوخت‌های ارگانیک.	۱۴

ادامه جدول ۴

ردیف	حوزه‌های علم و فناوری	حوزه‌های کاربردی مرتبط	تعداد حوزه‌های کاربردی مرتبط (از ۵۴ حوزه)
۳	فناوری فضایی	<p>۱. مدل‌های تعادل اقتصادی - حمل و نقل و سامانه‌های حمل و نقل هوشمند با استفاده از منابع ابرمحاسبات در سطح اگزا فلاپ؛</p> <p>۲. فناوری و مواد جدید برای ساخت و عملیات زیرساخت حمل و نقل در مناطق قطبی و زیرقطبی؛</p> <p>۳. فناوری‌ها برای کاهش اثرات مخرب حمل و نقل بر محیط زیست؛</p> <p>۴. فناوری‌ها برای اطمینان از سطح ایمنی در شرایط دشوار؛</p> <p>۵. خوشه‌های سفینه فضایی کوچک؛</p> <p>۶. هواپیماها و سفینه‌های فضایی برای راه‌اندازی ماهواره‌های کوچک زیرمداری؛</p> <p>۷. سامانه‌های انتقال انرژی بدون سیم برای تجهیزات فضایی و حمل و نقل؛</p> <p>۸. سامانه‌های مستقل برای فرود هواپیماها و وسایل فضایی و ناوبری مستقل وسایل آبی و خشکی؛</p> <p>۹. عناصر انعطاف‌پذیر با عمر بالا برای سامانه‌های فضایی در حال حرکت و ساکن؛</p> <p>۱۰. مواد برای شرایط حدی پروازهای فضایی و سرعت بالا در محیط‌های آبی و خشکی.</p>	۱۰
۴	فناوری اطلاعات	<p>۱. فناوری‌های ارتباط راه دور؛</p> <p>۲. فناوری‌های تحلیل و پردازش داده؛</p> <p>۳. اجزای سخت‌افزار، وسایل الکترونیک و ریاتیک؛</p> <p>۴. شبیه‌سازی و مدل‌سازی پیش-گویانه؛</p> <p>۵. الگوریتم‌ها و نرم‌افزار؛</p> <p>۶. امنیت اطلاعات؛</p> <p>۷. سامانه‌ها و معماری رایانه.</p>	۷

ادامه جدول ۴

ردیف	حوزه‌های علم و فناوری	حوزه‌های کاربردی مرتبط	تعداد حوزه‌های کاربردی مرتبط (از ۵۴ حوزه)
۵	محیط زیست	۱. فناوری‌های ایمنی و حفاظت زیست‌محیطی؛ ۲. پایش محیط زیست، ارزیابی و منابع معدنی و هیدروکربنی؛ ۳. استفاده بخردانه از منابع طبیعی؛ ۴. اکتشاف دارایی‌های زیرخاکی، اکتشاف معدنی و توسعه یکپارچه منابع معدنی و هیدروکربنی؛ ۵. اکتشاف و کاربرد منابع اقیانوس، قطب شمال و قطب جنوب.	۵
۶	فناوری نانو	۱. مواد کاربردی و ساختاری؛ ۲. مواد ترکیبی، فناوری‌های همگرا، مواد تقلیدی از طبیعت و مورد نیاز پزشکی؛ ۳. تشخیص مواد؛ ۴. شبیه‌سازی رایانه‌های مواد و فرایندها.	۴

همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، از مجموع ۵۴ اولویت علم و فناوری روسیه، ۱۴ مورد در حوزه فناوری زیستی و سلامت، ۱۴ مورد در حوزه انرژی، ۱۰ مورد در حوزه فناوری فضایی، هفت مورد در حوزه فناوری اطلاعات، پنج مورد در حوزه محیط زیست و چهار مورد هم در حوزه فناوری نانو است.

۴-۳- اولویت‌های موضوعی علم و فناوری در ایالات متحده

شورای ملی هوشمندی آمریکا^{۱۲} در پروژه‌ای برای تعیین روندهای جهانی علم و فناوری در سال ۲۰۲۵ علاوه بر تهیه سناریوها و آینده‌نگاری برای حوزه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، شش فناوری برافکن^{۱۳} (یا با کاربرد دوگانه) را در افق ۲۰۲۵ پیش‌بینی کرد.

«فناوری‌های برافکن» به عنوان فناوری‌هایی شناخته می‌شود که قابلیت آن را دارند که تنزل یا ارتقای چشم‌گیری (حتی کوتاه مدت) در یکی از ابعاد قدرت ملی امریکا داشته باشد. هم‌زمان با شناسایی این شش فناوری برافکن، برای هر کدام چهار سناریوی محتمل نیز پیش‌بینی شده است [۲۲]:

الف- زیست فناوری مرتبط با جوانی و سلامت: چهار سناریوی حوزه زیست فناوری مرتبط با جوانی و سلامت در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵ چهار سناریوی حوزه زیست فناوری مرتبط با جوانی و سلامت [۲۲]

استمرار تجاری‌سازی علم و فناوری		چهار سناریوی حوزه زیست فناوری مرتبط با جوانی و سلامتی	
جهان علم جدید	پیوندهای ضعیف و مخاطرات	پشتیبانی علمی و فنی محدود	رویکرد تأمین مالی و سیاست جهانی
حیوان جادو	علم سرکش	پشتیبانی علمی و فنی محدود	رویکرد تأمین مالی و سیاست جهانی
همیشه جوان	دوریان خاکستری	تقاضای عمومی و پشتیبانی قوی	

در سناریوی «حیوان جادو»، زیست فناوری به موفقیت‌هایی، اما فقط در پژوهش‌های مبتنی بر مدل‌های حیوانی و نه انسانی نائل می‌شود. در سناریوی «دوریان خاکستری»، حوزه زیست فناوری در نگرش عامه خوب است، اما پیشرفت‌های علمی در این حوزه محدود و اندک است. از سوی دیگر سیاست‌گذاران به شدت درباره مخاطرات و پیامدهای ناگوار تصمیمات خود نگران هستند. در سناریوی «علم سرکش»، زیست فناوری در دستیابی به قابلیت‌هایی که پیش‌بینی می‌شد شکست می‌خورد با این حال دانشمندان هم‌چنان به کسب موفقیت‌های کلیدی اطمینان دارند و امیدوار هستند. در سناریوی «همیشه جوان» پیشرفت‌هایی محقق می‌شود که دانشمندان برای معالجه و درمان سال‌خوردگان از طریق این فناوری پیش‌بینی می‌کردند.

ب- مواد ذخیره انرژی: چهار سناریوی حوزه مواد ذخیره انرژی در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶ چهار سناریوی حوزه مواد ذخیره انرژی [۲۲]

توسعه علوم مواد ذخیره انرژی		چهار سناریوی حوزه مواد ذخیره انرژی	
انقلابی	تکاملی		
فوق‌العاده پاک	بیهوده دویدن	توسعه منابع سوخت فسیلی	راهبرد سیاستی انرژی در سطح ملی و جهانی
اقتصاد هیدروژنی	نگهداری رقابتی	انتخاب سیاسی گسترده به منظور حرکت به سمت جایگزین‌ها	

در سناریوی «بیهوده دویدن» هیچ پیشرفتی در حل مسائل اساسی انرژی اتفاق نمی‌افتد و چالش‌های تولید و توزیع انرژی به صورت چشم‌گیر بدون حل باقی می‌ماند. در سناریوی «فوق‌العاده پاک»، پیشرفت‌های فناورانه حول محور کاهش آلودگی در سوخت‌های فسیلی و از جمله در ذغال سنگ، نفت و سایر منابع فسیلی برای حداقل ۲۰ سال رخ می‌دهد. در این سناریو منابع انرژی جایگزین چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد. در سناریوی «نگهداری رقابتی» کشورها در سراسر جهان از طریق وضع مقررات، ساخت ساختمان‌های سبز، توسعه کشاورزی و زیرساخت‌های کم‌انرژی، به رقابت با یکدیگر برای کاهش ائتلاف انرژی می‌پردازند. پیشرفت‌های بزرگی در فناوری‌های تولید ارزان هیدروژن، ذخیره ارزان، متراکم و سبک هیدروژن و توزیع سریع و آسان هیدروژن در سناریوی «اقتصاد هیدروژنی» رخ می‌دهد.

ج- سوخت زیستی و مواد شیمیایی با پایه زیستی: چهار سناریوی حوزه سوخت زیستی و مواد شیمیایی با پایه زیستی در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷ چهار سناریوی حوزه سوخت زیستی و مواد شیمیایی با پایه زیستی [۲۲]

میزان پیشرفت فناوری		چهار سناریوی حوزه سوخت زیستی و مواد شیمیایی	
سریع	تدریجی	با پایه زیستی	
زیست سوخت اقتصادی	متوقف	فقدان پشتیبانی	رویکرد تأمین مالی و سیاست‌گذاری جهانی
زیست سوخت در مسیر سریع	رشد حمایتی	تعهد قوی	

در سناریوی «رشد حمایتی» پیشرفت در فناوری سوخت زیستی بسیار کند است و بیشتر غلات غذایی به نسبت گران برای مصرف خوراکی استفاده می‌شود و بدین ترتیب استفاده از آن‌ها در سوخت زیستی مقرون به صرفه نخواهد بود. در سناریوی «زیست سوخت اقتصادی»، بخش خصوصی پیشران اصلی برای رشد پایدار سوخت‌های زیستی است. در سناریوی «متوقف» چشم‌انداز اقتصادی چشم‌گیری برای سوخت‌های زیستی متصور نیست. ایالات متحده و سایر کشورها کمک‌های مالی برای توسعه سوخت‌های زیستی را کاهش می‌دهند چرا که به این نتیجه می‌رسند که توسعه سوخت‌های زیستی هدفی بلند پروازانه است. در سناریوی «زیست سوخت در مسیر سریع»، دولت ایالات متحده با جهانی روبه‌رو است که به لحاظ انرژی به شدت با محدودیت مواجه است و به راه‌حل‌های انرژی مطمئن‌تر، امن‌تر، پاک‌تر و جدید نیاز دارد و راه‌حل آن توسعه سوخت زیستی است.

د- فناوری‌های ذغال سنگ پاک: چهار سناریوی حوزه فناوری‌های ذغال سنگ پاک در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸ چهار سناریوی حوزه فناوری‌های ذغال سنگ پاک [۲۲]

میزان پیشرفت فناوری		چهار سناریوی حوزه فناوری‌های ذغال سنگ پاک	
سریع	تدریجی	پاک	
شاه ذغال	ثروت، نه سلامت	رشد اقتصاد	رویکرد تأمین مالی و سیاست‌گذاری جهانی
همین حالا اقدام کن	ذغال سنگ را در زمین‌ها کن	نگهداری آب و هوا	

در سناریوی «ثروت نه سلامت»، قدرت حاصل از ذغال سنگ، دی‌اکسیدکربن بیشتری نسبت به هر منبع اصلی دیگر انرژی تولید می‌کند. انتشار گازهای گلخانه‌ای به تغییرات آب و هوایی در کره زمین منجر می‌شود. در سناریوی «همین حالا اقدام کن» صنعت گاز طبیعی و نفت با رقابت جدیدی روبه‌رو می‌شوند؛ بدین معنی که ظهور فناوری‌های جدید که سازگار با محیط زیست هم هستند، صنعت نفت و گاز را با تهدید روبه‌رو می‌کند. در سناریوی «ذغال سنگ را در زمین رها کن»، امید به فناوری‌های ذغال سنگ پاک کم‌رنگ می‌شود، اما مقررات با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای محدودیت‌های جدی بر صنعت ذغال سنگ خواهد داشت. در سناریوی «شاه ذغال» رشد سریع اقتصادی موجب افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود، اما بخش خصوصی مسئولیت تأمین مالی توسعه فناوری‌های ذغال سنگ پاک را فراهم می‌کند.

ه- **رباتیک خدماتی:** چهار سناریوی حوزه رباتیک خدماتی در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹ چهار سناریوی حوزه رباتیک خدماتی [۲۲]

پیشرفت فناوری		چهار سناریوی حوزه رباتیک خدماتی	
تغییر مثبت	پیوندهای ضعیف	ضعف دولت و علاقه صنعتی	رویکرد تأمین مالی و علاقه
شکیبایی گم‌شده	محصولات حاشیه‌ای	پشتیبانی، تأمین مالی و مقررات	
جهان خودمختار	شبه خودمختار		

در سناریوی «شکیبایی گم‌شده» به جای تجاری‌سازی ربات‌ها، پیشرفت‌ها در فناوری‌های توانمندسازی رخ می‌دهد که اغلب در خدمات و محصولات مانند وسایط نقلیه الکترونیکی است. در سناریوی «شبه خودمختار» فقط پیشرفت‌های پایدار در فناوری‌های توانمندساز مرتبط با رباتیک ملاحظه می‌شود. در سناریوی «محصولات حاشیه‌ای»، پیشرفت‌های پیش‌بینی شده در رباتیک و فناوری‌های توانمندساز هرگز به وقوع نمی‌پیوندد. در سناریوی «جهان خودمختار» پیشرفت‌های بزرگ و گسترده‌ای در فناوری‌های توانمندساز مرتبط با رباتیک رخ می‌دهد.

و- **اینترنت اشیا:** چهار سناریوی حوزه اینترنت اشیا در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۱۰ چهار سناریوی حوزه اینترنت اشیا [۲۲]

عمق نفوذ		چهار سناریوی حوزه اینترنت اشیا	
گسترده	کاربردهای عمودی	سریع	دوره زمانی توسعه
تعامل محیطی	احتراق سریع	تدریجی	
کند ولی مطمئن	گوشه‌های متصل		

در سناریوی «احتراق سریع» توسعه اینترنت اشیا به سرعت رخ می‌دهد، اما در کاربردهای محدود و ویژه و فراگیر نخواهد شد. در سناریوی «کند ولی مطمئن» اینترنت اشیا فراگیر خواهد شد، اما زودتر از سال ۲۰۳۵ رخ نخواهد داد. اینترنت اشیا در سناریوی «گوشه‌های متصل» از طریق مسیرهای کاربردی رشد می‌کند که به سرعت گسترش می‌یابد و می‌تواند بر موانع و مقاومت‌ها غلبه کند. اینترنت اشیا در سناریوی «تعامل محیطی» به سرعت فراگیر می‌شود و از طریق پیشرفت‌های فناوری، همکاری‌های کسب و کار و سیاست‌های نوآورانه پشتیبانی می‌شود.

تحلیل محتوای اولویت‌های موضوعی علم و فناوری ایالات متحده نشان می‌دهد این اولویت حول محور چهار حوزه علم و فناوری در حال شکل‌گیری است. جدول ۱۱ این چهار حوزه و اولویت‌های مرتبط با آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱ چهار حوزه علم و فناوری و اولویت‌های ایالات متحده مرتبط با آن‌ها

ردیف	حوزه‌های علم و فناوری	فناوری‌های برافکن مرتبط	تعداد حوزه‌های کاربردی مرتبط (از ۶ حوزه)
۱	انرژی	۱- مواد ذخیره انرژی؛ ۲- سوخت زیستی و مواد شیمیایی با پایه زیستی؛ ۳- فناوری‌های ذغال سنگ پاک	۳
۲	فناوری اطلاعات	۱- رباتیک خدماتی ۲- اینترنت اشیا	۲
۳	فناوری زیستی و سلامت	۱- زیست فناوری مرتبط با جوانی و سلامت	۱
۴	فناوری نانو	۱- مواد ذخیره انرژی	۱

همان طور که در جدول ۱۱ ملاحظه می‌شود، از مجموع شش اولویت علم و فناوری ایالات متحده ۳ مورد در حوزه انرژی، دو مورد در حوزه فناوری اطلاعات، یک مورد در حوزه فناوری زیستی و سلامت و ۱ مورد هم در حوزه فناوری نانو است.

۴-۴- اولویت‌های موضوعی علم و فناوری در چین

در آینده‌نگاری علم و فناوری چین که در افق سال ۲۰۵۰ انجام شده است، ۲۲ ابتکار عمل راهبردی در پنج حوزه کلیدی به عنوان اولویت‌های موضوعی علم و فناوری چین بیان شده است. هر ابتکار عمل یک اولویت را در یکی از حوزه‌های علم و فناوری بیان می‌کند [۲۳]. شش اولویت راهبردی علم و فناوری برای افزایش رقابت‌پذیری بین‌المللی چین در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۱۲ اولویت‌های راهبردی علم و فناوری برای افزایش رقابت‌پذیری بین‌المللی چین [۲۳]

ردیف	اولویت راهبردی علم و فناوری	شرح مختصر
۱	فناوری‌های جدید شبکه «پسا آی پی» و بستر آزمایش آن	سه رویکرد برای توسعه زیرساخت‌های شبکه‌های جدید اینترنت متصور است: نخست توسعه پروتکل‌های جدید مبتنی بر شبکه اینترنت موجود، دوم ساخت شبکه‌های پوششی مبتنی بر شبکه‌های آی‌پی موجود و سوم جایگزینی اینترنت موجود با شبکه‌های پسا‌آی‌پی با هدف توسعه زیرساخت‌های ارزان و فراگیر که می‌تواند توسعه جامعه اطلاعاتی را در چین پاسخ دهد.
۲	تولید کارخانه‌ای سبز	اکنون مصرف و تولید کارخانه‌ای مواد خام اساسی نظیر فولاد، فلزات غیر آهنی، رزین‌های مصنوعی، لاستیک، سیمان و شیشه در چین در حال افزایش است. بنابراین تأکید بر توسعه فناوری‌های ارزان و کم-هزینه برای تولید مواد خام با کیفیت امری ضروری است.
۳	مهندسی فرایندهای کارتر، پاک‌تر و به کارگیری دوباره منابع	تحقیق و توسعه آینده باید بر تولید پاک و فناوری‌های مقرون به صرفه که قادر به کنترل منابع آلودگی و منابع کارا است، متمرکز می‌شود.



ادامه جدول ۱۲

ردیف	اولویت راهبردی علم و فناوری	شرح مختصر
۴	سامانه‌های تولید کارخانه‌ای اطلاعاتی شده مبتنی بر حسگر فراگیر	با بلوغ فناوری‌هایی نظیر شبکه بی‌سیم صنعتی، شبکه حسگر، شناسایی بر اساس بسامد رادیویی و سامانه‌های الکترومکانیکی در مقیاس میکرو، قابلیت انسان در کنترل و استفاده از اطلاعات به شدت افزایش یافته است.
۵	فناوری اَبَرایانش اِکْزَا	قابلیت اَبَرایانش، شایستگی اصلی یک کشور در عصر اطلاعات است. به ویژه با توسعه سریع علوم زندگی، تقاضای گسترده‌ای برای اَبَرایانش شکل گرفته است. بدین منظور چین در تلاش برای توسعه یک شبیه‌ساز زندگی است.
۶	طراحی مولکولی نژادها و محصولات گیاهی و حیوانی	شناسایی تعداد زیادی از ژن‌های ارزشمند در تولید مثل، پیش‌روی از طراحی مولکولی به سطح طراحی انحصاری محصولاتمانند برنج و گندم، رسیدن به طراحی مولکولی و بهبود ویژگی‌های کلیدی گونه‌های جانوری مانند گاو و گوسفند و موارد مشابه از جمله اهداف مورد نظر است.

هفت اولویت راهبردی علم و فناوری برای افزایش توسعه پایدار در چین در جدول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۳ اولویت‌های راهبردی علم و فناوری برای افزایش توسعه پایدار در چین [۲۳]

ردیف	اولویت راهبردی علم و فناوری	شرح مختصر
۱	برنامه «۴۰۰۰ متر زیر زمین»	پیش‌بینی منابع معدنی که در اعماق زمین واقع است، مسیرهای جدیدی را در اکتشاف آینده گسترده است. هدف اصلی در این برنامه شناسایی و دسترسی نظری و فنی به مناطق اصلی‌ای است که در عمق زیاد دارای منابع معدنی گسترده است.
۲	سامانه‌های تولید انرژی تجدیدپذیر جدید	سهم انواع جدید انرژی‌های تجدیدپذیر، به تدریج در سبد آینده انرژی افزایش می‌یابد. سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های تولید برق از انرژی خورشیدی و تولید گرما از انرژی خورشیدی در این حوزه رو به گسترش است.

ادامه جدول ۱۳

ردیف	اولویت راهبردی علم و فناوری	شرح مختصر
۳	تولید انرژی زمین-گرایی عمیق	انرژی زمین‌گرمایی با درجه بالا شامل زمین‌گرمایی گرمایی و صخره‌های داغ خشک است. انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ ظرفیت این فناوری تا ۱۰٪ از ظرفیت تولید انرژی را در چین به خود اختصاص دهد.
۴	سامانه انرژی هسته‌ای جدید	مسئله اصلی برای انرژی شکافت، محدودیت سوخت و آثار زیست محیطی است. در حوزه انرژی هسته‌ای، چین برنامه‌هایی نظیر ساخت راکتور بزرگ و پیشرفته آب پرفشار، ساخت راکتور گازی دمای بالا، ادامه پروژه ابرسانا و مشارکت در پروژه راکتور بین‌المللی را دنبال خواهد کرد.
۵	توسعه ظرفیت دریایی	در این زمینه، پروژه‌های نظیر ساخت شبکه رصد و جستجوی چند بعدی و هم-زمان دریایی، ساخت سامانه‌های یکپارچه‌سازی و پردازش داده‌های زمین، آسمان و دریا و تقویت قابلیت توسعه و بهره‌برداری از دریا هدف‌گذاری شده است.
۶	سلول‌های بنیادی و پزشکی ترمیمی	پیشرفت‌های فعلی در حوزه سلول‌های بنیادی و چشم‌اندازهای کاربرد این فناوری به عنوان مبنای توسعه پزشکی ترمیمی، امکان تحقق رؤیا به حقیقت را فراهم می‌کند.
۷	تشخیص زود هنگام و مداخلات نظام‌مند بیماری‌های مزمن	هدف اصلی در این برنامه، نخست، بالا بردن سنی است که در آن بیماری‌های مزمن رخ می‌دهد و دوم، کاهش آثار مضر بیماری‌های مزمن بر مردم چین است.

دو اولویت راهبردی علم و فناوری برای افزایش امنیت عمومی و ملی چین در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۴ اولویت‌های راهبردی علم و فناوری برای افزایش امنیت عمومی و ملی چین [۲۳]

ردیف	اولویت راهبردی علم و فناوری	شرح مختصر
۱	شبکه آگاهی وضعیت فضایی	هدف اصلی در این برنامه، ساخت شبکه آگاهی از وضعیت فضایی با وضوح بالا، به صورت تمام وقت و در همه شرایط آب و هوایی است.
۲	سامانه‌های مدیریت موازی و رایانش اجتماعی	ظهور عصر هوشمندی منبع‌باز، امنیت ملی را با چالش‌های بزرگ روبرو کرده است. به عنوان مثال توسعه شبکه ممکن است منجر به «ضمنی‌سازی» جهان شود بدین معنی که سازمان‌های غیردولتی و افراد می‌توانند به صورت ضمنی موجب آسیب جدی به استقلال کشورها شوند و مقررات اقتصادی و سیاسی را در جهان تغییر دهند.

چهار اولویت راهبردی علوم پایه که به احتمال زیاد پیشرفت متحولانه برای چین به دنبال دارد، در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۵ اولویت‌های راهبردی علم و فناوری برای پیشرفت تحول‌آفرین چین [۲۳]

ردیف	اولویت راهبردی علم و فناوری	شرح مختصر
۱	اکتشاف ماده تاریک و انرژی تاریک	چین در این برنامه به دنبال کسب سهم آشکار در انقلابی است که هم‌اکنون در فیزیک در حال رخ دادن است.
۲	کنترل ساختار ماده	چین به دنبال توسعه منابع پیشرفته نور، منابع نوترون، خلق شرایط بحرانی با دمای پایین، فشار بالا، میدان‌های الکترومغناطیسی بسیار قوی و ساخت دقیق در مقیاس نانو است.
۳	زیست‌شناسی ترکیبی و زندگی مصنوعی	چین به دنبال دستیابی به ساخت واحدهای ساختمانی مولکولی و تحلیل شبکه‌های متابولیسی - فیزیولوژیکی است.
۴	سازوکار فتوسنتز	هدف چین در این حوزه، بهبود کارایی استفاده از انرژی نور تا ۲۰ درصد و تحقق پیشرفت علمی به منظور درک سازوکار مولکولی فتوسنتز تا ۲۰ سال آینده است.

سه اولویت راهبردی میان رشته‌ای نوظهور و پژوهش لبه دانش در جدول ۱۶ نشان داده شده است.

جدول ۱۶ اولویت‌های راهبردی میان رشته‌ای نوظهور و پژوهش لبه دانش [۲۳]

ردیف	اولویت راهبردی علم و فناوری	شرح مختصر
۱	علوم و فناوری نانو	علوم و فناوری نانو قابلیت تأثیر اساسی در آینده علم و فناوری و توسعه اقتصادی دارد و مرز اهمیت راهبردی نزاع‌های فناوری پیشرفته در جهان امروز است.
۲	علوم فضایی	علوم فضایی حوزه‌ای میان رشته‌ای است که با پدیده‌های طبیعی و قوانین آن‌ها در فیزیک، ستاره‌شناسی، شیمی و علوم زندگی سروکار دارد و در فضای خورشیدی - زمینی، فضای میان سیاره‌ای و جهانی رخ می‌دهد.
۳	سامانه‌های پیچیده و ریاضیات	تلاش اصلی در مطالعات سامانه‌های پیچیده یا علوم پیچیدگی، یافتن اصول پایه پشت انواع گوناگون سامانه‌های پیچیده است.

تحلیل محتوای اولویت‌های موضوعی علم و فناوری چین نشان می‌دهد این روندها حول محور هفت حوزه علم و فناوری در حال شکل‌گیری است. جدول ۱۷ این هفت حوزه و اولویت‌های مرتبط با آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۷- هفت حوزه علم و فناوری و اولویت‌های چین مرتبط با آن‌ها

ردیف	حوزه‌های علم و فناوری	اولویت‌های راهبردی مرتبط	تعداد اولویت‌های راهبردی مرتبط (از ۲۲ حوزه)
۱	فناوری زیستی و سلامت	۱- طراحی مولکولی نژادها و محصولات گیاهی و حیوانی؛ ۲- سلول‌های بنیادی و پزشکی ترمیمی؛ ۳- تشخیص زود هنگام و مداخلات نظام‌مند بیماری‌های مزمن مهم؛ ۴- زیست‌شناسی ترکیبی و زندگی مصنوعی؛ ۵- سازوکار فتوسنتز.	۵
۲	انرژی	۱- برنامه «۴۰۰۰ متر زیر زمین»؛ ۲- سامانه‌های تولید انرژی تجدیدپذیر جدید؛ ۳- تولید انرژی زمین‌گرمایی عمیق؛ ۴- سامانه انرژی هسته‌ای جدید؛ ۵- اکتشاف ماده تاریک و انرژی تاریک.	۵
۳	فناوری اطلاعات	۱- اصول و فناوری‌های جدید شبکه «پسا آی پی» و بستر آزمایش اطلاعاتی شده مبتنی بر حسگر آن؛ ۲- فناوری ابررایانش اگزا؛ ۳- سامانه‌های تولید کارخانه‌ای فراگیر؛ ۴- سامانه‌های پیچیده و ریاضیات.	۴
۴	فناوری نانو	۱- مهندسی فرایندهای کارا تر، پاک، تر و به‌کارگیری دوباره منابع؛ ۲- سامانه‌های تولید کارخانه‌ای اطلاعاتی شده مبتنی بر حسگر فراگیر؛ ۳- کنترل ساختار ماده.	۳
۵	محیط زیست	۱- تولید کارخانه‌ای سبز؛ ۲- توسعه ظرفیت دریایی.	۲
۶	فناوری فضایی	۱- شبکه آگاهی از وضعیت فضایی؛ ۲- علوم فضایی.	۲
۷	فناوری اجتماعی	۱- سامانه‌های مدیریت موازی و رایانش اجتماعی.	۱

همان طور که در جدول ۱۷ ملاحظه می‌شود، از مجموع ۲۲ اولویت راهبردی علم و فناوری چین، پنج مورد در حوزه فناوری زیستی و سلامت، پنج مورد در حوزه انرژی، چهار مورد در حوزه فناوری اطلاعات، سه مورد در حوزه فناوری نانو، دو مورد در حوزه محیط زیست، دو مورد در حوزه فناوری فضایی و یک مورد هم در حوزه فناوری اجتماعی است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

همچنان که اشاره شد علم و فناوری در طی هزار سال پیش تا میانه سده بیستم تقریباً روندی واگرایانه داشته است. در میانه سده بیستم با ظهور جریان میان رشته‌ای و سپس در اوایل سده بیست و یکم با ظهور جریان علوم و فناوری‌های نوپدید، روند همگرایانه علوم و فناوری آغاز شده است. چنین به نظر می‌رسد که روندهای علوم و فناوری در آینده بیش از پیش به سمت همگرایی میل پیدا کند. مطالعه اولویت‌های موضوعی علوم و فناوری در سه کشور منتخب آمریکا (در افق سال ۲۰۲۵)، روسیه (در افق سال ۲۰۳۰) و چین (در افق سال ۲۰۵۰) و نیز گزارش روندهای نوظهور ارتش آمریکا (در افق سال ۲۰۴۵) نیز بر این موضوع صحت می‌گذارد. تحلیل محتوا و مضامین اولویت‌های موضوعی بیان شده در این چهار گزارش نشان می‌دهد اولویت‌های موضوعی علم و فناوری در آینده نخست حول محور حوزه فناوری اطلاعات خواهد بود. پس از آن علم و فناوری در آینده حول محور حوزه‌های فناوری زیستی و سلامت، انرژی و فناوری نانو اولویت‌گذاری شده است. در ادامه با انجام تحلیل محتوای کیفی اولویت‌های موضوعی در چهار گزارش یادشده، اولویت‌های موضوعی حول محورهای: ۱- فناوری اطلاعات، ۲- فناوری زیستی و سلامت، ۳- انرژی و ۴- فناوری نانو به تفکیک در جدول ۱۸ نشان داده می‌شود.

جدول ۱۸ اولویت‌های علم و فناوری آینده مرتبط با چهار حوزه یادشده

تعداد اولویت‌های فناوری نانو	تعداد اولویت‌های انرژی	تعداد اولویت‌های فناوری زیستی و سلامت	تعداد اولویت‌های فناوری اطلاعات	گزارش
۲	۱	۳	۱۵	روندهای نوظهور علم و فناوری در افق ۲۰۴۵
۱	۳	۱	۲	اولویت‌های موضوعی علم و فناوری امریکا در افق ۲۰۲۵
۴	۱۴	۱۴	۷	اولویت‌های موضوعی علم و فناوری روسیه در افق ۲۰۳۰
۵	۵	۵	۴	اولویت‌های موضوعی علم و فناوری چین در افق ۲۰۵۰
۱۲	۲۳	۲۳	۲۸	جمع

با توجه به نکات یادشده می‌توان گفت محور نخست همگرایی در علم و فناوری در سطح جهان، فناوری اطلاعات است. این فناوری هم‌چنان که موجب تغییرات گسترده‌ای در بسیاری از حوزه‌ها نظیر ارتباطات، سلامت، رسانه، حکمرانی، حمل و نقل و مدیریت شده است [۲۴]، در علم و فناوری نیز تأثیرگذار بوده است. اکنون اولویت‌گذاری موضوعی در بسیاری از سیاست‌گذاری‌های علم و فناوری در جهان حول محور فناوری اطلاعات صورت می‌پذیرد. پس از آن، حوزه فناوری زیستی و سلامت، محور دوم در همگرایی علم و فناوری در آینده است، هم‌چنین انرژی و فناوری نانو به ترتیب سومین و چهارمین محور همگرایی علم و فناوری با رویکرد آینده‌نگرانه است.

افزایش کیفیت سیاست‌گذاری علم و فناوری از برنامه‌های اصلی کشورهای مختلف است [۲۵]. در حالی که در اواخر سده بیستم توجه اصلی در سیاست‌گذاری علم و فناوری معطوف به اولویت‌گذاری کارکردی بوده، در اوایل سده بیست و یکم، اولویت‌گذاری موضوعی دوباره



مورد توجه قرار گرفته است. این توجه ناشی از محدودیت در بودجه‌های عمومی، جهانی شدن و تقسیم کار جهانی پژوهش است [۲۶]. تحلیل اولویت‌گذاری موضوعی با رویکرد آینده‌نگری علم و فناوری در این پژوهش نشان می‌دهد که بسیاری از کشورهای جهان به سمت علوم و فناوری‌های ویژه‌ای همگرا می‌شوند که بیشتر علوم و فناوری‌های میان رشته‌ای و نوظهور هستند.

مطالعاتی که توسط سایر پژوهشگران انجام شده نیز بر همگرایی علم و فناوری در آینده تأکید می‌کند. نخستین گزارش درباره همگرایی علم و فناوری توسط بنیاد ملی علم ایالات متحده منتشر شد که بر همگرایی چهار حوزه فناوری نانو، فناوری زیستی، فناوری اطلاعات و علوم شناختی تأکید کرده و هم‌افزایی و یکپارچگی آن‌ها را با ذکر نمونه‌های متعدد نشان می‌دهد [۱۲]. پس از آن کمیسیون پژوهشی اروپا با انتشار گزارشی، با اتخاذ رویکردی تکثرگرا، همگرایی را شامل همه حوزه‌های علم و فناوری دانست، ولی اولویت چهار حوزه فناوری نانو، علوم زندگی، فناوری اطلاعات و علوم اجتماعی و انسانی را ویژه برشمرد [۱۳]. بدین ترتیب همگرایی در چهار حوزه فناوری نانو، فناوری اطلاعات، فناوری زیستی و علوم شناختی، توأم با ایجاد تحول در تکامل علم و فناوری، فرصت‌هایی را برای پیشرفت علم، مهندسی، کسب و کار و سیاست‌گذاری فراهم می‌کند [۲۷]. در پژوهش دیگری نشان داده می‌شود که روند بین‌المللی در پژوهش‌های علم و فناوری به سمت حوزه‌های معینی، سیاست علم و فناوری، پزشکی، فناوری فرایند مواد، انرژی‌های تجدیدپذیر، رایانه و نورشناسی [۱۴] در حال همگرایی است. پژوهشگر دیگری ویژگی انقلاب صنعتی چهارم را همگرایی فناوری‌های زیستی، فیزیکی و دیجیتال می‌داند که اکنون در آغاز آن قرار داریم [۲۸].

با توجه به نتایج این پژوهش، توصیه‌های سیاستی زیر در این حوزه راه‌گشا خواهد بود:

الف- پایش مستمر اسناد، گزارش‌ها و پژوهش‌های مرتبط با آینده‌نگاری و اولویت‌گذاری موضوعی علم و فناوری در کشورهای دیگر به ویژه کشورهای سرآمد در این حوزه؛
ب- اولویت‌گذاری موضوعی علم و فناوری در کشور همسو و همگرا با روندهای جهانی (و البته متناسب با نیازهای کشور) به ویژه با رویکرد آینده‌نگرانه و به کارگیری مطالعات تطبیقی با سایر کشورها؛

ج- اولویت‌گذاری ملی در حوزه فناوری اطلاعات به ویژه اینترنت اشیا، پردازش ابری،

افزودنی‌های انسانی، سامانه‌های خودمختار، سامانه‌های پیچیده، امنیت اطلاعات، واقعیت ترکیبی، شبیه‌سازی و مدل‌سازی، رباتیک؛

د- اولویت‌گذاری ملی در حوزه فناوری زیستی و سلامت به ویژه پیشرفت‌های پزشکی، فناوری سلولی زیست‌پزشکی، سلول‌های بنیادی و پزشکی ترمیمی، زیست‌شناسی ترکیبی، فناوری آب و غذا؛

ه- اولویت‌گذاری ملی در حوزه انرژی به ویژه انرژی هسته‌ای، انرژی‌های تجدیدپذیر، سوخت هیدروژنی، مواد ذخیره انرژی؛

و- اولویت‌گذاری ملی در حوزه فناوری نانو به ویژه مواد پیشرفته، مواد تقلیدی از طبیعت و مورد نیاز پزشکی، کنترل ساختار ماده.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Interdisciplinary
2. Emergent science and technologies
3. Disciplinarity
4. Multidisciplinarity
5. Interdisciplinarity
6. Transdisciplinarity
7. Qualitative content analysis
8. Conventional
9. Directed
10. Summative
11. National Intelligence Council (NIC)
12. Disruptive technology

۷- فهرست منابع

- [1] Bahrani, M., (2013), Discipline, interdiscipline and classification of knowledge, interdisciplinary studies in the humanities, 5(19): 37-59.
- [2] Challaye, F., (1976), Les principes généraux de la Science et de la Morale, translation by Mahdavi, Y., Tehran: University of Tehran Publication.
- [3] Seghatoleslami, A., (2010), Does the history of engineering require the philosophy of engineering?, Philosophical investigations, 6(17): 97-123.

- [4] Martin, B.R., (1995), Foresight in science and technology, *Technology analysis and strategic management*, 7(2): 139- 168.
- [5] MSRT, (2009), *The strategic transformation of science and technology in Iran*.
- [6] Ghazinoory, S.S., Ghazinoori, S.S., (2014), *Introduction to science, technology and innovation policy*, Tehran: Tarbiat Modares University Publication.
- [7] Marzban, E., Mohammadi, M., (2016), Future scenarios for power management in Iran, *Management researches in Iran*, 20(3): 177-204.
- [8] Martin, B.R., (2001), Technology foresight in a rapidly globalization economy, *Regional conference on technology foresight for CEE and NIS countries*, 4-5 April, Vienna, Austria.
- [9] National Academy of Science, National Academy of Engineering & Institute of Medicine, (2005), *Facilitating Interdisciplinary Research*. Washington, DC: National Academies Press.
- [10] Klein, J.T., (1996), *Crossing boundaries: Knowledge, disciplinarity, and interdisciplinarity*, Charlottesville: University Press of Virginia.
- [11] Noorden, R.V., (2015), Interdisciplinary research by the numbers: An analysis reveals the extent and impact of research that bridges disciplines, *Nature: International Weekly Journal of Science*, 525: 306- 307, Online available at: <http://www.nature.com/news/interdisciplinary-research-by-the-numbers-1.18349>.
- [12] NSF, (2002), *DOC-sponsored report, Converging Technologies for Improving Human Performance Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, Edited by Mihail C. Roco and William Sims Bainbridge, National Science Foundation.
- [13] Nordmann, A., (2004), *Converging Technologies Shaping the Future of European Societies, A report from high level expert group on Foresighting the Technology Wave*.
- [14] Jeong, D-h., Koo, Y., (2016), Analysis of trend and convergence for science and technology using the VOSviewer, *International Journal of Contents*, 12(3): 54-58.

- [15] Danaee, F.H., Shekari, H., (2010), Promoting interpretive paradigm in organizational theory: a reflection on organizational storytelling approach, *Organizational culture management*, 8(21): 33-61.
- [16] Saunders, M.N.K., Lewis, P., Thornhill, A., (2003), *Research methods for business students* (3rd Ed), Harlow: FT Prentice Hall.
- [17] Zhang, Y., (2006), Content analysis (qualitative, thematic). Online available at: <http://www.ils.unc/yanz/content20%analysis.pdf>.
- [18] Patton, M.Q., (2002), *Qualitative Research & Evaluation Methods*, Thousand Oak, California: Sage Publication.
- [19] Graneheim, U.H., Lundman, B., (2004) *Qualitative Content Analysis in nursing research: Concepts, Procedures and Measures to achieve trustworthiness*. *Nursing Education Today*. 24.
- [20] Augustyn, J., (2016), *Emerging Science and Technology Trends: 2016- 2045: A Synthesis of Leading Forecasts*, USA: Office of the Deputy Assistant Secretary of the Army (Research & Technology).
- [21] Sokolov, A. and Chulok, A., (2014), *Russian S&T Foresight 2030: Looking for New Drivers of Growth*, European Commission. Online available at: https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/fta2014-t1Practice_177.pdf.
- [22] NIC, (2008), *Disruptive Civil Technologies: Six Technologies with Potential Impacts on US Interests Out to 2025*. Online available at: <https://fas.org/irp/nic/disruptive.pdf>.
- [23] Lu, Y., (2010), *Science and Technology in China: A Roadmap to 2050*, Strategic General Report of the Chinese Academy of Sciences, China: Science Press Beijing and Springer.
- [24] Ghorbanizadeh, V., Hasan-Nangir, S.T., Roodsaz, S.H., (2013), Meta-analysis of affecting factors on the information technology acceptance in Iran, 17(2): 177-196.
- [25] Sarabadani, A., Tabatabaian, S.H., Mir-moezi, S.H., Amiri, M., (2016), Improving the quality of policymaking in science and technology by an Islamic-Iranian

approach: A qualitative study, Modern researches in decision making, 1(1): 167-188.

- [26] Gassler, H., Polt, W., Schnider, J., Weber, M., Mahroum, S., Kubeczko, K., (2003), Priorities in science and technology policy- an international comparison, Commissioned by the Austrian council for research and technology development, Vienna.
- [27] Bainbridge, W.S., Roco, M.C., (2016), Science and technology convergence: with emphasis for nanotechnology-inspired convergence, Journal of nanoparticle research, 18(211): 5- 19.
- [28] Schwab, K., (2017), The fourth industrial revolution, Crown Business Publisher.