

# رصد تحولات فناوری در آینده از نگاه مؤسسات بین‌المللی (مکنزی، گارتنر، امپریال کالج لندن و مجمع جهانی اقتصاد)





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تاریخ انتشار:  
۱۴۰۲/۱۱/۱۰



مرکز پژوهش‌های  
مجلس شورای اسلامی

شماره مسلسل: ۱۹۵۹۹  
کد موضوعی: ۳۱۰

عنوان گزارش:  
رصد تحولات فناوری در آینده از نگاه مؤسسات بین‌المللی  
(مکنزی، گارتنر، امپریال کالج لندن و مجمع جهانی اقتصاد)

نام دفتر:  
مطالعات انرژی، صنعت و معدن

مدیر مطالعه:  
سهیلا خردمندنیا

تهیه و تدوین‌کننده:  
زهرا جعفری (گروه فناوری‌های نوین)

ناظران علمی:  
حبیب‌اله ظفریان، سعید شجاعی

اظهار نظرکنندگان:  
سیدمسعود شریفی (گروه مخابرات و فناوری ارتباطات)،  
معصومه خان احمدی (مدیر توسعه فناوری‌های آینده صندوق نوآوری و شکوفایی)

گرافیک و صفحه‌آرایی:  
نفیسه حاجی‌صفری

ویراستار ادبی:  
زهرا عطاردی

واژه‌های کلیدی:

۱. فناوری
۲. گارتنر
۳. امپریال کالج لندن
۴. مکنزی
۵. هوش مصنوعی
۶. محاسبات
۷. فناوری‌های کوانتومی
۸. انرژی‌های تجدیدپذیر
۹. مهندسی زیستی



تاریخ شروع مطالعه:  
۱۴۰۲/۸/۱

## فهرست مطالب

چکیده.....	۶
خلاصه مدیریتی.....	۷
۱. مقدمه.....	۹
۲. مفهوم روندهای آینده فناوری و اهمیت آن.....	۱۰
۳. معرفی روندهای آینده فناوری از منظر مؤسسات معتبر جهانی.....	۱۱
۴. جمع بندی و نتیجه گیری.....	۲۳
منابع و مأخذ.....	۲۶

## فهرست جداول

جدول ۱. امتیاز کلان روندهای فناوری همراه سرمایه سهام در سال ۲۰۲۲.....	۱۲
جدول ۲. پیش بینی های امپریال کالج در خصوص روندهای فناوری تا سال ۲۰۴۱.....	۱۶
جدول ۳. دسته بندی کلان روندهای مجمع جهانی اقتصاد.....	۱۹
جدول ۴. تصویر کلی حوزه های مورد بررسی روندهای فناوری در چهار مؤسسه منتخب.....	۲۵

## فهرست نمودار

شکل ۱. ماتریس سناریوهای پیشنهادی امپریال کالج تا سال ۲۰۴۱.....	۱۵
شکل ۲. میزان اثربخشی فناوری های نوپدید پیش بینی شده توسط مجمع جهانی اقتصاد.....	۱۸
شکل ۳. تصویر کلی از ۱۰ کلان روند پیش بینی شده شرکت گارتنر ۲۰۲۴.....	۲۲
شکل ۴. تصویر کلان روندهای فناوری در آینده.....	۲۴



## بیان / شرح مسئله

امروزه نوآوری‌ها و فناوری‌ها، هم‌راستا با ابرچالش‌های کلان جوامع بشری شکل می‌گیرند و گاهی نیز برای تسهیل و دسترسی طیف گسترده‌ای از رفاه به‌عنوان دغدغه‌های دولت‌ها و سیاستگذاران مطرح می‌شوند. به همین منظور، برخی از مراکز و سازمان‌ها برای شناسایی نوآوری‌های نوین، افزایش بهره‌وری و تولید، ایجاد فرصت‌های توسعه بازارها، برآورده کردن انتظارات مصرف‌کنندگان، ایجاد روابط و اتصال جهانی و برنامه‌ریزی برای سال‌های آتی اقدام به رصد اثرگذارترین و پربسامدترین فناوری‌ها می‌کنند و هر ساله با انتشار گزارش‌ها و برگزاری همایش‌ها و جلسات مشاوره به شناسایی و معرفی روندهای فناوری‌ها در حوزه‌های مختلف می‌پردازند. دستاوردهای این پژوهش‌ها به‌عنوان راهنمای مسیر پیشرفت مراکز تحقیقاتی، تولیدی و طرفداران رقابت در نوآوری قرار می‌گیرد. اینکه چگونه با پذیرش تغییر، می‌توان در فرایند تولید و کسب و کار، فضایی پویا ایجاد کرد، به کمک فناوری به حل مسائل و مشکلات پرداخت و چطور به کمک پیش‌بینی روندها، مراحل ظهور و افول فناوری را بتوان تشخیص داد، همه بر اهمیت مطالعه روندهای فناوری می‌افزاید.

با توجه به اهمیت رصد کلان‌روندهای فناوری، در این پژوهش با هدف ایجاد نگرش مطلوب‌تری از فرصت‌های فناورانه و تصمیم‌گیری‌های مربوط به آن، روندهای فناورانه پیش‌بینی شده و روش شناسایی آنها توسط مؤسسات معتبر جهانی همچون مکنزی، امپریال کالج لندن، مجمع جهانی اقتصاد و گارتنر را بررسی کرده و ضمن دسته‌بندی فناوری‌های شناسایی شده توسط این چهار مؤسسه، تصویری جامع از کلان‌روندهای آتی ارائه کرده است.

## نقطه‌نظرات / یافته‌های کلیدی

■ در این پژوهش کلان‌روندهای فناوری شناسایی شده توسط مؤسسات منتخب، به چهار دسته فناوری‌های دیجیتالی، فناوری‌های زیستی، هوشمندسازی صنایع و فناوری‌های مرتبط با انرژی تقسیم شده‌اند.

■ بخش قابل توجهی از فناوری‌های آینده با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و سایر فناوری‌های دیجیتالی همگرا با آن در حوزه‌های زیستی از جمله سلامت و بهداشت توسعه می‌یابد.

■ نقطه هدف و اثرگذاری هوشمندسازی صنایع نیز با توجه به اثرات اجتماعی و اقتصادی آن و انگیزه شرکت‌ها، عمدتاً در صنایع

حمل و نقل هوایی و زمینی با تأکید بر خودرو شناسایی شده است. ■ افزایش روزافزون نیاز به انرژی و ضرورت تأمین آن از طریق منابع جدید و جدی شدن چالش تغییرات آب‌وهوایی، توسعه فناوری‌های مرتبط با استخراج از انواع منابع برای تولید انرژی از جمله توسعه راکتورهای همجوشی را رقم خواهد زد.

## ۱. فناوری‌های پیش‌بینی شده توسط شرکت مکنزی

این شرکت از طریق بررسی اختراعات، پژوهش‌ها، اخبار، جستجوهای پتنت در گوگل، رصد میزان سرمایه‌گذاری‌ها و استعدادهای مورد نیاز هر حوزه، ۱۵ کلان‌روند حوزه فناوری را در گزارش اخیر خود شناسایی کرده که در چهار دسته؛ فناوری‌های دیجیتال، فناوری‌های زیستی، فناوری‌های هوشمندسازی صنایع (با تمرکز بر حمل و نقل) و فناوری‌های مرتبط با انرژی قابل دسته‌بندی هستند. فناوری‌های مصدق‌ه هر دسته براساس پیش‌بینی مکنزی به شرح زیر است:

**فناوری‌های دیجیتالی:** هوش مصنوعی کاربردی، هوش مصنوعی مولد، توسعه نسل جدید نرم‌افزار، معماری‌ها و هویت دیجیتالی قابل اعتماد، وب ۳، اتصال پیشرفته، فناوری‌های واقعیت فراگیر، ابر و محاسبات لبه، فناوری‌های کوانتومی، **فناوری‌های زیستی:** مهندسی زیستی (کشاورزی و غذا- سلامت و پزشکی)،

**فناوری‌های هوشمندسازی صنایع:** صنعتی‌سازی از طریق یادگیری ماشینی، جابه‌جایی (حمل و نقل هوشمند)، فناوری‌های فضایی،

**فناوری‌های مرتبط با انرژی:** برقی‌سازی، تجدیدپذیرها با تمرکز بر انرژی‌های خورشیدی و باد، فناوری‌های نوپدید انرژی برای حل چالش تغییرات جوی و آب‌وهوا.

## ۲. فناوری‌های پیش‌بینی شده توسط امپریال کالج لندن

روندهای فناوری امپریال کالج لندن بازه زمانی ۲۰ ساله (۲۰۴۱-۲۰۲۱) را براساس سناریوهایی مبتنی بر ترکیب دو حوزه محاسبات و انرژی در نظر گرفته است. براساس این سناریوها، چالش‌های اصلی جهان آینده حاوی نحوه مدیریت تولید و مصرف انرژی و فناوری‌های اثرگذار بر مصرف انرژی از جمله فناوری‌های محاسباتی خواهد بود و فناوری‌های تأثیرگذار در چهار حالت پیش‌بینی شده‌اند.



مورد انتظار از فناوری‌های آتی، کلان‌روند پیش‌بینی شده از میان ۹۵ فناوری تحقیقاتی و در حال تجاری شدن که تا ۵-۳ سال آینده مورد توجه و بهره‌برداری قرار خواهد گرفت، در حوزه‌های مختلف عبارتند از:

**فناوری‌های دیجیتال:** هوش مصنوعی مولد، محاسبات پایدار، **فناوری‌های زیستی:** متاورس ویژه سلامت روان، حسگرهای پوشیدنی گیاهی، مراقبت‌های بهداشتی و درمانی مبتنی بر هوش مصنوعی، اومیکس فضایی، وسایل الکترونیکی شبکه عصبی منعطف، **فناوری‌های مرتبط با انرژی و هوشمندسازی صنایع:** باتری‌های انعطاف‌پذیر و تاشو، سوخت پایدار هوانوردی.

**۴. فناوری‌های پیش‌بینی شده توسط شرکت گارتنر**  
شرکت گارتنر برای کمک به کسب و کارهای نوپدید و مترصد به ارزش آفرینی و با تکیه بر فناوری‌های دیجیتال، ۱۰ کلان‌روندی که تا ۳۶ ماه آینده قابلیت دسترسی و رقابتی را خواهند داشت را از میان تعداد قابل توجهی از فناوری‌های دیگر بررسی و معرفی نموده است.

■ **فناوری‌های دیجیتال:** هوش مصنوعی، هوش مصنوعی مولد، دفاتر کل توزیع شده (با تکیه بر رمزرها)، هوش مصنوعی مولد و دمکراتیک شده، مدیریت امنیت هوش مصنوعی،

■ **فناوری‌های مرتبط با انرژی و هوشمندسازی صنایع:** بسترهای ابری صنعتی، پلتفرم (بن‌سازه) مهندسی، فناوری پایدار، مشتریان ماشینی، نیروی کار مجهز به پیشرفته‌ترین فناوری‌های ارتباطی و تولیدی.

### پیشنهاد راهکار تقنینی، نظارتی یا سیاستی

■ توجه به روندهای فناوری در یافتن بینش صحیح از شرایط و تلاش برای رشد پایدار اقتصادی اثرگذار است. از این رو نیاز است برنامه‌های توسعه فناوری در کشور با نگاه به کلان‌روندهای جهانی فناوری و تطبیق آن با شرایط داخلی از جمله نیازها و چالش‌های آتی پیش روی کشور که فناوری می‌تواند در حل آنها نقش عمده‌ای ایفا کند و همچنین اقتضات بومی، دینی، فرهنگی، توسعه صنعتی و ظرفیت‌های کشور برای رقابت‌های بین‌المللی در حوزه‌های فناوریانه تنظیم شود.

■ در آینده، هوش مصنوعی و هوش مصنوعی مولد نقش اثرگذاری در اجرای راهبردهای فناوریانه خواهد داشت و سیاستگذاری‌های مناسب در مورد توسعه و به‌کارگیری این فناوری بسیار حائز اهمیت است.

**الف) سناریوهای همگرایی و خودگردانی (با تمرکز بر فناوری‌های محاسباتی کلاسیک و کنونی همچون هوش مصنوعی و الگوهای محاسباتی توزیع شده)**

**فناوری‌های دیجیتال:** ارتباطات فراتر از نسل پنجم، معماری‌های نوین الکترونیکی، لبه‌فراگیر هوش مصنوعی، اینترنت داده‌های کوچک، شبکه‌های خودنگهدارنده (SSN)،

**فناوری‌های زیستی:** درمان بدون دارو، اینترنت اشیاء بیونانو، پزشکی بیوالکترونیک و نسل جدید رابط‌های عصبی مغز و ماشین، واکنش‌های شیمیایی جدید و بهینه، کشف مواد شیمیایی جدید کشاورزی، توسعه دارویی و سنتز داروها با فرایندهای جدید، ماشین‌های بیولوژیکی برتر،

**فناوری‌های هوشمندسازی صنایع:** دستگاه‌های بدون باتری، بدون سیم و بدون نیاز به نگهداری، نسل پنجم صنعتی و زنجیره تأمین کاملاً خودکار، کاهش مقیاس زمانی اکتشاف و حقیقی‌سازی مواد جدید،

**فناوری‌های مرتبط با انرژی:** انتقال برق بی‌سیم، انتقال و تقسیم انرژی میان اشیاء، ادغام شبکه‌های انرژی با شبکه‌های مخابراتی (تلکام)، همگرایی محاسباتی، بومی‌سازی و انتقال انرژی، کوچک‌سازی (هایپر مینیاتوری)،

**ب) سناریوهای کوانتوم و ناشناختگی (با تمرکز بر فناوری‌های نوین محاسباتی همچون فناوری‌های کوانتومی و همگرایی آن با فناوری‌های موجود از جمله هوش مصنوعی و هوش مصنوعی مولد).**

**فناوری‌های دیجیتال:** ارتباطات غیر قابل‌هک، شبیه‌سازی بازار مالی، رمزنگاری کوانتومی، رایانه‌های کوانتومی، اطلاعات کوانتومی، ابرکوانتومی، سیستم‌های جدید جی‌پی‌اس، شبکه‌های موبایلی کوانتومی، محاسبات توزیع کوانتومی، اینترنت کوانتومی، رایانه‌های کوانتومی، دوقلوهای دیجیتال زمین،

**فناوری‌های زیستی:** توسعه دارویی، کود پاک و حسگرهای زیستی-الکترونیکی نسل جدید،

**فناوری‌های هوشمندسازی صنایع:** پهپاد کوانتومی، کشف مواد الکترونیکی جدید، طراحی باتری‌های برتر، کنترل ترافیک.

**فناوری‌های مرتبط با انرژی:** بهینه‌سازی شبکه‌های بزرگ مقیاس انرژی با هوش مصنوعی، انرژی همجوشی، فناوری‌های تولید انرژی از هیدروژن، انرژی‌های پایدار و پاک.

**۳. فناوری‌های پیش‌بینی شده توسط مجمع جهانی اقتصاد**  
با توجه به بررسی‌های هر ساله این مجمع برای تبیین روندهای



## ۱. مقدمه

امروزه، آشنایی با روندهای فناوری برای کشورها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و جوامع جهانی به‌منظور رشد اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی، کسب امنیت ملی، ارتقای پایدار زیست‌محیطی و توسعه اجتماعی به آن وابسته‌اند. آشنایی و همگامی با روندهای آتی فناوری این امکان را برای کشورها مهیا می‌سازد که بینش صحیحی از اقدامات و رویکردهای همدیگر در عرصه فناوری و اثرات آن بر تعاملات فی‌مابین داشته و در عصر تحول دیجیتال و هوش مصنوعی، سرعت و برنامه‌ریزی بهتری برای تطابق و سازگاری و توسعه و بهره‌برداری بهتر از فناوری‌های مزیت‌دار برای خود داشته‌باشند. به‌واسطه کاربردی شدن این فناوری‌ها، کیفیت زندگی جوامع تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. سرمایه‌گذاری در فناوری به ایجاد فرصت‌های شغلی جدید، جذب سرمایه‌گذاری خارجی و افزایش بهره‌وری و کارایی در بخش‌های مختلف تولیدی، خدماتی و کشاورزی و رشد اقتصادی کشورها کمک‌کننده است. در سطح اجتماعی نیز نقش خود را در ارائه خدمات بهداشت، سلامت، آموزش و محیط‌زیست نشان می‌دهد. از سویی حرکت با روندهای فناوری از به حاشیه رانده شدن کشورها و گسترش نابرابری‌های اجتماعی ممانعت می‌کند و هم‌افزایی ناشی از همکاری‌های بین‌المللی به‌خصوص در حوزه فناوری می‌تواند برخی چالش‌های جهانی را در ابعاد وسیع‌تری مهار یا مرتفع کند [۱-۲].

از آنجا که تعیین و برنامه‌ریزی برای توسعه فناوری‌های اولویت‌دار برای همه کشورها از جمله کشور ما از منظر روندهای آتی پیش‌بینی شده در سطح جهانی حائز اهمیت زیادی است، برخی پژوهش‌ها در کشور ما نیز به بررسی روندهای فناورانه معطوف شده است. برای نمونه، در یکی از پژوهش‌ها با عنوان «تحلیلی بر روندهای کلان فناوری در سال ۲۰۲۱ با رویکرد هویت دیجیتال» تنها از منظر هویت دیجیتال، گزیده‌ای از مطالعات مؤسسه گارتنر سال ۲۰۲۱ اشاره شده و هدف از پرداختن به آن کلیدی دانستن عامل شیوع ویروس کرونا و تأکید بر غیرحضور شدن فعالیت‌های اجتماعی به‌عنوان محرکی برای رقابتی شدن فضای سایبری سازمان‌ها در آن برهه زمانی بوده است [۳]. در گزارش دیگری با عنوان «کلان‌روندهای فناوری به روایت ۸ مؤسسه برتر مشاوره مدیریت جهان»، در سال ۱۴۰۱ به‌صورت خلاصه عناوین کلان‌روندهای فناورانه، روندهای مورد بررسی هشت شرکت یا مؤسسه مشاوره‌ای به‌صورت مجزا گردآوری و توضیحات آن ذکر شده است [۴].

در گزارش «فناوری‌های پیشرفته ۲۰۳۰»، از منظر آسیا» با بررسی روند جهانی، رصد و بررسی فناوری‌های پیشرفته جهانی تا سال ۲۰۳۰ و پیش‌بینی روند آنها، حدود بیست هزار مطالعه مهم بین‌المللی که بین سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۷ در خصوص پیش‌بینی‌های روند فناورانه انجام شده، بررسی شده‌اند. نتیجه این کار، جمع‌آوری ۱۵۰ مورد از فناوری‌های پیشرفته بوده است. در ادامه، با توجه به چالش‌هایی از نظر جامعه، فناوری، اقتصاد، محیط‌زیست و سیاست‌ها که انتظار می‌رود جهان در سال ۲۰۳۰ با آنها مواجه شود، ۳۰ فناوری پیشرفته انتخاب و در ۵ گروه کلی طبقه‌بندی شده‌اند که عبارتند از: ۱. فناوری دیجیتال، ۲. ماشین‌های هوشمند، ۳. فناوری و انرژی سبز، ۴. مواد پیشرفته و ۵. زیست‌فناوری [۵].

با توجه به اینکه در مطالعات پیشین این حوزه، دو شاخص میزان تأثیرگذاری و همچنین سطح بلوغ



لندن به‌عنوان پیشگامان بررسی روندهای فناوری پرداخته شود. از آنجاکه روش‌های هر یک از این نهادها در تعیین کلان‌روندهای فناوری با یکدیگر متفاوت است و از ابعاد متفاوتی فناوری‌ها را رصد و انتخاب کرده‌اند؛ از این‌رو در این پژوهش، روش تعیین و یا شناسایی فناوری‌ها و خروجی‌های آن، مورد بررسی قرار گرفته و تلاش شده از منظر این روش‌های متعدد و اجماع آنها، رویکرد و تحلیل تکمیلی‌تری در قالب ارائه یک دسته‌بندی از کلان‌روندهای فناورانه مطرح شود که نوآوری این تحقیق نسبت به مطالعات پیشین به‌شمار می‌رود. به این ترتیب در بخش نخست گزارش به مفهوم روندهای آینده فناوری و علل اهمیت آنها اشاره شده و در بخش بعدی به تفصیل، روندهای آینده فناوری و روش شناسی آن از منظر مؤسسات معتبر جهانی بیان شده و ضمن ارائه یک دسته‌بندی از فناوری‌های شناسایی شده، به بررسی آنها پرداخته است.

بین تمامی نهادها مشترک و به بیان‌های مختلف لحاظ شده است، لیکن شیوه ارزیابی مؤسسه گارتنر و ماتریس اولویت آن جامع‌تر از سایر منابع به نظر می‌رسد. به همین دلیل برای ارزیابی و تعیین نوع راهبرد ورود به فناوری‌ها، ماتریس اولویت گارتنر انتخاب شد. برای آنکه جایگاه حوزه‌های شناسایی شده در مرحله قبل در ماتریس اولویت تعیین شود، اقدام به بررسی بیشتر موضوعات از قبیل مطالعه بازار، تحلیل پتنت، و نگاه مراکز بین‌المللی به خصوص گزارشات گارتنر شد. نهایتاً با بررسی این حوزه‌ها، چرخه‌های هایپ و ماتریس‌های اولویت، ارتقا نسبی بازار و ارزش ایجاد شده در نتیجه نوآوری‌ها در یک نمای کلی به نمایش گذاشته شده است. در مطالعه پیش رو تلاش شده است به شناسایی و تشریح برخی از جدیدترین کلان‌روندهای پیش‌بینی شده در چهار مؤسسه معتبر بین‌المللی گارتنر، مکنزی، مجمع جهانی اقتصادی و امپریال کالج

## ۲. مفهوم روندهای آینده فناوری و اهمیت آن



فناوری‌های نوپدید و روندهای آن انجام می‌دهند. پژوهشگران و متخصصان با تحلیل تحولات توسعه صنایع خاص از طریق بررسی اختراعات، تحقیقات و اخبار منتشر شده از صنایع به شناسایی این فناوری‌های می‌پردازند. در این میان، گرچه تحلیل رفتار مصرف‌کننده و مشتریان در انتخاب و اولویت‌های مورد نظرشان نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد، اما مرحله مهم‌تر آن خط زمانی تحولات یک فناوری از زمان پیدایش تا زمان فعلی است که نرخ پذیرش بازار از مهم‌ترین مؤلفه‌های تعیین روندهای فناوری است. برای مثال، خط زمانی توسعه تلفن‌های هوشمند به دهه ۱۹۹۰ برمی‌گردد که نخستین نوع آنها ساخته شد و بعد در سال ۲۰۰۷، آیفون توانست تحولات عظیمی را در فناوری‌های تلفن‌های هوشمند شکل دهد و این تغییرات مستمر همه‌گیر و جهانی شد. به‌طور خلاصه، برخی از دلایل اهمیت رصد روندهای فناوری عبارتند از:

۱. افزایش بهره‌وری و تولید،
۲. تسهیل ارتباطات و همکاری‌ها،
۳. دسترسی به اطلاعات و دانش،
۴. نوآوری و خلاقیت،
۵. افزایش بهداشت و سلامت،
۶. پایداری در محیط زیست،
۷. رشد اقتصادی و اشتغال‌زایی.

روندهای آینده فناوری به پیشرفت‌ها و تغییرات پیش‌بینی شده در خصوص فناوری‌های مختلف اشاره دارد که انتظار رخ دادن آن وجود دارد. فناوری‌ها به‌طور دائم در حال تغییر و تحول هستند، آشنایی با روندهای آتی پیشرفت فناوری برای مشاغل و افراد بسیار حائز اهمیت است. سازمان‌ها و شرکت‌ها در کنار روندهای فناوری می‌توانند راهبردها و سناریوهای توسعه طراحی نمایند و در نتیجه محصولات و خدمات آنها منطبق با نیازها و انتظارات متغیر مشتریان تأمین می‌شود. روندهای آتی فناوری اغلب می‌توانند راهبرد کشورها برای مقابله با چالش‌های عمده اجتماعی نظیر تغییرات آب‌وهوا، مراقبت‌های بهداشتی، کشاورزی و آموزش را نیز تعیین کنند. خلق راه‌حل‌های نوآورانه، مهارت‌ها و دانش‌های جدید مطابق با بازار کار آینده و نقش آفرینی در زنجیره ارزش تولید فناورانه با آگاهی از روندهای فناوری‌ها در حال طی کردن هستند امکان‌پذیر است.

امروزه شرکت‌ها و مؤسسات بزرگ جهان به‌منظور هدایت تصمیم‌گیران حوزه فناوری، با استفاده از ابزارهای مختلف به ارزیابی، تجزیه و تحلیل فناوری‌های پژوهشی می‌پردازند و نتایج آن هر ساله در معرفی کلان‌روندهای حوزه فناوری ارائه می‌گردد. نحوه گزینش و معرفی روندهای فناوری از طریق پژوهش و تحقیق بازار، تحلیل صنعت و مشاهده رفتار مصرف‌کننده صورت می‌گیرد. منظور از تحقیق بازار در واقع اقداماتی است که شرکت‌ها برای شناسایی

ماشینی تسهیل‌کننده فرایندها هستند. با پذیرش این روندها، کسب و کارها بهینه‌تر و با کارایی بیشتر عمل می‌نمایند.

بسیاری از روندهای آینده فناوری بر بهبود کارایی و بهره‌وری متمرکز بوده و برای مثال، اتوماسیون، هوش مصنوعی و یادگیری

### ۳. معرفی روندهای آینده فناوری از منظر مؤسسات معتبر جهانی

۲. **رهبری تفکر:** از دیگر رویکردهای شرکت مکنزی، انتشار گزارش‌ها، مقاله‌ها و یادداشت‌هایی در خصوص روندهای فناورانه و اشتراک نتایج و توصیه‌های آن است. این نشریات اغلب بینش و راهبردی‌های عملی را برای سازمان‌ها ارائه می‌کنند تا از فناوری به‌طور اثربخش استفاده کنند.

۳. **تخصص در صنعت:** شرکت مکنزی، با ترکیب عمق دانش صنعتی با روندهای فناورانه، به ارائه خدمات مشاوره متناسب با نیازها و چالش‌های صنایع مختلف می‌پردازد.

۴. **تحول دیجیتال:** ارائه راهکارهای فناورانه متمرکز بر راهبردهای دیجیتالی به منظور افزایش بهره‌وری و تغییر فرایندهای تجاری از دیگر روش‌های روندهای فناورانه مکنزی به‌شمار می‌رود.

۵. **مشارکت و همکاری:** همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان و فناورانه در صنایع مختلف به این شرکت امکان دستیابی به دانش و تخصص پیشرفته را فراهم می‌نماید تا بتواند حاصل این کندو کاو تخصصی را با مشتریان خود به اشتراک گذارد.

بررسی و مقایسه بزرگ‌ترین مؤسسات بین‌المللی معتبر حوزه کلان‌روندهای فناورانه نظیر گوگل، اپل، دانشگاه استنفورد، دانشگاه هاروارد و ناسا، نشان داده که به‌دلیل اعتبار پژوهشی، فراوانی مخاطبان در خصوص مشاوره کسب و کار و جهان‌پذیری خدمات مشاوره‌ای آنها و همچنین سطح اثرگذاری و انتشار سالیانه اطلاعات و داده‌ها، گزارش‌های چهار مؤسسه گارتنر، مکنزی، مجمع جهانی اقتصاد و امپریال کالج عموماً جزء گزارش‌های رصد فناوری است که مورد توجه کسب و کارها و سیاست‌گذاران قرار می‌گیرد.

#### ۱-۳. شرکت مشاوره مدیریت مکنزی

شرکت مکنزی یکی از شرکت‌های بزرگ مشاوره‌ای است که علاوه بر ارائه خدمات به دولت‌ها، سازمان‌ها و کسب و کارها کلان‌روندهای فناوری را در قالب برنامه‌های راهبردی و پیش‌تاز به اطلاع مشتریان رسانده و در برخی از گزارش‌های سالیانه خود به‌صورت خلاصه نتایج را در وب‌گاه خود منتشر می‌نماید. روش شرکت مکنزی در رصد کلان‌روندهای فناورانه عمدتاً تحلیل اثر فناوری‌های نوپدید بر کسب و کارها و کمک به شرکت‌ها برای راهیابی به فرصت‌های به‌وجودآمده و روش‌های مقابله با چالش‌های شناسایی‌شده در این حوزه است. گروه شورای فناوری مکنزی متشکل از ۱۰۰ گروه از دانشمندان، نوآوران، پژوهشگران و رهبران کسب و کار در سرتاسر جهان با راهبری بخش‌های مختلف در مسیر فناوری‌های سریع‌الوقوع، به مشاوره می‌پردازد و با تمرکز بر این روندهای فناورانه، خدمات زیرارائه می‌دهد:

۱. **پژوهش و آینده‌پژوهی:** شرکت مکنزی حجم زیادی از منابع را برای پژوهش و درک کلان‌روندهای اخیر فناورانه اختصاص می‌دهد. بدین منظور، مطالعات، بررسی‌ها و مصاحبه‌هایی برای شناخت نحوه اثرگذاری فناوری در صنایع و بازارها انجام می‌دهد.

#### ۱-۳-۱. روش شناسی مکنزی در تعیین روندهای فناوری

روش شناسی پژوهشی ثبت این روندها از طریق بررسی ۶ مؤلفه اعم از اختراعات، پژوهش‌ها، اخبار، جستجوها، سرمایه‌گذاری و تقاضای استعدادهای برگرفته شده است.

در خصوص اختراعات از یافته‌های ثبت شده در منابع گوگل پتنت استفاده شده است، در مورد پژوهش‌ها نیز داده‌های منتشر شده در منابع سایت لنز<sup>۱</sup> مورد توجه قرار گرفته است. اخبار منتشر شده از منابع خبری در گاه فکتیوا<sup>۲</sup> بوده و جستجوها از موتور جستجوی گوگل ترندز<sup>۳</sup> صورت گرفته است. در مورد سرمایه‌گذاری، از داده‌های بازار خصوصی و افزایش سرمایه بازار عمومی<sup>۴</sup> که در پیچ بوک<sup>۵</sup> ثبت می‌شود، استفاده شده است. تقاضای استعداد<sup>۶</sup>، دلالت دارد بر مشاغلی که در مکنزی ثبت شده و پروانه‌های

1. www.Lens.org

2. Factiva

3. Google Trends

۴. افزایش سرمایه بازار عمومی دلالت دارد بر فرایندی که شرکتی پول‌های خود را از طریق فروش سهام خود در بورس افزایش دهد. به‌عبارت دیگر، عرضه اولیه سهام زمانی اتفاق می‌افتد که شرکت سهام خود را برای سرمایه‌گذاران نخستین بار (عرضه اولی) پیشنهاد نماید (IPO).

5. PitchBook

6. Talent demand



تخصصی مشاغل آن ذخیره شده است. داده‌های مرتبط با مشاغل و استعدادها عمدتاً از کشورهای انگلیسی زبان استخراج شده است. این شرکت برای نشان دادن تحولات حوزه روندهای فناوری، مفاهیم روندها را به‌طور سالیانه به‌روزرسانی می‌کند. روندهای فناوری بر اساس دو مؤلفه امتیاز نرخ پذیرش<sup>۱</sup> و میزان سرمایه‌گذاری سهام<sup>۲</sup> دسته‌بندی می‌شوند.

امتیاز نرخ پذیرش، معیاری برای اندازه‌گیری میزان پذیرش یک محصول یا خدمات یا یک فناوری خاص است که توسط مخاطبان و جامعه هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امتیاز نشان‌دهنده سطح پذیرش یا استفاده از پیشنهاد میان کاربران یا مشتریان مورد نظر است. امتیاز معمولاً با مقایسه تعداد کاربران یا مشتریانی که محصول یا خدمات را دریافت و پذیرفته‌اند نسبت به کل پایگاه کاربران بالقوه محاسبه می‌گردد. هرچه امتیاز نرخ پذیرش بالاتر باشد نشان‌دهنده پذیرش سریع‌تر و موفق‌تر آن فناوری یا محصول است و در مقابل هرچه امتیاز کاهش یابد نتیجه آن‌کندی پذیرش است. عوامل اثرگذار بر نرخ بالای پذیرش فناوری در آینده را می‌توان به شرح ذیل دانست:

■ **پیشرفت‌های فناوری:** با استمرار تحولات و پیشرفت فناوری، راهکارهای جدید و نوآورانه در حال رخ دادن هستند و باعث تسهیل حیات بشر می‌شوند.

■ **افزایش اتصال:** با گسترش و توسعه اینترنت پرسرعت و گسترش دستگاه‌های تلفن همراه، افراد بیشتری به فناوری دسترسی می‌یابند و افزایش اتصال می‌تواند منجر به نرخ پذیرش بالاتر شود و افراد با تحولات نوآورانه در زندگی روزمره آشناتر

می‌شوند.

■ **تغییر رفتار مصرف‌کننده:** با ادغام فناوری با ابعاد مختلف حیات روزمره بشر، رفتار مردم به‌عنوان مصرف‌کننده فناوری دچار تغییرات زیادی می‌شود. وابستگی بیشتر به فناوری منجر به بالا رفتن نرخ پذیرش می‌گردد.

■ **پذیرش کسب‌وکار:** بسیاری از صنایع برای بالا بردن بهره‌وری و پیروزی در رقابت‌ها، همچنین کاهش هزینه‌ها به دنبال فناوری‌های جدید هستند و این امر باعث اتکا بیشتر مصرف‌کننده و تولیدکننده به فناوری می‌گردد.

■ **نقش دولت‌ها:** دولت‌ها با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناوری باعث ترویج فناوری‌های نوین می‌شوند و این امر در بالا رفتن نرخ پذیرش فناوری شهروندان و مشاغل اثرگذار است. سرمایه‌گذاری سهام نیز به خرید سهام یا سهام مالکیت یک شرکت یا یک سازمان دلالت دارد. به این ترتیب میزان سرمایه‌گذاری در هر یک از حوزه‌های نوآورانه به‌زای شرکت‌هایی که در آنها فعال هستند اندازه‌گیری شده است.

### ۲-۱-۳. روندهای فناوری پیش‌بینی شده توسط مکنزی

مکنزی در آخرین گزارش خود در سال ۲۰۲۳، پانزده کلان‌روند فناوری را شناسایی کرد. در جدول ۱ این کلان‌روندها بر اساس امتیاز نرخ پذیرش فناوری مرتب‌شده‌اند و سپس بر اساس ماهیت فناوری‌ها به ۴ دسته کلی شامل فناوری‌های دیجیتالی، فناوری‌های زیستی، فناوری‌های هوشمندسازی صنایع و فناوری‌های مرتبط با انرژی تقسیم‌بندی شده‌اند.

جدول ۱. امتیاز کلان‌روندهای فناوری همراه سرمایه‌گذاری در سال ۲۰۲۲

ردیف	دسته اصلی فناوری	زیردسته فناوری	کلان‌روندها	امتیاز نرخ پذیرش	سرمایه‌گذاری سهام (میلیارد دلار)
۱	انواع فناوری‌های دیجیتالی	فناوری‌های ارتباطات و اطلاعات	اتصال پیشرفته <sup>۳</sup> (رایانش ابری- اینترنت اشیا- نسل پنجم ارتباطات)	۴	۱۱۸
			هوش مصنوعی کاربردی	۴	۱۰۴
			ابر و محاسبات لبه <sup>۴</sup>	۴	۸۴

1. Adoption Rate Score.

2. Equity Investment

۳. Advanced connectivity: اتصال پیشرفته به استفاده از فناوری‌ها و سیستم‌های پیشرفته برای برقراری ارتباطات و انتقال داده‌های یکپارچه میان دستگاه‌ها، شبکه‌ها و سیستم‌ها نظیر نسل پنجم و اینترنت اشیا، رایانش ابری و شبکه‌های پیشرفته اشاره دارد.

۴. Edge computing: محاسبات لبه الگوی محاسباتی توزیع شده است که محاسبات و ذخیره‌سازی داده‌ها را به‌جای تکیه بر زیرساختی مبتنی بر ابر متمرکز، به‌جای مدنظر نزدیک‌تر می‌کند. در محاسبات لبه، پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها در لبه شبکه اتفاق می‌افتد. معمولاً در دستگاه‌هایی نظیر روترها، دروازه‌ها یا سرورهای لبه که نزدیک به منبع داده یا کاربر نهایی، قرار دارند.

ردیف	دسته اصلی فناوری	زیر دسته فناوری	کلان روندها	امتیاز شرح پذیرش	سرمایه گذاری سهام (میلیارد دلار)
۲	فناوری‌های زیستی	فناوری‌های زیستی	آینده مهندسی زیستی (کشاورزی و غذا- سلامت و پزشکی)	۳	۴۳
۳	انواع فناوری‌های دیجیتالی	فناوری‌های دیجیتالی	معماری‌ها و هویت دیجیتالی قابل اعتماد	۲	۴۷
			توسعه نسل جدید نرم‌افزار	۲	۲
			صنعتی‌سازی یادگیری ماشینی	۲	۳
۴	فناوری‌های هوشمندسازی صنایع	فناوری‌های حمل‌ونقل	آینده فناوری‌های فضا	۲	۸
			آینده جابه‌جایی <sup>۱</sup> (خودروهای خودران، خودروهای برقی و...)	۲	۱۹۴
۵	فناوری‌های مرتبط با انرژی	فناوری‌های انرژی	برقی‌سازی و تجدیدپذیرها	۲	۲۸۸
		فناوری‌های نوپدید انرژی	فناوری‌های مرتبط با تغییرات جوی و آب‌وهوا فراتر از برقی‌سازی و تجدیدپذیر	۲	۸۶
۶	انواع فناوری‌های دیجیتالی	فناوری‌های نوپدید دیجیتالی	هوش مصنوعی مولد <sup>۲</sup>	۱	۵
			وب <sup>۳</sup>	۱	۶۲
			فناوری‌های واقعیت فراگیر <sup>۴</sup>	۱	۱۶
			فناوری‌های کوانتومی <sup>۵</sup>	۰	۲

Source: McKinsey Digital, July 2023.

کاربرد آنها حتی به‌طور روزانه نیز قابل مشاهده است. در میان روندهایی که نسبت به گزارش سال‌های قبل این مؤسسه به فهرست فناوری‌های ۲۰۲۲ افزوده شده است می‌توان به هوش مصنوعی مولد، و فناوری‌های مرتبط با تغییرات آب‌وهوا (به‌استثنای انرژی‌های تجدیدپذیر و برقی‌سازی) اشاره کرد.

همان‌طور که در جدول ۱ ارائه شده، عمده تحولات و روندهای آتی فناوری بر حوزه ارتباطات و اطلاعات و تحول دیجیتال متمرکز است. فناوری‌های نوپدید دیجیتالی همچون هوش مصنوعی، وب ۳، واقعیت فراگیر و فناوری‌های کوانتومی هر چند در حال حاضر نرخ پذیرش کمتری نسبت به سایر روندهای شناسایی شده توسط مکنزی نشان می‌دهند، اما در حال حاضر رشد فزاینده پذیرش و

- Future of mobility: بیش از یک قرن است که از تولید انبوه اتومبیل‌ها می‌گذرد و جابه‌جایی به‌عنوان دومین عامل مؤثر شناخته می‌شود. دوره انتقال از مالکیت فردی خودرو و راندن آن به خودران شدن خودروها، برقی‌سازی وسایل نقلیه و shared-mobility یا جابه‌جایی مشترک نظیر اشتراک سفر، اشتراک که با مالکیت فردی متفاوت است. این روش برای حل چالش‌های حمل‌ونقل شهری به‌عنوان راهکاری اقتصادی و اثرگذار شناخته شده است.
- Generative AI، هوش مصنوعی مولد به مدل‌های یادگیری عمیقی گفته می‌شود که می‌توانند محتوایی با کیفیت را براساس داده‌های آموزشی مورد استفاده، تولید کنند. به بیان ساده، مدل مولد می‌تواند آنچه را که از نمونه‌های دریافتی فرا گرفته است، به کار گیرد و براساس آن اطلاعات، محتوایی کاملاً جدید را خلق کند. به همین دلیل است که نام «مولد» به معنی «تولیدکننده» برای آن انتخاب شده است.
- فناوری وب نسل سوم که سال‌ها در مجامع علمی بررسی شده، امروزه مورد اقبال گسترده قرار گرفته، اما با اینکه پیاده‌سازی آن هم‌اکنون در هاله ابهام قرار دارد و نگرش‌های متعددی برای آن شکل گرفته، بنیان اصلی آن بر مبنای ارتقای وب ۲ بوده و ضرورت پیدایش آن با موارد ذیل مرتبط است:  
الف) استفاده از وب معنایی که در درک و دریافت صفحات وب و در پردازش بر پردازشگرهایی مؤثر است که در کنار اولین اتصال به شبکه اینترنت حضور دارند، (ب) از ساختار نامتمرکز تبعیت می‌کنند و (ج) به‌طور گسترده از هوش مصنوعی استفاده می‌کنند (جهت کسب اطلاعات بیشتر در این خصوص به گزارش «آمادگی سیاستگذاری برای نسل سوم وب»، مرکز پژوهش‌های مجلس، آذر ۱۴۰۱، شماره مسلسل ۱۸۵۹۶ به نشانی <https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1754844> مراجعه شود).
- Immersive-reality technologies، این نوع فناوری حس حضور در فضایی مجازی را القا می‌کند و عبارتند از فناوری‌های واقعیت مجازی (VR)، واقعیت افزوده (AR) و واقعیت ترکیبی (MR) است.
- Quantum technology فناوری کوانتومی عبارتند از رایانش، حسگرها و ارتباطات کوانتومی. این نوع فناوری در آستانه ایجاد تحول عظیمی در جهان است و پیش‌بینی شده که تا سال ۲۰۲۵ این فناوری موجب جهش بزرگی در علوم رایانشی خواهد شد، به‌صورتی که امنیت بسیاری از سامانه‌های رمزنگاری فعلی را در هم خواهد شکست و انواع جدیدی از ارتباطات ایمن و حسگر بسیار دقیق را ایجاد خواهد کرد (جهت آگاهی بیشتر در خصوص این فناوری به گزارش «فناوری کوانتومی در کشورهای منتخب و ایران» مرکز پژوهش‌های مجلس، دی‌ماه ۱۴۰۱، شماره مسلسل ۱۸۶۱۱ به نشانی <https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1754974> مراجعه شود).



تعریف شده این مؤسسه، شامل یک جدول زمانی، یک روایت و نقشه اجرایی است و در بردارنده مجموعه‌ای از اقداماتی است که سازمان‌ها را آماده به کارگیری و تعریف فناوری‌ها برای استفاده در آن سازمان می‌نماید.

### ۱-۲-۳. سناریوهای فناوریانه امپریال کالج

امپریال کالج در پژوهش خود روند آتی جهان را که بر توسعه فناوری‌های تأثیر خواهد گذاشت چنین تبیین کرده است:

#### در جهان آتی:

■ نیاز به انرژی روز به روز افزایش خواهد یافت و تأمین انرژی از طریق منابع جدید، بازیافت منابع قدیمی و بهینه‌سازی مصرف انرژی اجتناب‌ناپذیر است. کمبود منابع معدنی نیز باید از طریق راه‌های جدید برداشت یا طراحی چرخه بازیافت تأمین شود.

■ تغییرات جوی و آب‌وهوایی همواره بشر را با چالش مواجه می‌کند و علت آن پراکندگی این چالش‌ها در سراسر سیاره زمین است. منبع اصلی این تغییرات و انحرافات هر چه که باشد اعم از فعالیت‌های بشر، چرخه‌های سیاره‌ای یا چرخه‌های خورشیدی، مستلزم مداخله انسان است.

■ استفاده مجدد از پسماند الکترونیکی و کاربرد آن در چرخه اقتصادی به جای طراحی آنها برای بهینه‌سازی و مواد جدیدی نظیر فناوری‌های پس از نیمه‌هادی<sup>۲</sup> قابل حل خواهد بود. روند کوچک‌سازی و مینیاتوری کردن الکترونیکی، از طریق نیاز کمتر به انرژی، همچنان ادامه خواهد داشت.

■ تأثیرگذاری هوش مصنوعی بر زندگی جوامع ادامه خواهد داشت و در تمام زمینه‌های صنعتی نفوذ خواهد کرد و برای پشتیبانی از نیازهای محاسباتی آن باید انرژی بسیار زیادی مصرف کرد.

به این ترتیب چالش‌های اصلی جهان آتی حاوی نحوه مدیریت تولید و مصرف انرژی و فناوری‌های اثرگذار بر مصرف انرژی از جمله فناوری‌های محاسباتی خواهد بود. از این رو یک ماتریس چهاروجهی مبتنی بر انرژی‌های جدید یا سنتی و محاسبات جدید یا کلاسیک ایجاد شده که در شکل ۱ نشان داده شده است.

امروزه قابلیت‌های هوش مصنوعی نظیر یادگیری ماشینی و پردازش زبان طبیعی، شرکت‌ها و صنایع را در تصمیم‌گیری بهتر کمک می‌کند. ارزش اقتصادی قابلیت‌های هوش مصنوعی کاربردی در پژوهش‌های مکنزی، بین ۲۶-۱۷ تریلیون دلار تخمین زده شده و سهم شرکت‌هایی که به دنبال این ارزش اقتصادی هستند، رو به افزایش است. در بررسی سالیانه مکنزی متمرکز بر هوش مصنوعی نشان داده شده که سهم سازمان‌هایی که هوش مصنوعی را پیاده‌سازی نموده‌اند در سال ۲۰۱۷ معادل ۲۰ درصد بود، اما این میزان در سال ۲۰۲۲ به بیش از دو برابر، به ۵۰ درصد رسیده است. از این رو بالاترین نرخ پذیرش طبق بررسی‌های مکنزی در زمینه هوش مصنوعی کاربردی بوده (امتیاز ۴ از ۵) و از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲، هوش مصنوعی کاربردی در گزارش روندهای فناوری توسط این مؤسسه، بالاترین امتیاز نوآوری را در میان تمام رشته‌های مورد مطالعه از آن خود کرده است. بر اساس گزارش‌های مکنزی، قابلیت رسوخ فناوری‌های هوش مصنوعی در همه حوزه‌ها از قبیل هوافضا و صنایع دفاعی، کشاورزی، خودروسازی و مونتاژ، هواپیمایی، سفر و تدارکات، مواد شیمیایی، ساخت و ساز و مصالح ساختمانی، بسته‌بندی کالاهای مصرفی، آموزش، برق و قدرت، گاز طبیعی و تجهیزات آن، خدمات مالی، سیستم‌های خدمات بهداشت و درمان، فناوری اطلاعات و الکترونیک، رسانه و سرگرمی، فلزات و معدن، نفت و گاز، داروسازی و محصولات پزشکی، بخش‌های عمومی و اجتماعی، باعث بالا رفتن امتیاز نرخ پذیرش آن شده است. فناوری‌های زیستی، فضا، حمل و نقل و انرژی نیز در کنار فناوری‌های دیجیتالی جزء روندهای آتی ساز شناسایی شده‌اند [۶].

### ۲-۳. امپریال کالج لندن

مؤسسه امپریال کالج لندن در رصد و پیش‌بینی کلان‌روندهای حوزه فناوری‌های نو قدمت طولانی دارد. امپریال کالج یک بازه زمانی بیست‌ساله را برای روندهای فناوریانه در نظر گرفته و برای این بازه زمانی، مبتنی بر ترکیب دو مؤلفه اصلی و پیش‌ران شامل نقش الگوهای محاسباتی و انرژی بر آینده فناوری‌ها و فناوری‌های مرتبط با انرژی<sup>۱</sup>، سناریوهای را در نظر می‌گیرد و بر اساس آن روند فناوری‌های آتی را پیش‌بینی می‌کند. هر کدام از سناریوهای

۱. فناوری‌هایی که بتواند کمترین کربن را تولید کند.

۲. post-semi-conductor technologies فناوری‌های پس از نیمه‌هادی به فناوری‌های نوپدید اطلاق می‌شود که هدف آنها غلبه بر محدودیت‌های الکترونیک مبتنی بر نیمه‌هادی سنتی است. در حالی که فناوری‌های نیمه‌ساز در طول سال‌ها پیشرفت زیادی کرده‌اند و امکان توسعه دستگاه‌های الکترونیکی مدرن را فراهم کرده‌اند، اما از نظر مصرف برق، اتلاف گرما و مقیاس‌پذیری نیز با چالش‌هایی مواجه هستند.

برای حل مسائلی استفاده می‌کند که برای محاسبات کلاسیک بسیار پیچیده هستند. منظور از انرژی‌های سنتی<sup>۴</sup> تا سال ۲۰۴۰ انتقال از انرژی فسیلی به انرژی‌های شناخته شده کنونی شامل تجدیدپذیر، شبکه‌های هوشمند و شبکه‌های محلی برق است. از طرفی انرژی‌های جدید<sup>۵</sup> شامل رآکتورهای همجوشی هسته‌ای و کلیه منابعی که امکان تولید انرژی‌های تجدیدپذیر از محیط زیست دارند را در بر می‌گیرند.

در محاسبات کلاسیک، بسط و گسترش الگوهای محاسباتی موجود نظیر سیستم‌های باینری محور<sup>۱</sup> شامل بهبود الگوهای موجود مانند الگوهای محاسباتی توزیع شده و محاسبه لبه<sup>۲</sup> و هوش مصنوعی در نظر گرفته شده است. محاسبات جدید نیز شامل محاسبات کوانتومی و همگرایی<sup>۳</sup> آن با سایر شیوه‌های کلاسیک از جمله هوش مصنوعی و محاسبات لبه است. این نوع محاسبات کوانتومی از رفتارهای منحصر به فرد فیزیک کوانتومی

شکل ۱. ماتریس سناریوهای پیشنهادی امپریال کالج تا سال ۲۰۴۱



Source: Imperial College of London

محاسبات و بهره‌وری انرژی منجر به ایجاد معماری‌های محاسباتی نظیر ممریستور (مقاومت حافظه)<sup>۵</sup> و هوش مصنوعی نورومورفیک<sup>۶</sup> می‌شود. این محاسبات، نسل جدید دستگاه‌های مبتنی بر اینترنت اشیا را تولید خواهد کرد که با حداقل انرژی بتواند متصل شده و پردازش‌ها انجام شود. علاوه بر این، انتقال انرژی بی‌سیم و بدون نیاز به باتری و برق باعث حداقل رسیدن پسماندها و آلاینده‌ها می‌شود.

**سناریوی اول: همگرایی: انرژی‌های مرسوم و محاسبات کلاسیک**  
در این سناریو فرض بر این است که جهان آینده همچنان از شیوه‌های سنتی (با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مرسوم، شبکه‌های هوشمند و شبکه‌های محلی برق) انرژی مورد نیاز فعالیت‌های مختلف را تأمین و از محاسبات کلاسیک برای بهره‌مندی از اطلاعات و داده‌ها استفاده می‌کند. نیاز روزافزون به

۱. Binary، باینری شامل یک سیستم شماره‌گذاری است که فقط از دو رقم استفاده می‌شود که عمدتاً به صورت صفر و یک نشان داده می‌شود. در محاسبات، از باینری برای نمایش و دستکاری داده‌ها و دستورالعمل‌های یک سیستم رایانه‌ای استفاده می‌شود.

۲. Distributed Quantum Computing محاسبات لبه یک الگوی محاسباتی توزیع شده است که قدرت محاسباتی و ذخیره داده‌ها را به لبه شبکه، به جایی که داده‌ها تولید و مصرف می‌شوند، نزدیکتر می‌کند. در مدل‌های محاسباتی سنتی، داده‌ها برای پردازش و تجزیه و تحلیل به یک ابر متمرکز یا مرکز داده ارسال می‌شوند. با این حال، با محاسبات لبه، وظایف پردازش و تجزیه و تحلیل روی خود دستگاه‌های لبه یا نزدیک آن انجام می‌شود و تأخیر را کاهش می‌دهد، کارایی را بهبود می‌بخشد و قابلیت‌های بلا درنگ (Real-Time) را افزایش می‌دهد.

۳. Convergence Computing عبارتند از ادغام فناوری‌های محاسباتی نظیر رایانش ابری، محاسبات جابه‌جایی، اینترنت اشیا برای ایجاد یک تجربه محاسباتی یکپارچه.

#### 4. Traditional Energy

۵. Memristors ممریستور یا به عبارت دیگر «مقاومت حافظه»، یک دستگاه الکترونیکی دو ترمیناله است که می‌تواند مقاومت خود را بر اساس تاریخچه بار الکتریکی جریان یافته از آن تغییر دهد. نظریه اولیه آن نخستین بار در سال ۱۹۷۱ توسط لئون چوا بیان شد و بعداً در سال ۲۰۰۸ به صورت تجربی انجام شد. ممریستورها دارای ویژگی منحصر به فردی هستند که حالت مقاومت خود را حتی زمانی که برق خاموش است حفظ می‌کنند و آنها را به کاندیدای بالقوه حافظه غیر فرار و محاسبات نورومورفیک مبدل می‌کند.

۶. neuromorphic AI هوش مصنوعی نورومورفیک رویکردی از هوش مصنوعی است که ساختاری الهام گرفته از مغز انسان دارد؛ به طوری که سیستم‌های طراحی شده آن می‌توانند معماری و توانایی‌های محاسباتی مغز انسان را تقلید کنند. پردازش اطلاعات در سیستم‌های هوش مصنوعی نورومورفیک مشابه روش مغز انسان با استفاده از شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌هایی که رفتار نورون‌ها و سیناپس‌ها را شبیه‌سازی می‌کنند، طراحی شده‌اند. این سیستم‌ها عمدتاً روی سخت‌افزارهای تخصصی که برای پردازش موازی و مصرف انرژی کم و بهینه تعبیه شده‌اند پیاده‌سازی می‌شوند.



## ■ سناریوی دوم: خودگردانی: انرژی‌های نوین و محاسبات کلاسیک

در این سناریو تقاضای انرژی به شدت افزایش می‌یابد که از طریق بهره‌مندی از منابع زیست‌محیطی برای تولید برق مدیریت می‌شود. به این ترتیب فناوری‌هایی مبدل انرژی‌های محیطی<sup>۱</sup> و تبدیل آن به برق توسعه می‌یابند و انرژی حاصله به‌طور گسترده‌ای در شهرها توزیع شده و سیستم توزیع مرکزی برق به سمت تولید و مصرف داخل شهری حرکت می‌کند. محاسبات همچنان به صورت کلاسیک (با تمرکز بر توسعه الگوهای باینری) باقی می‌مانند، اما هوش مصنوعی نقش زیادی در خودگردان‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی ایفا خواهد کرد.

## ■ سناریوی سوم: کوانتوم: انرژی‌های مرسوم و محاسبات جدید

در این سناریو، رایانه‌های کوانتومی محاسبات عظیمی را مدیریت خواهند کرد و با توجه به اینکه شیوه‌های تولید انرژی همچنان محدود به همان روش‌های کلاسیک باقی خواهند ماند، بهینه‌سازی تولید، توزیع و مصرف انرژی در سطح جهانی از طریق محاسبات کوانتومی بهتر مدیریت خواهد شد.

## ■ سناریوی چهارم: ناشناختگی: انرژی‌های نوین و محاسبات جدید

در این سناریو، جهان به سمت بهره‌مندی از شیوه‌های جدید تأمین انرژی از جمله همجوشی و استفاده گسترده از روش‌های نوین محاسباتی همچون کوانتوم حرکت می‌کند. انرژی همجوشی، تولید نامحدود انرژی و اشتراک‌گذاری آن، امکان رفع نیازهای روزافزون جامعه به انرژی را فراهم خواهد ساخت و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای تهدید بلندمدت زیست‌محیطی نخواهد ماند. همگرایی فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی و کوانتوم منجر به کاربردی شدن هوش مصنوعی کوانتومی خواهد شد که حتی در مدل بهینه‌سازی در مقیاس سیاره‌ای نیز قابل استفاده است.

## ۲-۳. روندهای فناوری پیش‌بینی شده توسط امپریال کالج بر اساس سناریوهای کوانتوم و ناشناختگی

امپریال کالج لندن با تمرکز بر محاسبات جدید نظیر محاسبات کوانتومی و همگرایی آن با محاسبات لبه یا هوش مصنوعی، پیش‌بینی‌هایی در خصوص کلان‌روندهای فناوری در هر یک از سناریوها ارائه کرده که در جدول ۲ آمده است [۷].

جدول ۲. پیش‌بینی‌های امپریال کالج در خصوص روندهای فناوری تا سال ۲۰۴۱

ناشناختگی	کوانتوم	خودگردانی	همگرایی	
	محاسبات جدید مبتنی بر فناوری‌های کوانتومی و همگرایی با فناوری‌های هوش مصنوعی		محاسبات کلاسیک ابر و هوش مصنوعی	دسته فناوری / سناریو
انرژی‌های نوین	انرژی‌های مرسوم	انرژی‌های نوین	انرژی‌های مرسوم	
ارتباطات غیرقابل هک، شبیه‌سازی بازار مالی، رمزنگاری کوانتومی، رایانه‌های کوانتومی، اطلاعات کوانتومی، ابر کوانتومی، سیستم‌های جدید جی پی اس، شبکه‌های موبایلی کوانتومی، محاسبات توزیع کوانتومی، اینترنت کوانتومی، رایانه‌های کوانتومی، دوقلوهای دیجیتالی زمین، سنجش سیاره‌ای، مدل‌سازی شبکه هوشمند زمین		ارتباطات فراتر از نسل پنجم، معماری‌های نوین الکترونیکی، لبه فراگیر هوش مصنوعی، اینترنت داده‌های کوچک، هوش ازدحام، شبکه‌های خودنگهدارنده (SSN)		فناوری‌های دیجیتالی

۱. Ambient energy harvesters، برداشت‌کننده‌های انرژی محیطی نقش جذب انرژی محیط اطراف و تبدیل آن به انرژی الکتریکی را دارند.



فناوری‌های زیستی	درمان بدون دارو، اینترنت بیونانو اشیا، سیستم‌های بی‌سی‌آی و پزشکی بیوالکترونیک، الکترونیک بدون سم، محیط اتری، محیط‌های شناختی و سطوح، واکنش‌های شیمیایی جدید و بهینه، کشف مواد شیمیایی جدید کشاورزی، طراحی آزمایشات فراتر از توان بشر، روش دایال-آپ مولکولی در ساخت داروها (ستنز داروها با فرایندهای جدید)، علم برتر، بارگذاری شناختی آزمون و خطاهای تجربی، ماشین‌های بیولوژیکی برتر
فناوری‌های هوشمندسازی صنایع	دستگاه‌های بدون باتری، بدون سیم و بدون نیاز به نگهداری، زنجیره تأمین کاملاً خودکار نسل پنجم صنعتی، نسل پنجم صنعتی، کاهش مقیاس زمانی اکتشاف و حقیقی‌سازی مواد جدید
فناوری‌های مرتبط با انرژی	انتقال برق بی‌سیم، انتقال و تقسیم انرژی میان اشیا، ادغام شبکه‌های انرژی با شبکه‌های مخابراتی (تلکام)، همگرایی محاسباتی، حس‌گری، بومی‌سازی و انتقال انرژی، کوچک‌سازی (هایپر مینیاتوری) دستگاه‌های برقی براساس قانون مور، شیمی و علم بهینه مواد، پایدار و کارآمدی انرژی.
توسعه دارویی، کود پاک، توزیع منابع در مقیاس سیاره‌ای، زمین به‌عنوان یک ابرساختار به‌هم‌پیوسته زنده و حسگر	پهپاد کوانتومی، کشف مواد الکترونیکی جدید، طراحی باتری‌های برتر، کنترل ترافیک
همچونگی، انرژی‌های پایدار و پاک برای محاسبات جدید	بهینه‌سازی شبکه‌های بزرگ‌مقیاس انرژی، انرژی همجوشی، انرژی‌های پایدار و پاک برای محاسبات جدید

Source: Imperial College London

### ۳-۳. فناوری‌های نوپدید از دیدگاه مجمع جهانی اقتصاد (WEF)

مجمع جهانی اقتصاد، سازمانی غیرانتفاعی و تحت پوشش مالی سوئیس است. نشست سالیانه این سازمان در داووس برگزار می‌شود. مسائل اقتصادی، اجتماعی و سیاسی جهان به تفصیل مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. نخستین گزارش سالیانه این سازمان در سال ۲۰۱۱ منتشر شد. نتایج این گزارش (Flagship report) برای کسب و کارها و محققان حوزه فناوری، آینده‌پژوهی و سیاست‌گذاری مورد توجه قرار می‌گیرد.

### ۳-۳-۱. روش‌شناسی مجمع جهانی اقتصاد در تعیین روندهای فناوری

مجمع جهانی اقتصاد برای گزینش ۱۰ فناوری نوپدید از میان ۹۵ فناوری معتبر شناسایی شده و برگزاری جلسات تخصصی هر حوزه از ژانویه تا فوریه ۲۰۲۳ به دسته‌بندی و رتبه‌بندی فناوری‌ها پرداختند. در این گزارش از یافته‌های پژوهشی ۹۰ متخصص از ۲۰ کشور جهان بهره گرفته شده است. شاخص‌های ارزیابی و رتبه‌بندی فناوری‌ها عبارتند از:

**نوپین بودن:** مرحله اولیه و نوپدید بودن ملاک است مشروط بر بکری و عدم گستردگی و تکرار شدن در جهان،  
**کاربردی بودن:** قابلیت فراگیر شدن و اقتصادی بودن برای تمام جوامع را داشته‌باشد،

به این ترتیب براساس سناریوهای امپریال کالج چنین پیش‌بینی می‌شود که در حوزه انرژی، اشتراک‌گذاری بی‌حد و مرز انرژی تا سال ۲۰۴۱ رخ خواهد داد. انرژی در شبکه‌های هوشمند به‌هم‌پیوسته در سطح جهان توزیع می‌شود. سیم‌های بلند برق برای اتصال کشورها به یک شبکه برق مشترک ساخته می‌شود. شبکه‌های انرژی بازطراحی می‌شوند و از توزیع یک‌طرفه به مدل بهینه‌تر جریان انرژی دوطرفه (ورودی و خروجی) مبدل خواهد شد. این تغییر شبکه، تقاضای برق در زمان پیک و کمبود برق را تأمین می‌کند. در حوزه محاسباتی نیز محاسبات یک‌بار مصرف<sup>۱</sup> و انرژی زیادی توسط فناوری به جهان تحمیل می‌شود. در بیست سال آتی محاسبات به بلوغ خود می‌رسد و محاسبات کوانتومی به پیشرفت‌های زیادی نائل آمده و رآکتورهای همجوشی پایدار بیشتری برای تأمین انرژی خواهند داشت. در واقع، فشارهای ناشی از تغییرات آب‌وهوا باعث ایجاد محرکی می‌شود تا شرکت‌های خصوصی برای توسعه انرژی همجوشی سرمایه‌گذاری نموده و شرایطی را ایجاد کنند تا این انرژی در سراسر جهان تجاری شود. در این زمان است که فناوری آن ارزان و قابل رقابت با فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. در این دوران انرژی نامحدود و ایمن برای کل جهان مهیاست، اما آلاینده‌گی ناشی از تولید انرژی از گذشته باقی مانده است. در کنار توسعه روش‌های محاسباتی کلاسیک و جدید و همگرایی فناوری‌های مرتبط، قدرت هوش مصنوعی نیز به شدت افزایش خواهد یافت.

۱. Disposable Computation شامل انواع محاسباتی است که به صورت یک‌بار مصرف و استفاده فقط برای یک‌بار، طراحی شده و بعد از بین می‌رود. این مفهوم در علوم رایانه به محاسباتی برمی‌گردد که برای وظیفه خاص و هدف ویژه‌ای طراحی شده است و در آینده دیگر قابل استفاده نیست.

**عمیق فناوری:** توسط بیش از یک شرکت مورد توجه قرار گرفته و برای توسعه آن سرمایه‌گذاری مورد نیاز انجام شده باشد. تمرکز و توجه به آن تا ۵-۳ سال آینده همچنان بالا باشد،  
**قدرت:** توان بالقوه را داشته و باعث تغییر روش‌های جاری و تحول در صنایع گردد.

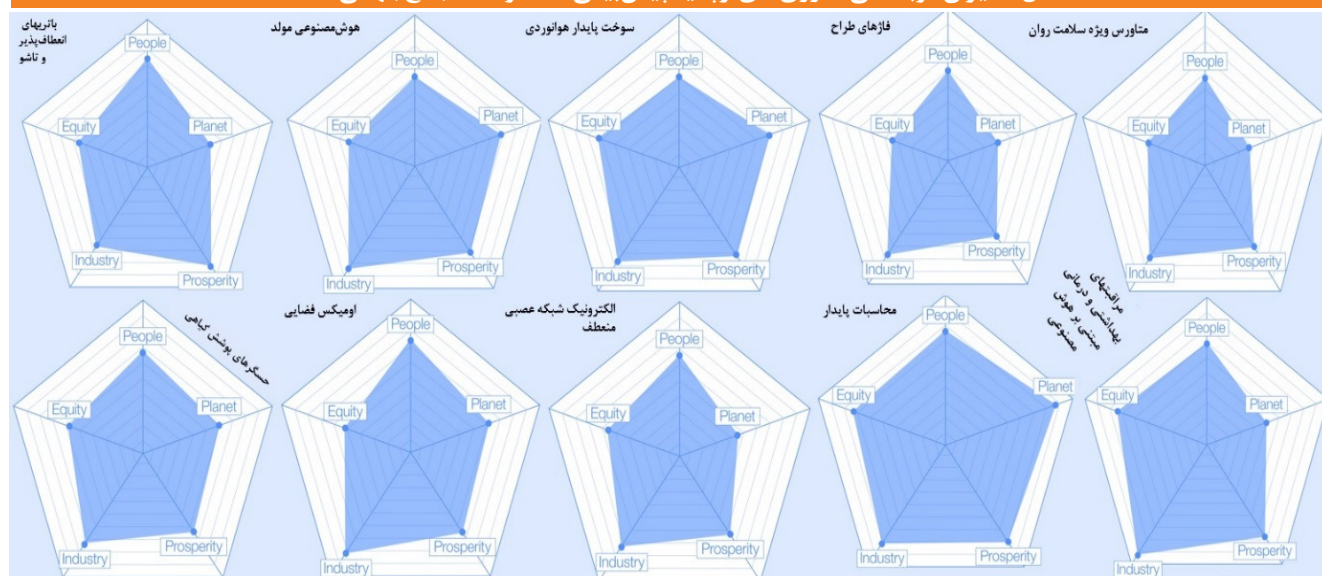
### ۲-۳-۳. روندهای فناوری پیش‌بینی شده توسط مجمع جهانی اقتصاد

براساس گزارش سالانه مجمع جهانی اقتصاد، ۱۰ فناوری نوپدید در سال ۲۰۲۳ ارائه شده است. [۸]. زمان اعتبار و پذیرش فناوری‌های ذکر شده در این گزارش در بازه ۳ تا ۵ سال آتی خواهد بود. عناوین فناوری‌ها عبارتند از:

۱. باتری‌های انعطاف‌پذیر و تاشو<sup>۱</sup>،
۲. هوش مصنوعی مولد،
۳. سوخت پایدار هوانوردی،
۴. فازهای طراحی<sup>۲</sup>،
۵. متاورس ویژه سلامت روان،
۶. حسگرهای پوشش گیاهی،
۷. اومیکس فضایی<sup>۳</sup>،
۸. الکترونیک شبکه عصبی منعطف<sup>۴</sup>،

۹. محاسبات پایدار<sup>۵</sup>،
۱۰. مراقبت‌های بهداشتی و درمانی مبتنی بر هوش مصنوعی<sup>۶</sup>.  
پس از شناسایی این ۱۰ فناوری آتی و نوپدید، اعضای گروه راهبری مجمع جهانی اقتصاد به‌طور داوطلبانه اقدام به نگارش گزارش نموده و از مشاوره شبکه متخصصان در قالب نظرسنجی برای تعیین میزان اثربخشی این فناوری‌ها استفاده کرده‌اند. پنج معیار زیر برای ارزیابی اثر بالقوه فناوری‌ها مورد توجه قرار گرفته است:
۱. **مردم:** امنیت و ایمنی نظیر امنیت غذایی، دسترسی به آب شرب، افزایش نرخ سلامت و بهداشت،
۲. **سیاره زمین:** حفظ و نگهداری سیاره زمین نظیر بازسازی تنوع زیستی، محدود کردن پسماندها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای،
۳. **رفاه:** کیفیت زندگی مردم نظیر اشتغال‌زایی، ایجاد ارتباطات گسترده میان مردم، افزایش زمان فراغت،
۴. **صنعت:** مداخله در صنایع فعلی و خلق بازار جدید،
۵. **تساوی حقوق:** دمکراتیک شدن دسترسی به انرژی، مواد، اینترنت و بهداشت و درمان.  
در شکل ۲ میزان اثربخشی فناوری‌های نوپدید پیش‌بینی شده توسط مجمع جهانی اقتصاد را بر مردم، رفاه، تساوی حقوق، صنعت و محیط‌زیست نشان می‌دهد.

شکل ۲. میزان اثربخشی فناوری‌های نوپدید پیش‌بینی شده توسط مجمع جهانی اقتصاد



Source: World Economic Forum

1. Flexible Batteries
2. Designer phages
3. Spatial omics
4. Flexible neural electronics
5. Sustainable computing
6. AI-facilitated healthcare

میان بخش های صنعتی، سوخت هوانوردی عمومی با بهره گیری از فناوری های جدید دارای تحولات زیادی خواهد شد و اثرات آن از نظر رفاهی، اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی زیاد خواهد بود. در جدول ۳ دسته بندی فناوری های پیش بینی شده مجمع جهانی اقتصاد متناسب با حوزه کار کردی عمده هر فناوری ارائه شده است.

عمده فناوری های مورد توجه مجمع جهانی اقتصاد ناظر بر سطح فراگیری و اثراتی که بر اقتصاد و سلامت خواهند داشت و اکثر کشورها قابلیت منتفع شدن از آن را دارند در حوزه فناوری های زیستی است. در این میان هوش مصنوعی و محاسبات پایدار به عنوان فناوری های زیرساختی نقش قابل توجهی در تحول صنایع و فناوری های موجود بازی می کنند. از نظر این مجمع، در

جدول ۳. دسته بندی کلان روندهای مجمع جهانی اقتصاد

مصادیق فناوری	دسته فناوری در کلان روندها
هوش مصنوعی هوش مصنوعی مولد محاسبات پایدار	فناوری های دیجیتالی
باتری های انعطاف پذیر و تاشو فاژهای طراح متاورس ویژه سلامت روان حسگرهای پوشش گیاهی اومیکس فضایی مراقبت های بهداشتی و درمانی مبتنی بر هوش مصنوعی الکترونیک شبکه عصبی منعطف	فناوری های زیستی (پزشکی-سلامت-کشاورزی)
سوخت پایدار هوانوردی	فناوری های هوشمندسازی صنایع
محاسبات پایدار سوخت پایدار هوانوردی	فناوری های مرتبط با انرژی

### ■ باتری های منعطف با قابلیت تاشوندگی

کاربرد این قبیل باتری ها در دستگاه های ویژه پزشکی، حسگرهای زیست پزشکی، ساعت های هوشمند و بسیاری از زمینه های دیگر است و پیش بینی شده با توسعه این فناوری بین سال های ۲۰۲۷-۲۰۲۲، رشد بازار آن به بیش از ۲۴۰/۴۷ میلیون دلار خواهد رسید. شرکت های زیادی نظیر ال جی جم، سامسونگ اس دی آی، اپل، نوکیا، فرانت اج تکنولوژی، اس تی میکروالکترونیک، بلو اسپارک تکنولوژی و فولریور باتری در این حوزه فعال هستند و ورود به این بازار باعث تحول شده و منافع زیادی برای کسب و کارها به همراه دارد. انواع این نوع باتری ها هم اکنون به صورت تجاری درآمده و قابل دسترس است.

### ■ هوش مصنوعی مولد

این فناوری از طریق یادگیری الگوی داده و استفاده از الگوریتم ها و روش های پیچیده یادگیری الهام گرفته از مغز انسان به خلق محتوای جدید و اصل می پردازد. هوش مصنوعی مولد هنوز در خلق متون و برنامه ریزی رایانه ای، تصاویر و صداها پیش رو و مورد توجه است، اما قابلیت به کارگیری در طراحی دارو، معماری و مهندسی نیز در آن دیده شده است. نمونه کنونی توسعه جی پی تی خودکار ۲ از این نوع فناوری است. با نظارت و مهار درست و به جای این فناوری، شرایط برای ظهور خلاقیت، فراهم می شود و می تواند با گسترش و گذر از مرزهای دانش، به عنوان رقیبی چالش برانگیز نسبت به روش های رایج تفکر مطرح باشد.

1. Blue Spark Technologies and Fullriver Battery  
2. AutoGPT



## ■ فناوری سوخت پایدار هوانوردی

با توجه به اینکه هوانوردی در سال ۲ تا ۳ درصد باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان می‌شود، لذا پیش‌بینی شده که با ادامه روند فعلی بین سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۲ به میزان ۳۹ گیگا تن گازهای گلخانه‌ای در جهان انتشار می‌یابد و این رقم تغییرات آب‌وهوایی نگران‌کننده‌ای را به همراه خواهد داشت. در صورت منفعل شدن جوامع در امر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، عواقب جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی برای کره زمین و حیات بشر در پیش خواهد بود. یکی از فناوری‌هایی که در کوتاه‌مدت توسعه می‌یابد و اقتصادی به نظر می‌رسد، فناوری سوخت پایدار هوانوردی از منابع بیولوژیکی نظیر زیست‌توده، و غیربیولوژیکی حاصل می‌شود. فناوری سوخت پایدار هوانوردی<sup>۱</sup> (SAF) در یک درصد از سوخت هواپیماهای جهان استفاده می‌شود و در صورت توسعه آن تا سال ۲۰۴۰ میزان تقاضا برای آن ۱۵-۱۳ درصد خواهد شد و این در صورتی امکان‌پذیر خواهد بود که راهبردهای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن تا سال ۲۰۵۰ با شدت و اهمیت ویژه‌ای دنبال شود. هم‌اکنون بر اساس گزارش سازمان بین‌المللی حمل‌ونقل هوایی، در سال ۲۰۲۲ میزان تولید سوخت پایدار هوایی SAF به ۳۰۰ میلیون لیتر رسید که نسبت به سال ۲۰۲۱ این میزان سه برابر شده است.

## ■ فناوری فازهای طراح

این فناوری‌ها نیز به تحولات نوین حوزه‌های زیستی مربوط می‌شوند. پیشرفت‌های اخیر حوزه میکروبیوم با هدف افزایش بهره‌وری کشاورزی و بهبود و رفاه انسان در حال وقوع است. به کمک این فناوری و بیوس‌هایی به‌طور انتخابی انواع خاصی از باکتری‌های را آلوده می‌کنند و پس از عفونت، فاز اطلاعات ژنتیکی خود را به باکتری تزییق می‌کند. از این فناوری که عمدتاً در مهندسی ژنتیکی استفاده می‌شود در حوزه سلامت بسیار اثربخش خواهد بود. تاکنون سه فاز، به‌عنوان خوراک طراحی شده و از آن در تولید مکمل‌های تقویت رشد دام و درمان برخی بیماری‌های گیاهی به‌منظور از بین بردن باکتری‌های مضر زنجیره تأمین مواد غذایی در راستای راهبرد «یکپارچگی سلامت»<sup>۱</sup> سازمان بهداشت جهانی استفاده می‌شود. این فناوری در آینده اثرات بسیار مطلوبی بر سلامت انسان، گیاهان و جانوران خواهد داشت.

## ■ فناوری متاورس ویژه سلامت روان

با افزایش بحران روانی و شدت یافتن آن در دوره همه‌گیری

کرونا، شرایط درمان با فناوری متاورس بهبود یافت. گرچه تعداد ارائه‌دهندگان متاورس مبتنی بر بهبود سلامت روان هم‌اکنون محدود هستند، اما رفته‌رفته این فناوری به‌ویژه در ایالات متحده آمریکا در حال گسترش است. متاورس در مانگر سلامت روان، کلیه جوانب سلامت اعم از پیشگیری، تشخیص، درمان و آموزش را دربرمی‌گیرد. توسعه فناوری متاورس متمرکز بر بهداشت روان نه تنها برای بیماران مناسب است، بلکه با توسعه آن می‌توان به برنامه‌های کاربردی و ضروری در فضای متحول مجازی دست یافت.

## ■ حسگرهای پوشش گیاهی

بر اساس گزارش سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد، سرانه تولید غذا در جهان تا سال ۲۰۵۰ باید تا ۷۰ درصد افزایش یابد تا کل جمعیت جهان بتوانند تغذیه شوند. از این رو، هرگونه نوآوری در حوزه فناوری‌های کشاورزی در بهبود امنیت غذایی جهان اثربخش خواهد بود. فناوری حسگرهای پوشش گیاهی، انقلابی را در حوزه تولید و مدیریت حوزه کشاورزی ایجاد خواهد کرد تا با بهینه‌تر شدن فرایند تولید، ضایعات و اثرات زیست‌محیطی کشاورزی به حداقل برسد تا در تأمین امنیت غذایی جمعیت روبه‌رشد جهان کمک‌کننده باشد.

## ■ فناوری اومیکس فضایی

بدن انسان از بیش از ۳۷/۲ تریلیون سلول تشکیل شده و مکانیسم چگونگی هماهنگی آنها برای حیات بشر به کمک فناوری اومیکس فضایی و روش‌های جدید تصویربرداری پیشرفته و وضوح توالی دی‌ان‌ای در فرایندها بیولوژیکی مولکولی امکان‌پذیر می‌شود. از این فناوری در تشخیص انواع تومورها و درمان بیماری‌های آلزایمر و آرتروز روماتوئید می‌توان استفاده کرد. انواع بیماری‌های عفونی با فناوری اومیکس فضایی قابل بررسی و درمان می‌گردد. ارزش این فناوری در بازار طی سال ۲۰۲۱ معادل ۲۳۲ میلیون دلار بود که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ به ۵۸۷ میلیون دلار افزایش یابد.

## ■ الکترونیکی شبکه عصبی منعطف

فناوری رابط مغز-ماشین (BMIs)<sup>۱</sup> سیستم‌هایی هستند که ارتباط میان مغز با دستگاه‌های خارجی نظیر رایانه یا اعضای مصنوعی را ممکن می‌سازند. این رابط‌ها می‌توانند با تفسیر سیگنال‌های مغز آن را به فرمان‌هایی تبدیل کنند که باعث کنترل و مشاهده باز خورد حسی مغز مستقیماً با دستگاه شود. با توسعه این فناوری رابطه واقعی مغز با هوش مصنوعی توسعه می‌یابد؛ گرچه با ظهور این گونه فناوری‌ها ملاحظات مرتبط با مسائل اخلاقی

1. Sustainable Air Fuel.

۱. One Health، رویکرد «یک سلامت» یا «سلامت یکپارچه» سازمان جهانی بهداشت بر یکپارچگی سلامت انسان، حیوان و محیط زیست تأکید دارد.

2. Brain Machine Interferences

به ارائه خدمات مشاوره‌ای و محصولات پژوهشی می‌پردازد. عمده فعالیت‌های این شرکت در سه بخش الف) تحقیق و پژوهش، ب) کنفرانس‌ها و ج) مشاوره‌ها طبقه‌بندی می‌شود. با توجه به ماهیت فعالیت‌های این شرکت، بخشی از اقدامات آن جهت ارائه مشاوره‌های صحیح به مشتریان، معطوف به شناسایی و معرفی کلان‌روندهای فناوری با تمرکز بر فناوری‌های دیجیتال است. در گزارش‌های سالیانه بررسی کلان‌روندهای گارتنر، بسیاری از شرکت‌ها، انجمن‌های رتبه‌بندی محیطی، اجتماعی و حاکمیتی (ESG)، سازمان‌های غیرانتفاعی، فروشندگان و سرمایه‌گذاران با بررسی مسائل مهم، فرصت‌ها و ریسک‌های نوپدید همکاری می‌کنند.

### ۱-۴-۳. روش‌شناسی گارتنر در تعیین روندهای فناوری

رویکرد و ابزارهای ارزیابی و تحلیل فناوری گارتنر به دو طریق است: ۱. مربع جادویی<sup>۱</sup>، این ابزار برای ارزیابی پیشرفت و جایگاه شرکت‌های مختلف حوزه فناوری به کار می‌رود؛ همچنین برای شناسایی شرکت‌های پیشرفته در زمینه‌های مختلف از جمله فناوری اطلاعات، خدمات مشتری، بازار یابی، زنجیره تأمین و فروش این جدول ارائه می‌شود. جدول مربع جادویی، سمت‌وسوی بازار و بازیگران اصلی آن بازار را معرفی و رده‌بندی می‌کند. ۲. چرخه هایپ<sup>۲</sup> که نموداری از مراحل حیات یک فناوری نوپدید ارائه می‌دهد. این چرخه یک نمای کلی از چگونگی رشد و تکامل فناوری، در یک بازه زمانی مشخص ارائه می‌دهد. چرخه هایپ به مشاغل کمک می‌کند تا در جهت اهداف تجاری خود تلاش کنند. در حین استفاده از این نمودار، نباید یک دید تجویزی داشت، برای مثال، اگر یک فناوری در انتهای چرخه هایپ باشد، به معنای ناکارآمدی پروژه نیست. درک این نکته مهم است که محصولات، فروشندگان، فناوری‌های خوب و متوسط همه با هم چرخه را طی می‌کنند و هر چه یک فناوری جدید به اوج خود می‌رسد ممکن است فناوری قدیمی به سطح پایین‌تر تنزل یابد. این نمودار در محور افقی است و از منظر گارتنر، با گذشت زمان فناوری بالغ‌تر می‌شود. در این چرخه پنج مرحله اصلی برای هر فناوری تعریف می‌شود که عبارتند از: ظهور فناوری، اوج انتظارات، شیب سرخوردگی، سطح سوددهی و شیب روشننگری.

آن باید در نظر گرفته شود. این فناوری باید با پذیرش و اعتماد عمومی در تعادل قرار گیرد و با تدوین مقررات و دستورالعمل‌های حریم خصوصی و ملاحظات اخلاقی، از کوتاه‌مدت به میان‌مدت و استفاده از این فناوری در نهایت به بلندمدت ارتقا یابد.

### ■ محاسبات پایدار

در حالی که جهان با بحران‌های شدید زیست‌محیطی دست به گریبان شده و روزه‌روز این پیامدها نامطلوب و بدتر می‌شود، افزایش وابستگی به داده‌ها نقش قابل توجهی نخواهد داشت. مراکز داده، که تسهیل‌گر جستجوهای گوگل، ایمیل، متاورس، هوش مصنوعی و سایر بخش‌های روبه‌رشد جامعه مبتنی بر داده هستند حدود یک درصد از برق تولید شده در جهان را مصرف می‌کنند. با توجه به گسترش توسعه فناوری‌های نوپدید، رویای توسعه مراکز داده بدون نیاز به مصرف انرژی<sup>۱</sup>، در حال به حقیقت پیوستن است. قابل ذکر است که توسعه این فناوری‌ها در مقایسه با سایر فناوری‌های شناسایی شده توسط مجمع جهانی اقتصاد، بیشترین تأثیر را در سلامت، رفاه، تساوی حقوق، حفظ محیط‌زیست و توسعه صنعتی نشان داده است.

### ■ مراقبت‌های بهداشتی و درمانی مبتنی بر هوش مصنوعی

با همه‌گیری کرونا و بحران سلامت، رفته‌رفته دولت‌ها در کنار گروه‌های پژوهشی و تحقیقاتی، با ادغام هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در حوزه بهداشت و سلامت جهت تحول این حوزه گام‌های مؤثری برداشتند. گسترش برنامه‌ها و نرم‌افزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی برای ارتقای سلامت در جهان با شدت بیشتری پیش می‌رود و انتظار می‌رود در سه تا پنج سال آینده هم شرکت‌ها و صنایع فعال در این حوزه و هم مردم از این فناوری منتفع شوند [۹].

### ۲-۴-۳. شرکت گارتنر<sup>۲</sup>

شرکت گارتنر، شرکتی پژوهشی-مشاوره‌ای است که از سال ۱۹۷۹ توسط جیدی ین گارتنر<sup>۳</sup> در ایالت کنتیکت آمریکا تأسیس شد. این شرکت دارای شعب مختلف در بیش از ۹۰ کشور جهان نظیر اروپا، آسیای جنوب شرقی، ژاپن و خاورمیانه است. هم‌اکنون با بودجه‌ای به ارزش ۵ میلیارد دلار با بیش از ۲۵۰۰ پژوهشگر و مشاور متخصص

1. Net- Zero-Energy Data Centers

2. www.Gartner.com

3. Gideon Gartner

4. Magic Quadrant

۵. Hype cycle عبارتند از: نمایشی گرافیکی و روشی که توسط سازمان گارتنر به منظور تحلیل و پیش‌بینی بلوغ و پذیرش فناوری‌های نوپدید استفاده می‌شود. چرخه هایپ نگرشی از مراحل چرخه حیات یک فناوری ایجاد می‌کند و این مراحل شامل ابتدایی‌ترین مرحله تا دوره پذیرش فناوری و نهایت افول و سقوط آن را شامل می‌شود.

۲. پدافند: مدیریت مستمر مواجهه با تهدید،
  ۳. حمایت از آینده: فناوری پایدار،
  ۴. توسعه‌دهنده محورهای خویش‌یار: پلتفرم (بن‌سازه) مهندسی،
  ۵. تسریع در ایجاد: توسعه بیشتر هوش مصنوعی،
  ۶. ویژه‌سازی کار ویژه‌سازی شده: بسترهای ابری صنعتی،<sup>۴</sup>
  ۷. تصمیم‌گیری بهینه: برنامه‌های هوشمند،<sup>۵</sup>
  ۸. قدرت و مسئولیت: هوش مصنوعی مولد دمکراتیک شده،
  ۹. فشار بر پیشگامان: افزایش نیروی کار مجهز به پیشرفته‌ترین فناوری‌های ارتباطی و تولیدی،
  ۱۰. خریداران رمزازی: خریداران ماشینی.
- همان‌طور که در کلان‌روندهای فوق مشهود است نقش هوش مصنوعی بسیار پررنگ و با جامعیت بیشتر در نظر گرفته شده است و دسترسی شرکت‌ها به اهداف خود در حوزه‌های مختلف با ورود هوش مصنوعی و بهره‌گیری از فناوری‌های آن افزایش خواهد یافت. در شکل ۳، تصویر کلی از ۱۰ کلان‌روند پیش‌بینی شده گارتنر ۲۰۲۴ به همراه حوزه‌های اختصاصی ارائه شده است [۱۰].

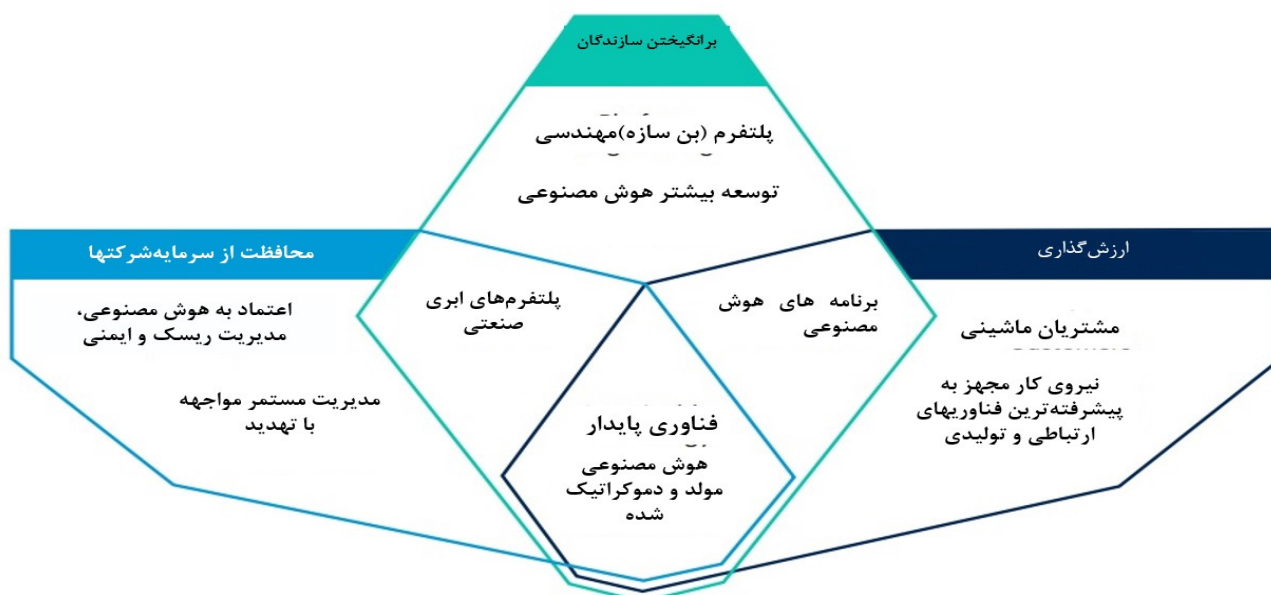
به این ترتیب گارتنر با در نظر گرفتن مؤلفه‌های کلیدی برای شرکت‌ها از قبیل محافظت از سرمایه شرکت‌ها، برانگیختن سازندگان و ارزش‌گذاری فناوری روند فناوری‌های آتی را برای آنها پیش‌بینی می‌کند.

## ۲-۴-۳. ۱۰ کلان‌روند پیش‌بینی شده گارتنر ۲۰۲۴ در خصوص فناوری‌های راهبردی

در عصر تحول هوش مصنوعی، برخی از ارزش‌آفرینی‌ها بر پایه هوش مصنوعی هدایت می‌شود و برخی دیگر کمک می‌کند تا علاوه بر برآورده کردن انتظارات مشتری و ایجاد مدل‌های نوین کسب‌وکار با هوش مصنوعی، اثربخش‌تر و ایمن‌فعالیت کرد. شرکت گارتنر برای کمک به کسب‌وکارهای نوپدید و مترصد به ارزش‌آفرینی،<sup>۱</sup> ۱۰ کلان‌روندی که تا ۳۶ ماه آینده قابلیت دسترسی و رقابتی را خواهند داشت بررسی و معرفی نموده است. در نمای کلی کلان‌روندهای پیشنهادی گارتنر به‌قرار ذیل است [۱]:

۱. هوش مصنوعی به‌عنوان شریک تجاری: اعتماد به هوش مصنوعی، مدیریت ریسک و ایمنی<sup>۲</sup> (TRiSM).

شکل ۳. تصویر کلی از ۱۰ کلان‌روند پیش‌بینی شده شرکت گارتنر ۲۰۲۴



Source: Gartner 2024.

1. Generating Value
2. Risk and Security Management
3. Developer- Driven Self- Service: Platform Engineering
4. Tailor Your Tailor's Work: Industry Cloud Platforms
5. Optimize Decision-Making: Intelligent Applications
6. Push the Pioneers
7. Buyers with Byte(s)

## ۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری



■ **تحول دیجیتال:** در این فرضیه، جهان آینده به شدت تحت تأثیر تحولات دیجیتالی و محاسباتی خواهد بود. از این رو فناوری‌های منتسب به آن از قبیل محاسبات ابر و لبه، هوش مصنوعی به‌ویژه هوش مصنوعی مولد، اینترنت اشیا و تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم، رباتیک، گسترش اتوماسیون در بخش‌های مختلف و فناوری‌های کوانتوم از جمله آنهاست.

■ **انقلاب در مراقبت‌های بهداشتی و سلامت:** در این رویکرد به توسعه فناوری‌های مرتبط با سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی تأکید می‌شود و دسترسی سراسر جهان به نظام کارآمد بهداشت و سلامت را هدف قرار می‌دهد. پیشرفت‌های علمی و فناوری در مورد پزشکی از راه دور، پزشکی خصوصی، پزشکی رباتیک و نظارت از راه دور بیماران، مهندسی ژنتیک نوین و سایر فناوری‌های زیستی با تمرکز بر تأمین غذا و حفظ تنوع زیستی در زمره این فناوری‌ها و نوآوری‌ها به‌شمار می‌رود.

■ **هوشمندسازی (با تمرکز بر صنایع):** در این رویکرد توسعه فناوری‌ها مبتنی بر هوشمندسازی صنایع و ایجاد تحولات جدی در عملکرد آن صنایع است که بیشترین اثرگذاری را بر جامعه و حاکمیت داشته باشند. به این ترتیب مجموعه کلان‌روندهای پیش‌بینی شده توسط نهادهای ذکر شده در جدول ۴ آمده است. بر اساس این پیش‌بینی‌ها، تحولات فناوری در چهار حوزه دیجیتال، زیستی، هوشمندسازی صنایع و انرژی قابل رصد خواهند بود:

□ **فناوری‌های دیجیتالی:** همان‌طور که در جدول پیوست ارائه شده، فناوری‌های محاسباتی مرتبط با هوش مصنوعی فصل مشترک تمامی فناوری‌ها در آینده هستند. هم‌زمان با توسعه هر چه بیشتر هوش مصنوعی و هویت‌سازی دیجیتالی، سایر فناوری‌ها در حوزه اطلاعات و ارتباطات از جمله فناوری‌های کوانتومی، واقعیت فراگیر، ابر و محاسبات لبه و نسل‌های جدید ارتباطی (نسل پنجم و ششم) نیز به عنوان زیرساخت‌های مهم تحول دیجیتال گسترش خواهند یافت.

□ **فناوری‌های زیستی:** بخش قابل توجهی از تحولات فناورانه در حوزه‌های زیستی از جمله سلامت و مراقبت‌های بهداشتی با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و سایر فناوری‌های دیجیتالی همگرا با آن رخ خواهد داد. علاوه بر این، تحقق امیکس فضایی به عنوان یک فناوری در نقشه‌برداری مولکول‌ها و سلول‌های زیستی و ارائه نسل جدیدی از اطلس‌های سلولی در سطح مولوکولی و همچنین وسایل الکترونیکی منعطف و زیست‌سازگار

روندهای آینده فناوری به پیشرفت‌ها و تغییرات پیش‌بینی شده در خصوص فناوری‌های مختلف اشاره دارد که انتظار رخ دادن آن ممکن است. امروزه، آشنایی با روندهای فناوری برای کشورها از اهمیت بسزایی برخوردار است و جوامع جهانی به‌منظور رشد اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی، کسب امنیت ملی، ارتقای پایدار زیست‌محیطی و توسعه اجتماعی به آن وابسته‌اند. آشنایی و همگامی با روندهای آتی فناوری این امکان را برای کشورها مهیا می‌سازد که بینش صحیحی از اقدامات و رویکردهای همدیگر در عرصه فناوری و اثرات آن بر تعاملات فی‌مابین داشته و در عصر تحول دیجیتال و هوش مصنوعی، سرعت و برنامه‌ریزی بهتری برای تطابق و سازگاری و توسعه و بهره‌برداری بهتر از فناوری‌های مزیت‌دار برای خود داشته باشند. امروزه شرکت‌ها و مؤسسات بزرگ جهان به‌منظور هدایت تصمیم‌گیران حوزه فناوری، با استفاده از ابزارهای مختلف به‌ارزیابی، تجزیه و تحلیل فناوری‌های پژوهشی می‌پردازند و نتایج آن هر ساله در معرفی کلان‌روندهای حوزه فناوری ارائه می‌گردد. نحوه‌گزینش و معرفی روندهای فناوری از طریق پژوهش و تحقیق بازار، تحلیل صنعت و مشاهده رفتار مصرف‌کننده صورت می‌گیرد. در این پژوهش چهار مجموعه شامل مکنزی، امپریال کالج لندن، مجمع جهانی اقتصاد و گارتنر به‌دلیل اعتبار پژوهشی بالا، فراوانی مخاطبان و همچنین سطح اثرگذاری و انتشار سالیانه اطلاعات و داده‌ها در رصد فناوری، مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مطالعه کلان‌روندهای پیش‌بینی شده توسط این چهار نهاد نشان می‌دهد هر چند شیوه‌های شناسایی و دسته‌بندی فناوری‌ها بر اساس مؤلفه‌های لزوماً یکسان یا مشابهی انجام نمی‌شود، اما مبتنی بر چند فرض اصلی است که عبارتند از [۱۰-۱۱]:

پیش‌بینی‌های اصلی در شکل‌گیری روندها و تحولات آتی فناوری‌ها

■ **توسعه پایدار (با تمرکز بر انرژی):** موضوع انرژی به‌لحاظ افزایش روزافزون نیاز به انرژی و ضرورت تأمین آن از طریق منابع جدید، جدی شدن چالش تغییرات آب‌وهوایی، لزوم بهینه‌سازی مصرف و حرکت به سمت کم‌مصرف شدن انرژی توسط صنایع یکی از مسائل کلیدی آینده است. در این مسیر معمولاً بر توسعه فناوری‌هایی تمرکز می‌شود که با هدف پایداری و کاهش اثرات جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی به کار می‌رود. فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت پسماندها و رفع چالش‌های مرتبط با حمل‌ونقل و سازگاری آن با محیط زیست در اولویت قرار می‌گیرد.



هوشمندسازی صنایع به کمک یادگیری ماشینی و از طریق ایجاد بسترهای ابری محاسباتی ادامه خواهد یافت.

❑ **فناوری‌های حوزه انرژی:** توسعه این دسته از فناوری‌ها عمدتاً با هدف دستیابی به انرژی‌های پاک و توزیع بهینه انرژی و مصرف آن صورت خواهد گرفت. در این راستا، انرژی‌های تجدیدپذیر با تمرکز بر توسعه فناوری‌های مرتبط با باتری‌های انعطاف‌پذیر و تاشو متمرکز بر تولید انرژی‌های خورشیدی در اولویت قرار گرفته‌اند. همچنین توسعه فناوری‌های مرتبط با سوخت هیدروژنی و راکتورهای همجوشی نیز در زمره انرژی‌های پاک در آینده دنبال می‌شوند. در زمینه بهینه‌سازی توزیع و مصرف انرژی نیز ترکیب دو حوزه محاسبات و فناوری‌های مرتبط با انرژی از اهمیت بسزایی برخوردار است و هوش مصنوعی مولد نقش اثرگذاری در اجرای راهبردهای فناورانه خواهد داشت.

شکل ۴ تصویری کلی از تحولات فناوری در آینده مبتنی بر یافته‌های این پژوهش ارائه داده است.

به عنوان رابط مغز و ماشین نیز با جمع‌آوری، پردازش و ذخیره‌سازی اطلاعات زیستی به کمک هوش مصنوعی امکان پذیر است. توسعه دارویی و حسگرهای پوشیدنی گیاهی به عنوان فناوری‌هایی که مرزهای نظارت، کنترل و درمان را از ابعاد عمومی به شخصی‌سازی شده و جداگانه به ازای هر فرد یا موجود تسری خواهند داد در تحولات فناورانه زیستی به کمک هوش مصنوعی با جدیت دنبال خواهند شد.

❑ **هوشمندسازی صنایع:** نقطه هدف و اثرگذاری هوشمندسازی صنایع با توجه به اثرات اجتماعی و اقتصادی آن و انگیزه شرکت‌ها، عمدتاً در صنایع حمل و نقل هوایی و زمینی با تأکید بر خودرو شناسایی شده است. فناوری‌های خودران کردن وسایل نقلیه (مبتنی بر هوش مصنوعی) و برقی‌سازی از جمله فناوری‌های آینده این حوزه معرفی شده‌اند. همچنین توسعه فناوری‌های فضایی بر بستر هوش مصنوعی و تولید سوخت پایدار هوانوردی نیز مد نظر قرار خواهند گرفت. در عین حال تلاش برای

شکل ۴. تحولات فناوری در آینده



مأخذ: یافته‌های پژوهش.

از این رو نیاز است برنامه‌های توسعه فناوری و انتخاب فناوری‌های اولویت‌دار در کشور با نگاه به کلان‌روندهای جهانی فناوری و تطبیق آن با شرایط داخلی از جمله نیازها و چالش‌های آتی پیش روی کشور که فناوری می‌تواند در حل آنها نقش عمده‌ای ایفا کند و همچنین ظرفیت‌های کشور در رقابت‌پذیری تنظیم شود.

بی‌شک استقبال و پذیرش فناوری‌های نوپدید و اختصاص سرمایه‌گذاری هدفمند و قاعده‌مند، محرک اصلی پیشرفت و شکوفایی ایران در سال‌های آتی خواهد بود. هر چند باید بر این نکته تأکید کرد که شناسایی فناوری‌ها به معنای در بست پذیرفتن آنها نیست و باید با اقتضات بومی، دینی، فرهنگی و توسعه صنعتی کشور همساز باشد.



جدول ۴. تصویر کلی حوزه‌های مورد بررسی روندهای فناوری در چهار مؤسسه منتخب

شرکت / فناوری	مکنزی	امپریال کالج لندن	مجمع جهانی اقتصاد	گارتنر
فناوری‌های دیجیتال	<ul style="list-style-type: none"> <li>– هوش مصنوعی کاربردی</li> <li>– هوش مصنوعی مولد</li> <li>– توسعه نسل جدید نرم‌افزار</li> <li>– معماری‌ها و هویت دیجیتالی – قابل اعتماد</li> <li>– وب ۳</li> <li>– اتصال پیشرفته</li> <li>– فناوری‌های واقعیت فراگیر</li> <li>– ابر و محاسبات لبه</li> <li>– فناوری‌های کوانتومی</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>در سناریوی همگرایی و خودگردانی</li> <li>ارتباطات فراتر از نسل پنجم، معماری‌های نوین الکترونیکی، لبه فراگیر هوش مصنوعی، اینترنت داده‌های کوچک، هوش ازدحام، شبکه‌های خودنگهدارنده (SSN)</li> <li>در سناریوی کوانتوم و ناشناختگی</li> <li>ارتباطات غیر قابل هک، شیشه‌سازی بازار مالی، رمزنگاری کوانتومی، رایانه‌های کوانتومی، اطلاعات کوانتومی، ابر کوانتومی، سیستم‌های جدید جی پی اس، شبکه‌های موبایلی کوانتومی، محاسبات توزیع کوانتومی، اینترنت کوانتومی، رایانه‌های کوانتومی، دوقلوهای دیجیتالی زمین، سنجش سیاره‌ای، مدل‌سازی شبکه هوشمند زمین</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– هوش مصنوعی مولد</li> <li>– محاسبات پایدار</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>هوش مصنوعی، هوش مصنوعی مولد، دفاتر کل توزیع شده (با تکیه بر رمازرها)، هوش مصنوعی مولد و دمکراتیک شده، مدیریت امنیت هوش مصنوعی</li> </ul>
فناوری‌های زیستی	<ul style="list-style-type: none"> <li>مهندسی زیستی (سلامت و پزشکی – کشاورزی و غذا)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>در سناریوی همگرایی و خودگردانی</li> <li>درمان بدون دارو، اینترنت بیونانو اسیا، سیستم‌های بی‌سی‌آی و پزشکی بیوالکترونیک، الکترونیک بدون سم، محیط اتری، محیط‌های شناختی و سطوح، واکنش‌های شیمیایی جدید و بهینه، کشف مواد شیمیایی جدید کشاورزی، طراحی آرمایشات فراتر از توان بشر، روش دایال – آب مولکولی در ساخت داروها (ستنز داروها با فرایندهای جدید)، بارگذاری شناختی آزمون و خطاهای تجربی، ماشین‌های بیولوژیکی برتر در سناریوی کوانتوم و ناشناختگی</li> <li>توسعه دارویی، پیش‌بینی آب‌وهوا و تغییرات جوی، کود پاک، کاوشگر طبیعت فراتر از علوم کلاسیک، علوم فراتر از درک بشر، سنجش سیاره‌ای، مدل‌سازی شبکه هوشمند زمین، توزیع منابع در مقیاس سیاره‌ای، زمین به‌عنوان یک ابرساختار به هم پیوسته زنده و حسگر، الگوهای جدید علمی</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– فازهای طراح</li> <li>– متاورس ویژه سلامت روان</li> <li>– حسگرهای پوشش گیاهی</li> <li>– مراقبت‌های بهداشتی و درمانی مبتنی بر هوش مصنوعی</li> <li>– اومیکس فضایی</li> <li>– الکترونیک شبکه عصبی منعطف</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>پدافند؛ مدیریت مستمر مواجهه با تهدید</li> </ul>
فناوری‌های هوشمندسازی صنایع	<ul style="list-style-type: none"> <li>– صنعتی‌سازی یادگیری ماشینی</li> <li>– آینده جابه‌جایی (اتومبیل‌های خودران / برقی)</li> <li>– فناوری‌های فضا</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>در سناریوی همگرایی و خودگردانی</li> <li>دستگاه‌های بدون باتری، بدون سیم و بدون نیاز به نگهداری، زنجیره تأمین کاملاً خودکار نسل پنجم صنعتی، نسل پنج صنعتی، کاهش مقیاس زمانی اکتشاف و حقیقی‌سازی مواد جدید</li> <li>در سناریوی کوانتوم و ناشناختگی</li> <li>پهپاد کوانتومی، کشف مواد الکترونیکی جدید، طراحی باتری‌های برتر، کنترل ترافیک</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>باتری‌های انعطاف‌پذیر و تاشو</li> <li>سوخت پایدار هوانوردی</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>بسترهای ابری صنعتی، پلتفرم (بن‌سازه) مهندسی، مشتریان ماشینی، نیروی کار مجهز به پیشرفته‌ترین فناوری‌های ارتباطی و تولیدی</li> </ul>
فناوری‌های مرتبط با انرژی	<ul style="list-style-type: none"> <li>برقی‌سازی و تجدیدپذیرها</li> <li>انرژی‌های نوین با منابع جدید برای مقابله با تغییرات آب‌وهوایی</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>در سناریوی همگرایی و خودگردانی</li> <li>انتقال برق بی‌سیم، انتقال و تقسیم انرژی میان اشیاء، ادغام شبکه‌های انرژی با شبکه‌های مخابراتی (تلکام)، همگرایی محاسباتی، حس‌گری، بومی‌سازی و انتقال انرژی، کوچک‌سازی (هابیر میناتوری)</li> <li>دستگاه‌های برقی بر اساس قانون مور، شیمی و علم بهینه مواد، پایدار و کارآمدی انرژی، در سناریوی کوانتوم و ناشناختگی</li> <li>بهینه‌سازی شبکه‌های بزرگ مقیاس انرژی، انرژی همجوشی، انرژی‌های پایدار و پاک برای محاسبات جدید</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>سوخت پایدار هوانوردی</li> <li>محاسبات پایدار</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>فناوری پایدار</li> </ul>



منابع و مأخذ

- [1] Pouris, A. (Dec. 2012). "Technology Trends: A review of Technologies and Policies", Institute for Technological Innovation, University of Pretoria. Retrieved from [http://www.thedtic.gov.za/wp-content/uploads/Technology\\_Trends.pdf](http://www.thedtic.gov.za/wp-content/uploads/Technology_Trends.pdf)
- [2] Resolving global challenges and crises through international collaboration. <https://www.oecdilibrary.org/sites/e0643f52en/index.html?itemId=/content/component/e0643f52-en>
- [3] رسولی، هاتف. (آبان ماه ۱۳۹۹). «تحلیلی بر روندهای کلان فناوری در سال ۲۰۲۱ با رویکرد هویت دیجیتال»، شرکت برهان.
- [4] قلم‌بر، محمدمامین، عبادی سیدمحمدعلی و کرمی خسرو (۱۴۰۱). «کلان روندهای فناوری به روایت ۸ مؤسسه برتر مشاوره مدیریت جهان»، واحد مطالعات راهبردی و آینده‌پژوهی شرکت سرمایه‌گذاری دی، انتشارات کاریز قم.
- [5] Industrial Technology Research Institute, "2030 Advanced Technology from an Asian Perspective", Retrieved from <https://www.itri.org.tw>
- [6] اندیشکده راهبرد نوین ایران (۱۴۰۱). «دورنمای روندهای فناوری در سال ۲۰۲۲»، از مقالات تخصصی مدیریت فناوری و اقتصاد برگرفته از تارنمای [www.iranren.com](http://www.iranren.com)
- [7] اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی فارس (۱۴۰۱). «برترین روندهای فناوری استراتژیک در سال ۲۰۲۲»، گزارش شماره ۰۱/۰۱-۰۲ سال ۱۴۰۱، دبیرخانه کمیسیون‌های تخصصی اتاق بازرگانی فارس، کمیسیون فناوری اطلاعات، ارتباطات و اقتصاد رسانه، برگرفته از <https://research.chambertrust.ir>
- [8] World Economic Forum. (June, 2023). "Top 10 Emerging Technologies of 2023", Center for the Fourth Industrial Revolution.
- [9] McKinsey. (2023). "Technology Trends Outlook 2023", Retrieved from [www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com)
- [10]. Hepworth, Simon. (2023). "2041 Scenarios, Computation, energy and the planet", Imperial College London.
- [11] Willemsen, B. "Gartner Top 10 Strategic Technology Trends 2024". [www.Gartner.com](http://www.Gartner.com)



#### گزیده سیاستی

رصد روندهای فناوری حاکی از اهمیت آن در ایجاد تحول در حوزه‌های سلامت و بهداشت، انرژی، صنعت و حمل‌ونقل هوشمند است که فناوری‌های دیجیتال با تمرکز بر هوش مصنوعی نقش پررنگی ایفا می‌کند.



مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاسداران، روبروی پارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۵۸۵۵ پست الکترونیک: [mrc@majles.ir](mailto:mrc@majles.ir)

وبسایت: [rc@majles.ir](http://rc@majles.ir)