ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری

آینده پیش رو: انقلاب صنعتی چهارم و تحولات فناوری

مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری

گروه پژوهشی آینده‌نگری و فناوری‌های نو

مجموعه گزارش شماره **۵۲**

بسم الله الرحمن الرحيم

شناسه گزارش

عنوان	آینده پیش‌رو: انقلاب صنعتی چهارم و تحولات فناوری
کد شناسه	۹۸-۱۱-۱۰۱۰۸
گروه پژوهشی	آینده‌نگری و فناوری‌های نو
پدیدآورندگان	مجید مردانی شهری، محمدعلی برادران قهفرخی
همکاران	-
مشاور علمی	-
ناظر علمی	دکتر مجتبی خالصی
ناشر	مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری
صفحه آرایی	محمدسعید حسن پورزرکامی
تاریخ انتشار	زمستان ۱۳۹۸

مطالب این گزارش لزوماً بیانگر نظر رسمی سازمان برنامه و بودجه کشور و مرکز پژوهش های توسعه و آینده‌نگری نیست.

حقوق معنوی اثر به پدیدآورندگان و حقوق مادی آن، به مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری سازمان برنامه و بودجه کشور تعلق دارد و استفاده از آن با ذکر مأخذ بلامانع است.

آدرس: تهران- خیابان استاد نجات‌الهی- کوچه سپند- پلاک ۱۶

https://www.dfrc.ir/
Email: info@dfrc.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

خلاصه مدیریتی

مقدمه ۱

۱- تعاریف ۴

۱-۱- فناوری ۴

۱-۲- نوآوری ۴

۲- انقلاب صنعتی چهارم و چشم‌انداز آینده صنعتی جهان ۶

۲-۱- ابعاد انقلاب صنعتی چهارم ۶

۲-۱-۱- چالش‌ها و فرصت‌ها ۸

۲-۱-۲- تأثیر بر کسب‌وکار و مشاغل ۹

۲-۱-۳- تأثیر بر دولت ۱۰

۲-۱-۴- تأثیر بر مردم ۱۱

۲-۱-۵- شکل دادن به آینده ۱۲

۲-۱-۶- نقاط عطف ۱۲

۲-۲- چرا انقلاب صنعتی چهارم اهمیت دارد؟ ۱۳

۲-۳- اثرات انقلاب صنعتی چهارم بر تولید ۱۵

۲-۴- اثرات انقلاب صنعتی چهارم بر تولید ۱۶

۲-۵- انقلاب صنعتی چهارم برای زمین ۱۸

۲-۶- جمع‌بندی ۲۱

۳- تحولات فناوری و تأثیر آن بر حمل‌ونقل ۲۳

۳-۱- پنج عامل تحول حمل‌ونقل و لجستیک ۲۳

۳-۱-۱- دیجیتالی شدن ۲۶

۳-۱-۲- تغییر در تجارت جهانی ۲۶

۳-۱-۳- تغییرات مبتنی بر نرم‌افزار در فرایندها ۲۷

۳-۱-۴- تغییر در تجارت داخلی بازارها ۲۸

۳-۱-۵- تغییرات ماشین‌محور در فرایندها ۲۹

۳-۲- آینده لجستیک ۳۵

۳-۲-۱- سناریوی فناورانه ۱: ناوگان خودران کارایی بیشتر را به ارمغان می‌آورند ۳۵
۳-۲-۲- سناریوی فناورانه ۲: داده به‌عنوان بزرگ‌ترین عامل تأثیرگذار جایگزین سوخت می‌شود ۳۶
۳-۲-۳- سناریوی فناورانه ۳: نسل جدید فناوری؛ بازیگران کمتر دارایی‌محور هستند ۳۷
۳-۲-۴- سناریوی فناورانه ۴: بسترهای واسطه‌گری اینترنتی (اوبر کامیون‌ها) ۳۷
۳-۲-۵- سناریوی فناورانه ۵: تجارت هوشمند با بلاکچین ۳۷
۳-۲-۶- آینده: زنجیره تأمین خود هدایت‌شونده ۳۸
۳-۳- جابه‌جایی ۲۰۵۰: آینده حمل‌ونقل شخصی ۳۸
۳-۳-۱- اهمیت صنعت خودرو ۴۳
۳-۳-۲- چهار آینده ممکن در کنار هم خواهند زیست ۴۵
۳-۳-۳- آینده دوم: جهان خودروهای اشتراکی ۴۶
۳-۳-۴- آینده سوم: انقلاب خودروهای خودران ۴۶
۳-۳-۵- آینده چهارم: عصر جدید خودران‌های در دسترس ۴۶
۳-۳-۶- عوامل تأخیر یا شتاب ۴۹
۳-۴- جمع‌بندی ۵۰
۴- تأثیر تحول فناوری بر مشاغل ۵۳
۴-۱- آینده کار/ فناوری ۲۰۵۰ ۵۳
۴-۱-۱- سناریوهای آینده ۵۳
۴-۱-۲- دلفی آنلاین ۵۷
۴-۲- فناوری‌های نوین و مشاغل آینده ۶۲
۴-۱-۳- گزارش مشاغل آینده ۶۵
۴-۲- یادگیری مجدد مهارت و بالا بردن آن کافی نیست ۷۷
۴-۲-۱- جمع‌بندی ۷۸
۵- تحول فناوری و آینده تولید ۸۰
۵-۱- فناوری و نوآوری برای آینده تولید: شتاب بخشیدن به ایجاد ارزش ۸۰
۵-۱-۱- هوش مصنوعی ۸۳
۵-۱-۲- رباتیک پیشرفته ۸۴
۵-۱-۳- فناوری‌های پوشیدنی ۸۶
۵-۱-۴- چاپگر سه‌بعدی ۸۷
۵-۱-۵- همگرایی فناوری‌ها: فرصت‌هایی جدید برای ایجاد ارزش ۸۸
۵-۲- جمع‌بندی ۹۴

۶- تحولات فناوری و چالش آب ۹۶
۶-۱- آینده جهانی آب: پنج سناریوی تلطیف شده ۹۷
۶-۱-۱- افق زمانی ۹۷
۶-۱-۲- نیروهای پیشران ۹۷
۶-۱-۳- سناریوها ۱۰۲
۶-۲- فناوری اطلاعات و ارتباطات برای مدیریت هوشمند آب ۱۰۸
۶-۲-۱- مدیریت منابع آب ۱۰۸
۶-۲-۲- نقشه‌برداری از منابع آب، پیش‌بینی آب‌وهوا و رصد اقلیم ۱۰۸
۶-۳- روندهای اصلی بخش آب در جهان ۱۱۰
۶-۳-۱- اهمیت آب ۱۱۱
۶-۳-۲- ارزش داده ۱۱۲
۶-۳-۳- سیلی از داده ۱۱۲
۶-۳-۴- پتانسیل فناوری ۱۱۳
۶-۴- راه‌حل‌هایی برای بحران جهانی آب ۱۱۶
۶-۴-۱- نقش فناوری ۱۱۶
۶-۵- چشم‌انداز آب منطقه منا ۱۱۹
۶-۶- جمع‌بندی ۱۲۳
۷- تحول فناوری و تأثیر آن بر کشاورزی ۱۲۶
۷-۱- کشاورزی آینده ۱۲۶
۷-۲- کشاورزی در ۲۰۳۰- داستان‌های آینده ۱۲۸
۷-۲-۱- فناوری راه‌حل مسائل کشاورزی ۱۲۹
۷-۳- آینده‌نگری فناوری ۲۰۳۵: فناوری‌های متحول کننده بخش کشاورزی-غذایی ایرلند ۱۳۱
۷-۳-۱- فناوری‌های نوظهور ۱۳۱
۸- خلاصه‌ای از فناوری‌های مرتبط با هر بخش ۱۳۷
۹- تصویر وضع موجود بخش علم، نوآوری و فناوری کشور ۱۳۹
۹-۱- عملکرد متغیرهای کلیدی حوزه فناوری طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۹۷ ..... ۱۴۰
۹-۲- شاخص توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات ۱۴۴
۹-۳- شاخص آمادگی شبکه‌ای ۱۴۵
۱۰- تحلیل نقاط قوت، ضعف و فرصت‌ها و تهدیدها (SWOT) ۱۴۸
۱۰-۱- تعریف SWOT ۱۴۸

۱۰-۱-۱- نقاط قوت ۱۵۰
۱۰-۱-۲- نقاط ضعف ۱۵۰
۱۰-۱-۳- فرصت‌ها ۱۵۱
۱۰-۱-۴- تهدیدها ۱۵۱
۱۰-۲- نقاط قوت و ضعف و فرصت‌ها و تهدیدهای آموزش، پژوهش و فناوری کشور ۱۵۱
۱۰-۳- تحلیل SWOT توسعه فناوری کشور ۱۵۴
۱۰-۴- راهکارها ۱۵۸
۱۰-۵- ماتریس تحلیل SWOT نظام علم و فناوری کشور ۱۶۱
نتیجه‌گیری ۱۶۳
پیوست: مدلی برای سنجش وضعیت فناوری‌های منتخب ۱۶۵
۱۰-۶- سطح آمادگی فناوری ۱۶۷
۱۰-۶-۱- اندازه‌گیری سطح آمادگی فناوری ۱۷۰
۱۰-۷- سطح آمادگی یکپارچگی ۱۷۰
۱۰-۸- سطح آمادگی سیستم ۱۷۲
۱۰-۸-۱- نحوه محاسبه سطح آمادگی سیستم ۱۷۲
۱۰-۸-۲- کاربرد سطح آمادگی سیستم ۱۷۴
۱۰-۹- سطح آمادگی بالقوه سیستم ۱۷۵
۱۰-۹-۱- نحوه محاسبه سطح آمادگی بالقوه ۱۷۶
۱۰-۱۰- درجه مشکلی پیشرفت ۱۷۸
۱۰-۱۱- سطح آمادگی تجاری‌سازی ۱۸۰
۱۰-۱۱-۱- ارتباط میان شاخص‌های سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی تجاری‌سازی ۱۸۰
۱۰-۱۱-۲- شرح سطوح CRI ۱۸۱
۱۰-۱۲- تعیین وضعیت دسته فناوری‌های منتخب به کمک شاخص ترکیبی SRL-CRI ۱۸۹
۱۰-۱۲-۱- توصیف شاخص ترکیبی CRI-SRL ۱۹۰
۱۰-۱۳- استخراج جایگاه نوآوری در جدول حالات مختلف وضعیت نوآوری ۱۹۹
منابع ۲۰۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱: حرکت به‌سوی انقلاب صنعتی بعدی ۷
جدول ۲: نقاط عطفی که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۵ روی دهند ۱۳
جدول ۳: فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم ۱۵
جدول ۴: انقلاب صنعتی چهارم و نمای کلی چشم‌انداز شهرهای نوظهور ۱۹
جدول ۵: خلاصه گزارش‌های انقلاب صنعتی چهارم ۲۲
جدول ۶: پنج عامل تحول حمل‌ونقل و لجستیک ۲۴
جدول ۷: عوامل تأخیر یا تسریع پذیرش فناوری‌های جدید حوزه حمل‌ونقل ۴۹
جدول ۸: خلاصه گزارش‌های تأثیر تحول فناوری بر حمل‌ونقل ۵۰
جدول ۹: فناوری‌های جایگزین مشاغل ۵۸
جدول ۱۰: میانگین اثر عواملی که می‌توانند به ایجاد شغل و جلوگیری از بیکاری گسترده کمک کنند ۵۸
جدول ۱۱: میانگین احتمال و اثر برخی از اقدامات پیشنهادی برای ایجاد شغل ۵۹
جدول ۱۲: میانگین احتمال برخی حالات ممکن برای آینده فاصله طبقاتی ۶۰
جدول ۱۳: میزان لزوم برقراری درآمد تضمینی (تعداد پاسخ‌دهندگان) ۶۰
جدول ۱۴: تغییرات بالقوه در هزینه‌های زندگی تا ۲۰۵۰ ۶۱
جدول ۱۵: رتبه‌بندی سناریوها با توجه به تعداد آرا ۶۲
جدول ۱۶: به‌کارگیری فناوری توسط صنعت و سهم شرکت‌های مطالعه شده، پیش‌بینی ۲۰۲۰-۲۰۱۸ ۶۸
جدول ۱۷: میزان اثرات بر نیروی کار در صنایع مختلف در سال ۲۰۲۲ ۶۹
جدول ۱۸: عوامل مؤثر بر مکان‌یابی مشاغل در ۲۰۲۲ ۷۰
جدول ۱۹: نمونه‌هایی از مشاغل بدون تغییر، مشاغل جدید و مشاغل مازاد بر نیاز ۷۱
جدول ۲۰: مقایسه تقاضای مهارت در ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲، ۱۰ مورد برتر ۷۴
جدول ۲۱ : خلاصه مطالب فصل ۷۸
جدول ۲۲: پیشران‌های فناورانه برای ایجاد ارزش در صنایع مختلف ۹۱
جدول ۲۳: تغییرات ماهیت کار ۹۲
جدول ۲۴: مهارت‌ها و شایستگی‌های لازم برای بهره‌برداری از فناوری‌های تولید با چاپگرهای سه‌بعدی ۹۴
جدول ۲۵: ویژگی‌ها و فناوری‌های مرتبط با تحولات فناوری و تولید ۹۵
جدول ۲۶: رابطه علی بین پیشران‌های مسئله آب ۱۰۰
جدول ۲۷: توضیحات سناریوی «جهان متعارف» ۱۰۲

جدول ۲۸: سناریوی «تعارض در جهان» ۱۰۳
جدول ۲۹: سناریوی «جهان فناور» ۱۰۴
جدول ۳۰: سناریوی «آگاهی جهانی» ۱۰۵
جدول ۳۱: سناریوی «جهان سنتی وارد رکود می‌شود» ۱۰۷
جدول ۳۲: منابع تأمین آب کشورهای منطقه منا تا ۲۰۵۰ (میلیون مترمکعب در سال) ۱۲۰
جدول ۳۳: سناریوی تأمین آب ایران تا ۲۰۵۰ ..... ۱۲۱
جدول ۳۴: جمع بندی رویکردها و فناوری ها ۱۲۴
جدول ۳۵: تأثیر فناوری‌های مهم نوظهور بر زنجیره ارزش بخش کشاورزی-غذایی در ۲۰۳۵ ..... ۱۳۳
جدول ۳۶ : نقش میکروبیوتا در انسان، حیوانات و محیط‌زیست ۱۳۵
جدول ۳۷: ارتباط بین سیستم زنجیره ارزش غذا و کلان‌داده ۱۳۶
جدول ۳۸: خلاصه فناوری‌های ذکر شده در گزارش‌های مختلف ۱۳۸
جدول ۳۹: عملکرد متغیرهای کلیدی بخش پژوهش و فناوری طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۲ ..... ۱۴۱
جدول ۴۰: رتبه ایران در زیرشاخصهای اصلی شاخص نوآوری جهانی طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۱ ..... ۱۴۲
جدول ۴۱: وضعیت ایران در شاخص توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات ۱۴۴
جدول ۴۲: وضعیت ایران در شاخص آمادگی شبکه‌ای ۲۰۱۶ ..... ۱۴۵
جدول ۴۳: شاخص آمادگی شبکه‌ای در کشورهای منطقه بین ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶ ..... ۱۴۷
جدول ۴۴: نقاط قوت و ضعف و فرصت‌ها و تهدیدهای آموزش، پژوهش و فناوری کشور ۱۵۲
جدول ۴۵: نقاط قوت نظام علم و فناوری کشور ۱۵۵
جدول ۴۶: نقاط ضعف نظام علم و فناوری کشور ۱۵۶
جدول ۴۷: فرصت‌های پیش روی نظام علم و فناوری کشور ۱۵۷
جدول ۴۸: تهدیدهای پیش روی نظام علم و فناوری کشور ۱۵۷
جدول ۴۹: تحلیل نقاط قوت، ضعف و فرصت‌ها و تهدیدها ۱۶۲
جدول ۵۰: مفهوم سطوح مختلف آمادگی فناوری ۱۶۹
جدول ۵۱: سطوح شاخص سطح آمادگی یکپارچه‌سازی ۱۷۱
جدول ۵۲: مفاهیم سطوح مختلف درجه مشکلی پیشرفت ۱۷۹
جدول ۵۳: دو بخش تشکیل‌دهنده CRI، شاخص‌ها و خلاصه وضعیتی ۱۸۳
جدول ۵۴: توصیف سطوح مختلف خلاصه وضعیتی ۱۸۴
جدول ۵۵: توصیف شاخص‌ها ۱۸۴
جدول ۵۶: سطوح مختلف وضعیت فناوری ۱۹۱
جدول ۵۷: پرسش‌های ناظر به سطوح مختلف وضعیت فناوری ۱۹۲
جدول ۵۸: حالات مختلف وضعیت نوآوری ۲۰۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱: حلقه فیزیکی- دیجیتالی- فیزیکی و فناوری‌های مرتبط ۱۴
شکل ۲: تغییر از زنجیره تأمین سنتی به شبکه تأمین دیجیتال ۱۶
شکل ۳: تأثیرات کلیدی انقلاب صنعتی چهارم در سطح سازمانی ۱۷
شکل ۴: حوزه‌های کسب‌وکار متأثر از انقلاب صنعتی چهارم ۱۷
شکل ۵: نوآوری‌های فنی برای شهرهای نوظهور پایدار ۱۸
شکل ۶: نوآوری‌های تغییردهنده بازی در انقلاب صنعتی چهارم برای شهرهای نوظهور ۱۹
شکل ۷: مقادیر سالیانه ربات‌های صنعتی در جهان تا سال ۲۰۲۰ ۲۹
شکل ۸: مجموعه هزینه مالکیت ۳,۵ ساله خودروهای احتراقی، هیبریدی و الکتریکی در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۱۵ ۳۰
شکل ۹: میزان گازهای گلخانه‌ای خروجی خودروها در اروپا تا سال ۲۰۵۰ ۳۰
شکل ۱۰: میزان محموله‌های عینک هوشمند در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۲ ۳۱
شکل ۱۱: طول خطوط ریلی پرسرعت در جهان تا سال ۲۰۲۵ ۳۲
شکل ۱۲: هزینه مراحل مختلف ارسال کالا ۳۳
شکل ۱۳: زمان بلوغ و شدت تأثیر راهکارهای حمل‌ونقل و لجستیک پیشنهادی توسط PwC برای آینده ۳۴
شکل ۱۴: حمل‌ونقل خودران در مدیریت بالادست ۳۶
شکل ۱۵: مجموع تعداد خودروها تا ۲۰۵۰ ۳۹
شکل ۱۶: نرخ کارایی خودروها ۳۹
شکل ۱۷: تعداد انواع مختلف خودروها و کارایی آن‌ها تا ۲۰۵۰ ۴۰
شکل ۱۸: هزینه خودروهای الکتریکی تا سال ۲۰۳۰ آینده حمل‌ونقل ۴۱
شکل ۱۹: نیروهای همگرایی که موجب تحول در آینده حمل‌ونقل می‌شوند ۴۲
شکل ۲۰: درآمد صنعت خودرو در سال ۲۰۱۴ دو تصور واگرا ۴۳
شکل ۲۱: دو باور واگرا نسبت به آینده خودرو حمل‌ونقل ۴۴
شکل ۲۲: چهار حالت بالقوه آینده جابه‌جایی آینده اول: تغییرات تدریجی ۴۵
شکل ۲۳: هزینه‌های جابه‌جایی به ازای هر مایل در چهار آینده ممکن ۴۷
شکل ۲۴: هزینه‌های مختلف جابه‌جایی در چهار آینده ممکن مسیر تغییر ۴۷
شکل ۲۵: مسیر تغییر ۴۸
شکل ۲۶: میانگین نرخ بیکاری پیش‌بینی‌شده تا ۲۰۵۰ در صورت عدم‌تغییر سیستم‌های فعلی ۵۷
شکل ۲۷: بهره‌وری نیروی انسانی در بلندمدت ۶۳
شکل ۲۸: تعداد ثبت اختراعات حوزه هوش مصنوعی در ۲۰۰۰ شرکت تحقیق و توسعه بخش‌های مختلف ۶۴
شکل ۲۹: میانگین ریسک خودکارسازی مشاغل مختلف ۶۵
شکل ۳۰: روندهای مثبت و منفی تأثیرگذار بر رشد کسب‌وکارها تا ۲۰۲۲ تسریع پذیرش فناوری ۶۶

شکل ۳۱: فناوری‌هایی که شرکت‌ها تا ۲۰۲۲ متمایل به پذیرش آن‌ها هستند ۶۷
شکل ۳۲: درصد مشاغلی که ثابت باقی می‌مانند، مشاغل جدید و مشاغل منسوخ شده در ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ ۷۱
شکل ۳۳: نرخ ساعات کاری انسان و ماشین در ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ ۷۳
شکل ۳۴: میانگین نیاز به آموزش مجدد مهارت‌ها در کل کارکنان تا ۲۰۲۲ ۷۵
شکل ۳۵: کارمندانی که برای مدیریت فرایند همگرایی فناوری‌های جدید و تحول نیروی کار ترجیح داده می‌شوند ۷۶
شکل ۳۶: میزان تمایل به استراتژی‌های مقابله با تغییرات نیازهای مهارتی در شرکت‌ها ۷۶
شکل ۳۷: فناوری‌های اصلی، در حال بلوغ و نوظهور مرتبط با تولید ۸۱
شکل ۳۸: میزان پذیرش فناوری در مناطق مختلف جهان ۸۲
شکل ۳۹: همگرایی فناوری اطلاعات و فناوری عملیات تا رسیدن به اینترنت اشیا ۸۳
شکل ۴۰: تأثیر هوش مصنوعی و اینترنت اشیا بر حوزه‌های مختلف زنجیره تأمین ۸۴
شکل ۴۱: نوآوری‌ها در حوزه روباتیک پیشرفته ۸۶
شکل ۴۲: ارزش‌های ایجادشده توسط فناوری‌های پوشیدنی ازجمله واقعیت افزوده واقعیت مجازی ۸۷
شکل ۴۳: تولید سنتی در برابر تولید با چاپگرهای سه‌بعدی ۸۸
شکل ۴۴: ارزش‌های ایجادشده ناشی از همگرایی فناوری‌ها ۸۹
شکل ۴۵: ویژگی‌های کارخانه‌های منعطف و بسیار کارآمد آینده ۹۰
شکل ۴۶: تقاضای آب در ۲۰۰۰ و ۲۰۵۰ ۹۶
شکل ۴۷: رتبه‌بندی خصوصیات اصلی حالات نهایی سناریوها ۱۰۱
شکل ۴۸: درصد آب آلوده‌ای که از آن‌ها استفاده مجدد شده است ۱۱۴
شکل ۴۹: فرایند کلی فناوری‌های نمک‌زدایی ۱۱۷
شکل ۵۰: روند افزایش ظرفیت نمک‌زدایی در جهان تا ۲۰۱۵ ۱۱۸
شکل ۵۱: ظرفیت واحدهای تصفیه گرمایی و غشایی جهان ۱۱۸
شکل ۵۲: درصد استفاده از فناوری‌های مختلف برای تصفیه آب در ۲۰۱۴ ۱۱۹
شکل ۵۳: منابع تأمین آب کشورهای منطقه منا تا ۲۰۵۰ ۱۱۹
شکل ۵۴: سناریوی تأمین آب ایران تا ۲۰۵۰ ۱۲۰
شکل ۵۵: پیش‌بینی میزان مصرف آب در حوزه‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی تا ۲۰۲۵ ۱۲۱
شکل ۵۶: میزان کارایی آبیاری کشاورزی تا ۲۰۵۰ در کشورهای منطقه منا ۱۲۲
شکل ۵۷: میزان کارایی استفاده آب در بخش خانگی و صنعتی تا ۲۰۵۰ در کشورهای منطقه منا ۱۲۲
شکل ۵۸: درصد بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب به‌منظور آبیاری در کشورهای منطقه منا تا ۲۰۵۰ ۱۲۳
شکل ۵۹: تقاضای غذا و میزان تولید غذا تا ۲۰۵۰ در مناطق مختلف ۱۲۷
شکل ۶۰: اثرات کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تغییرات آب‌وهوایی بر سیستم غذایی ۱۲۷
شکل ۶۱: میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع مختلف ۱۲۸
شکل ۶۲: چارچوب کارکردی علم، فناوری و نوآوری در توسعه اقتصادی اجتماعی ایران ۱۳۹
شکل ۶۳: رتبه ایران در شاخص جهانی نوآوری (GII) ۱۴۲
شکل ۶۴: شاخص کارایی نوآوری ایران طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۱ ۱۴۳

شکل ۶۵: رتبه کشورهای منطقه در شاخص جهانی نوآوری ۲۰۱۸ ..... ۱۴۳
شکل ۶۶: مقایسه ایران و کشورهای با درآمد متوسط رو به بالا در زیرشاخه‌های شاخص آمادگی شبکه‌ای ۲۰۱۶ ..... ۱۴۶
شکل ۶۷: شاخص‌های توسعه داده‌شده برای سنجش سطح آمادگی ۱۶۶
شکل ۶۸: مراحل شاخص TRL ۱۶۸
شکل ۶۹: سیستم فرضی با سه فناوری ۱۷۴
شکل ۷۰: ارتباط بین TRL و CRI ۱۸۱
شکل ۷۱: زنجیره توسعه فناوری و شاخص TRL و CRI ۱۸۱

خلاصه مدیریتی

به‌طور کلی اهداف این پژوهش شامل موارد زیر است:

- بررسی مفهوم انقلاب صنعتی چهارم، ابعاد و تأثیر آن بر حوزه‌های مختلف؛
- بررسی تأثیر تحولات فناوری بر آینده حمل‌ونقل؛
- بررسی تأثیر تحولات فناوری بر آینده مشاغل؛
- بررسی تأثیر تحولات فناوری بر آینده تولید؛
- بررسی ارتباط بین تحولات فناوری و چالش آب؛
- بررسی تحولات فناوری بر آینده کشاورزی؛
- ارائه تصویری از وضع موجود بخش علم، نوآوری و فناوری کشور؛
- تحلیل نقاط قوت، ضعف و فرصت‌ها و تهدیدهای کشور در ارتباط با تحولات فناوری.

از نگاه اقتصاددانان، فناوری دانشی است که در امر تولید، تجاری‌سازی و توزیع کالا و خدمات بکار می‌رود، وسیله‌ای جهت ارتقای توانایی‌های فیزیکی و فکری انسان و ابزاری برای تبدیل منابع ساده به منابع و کالاهای پیچیده است. درواقع فناوری را دانش عملی یا کاربردی می‌نامند. در این تعریف، فناوری سیستمی برای تبدیل دانش فنی به محصولات تجاری به شمار می‌رود (وبستر، ۱۹۸۱).

نوآوری به عمل آوردن محصول یا فرایندی جدید یا بسیار بهبودیافته (کالا یا خدمات)، روشی جدید در بازاریابی، روش سازمانی جدید در شیوه‌های کسب‌وکار، سازمان، محل کار یا روابط خارجی است (سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵). سه دلیل وجود دارد که تغییر و تحول امروزه تنها ادامه‌ای بر انقلاب نسل سوم نیست، بلکه آغازی بر شروع یک نسل جدید است: سرعت، محدوده و تأثیر سیستم. تغییر و تحول فعلی هیچ مشابهی در گذشته ندارد. هنگامی‌که با انقلاب‌های صنعتی قبلی مقایسه می‌شود، انقلاب چهارم با یک حرکت نمایی رشد می‌کند که با حرکت با سرعت خطی نسل‌های قبلی قابل مقایسه نیست. علاوه بر این، در حال متحول کردن صنایع دیگر در تمامی کشورهاست. شروع و عمق این تغییرات پیشرو، تغییرات کل سیستم تولید، مدیریت و مقررات حاکم است.

انقلاب صنعتی چهارم مانند انقلاب‌هایی که پیش از این به آن اشاره شد، پتانسیل رشد درآمد جهانی و بهبود کیفیت مردم در اقصی نقاط جهان را دارد. فناوری امکان استفاده از محصولات و سرویس‌هایی که باعث بهره‌وری و راحتی زندگی روزمره می‌شوند را فراهم می‌کند. سفارش تاکسی، رزرو پرواز، خرید محصول، پرداخت از راه دور، گوش کردن به موسیقی، دیدن فیلم یا بازی کردن، هر کدام از این‌ها می‌تواند از راه دور صورت پذیرد.

در آینده، نوآوری‌های فناوری منجر به معجزات در اقتصاد نمادشی[۱] می‌شود، همراه با منفعت‌های بلندمدت در بهره‌وری و تولید. هزینه‌های حمل‌ونقل و جابه‌جایی کاهش می‌یابد، زنجیره لجستیک و عرضه جهانی پربازده‌تر خواهد شد و هزینه تجارت کم می‌شود و تمام این‌ها منجر به ایجاد بازارهای جدید و رشد اقتصادی خواهد شد.

---

۱. Supply-side

موضوع اصلی این است که درک یا پیش‌بینی شتاب نوآوری و سرعت تحولات مشکل است و اینکه این مجموعه‌ها بسیار غافلگیرکننده، حتی برای مطلع‌ترین افراد هستند. درواقع در تمام صنایع، شواهد نشان می‌دهد که فناوری‌هایی که برای انقلاب صنعتی چهارم برنامه‌ریزی کرده‌اند، تأثیر عمده‌ای در کسب‌وکارهایشان می‌گذارند.

همان‌طور که علوم فیزیکی، دیجیتال و بیولوژیکی به یکدیگر همگرا هستند، فناوری و پلتفرم‌های جدید به‌طور فزاینده‌ای، شهروندان را قادر به تعامل با دولت، ابراز نظرات خود، هماهنگی تلاش‌های خود و حتی دور زدن نظارت مقامات دولتی می‌کند. به‌طور هم‌زمان، دولت‌ها قدرت‌های فناورانه جدید به دست می‌آورند تا کنترل خود را بر مردم افزایش دهند که بیشتر بر اساس سیستم‌های نظارت فراگیر و توانایی کنترل زیرساخت‌های دیجیتال است. در کل، دولت‌ها با توجه به کاهش یافتن نقش اصلی آن‌ها به‌عنوان وضع‌کننده قوانین، به‌طور فزاینده با فشار برای تغییر رویکرد فعلی خود به مشارکت عمومی و سیاست‌گذاری روبه‌رو هستند که این موضوع ناشی از منابع جدید رقابت و توزیع مجدد و تمرکززدایی از قدرت است که فناوری‌های جدید، آن را ممکن کرده است.

نه فناوری و نه دگرگونی همراه آن، یک نیروی برونی نبوده که انسان‌ها هیچ کنترلی بر روی آن نداشته باشند. همه ما مسئول هدایت تکامل آن هستیم، در تصمیم‌گیری‌هایی که روزانه به‌عنوان شهروندان، مصرف‌کنندگان و سرمایه‌گذاران می‌گیریم. بنابراین، ما باید از این فرصت و قدرت برای شکل دادن به انقلاب صنعتی چهارم استفاده کنیم و آن را به‌سوی آینده‌ای که نشان‌دهنده اهداف و ارزش‌های مشترک ما است، هدایت کنیم.

تحولات فناوری تأثیر شگرفی بر سیستم‌های حمل‌ونقل داشته و موجب تحول این حوزه شده است. با این حال پیش‌بینی می‌شود این تحولات در دهه‌های آتی تسریع شده و جنبه‌های مختلف زندگی و کسب‌وکارها را تحت تأثیر قرار دهد. دیجیتالی شدن تمام بخش حمل‌ونقل و لجستیک را متحول خواهد کرد و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده مؤثرترین روند برای شکل دادن به کسب‌وکارها باشد. حمل‌ونقل زمینی بین چین و اتحادیه اروپا رو به افزایش است و پیش‌بینی می‌شود که این روند در سال‌های آتی تشدید شود. این رشد منجر به کاهش هزینه‌های جابه‌جایی و ایجاد مشاغل جدید خواهد شد. تعداد قطارهای جابه‌جا شده بین چین و اتحادیه اروپا از ۱۷ در سال ۲۰۱۱ به ۳۶۷۳ در ۲۰۱۷ رسیده است. پیش‌بینی می‌شود که راه‌حل‌هایی که بر اساس فرایندهای نرم‌افزار محور هستند در سال‌های آینده افزایش یابد و منافعی را برای کسب‌وکارها به همراه داشته باشد. پیش‌بینی می‌شود بازار سیستم جهانی حمل‌ونقل هوشمند در سال ۲۰۲۲ به ۷۲,۳ میلیارد دلار برسد. همچنین پیش‌بینی می‌شود بازار نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه تا سال ۲۰۲۲ حدود ۳۷ درصد رشد کرده و به ۱۰,۹ میلیارد دلار برسد. بازار جهانی اتوماسیون فرایندی رباتیک تا سال ۲۰۲۱ به بیش از ۱,۲ بیلیون دلار برسد. اقتصاد شراکتی حوزه‌هایی از قبیل به اشتراک‌گذاری خودرو، دسترسی به شبکه‌های عمده‌فروشی، انبارداری ابری و اشتراک ظرفیت حمل‌ونقل را دربر می‌گیرد. پیش‌بینی می‌شود سهم اقتصاد شراکتی از ۱۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۳ به ۳۳۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۵ برسد.

پیش‌بینی می‌شود تا ۲۰۳۰، سالیانه ۳۶ درصد به تعداد خودروهای الکتریکی افزوده شود. بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶، تعداد ربات‌ها در آسیا، اروپا و آمریکای شمالی سالیانه ۱۲,۶ درصد افزایش یافته است. استفاده از

فناوری‌های جدید حمل‌ونقل، کارایی انبارداری را افزایش می‌دهد. از طرفی، شکاف عرضه استعدادها در بخش حمل‌ونقل با اتوماسیون عملیات اصلی کاهش می‌یابد. استفاده از ربات‌ها برای ارسال بسته‌های پستی و سفارش‌ها منجر به افزایش قابلیت اطمینان، سرعت و کارایی می‌شود. فناوری‌های رباتیک در حوزه‌های انبارداری، مدیریت زنجیره تأمین و پست کاربرد دارند. در بخش انبارداری، ربات‌ها در بخش‌های کنترل کیفیت محصولات، مرتب کردن، حمل‌ونقل بین انبارها، برداشتن، تخلیه و بارگیری و تحویل کاربرد دارند.

زنجیره‌های تأمین در حال تحول گسترده‌ای هستند. ربات‌های خودکار در انبارها، پهپادها برای ارسال محموله‌ها، هوش مصنوعی به‌منظور ایجاد زنجیره‌های تأمین تمام‌خودکار، بلاکچین و دفاتر کل توزیع‌شده برای ارتباطات امن، فناوری‌های پوشیدنی مانند واقعیت افزوده و مجازی و اینترنت اشیا همگی از عوامل تحول زنجیره‌های تأمین هستند. زنجیره‌های تأمین در آینده سریع‌تر بوده و خودهماهنگ[1] خواهند شد. این سرعت بالای تغییر ناشی از فناوری‌های کلیدی است که به‌صورت پیوسته در ۱۵ سال آینده توسط صنایع بکار گرفته خواهند شد.

پیش‌بینی شده است که تا ۲۰۵۰ مالکیت خصوصی خودرو از بین خواهد رفت و جای خود را به مفهوم MaaS[2] خواهد داد. هرچند موانع بزرگی همانند فرهنگ رانندگی شخص بر سر راه این تغییر قرار دارند. خودروهایی را تصور کنید که مالک شخصی ندارند، کارایی این خودروها بیش از ۹۰ درصد خواهد بود، در حالی که هم‌اکنون کارایی خودروها ۱۰ درصد است. با افزایش کارایی نیاز به خودرو کاهش خواهد یافت و تعداد خودروها در سطح شهر به کمتر از یک‌پنجم مقدار فعلی خواهد رسید. برای بسیاری از مردم، خودرو اولین یا دومین خرید گران‌قیمت آن‌ها در طول زندگی است؛ در حالی که آن‌ها از ۹۰ درصد عمر مفید آن بهره‌ای نمی‌برند. تعداد خودروها در سال ۲۰۵۰ به ۱۵ درصد میزان فعلی کاهش خواهد یافت، دلیل این امر افزایش کارایی خودروها است.

دو تصور بسیار واگرا نسبت به آینده خودرو وجود دارد. تفاوت حول این موضوع است که سیستم خودروهای شخصی که توسط راننده کنترل می‌شوند بدون تغییر باقی می‌ماند یا ناگهان به سمت سیستم‌های خودران و حمل‌ونقل اشتراکی حرکت خواهیم کرد. همچنین تفاوت برجسته‌ای در مورد مسیر به آینده وجود دارد. برخی اعتقاد دارند که سیستم فعلی در یک مسیر خطی پیشرفت خواهد کرد، به‌طوری که دارایی‌های فعلی صنعتی و ساختار اصلی آن دست‌نخورده باقی خواهد ماند. گروه دیگر بر این باورند که تغییرات به اوج رسیده و آینده‌ای بسیار متفاوت رغم خواهد خورد که مزایای اجتماعی بالقوه فراوانی خواهد داشت.

تحولات فناوری آینده مشاغل را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است. بسیاری از مشاغل حذف یا تغییر کرده‌اند. این در حالی است که تحولات فناوری موجب ایجاد مشاغل جدید شده است. مطالعه متخصصان بوسترم[3] در سال ۲۰۱۲/ ۲۰۱۳ احتمال ۵۰ درصدی برای توانمندی دستیابی به هوش ماشین سطح بالا در بین سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۴۰ پیش‌بینی کرده است. همچنین آن‌ها پیش‌بینی کرده‌اند که ۳۰ سال بعد از آن، بشر به هوش مافوق بشری دست خواهد یافت.[4] هوش مصنوعی و سایر فناوری‌های آینده مانند زیست‌شناسی مصنوعی، علم

1. Self-orchestrated
2. Mobility as a service
3. Bostrom
4. http://www.nickbostrom.com/papers/survey.pdf

محاسبات، فناوری نانو، محاسبات کوانتومی، چاپگرهای سه‌بعدی و چهاربعدی، اینترنت اشیاء، وسایل نقلیه خودران و رباتیک تا سال ۲۰۵۰ تأثیر بزرگی بر طبیعت کار، اقتصاد و فرهنگ خواهند گذاشت. سناریوهای مختلف آینده مشاغل در این پژوهش آورده شده است. همچنین به سؤالات زیر پاسخ داده شده است.

۱- اگر سیستم‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی در حالت فعلی باقی بماند و اگر شتاب، یکپارچه‌سازی و جهانی‌شدن فناوری ادامه یابد، تخمین می‌زنید چه درصدی از جهان در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ بیکار شوند؛ افرادی که هم‌اکنون مشغول کار هستند.

۲- در عصر صنعت و ارتباطات مشاغل ایجادشده بیش از مشاغل جایگزین شده بود. بسیاری بر این باورند که سرعت، یکپارچه‌سازی و جهانی‌شدن تغییرات فناوری در ۳۵ سال آینده باعث ایجاد بیکاری ساختاری گسترده‌ای خواهد شد. چه فناوری‌ها یا عواملی ممکن است باعث تأیید یا رد این ادعا شوند؟

۳- چه سؤالاتی باید پاسخ داده شوند تا مشخص شود که هوش مصنوعی و دیگر فناوری‌های آینده، نسبت به مشاغلی که از بین می‌برند، مشاغل بیشتری ایجاد می‌کنند یا خیر؟

۴- این اقدامات چقدر می‌تواند برای ایجاد کار و یا درآمد جدید برای رفع بیکاری فناورانه تا سال ۲۰۵۰ مؤثر باشد؟

۵- آیا ثروت ناشی از هوش مصنوعی و سایر فناوری‌ها همچنان درآمد را برای ثروتمندان انباشته می‌کند و شکاف درآمدی را افزایش می‌دهد؟

۶- اینکه نوعی از درآمد تضمینی وضع شود تا به فقر پایان داده، نابرابری را کاهش دهد و بیکاری ناشی از فناوری را کاهش دهد تا چه میزان اهمیت دارد؟

۷- آیا انتظار دارید که هزینه‌های زندگی تا سال ۲۰۵۰ کاهش یابد (به دلیل اشکال آینده هوش مصنوعی، رباتیک و ساخت و تولید در ابعاد نانو، پرینتر سه و چهاربعدی، خدمات اینترنت آینده و دیگر تولیدات و سیستم‌های توزیعی آینده)؟

۸- چه تغییرات بزرگی تا سال ۲۰۵۰ می‌تواند بر همه چیز تأثیرگذار باشد؟

۹- چه سناریوهایی به‌منظور ارتباط امروز با ۲۰۵۰ باید نوشته شود که توضیح‌دهنده ارتباطات و تصمیمات علت و معلولی مهمی باشد که در حال حاضر باید در نظر گرفته شوند؟

پیشرفت‌های سریع فناوری مرز بین مشاغلی که توسط انسان انجام می‌شوند و مشاغلی که توسط ماشین‌ها و الگوریتم‌ها انجام می‌شود را تغییر داده‌اند. بازار جهانی نیروی کار تغییرات گسترده‌ای را متحمل می‌شود. این تحولات اگر به‌درستی مدیریت شوند می‌توانند به عصری از کار خوب، مشاغل خوب و بهبود کیفیت زندگی برای همه ختم شوند، اما در صورت مدیریت نامناسب منجر به افزایش شکاف مهارتی، نابرابری بیشتر و تضاد وسیع‌تر خواهد شد. چهار پیشرفت خاص بر رشد کسب‌وکارها در بازه ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ به‌صورت مثبت تأثیرگذار هستند که شامل اینترنت موبایل پرسرعت در همه مکان‌ها، هوش مصنوعی، اتخاذ گسترده ابزارهای تحلیلی کلان‌داده و فناوری‌های ابری است. این فناوری‌ها با طیف وسیعی از روندهای اقتصادی- اجتماعی همراه هستند که باعث ایجاد فرصت‌هایی برای کسب‌وکارها شده‌اند. این روندها شامل مسیرهای رشد اقتصادی جهان، توسعه تحصیلات مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه و حرکت به سمت اقتصاد سبز با پیشرفت فناوری‌های انرژی است.

در سال ۲۰۱۶، پنج فناوری محل تمرکز شامل اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، چاپگر سه‌بعدی، رباتیک پیشرفته و فناوری‌های پوشیدنی (شامل واقعیت مجاری و افزوده) بود. این فناوری‌ها مکان و چگونگی طراحی، تولید، مونتاژ، توزیع، مصرف، خدمات پس از فروش، دور انداختن و حتی بازیافت محصولات را متحول می‌کنند. آن‌ها بر تمام مراحل فرایند تولید و درنتیجه تقاضاهای مصرف‌کنندگان، فرایندهای کارخانه، مدیریت زنجیره تأمین و دسترسی کشورها به زنجیره ارزش جهانی تأثیرگذار و آن‌ها را تغییر می‌دهند. این ۵ فناوری در مراحل مختلفی از آمادگی[۱] و پذیرش[۲] هستند و میزان عدم اطمینان در مورد جهت‌گیری آینده آن‌ها نیز متفاوت است. برخی از این فناوری‌ها مانند رباتیک پیشرفته (بازار ۳۵ میلیارد دلاری) و چاپگرهای سه‌بعدی (بازار ۵ میلیارد دلاری) تاریخچه صنعتی گسترده‌ای دارند و در برخی صنایع و مناطق در نوک پیکان مسیر پذیرش قرار دارند. فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی و فناوری‌های پوشیدنی با وجود آنکه مراحل نوزادی را سپری می‌کنند، اما استفاده‌های امیدوارکننده‌ای از آن‌ها مشاهده شده است. در حال حاضر آمریکای شمالی، اروپا و برخی کشورهای آسیایی (کره جنوبی، چین و ژاپن) در پذیرش فناوری پیشتاز هستند. در سال ۲۰۱۵ آمریکای شمالی و اروپا ۸۰ درصد بازار فناوری‌های پوشیدنی و ۷۰ درصد بازار چاپگرهای سه‌بعدی را در اختیار داشتند. به‌استثنای فناوری‌های پوشیدنی، فناوری‌های امروزی به‌شدت بر صنایع خاصی مانند خودروسازی، الکترونیک و هوافضا متمرکز هستند. فناوری‌ها نه‌تنها تمام صنایع را به یک‌شکل متحول نمی‌کنند، حتی در یک صنعت خاص نیز اثرات متفاوتی را بر یک عملکرد خاص دارند.

تقاضای آب تا سال ۲۰۵۰ حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. همین امر اهمیت توجه به مسئله آب را به‌عنوان یکی از روندهای تأثیرگذار بر سازمان فضایی کشور بیش‌ازپیش نشان می‌دهد. آب همواره نقش بسیار مهمی در انتخاب محل سکونت انسان‌ها داشته است. هرچند با پیشرفت فناوری در دهه‌های اخیر، راه‌حل‌های نوینی برای مقابله با چالش آب به وجود آمده است. این راه‌حل‌های نوآورانه و فناورانه موجب شده تا در مسئله تعیین محل سکونت یا گسترش سکونت‌گاه‌ها، بحث دسترسی به منابع آب آشامیدنی طبیعی در آن منطقه اهمیت خود را از دست داده و راه‌حل‌های نوآورانه و فناورانه جایگزین آن شود.

فناوری یکی از پیشران‌های اصلی شکل‌دهنده آینده آب است. این پیشران در قالب تقسیم‌بندی زیر در آینده آب اثرگذار خواهد بود:

- نوآوری فناورانه و انتشار آن (منابع جدید و بهبودیافته انرژی، فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی، بیوتکنولوژی، خودکارسازی، مواد جدید، نانوتکنولوژی)؛ افزایش کارایی استفاده از آب؛ فناوری‌های نمک‌زدایی مقرون‌به‌صرفه؛ فناوری‌های کاستن از آلودگی آب؛ تکنیک‌های رفع آلودگی آب؛ توسعه اقلام کشاورزی جدید (مانند گونه‌های مقاوم در برابر شوری)؛ واحدهای نمک‌زدا؛ فناوری‌های جدید ذخیره‌سازی و انتقال آب.
- تغییر در بهره‌وری آب، استفاده از آب و کارایی استفاده.
- کنترل و دست‌کاری آب‌وهوا.
- بهبود در سنسورها و سیستم‌های سنجش از راه دور به‌منظور دسترسی به کمیت و کیفیت آب.

---

۱. Readiness

۲. Adoption

- نرخ و اهمیت توسعه و اشاعه فناوری (مانند هزینه پایین در نمک‌زدایی و بیوتکنولوژی، کشاورزی با آب دریا).
- دسترسی به فناوری‌های اطلاعاتی و منابع اطلاعاتی جدید.
- اکتشافات علمی بنیادین (مانند کاتالیست‌های جدید برای استخراج کم‌هزینه هیدروژن از آب دریا).

یکی از چالش‌های اصلی کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه برای توسعه پایدار، اطمینان از دسترسی همه مردم به منابع آبی و سیستم‌های فاضلاب است، بنابراین منابع آب باید به‌دقت مدیریت شوند. دسترسی به اطلاعات در مورد وضعیت در یک شرایط خاص برای تصمیم‌گیری در خصوص مدیریت منابع آب ضروری است. فناوری‌هایی مانند سنجش از راه دور ماهواره‌ای به همراه شبکه حسگرهای مفهومی[1] و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌توانند توسط مسئولان آب به‌منظور رصد لحظه‌ای مصرف آب، رصد و پیش‌بینی سطح آب رودخانه‌ها و شناسایی منابع جدید آب تازه استفاده شوند.

حسگرهای تحت وب و شبکه‌های ارتباطی، فرصتی را برای ذینفعان آب فراهم می‌سازد تا اطلاعاتی را در مورد متغیرهای فیزیکی و محیط‌زیستی مانند دما، سطح رطوبت خاک و بارش به دست آورند. فناوری‌های کنتورهای هوشمند می‌توانند اطلاعات لحظه‌ای را در اختیار افراد، کسب‌وکارها و سازمان‌های آب قرار داده و آگاهی در خصوص استفاده، نشتی و کنترل تقاضا را افزایش دهند.

تحولات فناوری از جنبه‌های مختلف بر کشاورزی تأثیرگذار است. جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر و تقاضای غذا نسبت به ۲۰۱۲، ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. تا سال ۲۰۳۰ تولید غذا ۳۵ درصد افزایش خواهد یافت. برای پایان دادن به فقر باید سالانه ۴,۵ درصد بر درآمد کشاورزان در کشورهای فقیر افزوده شود. استفاده از منابع طبیعی ازجمله زمین، آب، تنوع زیستی و اتمسفر بایستی پایدار باشد. کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ با سه چالش مواجه است.

در گزارشی که توسط فائو منتشر گردید از بیوتکنولوژی به‌عنوان امیدی برای بهبود امنیت غذایی در افق ۲۰۳۰ نام برده شده است. در صورتی که تهدیدات محیط‌زیستی ناشی از فناوری بایو مورد توجه قرار گیرد و اگر فناوری مقرون‌به‌صرفه بوده و به سمت نیازهای فقرا و افراد دارای سوءتغذیه حرکت کند، گونه‌های تولیدی اصلاح ژنتیکی شده می‌تواند حامی کشاورزی در مناطق حاشیه‌ای و بازیابی زمین‌های فرسوده باشد. برای رفع نگرانی مصرف‌کنندگان، FAO خواستار بهبود آزمایش‌ها و پروتکل‌های ایمنی برای ارگانیسم‌های اصلاح‌شده ژنتیکی شده است. دیگر فناوری‌های نوظهور امیدوارکننده با رعایت حفاظت از محیط‌زیست، تولید را افزایش می‌دهند. این فناوری‌ها شامل کشاورزی بدون خودکار و مدیریت یکپارچه آفات و مواد مغذی است. به‌طور محلی کشاورزی ارگانیک می‌تواند در ۳۰ سال آینده یک جایگزین واقعی برای کشاورزی سنتی تبدیل شود.

نظام نوآوری ایران یک زیست‌بوم نوآوری است که از مجموعه‌ای از زیرساخت‌ها و منابع تشکیل شده که به‌واسطه ورودی‌ها تغذیه و به‌واسطه خروجی‌ها ارزیابی و احیا می‌شود. تولید علم و فناوری دارای ورودی‌ها، شامل منابع مالی، استعدادها و نیروی انسانی و زیرساخت‌ها است. حوزه فناوری و نوآوری درنهایت منجر به ایجاد شرکت‌های دانش‌بنیان، ارائه محصولات و خدمات جدید، مشاغل جدید و بازارهای جدید می‌شود. این

---

۱. Semantic sensor web

زیست‌بوم واجد پیامدهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی است که دارای بازخورد بر ورودی‌ها، فرایند و خروجی‌ها است. مؤلفه‌های دولت، سیاست و قوانین، جزئی از مؤلفه‌های محیطی هستند. پس از اجرای دو برنامه بر اساس سند چشم‌انداز (برنامه‌های چهارم و پنجم توسعه)، روند رشد تولیدات علمی و حرکت پویا در مرزهای دانش نشان می‌دهد ایران در سال ۲۰۱۴ یعنی ۱۰ سال زودتر از افق چشم‌انداز سند آمایش سرزمین، با پشت سر گذاشتن ترکیه به رتبه اول تولید علم در منطقه دست خواهد یافت.

نتیجه آن‌که با توجه به وضعیت فعلی، در صورت ادامه روند موجود در کشور و به‌شرط آن‌که روندهای جهانی هم با همین سیاق ادامه یابند، بخش پژوهش و فناوری کشور نیازمند تغییر جهت‌گیری‌ها به سمت رفع نیازهای اساسی و خلق ثروت از طریق کاربست دستاوردهای حوزه پژوهش و فناوری است. اما بررسی اجمالی روند تحولات علم و فناوری در جهان این واقعیت را تأیید می‌کند که توسعه علم و فناوری تغییرات مهمی را در تمام زمینه‌های اجتماعی و انسانی ایجاد خواهد کرد و شاهد دگرگونی‌های اساسی در آینده خواهیم بود و این نکته بسیار حیاتی، ضرورت حفظ و ارتقای فعالیت‌های پژوهشی و فناورانه، به‌ویژه در مقابل سیاست‌های محدودکننده و تحریم‌ها را بیش از گذشته یادآور می‌شود.

شاخص IDI[۱] یا شاخص توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات توسط اتحادیه بین‌المللی مخابرات سازمان ملل بر مبنای معیارهای مورد توافق بین‌المللی در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات منتشر می‌شود. در این پژوهش مقادیر این شاخص در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ و همچنین مقادیر زیرشاخص‌های IDI در ایران و جهان آورده شده است. شاخص توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات بر مبنای یازده معیار فاوا بنا شده است و در سه زیرشاخه دسترسی، استفاده و مهارت‌ها گروه‌بندی شده‌اند. زیرشاخص دسترسی سطح آمادگی زیرساخت‌های فاوا را اندازه‌گیری می‌کند و شامل پنج معیار و زیرساخت دسترسی است. زیرساخت استفاده میزان به‌کارگیری فاوا را اندازه می‌گیرد و شامل سه معیار مصرف است. زیرساخت مهارت‌ها، توانمندی‌ها و شاخص‌های ورودی پیش‌نیاز و ضروری را اندازه‌گیری می‌کند.

در میان شاخص‌های آمادگی شبکه‌ای دو شاخص کاربرد برای کسب‌وکار و اثرات اقتصادی اهمیت ویژه‌ای برای فعالان اقتصادی دارد. در خصوص شاخص کاربرد برای کسب‌وکار، نمره ایران در زیرشاخه جذب فناوری در سطح بنگاه ۳,۷ بوده که در میان ۱۳۹ کشور مورد بررسی رتبه ۱۳۲ را کسب کرده، در زیرشاخه استفاده واحدهای تجاری از اینترنت برای ارتباط با سایر کسب‌وکارها نمره ۳,۹ و رتبه ۱۲۱ و در زیرشاخه میزان آموزش کارکنان در حوزه فناوری اطلاعات نمره ۳,۲ و رتبه ۱۲۸ را کسب کرده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علی‌رغم رشد فناوری اطلاعات در کشور، بهره‌برداری مناسبی از فناوری اطلاعات در بنگاه‌های اقتصادی صورت نمی‌گیرد.

در خصوص شاخص اثرات اقتصادی نیز، نمره ایران در زیرشاخه تأثیر فناوری اطلاعات بر مدل‌های سازمانی جدید ۳,۵ بوده که در میان ۱۳۹ کشور مورد بررسی، رتبه ۱۰۸ را کسب کرده است.

در انتهای گزارش تحلیلی از نقاط قوت و ضعف و فرصت‌ها و تهدیدهای حوزه فناوری کشور ارائه و راهکارهایی به‌منظور تسریع توسعه فناوری پیشنهاد شده است.

---

۱. ICT Development Index (IDC)

مقدمه

هدف این پژوهش، بررسی و تحلیل راهبردی کلان‌روند تحولات فناوری بوده و در این راستا، تصویری از روند تحولات انقلاب صنعتی چهارم و اثرات تحولات فناوری در این انقلاب در حوزه‌های منتخب (با تأکید بر ارتباط حوزه با سازمان فضایی) مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ازجمله این حوزه‌های منتخب، می‌توان به حوزه حمل‌ونقل، مشاغل، تولید، آب و کشاورزی اشاره کرد. هر یک از این حوزه‌ها به نحوی بر سازمان فضایی اثرگذار هستند و شناخت آینده آن‌ها راهنمای خوبی برای سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران است. همچنین مزیت‌ها، ظرفیت‌ها، فرصت‌ها، محدودیت‌ها و چالش‌های نظام نوآوری و وضعیت فناوری در ایران و کشورهای همسایه نیز بررسی شده است.

فناوری و روش‌های به‌کارگیری ابزار، همواره نقش مهمی در تحولات زندگی بشر داشته است. گاه تحولات فناوری چنان زندگی بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد که برخی از متفکران و جامعه‌شناسان اساس تاریخ بشریت را بر مبنای نوع ابزاری که تولید کرده، طبقه‌بندی می‌کنند؛ اما انقلاب فناوری جریانی است که از دو قرن پیش تاکنون دگرگونی‌های عمیقی در دنیا به وجود آورده است. جریان صنعتی شدن، رشد شهرنشینی، افزایش تولید، گسترش وسایل ارتباطی و... تنها جلوه‌های خارجی یا پدیده‌های ظاهری انقلاب صنعتی محسوب می‌شوند. زندگی خانوادگی، زندگی مذهبی، ادبیات، هنر، ایستارهای سیاسی و غیره، همه و همه عمیقاً و سریعاً در مدت‌زمان کوتاهی دستخوش دگرگونی قرار گرفته‌اند و هنوز نیز انقلاب فناوری ادامه، جامعه روستایی را دگرگون می‌سازد، فرهنگ‌های سنتی کهن را از هم می‌پاشد و راه توسعه اقتصادی، اجتماعی و سیاسی را برای کشورها می‌گشاید. انقلاب فناوری، سرعت تحولات جهان را به‌شدت بالا برده است و این تغییرات در زندگی روزمره ما ملموس و محسوس است. تاروپود جهان چنان به هم وابسته و پیوسته شده است که در هر آن، تغییرات فناوری، سیاسی، اجتماعی یا اقتصادی می‌تواند منجر به یک تکانه در سطح جهانی شود.

بشر در ده‌های اخیر، سه انقلاب صنعتی را پشت سر گذاشته و در حال ورود به انقلاب چهارم صنعتی است. نخستین انقلاب صنعتی، آب و نیروی بخار را برای تولید مکانیزه به کار برد. انقلاب صنعتی دوم برای رسیدن به تولید انبوه، نیروی برق را به کار گرفت. انقلاب سوم برای دستیابی به تولید خودکار، از الکترونیک و فناوری اطلاعات بهره برد. اکنون انقلاب چهارم که بر پایه انقلاب سوم بنا می‌شود، انقلاب دیجیتالی است که از میانه سده پیشین آغاز شده است و با «هم‌آمیزی فناوری‌ها» شناخته می‌شود، به‌گونه‌ای که مرزهای میان قلمروهای فیزیکی، دیجیتالی و بیولوژیکی را می‌گشاید. انقلاب چهارم صنعتی، روش زندگی، کار و پیوند انسان‌ها با یکدیگر را از بنیان دگرگون می‌سازد. این دگرگونی در اندازه، گستردگی و پیچیدگی با هیچ‌یک از آزموده‌های پیشین بشر سنجیدنی نیست. چگونگی نمایان‌شدن این پدیده مشخص نیست، اما چیزی که روشن است واکنش به آن باید فراگیر و یکپارچه بوده و همه کسانی که در سیاست سهم دارند، از بخش‌های دولتی و خصوصی تا دانشگاه‌ها و نهادهای مردمی را در بر گیرد.

انقلاب صنعتی چهارم جوامع ازجمله جامعه ایران را با چالش‌ها و فرصت‌های گسترده‌ای مواجه کرده است. ازجمله فرصت‌ها می‌توان از افزایش سطح درآمد، بهبود کیفیت زندگی و کاهش هزینه‌های عرضه، بازرگانی و

از چالش‌هایی همانند نابرابری بیشتر و تقاضای کمتر برای نیروی کار بامهارت پایین نام برد. همه این موارد، لزوم توجه به آینده‌نگاری فناوری، سناریوهای پیش‌بینی و تأثیرات اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی را بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد.

برای رویارویی با تغییرات اقتصادی و اجتماعی، سیستم‌های علم و فناوری باید یا از طریق سازگار کردن فناوری‌های فعلی یا ایجاد و به‌کارگیری فناوری‌های جدید، قادر به پاسخگویی و تغییر باشند. ارزش آینده‌نگاری در آن است که فرصت ساختاریافته برای نگاه به آینده و بررسی نقش علم و فناوری در آینده را فراهم می‌آورد. آینده‌نگاری، یک پاسخ (و به نظر مارتین و ایروین تنها پاسخ قابل‌قبول) برای برطرف کردن تعارضات ناشی از اولویت‌گذاری است، تعارضاتی که به‌وسیله افزایش تدریجی هزینه‌های آزمایش‌ها، منابع محدود، پیچیدگی تصمیم‌گیری‌های علمی و اعمال فشارهای مختلف جهت دستیابی به ارزش واقعی پول و در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی- اجتماعی، ایجاد می‌شود. آینده‌نگاری حداقل در مبانی و اصول خود مکانیسمی سامانمند به‌منظور فائق آمدن بر پیچیدگی‌ها و وابستگی‌های متقابل تصمیم‌ها را ارائه می‌کند. آینده‌نگاری این عمل را از طریق تحت تأثیر قرار دادن تصمیم‌گیری‌های بلندمدت در خصوص پژوهش‌ها، به‌ویژه تسهیل کردن فرایند سیاست‌گذاری، هنگامی‌که یکپارچگی و هماهنگی فعالیت‌ها در چندین بخش مختلف امری حیاتی است را به انجام می‌رساند.

از اوایل دهه ۱۹۹۰، از آینده‌نگاری به‌عنوان یک ابزار پشتیبان سیاست‌ها؛ به‌ویژه در حوزه علم، فناوری و نوآوری استفاده گسترده شده است و برای برقراری ارتباط میان آینده‌نگاری و سیاست‌گذاری، تلاش‌های ارزشمندی صورت گرفته است.[۱] علت اصلی اجرای آینده‌نگاری و سیاست‌گذاری در علم، فناوری و نوآوری در سطوح فراملی، ملی و منطقه‌ای، دستیابی به اهداف سیاستی از طریق حل چالش‌های اجتماعی بزرگ‌تر است. یکی از هدف‌گذاری‌های بسیار مهم برای رفع این چالش‌ها، افزایش رقابت‌پذیری اقتصاد ملی به کمک ابزارهایی مانند نوآوری‌های علمی و فناوری است. تعیین جهت فرایندهای پژوهش، تأمین مالی و اولویت‌دهی منابع و تبادل یا خلق چشم‌اندازها، دلایل آشکاری برای انجام فعالیت‌های آینده‌نگاری هستند. علاوه بر فعالیت‌های تأمین مالی، جورجیو و کینان بر اساس دانش و فهم خود از اقتصاد تکاملی و نظام‌های ملی نوآوری، فهرستی از اهداف رایج آینده‌نگاری را معرفی کرده‌اند:[۲]

- کشف فرصت‌های آینده به‌منظور اولویت‌دهی به سرمایه‌گذاری در علم و نوآوری؛
- تغییر روند نظام علم و نوآوری (که این هدف در ارتباط با اولویت‌دهی بوده اما یک گام مجدد است)؛
- جهت‌دهی به نظام‌های نوآوری؛
- جذب کنشگران جدید به میدان مناظره‌های راهبردی؛
- تشکیل شبکه‌ها و پیوندهای جدید میان حوزه‌ها، بخش‌ها و بازارها با مسائل پیرامون آن‌ها.

۱. نامداریان، لیلا و علیرضا حسن‌زاده (۱۳۹۵). *آینده‌نگاری علم و فناوری و اثرات آن در سیاست‌گذاری*، تهران: پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران.
۲. میسنر، درک، لئوید گوکبرگ و الکساندر سوکولوف (۱۳۹۵). *سیاست‌گذاری علم، فناوری و نوآوری در آینده؛ ظرفیت‌ها و محدودیت‌های مطالعات آینده‌نگاری*، مترجمان عین‌الله کشاورز ترک و مهدی نیکویه، تهران: مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور.

در ادامه پس از ارائه تعریفی از فناوری و نوآوری، مفهوم انقلاب صنعتی چهارم و تأثیرات مختلف آن بررسی شده است. سپس با توجه به گزارش‌های معتبر بین‌المللی تأثیر تحولات فناوری در بخش‌های منتخب ازجمله حمل‌ونقل، مشاغل، تولید، آب و کشاورزی ارزیابی شده است. همچنین خلاصه‌ای از وضعیت ایران در زمینه نوآوری و فناوری آورده شده است. درنهایت، راهکاری به‌منظور سنجش وضعیت فناوری‌های منتخب ارائه خواهد شد، همچنین تعیین وضعیت فعلی فناوری‌ها، یکی از گام‌های ضروری در مسیر رسیدن به آینده مطلوب است.
در انتها نیز راهکاری به‌منظور سنجش وضعیت فناوری‌های منتخب ارائه‌شده است. تعیین وضعیت فعلی فناوری‌ها، یکی از گام‌های ضروری در مسیر رسیدن به آینده مطلوب است.

۱- تعاریف

۱-۱- فناوری

فناوری در رویکردهای مختلف به شکل‌های مختلفی تعریف شده است. طارق خلیل با رویکرد مدیریتی، فناوری را به‌صورت فرایند ترکیب نظام‌مند ابزار، دانش فنی و اطلاعات لازم برای به‌کارگیری ابزار و نیز مهارت‌های انسانی مورد نیاز برای استفاده از دانش و ابزار تعریف می‌کند (خلیل، ۲۰۰۰). پورتر با دید اقتصادی، فناوری را عامل تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها می‌داند که از طریق تولید ارزش‌افزوده موجب پدیدارشدن مزیت رقابتی می‌گردد (پورتر، ۱۹۸۵). از نگاه اقتصاددانان، فناوری دانشی است که در امر تولید، تجاری‌سازی و توزیع کالا و خدمات به کار می‌رود، همچنین وسیله‌ای جهت ارتقای توانایی‌های فیزیکی و فکری انسان و ابزاری برای تبدیل منابع ساده به منابع و کالاهای پیچیده است. درواقع فناوری را دانش عملی یا کاربردی می‌نامند. در این تعریف، فناوری سیستمی برای تبدیل دانش فنی به محصولات تجاری به شمار می‌رود (وبستر، ۱۹۸۱).

بر اساس تعریف یونیدو، فناوری کاربرد علوم در صنایع با استفاده از رویه‌ها و مطالعات منظم و جهت‌دار است، درواقع در سطح ملی، فناوری مجموعه‌ای از توانایی‌ها و قابلیت‌ها برای تولید محصول یا صنعتی شدن است. هدف از کاربرد فناوری، می‌تواند نیل به توسعه اقتصادی و بالا بردن توان رقابتی، رفاه عمومی، قابلیت دفاعی و رزمی، بهره‌برداری صحیح از منابع طبیعی، حفظ محیط‌زیست و همچنین ارتقاء فرهنگ، روابط و ساختار اجتماعی باشد. در سایر سطوح و بخش‌ها نیز فناوری مفهومی را تداعی می‌کند که در آن فناوری عاملی برای ایجاد توان و قدرت برآورده ساختن اهداف است. به این ترتیب در یک واحد صنعتی، فناوری قابلیت ترکیب عوامل اصلی تولید و ایجاد محصول و به‌طورکلی مجموعه‌ای از ابزارهای فیزیکی بوده که خود حاصل فناوری، توانایی‌های فکری، مهارت‌های انسانی و نمود عینی آن ایجاد محصول یا ارائه خدمات است (یونیدو، ۲۰۰۰).

۱-۲- نوآوری

نوآوری به عمل آوردن محصول یا فرایندی جدید یا بسیار بهبودیافته (کالا یا خدمات)، روشی جدید در بازاریابی، روش سازمانی جدید در شیوه‌های کسب‌وکار، سازمان، محل کار یا روابط خارجی است (سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵). در تعریف وسیع از نوآوری، طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها ازجمله فعالیت‌هایی که به بهبود روش‌های سازمانی، بازاریابی یا پشتیبانی می‌انجامد را نوآوری می‌دانند. ولی تعریف محدود نوآوری تنها ارائه یک محصول (کالا یا خدمات) یا فرایند جدید یا کاملاً بهبودیافته را شامل می‌شود. برای تحقق نوآوری، بنگاه می‌تواند خود محصولات، فرایندها و روش‌ها را به وجود آورده باشد یا از بنگاه‌ها و سازمان‌های دیگر کسب کرده باشد (سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵).

فعالیت نوآورانه، انواع فعالیت‌های علمی، فنی، سازمانی، مالی و گام‌های تجاری بوده که با هدف منجر شدن به نوآوری انجام می‌پذیرد. برخی فعالیت‌های نوآورانه به‌خودی‌خود نوآوری است، سایر فعالیت‌ها نوآوری نیستند؛

اما برای تحقق نوآوری لازم هستند. فعالیت‌های نوآورانه شامل فعالیت‌های تحقیق و توسعه (R&D) بوده که به‌طور مستقیم با به وجود آوردن نوآوری‌های خاص ارتباط ندارند.

چهار نوع اصلی نوآوری که می‌توان آن‌ها را از هم بازشناخت عبارتند از: نوآوری در محصول، نوآوری در فرایند، نوآوری در بازاریابی و نوآوری سازمانی (سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، ۲۰۰۵). در ادامه توضیح مختصری از آن‌ها بیان شده تا درک بهتری از مفهوم نوآوری در ذهن متبادر گردد.

نوآوری در محصول: عرضه کالا یا خدماتی است که از نظر ویژگی‌ها و استفاده‌های مورد نظر جدید یا بسیار بهتر شده است. این کار مستلزم اصلاحات قابل توجه در ویژگی‌های فنی، اجزا و مواد، نرم‌افزار تعبیه شده، سهولت در استفاده یا سایر اصلاحات در ویژگی‌های عملکردی است. اصطلاح محصول برای پوشش دادن کالا و خدمات استفاده می‌شود و نوآوری در محصول، شامل عرضه کالا یا خدمات جدید یا اصلاحات قابل توجه در ویژگی‌های عملکردی یا ویژگی‌های کالا و خدمات است. برای تحقق نوآوری در محصول، می‌توان از دانش یا فناوری جدید استفاده کرد یا دانش و فناوریِ جدید را با دانش و فناوری موجود در هم آمیخت.

نوآوری در فرایند: به بار آوردن محصولی جدید یا بهبودیافته یا بهبود روش تحویل کالا است. این کار مستلزم تغییرات اساسی در روش‌ها، تجهیزات یا نرم‌افزار است. نوآوری در فرایند می‌تواند به‌منظور کاهش هزینه یک واحد کالا یا انتقال کالا یا افزایش کیفیت کالا باشد یا کالاهای جدید یا بسیار بهتر شده‌ای را تولید کرده یا در روش‌های تحویل، تغییر ایجاد کند.

نوآوری در بازاریابی: به‌کارگیری روشی جدید در بازاریابی است که تغییرات اساسی در طراحی یا بسته‌بندی محصول، تبلیغ محصول، مکان عرضه یا قیمت‌گذاری محصول را دربر دارد. هدف از نوآوری در بازاریابی، درک بهتر نیازهای مشتریان، گشودن بازارهای جدید یا معرفی محصول جدید بنگاه در بازار به‌منظور افزایش فروش بنگاه است.

نوآوری سازمانی: اجرای روش جدید سازمانی در شیوه‌های کسب‌وکار بنگاه، سازمان، محل کار یا روابط خارجی بنگاه است که می‌تواند به‌وسیله کاهش هزینه‌های اجرایی یا هزینه‌های تبادلات، مطلوب‌شدن محیط کار و درنتیجه بازده بیشتر نیروی کار، دستیابی به سرمایه‌های غیرقابل دادوستد همچون دانش تدوین‌نشده خارجی یا کاهش هزینه‌های تولید، عملکرد بنگاه را افزایش دهد (راهنمای اسلو، ۲۰۰۵).

۲- انقلاب صنعتی چهارم و چشم‌انداز آینده صنعتی جهان

در این بخش به بررسی گزارش‌های معتبر مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم پرداخته شده است. در ابتدا خلاصه‌ای از کتاب انقلاب صنعتی چهارم که توسط کلوس شواب[۱] به رشته تحریر درآمده، آورده شده است. در ادامه، گزارش «نیروی تغییر: انقلاب صنعتی چهارم» که توسط مؤسسه دیلویت[۲] منتشر شده است، مورد توجه قرار می‌گیرد. سپس گزیده‌ای از گزارش «انقلاب صنعتی چهارم» کار مشترک مجمع جهانی اقتصاد، شرکت پرایس واتر هاوس کوپرز[۳] و مؤسسه استنفورد وودز در محیط‌زیست،[۴] آورده شده است. در انتها نیز جمع‌بندی از دیدگاه‌های این گزارش‌ها ارائه می‌شود.

۱-۲- ابعاد انقلاب صنعتی چهارم[۵]

یک دهه پیش از انقلاب آمریکا، جیمز وات[۶] موتور بخار را اختراع کرد. او سریعاً فهمید که طراحی او می‌تواند با استفاده از یک کندانسور که توان حرارتی را افزایش می‌دهد، بهبود یابد. به‌زودی موتورهای وات در صنایع گسترده ازجمله معدن، نساجی و صنایع دیگر مورد استفاده قرار گرفت. کارخانه‌ها رشد کردند، کارگرها به شهرها مهاجرت کردند؛ درنتیجه جوامع کشاورزی تبدیل به مکان‌های صنعتی شدند. به این ترتیب انقلاب صنعتی اول شروع شد.

پس از مدتی رشد صنعت به علت کمبود فولاد ارزان‌قیمت متوقف شد، اگرچه سر هنری بسمر[۷] با ثبت اختراعش در سال ۱۸۵۶ و شروع استفاده از آن برای تولید فولاد با سرعت بالا، باعث کاهش هزینه تولید فولاد شد، با گسترش استفاده از الکتریسیته و استفاده از خط تولید انبوه هنری فورد در اوایل ۱۹۰۰، آغاز نسل دوم صنعت کلید خورد و راه برای جامعه مدرن امروزی هموار گردید.

در سال ۱۹۵۸ جک کیلبی[۸] کارمند تازه‌کار در تگزاس اینسترومنتز[۹] به دنبال راهی برای به حداقل رساندن اندازه تولیدات الکتریکی در شرکت داشت. نبوغ او در یکی کردن ترانزیستورها، مقاومت‌ها و خازن‌ها در یک‌تکه ژرمانیوم درنهایت منجر به ایجاد مدارهای مجتمع شد که می‌توانست در صنایع خودرو، کامپیوتر، موبایل و تلفن استفاده شود. ماشین‌های کنترل عددی (CNC) هرگز بدون مدارهای مجتمع به وجود نمی‌آمدند و

---

۱. Klaus schwab

۲. Deloitte

۳. Price water house coopers

۴. Stanford Woods Institute on the Enviroment

۵. کلاوس شواب

۶. James Watt .

۷. Sir Henry Bessemer

۸. Jack Kilby

۹. Texas InstrumentS

همین‌طور سیستم‌های نرم‌افزاری که در صنایع تولیدی به کار می‌روند. به‌راستی کیلبی را می‌توان پدر نسل سوم صنعت دانست.

به‌طور خلاصه مطابق، نسل اول صنعت از آب و بخارآب برای تولید استفاده می‌کرد. نسل دوم از انرژی برق برای تولید انبوه استفاده می‌کرد. نسل سوم از الکترونیک و فناوری اطلاعات برای اتوماسیون تولید استفاده می‌کرد. اکنون نسل چهارم در حال ایجاد در ادامه نسل سوم است که ادامه انقلاب دیجیتالی است که از میانه نسل قبل شروع شده است. مشخصات آن به‌وسیله همجوشی فناوری‌هایی است که خط بین فیزیک، دیجیتال و بیولوژی را طی می‌کند.

جدول ۱: حرکت به‌سوی انقلاب صنعتی بعدی

انقلاب	سال	اطلاعات
اول	۱۷۸۴	بخار، آب، تجهیزات تولید مکانیکی
دوم	۱۸۷۰	تقسیم‌کار، برق، تولید انبوه
سوم	۱۹۶۹	الکترونیک، فناوری اطلاعات، تولید خودکار
چهارم	؟	سیستم‌های سایبر فیزیکی

منبع: کلاوس شواب، انقلاب صنعتی چهارم

سه دلیل وجود دارد که تغییر و تحول امروزه تنها ادامه‌ای بر انقلاب نسل سوم نیست، بلکه آغازی بر شروع یک نسل جدید است: ۱) سرعت، ۲) محدوده و ۳) تأثیر سیستم. تغییر و تحول فعلی هیچ مشابهی در گذشته ندارد. هنگامی‌که با انقلاب‌های صنعتی قبلی مقایسه می‌شود، انقلاب چهارم با یک حرکت نمایی رشد می‌کند که با حرکت با سرعت خطی نسل‌های قبلی قابل مقایسه نیست. علاوه بر این، در حال متحول کردن صنایع دیگر در تمامی کشورهاست. شروع و عمق این تغییرات پیشرو، تغییرات کل سیستم تولید، مدیریت و مقررات حاکم است.

فرصت‌هایی که میلیون‌ها انسان به‌وسیله موبایل باهم در ارتباط هستند، همراه با توان پردازش بی‌نظیر، ظرفیت ذخیره‌سازی و دسترسی به اطلاعات، بی‌نهایت است. این فرصت‌ها با ظهور فناوری‌های فراگیر در زمینه‌هایی نظیر هوش مصنوعی، رباتیک، اینترنت اشیا، خودروهای خودران، پرینت سه‌بعدی، نانو فناوری، بیوفناوری، علم مواد، ذخایر انرژی و کوانتوم دوچندان می‌شود.

هم‌اکنون هوش مصنوعی نیز از خودروهای خودران گرفته تا پهپادها و دستیارهای مجازی و نرم‌افزارهای مترجم، اطراف ما وجود دارد. پیشرفت‌های چشمگیر طی سال‌های اخیر حاصل شده است که ناشی از افزایش نمایی در توان محاسبه اطلاعات عظیم، از نرم‌افزارهایی که برای کشف داروهای جدید استفاده می‌شود تا الگوریتم‌هایی که برای پیش‌بینی بازارهای مالی استفاده می‌شوند.

۱-۱-۲- چالش‌ها و فرصت‌ها

انقلاب صنعتی چهارم مانند انقلاب‌هایی که پیش از این به آن اشاره شد، پتانسیل رشد درآمد جهانی و بهبود کیفیت مردم در اقصی نقاط جهان را دارد. فناوری، امکان استفاده از محصولات و سرویس‌هایی که بهره‌وری و راحتی زندگی روزمره می‌شوند را فراهم می‌کند. سفارش تاکسی، رزرو پرواز، خرید محصول، پرداخت از راه دور، گوش کردن به موسیقی، دیدن فیلم یا بازی کامپیوتری، هر کدام از این‌ها می‌تواند از راه دور صورت پذیرد.

در آینده، نوآوری‌های فناوری منجر به معجزات در اقتصاد نمادشی[۱] همراه با منفعت‌های بلندمدت در بهره‌وری و تولید می‌شود. هزینه‌های حمل‌ونقل و جابه‌جایی کاهش می‌یابد، زنجیره لجستیک و عرضه جهانی پربازده‌تر خواهد شد و هزینه تجارت کم می‌شود و تمام این‌ها منجر به ایجاد بازارهای جدید و رشد اقتصادی خواهد شد. همان‌طور که اقتصاددان‌هایی مثل اریک برینیولفسون[۲] و اندرو مک آفی[۳] اشاره‌کرده‌اند، انقلاب می‌تواند به نابرابری بیشتری، به‌خصوص پتانسیل آن در دگرگونی بازار نیروی انسانی منجر شود. با جایگزین‌شدن ماشین‌ها به‌جای نیروی کار، فاصله بین بازگشت به سرمایه و بازگشت به نیروی کار بدتر شود. از طرف دیگر، ممکن است که جایگزین کردن نیروی کار با فناوری، درمجموع منجر به افزایش امنیت و شغل‌های جدید شود. در حال حاضر با اطمینان نمی‌توان پیش‌بینی کرد که کدام سناریو اتفاق خواهد افتاد، تاریخ نشان می‌دهد که نتیجه ترکیبی از دو حالت خواهد بود. اگرچه یک‌چیز واضح است و آن اینکه در آینده، استعداد بیشتر از سرمایه در تولید تأثیر خواهد داشت. این موضوع منجر به یک جهش در بازار کار به دو قسمت «استعداد پایین/ درآمد پایین» و «استعداد بالا/ درآمد بالا» می‌شود، همچنین منجر به افزایش تنش در بازار کار می‌گردد. علاوه بر اینکه این موضوع باعث ایجاد نگرانی اقتصادی می‌شود، در حال حاضر نابرابری بزرگ‌ترین نگرانی در انقلاب صنعتی چهارم است. بیشترین سود از نوآوری را تأمین‌کنندگان سرمایه فیزیکی و فکری- کارآفرینان، سهام‌داران و مخترعان- می‌برند که این موضوع افزایش شکاف ثروت بین افراد وابسته به سرمایه و نیروی کار را توضیح می‌دهد. بنابراین، فناوری یکی از دلایل اصلی است که چرا درآمدها برای قشر کثیری از مردم در کشورهای ثروتمند ثابت یا حتی کاهش یافته است: تقاضا برای نیروی کار ماهر افزایش پیدا کرده است، در حالی که تقاضا برای نیروی کار کمتر تحصیل‌کرده و بامهارت کمتر، به‌مراتب کمتر شده است. نتیجه بازار، کاری است با تقاضای زیاد در بالا و پایین هرم و تقاضای کم در وسط. این موضوع کمک می‌کند که بفهمیم چرا بسیاری از کارگران از درآمدهای خود و فرزندانشان که قرار است راه آن‌ها را ادامه دهند، نگران هستند. همچنین به فهم اینکه چرا افراد سطح متوسط در سراسر دنیا حس فزاینده نافذی از ناامیدی و بی‌عدالتی دارند، کمک می‌کند.

۱. Supply-side
۲. Erik Brynjolfsson
۳. Andrew McAfee

نارضایتی نیز می‌تواند توسط فراگیری فناوری‌های دیجیتال و اطلاعات پویایی با به اشتراک‌گذاری توسط رسانه‌های اجتماعی، به وجود بیاید. بیش از ۳۰ درصد از جمعیت جهان اکنون رسانه‌های اجتماعی برای ارتباط، یادگیری و به اشتراک‌گذاری اطلاعات استفاده می‌کنند. در یک دنیای ایده‌آل این فعل‌وانفعالات می‌تواند یک فرصت برای درک متقابل فرهنگی و ایجاد انسجام فراهم کند. با این حال، آن‌ها همچنین می‌توانند انتظارات غیرواقعی نسبت به آنچه موفقیت برای یک فرد یا یک گروه تشکیل شده است، ایجاد و تعریف کنند؛ همچنین موقعیت‌هایی برای اندیشه‌های افراطی و ایدئولوژی‌هایی برای گسترش پیشنهاد دهند.

۲-۱-۲- تأثیر بر کسب‌وکار و مشاغل

موضوع اصلی این است که درک یا پیش‌بینی شتاب نوآوری و سرعت تحولات مشکل است و اینکه این مجموعه‌ها حتی برای مطلع‌ترین افراد بسیار غافلگیرکننده هستند. درواقع در تمام صنایع، شواهد نشان می‌دهد فناوری‌هایی که برای انقلاب صنعتی چهارم برنامه‌ریزی کرده‌اند، تأثیر عمده‌ای در کسب‌وکارشان می‌گذارند.

در قسمت عرضه، بسیاری از صنایع شاهد معرفی فناوری‌های جدیدی هستند که روش‌های کاملاً جدیدی از خدمات موجود و روش‌های متحول‌کننده زنجیره موجود صنعت را ایجاد می‌کنند. تحول نیز از رقبای نوآور، سرچشمه می‌گیرد که به لطف دسترسی به پلتفرم‌های دیجیتال جهانی برای تحقیق، توسعه، بازاریابی، فروش و توزیع، می‌توانند متصدیان را سریع‌تر از همیشه به‌منظور بهبود کیفیت، سرعت یا قیمت برکنار کنند.

تغییرات عمده‌ای در طرف تقاضا نیز در حال رخ دادن است. با گسترش شفافیت، تعامل مصرف‌کننده و الگوهای جدید رفتار مصرف‌کننده (که به‌طور فزاینده‌ای مرتبط با دسترسی به داده‌های شبکه‌های موبایل است) شرکت‌ها را مجبور به انطباق با روش طراحی، بازاریابی و ارائه محصولات و خدمات می‌کند.

روند کلیدی، توسعه پلتفرم‌هایی مبتنی بر فناوری است که عرضه و تقاضا را ترکیب می‌کند تا ساختار صنعت موجود را دگرگون کند، ازجمله کسانی که ما در اقتصاد «اشتراک‌گذاری»[۱] یا «حسب درخواست»[۲] می‌بینیم. این پلتفرم‌های فناوری ارائه شدند تا توسط گوشی‌های هوشمند، افراد و داده‌ها مورد استفاده قرار گیرند که درنتیجه باعث ایجاد روش‌های کاملاً جدید مصرف کالاها و خدمات در فرایند می‌شوند. علاوه بر این، آن‌ها موانع را برای کسب‌وکار و افراد مستقل کاهش می‌دهند تا ایجاد ثروت کنند و محیط‌های کاری و شخصی کارگران را تغییر دهند. این بستر کسب‌وکار جدید به‌سرعت در حال گسترش به خدمات جدید، اعم از لباسشویی‌ها تا خرید کردن، از کارهای روزانه تا پارک کردن را دربر می‌گیرد.

در کل، چهار تأثیر اصلی که انقلاب صنعتی چهارم بر کسب‌وکار دارند: بر توقعات مشتری، بر بهبود محصول، بر نوآوری‌های مشترک و بر اشکال سازمانی. چه برای مصرف‌کنندگان و چه برای کسب‌وکارها، مشتریان به‌طور فزاینده‌ای در کانون اقتصاد قرار دارند و همه توجهات در مورد بهبود خدمات به مشتریان است. محصولات و

۱. Sharing
۲. On Demand

خدمات فیزیکی، همچنین می‌توانند با قابلیت‌های دیجیتال بهبود پیدا کنند که موجب افزایش ارزش می‌شود. فناوری‌های جدید، دارایی‌ها را مقاوم‌تر و انعطاف‌پذیر می‌کنند، در حالی‌که داده‌ها و تجزیه‌وتحلیل‌ها به نحوه نگهداری و تعمیرات آن ناظر است. دنیای تجربه مشتری، خدمات مبتنی بر داده‌ها و عملکرد دارایی از طریق تجزیه‌وتحلیل به روش‌های جدیدی از همکاری احتیاج دارد، به‌ویژه با توجه به سرعتی که نوآوری و دگرگونی در آن، در حال وقوع است. ظهور پلتفرم‌های بین‌المللی و سایر مدل‌های جدید کسب‌وکار، درنهایت به آن معنی است که در استعداد، فرهنگ و تشکل سازمانی باید تجدید شود.

به‌طور کلی، تغییر منعطف از عصر ساده دیجیتالی شدن (انقلاب صنعتی سوم) به فناوری‌های ترکیبی نوآورانه (انقلاب صنعتی چهارم)، شرکت‌ها را به بازنگری در روش کاری خود مجبور می‌کند. نتیجه‌گیری با این حال، همان است: رهبران کسب‌وکار و مدیران ارشد نیاز دارند که تغییرات پیرامون خود را حس کنند، مفروضات تیم‌های عملیاتی خود را به چالش بکشند و به‌طور مداوم و خستگی‌ناپذیر نوآوری کنند.

۳-۱-۲- تأثیر بر دولت

همان‌طور که علوم فیزیکی، دیجیتال و بیولوژیکی به یکدیگر همگرا هستند، فناوری و پلتفرم‌های جدید به‌طور فزاینده‌ای، شهروندان را قادر به تعامل با دولت، ابراز نظرات خود، هماهنگی تلاش‌های خود و حتی دور زدن نظارت مقامات دولتی می‌کند. به‌طور هم‌زمان، دولت‌ها قدرت‌های فناورانه جدید به دست می‌آورند تا کنترل خود بر مردم را افزایش دهند که بیشتر بر اساس سیستم‌های نظارت فراگیر و توانایی کنترل زیرساخت‌های دیجیتال است. در کل، دولت‌ها با توجه به کاهش یافتن نقش اصلی آن‌ها به‌عنوان وضع‌کننده قوانین، به‌طور فزاینده با فشار برای تغییر رویکرد فعلی خود به مشارکت عمومی و سیاست‌گذاری روبه‌رو هستند که این موضوع ناشی از منابع جدید رقابت و توزیع مجدد و تمرکززدایی از قدرت است که فناوری‌های جدید، آن را ممکن کرده است.

درنهایت، توانایی سیستم‌های دولتی و مقامات عمومی برای انطباق با این وضع، بقای آن‌ها را تعیین می‌کنند. اگر آن‌ها قادر به پذیرش تغییر و تحول اساسی باشند، ساختارهای خود را در معرض شفافیت و کارایی قرار دهند تا آن‌ها را قادر به حفظ مزیت رقابتی خود کند، بقای آن‌ها ادامه خواهد داشت. اگر نتوانند رشد پیدا کنند، با مشکلات روزافزون مواجه خواهند شد.

این موضوع به‌ویژه در حوزه مقررات صادق است. سیستم‌های کنونی قوانین عمومی و تصمیم‌گیری، هم‌زمان با انقلاب صنعتی دوم تکامل یافته است، هنگامی‌که تصمیم‌گیرندگان زمان برای مطالعه یک موضوع مشخص و توسعه پاسخ مناسب و یا چارچوب قانونی مناسب داشتند، کل فرایند به‌صورت خطی و مکانیکی طراحی شده بود و از یک رویه «بالا به پایین» پیروی می‌کرد؛ اما چنین رویکردی دیگر امکان‌پذیر نیست. با توجه به روند سریع تغییرات و اثرات گسترده انقلاب صنعتی چهارم، قانون‌گذاران و تصمیم‌گیران به میزان بی‌سابقه‌ای به چالش کشیده شده‌اند و در بیشتر قسمت‌ها نشان بر عدم توانایی دارند.

پس آیا آن‌ها می‌توانند نفع مصرف‌کنندگان و عموم مردم را حفظ کنند، در حالی‌که همچنان به حمایت از نوآوری‌ها و توسعه فناوری ادامه دهند؟ با پذیرفتن حکومت «چابک»، همانند بخش خصوصی باید بتوانند به‌طور فزاینده‌ای با واکنش‌های سریع به توسعه نرم‌افزار و عملیات کسب‌وکار واکنش نشان دهد. این به این معنی است که قانون‌گذاران باید خود را به‌طور مداوم به محیط‌های جدید و در حال تغییر وفق دهند، خود را تغییر دهند؛ به‌طوری که آن‌ها تغییرات در حال وقوع را به‌درستی درک کنند. برای این کار، دولت‌ها و سازمان‌های نظارتی نیاز به همکاری نزدیک با کسب‌وکارها و جوامع مدنی دارند.

انقلاب صنعتی چهارم عمیقاً بر ماهیت امنیت ملی و بین‌المللی و هم بر احتمال و ماهیت جنگ تأثیرگذار است. تاریخ جنگ و امنیت بین‌المللی همان تاریخ نوآوری‌های فناورانه است و امروزه نیز از این قاعده مستثنا نیست. جنگ‌های مدرن که دولت‌ها را درگیر خواهد کرد به‌طور فزاینده‌ای چندبعدی بوده، به‌طوری که تکنیک‌های جنگ‌های سنتی را با عناصری که پیش از این با بازیگران غیردولتی در ارتباط بودند، ترکیب می‌کند. تمایز بین جنگ و صلح، مبارز و غیرمبارز و حتی خشونت و عدم خشونت (جنگ سایبری را تصور کنید) به‌طور نگران‌کننده‌ای نامشخص است.

با روی دادن این پروسه و آسان شدن استفاده از فناوری‌های جدید مانند سلاح‌های خودکار و یا بیولوژیکی، افراد و گروه‌های کوچک به‌طور فزاینده به دولت‌ها می‌پیوندند تا قادر به ایجاد آسیب‌های گسترده شوند. این آسیب‌پذیری جدید منجر به ایجاد ترس‌های جدید خواهد شد. اما در همان زمان، پیشرفت در فناوری، پتانسیلی ایجاد خواهد کرد که تأثیر و ابعاد خشونت را کاهش دهد و این کار از طریق توسعه حالت‌های جدید محافظت مانند دقت بیشتر در هدف‌گیری امکان‌پذیر است.

۴-۱-۲- تأثیر بر مردم

درنهایت انقلاب صنعتی چهارم، نه‌تنها آنچه ما انجام می‌دهیم، بلکه آنچه هستیم را نیز تغییر خواهد داد. این موضوع هویت ما و تمام مسائل مرتبط به آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. احساس ما از حریم خصوصی، مفهوم ما از مالکیت، الگوهای مصرف ما، زمانی که ما به کار و اوقات فراغت اختصاص می‌دهیم و اینکه چگونه ما فرصت‌های شغلی‌مان را توسعه می‌دهیم، مهارت‌هایمان را پرورش می‌دهیم، با مردم دیدار می‌کنیم و روابطمان را گسترش می‌دهیم. این موضوع همچنین در حال تغییر سلامتی ما است و زودتر از آن چیزی که فکر کنیم، ممکن است به تقویت انسان منجر شود. این فهرست بی‌پایان است، چراکه تنها توسط تصورات ما محدود می‌شود.

ادغام فناوری در زندگی می‌تواند برخی از ظرفیت‌های انسانی ناب مانند مهربانی و همکاری را کمرنگ کند. رابطه ما با گوشی‌های هوشمند، تنها یک مورد از این موضوع‌ها است. ارتباط دائمی ممکن است ما را از مهم‌ترین دارایی‌های زندگی (زمان برای سکون، بازخورد و شرکت در یک گفتگوی پرمفهوم) محروم کند.

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های فردی مطرح شده توسط فناوری‌های اطلاعات جدید، حفظ حریم خصوصی است. ما به‌طور غریزی درک می‌کنیم که چرا این موضوع بسیار حیاتی است، با این حال ردیابی و به

اشتراک‌گذاری اطلاعات در مورد ما، بخش مهمی از ارتباطات جدید است. بحث در مورد مسائل ریشه‌ای مانند تأثیر بر زندگی‌های ما، از دست دادن کنترل بر اطلاعات، در سال‌های آینده تشدید خواهد شد. به‌طور مشابه، انقلاب‌ها در بیوفناوری و هوش مصنوعی در حال رخ دادن و بازتعریف معنی انسان بودن است و با به عقب راندن مرزهای فعلی طول عمر، سلامت، شناخت و قابلیت‌ها، ما را وادار به بازتعریف مرزهای اخلاقی و معنوی می‌کند.

۵-۱-۲- شکل دادن به آینده

نه فناوری و نه دگرگونی که همراه با آن می‌آید، یک نیروی برونی نیستند که انسان‌ها کنترلی بر روی آن نداشته باشند. همه ما مسئول هدایت تکامل آن هستیم، در تصمیم‌گیری‌هایی که روزانه به‌عنوان شهروندان، مصرف‌کنندگان و سرمایه‌گذاران می‌گیریم. بنابراین، ما باید از این فرصت و قدرت برای شکل دادن به انقلاب صنعتی چهارم استفاده کنیم و آن را به‌سوی آینده‌ای که نشان‌دهنده اهداف و ارزش‌های مشترک است، هدایت کنیم.

برای انجام این کار باید یک دیدگاه جامع و جهانی را توسعه دهیم که چگونه فناوری بر زندگی تأثیر می‌گذارد و محیط اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و انسانی را تغییر می‌دهد. هرگز زمانی با چنین امید بزرگ یا خطر بالقوه عظیم وجود نداشته است. امروز تصمیم‌گیرندگان، اغلب در تفکر سنتی و خطی به دام افتاده‌اند یا بیش‌ازحد، با بحران‌های متعددی که نیاز به توجه دارد، درگیر شده‌اند که کمتر در مورد نیروهای دگرگونی و نوآوری‌هایی که آینده ما را شکل می‌دهد، فکر می‌کنند.

در پایان، این موضوع به مردم و ارزش‌ها ختم می‌شود. ما نیاز به شکل دادن آینده‌ای هستیم که با اولویت دادن به افراد و تقویت آن‌ها برای همه انسان‌ها مفید باشد. در بدبینانه‌ترین حالت و شکل غیرانسانی، انقلاب صنعتی چهارم درواقع پتانسیل «رباتیزه کردن» انسانیت و درنتیجه محروم کردن ما از قلب و روح را دارد. اما به‌عنوان مکملی برای بهترین جنبه طبیعت انسان (خلاقیت، همدلی، مباشرت) می‌تواند بشریت را به یک آگاهی جمعی و اخلاقی جدید بر اساس حس مشترک سرنوشت ارتقاء دهد که نیازمند یقین همه ما بر ارجحیت این جنبه‌های وجود انسانی است.

۶-۱-۲- نقاط عطف[1]

در گزارش مجمع جهانی اقتصاد در سپتامبر ۲۰۱۵، ۲۱ نقطه عطف شناسایی شدند. نقاط عطف زمان‌هایی هستند که جابه‌جایی‌های فناورانه خاص، ضربه کاری بر پیکره اصلی جامعه وارد می‌کند. این ۲۱ نقطه عطف شناسایی‌شده توسط مجمع، آینده دیجیتالی و جهان فوق‌العاده به‌هم‌پیوسته[2] را شکل خواهند داد. پیش‌بینی می‌شود همه نقاط عطف تا ۱۰ سال آینده روی خواهند داد و جابه‌جایی‌های ژرف برخاسته از انقلاب صنعتی

۱. Tipping point

۲. Hyper-connected World

چهارم را پوشش خواهند داد. این نقاط عطف از طریق مطالعه میدانی که توسط شورای برنامه‌ریزی جهانی[1] مجمع جهانی اقتصاد بر روی آینده نرم‌افزار و جامعه انجام گرفت و بیش از ۸۰۰ مدیر و خبره بخش فناوری اطلاعات و ارتباطات در آن شرکت داشتند، مورد شناسایی واقع شد، درصد پاسخ‌دهندگانی که پیش‌بینی کرده‌اند این نقاط عطف تا ۲۰۲۵ روی خواهد دارد را نشان می‌دهد.

جدول ۲: نقاط عطفی که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۵ روی دهند

نقاط عطف	درصد
۱۰ درصد لباس‌هایی را می‌پوشند که به اینترنت اتصال دارد	۹۱,۲
۹۰ درصد از مردم دارای توان ذخیره‌سازی مجانی بی‌حد و مرز هستند	۹۱
تعداد یک تریلیون حسگر به اینترنت اتصال دارند	۸۹,۲
اولین داروشناس روباتیک در ایالات‌متحده آمریکا	۸۶,۵
۱۰ درصد از عینک‌های مطالعه به اینترنت اتصال دارند	۸۵,۵
۸۰ درصد از مردم حضور دیجیتالی در اینترنت دارند	۸۴,۴
اولین خودرو تولیدشده با استفاده از چاپگر سه‌بعدی در خط تولید	۸۴,۱
اولین دولت که سرشماری خود را با منابع داده‌های بزرگ جایگزین می‌کند	۸۲,۹
اولین گوشی همراه قابل ایمپلنت به‌صورت تجاری عرضه می‌شود	۸۱,۷
۵ درصد از محصولات مشتریان به‌صورت سه‌بعدی چاپ می‌شود	۸۱,۱
۹۰ درصد از جمعیت گوشی‌های هوشمند استفاده می‌کنند	۸۰,۷
۹۰ درصد از جمعیت دسترسی عادی به اینترنت دارند	۷۸,۸
خودروهای خودران ۱۰ درصد خودروهای آمریکا را تشکیل می‌دهند	۷۸,۲
اولین پیوند کبد که به‌صورت سه‌بعدی چاپ شده	۷۶,۴
۳۰ درصد از حسابرسی شرکت‌ها توسط هوش مصنوعی انجام می‌شود	۷۵,۴
برای نخستین بار، مالیات توسط دولت از طریق فناوری زنجیره بلوکی اخذ می‌شود	۷۳,۱
بیش از ۵۰ درصد بار ترافیکی اینترنت خانگی برای لوازم خانه است	۶۹,۹
به‌صورت کلی بیشتر سفرها با استفاده از خودروهای مشارکتی انجام می‌شود	۶۷,۲
اولین شهر با بیش از ۵۰ هزار سکنه و بدون چراغ‌های ترافیکی	۶۳,۷
۱۰ درصد از تولید ناخالص جهانی در فناوری زنجیره بلوکی متمرکز شده است	۵۷,۹
اولین روبات با هوش مصنوعی در هیئت‌مدیره شرکت حضور می‌یابد	۴۵,۲

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

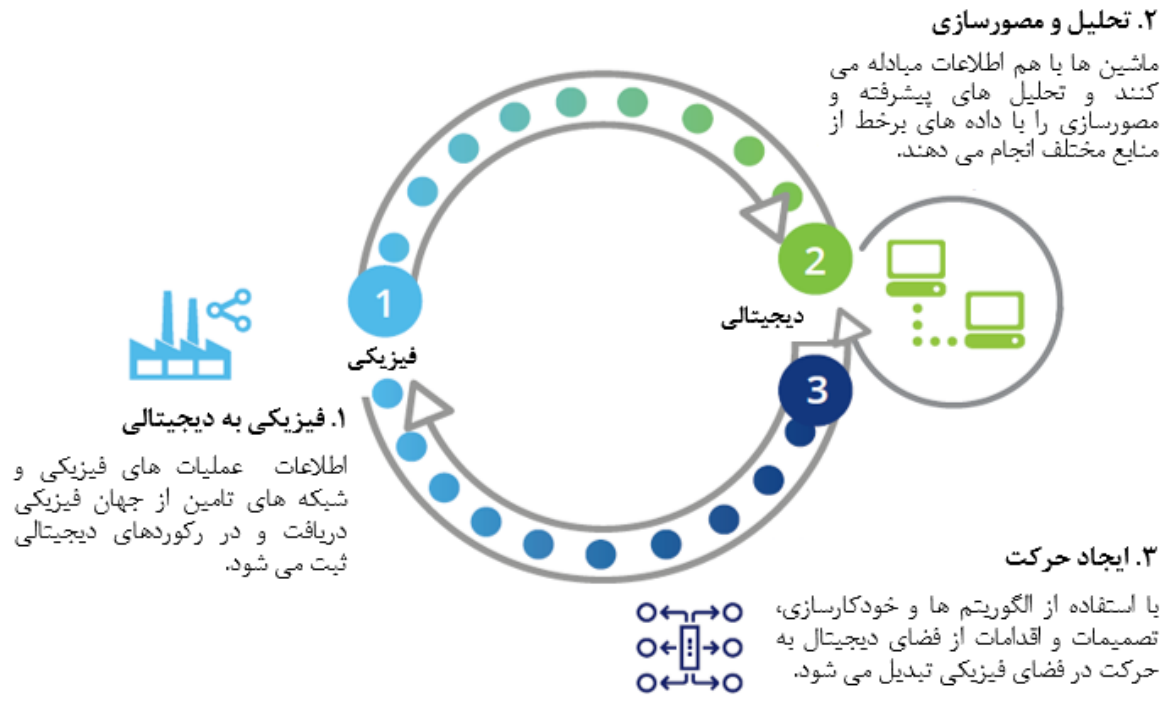
۲-۲- چرا انقلاب صنعتی چهارم اهمیت دارد؟

انقلاب صنعتی چهارم در راستای جایگزینی عملکردهای کسب‌وکار و نحوه رقابت آن‌ها عمل می‌کند. شرکت‌ها باید تصمیم بگیرند که بر روی کدام فناوری‌های جدید سرمایه‌گذاری کنند تا نیازهایشان برآورده شود. بدون درک مناسبی از انقلاب صنعتی چهارم، شرکت‌ها با ریسک از دست دادن بازار مواجه هستند. انقلاب صنعتی چهارم تعامل گسترده فضای فیزیکی و دیجیتال را به همراه خواهد داشت. در چرخه فیزیکی- دیجیتالی- فیزیکی و فناوری‌های مرتبط آورده شده است. در این چرخه دسترسی لحظه‌ای به داده و هوش مصنوعی وجود

۱. Global Agenda Council

دارد. به‌منظور دستیابی به این چرخه انقلاب چهارم صنعتی، فناوری‌های فیزیکی و دیجیتالی مانند ابزارهای تحلیلی، تولید افزودنی، رباتیک، محاسبات با کارایی بالا، پردازش زبان طبیعی، هوش مصنوعی، فناوری‌های شناختی، مواد پیشرفته و واقعیت افزوده را ترکیب می‌کند.

- **فیزیکی به دیجیتالی**: اطلاعات را از جهان فیزیکی جمع‌آوری کرده و با توجه به آن سوابق دیجیتال را ایجاد می‌کند.
- **دیجیتال به دیجیتال**: با استفاده از ابزارهای تحلیلگر پیشرفته، تحلیل سناریو هوش مصنوعی، اطلاعات را به اشتراک گذاشته و نشانه‌های معنادار را کشف می‌کند.
- **دیجیتال به فیزیکی**: با استفاده از الگوریتم‌هایی، تصمیمات دنیای دیجیتال را به داده‌های مؤثر تبدیل کرده تا اقدامات و تغییراتی در دنیای فیزیکی اتفاق بیفتد.



شکل ۲: حلقه فیزیکی- دیجیتالی- فیزیکی و فناوری‌های مرتبط

منبع: Center for integrated research

در حوزه عملکردی فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم آورده شده است.

جدول ۳: فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم

تأثیر محصولات	کاربردهای بالقوه فناوری اطلاعات و فناوری عملیات
فیزیکی به دیجیتالی	سنسورها و کنترل‌کننده‌ها فناوری‌های پوشیدنی واقعیت افزوده
دیجیتال	جمع‌آوری سیگنال بهینه‌سازی و پیش‌بینی مصورسازی محاسبات شناختی با کارایی بالا
دیجیتالی به فیزیکی	ساخت و تولید افزودنی مواد پیشرفته رباتیک پیشرفته شبیه‌سازی و طراحی دیجیتال

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

انقلاب چهارم می‌تواند فرایندها و عملیات سازمان‌ها را متحول کند. در ادامه چند دیدگاه کلیدی در مورد تأثیرگذاری انقلاب صنعتی چهارم آورده شده است.

۱- انقلاب چهارم همه‌چیز را در زندگی ما تغییر می‌دهد. انقلاب چهارم عملیات کسب‌وکار، نیروی کار و جوامع را دربر می‌گیرد. انقلاب چهارم روش‌های تولید، روش‌های حمل، چگونگی ارتباط مصرف‌کننده با آن‌ها و تجربه ارتباط آن‌ها با سازمان‌ها را تغییر می‌دهد. علاوه بر این، تغییراتی در نیروی کار به وجود خواهد آمد و نیاز به مهارت‌ها و نقش‌های جدید خواهد بود.

۲- انقلاب چهارم دنیای فیزیکی و دیجیتالی را یکپارچه می‌کند. دیجیتالی شدن عملیات، ساخت و تولید، شبکه‌های تأمین و محصولات شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا آموخته‌های خود از انسان‌ها، ماشین‌ها، تحلیل‌کنندگان و آینده‌نگری‌های پیش‌بینانه را ترکیب کنند تا تصمیمات بهتر و جامع‌تری گرفته شود.

۳- انقلاب چهارم تنها مربوط به زنجیره تأمین یا ساخت و تولید نیست، بلکه عملیات کسب‌وکارها و رشد سود را نیز شامل می‌شود.

۳-۲- اثرات انقلاب صنعتی چهارم بر تولید

اثرات انقلاب چهارم می‌تواند در سه سطح بررسی شود:

- در سطح کل زیست‌بوم؛
- در سطح سازمانی؛
- در سطح کارکنان و مشتریان.

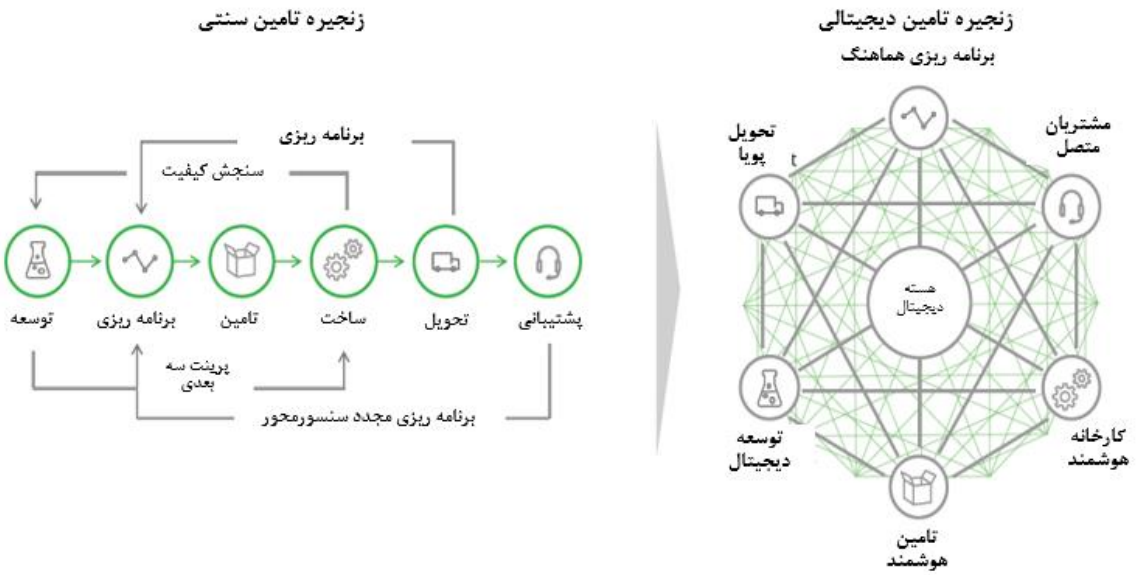
در انقلاب چهارم، زنجیره‌های تأمین سنتی به شبکه‌های تأمین دیجیتالی تبدیل خواهند شد. این تغییر در به نمایش درآمده است.

۴-۲- اثرات انقلاب صنعتی چهارم بر تولید

اثرات انقلاب چهارم می‌تواند در سه سطح بررسی شود:

- در سطح کل زیست‌بوم؛
- در سطح سازمانی؛
- در سطح کارکنان و مشتریان.

در انقلاب چهارم، زنجیره‌های تأمین سنتی به شبکه‌های تأمین دیجیتالی تبدیل خواهند شد. این تغییر درشکل ۳ به نمایش درآمده است.



شکل ۳: تغییر از زنجیره تأمین سنتی به شبکه تأمین دیجیتال

منبع: دیلویت

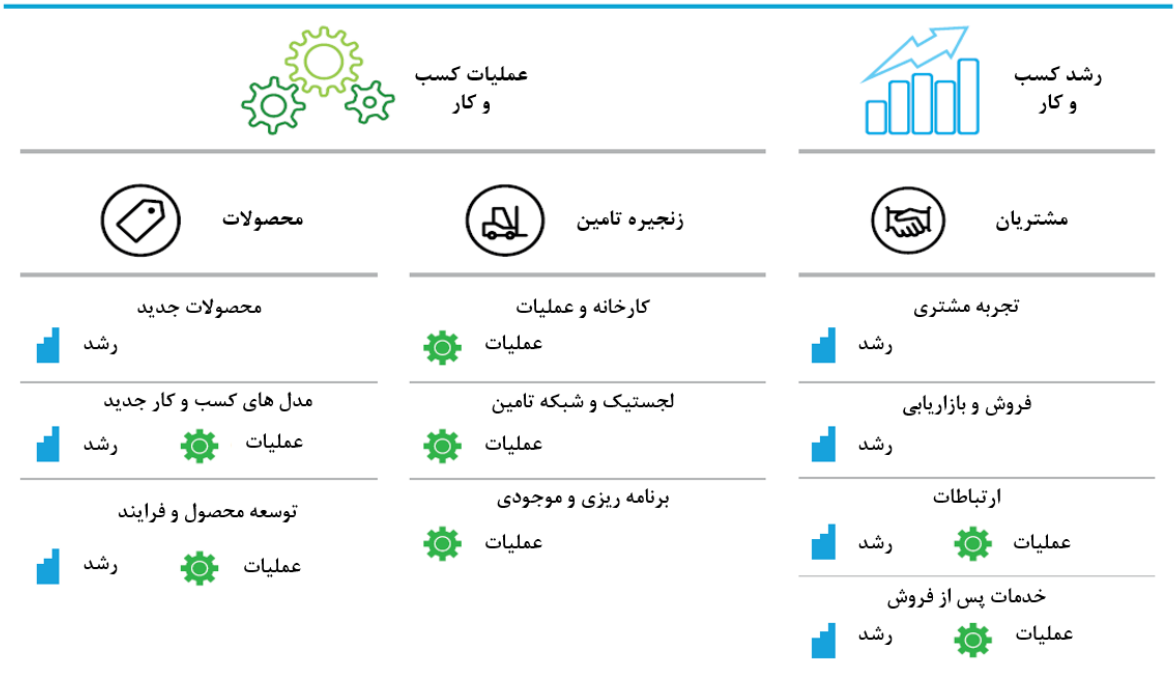
تأثیرات کلیدی انقلاب صنعتی چهارم در سطح سازمان‌ها در شکل ۴۴ آورده شده است.

تأثیر	اهداف کلیدی	تحولات
عملیات کسب‌وکار	بهبود بهره‌وری	افزایش کارایی دارایی و کاهش زمان توقف افزایش کارایی مستقیم و غیرمستقیم نیروی انسانی مدیریت هزینه‌های شبکه‌های تأمین و هماهنگ‌سازی اطمینان از پایداری و دقت برنامه و زمان‌بندی
	کاهش ریسک	اطمینان از قیمت و در دسترس بودن مواد مصرفی مدیریت کارایی گارانتی از بین رفتن ریسک‌های جغرافیایی
رشد کسب‌وکار	سود افزایشی	یافتن منابع رشد برای کسب‌وکار اصلی رشد درآمد پس از فروش عمق‌بخشی به درک و بینش مصرف‌کنندگان تقویت یکپارچه‌سازی کانال‌های ارتباطی با مشتریان
	سودهای جدید	ایجاد محصولات و خدمات جدید پیشنهادی توسعه در سطح بین‌المللی و در بازارهای جدید شناسایی فرصت‌های جذاب ادغام و کسب

شکل ۴: تأثیرات کلیدی انقلاب صنعتی چهارم در سطح سازمانی

منبع: دیلویت

حوزه‌های کسب‌وکار متأثر از انقلاب صنعتی چهارم در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵: حوزه‌های کسب‌وکار متأثر از انقلاب صنعتی چهارم

منبع: دیلویت

۵-۲- انقلاب صنعتی چهارم برای زمین

در این بخش به بررسی پتانسیل‌های نوآوری‌های انقلاب صنعتی چهارم و کاربردهای آن به‌منظور مقابله با چالش‌های محیط‌زیستی جهان پرداخته است. این بخش، چشم‌اندازی از فرصت‌ها و خطرات بالقوه را فراهم و نقش بازیگران مختلف در توسعه کارا، متناسب و متوازن فناوری‌ها را بیان کرده است. شهرهای نوظهور جهان، اگر با هوشمندی تغییرات سریع و متحول‌کننده فناوری را تحت کنترل درآورند، می‌توانند آینده‌ای پایدار را برای همگان رقم بزنند. اقتصادهای نوظهور بیش‌ازپیش جمعیت را به شهرها جذب می‌کنند. پیش‌بینی می‌شود شهرهای چین و آسیا ۹۰ درصد از ۲,۵ میلیارد جمعیت جدید تا ۲۰۵۰ را به خود جذب کنند. در : نوآوری‌های فنی برای شهرهای نوظهور پایدار۶ نوآوری‌های فنی برای شهرهای نوظهور پایدار آورده شده است. بدیهی است توجه به این نوآوری‌ها برای توسعه سازمان فضایی کشور ضروری است.

برنامه‌ریزی و ساخت‌وساز هوشمند	حمل‌ونقل و لجستیک پایدار	انرژی و خدمات همگانی پاک	سلامت و منابع شهری	سیستم‌های شهری مقاوم
• **ساختمان‌های چند عملکردی** • **طراحی، کدها و استانداردهای ساختمانی بهینه و باکیفیت** • **جوامع با استفاده ترکیبی، فضاهای انعطاف‌پذیر و اشتراکی** • **مدیریت کارای ساختمان مسکونی و تجاری** • **برنامه‌ریزی، نظارت و مدیریت شفاف کاربری زمین** • **فرایندهای برنامه‌ریزی دیجیتال یکپارچه**	• سیستم‌های حمل‌ونقل یکپارچه مقرون‌به‌صرفه • سرویس‌های جابه‌جایی اشتراکی، محدود و به‌محض تقاضا • سیستم‌های حمل‌ونقل کم‌کربن ازجمله سوخت‌های پاک و مواد جایگزین • جابجایی و لجستیک منطقه‌ای • مدیریت جریان ترافیک در زمان واقعی • نظارت مؤثر بر تدارکات و زنجیره تأمین	• سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر نامتمرکز و همتا به همتا • شبکه‌های ذخیره انرژی پیشرفته • بهینه‌سازی عملیات، نظارت و مدیریت بر دارایی‌ها • مدیریت گرید هوشمند مبتنی بر حسگر • توزیع و دسترس‌پذیری انرژی پاک • شناسایی، استفاده، مدل‌سازی و پیش‌بینی الگو	• اقتصاد چرخشی، بهره‌وری منابع و زنجیره تأمین • مدیریت یکپارچه پسماند شهری و صنعتی • کاهش پسماند از طریق اصول اقتصاد اشتراکی و بسته‌بندی هوشمند • مدیریت کیفیت آب و بازیافت آن • جداسازی و پالاینده‌های آلودگی هوا	• سیستم‌های واکنش اضطراری هوشمند • اعتبار آزمایی فروشنده و مدیریت، نظارت و پیش‌بینی بهتر ریسک • زیرساخت و ساختمان-های مقاوم در برابر حوادث • کاهش، پیشگیری و جبران حوادث طبیعی و ساخت دست بشر • سیستم‌های مالی، حکومتی و تهیه یکپارچه • مدیریت شهری زمان واقعی، یکپارچه و تطبیقی

شکل ۶: نوآوری‌های فنی برای شهرهای نوظهور پایدار

منبع: دیلویت

در شکل ۷ نوآوری‌های تغییردهنده بازی در انقلاب صنعتی چهارم برای شهرهای نوظهور آورده شده است.

شکل ۷: نوآوری‌های تغییردهنده بازی در انقلاب صنعتی چهارم برای شهرهای نوظهور

منبع: دیلویت

در ارتباط بین انقلاب صنعتی چهارم و نمای کلی چشم‌انداز شهرهای نوظهور آورده شده است. این عوامل همگی بر توسعه سازمان فضایی کشور مؤثر هستند.

جدول ۴: انقلاب صنعتی چهارم و نمای کلی چشم‌انداز شهرهای نوظهور

	برنامه‌ریزی و ساخت‌وساز هوشمند	حمل‌ونقل و لجستیک پایدار	انرژی و خدمات همگانی پاک	سلامت و منابع شهری	سیستم‌های شهری مقاوم
چاپ سه‌بعدی	• ساختمان‌های چاپ‌شده به شکل سه‌بعدی و مؤلفه‌های سرهم‌بندی سریع	• خودروهای چاپ‌شده به شکل سه‌بعدی • امکانات در محل و محلی چاپ سه‌بعدی	• کاشی‌های سقف خورشیدی چاپ‌شده به شکل سه‌بعدی • توربین‌های بادی کوچک مقیاس سرهم‌بندی شده از اجزای چاپ‌شده	• بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی و کالاها • حسگرهای قابل چاپ برای نظارت بر آلودگی	• سازه‌های چاپ‌شده به شکل سه‌بعدی مقاوم در برابر سیل، گرما، زلزله و طوفان برای سرپناه‌ها و خانه‌ها
مواد پیشرفته (ازجمله نانو مواد)	• بتون هوشمند، کم‌کربن و بدون سیمان یا مقادیر کم آن • مواد ابر عایق کاهش‌دهنده تبادلات حرارتی	• قابلیت باتری پیشرفته • کامپوزیت‌های فیبر کربن پیشرفته برای خودروهای سبک‌وزن • فناوری نانو در پیل‌های سوختی برای هوای شهری پاک‌تر	• کاربردهای گرافن برای تولید و توزیع انرژی • افشانه‌های خورشیدی برای پوشش‌های ساختمانی PV	• لایه‌ها، پوشش‌ها و مواد ساختمانی جاذب یا کاهنده آلودگی	• بتون هوشمند برای تقویت سازه‌ها و دارایی‌های آسیب‌پذیر • فلزات حافظه‌دار

		• فناوری‌های باتری نسل آینده			
هوش مصنوعی	• تشخیص تغییر کاربری زمین خودکار توسط ماشین • Auditory-cue روشنایی/ گرمایش • طراحی ساختمان پایدار بهینه	• پیش‌بینی هوشمند تقاضای انرژی • بهینه‌سازی استفاده از انرژی	• مسیرهای حمل‌ونقل بهینه با توجه به جریان ترافیک • پیش‌بینی تقاضا به‌طور هوشمند	• کاهش اتلاف انرژی با بررسی متاداده‌های راجع به استفاده از محصول • پیش‌بینی رفتارها و الگوهای مصرف استفاده زیاد از منبع و آلوده‌کننده	• پیش‌بینی، نظارت و ارزیابی ریسک حادثه به‌طور خودکار توسط ماشین • اطلاعات امنیتی پیش فعال و واکنشی • مسیریابی مجدد ترافیک در شرایط اضطراری
روبات‌ها	• روبات‌هایی برای ساخت‌وساز کارا • کمک به سر هم کردن ساختمان‌های پیش‌ساخته	• ارزیابی سلامت و بررسی یا تعمیر نواقص لوله‌ها و گریدها	• روبات‌هایی برای تعمیر قطعات معیوب و تعمیر و نگهداری برای بهره‌وری بهینه	• جمع‌آوری و تفکیک پسماند	• پشتیبان واکنش حادثه خودکار در مناطق خطر • نقل‌وانتقال با استفاده از هواپیماهای بی‌سرنشین برای واکنش به حادثه
هواپیماهای بی‌سرنشین و خودروهای خودران	• تصویربرداری هواپیمای بی‌سرنشین برای برنامه‌ریزی کاربری زمین • نظارت بر رفتار انسان در محیط شهری	• هواپیماهای بی‌سرنشین برای نظارت و نگهداری گریدها و دارایی‌های زیرساخت	• وسایل نقلیه خودکار برای شبکه‌های کارآمد • نقل‌وانتقال با استفاده از هواپیماهای بی‌سرنشین	• هواپیماهای بی‌سرنشین برای نظارت بر محیط شهری ازجمله کیفیت هوا	• نقل‌وانتقال با استفاده از هواپیمای بی‌سرنشین برای واکنش به حادثه
زیست‌فناوری	• نماها و پوشش‌های ساختمانی زنده • تقلید از سیستم‌های زنده در طراحی شهری • مصالح و فرآیندهای ساخت‌وساز زیستی	• منابع انرژی پاک‌تر بر پایه مواد سینتیک	• سوخت‌های زیستی سینتیک برای تسهیل محدودیت‌های زمین • جمع‌آوری و استفاده از کربن • درخت‌های سینتیک که هوا را تمیز می‌کنند	• بیوپلاستیک‌ها • بهبود مدیریت پسماند میکروبی	• تقلید از سیستم‌های زیستی برای سازه‌های انعطاف‌پذیر
جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و انتقال انرژی	• ذخیره انرژی نامتمرکز برای ایجاد بهره‌وری	• نسل بعدی ذخیره‌سازی انرژی • گریدهای نامتمرکز	• منابع انرژی پیشرفته برای خودروهای برقی شهری • نسل بعدی فناوری‌های باتری	• نسل بعدی ذخیره‌سازی انرژی برای بهره‌وری منابع	• راه‌حل‌های توزیع انرژی تطبیقی • توان اضطراری متحرک
بلاک چین (و دفتر کل توزیع‌شده)	• قراردادهای ساختمانی هوشمند • ارزیابی و تأیید برنامه‌ریزی خودکار • ثبت زمین	• سیستم‌های انرژی همتا به همتا و نامتمرکز • پرداخت‌های سنجه هوشمند پرداخت به ازای استفاده (pay-as-you-go) • سنجش خالص به‌وسیله تولید توزیع‌شده	• ردیابی و شفافیت زنجیره تأمین • پرداخت خودکار بهای حمل‌ونقل به‌منظور کاهش ترافیک	• اقتصاد اشتراکی همتا به همتا، استفاده مجدد و بازیافت مواد	• پرداخت کمک‌ها

مهندسی زمین			• کاهش آلودگی هوا	• کاهش آثار تغییرات اقلیمی	• تغییر الگوهای آب و هوایی برای اجتناب از بلایای طبیعی
اینترنت اشیا	• حسگرها در و روی ساختمان‌ها به‌منظور بهینه‌سازی آلودگی ساختمان و کارایی بهره‌برداری انرژی، آب، پسماند و کیفیت هوا	• گریدها و شبکه‌های شهری مبتنی بر حسگر	• مدیریت جریان ترافیک مبتنی بر حسگر • مدیریت هوشمند ناوگان	• حسگرهایی برای پایش آلودگی • پایش و شفافیت پسماند مبتنی بر حسگر	• حسگرهایی برای پایش بلایای طبیعی
فناوری‌های محاسباتی جدید	• مدل‌سازی اطلاعات ساختمان فوق‌العاده دقیق	• رایانش کوانتومی برای سیستم‌های انرژی و خدمات همگانی کارآمد	• رایانش کوانتومی برای لجستیک و زنجیره تأمین بهینه و فوق‌العاده کارآمد	• ردیابی و پایش آلودگی بسیار دقیق	
پلتفرم‌های حسگر پیشرفته	• حسگرهای شیمیایی برای مصالح ساختمانی	• حسگرهای پیشرفته برای مدیریت و پایش گرید	• بهینه‌سازی زمان واقعی عبور و مرور و مدیریت سیستم ریلی	• ماهواره‌های نانوی پیشرفته برای ارزیابی و پایش منابع آبی • زیست حسگرها برای پایش سلامت شهر و تفکیک پسماند برای بازیافت	• امنیت پیش فعال و واکنشی
واقعیت‌های مجازی، افزوده و آمیخته	• VR و AR برای برنامه‌ریزی شهری و التزام شهری • تجربه کاربری BIM	• نیروگاه‌های مجازی • آموزش مجازی برای خدمات همگانی و مدیریت گرید	• تجارب سفر AR • جلسات VR	• تجارب VR /AR /MR برای تغییر رفتاری در استفاده از منابع	• VR برای شبیه‌سازی حوادث • بازی‌های مبتنی بر VR برای آماده‌سازی شهروندان برای شرایط اضطراری

۶-۲- جمع‌بندی

در فناوری‌های پیشران انقلاب صنعتی چهارم که در گزارش‌های معتبر بین‌المللی به آن‌ها اشاره شده، آورده شده است.

جدول ۵: خلاصه گزارش‌های انقلاب صنعتی چهارم

نام گزارش	نویسنده یا مؤسسه	فناوری‌های نوظهور در قالب انقلاب صنعتی چهارم
انقلاب صنعتی چهارم	کلاوس شواب، مجمع جهانی اقتصاد	❋مشابه با مجمع جهانی اقتصاد و مجامع برنامه‌ریزی جهانی ▪ فیزیکی ۱. وسایل نقلیه خودران (خودرو، پهپاد، باربر، قایق و هواپیما) ۲. چاپگرهای سه‌بعدی (ساخت افزودنی) ۳. رباتیک پیشرفته ۴. مواد جدید (سبک‌تر، محکم‌تر، تجدیدپذیرتر و سازگارتر) ۵. حسگرهای کوچک‌تر، ارزان‌تر و هوشمندانه‌تر ▪ دیجیتالی ۱. اینترنت اشیا (ارتباط بین جهان فیزیکی و دیجیتالی) ۲. زنجیره بلوکی (دفتر کل توزیع‌شده) ۳. اقتصاد مشارکتی (sharing economy) ۴. پلتفرم‌های دیجیتالی ▪ بیولوژیکی ۱. توالی‌یابی ژنتیکی، ویرایش ژن‌ها، روش کریسپر ۲. بیولوژی سینتیک ۳. پزشکی فرادقیق (precision medicine) ۴. چاپ زیستی (Bioprinting) ۵. فناوری‌های کاشتنی در بدن انسان
انقلاب صنعتی چهارم: نیروی تغییر	دیلویت	▪ فناوری‌های تحلیل ▪ تولید افزودنی ▪ رباتیک ▪ محاسبات با عملکرد بالا ▪ پردازش زبان طبیعی ▪ هوش مصنوعی ▪ فناوری‌های شناختی ▪ مواد پیشرفته ▪ واقعیت افزوده
انقلاب صنعتی چهارم برای زمین	پرایس واترهاوس کوپرز	▪ اینترنت اشیا ▪ واقعیت افزوده ▪ واقعیت مجازی ▪ مهندسی ژنتیک ▪ رباتیک ▪ وسایل نقلیه خودران ▪ پهپاد ▪ سنسورها ▪ کلان‌داده ▪ هوش مصنوعی ▪ مواد پیشرفته ▪ چاپگر سه‌بعدی ▪ زنجیره بلوکی

۳- تحولات فناوری و تأثیر آن بر حمل‌ونقل

تحولات فناوری تأثیر شگرفی بر سیستم‌های حمل‌ونقل داشته و موجب تحول این حوزه شده است. با این حال پیش‌بینی می‌شود این تحولات در دهه‌های آتی تسریع شده و جنبه‌های مختلف زندگی و کسب‌وکارها را تحت تأثیر قرار دهد. در مبحث توسعه سازمان فضایی کشور نیز، توجه به این تحولات ضروری است، چراکه این تحولات، الگوهای فعلی حمل‌ونقل را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۳–۱- پنج عامل تحول حمل‌ونقل و لجستیک

شرکت پرایس واتر هاوس کوپرز در سال ۲۰۱۹ گزارشی با عنوان پنج عامل تحول حمل‌ونقل و لجستیک منتشر کرد. با توجه به افزایش پیچیدگی حمل‌ونقل و لجستیک، تعیین حوزه تمرکز دشوار شده است و به همین دلیل در این گزارش پنج عامل تحول در بخش حمل‌ونقل و لجستیک شناسایی شده‌اند. این پنج عامل با استفاده از تحلیل روندهای PESTEL و تحلیل اثر و زمان وقوع راه‌حل‌های مرتبط شناسایی شده‌اند:

- دیجیتالی شدن؛
- تغییر در تجارت جهانی؛
- تغییرات فرایندی نرم‌افزارمحور؛
- تغییر در تجارت داخلی بازارها؛
- تغییرات فرایندی ماشین‌محور؛

انتظار می‌رود هر یک از این پنج عامل تحول با توجه به روندهایی که پیشران آن‌هاست، بر موفقیت بازار تأثیرگذار باشند. هر یک از این پنج عامل با راه‌حل‌های جدیدی نیز همراه هستند. در روندهای پیشران و راه‌حل‌های در حال ظهور برای پنج عامل تحول حمل‌ونقل و لجستیک آورده شده است.

جدول ۶: پنج عامل تحول حمل‌ونقل و لجستیک

عوامل تحول	دیجیتالی شدن	تغییر در تجارت جهانی	تغییرات فرایندی نرم‌افزار محور	تغییر در تجارت داخلی بازارها[1]	تغییرات فرایندی ماشین‌محور
روندهای پیشران	دیجیتالی شدن فرایندهای عملیاتی و قراردادی هم‌اکنون نیز در حال انجام است به دلیل: • تغییر در رفتار مصرف‌کننده • شکاف عرضه استعداد • دسترسی به فناوری • تغییرات در حفاظت داده و مقررات کار	• رشد تجارت اروپا و آسیا • موافقت‌نامه‌های تجارت آزاد • موانع و جنگ‌های تجاری • بین‌المللی شدن کسب‌وکارهای حمل و نقل • ابتکار جاده ابریشم چین • توسعه حمل‌ونقل زمینی (جاده و راه‌آهن)	• تحول در فناوری‌های پایه‌ای مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، تحلیل کلان‌داده، فناوری دفاتر کل توزیع‌شده یا بلاکچین • لزوم اجرای اقدامات محافظت از داده • فشار بر اثربخشی کسب‌وکارها	• بلوغ تجارت الکترونیک • پیش‌بینی‌های رشد جهانی خوش‌بینانه • رشد اقتصاد شراکتی • ظهور بازیگران بین‌المللی و فشار بر اثربخشی • تغییرات رفتار مصرف‌کنندگان • افزایش سن جوامع	• توسعه فناوری ماشین‌های حمل‌ونقل • نوسانات قیمت سوخت • پیشرفت‌ها در پیشران‌های الکتریکی • تمرکز بر پایداری محیط زیستی • تغییر قوانین کار
راه‌حل‌های در حال ظهور	راه‌حل‌های دیجیتالی شدن تأثیر: بسیار زیاد بلوغ: بسیار زیاد	راه‌حل‌های مسیرهای تجاری جدید تأثیر: زیاد بلوغ: بسیار زیاد	سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل تأثیر: متوسط بلوغ: بسیار زیاد اتوماسیون فرایند رباتیک تأثیر: متوسط بلوغ: بسیار زیاد نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه و نظارت پهپادی	کسب‌وکارهای بزرگ وارد تجارت الکترونیک می‌شوند تأثیر: بسیار زیاد بلوغ: متوسط تجارت الکترونیک بر روی لجستیک سرمایه‌گذاری می‌کند تأثیر: زیاد	انبارداری با ربات تأثیر: بسیار زیاد بلوغ: کم پیشران‌های الکتریکی تأثیر: متوسط بلوغ: کم

۱. Markets' domestic commerce

عوامل تحول	دیجیتالی شدن	تغییر در تجارت جهانی	تغییرات فرایندی نرم‌افزار محور	تغییر در تجارت داخلی بازارها[1]	تغییرات فرایندی ماشین‌محور
			تأثیر: متوسط بلوغ: زیاد راه‌حل‌های بلاکچین تأثیر: متوسط بلوغ: زیاد راه‌حل‌های هوش مصنوعی برای حمل‌ونقل تأثیر: زیاد بلوغ: متوسط	بلوغ: متوسط راه‌حل‌های اقتصاد شراکتی تأثیر: کم بلوغ متوسط تثبیت حمل‌ونقل تأثیر: متوسط بلوغ: متوسط	پشتیبانی از انبارداری با واقعیت افزوده واقعیت مجازی تأثیر: نسبتاً کم بلوغ: متوسط ریل‌های سرعت بالا تأثیر: کم بلوغ: زیاد بهینه‌سازی تحویل (با پهپاد) تأثیر: متوسط بلوغ: متوسط
سال وقوع	از سال آینده	از ۲ سال آینده	از ۳ سال آینده	از ۴ سال آینده	از ۵ سال آینده به بعد

منبع: PWC

۱-۱-۳- دیجیتالی شدن

دیجیتالی شدن تمام بخش حمل‌ونقل و لجستیک را متحول خواهد کرد و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده مؤثرترین روند برای شکل دادن به کسب‌وکارها باشد.

درصد شرکت‌های تجاری حمل‌ونقل که سطوح پیشرفته دیجیتالی شدن یکپارچگی را گزارش کرده‌اند، شامل موارد زیر هستند:

- یکپارچگی زنجیره ارزش افقی: ۴۴ درصد
- دسترسی، فروش و بازاریابی مشتری: ۳۷ درصد
- یکپارچگی زنجیره ارزش عمودی: ۳۶ درصد
- دیجیتالی شدن کلی: ۲۸ درصد
- مهندسی و توسعه محصول: ۲۵ درصد
- مدل‌های کسب‌وکار و سبد خدمات محصول دیجیتال: ۲۱ درصد

فرصت‌های به وجود آمده برای کسب‌وکارها در ادامه آورده شده است:

- تسهیل فرایندهای داخلی با کاربرد گسترده‌تر راه‌حل‌های دیجیتال؛
- افزایش سود با افزایش دسترسی دیجیتال به مصرف‌کنندگان؛
- رشد بازاریابی آنلاین؛
- کاهش ریسک کسب‌وکار با پرداخت‌های آنلاین؛
- تأثیر کمتر شکاف عرضه استعدادها؛
- کاهش هزینه خدمت به مشتری؛
- فرصتی برای پاسخ به نیازهای مشتری با خدمات جدید.

راه‌حل‌های دیجیتالی شدن تنها محدود به ICT نیستند، بلکه این راه‌حل‌ها منجر به توسعه مدل‌های جدید کسب‌وکار، روش‌های تراکنش، بازارها و خدمات جدید خواهند شد. دیجیتالی شدن بر مشتریان نیز مؤثر است و موجب سهولت فرایندهای شخصی‌سازی و همچنین فرایند سفارش، ره‌گیری و پرداخت آنلاین خواهد شد.

پیشران‌های اصلی دیجیتالی شدن شامل کشش مصرف‌کنندگان، فشار فناوری و مزایای اقتصادی است.

۲-۱-۳- تغییر در تجارت جهانی

حمل‌ونقل زمینی بین چین و اتحادیه اروپا رو به افزایش است و پیش‌بینی می‌شود که این روند در سال‌های آتی تشدید شود. این رشد منجر به کاهش هزینه‌های جابه‌جایی و ایجاد مشاغل جدید خواهد شد. تعداد قطارهای جابه‌جاشده بین چین و اتحادیه اروپا از ۱۷ در سال ۲۰۱۱ به ۳۶۷۳ در ۲۰۱۷ رسیده است.

تغییر در تجارت جهانی باعث ایجاد موقعیت‌هایی برای کسب‌وکارها می‌شود.

- هزینه‌های پایین‌تر برای تجارت و سرمایه‌گذاری در راستای مسیرهای تجاری نوظهور، مخصوصاً کریدور بین اروپا و چین؛
- مدرن‌سازی راه‌آهن‌ها، بزرگراه‌ها، ارتباطات از راه دور و هاب‌های مکان‌یابی شده در کریدورهای اصلی حمل‌ونقل؛
- افزایش دسترسی به مناطق جدید برای کسب‌وکار به دلیل کاهش هزینه دسترسی به آن‌ها؛
- توافقات تجاری جدید باعث تغییر سوددهی تجارت در مسیرهای خاص خواهد شد؛
- اصلاح استراتژی‌های زنجیره تأمین در راستای کاهش هزینه و زمان تحویل.

مسیرهای تجاری جدید انقلابی در تجارت بین اروپا و چین ایجاد خواهد کرد:

- سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های حمل‌ونقل، شامل پایانه‌های چندمنظوره و مراکز پردازش گمرکی؛
- ارائه خدمات مرزی جدید توسط سرویس‌دهندگان.

بخش‌هایی از حمل‌ونقل و لجستیک که بیشترین تأثیر را می‌پذیرند، شامل پست، زیرساخت‌های حمل‌ونقل و انبارداری، راه‌آهن و حمل‌ونقل دریایی می‌شود. تغییر در تجارت جهانی همچنین باعث اثراتی بر مصرف‌کنندگان خواهد شد:

- کاهش هزینه به معنی دسترسی بیشتر به کالاها و خدمات از بازارهای خارجی است؛
- کاهش زمان حمل به معنی کاهش زمان تحویل است؛
- افزایش جریان کالا از اقتصادهای نوظهور موجب افزایش رقابت و حق انتخاب می‌شود.

با افزایش حجم مبادلات چین و اروپا، سرمایه‌گذاری‌های جدید موجب توسعه سریع حمل‌ونقل زمینی خواهد شد.

۳-۱-۳- تغییرات مبتنی بر نرم‌افزار در فرایندها

پیش‌بینی می‌شود که راه‌حل‌هایی که بر اساس فرایندهای نرم‌افزار محور هستند، در سال‌های آینده افزایش یابد و منافعی را برای کسب‌وکارها به همراه داشته باشد. همچنین پیش‌بینی می‌شود بازار سیستم جهانی حمل‌ونقل هوشمند در سال ۲۰۲۲ به ۷۲,۳ میلیارد دلار برسد. همچنین پیش‌بینی می‌شود بازار نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه تا سال ۲۰۲۲ حدود ۳۷ درصد رشد کرده و به ۱۰,۹ میلیارد دلار برسد. بازار جهانی اتوماسیون فرایندی رباتیک تا سال ۲۰۲۱ به بیش از ۱,۲ بیلیون دلار برسد.

فرصت‌هایی که برای کسب‌وکارها ایجاد می‌شود، شامل موارد زیر است:

- پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت حمل‌ونقل؛
- اجتناب از هزینه‌های اضافی نگهداری و تعمیرات؛
- ارتقاء کنترل بر روی فرایند و افراد منجر به بهبود کیفیت خدمات می‌شود؛
- اتوماسیون نرم‌افزاری با استفاده از هوش مصنوعی و اتوماسیون فرایند رباتیک؛
- رباتیک شکاف عرضه استعدادها را حل می‌کند و موجب مدیریت بهتر ره‌گیری و محاسبات می‌شود؛

- نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه موجب تثبیت زمان تحویل می‌شود و در دسترس بودن ناوگان را تضمین می‌کند.

سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند موجب ارتقاء حمل‌ونقل جاده‌ای، ریلی و بهبود زیرساخت‌های حمل‌ونقل و انبارداری خواهد شد. این سیستم‌ها به‌منظور بهینه‌سازی و بهبود کارایی شبکه‌های حمل‌ونقل استفاده می‌شوند. سیستم‌ها و فناوری‌ها، اجزای مختلف زیرساخت‌های حمل‌ونقل، وسایل نقلیه و نرم‌افزارها را یکپارچه کرده و منجر به بهبود ایمنی و کارایی شبکه‌های حمل‌ونقل می‌شود. این راه‌حل‌ها شامل موارد زیر است:

- سیستم‌های مدیریت ترافیک؛
- سیستم‌های جمع‌آوری عوارض؛
- مدیریت حمل‌ونقل؛
- جمع‌آوری داده؛
- راهنمای پارکینگ؛
- حمل‌ونقل عمومی.

اتوماسیون فرایند رباتیک موجب ارتقاء مدیریت زنجیره تأمین، تجارت الکترونیک و پست خواهد شد. از فناوری‌های نرم‌افزاری به‌منظور جایگزینی فعالیت‌های تکراری و نیروی انسانی استفاده می‌شود.

نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه موجب ارتقاء تجارت الکترونیک، حمل‌ونقل جاده‌ای، ریلی و دریایی خواهد شد. نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه موجب کاهش هزینه، افزایش کیفیت خدمات، تأثیر مثبت بر کارکنان و کاهش آسیب به محیط‌زیست خواهد شد. با توجه به کارایی بالا از نظر هزینه، زمان و دقت، پهپادها به ابزاری محبوب برای نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه در بسیاری از مناطق تبدیل شده‌اند.

فناوری زنجیره بلوکی (که ارزهای دیجیتال یکی از کاربردهای این فناوری هستند) و هوش مصنوعی نیز کلیه بخش‌های حمل‌ونقل را تحت تأثیر قرار خواهند داد. بلاکچین و دفاتر کل توزیع شده مزایایی از قبیل امنیت، کارایی، شفافیت و قابلیت اطمینان را به ارمغان می‌آورند. دفاتر کل توزیع‌شده در حوزه‌هایی همانند ره‌گیری، اتوماسیون پرداخت، اعتبارسنجی محصولات، اتوماسیون فعالیت‌های انبارداری و دیجیتالی کردن و اتوماسیون جریان اسناد کاربرد دارد. هوش مصنوعی نیز می‌تواند روش مدیریت عملیات، ترافیک و شبکه‌ها را تغییر دهد. هوش مصنوعی سیستم‌های کامپیوتری را ارائه می‌دهد که توانمندی درک محیط و یادگیری واکنش را دارند.

۴-۱-۳- تغییر در تجارت داخلی بازارها

رشد تجارت الکترونیک با افزایش سطح بهینه‌سازی در حمل‌ونقل همراه شده است و تمایلات به اقتصاد شراکتی و یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین بین شرکت‌های حمل‌ونقل، تجار الکترونیک و تولیدکنندگان را افزایش داده است. پیش‌بینی می‌شود سهم تجارت الکترونیک از کل خرده‌فروشی‌ها از ۷,۴ در سال ۲۰۱۵ به ۱۷,۵ در سال ۲۰۲۱ برسد. رشد تجارت الکترونیک باعث افزایش سود کسب‌وکارهای بخش حمل‌ونقل، افزایش کارایی شبکه و کاهش هزینه اشتراک منابع خواهد شد. کسب‌وکارهای بزرگ به تجارت الکترونیک روی می‌آورند و تجارت الکترونیک نیز

بر روی حمل‌ونقل سرمایه‌گذاری می‌کند. اقتصاد شراکتی نیز بر حوزه‌هایی همچون حمل‌ونقل جاده‌ای، انبارداری و عوامل حمل‌ونقل مؤثر خواهد بود.

اقتصاد شراکتی حوزه‌هایی از قبیل به اشتراک‌گذاری خودرو، دسترسی به شبکه‌های عمده‌فروشی، انبارداری ابری و اشتراک ظرفیت حمل‌ونقل را دربر می‌گیرد. پیش‌بینی می‌شود سهم اقتصاد شراکتی از ۱۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۳ به ۳۳۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۵ برسد.

۵-۱-۳- تغییرات ماشین‌محور در فرایندها

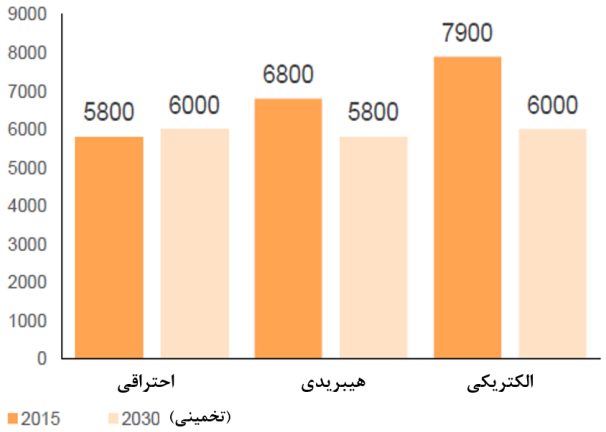
پیش‌بینی می‌شود تا ۲۰۳۰، سالیانه ۳۶ درصد به تعداد خودروهای الکتریکی افزوده شود. بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶، تعداد ربات‌ها در آسیا، اروپا و آمریکای شمالی سالیانه ۱۲,۶ درصد افزایش یافته است. استفاده از فناوری‌های جدید حمل‌ونقل، کارایی انبارداری را افزایش می‌دهد. از طرفی شکاف عرضه استعدادها در بخش حمل‌ونقل با اتوماسیون عملیات اصلی کاهش می‌یابد. استفاده از ربات‌ها برای ارسال بسته‌های پستی و سفارش‌ها منجر به افزایش قابلیت اطمینان، سرعت و کارایی می‌شود. فناوری‌های رباتیک در حوزه‌های انبارداری، مدیریت زنجیره تأمین و پست کاربرد دارند. در بخش انبارداری، ربات‌ها در بخش‌های کنترل کیفیت محصولات، مرتب کردن، حمل‌ونقل بین انبارها، برداشتن، تخلیه و بارگیری و تحویل کاربرد دارند. در شکل ۸ تعداد ربات‌های صنعتی جهان تا سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی شده است.

شکل ۸: مقادیر سالیانه ربات‌های صنعتی در جهان تا سال ۲۰۲۰ (اعداد به هزار)

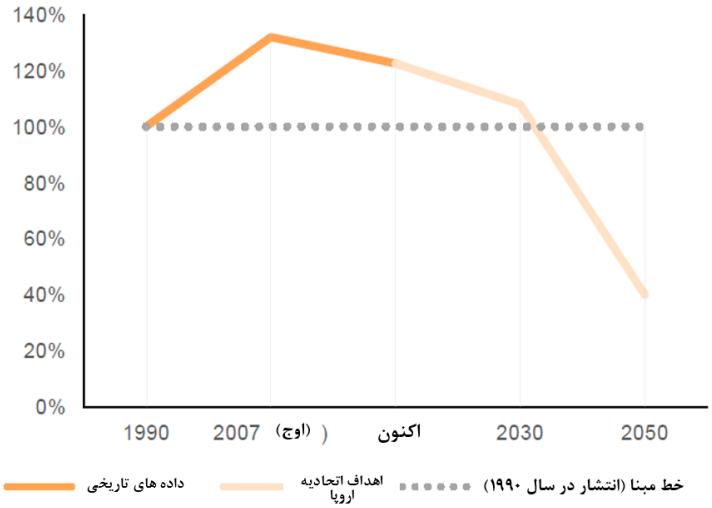
منبع: فدراسیون جهانی رباتیک

خودروهای الکتریکی در حوزه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و انبارداری کاربرد دارند. در شکل ۹ هزینه استفاده از خودروهای احتراقی، هیبریدی و الکتریکی در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۳۰ مقایسه شده است.[۱] در شکل۱۰ میزان گازهای گلخانه خروجی خودروهای اروپا تا سال ۲۰۵۰ تخمین زده شده است.

۱. ICE: Internal Combustion Engine
PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicles



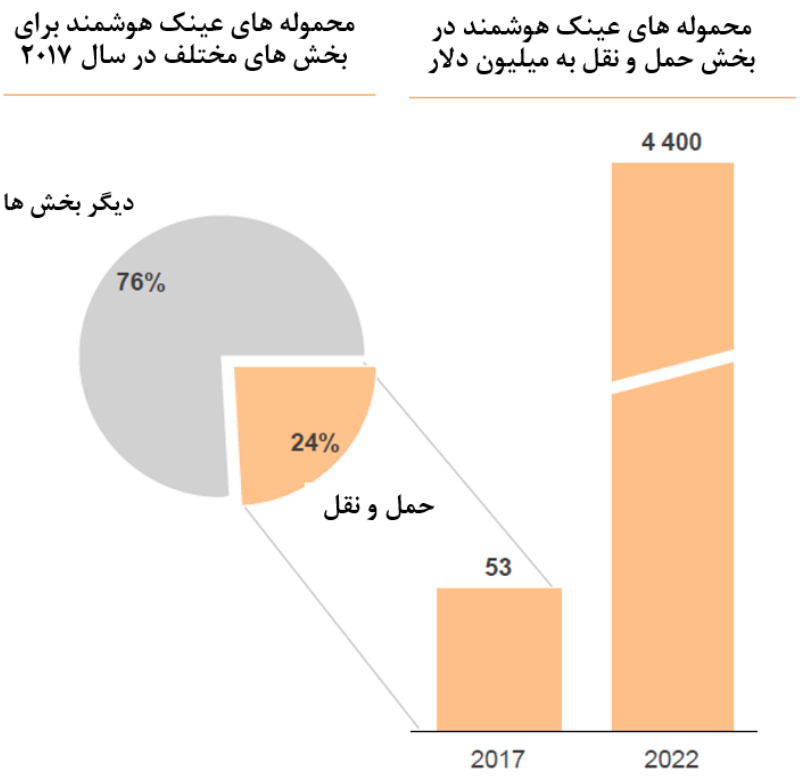
شکل ۹: مجموعه هزینه مالکیت ۳,۵ ساله خودروهای احتراقی، هیبریدی و الکتریکی در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۱۵
منبع: PWC



شکل ۱۰: میزان گازهای گلخانه‌ای خروجی خودروها در اروپا تا سال ۲۰۵۰
منبع:PWC

از فناوری واقعیت مجازی واقعیت افزوده می‌توان برای انبارداری بهره برد. از واقعیت افزوده برای تخلیه و بارگیری، حمل‌ونقل داخلی انبار و نمایش اطلاعات استفاده می‌شود. از واقعیت مجازی نیز به‌منظور تصویرسازی ساختارها و چیدمان پیچیده، آموزش و شبیه‌سازی جریان کار بهره گرفته می‌شود. از ترکیب این دو نیز برای تعمیر و نگهداری از راه دور، پنل‌های کنترل قابل‌حمل و محیط‌های کاری بیرونی بهره گرفته می‌شود. در شکل۱۱ تعداد عینک‌های هوشمند واقعیت افزوده که در بخش لجستیک کاربرد دارند تا سال ۲۰۲۲ تخمین زده شده است.

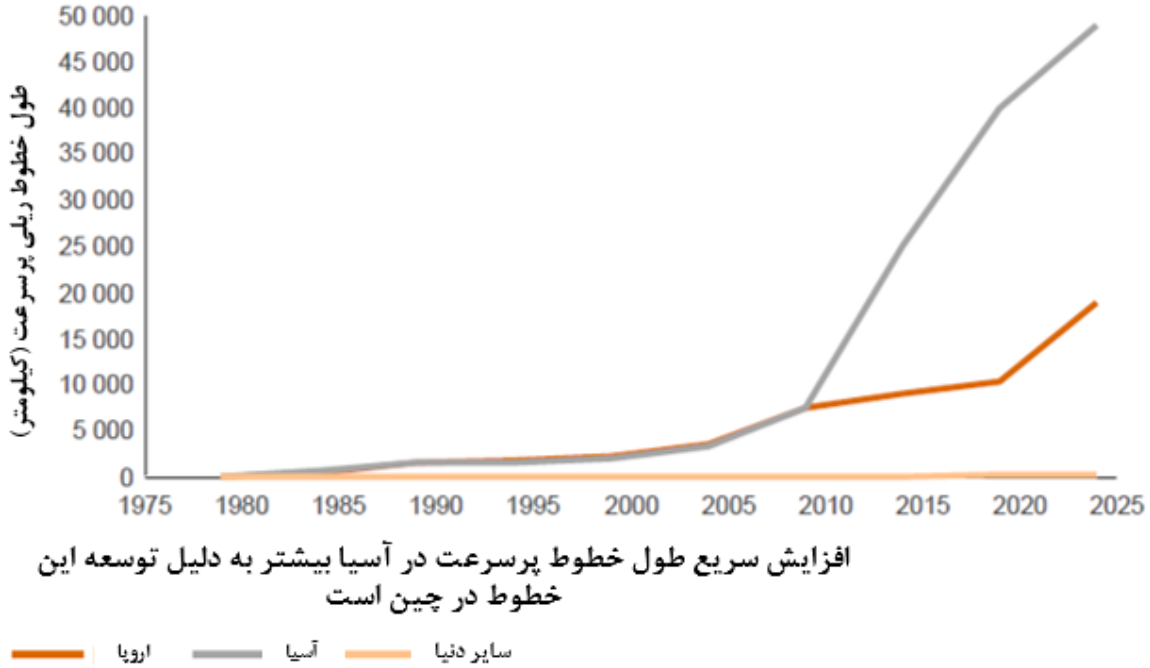
BEV: Battery Electric Vehicles



شکل ۱۱: میزان محموله‌های عینک هوشمند در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۲

منبع: PWC

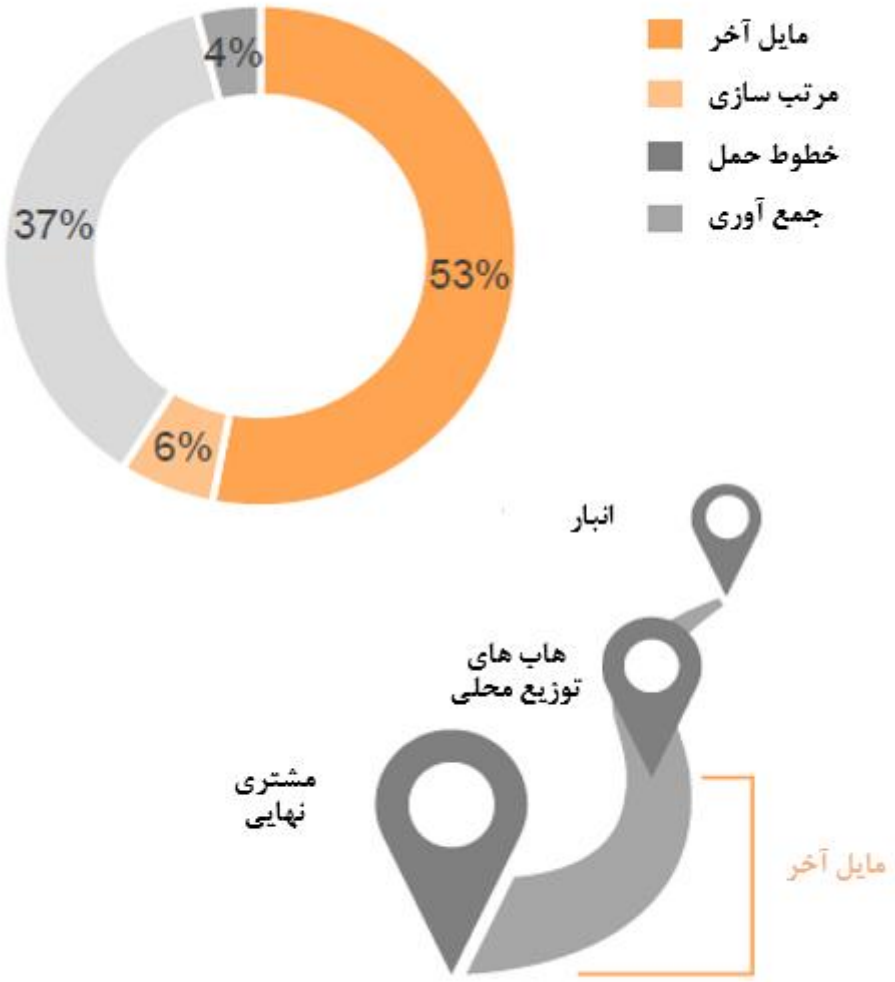
ریل‌های حمل‌ونقل سریع موجب تحول حمل‌ونقل ریلی خواهند شد. در سال ۲۰۱۵ حدود ۲۹۷۹۲ کیلومتر خطوط پرسرعت و ۳۶۰۳ قطار پرسرعت در سراسر جهان وجود داشت. ۱۶۰۰ میلیون نفر در سال ۲۰۱۵ با استفاده از این خطوط جابه‌جا شدند. در شکل۱۲ تخمینی از طول خطوط ریلی پرسرعت تا سال ۲۰۲۵ آورده شده است.



شکل ۱۲: طول خطوط ریلی پرسرعت در جهان تا سال ۲۰۲۵

منبع: PWC

استفاده از پهپادها نیز فرایند ارسال محصولات به مشتری نهایی را متحول خواهند کرد. همان‌طور که در شکل۳ مشاهده می‌شود هزینه مرحله آخر ارسال کالا بیشترین هزینه را در حمل‌ونقل کالا شامل می‌شود.



شکل ۱۳: هزینه مراحل مختلف ارسال کالا
منبع: PWC

درشکل۴ شبکه توسعه راهکارهای حمل‌ونقل بر اساس بلوغ و تأثیر آن آورده شده است. محور عمودی این شکل نشان‌دهنده تأثیر و محور افقی آن نشان‌دهنده زمان ورود آن به بازار است.

* سطح تاثیرات: ارزیابی سطح تاثیر راهکار بر شکل آینده زیربخش مربوطه، ** ورود به بازار: ایجاد مدل های کسب و کار سودده که به طور معنی داری بر بازار تاثیرگذار هستند.

شکل ۱۴: زمان بلوغ و شدت تأثیر راهکارهای حمل‌ونقل و لجستیک پیشنهادی توسط PwC برای آینده

منبع: PWC

۲-۳- آینده لجستیک[۱]

در این بخش کلان‌روندهای شکل‌دهنده لجستیک و سناریوهای فناورانه، مدل‌های کسب‌وکار و بازار به‌صورت جامع مورد بررسی قرار گرفته است.[۲] در ادامه، یافته‌های اصلی در خصوص سناریوهای فناوری‌محور برای بخش لجستیک در سال ۲۰۳۰ آورده شده است.

زنجیره‌های تأمین در حال تحول گسترده‌ای هستند. ربات‌های خودکار در انبارها، پهپادها برای ارسال محموله‌ها، هوش مصنوعی به‌منظور ایجاد زنجیره‌های تأمین تمام‌خودکار، بلاکچین و دفاتر کل توزیع‌شده برای ارتباطات امن، فناوری‌های پوشیدنی مانند واقعیت افزوده، مجازی و اینترنت اشیاء همگی از عوامل تحول زنجیره‌های تأمین هستند. زنجیره‌های تأمین در آینده سریع‌تر بوده و خودهماهنگ[۳] خواهند شد. این سرعت بالای تغییر ناشی از فناوری‌های کلیدی است که به‌صورت پیوسته در ۱۵ سال آینده توسط صنایع به کار گرفته خواهند شد. در ادامه، سناریوهای مختلف تحول فناوری بیان می‌شود.

۱-۲-۳- سناریوی فناورانه ۱: ناوگان خودران کارایی بیشتر را به ارمغان می‌آورند

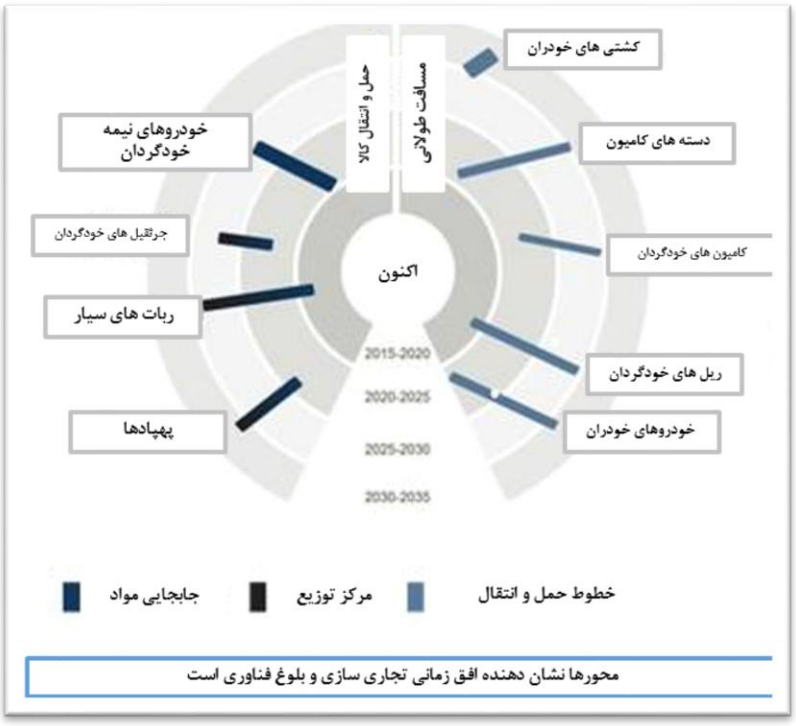
از زمانی که آمازون برنامه خود برای استفاده از پهپادها جهت تحویل مرسوله به مشتری نهایی خبر داد، بحث گسترده‌ای در مورد آن‌ها صورت گرفته است. با این حال باید به دیگر انواع ناوگان حمل‌ونقل صنعتی که توانایی خودران شدن را دارند نیز، توجه کرد. پیش از پهپادها، نخستین وسایلی که در زنجیره تأمین خودران شدند لیفتراک‌ها بودند. جابه‌جایی افراد یکی از غیر بهره‌ورترین و زمان‌برترین فعالیت‌ها در انبارها است.

۱. Future of Logistics

۲. این گزارش توسط مؤسسه Frost & Sullivan در سال ۲۰۱۶ منتشر شد.

۳. Self-orchestrated

لیفتراک‌های جدید نه‌تنها این چالش را برطرف می‌کنند، بلکه می‌توانند سفارش‌ها را ۴ برابر سریع‌تر از انسان برآورده کنند. در شکل ۵ پیش‌بینی در مورد حمل‌ونقل خودران آورده شده است.



شکل ۱۵: حمل‌ونقل خودران در مدیریت بالادست

منبع: مؤسسه Frost & Sullivan

درصد بالایی از ناوگان می‌توانند خودران شوند. کامیون‌های خودران می‌توانند تا سال ۲۰۳۰ به واقعیت بپیوندند. کامیون‌های نیمه‌خودکار تا سال ۲۰۳۰، ۵ درصد ناوگان را شامل خواهند شد. رولزرویس برنامه‌اش برای بهره‌برداری از کشتی‌های باری خودران تا سال ۲۰۳۰ را اعلام کرده است. اگرچه جایگزینی یا کمک به انسان یک معیار اصلی برای خودکارشدن فرایند جابه‌جایی مواد بوده است، اما برای ناوگان حمل‌ونقل، مسئله اساسی اقتصاد سوخت است. دسته‌های کامیون[1] می‌توانند تا ۲۰ درصد مصرف سوخت را کاهش دهند.

۲-۲-۳- سناریوی فناورانه ۲: داده به‌عنوان بزرگ‌ترین عامل تأثیرگذار جایگزین سوخت می‌شود

با گسترش مفهوم کلان‌داده[2] مباحث از تخمین حجم داده‌ها به سمت تنوع و ارزش داده‌ها تغییر یافته است. این مباحث زمانی اهمیت می‌یابد که بدانیم ۹۰ درصد داده‌های جمع‌آوری‌شده بی‌ارزش هستند. به عنوان مثال، آمازون این توانمندی را ایجاد کرده است که این داده‌های بی‌ارزش را دور ریخته و با توجه به رفتار خرید کاربران، ابزارهای پیش‌بینی تحلیلی ایجاد کند.

۱. Truck platooning

۲. Big data

تمام تلاش آمازون با به‌کارگیری پهپادها و ربات‌ها بر آن است که زمان تحویل را کاهش داده و محصولی که مصرف‌کننده به دنبال آن است، هرچه سریع‌تر به دست او برساند. آمازون در حال کار بر روی پهپادهایی است که بسته‌های کوچک را مستقیماً از انبار به خانه‌ها می‌رسانند. حمل‌ونقل پیش‌بینی‌شده فرایندی است که آمازون با تحلیل مشتریان خود و رصد نیازهای آن‌ها، خرید آن‌ها را قبل از اتمام فرایند خرید برای آن‌ها ارسال می‌کند. ترکیب مدل‌های پیش‌بینی همراه با ناوگان نسل جدید می‌توانند زمان تحویل را به صفر برسانند. نکته جذاب دیگر این است که لجستیک می‌تواند به یک صنعت داده‌مبنا تبدیل شود.

۳-۲-۳- سناریوی فناورانه ۳: نسل جدید فناوری؛ بازیگران کمتر دارایی‌محور هستند

گونه‌های جدیدی از شرکت‌های لجستیکی به وجود آمده‌اند که دارایی (ناوگان یا انبار) ندارند، اما می‌توانند خدمات لجستیکی را با جمع‌آوری اطلاعات در مورد دارایی‌هایی که در مالکیت است؛ انجام دهند. به عنوان مثال، Shyp و Zipments شرکت‌های لجستیکی هستند که خدمات لجستیکی ارائه می‌دهند، ولی هیچ دارایی ندارند و با این استراتژی توانسته‌اند هزینه خدمات خود را تا ۵۰ درصد نسبت به میانگین صنعت کاهش دهند، چراکه نیاز ندارند هزینه‌ای بابت نگهداری دارایی‌ها یا اقتصاد مقیاس[۱] بپردازند.

۴-۲-۳- سناریوی فناورانه ۴: بسترهای واسطه‌گری اینترنتی (اوبر کامیون‌ها)

رشد خرده‌فروشی اینترنتی، همگام با فناوری‌های ارتباطی به‌مانند راهنمایی برای راه‌حل‌های جدید برای شرکت‌های لجستیکی و حمل‌ونقل عمل می‌کنند. افزایش دیجیتالی شدن در حمل‌ونقل، واسطهای سنتی را وادار کرده است تا مدل کسب‌وکار خود را به سمت مدل‌های موبایلمحور تغییر دهند. انتظار می‌رود در آینده واسطه‌های حمل‌ونقل موبایل محور، راه‌حل‌های نرم‌افزاری با مشارکت با واسطه‌های سنتی، تولیدکنندگان اصلی و شرکت‌های ارتباط اینترنتی ایجاد کنند.

حالتی را تصور کنید که یک برنامه موبایل، رانندگان کامیون را به نیازهای حمل‌کننده ازجمله نرخ، مسیر و برنامه متصل کند. انتظار می‌رود این کار تعدادی از فرایندهای مربوط به وضعیت تحویل، ارسال، یافتن بار و پرداخت را خودکار انجام دهد و در کنار آن اطلاعات لحظه‌ای از بار، از زمان برداشت تا حمل را مهیا کند. با توجه به حدود ۲۰ میلیارد دلار ضرری که به دلیل ظرفیت خالی یا اضافه‌بار ایجاد می‌شود، مزایای این مدل کسب‌وکار کاهش هزینه‌های عملیاتی ناشی از بهبود کارایی دارایی و سوخت خواهد بود. آینده شاهد خواهد بود که خدمات آنلاین با ارائه خدمات سریع و منعطف، شرکت‌های سنتی حمل‌ونقل را از بین خواهد برد.

۵-۲-۳- سناریوی فناورانه ۵: تجارت هوشمند با بلاکچین

درست در زمانی که اینترنت انقلابی را در زمینه‌هایی مانند اپلیکیشن‌های مشتریان، برنامه مبتنی بر وب، راه‌حل‌های ابری و... آغاز کرده بود، بلاکچین توانمندی خود را برای ایجاد کانال‌های نوآوری جدید در خصوص چگونگی پیاده‌سازی و به‌کارگیری برنامه‌های لجستیکی نشان داد. این فناوری می‌تواند به‌عنوان سیستم عملیاتی

۱. Economies of scale

جدی برای شبکه‌های زنجیره تأمین به کار رود و ارتباطات بین شرکت‌ها را با برنامه‌های نرم‌افزاری ترکیب کند. بلاکچین قراردادهای هوشمند که به‌روشنی بین اعضاء تعریف شده است، ایجاد می‌کند.

۶-۲-۳- آینده: زنجیره تأمین خود هدایت‌شونده[۱]

فناوری‌های جدید باعث ایجاد زنجیره‌های تأمین خود هدایت‌شونده با کارایی غیر قابل تصور خواهند شد. برخی از پیش‌بینی‌ها در مورد دستاوردهای حاصل در ادامه آورده شده است:

- فاصله بین سفارش و پردازش به چند ثانیه کاهش یافته و تحویل‌های چندروزه به چند ساعت تبدیل خواهد شد.
- ۵۰ درصد از ناوگان سطوحی از خودران بودن را دارا خواهند بود.
- حجم حمل‌ونقل در انبارها تا ۵۰ درصد کاهش خواهد یافت و سایز انبارها نیز ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت.
- انبارهای بزرگ بیرون شهر تبدیل به انبارهای کوچک نزدیک به مشتریان داخل شهر خواهد شد.

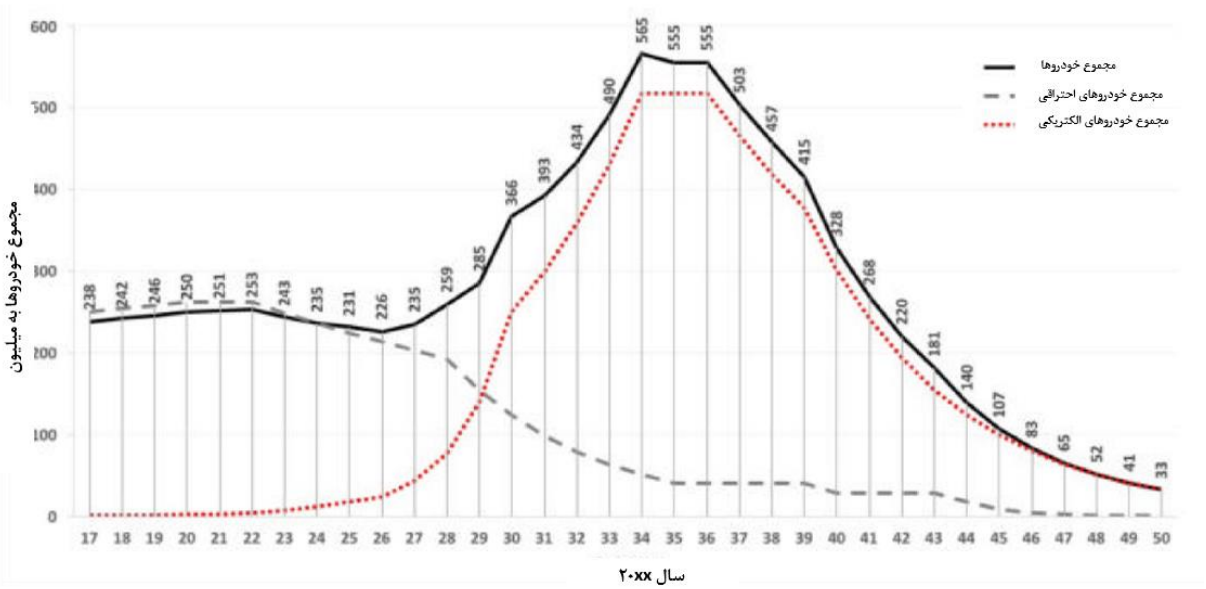
۳-۳- جابه‌جایی ۲۰۵۰: آینده حمل‌ونقل شخصی

این گزارش توسط گروه دلفی[۲] در سال ۲۰۱۸ منتشر شد و در آن به بررسی آینده خودروهای شخصی بر اساس روندهای فعلی و پیشرفت‌های پیش‌بینی‌شده در حمل‌ونقل می‌پردازد. در این گزارش پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۵۰ مالکیت خصوصی خودرو از بین خواهد رفت و جای خود را به مفهوم MaaS[۳] خواهد داد. هرچند موانع بزرگی همانند فرهنگ رانندگی شخص بر سر راه این تغییر قرار دارند. خودروهایی را تصور کنید که مالک شخصی ندارند، کارایی این خودروها بیش از ۹۰ درصد خواهد بود، در حالی‌که هم‌اکنون کارایی خودروها ۱۰ درصد است. با افزایش کارایی نیاز به خودرو کاهش خواهد یافت و تعداد خودروها در سطح شهر به کمتر از یک‌پنجم مقدار فعلی خواهد رسید. برای بسیاری از مردم، خودرو اولین یا دومین خرید گران‌قیمت آن‌ها در طول زندگی است، در حالی‌که آن‌ها در ۹۰ درصد عمر مفید از آن بهره‌ای نمی‌برند. مطابق که یکی از یافته‌های این پژوهش است، تعداد خودروها در سال ۲۰۵۰ به ۱۵ درصد میزان فعلی کاهش خواهد یافت. دلیل این امر، افزایش کارایی خودروها است.

۱. Self-Orchestrated

۲. DelphiGroup.com

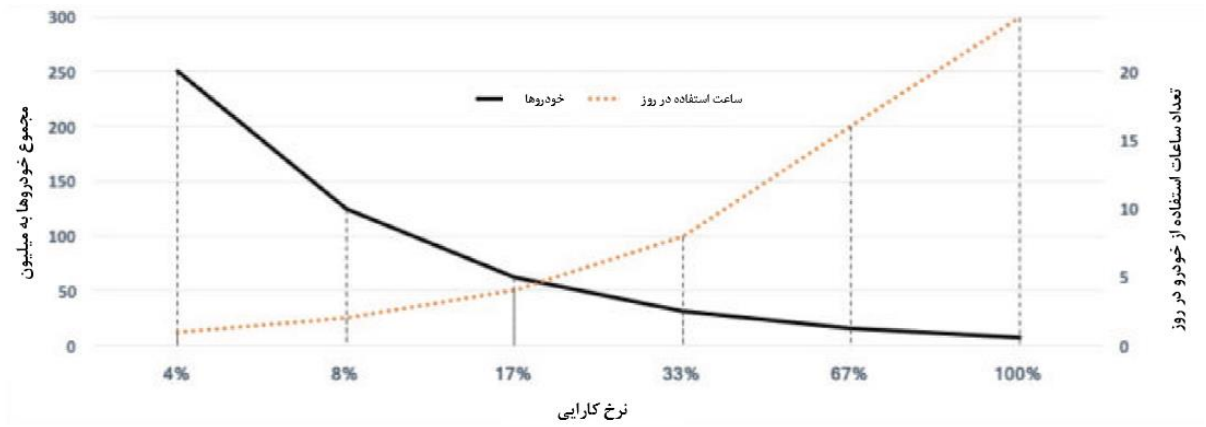
۳. Mobility as a Service .



شکل ۱۶: مجموع تعداد خودروها تا سال ۲۰۵۰

منبع: گروه دلفی

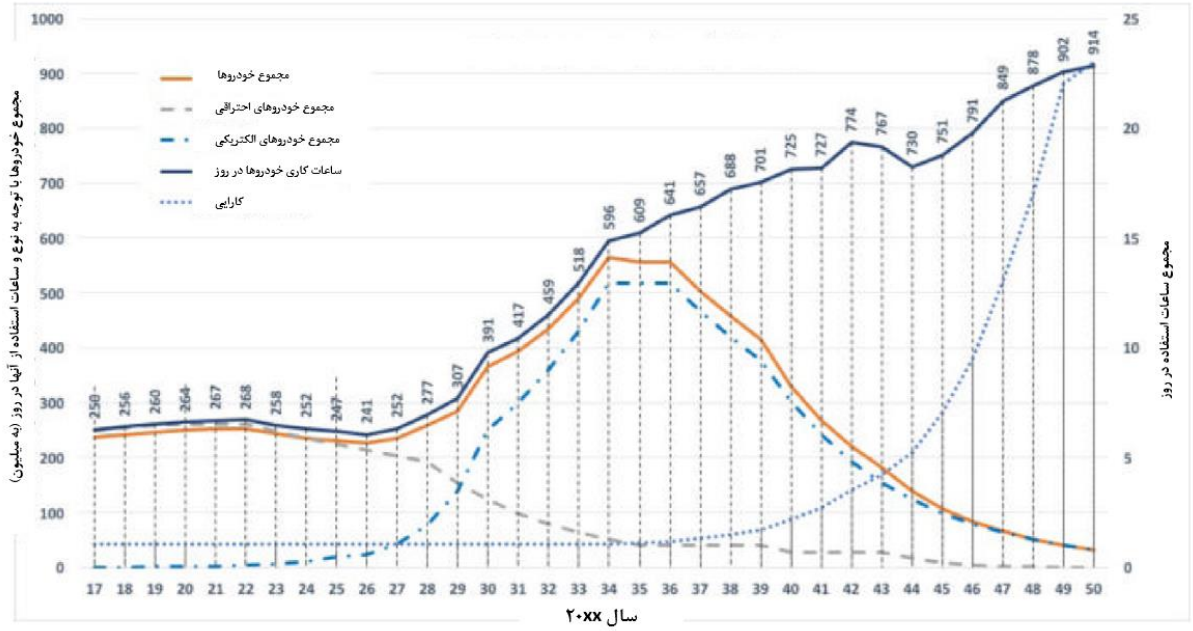
اکثر خودروها کمتر از ۴ ساعت در روز استفاده می‌شوند. مطابق شکل ۷ در صورتی‌که کارایی خودروها به ۱۷ درصد برسد، تعداد خودروی مورد نیاز برای رسیدن به سطح معینی از حمل‌ونقل از ۲۵۰ میلیون به ۶۰ میلیون کاهش می‌یابد.



شکل ۱۷: نرخ کارایی خودروها

منبع: گروه دلفی

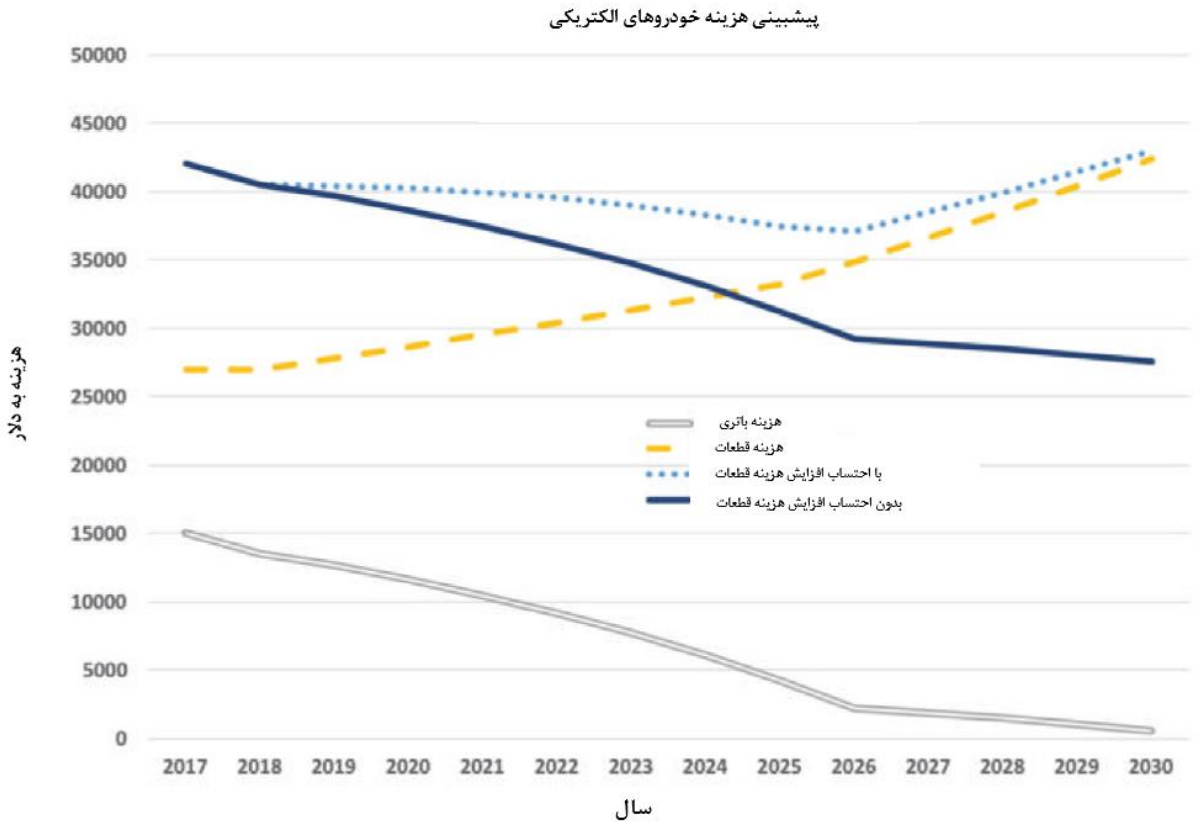
مطابق شکل ۸ روند بلندمدت، افزایش ساعات استفاده از خودرو است. در ابتدا و میانه دهه ۲۰۲۰ شاهد افزایش تعداد خودروها خواهیم بود. خودروهای سوخت فسیلی با خودروهای الکتریکی جایگزین خواهند شد. حداکثر تعداد خودروهای الکتریکی در سال ۲۰۳۴ با تعداد ۵۰۰ میلیون خواهد بود. در سال ۲۰۳۴ به بعد مطابق با افزایش کارایی، تعداد خودروها رو به کاهش خواهند گذاشت و مالکیت خصوصی خودروها به‌سرعت از بین خواهد رفت.



شکل ۱۸: تعداد انواع مختلف خودروها و کارایی آن‌ها تا سال ۲۰۵۰

منبع: گروه دلفی

مطابق شکل ۹ با وجود کاهش هزینه تولید باتری، هزینه کل ساخت خودروهای الکتریکی تا سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت.



شکل ۱۹: هزینه خودروهای الکتریکی تا سال ۲۰۳۰ آینده حمل‌ونقل

منبع: گروه دلفی

در این بخش به این موضوع پرداخته شده است که فناوری‌های حمل‌ونقل و روندهای اجتماعی چگونه یک زیست‌بوم جدید کسب‌وکار ایجاد می‌کنند.[1] مطابق با شکل ۲۰ این بخش به بررسی همگرایی یک سری از نیروهای تغییردهنده صنعت و کلان‌روندهای مرتبط پرداخته شده است.

۱. این بخش برگرفته از گزارش منتشر شده توسط مؤسسه دیلویت است.

بلوغ فناوری‌های تامین انرژی	•خودروهای الکتریکی کارایی بیشتری از نظر مصرف انرژی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تنوع انرژی بیشتر و طراحی جدیدتری دارند
مواد سبک‌تر	•مواد سبک‌تر و مقاوم‌تر بدون کاهش ایمنی مسافر، موجب کاهش وزن خودروها می‌شوند.
پیشرفت‌های سریع در خودروهای متصل	•خودروهای جدید به فناوری‌های ارتباط خودرو با زیرساخت، خودرو با خودرو و سایر فناوری‌های ارتباطی مجهز هستند، بنابراین هر خودرویی دقیقاً می‌داند خودروی دیگر در چه نقطه‌ای از مسیر قرار دارد.
تغییر در ترجیحات جابه‌جایی	•نسل جدید بر بحث مالکیت خودرو به سمت جابه‌جایی پرداخت بر اساس استفاده حرکت می‌کنند
ظهور خودروهای خودران	•فناوری خودروی خودران دیگر یک افسانه نیست، تنها سؤال این است که کی و چگونه این موضوع تبدیل به جریان اصلی شده و به طور گسترده پذیرفته خواهد شد.

شکل ۲۰: نیروهای همگرایی که موجب تحول در آینده حمل‌ونقل می‌شوند

منبع: گروه دلفی

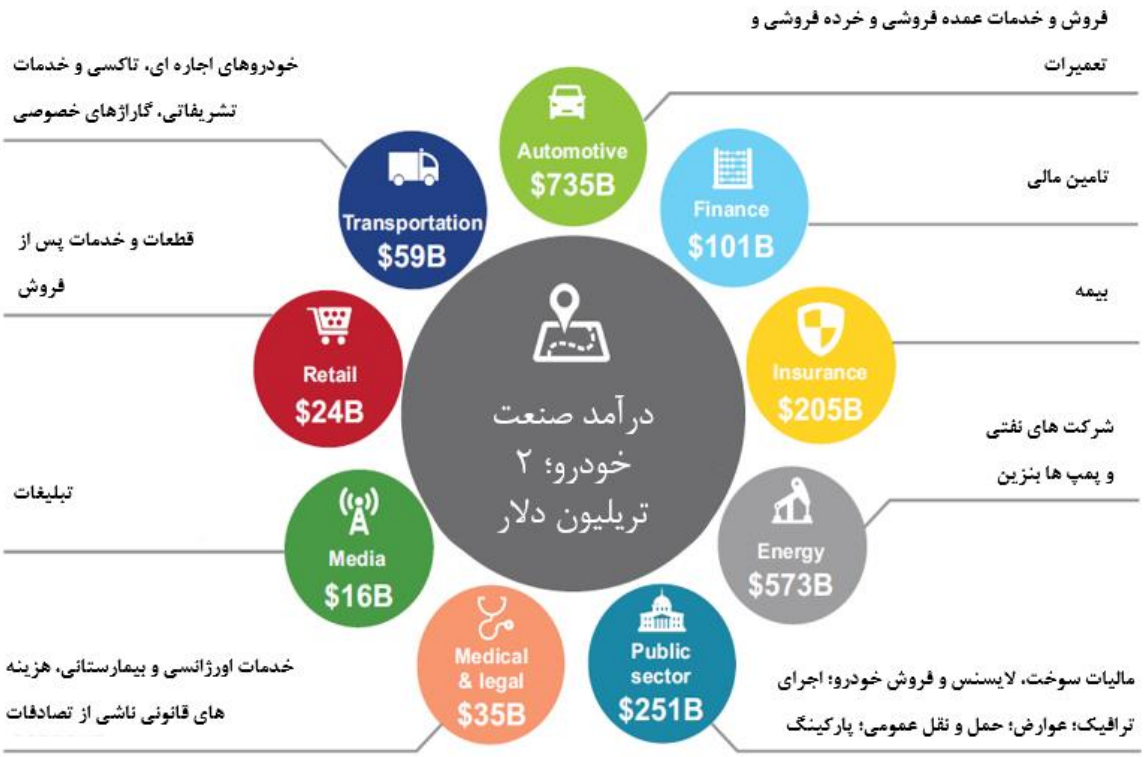
همه‌روزه اخباری مبنی بر تجاری شدن خودروهای خودران مطرح می‌شود. همچنین پیشرفت سریعی در زمین خودروهای متصل شده[۱] که از ترکیب فناوری‌های ارتباطی و اینترنت اشیاء به‌منظور ارائه خدمات ارزشمند به رانندگان استفاده می‌کنند، گزارش شده است. خودروهای مجهز به ماژول‌ها و حسگرهای کنترلی الکترونیکی که ارتباطات بین ماشین‌ها و بین ماشین و زیرساخت‌ها را فراهم می‌کنند و توانمندی مسیریابی مجدد را به‌منظور اجتناب از خطرات راه و همچنین اعلام نیاز به کمک در شرایط تصادف را دارند. به‌زودی خودروها به آگاهی دقیقی از موقعیت خود در بین سایر خودروها، خطرات احتمالی به‌منظور جلوگیری از تصادفات دست خواهند یافت.

هم‌زمان، نسل جدید به سمت مدل‌های جدید مصرف خودرو بر اساس پرداخت متناسب با استفاده، حرکت خواهند کرد که به‌طور عمده‌ای مدل‌های فعلی مصرف که بر اساس مالکیت شخصی است را تغییر خواهد داد. سیستمی که در قرن اخیر پایه‌گذاری شده بود، در حال تغییر اساسی است که می‌تواند موجب پیدایش زیست‌بوم جدیدی از حمل‌ونقل شخصی شود. هیچ‌کس از محدوده و شدت تغییرات آگاهی ندارد. با این حال این نیروها توانایی تغییر ساختار صنعت، مدل‌های کسب‌وکار، دینامیک رقابت، ایجاد ارزش و جایگاه ارزش مصرف‌کننده را دارند.

۱. Connected car

۱-۳-۳- اهمیت صنعت خودرو

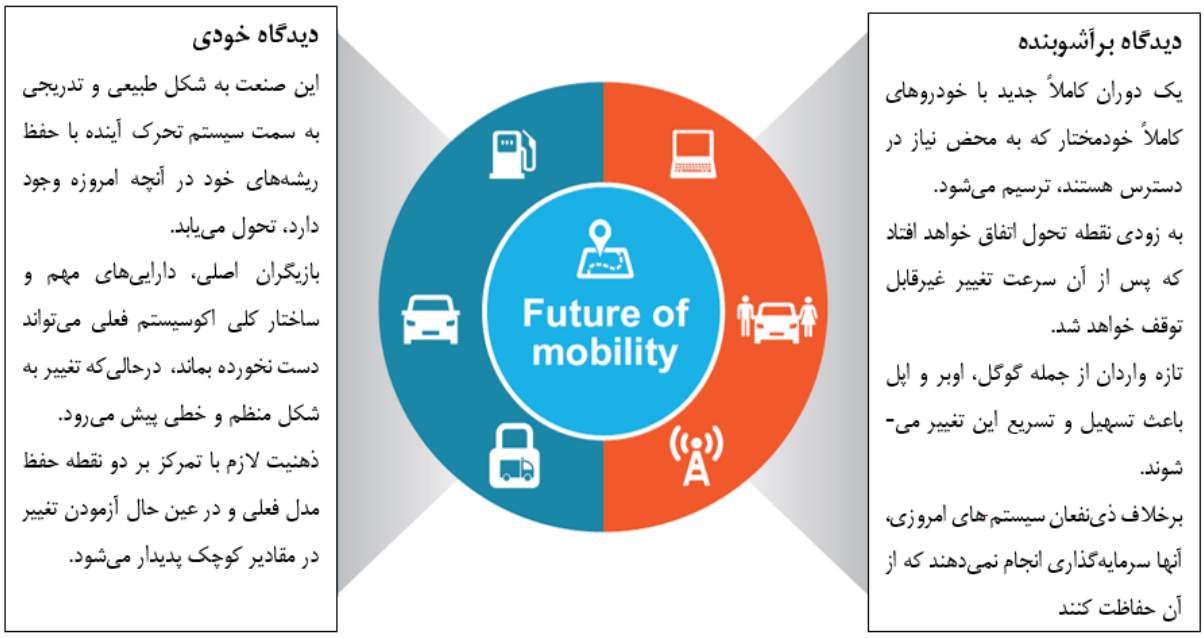
زنجیره ارزش گسترده شده صنعت خودرو یکی از عوامل اصلی رشد اقتصادی جهانی است. مطابق شکل ۱ در آمریکا، این بخش سالانه ۲ هزار میلیارد دلار درآمد ایجاد می‌کند که ۱۱,۵ درصد از GDP سالانه آمریکا است.



شکل ۲۱: درآمد صنعت خودرو در سال ۲۰۱۴ دو تصور واگرا

منبع: مؤسسه دیلویت

دو تصور بسیار واگرا نسبت به آینده خودرو وجود دارد. تفاوت حول این موضوع است که سیستم خودروهای شخصی که توسط راننده کنترل می‌شوند، بدون تغییر باقی می‌ماند یا ناگهان به سمت سیستم‌های خودران و حمل‌ونقل اشتراکی حرکت خواهیم کرد. همچنین تفاوت برجسته‌ای در مورد مسیر به آینده وجود دارد. مطابق شکل ۲ برخی اعتقاد دارند که سیستم فعلی در یک مسیر خطی پیشرفت خواهد کرد، به‌طوری‌که دارایی‌های فعلی صنعتی و ساختار اصلی آن دست‌نخورده باقی خواهد ماند. گروه دیگر بر این باور هستند که تغییرات به اوج رسیده و آینده‌ای بسیار متفاوت رقم خواهد خورد که مزایای اجتماعی بالقوه فراوانی خواهد داشت.



شکل ۲۲: دو باور واگرا نسبت به آینده خودرو حمل‌ونقل

منبع: مؤسسه دیلویت

در بین جوامع با فناوری بالا، شرکت‌ها به دنبال رسیدن به تغییراتی اساسی بوده که به‌کلی سیستم فعلی خودروهای شخصی را تغییر می‌دهند. بر طبق این دیدگاه، در آینده خودروها تماماً خودران و در لحظه در دسترس هستند. جهانی را تصور کنید که گزاره‌های زیر در مورد آن صدق کند:

- خودروها به‌سختی تصادف می‌کنند، عملگرهای خودکار تقریباً تمام عوامل تصادف (خطای انسانی) را حذف می‌کنند.
- به دلیل ایجاد حسگرهایی که فواصل بین خودروها را کاهش می‌دهند و سیستم‌های راهنما که به‌صورت لحظه‌ای تجمع را اطلاع می‌دهند، ترافیک به‌ندرت اتفاق خواهد افتاد.
- به دلیل کاهش جرم و وزن ماشین‌ها، مصرف انرژی کاهش خواهد یافت.
- هزینه سفر سقوط خواهد کرد. با توجه به افزایش کارایی خودروها، هزینه سفر از ۱ دلار در مایل به ۳۰ سنت خواهد رسید.
- به لطف فناوری خودروهای متصل که به سیستم توانایی محاسبه دقیق استفاده شخصی از راه‌ها را می‌دهد، زیرساخت‌ها بر اساس استفاده واقعی هزینه‌ها را دریافت خواهند کرد.
- به دلیل افزایش خودروهای خودران و مدل‌های اشتراک خودرو، پارکینگ‌ها از بین خواهند رفت.
- بسیاری از قوانین از بین خواهند رفت، چراکه خودروهای خودران طوری برنامه‌ریزی می‌شوند که هیچ‌گاه قوانین را نقض نکنند.
- به دلیل افزایش شبکه‌های خودران کامیون‌ها، سرعت تحویل افزایش و هزینه آن کاهش خواهد یافت.

- حمل‌ونقل چندوجهی یکپارچه به یک موضوع عمومی تبدیل خواهد شد. این روش به مشتری این امکان را می‌دهد که با شبکه‌ای از راه‌های حمل‌ونقل و با یک‌بار پرداخت هزینه از نقطه‌ای به نقطه دیگر سفر کند.

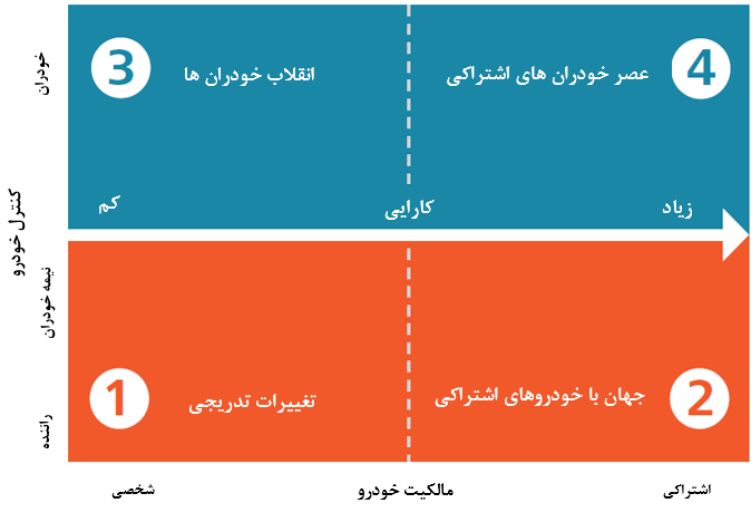
بسیاری از فناوری‌های مرتبط هم‌اکنون نیز وجود دارند و در حال حرکت به سمت تجاری شدن هستند. خودروی خودران گوگل می‌تواند بیش از ۱ میلیون مایل را در حالت خودران طی کند و شرکت به دنبال تست و پیاده‌سازی اولیه برنامه ایجاد ناوگان کوچکی از خودروهای خودران را در کالیفرنیا و تگزاس است.

۲-۳-۳- چهار آینده ممکن در کنار هم خواهند زیست

مطابق شکل ۳، با توجه به نیروهای ناموزون، ۴ آینده مختلف برای جابه‌جایی بر اساس فصل مشترک، دو روند کلیدی امکان‌پذیر است.

- کنترل خودرو (راننده در برابر خودران)؛
- مالکیت خودرو (شخصی در برابر اشتراکی).

تحقیقات نشان می‌دهد که با توجه به اینکه گروه‌های مختلف جمعیتی نیازمند حالات مختلفی از حمل‌ونقل هستند، تغییرات در سراسر جهان نامتوازن خواهد بود که به معنی وجود هم‌زمان هر چهار حالت آینده خواهد بود. این به این معناست که رهبران کسب‌وکارها باید در ۵ تا ۱۵ سال آینده خود را آماده تطابق با ۴ آینده ممکن کنند.



شکل ۲۳: چهار حالت بالقوه آینده جابه‌جایی آینده اول: تغییرات تدریجی

منبع: مؤسسه دیلویت

این حالت بیشترین احتمال را به خود اختصاص داده است. مالکان فعلی خودروها به‌ندرت تمایلی به واگذاری خودروی خود دارند. مالکیت خصوصی کماکان باقی خواهد ماند و مالکان سطحی از شخصی بودن، انعطاف، ایمنی و راحتی که ناشی از مالکیت شخصی است را انتخاب می‌کنند. همچنین با استفاده گسترده از فناوری‌های

کمک‌راننده، رؤیای گسترش خودروهای خودران در آینده نزدیک به واقعیت نخواهد پیوست؛ بنابراین، در این حالت ساختار کلی صنعت حفظ خواهد شد.

۳-۳-۳- آینده دوم: جهان خودروهای اشتراکی

در این حالت اقتصاد مقیاس و افزایش رقابت، موجب توسعه خدمات اشتراک خودرو در مناطق جغرافیایی مختلف و بخش‌های مختلفی از مشتریان خواهد شد. در این حالت مسافران از راحتی استفاده از خودروها و راننده اشتراکی[۱] برای حمل‌ونقل منتفع خواهند شد. این کار موجب عدم نیاز به طی ترافیک و پیدا کردن جای پارک خواهد شد. همچنین این سیستم خدماتی را نیز در اختیار افراد غیررانندهٔ مانند نوجوانان، خانواده‌های با درآمد پایین و افراد بدون گواهینامه قرار می‌دهد.

در این آینده، هزینه حمل کاهش خواهد یافت. برخی بر این باورند که راننده اشتراکی برای مسیرهای کوتاه اقتصادی‌ترین، راحت‌ترین و پایدارترین روش است.

۴-۳-۳- آینده سوم: انقلاب خودروهای خودران

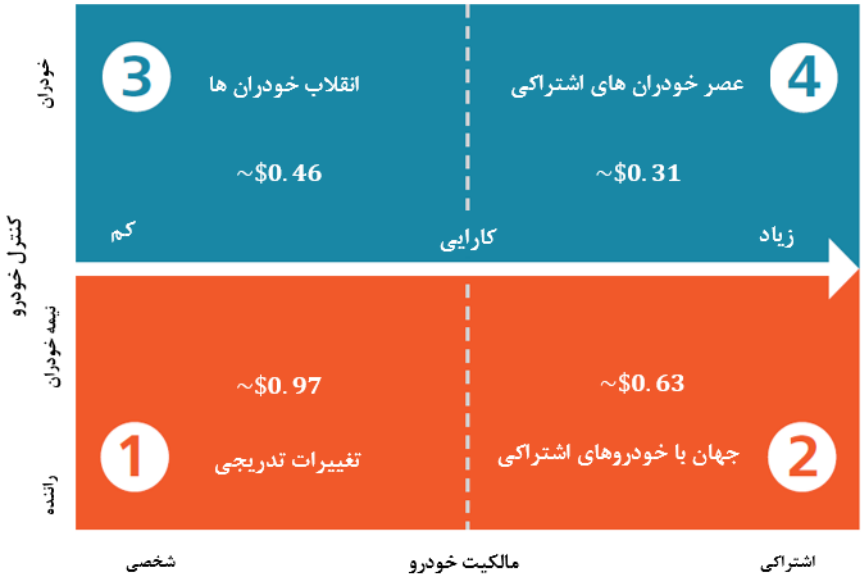
فناوری نشان داد که باوجود ماندگاری مالکیت شخصی، خودروهای خودران امن، راحت و اقتصادی هستند. در این حالت بیشتر راننده‌ها مالکیت شخصی را ترجیح می‌دهند، اما به دلیل ایمنی و دیگر مزایا، به دنبال خودروهای خودران هستند.

۵-۳-۳- آینده چهارم: عصر جدید خودران‌های در دسترس

این آینده از همگرایی روندهای خودران‌سازی و خودروهای اشتراکی به وجود می‌آید. مصرف‌کننده اصلی این عصر، ساکنان شهرها خواهند بود که از پتانسیل سفرهای سریع‌تر ناشی از کاهش فاصله بین خودروهای خودران و بهینه‌سازی مسیر با آگاهی لحظه‌ای از شرایط بهره می‌برند. در طی زمان و با گسترش هوشمند زیرساخت‌ها، این فناوری به دیگر مناطق نیز گسترش خواهد یافت.

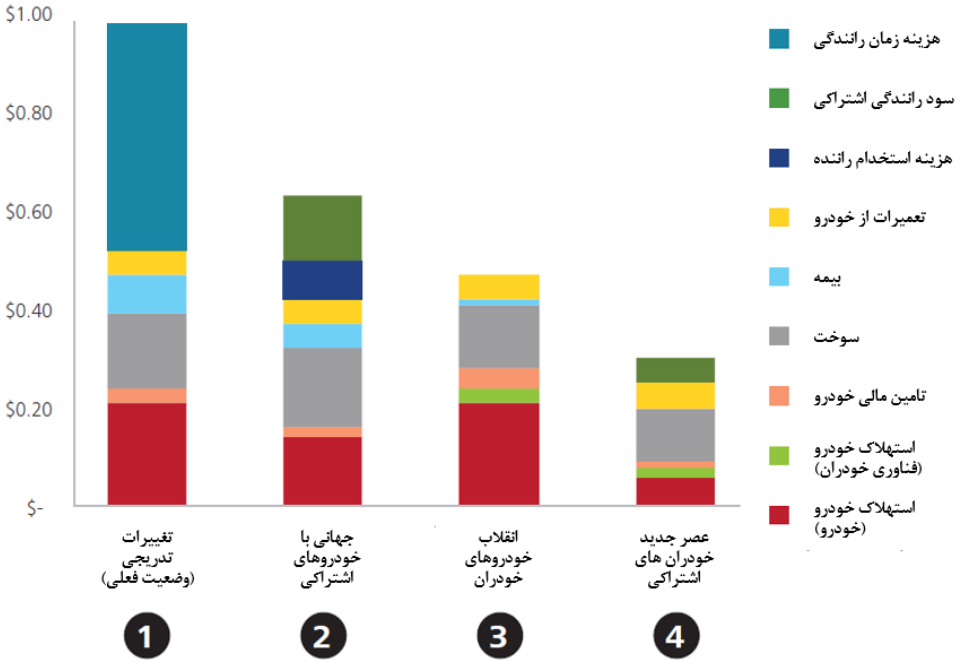
۱. Carsharing and ridesharing

هزینه تقریبی سفر به ازای هر مایل در چهار آینده ممکن در شکل ۴ آورده شده است. در شکل ۵ هزینه‌های مرتبط با جابه‌جایی در چهار آینده مختلف مقایسه شده است.



شکل ۲۴: هزینه‌های جابه‌جایی به ازای هر مایل در چهار آینده ممکن

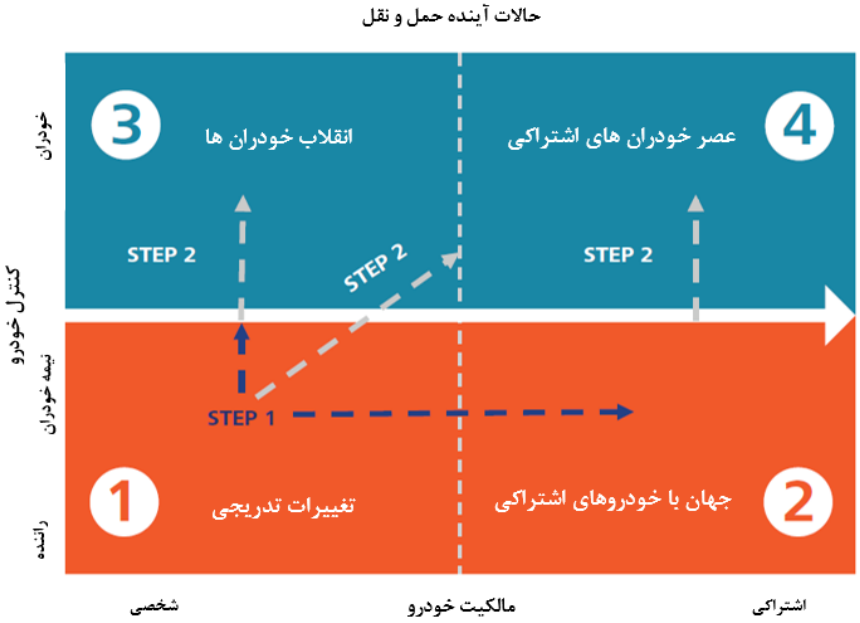
منبع: مؤسسه دیلویت



شکل ۲۵: هزینه‌های مختلف جابه‌جایی در چهار آینده ممکن مسیر تغییر

منبع: مؤسسه دیلویت

از نظر این گزارش تغییرات در جهت تغییر دسترسی شراکتی سریع‌تر از حرکت به سمت خودروهای خودران خواهد بود. مطابق شکل۶ این فرایند در چندین گام انجام خواهد شد.



شکل ۲۶: مسیر تغییر

منبع: مؤسسه دیلویت

۱-۵-۳-۳- گام یک: حرکت تدریجی به سمت دسترسی شراکتی

حرکت از مالکیت خصوصی به سمت دسترسی مشارکت مطابق حرکت از بخش یک به بخش دو در شکل بالا هم‌اکنون نیز در برخی مناطق آمریکا در جریان است. به عنوان مثال، خدمات اشتراک خودرو مانند زیپکار شاهد افزایش دو برابری مشتریان خود در شش سال اخیر است. این در حالی است که خدمات راننده شراکتی مانند اوبر ماهیانه ۵۰۰۰۰ راننده بیشتر را به خدمت می‌گیرد و در سال ۲۰۱۴ حدود ۱۴۰ میلیون سفر را به انجام رسانده است. نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مورد استفاده توسط این سرویس‌ها برای اتصال راننده‌ها به مسافران به‌سرعت در حال تحول هستند. همچنین رقابت رو به افزایش، شرکت‌ها را وادار می‌کند هزینه بازار خود را کاهش و کارایی تجهیزات را افزایش دهند.

۲-۵-۳-۳- گام دو: نقطه اوج؛ تغییر به خودروهای خودران

در حال حاضر مقبولیت سیستم‌های خودران به‌اندازه خودرو یا راننده شراکتی نیست. عوامل تأخیر شامل غلبه بر محدودیت‌های فناوری‌های موجود مانند عملکرد سنسورها در آب‌وهوای مختلف، دسترسی به نقشه‌های سه‌بعدی و نگرانی در مورد امنیت سایبری است. سرعت غلبه و رفع این چالش‌ها یک عامل تعیین‌کننده برای تعیین سرعت تطابق با خودروهای خودران است.

تولیدکنندگان خودرو در حالت تغییر از خودروهای فعلی به خودروهای با کمک‌راننده و خودروهای خودران هستند. اگر فناوری خودران تنها جهت تغییر باشد حرکت از خانه اول به خانه سوم خواهد بود، اما حرکت‌هایی

نیز از خانه دوم به چهارم در حال انجام است. اخیراً اوبر با همکاری دانشگاه کارنگی ملون و دانشگاه آریزونا یک مرکز فناوری‌های پیشرفته در پترزبورگ راه‌اندازی و در آن خودروهای خودران و فناوری‌های نقشه را آزمایش می‌کنند. خدمات راننده شراکتی از آنجایی‌که می‌تواند یکی از بزرگ‌ترین هزینه‌های خود که همان هزینه راننده است را کاهش دهد، بهترین نقطه برای شتاب بخشیدن به استفاده از خودروهای خودران است. این شرکت‌ها می‌توانند بخش زیادی از ارزش مازاد ایجادشده توسط این فناوری را نصیب خود کنند. اگر خودروهای خودران در خدمات راننده اشتراکی به کار گرفته شوند، تطابق با این فناوری با شتاب بسیار بیشتری صورت خواهد گرفت. مشتریان نیز می‌توانند استفاده از این فناوری را هم‌زمان با کاهش هزینه‌ها تجربه کنند.

درنهایت سایر بازیگران صاحب فناوری، در حال شکل‌دهی به مسیر سوم هستند. به عنوان مثال، برنامه خودروهای خودران گوگل مراحل تست خود را می‌گذراند. گوگل عقیده دارد که خارج کردن راننده از این حلقه سریع‌ترین مسیر است. در بلندمدت مشخص نیست که گوگل قصد دارد حامی خودروهای شراکتی یا خودروهای شخصی، یا حتی هر دو باشد.

۶-۳-۳- عوامل تأخیر یا شتاب

نیروهایی که موجب کاهش سرعت فرایند تخریب خلاق ژوزف شومپیتر در حوزه حمل‌ونقل شخصی می‌شوند نباید دستکم گرفته شوند. عوامل اصلی که می‌توانند بر تأخیر یا تسریع پذیرش فناوری‌های جدید تأثیرگذار باشند، آورده شده است.

جدول ۷: عوامل تأخیر یا تسریع پذیرش فناوری‌های جدید حوزه حمل‌ونقل

عوامل تأخیر یا تسریع	تغییرات در و/ یا آثار
مقررات و حکومت	• قانون و مقررات جهانی، فدرال، ایالتی و محلی • مالیات و درآمد • قوانین حاکم بر جمع‌آوری، استفاده، ذخیره‌سازی و انتقال داده‌ها
گرایش‌های اجتماعی	• نظرات درباره نقش واسط‌های انسان-ماشین، مفاهیم قدیمی راجع به مالکیت و استفاده از خودرو و غیره • ایمنی • رشد مداوم اقتصاد اشتراکی
پیشرفت فناوری	• نتایج آزمایش‌های اولیه و برنامه‌های پایلوت • ظهور موفقیت‌های بزرگ در زمینه نوآوری یا فناوری
حریم خصوصی و امنیت	• امنیت سایبری و استانداردها و پروتکل‌هایی ارتباطی • حفاظت از اطلاعات شناسایی شخصی
وال‌استریت	• ارزش‌گذاری شرکت • موجود بودن سرمایه‌گذاری • سطح سرمایه‌گذاری (فناوری، معرفی بازار و غیره)
تأثیر ذینفعان اصلی	• تغییرات بالقوه در مدل‌های اشتغال کنونی ازجمله آثار، هزینه‌ها و مدیریت تغییرات جابه‌جایی • فرصت‌های آینده رشد اشتغال (ماهیت و اندازه) • واکنش‌های ذینفعان و گام‌های آتی (مثلاً کارگران، اتحادیه‌ها، معامله‌گران، کارفرمایان، حکومت و غیره).

منبع: مؤسسه دیلویت

۴-۳- جمع‌بندی

نشان‌دهنده ویژگی‌ها و فناوری‌های در نظر گرفته‌شده در گزارش‌های معتبر حوزه حمل‌ونقل است.

جدول ۸: خلاصه گزارش‌های تأثیر تحول فناوری بر حمل‌ونقل

گزارش	موسسه	ویژگی‌ها	فناوری‌های در نظر گرفته‌شده
پنج عامل تحول حمل‌ونقل و لجستیک	PWC	پنج عامل تحول حمل‌ونقل و لجستیک: ۱- دیجیتالی شدن: تمام بخش‌های حمل‌ونقل و لجستیک را متحول خواهد کرد و انتظار می‌رود مؤثرترین روند برای شکل دادن به کسب‌وکارها باشد. ۲- تغییر در تجارت جهانی: تشدید روند حمل‌ونقل زمینی بین چین و اتحادیه اروپا ۳- تغییرات فرایندی نرم‌افزار محور: رشد بازار سیستم جهانی حمل‌ونقل هوشمند، رشد بازار نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، رشد بازار جهانی اتوماسیون با ربات، بلاک چین و هوش مصنوعی ۴- تغییرات در تجارت داخلی بازارها: رشد تجارت الکترونیک در خرده‌فروشی‌ها، رشد اقتصاد شراکتی از ۱۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۳ به ۳۳۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۵ ۵- تغییرات فرایندی ماشین محور: تا ۲۰۳۰ سالیانه ۳۶ درصد به تعداد خودروهای الکتریکی افزوده می‌شود، استفاده از ربات برای انبارداری و ارسال محموله تا ۲۰۳۰ هزینه مالکیت خودروهای الکتریکی با خودروهای احتراقی برابر خواهد شد، ارزش محموله‌های عینک هوشمند از ۵۳ میلیون دلار در ۲۰۱۷ به ۴۴۰۰ در ۲۰۲۲ خواهد رسید، طول خطوط ریلی پرسرعت آسیا تا ۲۰۲۵ به ۵۰ هزار کیلومتر خواهد رسید.	• ICT • هوش مصنوعی • اینترنت اشیا • تحلیل کلان‌داده • دفاتر کل توزیع‌شده • سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل • اتوماسیون رباتیک • نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه و نظارت با پهپاد • توسعه فناوری ماشین‌های حمل‌ونقل • فناوری پیشران‌های الکتریکی • انبارداری با ربات • انبارداری با واقعیت افزوده و مجازی • ریل‌های پرسرعت • بهینه‌سازی تحویل (با پهپاد)

		برای هر یک از این عوامل، روندهای پیشران نیز ذکر شده است. میزان تأثیر و بلوغ راه‌حل‌های هر پیشران نیز ذکرشده است.	
آینده لجستیک	مؤسسه Frost & Sullivan	در این گزارش کلان‌روندهای شکل‌دهنده لجستیک و سناریوهای فناورانه، مدل‌های کسب‌وکار و بازار به‌صورت جامع بررسی‌شده است. افق زمانی این گزارش ۲۰۳۰ است. سناریوی فناوری ۱: ناوگان خودران کارایی بیشتری را به ارمغان می‌آورد (پهپاد، لیفتراک، کامیون، خودرو، ربات و ریل)، کامیون‌های خودران تا ۲۰۳۰ پنج درصد ناوگان را شامل می‌شوند، بهره‌برداری از کشتی باری خودران تا ۲۰۳۰ توسط رولزرویس، کاهش مصرف سوخت تا ۲۰ درصد توسط دسته‌های کامیون سناریوی فناوری ۲: داده به‌عنوان بزرگ‌ترین عالم تأثیرگذار جایگزین سوخت می‌شود، سناریوی فناوری ۳: نسل جدید فناوری؛ بازیگران کمتر دارایی‌محور هستند. سناریوی فناوری ۴: بسترهای واسطه‌گری اینترنتی (اوبر کامیون‌ها). سناریوی فناوری ۵: تجارت هوشمند با بلاکچین	• فناوری‌های حمل‌ونقل خودران (پهپاد، لیفتراک، کامیون، خودرو، ربات و ریل) • کلان‌داده • مدل‌های پیش‌بینی دقیق نوع تقاضا • پلتفرم‌های اقتصاد شراکتی • زنجیره بلوکی
حمل‌ونقل ۲۰۵۰: آینده حمل‌ونقل شخصی	گروه دلفی	در این گزارش آینده به خودروهای شخصی از نظر مالکیت و نوع راننده پرداخته شده است. پیش‌بینی‌شده تا ۲۰۵۰ مالکیت شخصی خودرو از بین خواهد رفت. در سناریوی پیش‌بینی‌شده در این گزارش، تعداد خودروها تا ۲۰۳۴ روند افزایشی داشته و دو برابر می‌شود. پس از آن کاهش یافته و در ۲۰۵۰ به ۱۵ درصد میزان فعلی کاهش خواهد یافت که این کاهش	در این گزارش به فناوری‌های خودروهای خودران، هوش مصنوعی و بسترهای اشتراک‌گذاری خودرو اشاره شده است.

		ناشی از افزایش شدید کارایی خودروهای موجود است. همچنین پیش‌بینی‌شده در ۲۰۳۴ حدود ۵۰۰ میلیون خودروی الکتریکی در جهان وجود داشته باشد. تا ۲۰۳۰ هزینه کلی ساخت خودروهای الکتریکی افزایش خواهد یافت	
آینده حمل‌ونقل	دیلویت	در این گزارش دو تصویر متفاوت از آینده ارائه شده است: ۱- باقی ماندن سیستم خودروهای شخصی فعلی که توسط راننده کنترل می‌شود. ۲- سیستم‌های خودران حمل‌ونقل اشتراکی بر اساس نوع کنترل خودرو نوع مالکیت خودرو، چهار سناریو برای آینده پیش‌بینی‌شده است که این گزارش پیش‌بینی کرده ترکیبی از این ۴ حالت سیستم حمل‌ونقل شخصی آینده را تشکیل خواهد داد: ۱- آینده اول: تغییرات تدریجی سیستم فعلی (محمل ترین آینده) (هزینه ۰,۹۷ دلار بر مایل) ۲- آینده دوم: جهان خودروهای اشتراکی (۰,۶۳) ۳- آینده سوم: انقلاب خودروهای خودران (۰,۴۶) ۴- عصر جدید خودران‌های در دسترس (۰,۳۱) در این گزارش عوامل تأخیر یا شتاب تغییرات نوآورانه در این حوزه نیز ذکرشده است.	• فناوری‌های باتری • مواد سبک و مقاوم • پیشرفت‌های سریع در وسایل نقلیه متصل • سیستم‌های پرداخت بر اساس استفاده • خودروهای خودران • حسگرهای کنترل الکترونیک • بسترهای اشتراک‌گذاری خودرو

منبع: مؤسسه دیلویت

۴- تأثیر تحول فناوری بر مشاغل

تحولات فناوری، آینده مشاغل را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است. بسیاری از مشاغل حذف یا تغییر کرده‌اند. این در حالی است که تحولات فناوری باعث ایجاد مشاغل جدید شده است. در این بخش به بررسی ابعاد مختلف تأثیر تحول فناوری بر مشاغل پرداخته شده است. به‌منظور توسعه سازمان فضایی کشور نیاز است تا آینده مشاغل به‌دقت رصد شود و هر گونه نقشه راه توسعه متناسب با مشاغل مورد نیاز و الزامات مکان‌یابی صنایع در آینده برنامه‌ریزی شود.

۱-۴- آینده کار / فناوری ۲۰۵۰[۱]

مطالعه متخصصان Bostrom در سال ۲۰۱۲/ ۲۰۱۳ احتمال ۵۰ درصدی برای توانمندی دستیابی به هوش ماشین سطح بالا در بین سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۴۰ پیش‌بینی کرده است. همچنین آن‌ها پیش‌بینی کرده‌اند که ۳۰ سال بعد از آن بشر به هوش مافوق بشری دست خواهد یافت.[۲]

مطمئن هستیم که هوش مصنوعی و سایر فناوری‌های آینده مانند زیست‌شناسی مصنوعی، علم محاسبات، فناوری نانو، محاسبات کوانتومی، چاپگرهای سه‌بعدی و چهاربعدی، اینترنت اشیاء، وسایل نقلیه خودران و رباتیک تا سال ۲۰۵۰ تأثیر بزرگی بر طبیعت کار، اقتصاد و فرهنگ خواهند گذاشت.

مرکز تحقیقات پیو[۳] روند تغییرات را به شرح زیر می‌داند:

- تمرکز ثروت در حال افزایش است؛
- شکاف درآمد در حال گسترش است؛
- رشد اقتصادی بدون ایجاد شغل تبدیل به یک قاعده شده است؛
- بازگشت سرمایه در زمینه فناوری و سرمایه بیشتر از نیروی کار است؛
- فناوری‌های آینده جای بسیاری از نیروی انسانی را می‌گیرند؛
- بیکاری ساختاری بلندمدت، یک پیش‌بینی از کسب‌وکار است.

بر این باور هستیم که جهان باید به‌طورجدی به این چالش‌ها بیندیشد، چراکه ممکن است زمانی بیش از یک نسل برای بهبود چشم‌انداز آینده زمان لازم باشد.

۱-۱-۴- سناریوهای آینده

بیشتر جهان در ابتدای قرن ۲۱، آینده‌ای توأم با بیکاری گسترده ناشی از هوش مصنوعی، رباتیک و دیگر فناوری‌های جایگزین نیروی انسانی را به تصویر می‌کشیدند. امروزه مشخص می‌شود که نگرانی‌ها بی‌مورد بود.

---

۱. این بخش برگرفته از گزارش پروژه هزاره در سال ۲۰۱۶ است.

۲. http://www.nickbostrom.com/papers/survey.pdf

۳. Pew Research Center .

خلاقیت انسان خارق‌العاده است. رشد اشتغال در بیولوژی و صنایع جدید بسیار چشم‌گیر بوده‌اند و خوداشتغالی آرزوی بسیاری از افراد حدود ۲ میلیارد نفر شده است.

در این سناریو مشاغل زیر مانند کار برای دولت؛ کار در بخش خصوصی در حوزه‌هایی مانند بیولوژی سینتیک؛ سیستم‌های هوش مصنوعی؛ مدیریت شهری؛ ترکیب انسان و هوش مصنوعی؛ واقعیت مجازی توریسم؛ خدمات ارتباط و توسعه شخصی و دیگر نیازهای محافظت از انسانیت ادامه خواهد داشت. دیگر افراد به خوداشتغالی مشغول می‌شوند و بازارها را با استفاده از شخصیت مجازی در اینترنت 8.0 پیدا کرده و با استفاده از قراردادهای هوشمند در بستر زنجیره بلوکی تعامل می‌کنند. برخی از آن‌ها در اقتصاد شراکتی شرکت می‌کنند و دیگران مهاجران سایبری هستند که همه‌روزه کارها و تجربیات جدیدی ایجاد می‌کنند.

کارهای تکراری با نرم‌افزار و ماشین‌ها جایگزین می‌شود و کارهای خلاقانه غیرتکراری افزایش می‌یابد. بسیاری از مردم در برنامه‌های آموزش خوداشتغالی آنلاین شرکت می‌کنند یا با مربیان زندگی انسانی کار می‌کنند تا نگرانی و افسردگی آن‌ها را بهبود دهند. مفهوم بازنشستگی از بین می‌رود، چراکه بسیاری از مردم پس از سن بازنشستگی نیز بر روی موضوعاتی که علاقه دارند، کار می‌کنند.

تلاش‌های در راستای اقتصاد سبز، اشتراک شغل، آموزش‌های علمی، فناوری، مهندسی و ریاضی، افزایش می‌یابد و افزایش سن بازنشستگی کمک می‌کند که درماندگی برای بسیاری باقی بماند، اما نرخ بیکاری در سطح جهان افزایش یابد. متأسفانه ناامنی اقتصادی در این جهان به‌سرعت در حال تغییر، تداوم خواهد داشت، هرچند رفاه جهانی بسیار بهتر از ابتدای قرن ۲۱ خواهد بود. خوداشتغال‌ها و آن‌هایی که در اقتصاد شراکتی وقت خود را به پرورش کودکان اختصاص داده‌اند، افکار خود را توسعه داده و از زندگی لذت می‌برند.

از ۶ میلیارد نیروی کار فعلی، ۲ میلیارد کارمند، ۲ میلیارد خوداشتغال، ۱ میلیارد در اقتصاد غیررسمی و ۱ میلیارد بیکار یا در حال گذار هستند. حدود ۳ میلیارد نفر در ابتدای قرن ۲۱ مشغول کار هستند. اکنون (۲۰۵۰)، ۴ میلیارد نفر مشغول به کار هستند. فناوری‌ها در چند دهه اخیر مشاغل بیشتری را نسبت به مشاغلی که حذف‌شده ایجاد کرده‌اند. متأسفانه حدود ۱ میلیارد نمی‌توانند با موفقیت با شرایط جدید تطبیق پیدا کنند.

خیانت‌های سایبری به‌صورت گسترده و پیچیده‌ای ادامه دارد. جرائم سازمان‌یافته بر تصمیمات دولت تأثیرگذار هستند. با ترکیب ذهن و ماشین، اعتماد رنگ می‌بازد و واسطه‌های مغز به مغز برخی هک می‌شود. در برخی موارد، مهاجرت‌های وسیع به دلایل سیاسی، اقتصادی و عوامل محیط‌زیستی مانند گرمایش جهانی، امنیت جهانی را در خطر قرار می‌دهد. گرمایش جهانی باعث ایجاد بحران‌های طبیعی می‌شود. قدرت شرکت‌های بزرگ از توان کنترلی دولت‌ها پیشی می‌گیرد. هند بیشترین جمعیت جهان و چین قدرتمندترین اقتصاد و تأثیرگذاری جهانی را در این جهان چندقطبی، دولت-شرکتی و مجازی سه‌بعدی دارد.

شاخص جهانی حالت آینده ۲۰۵۰، ۳ درصد رشد سالانه را در بین سال‌های ۲۰۰-۲۰۵۰ پیش‌بینی کرده است.

سناریوی دوم ۲۰۵۰: آینده نابسامان اقتصادی، سیاسی

در اوایل قرن ۲۱، رهبران سیاسی در تعارضات سیاسی کوتاه‌مدت و افکار اقتصادی خودخواهانه غرق می‌شوند. آن‌ها انتظار ندارند که هوش مصنوعی، رباتیک، چاپگرهای سه‌بعدی و چهاربعدی، بیولوژی مصنوعی و دیگر فناوری‌ها، در انتهای سال‌های ۲۰۲۰ و ابتدای ۲۰۳۰، کسب‌وکارها را یکی پس از دیگری از بین ببرند. لابی‌های شرکتی از تصمیمات کوتاه‌مدت سوددِه دفاع کنند. بسیاری از سیستم‌های اقتصادی- اجتماعی در سراسر جهان، پاداشی به برنامه‌های استراتژیک بلندمدت نداده و به‌جای آن به سودهای کوتاه‌مدت و علاقه‌مندی‌های سیاسی لحظه‌ای پاداش می‌دهند. درنتیجه، استراتژی بلندمدتی برای غلبه بر اثرات ویرانگر رشد سریع بیکاری در سراسر جهان، به‌ویژه کشورهای با درآمد بالا و متوسط وجود ندارد.

تمرکز بر ثروت در نیمه قرن ۲۱ ادامه خواهد داشت. فاصله درآمدها زیادتر و رشد اقتصادی بدون ایجاد شغل ادامه خواهد یافت. بازگشت سرمایه در سرمایه‌گذاری و فناوری بیش از نیروی کار خواهد بود و تعداد افراد به کالا یا خدمت، بسیار کاهش خواهد یافت. حتی اگر این مسائل برای همه رهبران در اوایل دهه ۲۰۱۰ روشن بود، بحران سیاسی که شکل‌های فراوانی (محافظه‌کارانه در برابر تهاجمی، اجرایی در برابر قانون‌گذاری، تقویتی در برابر طبیعی، مالیات‌دهندگان در برابر بیکاران، سنی در برابر شیعه، بنیادگرایان در برابر لیبرال‌ها، شهری در برابر روستایی، کشورهای بدهکار در برابر قرض دهندگان، دانشمندان در برابر پوپولیست‌ها و غنی در برابر فقیر) در سراسر جهان داشت، بسیار بد بود و گفتمان هوشمندانه در مورد سیاست اقتصادی مرده بود.

پوشش خبری سطحی و شبکه‌های اجتماعی بیهوده، تمام توجهات عمومی را جذب کرده‌اند و زمان کمی برای درک جاذبه تغییرات فناوری صرف می‌شود. هرچند سرمایه‌داری، سوسیالیسم و کمونیسم سیستم‌های اقتصادی عصر صنعتی بودند، هر گونه بحث جدی در مورد نظام‌های اقتصادی پسا اطلاعاتی نادیده گرفته می‌شود.

در حال حاضر، از نیروی کار ۶ میلیاردی جهان، ۱ میلیارد کارمند، ۱ میلیارد خوداشتغال، ۲ میلیارد در اقتصاد غیررسمی و ۲ میلیارد بیکار یا در حال گذار هستند. حدود ۳ میلیارد نفر در اوایل قرن ۲۱ مشغول به کار بوده‌اند. امروزه تنها ۲ میلیارد کارمند و خوداشتغال مشغول کار هستند. از این رو، فناوری‌های جدید طی چند دهه گذشته، نوع جدیدی از اشتغال را به‌منظور جایگزینی ایجاد نمی‌کنند. درنتیجه، دوسوم نیروی کار جهان یا در اقتصاد غیررسمی یا بیکار هستند. اقتصادها و سیستم‌های مالی تضعیف‌شده نمی‌توانند جوامع پا به سن گذاشته و بیکاری گسترده جوانان را حمایت کنند. از آنجایی‌که سیستم‌های درآمد تضمینی وجود ندارد، اختلافات اجتماعی و رشد جرائم اینترنتی، تروریسم، شبه‌نظامیان شرکتی و جرائم سازمان‌یافته در امور جهان بیشتر غالب می‌شود.

سناریوی سوم ۲۰۵۰: اگر انسان‌ها آزاد بودند؛ اقتصاد خودشکوفایی

انتقال به اقتصاد خودشکوفا آغاز شده است. اگر این انتقال کامل نیست، ما راه درازی را طی کرده‌ایم. برای نخستین بار در تاریخ بشریت، در یک گفتگوی بزرگ در مورد نوع تمدنی که می‌خواهد و اینکه ما به‌عنوان افراد، می‌خواهیم چه بشویم. فیلم‌ها، بازی‌های سایبری جهانی، نشست‌های سازمان ملل، اخبار واقعیت مجازی،[1] آموزش دیجیتالی فضانوردی فوری و رهبران فکری، معنی زندگی و آینده را کاوش می‌کنند. تغییر تاریخی از کار و دانش انسان به کار و دانش ماشین واضح است: بشریت از ضرورت داشتن شغل برای کسب درآمد و شغلی برای احترام به خود آزاد است. این شروع حرکت از اقتصاد شغل به اقتصاد خودشکوفایی است.

هنگامی‌که هوش مصنوعی جزئی عمومیت می‌یابد و زمانی که در میانه دهه ۲۰۳۰ هوش مصنوعی عمومی پدیدار می‌شود و هنگامی‌که آزمایش‌ها بر روی درآمدهای تضمینی در قرن ۲۱ مؤثر در برزیل، فنلاند، سوئیس و اسپانیا نشان از موفقیت آن‌ها دارد، اضطراب و فشار برای زنده ماندن بشریت کم‌رنگ می‌شود. آزمایش‌ها در مقیاس کوچک‌تر که درآمدهای ضروری را به گروه‌هایی در هند، لیبی، کنیا، نامیبیا و اوگاندا می‌دهند، نشان می‌دهد اکثریت مردم از این پول عاقلانه‌تر از انتظارات منتقدان استفاده می‌کنند. این مطالعات نشان‌دهنده افزایش سلامت، کاهش جرائم، بهبود آموزش و افزایش خوداشتغالی است، برخلاف دیدگاه‌هایی که درآمدهای تضمینی مردم را تنبل می‌کند. فنلاند و بریتانیا نشان می‌دهند که سیستم پرداخت نقدی تکمیلی که برنامه‌های رفاهی را تقویت می‌کند، کارآمدتر از بوروکراسی‌های پیچیده است.

با توجه به افزایش آگاهی جهان در دهه ۲۰۲۰، در مورد اینکه رشد دیگر دستمزدها و بیکاری را افزایش نمی‌دهد، رهبران فکر صحبت از پیش‌فرض‌های جدید اقتصادی می‌کنند. تلاش‌ها برای کاهش بیکاری مانند تغییر اعتبارات مالیاتی، افزایش قدرت اتحادیه‌های کارگری، بهبود آموزش علم، فناوری، مهندسی و ریاضی، ترویج اشتراک شغل و کاهش ساعات کاری کمک می‌کنند، اما تنها تفاوت‌های ناچیزی ایجاد می‌کنند. انقلاب هوش مصنوعی جایگزین مغز باهوش می‌شود. همان‌طور که تعداد بیکاران به دلیل فناوری‌های جدید افزایش می‌یابد، بسیاری شروع به لابی برای ایجاد درآمدهای تضمینی برای همه می‌کنند؛ اما هزینه زندگی پس از آن هنوز هم برای بودجه‌های ملی بسیار بالا است. تا اینکه تا اوایل دهه ۲۰۳۰ هزینه زندگی سقوط کرده و درآمد دولت افزایش می‌یابد تا سیستم درآمد تضمینی از نظر مالی پایدار شود.

از ۶ میلیارد نیروی کار، ۱ میلیارد کارمند، ۳ میلیارد خوداشتغال، ۲ میلیارد در اقتصاد غیررسمی و ۱ میلیارد در حال گذار یا خوداشتغال هستند. حدود ۳ میلیارد نفر در ابتدای قرن ۲۱ مشغول فعالیت بودند. امروزه ۴ میلیارد نفر یا کارمند یا خوداشتغال هستند. فناوری‌ها در دهه‌های اخیر، مشاغل بیشتری نسبت به مشاغلی که از بین برده‌اند، ایجاد کرده‌اند. مفهوم بیکاری، معنای خود را برای نسل جدید جهانی از دست داده است.

در ادامه خلاصه‌ای از نتایج فرایند دلفی آنلاین آورده شده است.

1. Virtual Reality

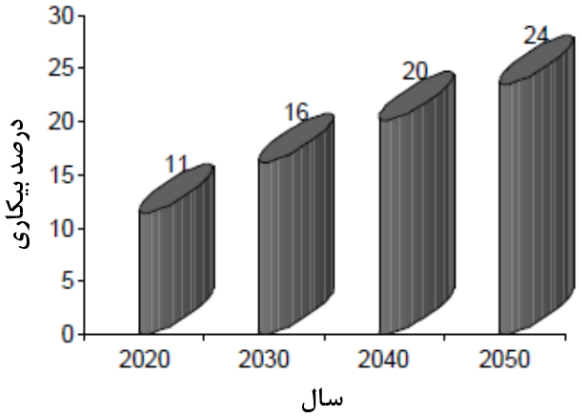
۲-۱-۴- دلفی آنلاین

شرکت‌کنندگان با استفاده از مرور ادبیات و شبکه پروژه هزاره در سراسر جهان انتخاب شدند. بعضی از ۳۰۰ متخصص، قضاوت‌های عددی داشته‌اند و بیش از ۱۰۰۰ نظر در مورد قضاوتشان داده‌اند.

بر اساس بازبینی ادبیات و مطالعات مرتبط، سؤالات زیر با استفاده از نرم‌افزار دلفی از صاحبنظران پرسیده شده است:

۱- اگر سیستم‌های اقتصادی، سیاسی و اجتماعی در حالت فعلی باقی بماند و اگر شتاب، یکپارچه‌سازی و جهانی‌شدن فناوری ادامه یابد، تخمین می‌زنید چه درصدی از جهان در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ بیکار شوند؛ افرادی که هم‌اکنون مشغول کار هستند.

پاسخ: در صورت عدم‌تغییر وضعیت فعلی، میانگین نرخ بیکاری در بازه‌های ۱۰ ساله تا ۲۰۵۰، به شرح شکل۷ خواهد بود.



شکل ۲۷: میانگین نرخ بیکاری پیش‌بینی‌شده تا ۲۰۵۰ در صورت عدم‌تغییر سیستم‌های فعلی

منبع: پروژه هزاره

۲- در عصر صنعت و ارتباطات مشاغل ایجادشده بیش از مشاغل جایگزین شده بود. بسیاری بر این باورند که سرعت، یکپارچه‌سازی و جهانی‌شدن تغییرات فناوری در ۳۵ سال آینده باعث ایجاد بیکاری ساختاری گسترده‌ای خواهد شد. چه فناوری‌ها یا عواملی ممکن است باعث تأیید یا رد این ادعا شوند؟

پاسخ سؤال ۲-۱: در پاسخ به این سؤال، فناوری‌ها بر اساس میزان اثرگذاری آن‌ها از نظر حذف مشاغل بررسی و در جدول ۹ آورده شده است. اعداد نزدیک‌تر به ۱۰ نشان‌دهنده تأثیر بالاتر آن فناوری است.

جدول ۹: فناوری‌های جایگزین مشاغل

فناوری‌های جایگزین مشاغل	شدت زمینه‌سازی
رباتیک	۷,۵۱
ادغام و اشتراک مساعی بین فناوری‌هایی که امروزه نامعلوم است	۶,۹۲
هوش مصنوعی	۶,۸۱
هوش مصنوعی عمومی	۶,۴۷
بازآموزی که قادر به همراهی با تغییرات تکنولوژیکی سریع نیست	۶,۴۳
چاپ سه‌بعدی/ چهاربعدی	۶,۱۴
سایر عوامل	۵,۵۴
هواپیماهای بی‌سرنشین	۵,۳۵
نانوفناوری	۵,۱۹
زیست‌شناسی سینتیک	۴,۶۶

منبع: پروژه هزاره

پاسخ سؤال ۲-۲: مطابق، عواملی که می‌توانند مانع از بیکاری گسترده ناشی از تحول فناوری شوند، امتیازدهی شده‌اند.

جدول ۱۰: میانگین اثر عواملی که می‌توانند به ایجاد شغل و جلوگیری از بیکاری گسترده کمک کنند

عوامل ایجادکننده مشاغل بیش از مقدار جایگزین شده	متوسط تأثیر
مفاهیم جدید اقتصادی و کار	۷,۱۷
خوداشتغالی، دورکاری، سیستم‌ها، مشوق‌ها و آموزش پشتیبان DIY	۷,۰۷
رشد مشاغل جدید در صنایع سرگرمی، تفریحات و مراقبت بهداشتی	۶,۶۷
آزادی ایجاد کار جدید برای ارزشمند ساختن زندگی فراتر از کار «ضروری»	۶,۲۸
شتاب بخشیدن به خلاقیت انسان در سراسر جهان	۶,۲۵
سایر فناوری‌هایی که قادر به ایجاد مشاغل بیش از آنچه جایگزین شده‌اند، هستند	۶,۱۴
همزیستی و یا مکمل هم بودن انسان-فناوری	۵,۹۵
جمع‌سپاری برای تأمین مالی (کیک استارتر) و کار جمع‌سپاری شده	۵,۶۱
انقلاب بیولوژیک (بیولوژی سینتیک و سایر صنایع جدید مرتبط با زیست‌شناسی)	۵,۴۲
خود تصحیح‌گر: با افزایش بیکاری، خرید پایین آمده و باعث کاهش رشد سیستم‌های روباتیک AI می‌شود که به‌نوبه خود باعث جایگزینی مشاغل کمتری می‌شود	۴,۱۲

منبع: پروژه هزاره

۳- چه پرسش‌هایی باید پاسخ داده شوند تا مشخص شود که هوش مصنوعی و دیگر فناوری‌های آینده، نسبت به مشاغلی که از بین می‌برند، مشاغل بیشتری ایجاد می‌کنند یا خیر؟

پاسخ: پاسخ در قالب مجموعه پرسش‌ها و نظرات مطرح شده است. برخی از پرسش‌ها در ادامه آورده شده است:

- چه شرایط اولیه‌ای برای هوش مصنوعی عمومی یا هوش فوق بشری باید در نظر گرفت تا تحولات مسیر خوبی را طی کنند؟
- آیا واقعاً به مشاغل نیاز داریم؟ آیا برای حفظ آن‌ها باید بجنگیم؟ یا برای از بین رفتن آن‌ها بجنگیم؟

- هوش مصنوعی و هوش مصنوعی عمومی چقدر می‌تواند هوشمند شوند؟ ربات‌ها تا چه میزان پیچیدگی را می‌توانند داشته باشند؟
- چه تعاریف جایگزین قابل پذیرشی می‌توان برای کار، شغل، اشتغال و درآمد پایه در نظر گرفت؟
- چه کسی مالک هوش مصنوعی خواهد بود؟
- چه مالیات‌هایی و چگونه باید جمع‌آوری شوند؟

۴- این اقدامات چقدر می‌تواند برای ایجاد کار یا درآمد جدید برای رفع بیکاری فناورانه تا سال ۲۰۵۰ مؤثر باشد؟

پاسخ: در پاسخ به این پرسش مجموعه‌ای از اقدامات به همراه احتمال وقوع و اثربخشی آن‌ها، آورده شده است.

جدول ۱۱: میانگین احتمال و اثر برخی از اقدامات پیشنهادی برای ایجاد شغل

اقدام	میانگین اثربخشی	میانگین احتمال
برنامه‌های بازآموزی برای مهارت‌های پیشرفته‌تر	۳,۴۳	۳,۲۰
الزام علم، فناوری، مهندسی، ریاضی و کدنویسی در تمام سطوح تحصیل	۳,۳۳	۲,۸۷
تبدیل افزایش آگاهی ملی و فردی به یک اولویت ملی	۳,۲۷	۲,۵۶
ایجاد مشوق‌هایی برای جذب و ایجاد مشاغل با مهارت‌های پیشرفته	۳,۲۵	۳,۲۶
برنامه‌های ملی نوآوری	۳,۲۴	۳,۴۲
یکی کردن سیستم‌های رفاهی عمومی درون شرایط ملی درآمد مشروط پایه تضمین‌شده	۳,۲۰	۲,۴۸
ایجاد نواحی، هاب‌ها، مراکز و بخش‌های Do It Yourself Maker	۳,۱۸	۳,۰۵
دو برابر کردن بودجه‌های ملی تحقیق و توسعه تا سال ۲۰۲۰ (برای تأثیرگذاری تا سال ۲۰۵۰)	۳,۰۸	۲,۳۵
ایجاد مشوق‌هایی برای طرح‌های مالکیت کارکنان	۳,۰۵	۲,۷۲
رایگان کردن تحصیلات دانشگاهی برای دانشجویان	۳,۰۴	۲,۳۳
مالیات از ثروت‌های جدید ایجادشده توسط فناوری‌های جدید برای پشتیبانی مالی عمومی	۳,۰۴	۲,۷۴
آموزش عمومی در سطح وسیع برای خوداشتغالی	۳,۰۳	۲,۵۶
سرمایه‌گذاری‌های دولت در شرکت‌های فناوری آینده و تقسیم سود سهام دولتی بین افراد بیکار	۲,۸۷	۲,۴۰

منبع: پروژه هزاره

۵- آیا ثروت ناشی از هوش مصنوعی و سایر فناوری‌ها همچنان درآمد را برای ثروتمندان انباشته می‌کند و شکاف درآمدی را افزایش می‌دهد؟

پاسخ: در پاسخ به این پرسش میزان احتمال برخی از حالات ممکن در برابر افزایش شکاف درآمدی مطابق شده است.

جدول ۱۲: میانگین احتمال برخی حالات ممکن برای آینده فاصله طبقاتی

توسعه	احتمال
بسیار نابرابر-برخی مناطق جهان سیاست‌های خوبی اجرا کرده و برخی دیگر چنین نیستند	۸,۰۵
ابتدا ناآرامی‌های اجتماعی عمده رخ می‌دهد و سپس برای بهبود این وضعیت، تغییرات سیاست صورت می‌گیرد	۶,۵۲
سایر	۶,۵۰
تغییرات سیاست کافی رخ نمی‌دهد، شکاف‌های درآمدی بدتر می‌شود و منجر به بی‌ثباتی اجتماعی می‌شود	۶,۴۲
برنامه‌های اقتصادی عمومی/ خصوصی، سرمایه‌گذاری‌ها، آموزش‌ها، مشوق‌های جدید برای کاهش این شکاف‌ها آغاز می‌شوند	۵,۱۸
برنامه‌های مالیاتی جدید برای کاهش این شکاف‌ها آغاز می‌شوند	۴,۷۱
کار گسترده و صرف زمان زیاد در واقعیت مجازی، توجهی به شکاف‌های درآمدی نمی‌کند	۴,۶۸
باعث تغییر چشمگیر باور جهانی شده و پیشرفت فناوری را کند می‌کنند AI چند سانحه	۴,۰۱

منبع: پروژه هزاره

۶- اینکه نوعی از درآمد تضمینی وضع شود تا به فقر پایان داده، نابرابری را کاهش دهد و بیکاری ناشی از فناوری را کاهش دهد تا چه میزان اهمیت دارد؟

پاسخ: خبرگان به این پرسش پاسخ داده‌اند که آیا استفاده از درآمدهای تضمینی به‌منظور مقابله با شکاف درآمدی لازم است یا خیر. نتایج آورده شده است.

جدول ۱۳: میزان لزوم برقراری درآمد تضمینی (تعداد پاسخ‌دهندگان)

میزان لزوم برقراری درآمد تضمینی	تعداد تأییدکنندگان
بشدت لازم	۵۴
خیلی مهم	۵۳
می‌تواند کمک کند	۳۶
نامربوط	۲۷
خیلی لازم نیست	۱۲

منبع: پروژه هزاره

۷- آیا انتظار دارید که هزینه‌های زندگی تا سال ۲۰۵۰ کاهش یابد (به دلیل اشکال آینده هوش مصنوعی، رباتیک و ساخت و تولید در ابعاد نانو، پرینتر سه و چهاربعدی، خدمات اینترنت آینده و دیگر تولیدات و سیستم‌های توزیعی آینده)؟

پاسخ: تغییرات احتمالی در هزینه زندگی با توجه به نظرات خبرگان در آورده شده است.

جدول ۱۴: تغییرات بالقوه در هزینه‌های زندگی تا ۲۰۵۰

هزینه‌های زندگی تا ۲۰۵۰	تعداد تأییدکنندگان
افزایش در برخی مناطق	۴۶
کاهش در بسیاری از مناطق	۴۳
در سطح فعلی باقی می‌ماند	۴۱
کاهش شدید	۳۴
افزایش شدید	۱۶

منبع: پروژه هزاره

۸- چه تغییرات بزرگی تا سال ۲۰۵۰ می‌تواند بر همه چیز تأثیرگذار باشد؟

پاسخ: خلاصه نظر ۱۹۹ خبره در پاسخ به این پرسش که چه تغییرات بزرگی تا سال ۲۰۵۰ می‌تواند بر همه چیز تأثیرگذار باشد، در ادامه آورده شده است:

- تروریستم با استفاده از سلاح‌های کشتارجمعی؛
- مبارزه با توسعه فناوری با استفاده از مقررات؛
- عدم ثبات سیاسی؛
- جرائم سازمان‌یافته با استفاده از هوش مصنوعی و دیگر فناوری‌های پیشرفته که منجر به جهانی ناامن می‌شود؛
- جنگ عظیم سایبری؛
- منابع انرژی تجدیدپذیر محلی تبدیل به یک روال مرسوم می‌شوند که باعث کاهش اهمیت شبکه‌های برق و نیروگاه‌های بزرگ مرکزی خواهد شد؛
- زندگی سایبری بر زندگی فیزیکی انسانی غلبه خواهد کرد؛
- پذیرش فرهنگی پدیده کار نکردن؛
- غذاهای تولیدشده با چاپگر سه‌بعدی؛
- ساختارهای بیومکانیک؛
- همه توانایی تبدیل‌شدن به نابغه را دارند؛
- ساخت و تولید دقیق اتمی، مونتاژ مولکولی؛
- واسطه‌های اتصال مغز به ماشین و مغز به مغز مرسوم خواهند شد؛
- گرمایش زمین تشدید شده، این گرمایش جهان را متحد خواهد کرد؛
- زیستگاه فضای دائمی قابل سکونت با انرژی نامحدود؛
- جنبش جهانی به سمت حس غیرمادی از زندگی؛
- موفقیت واکنش‌های هسته‌ای با انرژی پایین؛
- جامعه رباتی هوشمندتر و سازمان‌دهی شده‌تر؛

- ربات‌های هوشمند که قابلیت تکثیر خود را دارند در سراسر جهان مثل ویروس پخش می‌شوند؛
- تهدیدات هوش مصنوعی و جنگ‌های انسان ماشین؛
- تماس فرازمینی؛
- حل مسئله طول عمر.

۹- چه سناریوهایی به‌منظور ارتباط امروز با ۲۰۵۰ باید نوشته شود که توضیح‌دهنده ارتباطات و تصمیمات علت و معلولی مهمی باشد که در حال حاضر باید در نظر گرفته شوند؟

پاسخ: میزان آرای سناریوهای محتمل برای آینده آورده شده است.

جدول ۱۵: رتبه‌بندی سناریوها با توجه به تعداد آرا

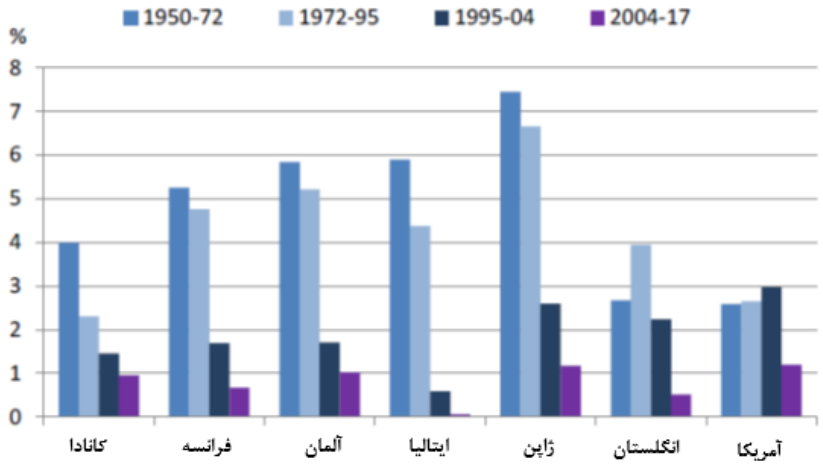
محورهای سناریو	تعداد آرا
رفاه انسان بالا به پایین (ازجمله بهداشت، نیازهای اولیه تضمین‌شده و محیط طبیعی پاک)	۱۱۱
ثروت‌آفرینی بالا به پایین از طریق ادغام فناوری	۸۳
بیکاری بالا به پایین	۷۷
افزایش تکنولوژیکی آگاهی انسان	۷۴
استفاده از برنامه‌های درآمد تضمین‌شده بالا به پایین	۵۹
سوانح هوش مصنوعی بالا به پایین	۴۴
سایر	۱۳

منبع: پروژه هزاره

۲-۴- فناوری‌های نوین و مشاغل آینده[1]

این بخش بر تأثیر تحول دیجیتال بر مشاغل و بهره‌وری تمرکز دارد. لیست فناوری‌های در حال تغییر طولانی است، اما برخی از فناوری‌ها پتانسیل بالایی دارند، به‌خصوص هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و بلاک‌چین. این فناوری‌ها برخی ویژگی‌های مشترک دارند، ازجمله وابستگی آن‌ها به مجموعه داده‌های بزرگ و گستره‌ای از فناوری‌های دیجیتال. مطابق شکل ۸ رشد بهره‌وری نیروی کار در دهه‌های اخیر همواره نزولی بوده است.

۱. این بخش برگرفته از گزارش سازمان همکاری و توسعه اقتصادی در سال ۲۰۱۸ است.



شکل ۲۸: بهره‌وری نیروی انسانی در بلندمدت (GDP بر ساعت کاری)

منبع: سازمان همکاری و توسعه اقتصادی

تحول فناوری یک کلان‌روند مهم است که به‌طور مداوم در حال تغییر شکل دادن اقتصادها و جوامع است. این تغییر شکل اغلب رادیکال است. محدوده فناوری- از نظر شکل، پایه‌های دانشی و محدوده عملکردی- وسیع و متنوع است و مسیر تعامل آن با اقتصادها و جوامع پیچیده و تکاملی است. این ویژگی‌ها موجب عدم اطمینان گسترده‌ای در مورد جهت آینده و تأثیرات تغییرات فناوری شده است. پیش‌بینی در مورد تحول فناوری در گذر زمان ذاتاً نادقیق است. همچنین بزرگنمایی در تخمین کوتاه‌مدت تأثیرات فناوری‌های جدید، امری طبیعی است. به عنوان مثال، نانوفناوری در دهه ۱۹۸۰ به‌عنوان یک فناوری متحول‌کننده معرفی شد، اما هنوز هم برخی از انتظارات اولیه را برآورده نکرده است.

تحول فناوری اشکال مختلفی از تغییرات را ایجاد کرده است:

۱. تغییر در تقاضای مهارت نیروی کار؛
۲. تغییر ساختار بازار؛
۳. تغییر مدل‌های کسب‌وکار؛
۴. الگوهای جدید تجارت و سرمایه‌گذاری؛
۵. تهدیدات جدید برای امنیت کسب‌وکارها؛
۶. چالش‌های اجتماعی و سیاسی.

برخی از این تغییرات کاملاً مثبت هستند.

لیست فناوری‌های تحول‌دهنده طولانی است:

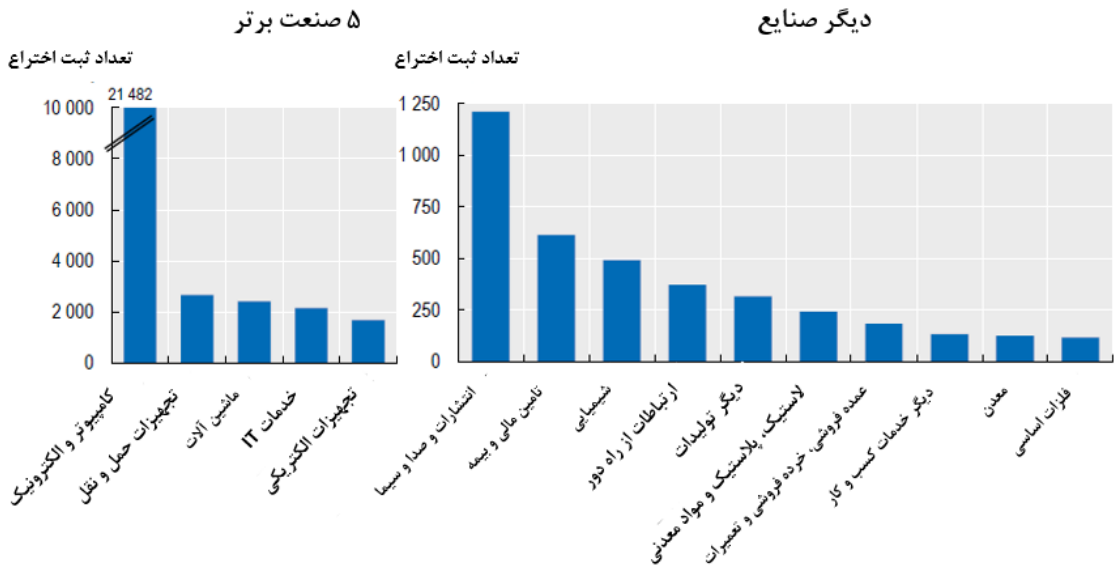
۱. محاسبات کوانتومی؛
۲. ابزارهای ذخیره‌سازی انرژی؛

۳. اشکال جدید چاپگر سه‌بعدی؛
۴. تحلیل داده‌های عظیم؛
۵. نوروفناوری.

در این گزارش سه فناوری که اثرات آن به‌صورت بالقوه قابل توجه است، بررسی شده است:

۱. اینترنت اشیا؛
۲. هوش مصنوعی؛
۳. بلاک‌چین.
   - مبادلات مالی.
   - سیستم‌های ثبت و تأیید (Record and Verification).
   - قراردادهای هوشمند.

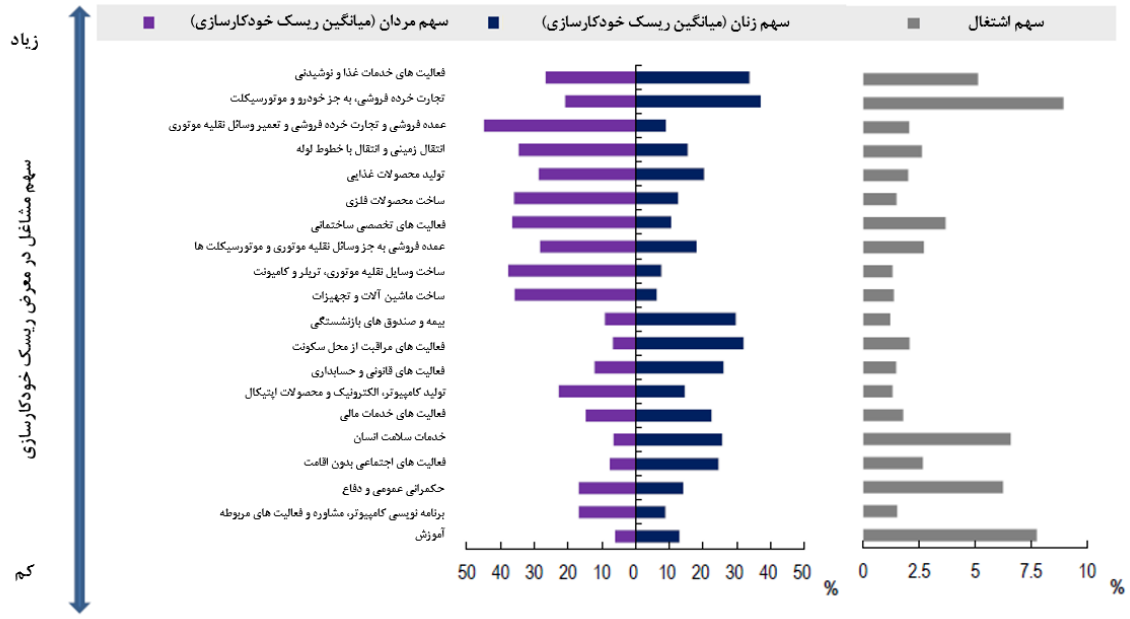
در شکل ۲۹ تعداد ثبت اختراعات مرتبط با هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف آورده شده است.



شکل ۲۹: تعداد ثبت اختراعات حوزه هوش مصنوعی در ۲۰۰۰ شرکت تحقیق و توسعه بخش‌های مختلف

منبع: سازمان همکاری و توسعه اقتصادی

در شکل ۳۰ ریسک خودکارسازی برای ۲۰ شغلی که در منطقه OECD بیشتر در معرض جایگزینی قرار دارند، آورده شده است.



شکل ۳۰: میانگین ریسک خودکارسازی مشاغل مختلف

منبع: سازمان همکاری و توسعه اقتصادی

۳-۱-۴- گزارش مشاغل آینده[1]

پیشرفت‌های سریع فناوری، مرز بین مشاغلی که توسط انسان انجام می‌شوند و مشاغلی که توسط ماشین‌ها و الگوریتم‌ها انجام می‌شود را تغییر داده‌اند. بازار جهانی نیروی کار تغییرات گسترده‌ای را متحمل می‌شود. این تحولات اگر به‌درستی مدیریت شوند می‌توانند به عصری از کار خوب، مشاغل خوب و بهبود کیفیت زندگی برای همه ختم شوند، اما در صورت مدیریت نامناسب منجر به افزایش شکاف مهارتی، نابرابری بیشتر و تضاد وسیع‌تر خواهد شد.

با آشکارشدن انقلاب صنعتی چهارم، شرکت‌ها به دنبال فناوری‌های جدید و نوظهور هستند تا بتوانند سطح کارایی تولید و مصرف را افزایش داده، به بازارهای جدید وارد شده و با محصولات جدید رقابت کنند. به‌منظور بهره‌برداری مؤثر از پتانسیل‌های انقلاب صنعتی چهارم باید از رهبران کسب‌وکارها دعوت شود تا استراتژی جامعی برای نیروی کار اتخاذ کرده و بتوانند با چالش‌های عصر جدید از شتاب نوآوری و تغییر مواجه شوند.

همان‌گونه که تحولات نیروی کار شتاب می‌گیرد، پنجره فرصت‌ها برای مدیریت فعالانه این تغییرات بسته می‌شود و کسب‌وکار، دولت و کارگران باید به‌صورت فعالانه‌ای چشم‌انداز جدید برای بازار جهانی نیروی کار، طرح‌ریزی و پیاده‌سازی کنند.

۱. این بخش برگرفته از گزارش مجمع جهانی اقتصاد در سال ۲۰۱۸ است.

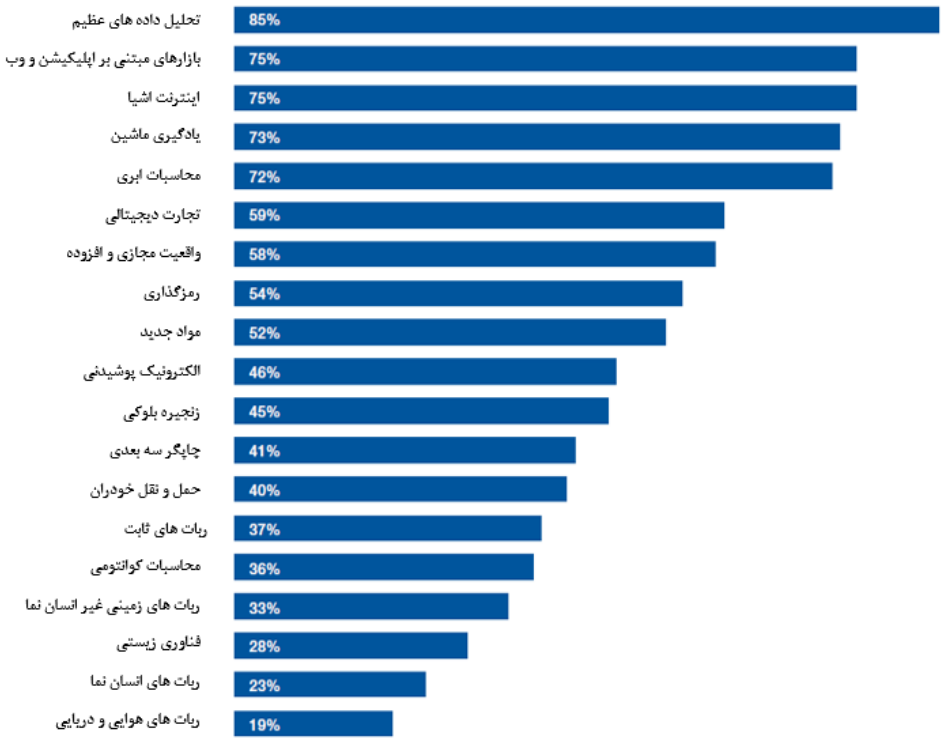
۱-۳-۱-۴- پیشران‌های تغییر

چهار پیشرفت خاص بر رشد کسب‌وکارها در بازه ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ به‌صورت مثبت تأثیرگذار هستند که شامل اینترنت موبایل پرسرعت در همه مکان‌ها، هوش مصنوعی، اتخاذ گسترده ابزارهای تحلیلی کلان‌داده و فناوری‌های ابری است. این فناوری‌ها با طیف وسیعی از روندهای اقتصادی- اجتماعی همراه هستند که باعث ایجاد فرصت‌هایی برای کسب‌وکارها شده‌اند. این روندها شامل مسیرهای رشد اقتصادی جهان، توسعه تحصیلات مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه و حرکت به سمت اقتصاد سبز با پیشرفت فناوری‌های انرژی است. مجموعه روندهای مؤثر بر کسب‌وکارها تا سال ۲۰۲۲ در شکل ۱ آورده شده است.

شکل ۳۱: روندهای مثبت و منفی تأثیرگذار بر رشد کسب‌وکارها تا سال ۲۰۲۲ تسریع پذیرش فناوری

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۸۵ درصد از شرکت‌کنندگان این پژوهش عنوان کرده‌اند که تا سال ۲۰۲۲ بسیار متمایل به توسعه پذیرش کاربران و فناوری‌های تحلیل کلان‌داده هستند. بخش زیادی از شرکت‌ها نیز مایل به توسعه پذیرش فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا و بازارهای تحت وب و موبایل بوده و به دنبال استفاده وسیع‌تر از محاسبات ابری هستند. یادگیری ماشین، واقعیت افزوده و مجازی نیز سرمایه‌گذاری بالایی را جذب کرده است. در شکل ۳۲ فناوری‌هایی که شرکت‌ها تا سال ۲۰۲۲ مشتاق به پذیرش آن‌ها هستند، آورده شده است.



شکل ۳۲: فناوری‌هایی که شرکت‌ها تا سال ۲۰۲۲ متمایل به پذیرش آن‌ها هستند

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

در میزان پذیرش فناوری‌های جدید در بخش‌های مختلف صنعت آورده شده است.

جدول ۱۶: به‌کارگیری فناوری توسط صنعت و سهم شرکت‌های مطالعه شده، پیش‌بینی ۲۰۲۰-۲۰۱۸ (٪)

	کلی	خودروسازی، هوافضا، زنجیره تأمین و حمل‌ونقل	هوانوردی، سفر و گردشگری	شیمیایی، مواد پیشرفته و زیست‌فناوری	مصرفی	تأسیسات و فناوری‌های انرژی	خدمات مالی و سرمایه‌گذاری	بهداشت جهانی و مراقبت بهداشتی	فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات	زیرساخت	معادن و فلزات	نفت و گاز	خدمات حرفه‌ای
تحلیل داده‌های بزرگ کاربر و موجودیت	۸۵	۸۴	۸۹	۷۹	۸۵	۸۵	۸۶	۸۷	۹۳	۶۵	۶۲	۸۷	۸۵
بازارهای ایجادشده توسط برنامه و وب	۷۵	۷۶	۹۵	۷۱	۸۸	۶۵	۸۹	۸۰	۹۳	۵۳	۵۰	۶۱	۷۴
اینترنت اشیا	۷۵	۸۲	۹۵	۵۸	۳	۸۵	۶۵	۶۷	۸۶	۷۶	۵۰	۸۳	۷۴
یادگیری ماشین	۷۳	۸۷	۷۹	۵۸	۸۲	۷۷	۷۳	۸۰	۹۱	۵۳	۶۹	۷۰	۷۴
رایانش ابری	۷۲	۷۶	۷۹	۶۷	۶۷	۷۳	۶۵	۷۳	۹۱	۷۱	۶۲	۷۸	۷۶
تجارت دیجیتال	۵۹	۶۸	۶۸	۶۲	۸۲	۵۸	۷۰	۵۳	۷۰	۴۷	۵۰	۵۷	۵۹
واقعیت افزوده و مجازی	۵۸	۷۱	۶۸	۵۰	۴۸	۶۵	۵۹	۶۷	۷۲	۵۹	۶۲	۶۵	۵۳
رمزگذاری	۵۴	۵۸	۵۳	۲۵	۴۲	۳۸	۷۳	۶۷	۶۷	۴۱	۲۵	۵۷	۵۳
مواد جدید	۵۲	۷۱	۳۲	۷۹	۷۹	۶۵	۲۲	۶۰	۳۰	۸۲	۶۲	۸۳	۴۱
الکترونیک پوشیدنی	۴۶	۶۱	۵۳	۴۶	۴۵	۴۲	۴۹	۷۳	۴۹	۲۴	۲۵	۷۰	۳۵
دفتر کل توزیع شده (زنجیره بلوکی)	۴۵	۳۲	۳۷	۲۹	۳۹	۵۴	۷۳	۶۷	۶۷	۱۸	۳۸	۴۸	۵۰
چاپ سه‌بعدی	۴۱	۶۱	۲۱	۵۸	۴۲	۵۴	۱۹	۵۳	۳۵	۴۱	۵۰	۵۷	۲۹
حمل‌ونقل خودمختار	۴۰	۷۴	۵۸	۵۴	۳۹	۴۶	۱۶	۲۰	۴۴	۴۱	۵۰	۳۰	۴۱
روبات‌های ثابت	۳۷	۵۳	۳۷	۵۰	۴۲	۳۵	۲۷	۴۷	۳۵	۳۵	۳۸	۵۲	۲۹
رایانش کوانتومی	۳۶	۲۹	۳۲	۲۵	۳۳	۴۶	۴۳	۳۳	۴۴	۲۴	۱۹	۴۳	۴۱
روبات‌های زمینی غیرانسان‌نما	۳۳	۴۲	۲۶	۲۱	۳۶	۲۷	۳۲	۴۰	۳۷	۲۹	۲۵	۳۰	۲۴
زیست‌فناوری	۲۸	۱۸	۰	۴۲	۵۲	۴۲	۱۱	۸۷	۲۳	۱۲	۴۴	۳۹	۲۴
روبات‌های انسان‌نما	۲۳	۲۹	۲۶	۱۷	۱۸	۸	۳۵	۱۳	۳۳	۱۲	۲۵	۱۳	۲۴
روبات‌های هوایی و زیرآبی	۱۹	۱۸	۱۶	۱۷	۱۲	۳۵	۵	۰	۱۹	۲۹	۲۵	۵۲	۲۱

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

میزان تحولات مرتبط با نیروی کار در صنایع مختلف برای سال ۲۰۲۲ آورده شده است.

جدول ۱۷: میزان اثرات بر نیروی کار در صنایع مختلف در سال ۲۰۲۲

	کلی	خودروبی، هوافضا، زنجیره تأمین و حمل‌ونقل	هوانوردی، سفر و گردشگری	شیمی، مواد پیشرفته و زیست‌فناوری	مصرفی	تأسیسات و فناوری‌های انرژی	خدمات مالی و سرمایه‌گذاری	بهداشت جهانی و مراقبت بهداشتی	فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات	زیرساخت	معادن و فلزات	نفت و گاز	خدمات حرفه‌ای
تغییر زنجیره ارزش	۵۹	۸۲	۴۴	۷۱	۸۳	۷۸	۵۶	۶۷	۵۵	۷۸	۴۴	۸۷	۶۰
کاهش نیروی کار ناشی از اتوماسیون	۵۰	۴۸	۵۰	۳۸	۵۷	۵۶	۵۶	۴۷	۵۵	۳۳	۷۲	۵۲	۳۷
گسترش پیمانکاران با وظایف تخصصی	۴۸	۵۲	۵۰	۴۲	۵۱	۵۲	۴۴	۳۳	۵۷	۵۶	۵۶	۵۲	۵۱
تغییر مکان بهره‌برداری	۴۸	۴۲	۵۰	۵۸	۵۴	۵۲	۶۷	۷۳	۵۵	۲۸	۴۴	۵۷	۵۴
گسترش نیروی کار	۳۸	۵۰	۳۹	۳۸	۳۴	۱۹	۳۱	۲۷	۴۱	۲۸	۲۲	۳۵	۷۱
ارائه تأمین مالی **on-board** برای تغییر	۳۶	۲۸	۳۳	۲۹	۴۰	۳۷	۳۱	۲۰	۳۴	۵۶	۲۲	۳۰	۳۷
گسترش نیروی کار به علت اتوماسیون	۲۸	۲۰	۵۰	۲۹	۲۳	۱۹	۲۵	۲۰	۵۲	۲۲	۳۳	۲۶	۵۷

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۲-۳-۱-۴- روندها در استفاده از ربات

هرچند تخمین استفاده از ربات‌های انسان‌نما در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ محدود است، گستره وسیعی از فناوری‌های رباتی در نزدیکی گام تجاری‌سازی قرار گرفته‌اند که شامل ربات‌های ساکن، ربات‌های زمینی غیرانسان‌نما و پهپادهای تماماً خودکار هستند. در کنار این‌ها، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی توجهات کسب‌وکارها را به خود جلب کرده‌اند. نرخ پذیرش ربات در بخش‌های مختلف متفاوت است و بین ۲۳ تا ۳۷ درصد را شامل می‌شود. شرکت‌هایی که در تمام بخش‌ها فعالیت می‌کنند تمایل به پذیرش ربات‌های ثابت دارند. هرچند رهبران صنایع نفت و گاز نیز ربات‌های ثابت را نسبت به پهپادها و ربات‌های زیرآبی در اولویت قرار می‌دهند. کارمندان سرویس‌های مالی بیشتر به دنبال پذیرش ربات‌های انسان‌نما تا سال ۲۰۲۲ هستند.

۳-۳-۱-۴- تغییر در جغرافیای تولید، توزیع و زنجیره ارزش

تا سال ۲۰۲۲، ۵۹ درصد از شرکت‌کنندگان باور داشتند که با توجه به تغییرات اجزای زنجیره ارزش باید تغییرات گسترده‌ای در چگونگی تولید و توزیع اعمال کنند. نیمی از شرکت‌کنندگان انتظار دارند که مکان جغرافیایی آن‌ها باید اصلاح شود. **در هنگام تصمیم‌گیری در خصوص مکان شغل، شرکت‌ها عمدتاً اولویت اصلی را به دسترسی به نیروی کار ماهر می‌دهند** که شامل ۷۴ درصد از شرکت‌کنندگان است. در مقابل، ۶۴ درصد از شرکت‌ها مهم‌ترین مسئله خود را هزینه کارگر عنوان کردند. بازه‌ای از دیگر عوامل مرتبط مانند انعطاف‌پذیری قوانین کار، تأثیرات تراکم صنایع و نزدیکی به مواد اولیه نیز اهمیت کمتری را به خود اختصاص داده‌اند. در جدول ۱۸ عوامل مؤثر در مکان‌یابی مشاغل در سال ۲۰۲۲ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که تقریباً در اکثر صنایع، دسترسی به استعداد، مهم‌ترین معیار مکان‌یابی است. در توسعه سازمان فضایی نیز باید به این عوامل توجه کرد.

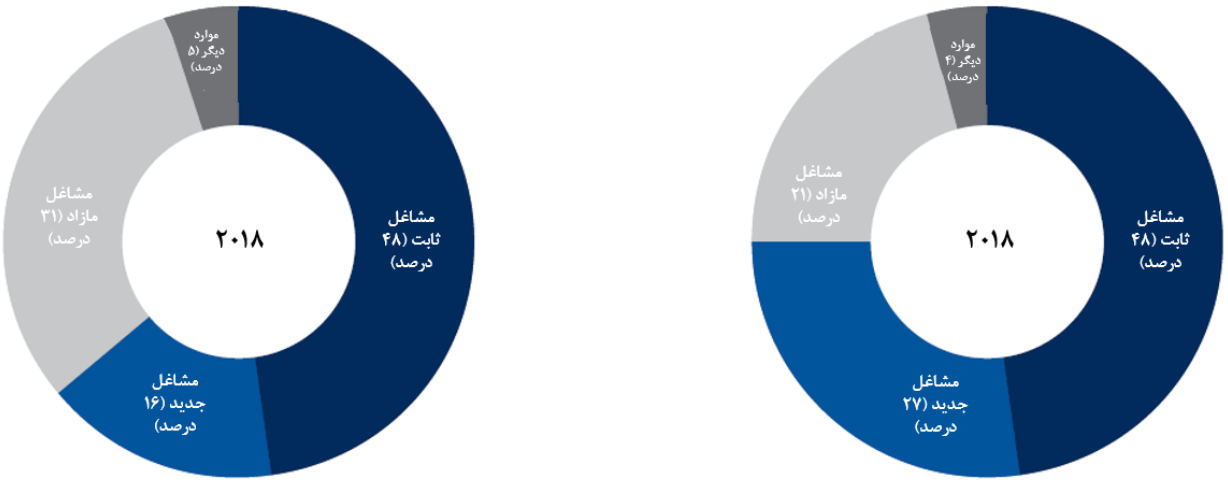
جدول ۱۸: عوامل مؤثر بر مکان‌یابی مشاغل در ۲۰۲۲

صنعت	اول	دوم	سوم
کلی	دسترسی به استعداد	هزینه نیروی کار	هزینه تولید
خودرویی، هوافضا، زنجیره تأمین و حمل‌ونقل	دسترسی به استعداد	هزینه نیروی کار	کیفیت زنجیره تأمین
هوانوردی، سفر و گردشگری	دسترسی به استعداد	HQ سازمان	هزینه نیروی کار
شیمی، مواد پیشرفته و زیست‌فناوری	دسترسی به استعداد	هزینه تولید	هزینه نیروی کار
مصرفی	هزینه نیروی کار	دسترسی به استعداد	کیفیت زنجیره تأمین
تأسیسات و فناوری‌های انرژی	دسترسی به استعداد	هزینه نیروی کار	هزینه تولید
خدمات مالی و سرمایه‌گذاری‌ها	دسترسی به استعداد	هزینه نیروی کار	HQ سازمان
سلامت جهانی و مراقبت بهداشتی	دسترسی به استعداد	هزینه نیروی کار	هزینه تولید
فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات	دسترسی به استعداد	هزینه نیروی کار	تمرکز جغرافیایی
زیرساخت	هزینه نیروی کار	دسترسی به استعداد	هزینه تولید
معادن و فلزات	هزینه نیروی کار	هزینه تولید	دسترسی به استعداد
نفت و گاز	دسترسی به استعداد	هزینه تولید	هزینه نیروی کار
خدمات حرفه‌ای	هزینه نیروی کار	دسترسی به استعداد	تمرکز جغرافیایی

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۴-۳-۱-۴- تغییر در نوع اشتغال

۵۰ درصد شرکت‌ها انتظار دارند که اتوماسیون با توجه به مشخصات شغل کارمندان، موجب کاهش نیروی کار تمام‌وقت آن‌ها تا سال ۲۰۲۲ شود. هرچند ۳۸ درصد انتظار دارند که نیروی کار خود را در وظایف افزایش‌دهنده بهره‌وری توسعه دهند. یک‌چهارم نیز انتظار دارند که اتوماسیون منجر به ایجاد مشاغل جدید در کارشان شود. همچنین این شرکت‌ها اعلام کردند که به دلیل تخصصی شدن کارها، بیشتر از پیمانکار استفاده خواهند کرد. بسیاری از پاسخ‌دهندگان از قصدشان برای به‌کارگیری کارگران در روش‌های انعطاف‌پذیرتر، استفاده از نیروی کار از راه دور و تمرکززدایی عملیات خبر دادند. در شکل۳ ترکیب مشاغل بدون تغییر، جدید و منسوخ شده در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ آورده شده است.



شکل ۳۳: درصد مشاغلی که ثابت باقی می‌مانند، مشاغل جدید و مشاغل منسوخ شده در ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

در مشاغلی که ثابت می‌مانند، مشاغل جدید و مشاغل مازاد بر نیاز آورده شده است. برخی نقش‌ها که در چند ستون ظاهر شده‌اند، نشان‌دهنده این واقعیت هستند که آن‌ها ممکن است در یک صنعت، پایدار یا کاهش یافته ولی مورد تقاضای صنعت دیگر باشند.

جدول ۱۹: نمونه‌هایی از مشاغل بدون تغییر، مشاغل جدید و مشاغل مازاد بر نیاز

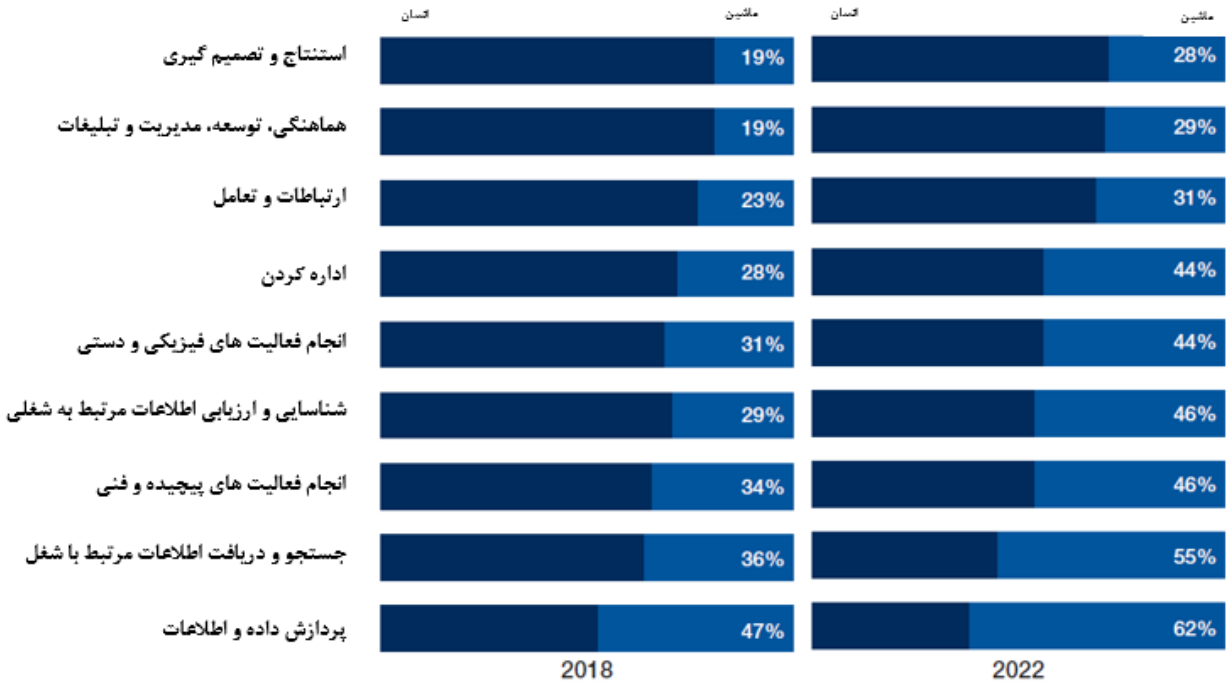
نقش‌های پایدار	نقش‌های جدید	نقش‌های مازاد بر نیاز
مدیران عامل و مدیران اجرایی	تحلیلگران و دانشمندان داده	متصدیان ورود داده‌ها
مدیران عمومی و عملیاتی	متخصصان AI و یادگیری ماشین	حسابرسان، دفترداران و متصدیان پرداخت
توسعه‌دهندگان و تحلیلگران نرم‌افزار و برنامه	مدیران عمومی و عملیاتی	منشی‌های مدیریتی و اجرایی
تحلیلگران و دانشمندان داده	متخصصان عظیم داده	کارگران مونتاژ و کارخانه
متخصصان فروش و بازاریابی	متخصصان تبدیل دیجیتال	کارمندان اطلاعات مشتری و خدمات مشتری
نمایندگان فروش، عمده‌فروشان و تولیدکنندگان، محصولات فنی و علمی	متخصصان فروش و بازاریابی	خدمات تجاری و مدیران سرپرستی
متخصصان منابع انسانی	متخصصان فناوری جدید	حسابداران و حسابرسان
مشاوران مالی و سرمایه‌گذاری	متخصصان توسعه‌سازمانی	منشیان ثبت مواد و سهامداری

نقش‌های پایدار	نقش‌های جدید	نقش‌های مازاد بر نیاز
متخصصان پایگاه داده و شبکه	توسعه‌دهندگان و تحلیلگران نرم‌افزار و برنامه	مدیران عمومی و عملیاتی
متخصصان زنجیره تأمین و لجستیک	سرویس‌های فناوری اطلاعات	منشیان خدمات پستی
متخصصان مدیریت ریسک	متخصصان اتوماسیون فرایند	تحلیلگران مالی
تحلیلگران امنیت اطلاعات	متخصصان نوآوری	صندوقداران و متصدیان بلیت
تحلیلگران مدیریت و سازمان	تحلیلگران امنیت فناوری	مکانیک‌ها و تعمیرکاران ماشین‌آلات
مهندسان الکتروتکنولوژی	متخصصان تجارت الکترونیک و رسانه اجتماعی	نصاب‌ها و تعمیرکاران الکترونیک و مخابراتی
متخصصان توسعه سازمانی	طراحان تجربه کاربری و تعامل انسان-ماشین	صندوقداران بانک و متصدیان مربوطه
اپراتورهای کارخانه فرآوری شیمیایی	متخصصان آموزش و توسعه	رانندگان خودرو، ون و موتورسیکلت
مدرسان دانشگاه و آموزش عالی	متخصصان و مهندسان روباتیک	عامل‌ها و کارگزاران فروش و خرید
کارمندان پذیرش	متخصصان انسان و فرهنگ	کارکنان فروش خانه به خانه، فروشندگان روزنامه و کارکنان مربوطه
مهندسان انرژی و نفت	کارکنان اطلاعات مراجعان و خدمات مشتری	متصدیان آماری، مالی و بیمه
متخصصان و مهندسان روباتیک	طراحان خدمات و راه‌حل‌ها	حقوقدانان
اپراتورهای پالایشگاه‌های نفت و گاز طبیعی	متخصصان بازاریابی و استراتژی دیجیتال	

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۵-۳-۱-۴- مرز جدید انسان- ماشین در فعالیت‌های فعلی

شرکت‌ها انتظار دارند مرز بین انسان و ماشین در مشاغل فعلی بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ تغییر اساسی کند. در سال ۲۰۱۸ به‌طور میانگین ۷۱ درصد از کل زمان فعالیت در ۱۲ صنعت مورد بررسی در این گزارش توسط انسان انجام و ۲۹ درصد توسط ماشین انجام می‌شود. تا سال ۲۰۲۲ این میانگین به ۵۸ درصد برای انسان و ۴۲ درصد برای ماشین خواهد رسید. در سال ۲۰۱۸ از نظر ساعت کاری در هیچ فعالیتی ماشین و الگوریتم بر انسان برتری نداشت، هرچند این روند تا سال ۲۰۲۲ تا حدی متفاوت خواهد شد و مشارکت ماشین‌ها و الگوریتم‌ها در فعالیت‌های خاص به ۵۷ درصد خواهد رسید. به عنوان مثال در سال ۲۰۲۲، ۶۲ درصد از پردازش اطلاعات و داده‌های سازمان‌ها، جستجوی اطلاعات و فعالیت‌های انتقال توسط ماشین‌ها انجام خواهد شد. این مقدار هم‌اکنون ۴۶ درصد است. حتی فعالیت‌هایی مانند ارتباطات و تعاملات انسانی (۲۳ درصد)، هماهنگی، توسعه، مدیریت و مشاوره (۲۰ درصد) و استدلال و تصمیم‌گیری (۱۸ درصد) که همچنان مبتنی بر انسان هستند نیز به سمت خودکارشدن حرکت می‌کنند (به ترتیب ۳۰، ۲۹ و ۲۷ درصد). در شکل۴ نرخ ساعات کاری انسان و ماشین در حوزه‌های مختلف برای سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ آورده شده است.



شکل ۳۴: نرخ ساعات کاری انسان و ماشین در ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۶-۳-۱-۴- چشم‌انداز خالص مثبت برای مشاغل

با این حال، این یافته‌ها با تخمین‌های خوش‌بینانه در مورد شغل‌های در حال رشد و فعالیت‌های در حال ظهور که انتظار می‌رود مشاغل ازدست‌رفته را جایگزین کند، تلطیف می‌شود. تا سال ۲۰۲۲ در تمامی صنایع، رشد در تخصص‌های جدید سهم اشتغال آن‌ها را از ۱۶ به ۲۷ درصد از کل پایگاه نیروی کار شرکت خواهد رساند. این در حالی است که درصد مشاغل در حال کاهش از ۳۱ به ۲۱ خواهد رسید. حدود نیمی از مشاغل فعلی نیز تا ۲۰۲۲ ثابت باقی می‌مانند. درمجموع مشاغلی که بررسی شده‌اند، شامل ۱۵ میلیون کارگر هستند، تخمین‌های فعلی نشان می‌دهد ۰,۹۸ میلیون نفر شغلشان را از دست داده و ۱,۷۴ میلیون نفر شغل جدید ایجاد می‌شود. با برون‌یابی روندها تخمین زده می‌شود که ۷۵ میلیون شغل با تغییر در تقسیم‌کار بین انسان و ماشین جایگزین شده و ۱۳۳ میلیون نقش جدید ایجاد می‌شود. این تخمین‌ها و مفروضات پشت آن‌ها باید با احتیاط در نظر گرفته شوند، چراکه آن‌ها نماینده یک زیرمجموعه از اشتغال در سطح جهانی بوده و برای برجسته کردن انواع استراتژی‌های تسهیل‌کننده انتقال نیروی کار به دنیای جدید کار مفیدند. آن‌ها دو رویکرد موازی و متصل را برای تغییرات در نیروی کار نشان می‌دهند:

۱- کاهش در برخی نقش‌ها و فعالیت‌ها در سطح وسیع به دلیل اتوماسیون یا زائد بودن؛

۲- رشد گسترده محصولات و خدمات جدید که در انطباق با فناوری‌های جدید و دیگر توسعه‌های اقتصادی-اجتماعی مانند افزایش تحصیلات در کشورهای نوظهور و تغییرات جغرافیایی حاصل شده و منجر به مشاغل و فعالیت‌های جدید می‌شود.

۷-۳-۱-۴- ظهور وظایف موردتقاضا[1]

در میان طیف وسیع وظایف تعیین‌شده که تا سال ۲۰۲۲ تقاضایشان افزایش می‌یابد، تحلیلگران و دانشمندان داده، توسعه‌دهندگان نرم‌افزار و برنامه‌های کاربردی، متخصصان تجارت الکترونیک و رسانه‌های اجتماعی، نقش‌هایی هستند که بیشترین استفاده و بهره را از فناوری خواهند برد. مشاغل دیگری که انتظار می‌رود رشد داشته باشند، مشاغلی هستند که مهارت‌های انسانی را اهرم می‌کنند، مانند متخصصان فروش و بازاریابی، آموزش و توسعه، مردم و فرهنگ، متخصصان توسعه سازمانی و مدیران نوآوری. علاوه بر این، بررسی‌ها نشان‌دهنده شواهد قوی از شتاب تقاضا برای گستره‌ای از متخصصان جدید که مرتبط با درک و اهرم‌سازی آخرین تحولات فناوری مانند متخصصان هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، متخصصان کلان‌داده، متخصصان اتوماسیون فرایند، تحلیل‌گران امنیت داده، طراحان واسطه‌های انسان- ماشین و تجربه کاربر، مهندسین رباتیک و متخصصان بلاک‌چین وجود دارد. تقاضای مهارت در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ مقایسه شده است.

جدول ۲۰: مقایسه تقاضای مهارت در ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲، ۱۰ مورد برتر

سال ۲۰۱۸	افزایشی، ۲۰۲۲	کاهشی، ۲۰۲۲
تفکر و نوآوری تحلیلی	تفکر و نوآوری تحلیلی	چابکی، تحمل و دقت دستی
حل مسئله پیچیده	یادگیری فعال و استراتژی‌های یادگیری	قابلیت‌های حافظه، کلامی، شنیداری و فضایی
تفکر و تحلیل انتقادی	خلاقیت، ابتکار و نوآوری	مدیریت منابع مالی، مادی
یادگیری فعال و استراتژی‌های یادگیری	طراحی و برنامه‌ریزی فناوری	نصب و تعمیر و نگهداری فناوری
خلاقیت، ابتکار و نوآوری	تفکر و تجزیه‌وتحلیل انتقادی	خواندن، نوشتن، ریاضی و گوش دادن فعال
توجه به جزئیات، قابل اعتماد بودن	حل مسئله پیچیده	مدیریت پرسنل
هوش عاطفی	راهبری و تأثیرگذاری اجتماعی	کنترل کیفیت و هشیاری ایمنی
استدلال، حل مسئله و ایده پردازی	هوش عاطفی	هماهنگی و مدیریت زمان
راهبری و تأثیرگذاری اجتماعی	استدلال، حل مسئله و ایده پردازی	قابلیت‌های دیداری، شنیداری و گفتاری
هماهنگی و مدیریت زمان	تجزیه‌وتحلیل و ارزیابی سیستم	استفاده، پایش و کنترل فناوری

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۸-۳-۱-۴- رشد بی‌ثباتی مهارت‌ها

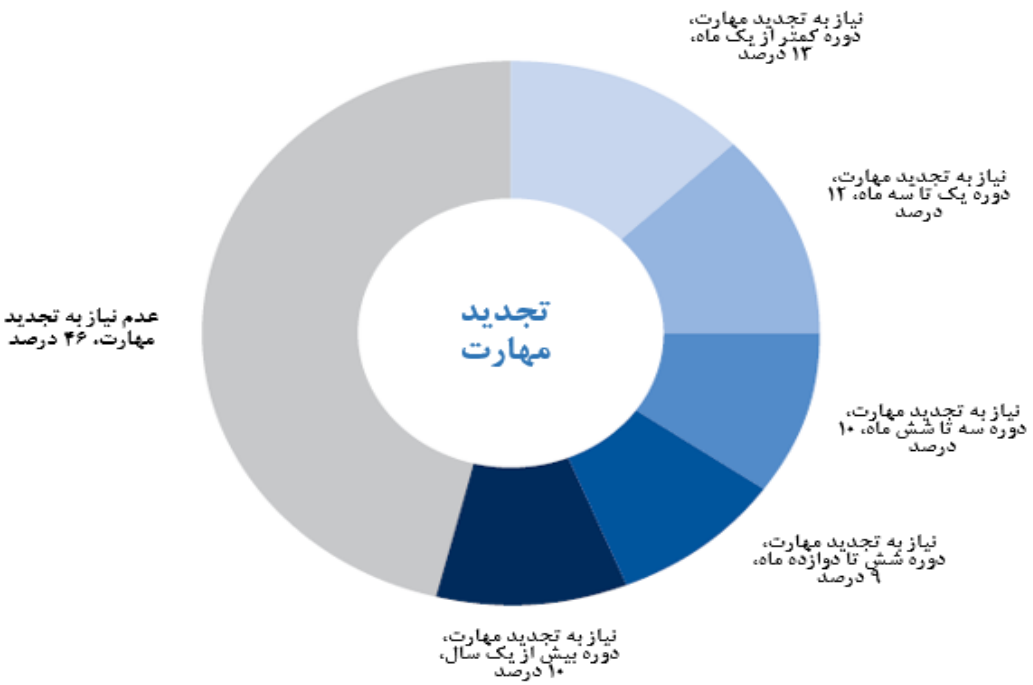
موج فناوری‌های جدید و روند تحول الگوهای کسب‌وکار و تغییر در تقسیم‌کار بین کارگر و ماشین موجب تحول پروفایل مشاغل فعلی شده است. اکثر کارکنان مشارکت‌کننده در این گزارش بیان داشتند که تا سال ۲۰۲۲ مهارت مورد نیاز برای انجام بسیاری از مشاغل، تغییرات اساسی خواهد داشت. انتظار می‌رود که میانگین

1. In-demand

جهانی ثبات مهارت (بخشی از مهارت‌های پایه‌ای که برای انجام یک شغل ثابت مورد نیاز است) به ۵۸ درصد برسد که نشان‌دهنده تغییر ۴۲ درصدی در میانگین مهارت‌های کار بین بازه سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ است.

۹-۳-۱-۴- ضرورت تجدید مهارت‌ها

تا سال ۲۰۲۲، حداقل ۵۴ درصد از کارکنان نیاز به افزایش یا آموزش مهارت دارند که حدود ۳۵ درصد از آن‌ها نیازمند آموزش‌های تکمیلی تا شش ماه، ۹ درصد دوره یادگیری مجدد مهارت ۶ تا ۱۲ ماهه و ۱۰ درصد نیازمند آموزش‌های مهارتی بیشتر از یک سال دارند. مهارت‌هایی که تا سال ۲۰۲۲ نیازمند رشد هستند شامل تفکر تحلیل‌گر، نوآوری، یادگیری فعال و استراتژی‌های یادگیری است. افزایش اهمیت مهارت‌هایی مانند برنامه-نویسی و طراحی فناوری، نشان‌دهنده تقاضای فزاینده برای انواع مختلف صلاحیت‌های فناورانه است. تخصص در فناوری‌های جدید تنها بخشی از معادله مهارت سال ۲۰۲۲ است. ارزش مهارت‌های انسانی مانند خلاقیت، ابتکار، تفکر خلاق، تحریک و مذاکره نیز حفظ یا افزایش می‌یابد. در مواردی همچون هوش هیجانی، رهبری و تأثیرگذاری اجتماعی نیز شاهد افزایش تقاضا خواهیم بود. در شکل ۵ میانگین نیاز به آموزش مجدد مهارت‌ها در کل کارکنان تا سال ۲۰۲۲ آورده شده است.



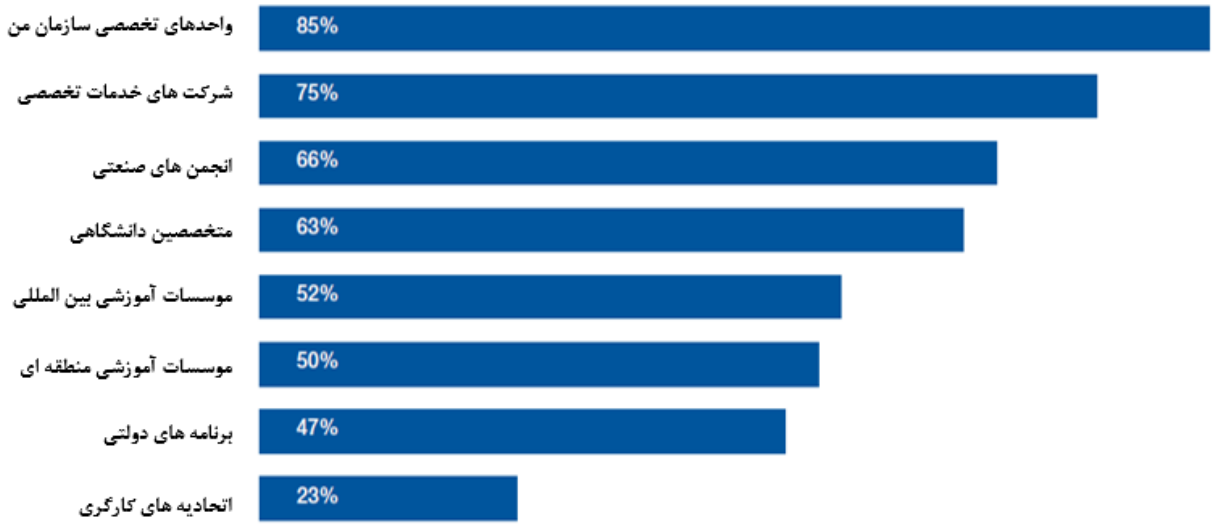
شکل ۳۵: میانگین نیاز به آموزش مجدد مهارت‌ها در کل کارکنان تا ۲۰۲۲

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۱۰-۳-۱-۴- استراتژی‌های فعلی برای مقابله با شکاف مهارتی

شرکت‌ها سه استراتژی آینده را برای مدیریت شکاف مهارتی ناشی از پذیرش فناوری‌های جدید گسترش داده‌اند. آن‌ها انتظار دارند که کارمندان تمام‌وقت جدیدی که دارای مهارت‌های مرتبط با فناوری‌های جدید

هستند را به خدمت گیرند؛ به دنبال انجام خودکار وظایف کاری هستند؛ و به دنبال حفظ کارکنان فعلی هستند. یک‌چهارم از شرکت‌ها تمایل به حفظ کارکنان فعلی را دارند و دوسوم آن‌ها انتظار دارند کارکنان مهارت‌های خود را متناسب با دوره تغییرات شغلی افزایش دهند. بین نصف تا دوسوم آن‌ها مایل به حرکت به سمت برون‌سپاری، کارکنان موقت و افراد غیروابسته برای پر کردن شکاف مهارتی هستند. شکل ۶ کارمندانی که شرکت‌ها ترجیح می‌دهند برای مدیریت فرایند همگرایی فناوری‌های جدید و تحول نیروی کار از آن‌ها کمک گیرند، آورده شده است.



شکل ۳۶: کارمندانی که برای مدیریت فرایند همگرایی فناوری‌های جدید و تحول نیروی کار ترجیح داده می‌شوند

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

استراتژی‌هایی به‌منظور مقابله با چالش تغییر نیازهای مهارتی مدنظر شرکت‌ها در شکل ۷ آورده شده است.

شکل ۳۷: میزان تمایل به استراتژی‌های مقابله با تغییرات نیازهای مهارتی در شرکت‌ها

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۲-۴- یادگیری مجدد مهارت و بالا بردن آن کافی نیست

کارفرماها نشان داده‌اند که اولویت برنامه‌های افزایش مهارت خود را بر روی کارمندانی که نقش‌های باارزش را در مسیر تقویت ظرفیت استراتژیک سازمان بر عهده دارد، تنظیم می‌کنند.

حلقه بازخوردی پیچیده‌ای بین فناوری، مشاغل و مهارت‌های جدید وجود دارد. فناوری‌های جدید می‌توانند موجب رشد کسب‌وکار، ایجاد شغل و تقاضا برای مهارت متخصصان شوند، اما در صورتی‌که آن وظیفه منسوخ یا خودکار شود، ممکن است کل نقش از بین برود. شکاف مهارتی بین کارگرها و بین رهبران سازمان‌ها می‌تواند تمایل به خودکارسازی را در برخی موارد افزایش دهد یا گاهی مانعی برای پذیرش فناوری‌های جدید و به دنبال آن، جلوگیری از رشد شود.

یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده نیاز به استراتژی تقویت جامع با رویکرد خودکارسازی در برخی وظایف شغلی برای تکمیل و تقویت نیروی انسانی بوده تا درنهایت کارکنان را تأمین و تقویت کرده تا پتانسیل کامل خود را به نمایش بگذارند. چراکه یک استراتژی تقویت، افق وسیع‌تری از فعالیت‌های ایجاد ارزش را در نظر می‌گیرد که می‌تواند توسط کارگران انسانی در تکمیل فناوری انجام شود، خصوصاً زمانی که آن‌ها نیاز به انجام وظایف منظم و تکراری ندارند و نیازمند استفاده از استعدادهای انسانی هستند.

با این حال، برای باز شدن این دیدگاه مثبت، کارگران نیاز به داشتن مهارت‌های مناسب برای پیشرفت در محیط‌های کاری آینده دارند و باید توانایی ادامه مهارت‌آموزی در سراسر زندگی را داشته باشند. ایجاد یک سیستم یادگیری مادام‌العمر در داخل سازمان، سرمایه‌گذاری بر روی سرمایه انسانی و همکاری با دیگر ذینفعان بر روی استراتژی‌های نیروی کار از الزامات کلیدی کسب‌وکار بوده و برای رشد میان‌مدت و بلندمدت سازمان‌ها ضروری و همچنین کمک مهمی در جهت پایداری اجتماعی است. یادگیری چابک نیز باید بخشی از انتظارات از نیروی کار باشد. درنهایت، سیاست‌گذاران، تنظیم‌گران و مربیان باید نقش اساسی در کمک به افراد به دنبال بازآموزی مهارت یا یادگیری مهارت‌های نوین ایفا کرده و بر روی پیشرفت یادگیرندگان چابک جدید با تمرکز بر پیشرفت تحصیلی و سیستم‌های آموزشی و همچنین به‌روزرسانی سیاست کار برای مطابقت با واقعیات انقلاب صنعتی چهارم سرمایه‌گذاری کنند.

۱-۲-۴- جمع‌بندی

خلاصه مطالب این گزارش‌ها در جدول ۲۱ آورده شده است.

جدول ۲۱: خلاصه مطالب فصل

گزارش	مؤسسه	ویژگی‌ها	فناوری‌های در نظر گرفته‌شده
آینده کار/ فناوری ۲۰۵۰، مطالعه دلفی آنلاین	پروژه هزاره	در این گزارش با استفاده از دلفی آنلاین سه سناریوی نهایی برای آینده مشاغل و فناوری به همراه ویژگی هریک پیش‌بینی‌شده است: سناریوی ۱: پیچیدگی و ترکیبی از موارد مختلف سناریوی ۲: آینده نابسامان اقتصادی، سیاسی سناریوی ۳: اگر انسان‌ها آزاد بودند؛ اقتصاد خودشکوفایی	• هوش مصنوعی • بیولوژیکی سینتیک • علوم محاسبات • فناوری نانو • محاسبات کوانتوم • چاپگر سه‌بعدی و چهاربعدی • اینترنت اشیا • خودروهای خودران • رباتیک • همگرایی فناوری‌ها
فناوری‌های نوین و مشاغل آینده	سازمان همکاری و توسعه اقتصادی	تمرکز این گزارش بر تأثیر تحول دیجیتال بر مشاغل و بهره‌وری است. تحول فناوری اشکال مختلفی از تغییرات ایجاد کرده است: ۱- تغییر در تقاضای مهارت نیروی کار ۲- تغییر ساختار بازار ۳- تغییر مدل‌های کسب‌وکار ۴- الگوهای جدید تجارت و سرمایه‌گذاری ۵- تهدیدات جدید برای امنیت کسب‌وکارها ۶- چالش‌های اجتماعی و سیاسی در این گزارش خطر اتوماسیون برای مشاغل مختلف و با تفکیک جنسیت آورده شده است.	• هوش مصنوعی • اینترنت اشیا • زنجیره بلوکی: مبادلات مالی، سیستم‌های ثبت و تأیید و قراردادهای هوشمند • محاسبات کوانتومی • ابزارهای ذخیره‌سازی انرژی • چاپگرهای سه‌بعدی • تحلیل کلان‌داده • فناوری عصبی در این گزارش تنها تأثیر سه فناوری اول بررسی شده است.
گزارش مشاغل آینده	مجمع جهانی اقتصاد	افق این گزارش سال ۲۰۲۲ است. این گزارش تنها به بررسی سناریوی محتمل ۲۰۲۲ پرداخته است.	فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم ازجمله: • فناوری اینترنت پرسرعت

		در این گزارش چندین فناوری به‌عنوان پیشران‌های تغییر عنوان شده‌اند. علاوه بر این موارد زیر نیز در گزارش بررسی‌شده است: • روندهای استفاده از ربات • تغییر در جغرافیای تولید، توزیع و زنجیره ارزش • تغییر در نوع مشاغل • مرز جدید انسان-ماشین در فعالیت‌های فعلی • چشم‌انداز خالص مثبت برای مشاغل • ظهور وظایف مورد تقاضا • رشد بی‌ثباتی مهارت‌ها • ضرورت تجدید مهارت‌ها • استراتژی‌ها برای مقابله با شکاف مهارتی	• هوش مصنوعی • کلان‌داده • فناوری‌های ابری • اینترنت اشیاء • واقعیت افزوده و مجازی

۵- تحول فناوری و آینده تولید

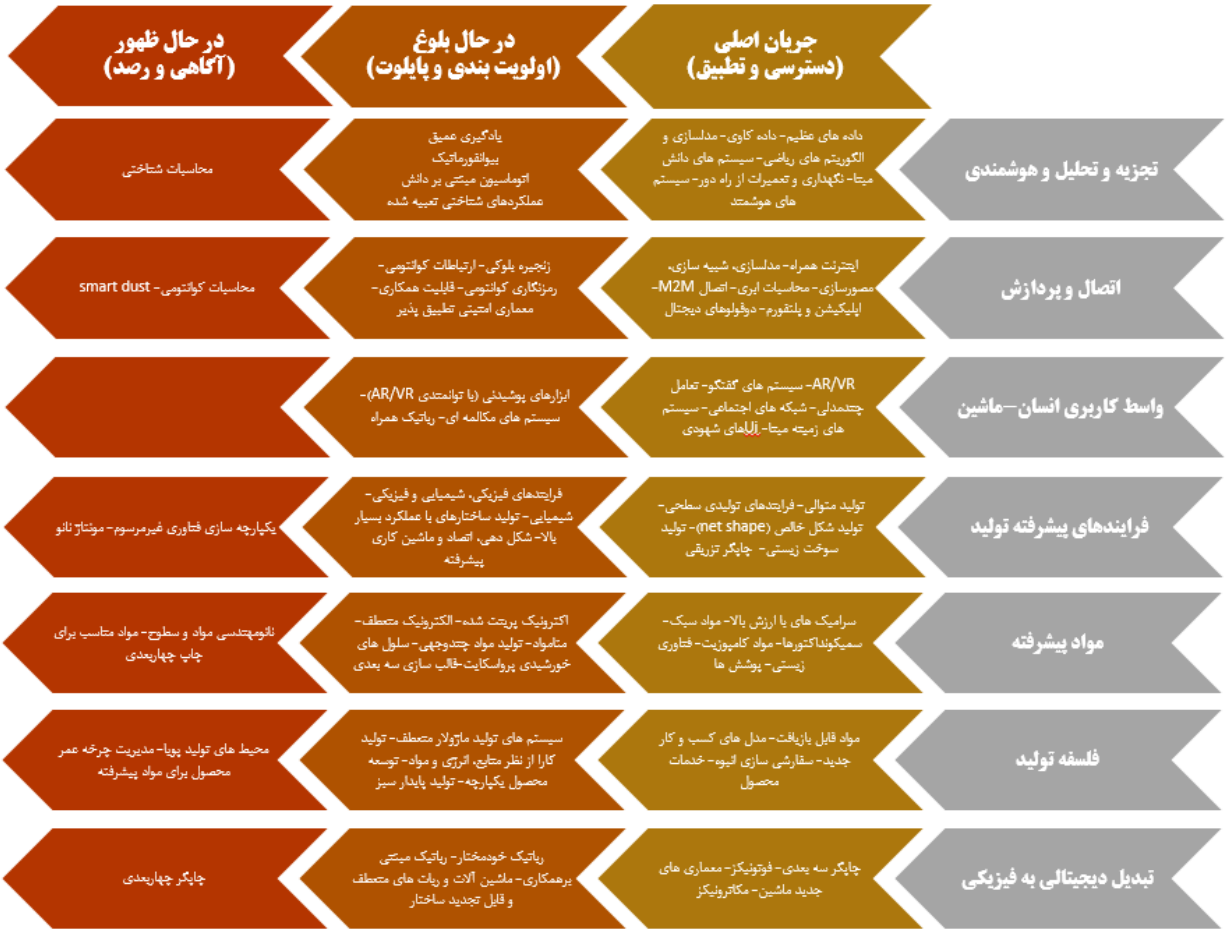
در این قسمت ارتباط بین تحولات فناوری و تولید، مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۵- فناوری و نوآوری برای آینده تولید: شتاب بخشیدن به ایجاد ارزش[۱]

در این بخش خلاصه‌ای از بینش کلیدی و درک از پنج فناوری با بیشترین تأثیر در آینده تولید و نقش دولت‌ها، شرکت‌ها و دانشگاه‌ها در توسعه فناوری و نوآوری بیان شده است.

در شکل ۸ تعداد ۶۰ فناوری و منطق تأثیرگذار بر سیستم‌های تولیدی فعلی آورده شده است. این فناوری‌ها شرکت‌ها را وادار ساخته تا در مورد تمام کارهایی که انجام می‌دهند، مجدداً تفکر کرده و دولت‌ها را وادار می‌کند تا مزیت‌های رقابتی ملی و استراتژی‌های توسعه خود را مورد ارزیابی مجدد قرار دهند. مدیران شرکت‌های خصوصی که از این فناوری‌ها استقبال کرده و تحولات سریعی را صورت دهند، می‌توانند شرکت را به سمت موفقیت هدایت کنند. رهبران دولتی که بتوانند سیاست‌های درست را تنظیم کرده، این فناوری‌ها را توسعه و اشاعه داده و نیروی کار، زیرساخت‌ها و زنجیره‌های تأمین را برای آن تغییرات آماده سازند، اقتصادشان را در مسیر رشد قرار خواهند داد.

۱. این بخش برگرفته از گزارش سال ۲۰۱۷ مجمع جهانی اقتصاد است.



شکل ۳۸: فناوری‌های اصلی، در حال بلوغ و نوظهور مرتبط با تولید

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

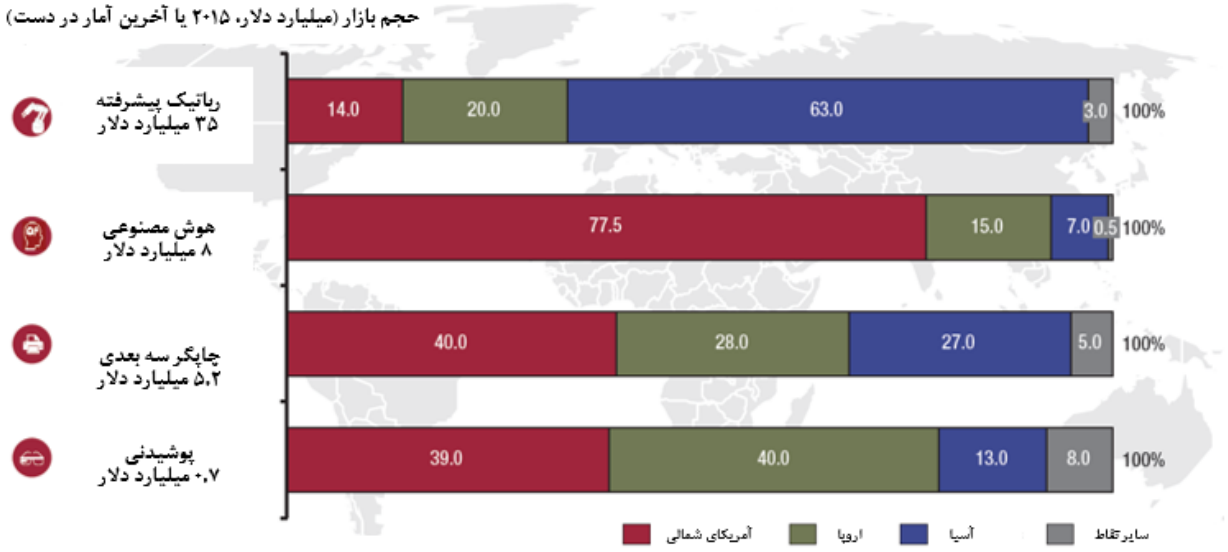
در سال ۲۰۱۶، پنج فناوری محل تمرکز شامل اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، چاپگر سه‌بعدی، رباتیک پیشرفته و فناوری‌های پوشیدنی (شامل واقعیت مجازی و افزوده) بود. این فناوری‌ها مکان و چگونگی طراحی، تولید، مونتاژ، توزیع، مصرف، خدمات پس از فروش، دور انداختن و حتی بازیافت محصولات را متحول خواهند کرد. آن‌ها بر تمام مراحل فرایند تولید و درنتیجه تقاضاهای مصرف‌کنندگان، فرایندهای کارخانه، مدیریت زنجیره تأمین و دسترسی کشورها به زنجیره ارزش جهانی تأثیرگذار بوده و آن‌ها را تغییر خواهند داد.

این پنج فناوری در مراحل مختلفی از آمادگی[۱] و پذیرش[۲] هستند و میزان عدم اطمینان در مورد جهت‌گیری آینده آن‌ها نیز متفاوت است. برخی از این فناوری‌ها مانند رباتیک پیشرفته (بازار ۳۵ میلیارد دلاری) و چاپگرهای سه‌بعدی (بازار ۵ میلیارد دلاری) تاریخچه صنعتی گسترده‌ای دارند و در برخی صنایع و مناطق در نوک پیکان مسیر پذیرش قرار دارند. فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی و فناوری‌های پوشیدنی مراحل نوزادی

۱. Readiness
۲. Adoption

را سپری می‌کنند، اما استفاده‌های امیدوارکننده‌ای از آن‌ها مشاهده شده است. در حال حاضر آمریکای شمالی، اروپا و برخی کشورهای آسیایی (کره جنوبی، چین و ژاپن) در پذیرش فناوری، پیشتاز هستند. در سال ۲۰۱۵ آمریکای شمالی و اروپا ۸۰ درصد بازار فناوری‌های پوشیدنی و ۷۰ درصد بازار چاپگرهای سه‌بعدی را در اختیار داشتند. به‌استثنای فناوری‌های پوشیدنی، فناوری‌های امروزی به‌شدت بر صنایع خاصی مانند خودروسازی، الکترونیک و هوافضا متمرکز هستند. فناوری‌ها تمام صنایع را به یک شکل متحول نمی‌کنند و حتی در یک صنعت خاص نیز اثرات متفاوتی را بر یک عملکرد خاص دارد.

میزان مقبولیت و پذیرش چهار فناوری منتخب در مناطق مختلف جهان در شکل ۹ آورده شده است.

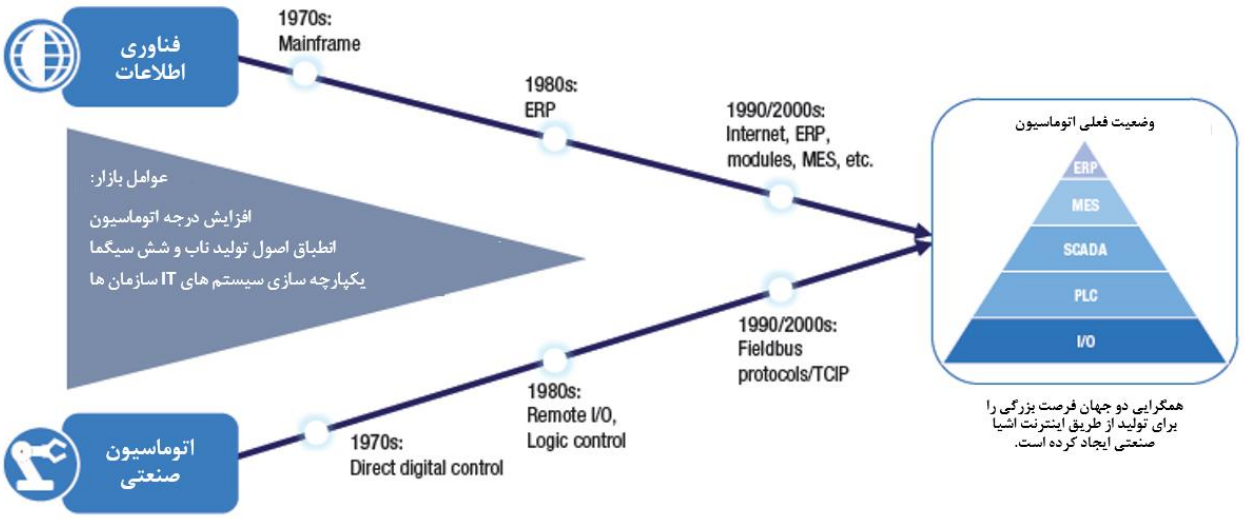


شکل ۳۹: میزان پذیرش فناوری در مناطق مختلف جهان

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

این فناوری را اغلب به‌عنوان یک انقلاب می‌شناسند، اما در حقیقت تکاملی از فناوری‌هایی است که بیش از ۱۵ سال قبل توسعه یافته‌اند. نشان‌دهنده همگرایی فناوری اطلاعات و اتوماسیون صنایع در دهه‌های اخیر است که فرصت بزرگی برای استفاده از اینترنت اشیاء در تولید ایجاد کرده است. فناوری‌های عملیات و اتوماسیون ترکیب می‌شوند و پیش‌بینی می‌شود با بهره‌گیری از سنسورها، وسایل متصل و ابری صنعت فناوری اطلاعات را در سال ۲۰۲۵ بیش از ۸۰ میلیارد نسبت به ۱۷ میلیارد امروزی افزایش دهند. فرصت‌هایی که برای تولیدکننده به وجود می‌آید شامل کنترل هوشمند دارایی‌ها، مدیریت لحظه‌ای و هوشمند عملکرد دارایی‌ها، محصولات و خدمات متصل است. چالش‌های امنیت سایبری و قابلیت همکاری[۱] مانع اشتیاق تولیدکنندگان به استفاده از اینترنت اشیاء در کارخانه و زنجیره تأمین شده است، به‌طوری که ۸۵ درصد تجهیزات کماکان متصل نخواهند بود.

۱. Interoperability

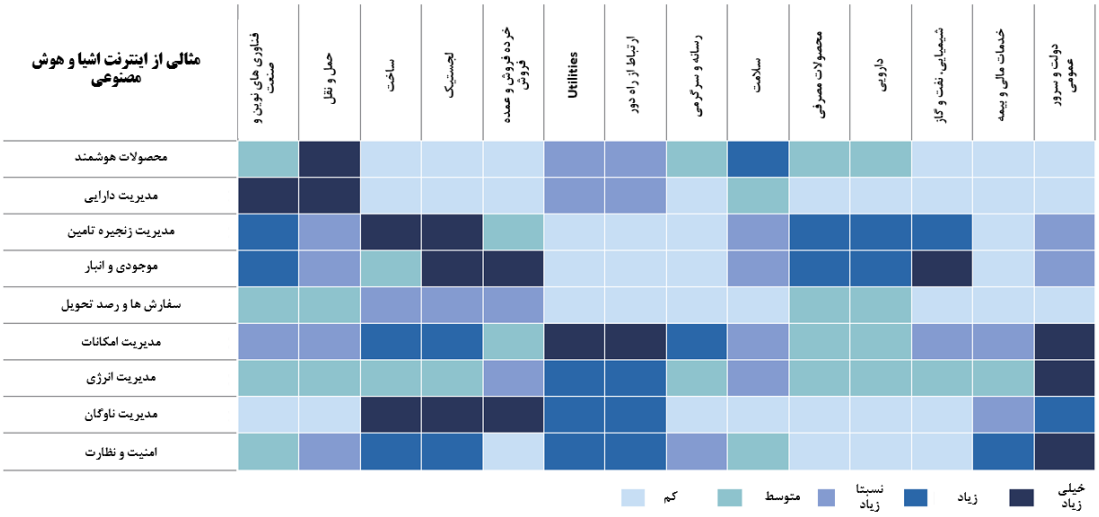


شکل ۴۰: همگرایی فناوری اطلاعات و فناوری عملیات تا رسیدن به اینترنت اشیا

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۱-۱-۵- هوش مصنوعی

این فناوری تولیدکننده را قادر می‌سازد تا از داده‌های عظیمی که کارخانه‌ها، عملیات و مصرف‌کنندگان تولید می‌کنند، استفاده کند و این داده‌ها را تبدیل به تصمیم کند. امروزه ۷۰ درصد داده‌های تولیدشده بدون استفاده باقی می‌مانند. با استفاده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء، تولیدکنندگان می‌توانند فرایندهای کسب‌وکار را هماهنگ و مؤثر کنند. امیدوارکننده‌ترین فرصتی که با اعمال هوش مصنوعی در سیستم‌های تولیدی به وجود می‌آید حوزه‌های مدیریت کیفیت، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه و بهینه‌سازی زنجیره تأمین است. محصولات ارتقاء یافته با هوش مصنوعی، یک عامل تحول جهت ایجاد ارزش برای مشتری هستند و تولیدکننده‌ها باید بتوانند شبکه‌های ارزش مورد نیاز برای ارائه آن را آماده و هماهنگ کنند. در شکل ۴۱ تأثیر هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء بر حوزه‌های مختلف زنجیره تأمین آورده شده است.



شکل ۴۱: تأثیر هوش مصنوعی و اینترنت اشیا بر حوزه‌های مختلف زنجیره تأمین

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

۲-۱-۵- رباتیک پیشرفته

این فناوری در حال حاضر ۱۰ درصد از فعالیت‌های تولید را خودکار کرده است. معمولاً ربات‌ها به دلایل ایمنی جدای از انسان‌ها فعالیت می‌کنند، اما نسل جدید آن‌ها در شیفت‌های ۲۴ ساعته در کنار انسان کار خواهد کرد. افزایش بازگشت سرمایه، تقاضای سیری‌ناپذیر چین و پیشرفت‌های همکاری انسان-ربات، پذیرش این فناوری را در سال ۲۰۳۰ به ۲۵ تا ۴۵ درصد فعالیت‌های تولیدی خواهد رساند. پذیرش رباتیک پیشرفته و هوش مصنوعی می‌تواند بهره‌وری بسیاری از صنایع را تا ۳۰ درصد افزایش، هزینه‌های نیروی انسانی را بین ۱۸ تا ۳۳ درصد کاهش و تا سال ۲۰۲۵ تأثیر مثبت اقتصادی آن بین ۶۰۰ میلیارد تا ۱۲۰۰ میلیارد خواهد

بود.

۴۲ نوآوری‌ها در حوزه رباتیک پیشرفته آورده شده است.

شکل ۴۲: نوآوری‌ها در حوزه روباتیک پیشرفته

منبع: فدراسیون بین‌المللی روباتیک، روباتیک جهانی و روبات‌های صنعتی ۲۰۱۵

* رنگ آبی: قابلیت‌های در حال رشد رنگ سبز: قابلیت‌های نوظهور

۳–۱–۵- فناوری‌های پوشیدنی

این فناوری شامل واقعیت مجازی و افزودنی، رشد سریعی را تجربه خواهد کرد و با افزایش راحتی، عملکرد و بلوغ تجهیزات آن، پیش‌بینی می‌شود بازار آن از ۷۰۰ میلیون دلار در سال ۲۰۱۶ به ۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ برسد. برنامه‌های پایلوت شرکت‌های پیشرو، نشان‌دهنده افزایش حدود ۲۵ درصدی در بهره‌وری عملیات و کاهش شدید زمان مورد نیاز برای آموزش و افزایش مهارت است (برای مثال شرکت کشتی‌رانی DHL زمان آموزش را از ۲ هفته به یک ساعت رساند)، همچنین ایمنی و سلامت را افزایش می‌دهند. این فناوری می‌تواند با فناوری اینترنت اشیاء تلفیق شود.

ارزش ایجادشده توسط فناوری‌های پوشیدنی، واقعیت افزوده واقعیت مجازی در تولید در شکل ۴۳ آورده شده است.

ابعاد ارزش	نشانگان زنجیره ارزش
بهبود بهره‌وری: پوشیدنی‌ها منجر به بهبود در بهره‌وری از طریق ارتباطات، دیجیتالی کردن داده‌ها و ادغام با IoT می‌شوند	امکان تأثیرات انقلابی در صنایع لجستیک و انبارداری، پزشکی، نظامی، ساخت و تولید و بسیاری صنایع دیگر
توسعه سلامت و ایمنی: پوشیدنی‌های سلامتی و تناسب اندام همراه با IoT منجر به بهبود سلامت، حوادث ایمنی کمتر و کاهش مخارج بیمه می‌شود	فراهم کردن فرصتی شگرف برای کاهش هزینه‌های روزافزون سلامت و پزشکی و در عین حال کاهش حوادث ایمنی
تغییر کمتر کیفیت: AR و دستگاه‌های پوشیدنی منجر به کاهش تغییر کیفیت از طریق قابلیت‌هایی نظیر ارزیابی از راه دور، تصحیح خودکار خطا و دستورات/مستندات زنده گام‌به‌گام می‌شود.	بهبود کیفیت که منجر به کاهش زمان انجام کار، افزایش رضایت مشتری و بهبود هزینه و قابلیت اطمینان می‌شود.
ارتقای آموزش: پیشرفت‌های واقعیت مجازی و پوشیدنی اجازه گسترش سریع فرصت‌های آموزشی از حوزه‌های پزشکی و نظامی به کاربردهای وسیع‌تر صنعتی را خواهد داد	باعث کاهش قابل توجه هزینه‌های آموزش، افزایش اثربخشی آموزش برای مشاغل مهارتی و در برخی موارد ساده شدن آموزش فقط به خود دستگاه می‌شود.
تکمیل و تقویت طراحی: واقعیت مجازی بخش جدایی‌ناپذیری از روش طراحی و طراحی برای قابلیت ساخت است.	امکان کاهش قابل سنجش زمان ارائه به بازار شدن محصولات جدید و اعمال تغییرات طرح ساخت و تولید در زمان واقعی را فراهم می‌آورد.

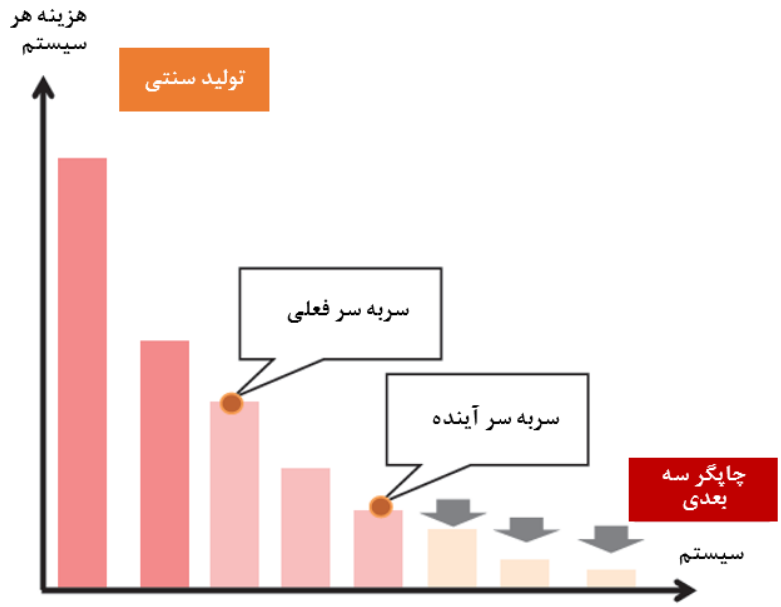
شکل ۴۳: ارزش‌های ایجادشده توسط فناوری‌های پوشیدنی ازجمله واقعیت افزوده واقعیت مجازی

منبع: کیرنی، کارگاه نشست جهانی اقتصاد، نوامبر ۲۰۱۶؛ مصاحبه‌های کارشناسان

۴-۱-۵- چاپگر سه‌بعدی

این فناوری به همراه پیشرفت‌های اخیر در مواد چاپگرهای سه‌بعدی، منجر به انقلابی در فرایندهای تولیدی شده است. در کوتاه‌مدت، این فناوری بر صنایعی که سفارشی‌سازی و زمان تا بازار برای آن‌ها اهمیت دارد (به‌ویژه صنایع با قطعات کم‌حجم و با ارزش مانند هوافضا و مراقبت‌های بهداشتی) تأثیر بسیاری خواهد گذاشت. برای حال و آینده قابل پیش‌بینی، صنایع چاپ سه‌بعدی جایگزین تولید انبوه متعارف و در طولانی‌مدت جایگزین تولید انبوه نزدیک به مصرف‌کننده نخواهد شد.

هزینه تولید سنتی در برابر تولید افزودنی[1] (چاپگر سه‌بعدی) درآورده شده است. چاپگرهای سه‌بعدی با سیستم‌های کف کارگاه یکپارچه شده به‌آرامی نقطه سود و زیان خود را در برابر سیستم‌های سنتی بهبود می‌بخشد.



شکل ۴۴: تولید سنتی در برابر تولید با چاپگرهای سه‌بعدی

۵-۱-۵- همگرایی فناوری‌ها: فرصت‌هایی جدید برای ایجاد ارزش

در این قسمت هر فناوری به‌صورت جداگانه بررسی نمی‌شود، بلکه تأثیر همگرایی فناوری‌ها بر تمام سیستم‌های تولیدی بررسی شده است. ما به فناوری‌ها از دید توانمندی آن‌ها برای حل مسائل اجتماعی وسیع‌تر می‌نگریم. این بخش بینش لازم برای چگونگی همگرایی و ایجاد ارزش در پنج سطح کارخانه، شرکت، صنعت، جامعه و فرد را ارائه می‌دهد. در کوتاه‌مدت، فناوری‌های جدید تولید در کنار فناوری‌های قدیمی کار خواهد کرد و موجب تکمیل و بهبود آن‌ها خواهد شد. فناوری‌های تخریب‌کننده، مزایایی فراتر از سیستم‌های تولید سنتی دارند: شخصی‌سازی انبوه، توانمندی‌های جدید برای ایجاد محصولاتی بدون نیاز به هزینه بالای سرمایه‌گذاری، زمان تحویل کم و سرعت بالاتر، یکپارچه‌سازی و ساده‌سازی زنجیره تأمین و کاهش ضایعات و تلفات.

ترکیب و اتصال پنج فناوری کلیدی فرصت‌هایی را به وجود می‌آورد و مکانیسم‌های قدیمی را تغییر می‌دهد تا ارزش را در ۱۳ مسیر مهم ایجاد و توزیع کند. ارزش ایجادشده در اثر همگرایی فناوری‌ها در شکل ۵ آورده شده است.

۱. Additive manufacturing

شکل ۴۵: ارزش‌های ایجادشده ناشی از همگرایی فناوری‌ها

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

ارزش‌ها در سطح کارخانه: فناوری‌ها فرصت‌هایی را برای ایجاد ارزش به وجود می‌آورند که کارخانه‌های آینده را منعطف و بسیار کارا می‌سازد. همگرایی فناوری، کارایی را افزایش می‌دهند و هزینه‌ها را در کل عملیات تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهند که این کاهش ناشی از افزایش ۱۰ درصدی کارایی عملیات، کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی هزینه موجودی، کاهش ۲۵ درصدی بسته‌بندی مشتری، کاهش ۲۵ درصدی هزینه بهبود ایمنی، ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش مصرف انرژی و ۴۰ درصد کاهش مصرف آب است. علاوه بر این، کارخانه می‌تواند دوره‌های تولید را به دسته‌های کوچک‌تر کاهش دهد، در حالی‌که کیفیت بالا و هزینه تولید پایین باقی بماند. با یکپارچه‌سازی اینترنت اشیا، ابزارهای تحلیل، پوشیدنی و چاپگر سه‌بعدی، کارخانه‌ها می‌توانند توسعه محصول و چرخه تولید را فشرده کرده و زمان تحویل را بین ۲۰ تا ۵۰ درصد کاهش دهند و نسبت به اتفاقات بیرونی پاسخگوتر باشند.

ویژگی‌های کارخانه‌های منعطف و بسیار کارآمد آینده در شکل ۶ آورده شده است.

شکل ۴۶: ویژگی‌های کارخانه‌های منعطف و بسیار کارآمد آینده

منبع: مجمع جهانی اقتصاد

ارزش برای شرکت‌ها: فناوری‌ها با افزودن چهار توانمندی موجب ایجاد ارزش می‌شوند:

- مهندسی و نوآوری هوشمند؛
- تنظیم و هماهنگی دیجیتال زنجیره تأمین؛
- ارسال محصولات هوشمند و شخصی‌سازی‌شده؛
- نوآوری مدل‌های کسب‌وکار.

تأثیر اقتصادی خدمت‌دهی به مصرف‌کنندگان با استفاده از محصولات هوشمند و شخصی‌سازی‌شده شگرف است، چراکه سفارش‌های شخصی‌سازی‌شده محصولات فیزیکی و دیجیتالی تا ۵۰ درصد مخارج مصرف‌کننده را تا سال ۲۰۳۰ شامل می‌شود. سود محصولات هوشمند، متصل و شخصی‌سازی‌شده جدید و نوآوری مدل‌های کسب‌وکار جدید مانند پرداخت بر اساس عملکرد می‌تواند درآمدهای شرکت و صنایع جانبی را ۲۵ درصد افزایش دهد. فناوری‌های دیجیتال با استفاده از یکپارچه‌سازی عمودی موجب هماهنگی زنجیره تأمین و کاهش ریسک می‌شود. این یکپارچه‌سازی نیاز دارد تا سازمان‌ها استراتژی و فلسفه رهبری خود را با استقبال از روش‌های دیجیتال جدید برای تفکر آماده کنند و خود را برای خطرات سایبری که یکپارچه‌سازی ایجاد می‌کند، آماده سازند.

ارزش برای صنایع: حال که مشخصات چهار صنعت شامل خودروسازی، شیمیایی، داروسازی و مصرفی متفاوت است، فناوری‌ها سه منبع ارزش ایجاد خواهند کرد:

- در طرف تقاضا، آن‌ها میزان تقاضای کل را افزایش داده و حوزه‌های جدید درآمد و سود را ایجاد می‌کنند.
- در طرف تأمین، فناوری‌ها کارایی و بهره‌وری صنایع را افزایش خواهند داد.

درنهایت، فناوری‌ها اجازه تجارب و ارزش‌های جدیدی می‌دهند که رشد و کارایی را به ارمغان می‌آورد. فرایندهای داده‌محور در طول چهار سال آینده با بهبود زنجیره‌های تولید ۳۷۱ میلیارد دلار ارزش صنعتی خالص برای تولید ایجاد خواهند کرد. با کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و افزایش انعطاف‌پذیری، فناوری‌ها معادله اقتصادی مکان‌های تولید را تغییر می‌دهند و به کارخانه‌ها اجازه می‌دهند که به مکان تقاضا نزدیک‌تر شوند. در بسیاری از موارد، فناوری‌ها تغییرات اساسی در اشتغال ایجاد خواهند کرد و معادلاتی که برای سال‌ها در تارک صنایع سنتی وجود داشت را از بین می‌برند. این تغییر برای زنجیره‌های ارزش سنتی هنگامی روی می‌دهد که چندین زنجیره برای ایجاد خدمات و ارزش‌های جدید برای مصرف‌کننده همگرا شوند و در اینجاست که واسطه‌ها خود را در خطر می‌بینند، چراکه تازه‌واردهایی با هزینه تراکنش پایین و ارائه ارزش‌های جدید وارد شده‌اند. در جدول ۲۲ پیشران‌های فناورانه برای ایجاد ارزش در صنایع آورده شده است.

جدول ۲۲: پیشران‌های فناورانه برای ایجاد ارزش در صنایع مختلف

خودرویی	شیمیایی	داروسازی	مصرفی
infotainment خودرو	سرویس‌های Molecules plus	پزشکی شخصی‌سازی شده	داده به‌عنوان دارایی
سرویس‌های اعلام الکترونیک/ تحرک	سرویس‌های مبتنی بر نتایج	مراقبت مبتنی بر نتایج	داده برای بهبود تجربه
بیمه بر اساس مصرف	رشد فناوری پاک (مثلاً باتری‌ها)	پوشیدنی‌های هوشمند	
حمل‌ونقل چندوجهی		پزشکی دیجیتال-«تراشه روی قرص»	
سرویس‌های مبتنی بر تلماتیک			
ساخت و تولید افزایشی	سیستم‌های اتوماسیون فرایند	تولید پیوسته	تغییر شکل فروشگاه فیزیکی
خرده‌فروشی دیجیتال/ فروشندگان آنلاین	زنجیره تأمین دیجیتال	کشف دیجیتال مولکول‌ها	تجارت الکترونیک
زنجیره تأمین دیجیتال	همزادهای دیجیتال/ عملیات از راه دور	سیستم‌های اتوماسیون فرایند	اقتصاد اشتراکی
توسعه محصول دیجیتال	ساخت/ سنتز افزایشی	چاپ سه‌بعدی دارو	زنجیره‌های تأمین هوشمند
خدمات پس از فروش دیجیتال	دیجیتالی کردن بازارهای نهایی	تجارب مراقبت مجازی	کارخانه‌های هوشمند
رانندگی خودمختار	امکان‌پذیر شدن شیمی سبز	راه‌حل‌های سلامت موبایل	شخصی‌سازی فوق‌العاده
کمک به رانندگی		مدل‌سازی بافت سه‌بعدی/ تست دیجیتال	محصولاتی برای سرویس‌ها و تجارب
عیب‌یابی و تعمیر و نگهداری وسیله نقلیه		حفاظت در برابر داروهای تقلبی	کالاها و خدمات بهداشتی و رفاهی

منبع: نشست جهانی اقتصاد تحولات دیجیتال صنایع، کیرنی، مصاحبه با کارشناسان، Accenture

* (رنگ آبی: رشد به‌وسیله فناوری‌ها (منافع)، رنگ بنفش: بهره‌وری و کارایی به‌وسیله فناوری‌ها (فواید)، رنگ زرد: تجارب (رشد و کارایی)

ارزش برای جامعه: بحث شدیدی در مورد تأثیر فناوری‌ها بر رشد اقتصادی، توزیع ثروت و اشتغال وجود دارد. خوش‌بینان بر این باورند که فناوری‌ها موجب افزایش بهره‌وری و خروج میلیاردها نفر از فقر شده است. دیگران معتقدند که سرعت رشد نمایی همگرایی فناوری‌ها می‌تواند منجر به شکست‌هایی شود که دولت‌ها و شرکت‌ها خود را برای مدیریت آن آماده نکرده‌اند. یکی از جنبه‌های پیشرفت فناوری که کمتر مورد توجه قرار گرفته است، قابلیت‌های آن برای محیط‌زیست است. تخمین زده می‌شود که فناوری‌ها می‌توانند تولید پایدار را شتاب بخشیده و ۲۶,۳ میلیارد مکعب از CO2 منتشرشده تا سال ۲۰۲۵ را بکاهند. این مقدار تا سال ۲۰۲۵ چیزی حدود ۸,۵ درصد از انتشار جهانی است.

ارزش برای افراد: در حالی‌که سیستم‌های جهانی، تولید موج جدیدی از پیشرفت‌ها و نوآوری‌های فناورانه را تجربه می‌کنند، افقی جدید از نیروی کار تولید و محیط کار پیش رو است. در حالی‌که فناوری‌های خودکارسازی در کارخانه‌ها جایگزین انسان می‌شوند، آن‌ها مجموعه جدیدی از مشاغل ایجاد می‌کنند که نیازمند مهارت‌های متفاوت انسانی است. اپراتورهای آینده در کارخانه‌ها، نیاز به مهارت‌های مکانیکی کمتر و توانمندی‌های فنی بیشتری در حوزه فناوری اطلاعات و علوم داده و توانمندی یادگیری در سراسر عمر و آموختن مهارت‌های جدید دارند. منحنی مهارت‌های فنی T شکل است (وسیع از نظر دانش عمومی و باریک از نظر دانش تخصصی) و بیشتر میان‌رشته‌ای است تا تخصصی. مختصصان تحلیل‌گر، مهندسان و برنامه‌نویسان باید در مورد مدل‌های کسب‌وکار، فرایندهای تولید، فناوری‌های ماشین و رویه‌های مربوط به داده‌ها فکر کنند. فناوری‌ها روابط جدیدی بین انسان و ماشین‌ها ایجاد می‌کنند. آن‌ها به سمت اپراتورهای تقویت‌شده با فناوری (چشم‌اندازی برای اپراتورهای ماهر و هوشمند که همراه با ربات‌ها کار می‌کنند) حرکت می‌کنند و کارهایی که با ماشین‌ها و فناوری‌های ارتباط انسان- ماشین پیشرفته یاری می‌شوند و درنهایت منجر به شرایط کاری، حقوق و مهارت بهتر خواهند شد. تغییراتی که در ماهیت کار در محل به وجود می‌آیند در جدول ۲۳ آورده شده است.

جدول ۲۳: تغییرات ماهیت کار

تکنولوژی‌ها	مورد استفاده	تغییرات
تولید همکارانه	انسان‌ها و روبات‌ها در خط تولید به‌طور مستقیم تعامل می‌کنند روبات‌ها دیگر مجزا و در حفاظ نیستند کارهای یکنواخت و تکراری به روبات‌ها محول می‌شود	۱. از قابلیت تولید ماشین‌محور ... تا ... قابلیت تولید متوازن انسان-ماشین. فناوری‌ها انسان‌ها را به اپراتور تکمیل‌شده با فناوری ۴,۰ برای حفظ ارتباط در عصر ماشین‌ها و افزایش بهره‌وری آن‌ها ارتقا می‌دهد. ۲. از مقید به میز و ماشین بودن ... تا ... تحرک کارگاه. با واسطه‌های انسان-ماشین متحرک، مهندسان و اپراتورها دیگر به میزها یا ماشین‌های خود بسته نشده‌اند و صرف‌نظر از مکان، به اطلاعات دسترسی دارند. ۳. از ماشین‌ها در حفاظ ... تا ... ماشین‌ها در بدن واقعیت افزوده و مجازی، دستگاه‌های پوشیدنی و روبات‌های همکارانه، روابط عمیقاً شخصی بین اپراتورها و ماشین‌ها ایجاد
تصمیم‌گیری در زمان واقعی	دسترسی اپراتورها به اطلاعات درست در زمان مناسب جهت تصمیم‌گیری‌های به‌موقع. اپراتورها از دستگاه‌های موبایل، تحلیلگرهای داده، واقعیت افزوده و ارتباط شفاف به‌منظور تصمیم‌گیری‌های به‌موقع استفاده خواهند کرد.	

تعمیر و نگهداری پیش‌بینانه و از راه دور	اپراتورها به داده‌ها راجع به وضعیت تجهیزات دسترسی داشته و آن‌ها را پیش از خرابی تعمیر می‌کنند. عملیات تعمیر و نگهداری از مهارت‌های مبتنی بر تجربه به تجزیه‌وتحلیل داده تغییر خواهد یافت.	خواهند کرد که در آن تکنولوژی‌ها انسان‌ها را نیز همانند ماشین‌ها ارتقا خواهند داد. ۴. از محیط‌های کار کثیف و دودآلود ... تا ... محل‌های کار مدرن فناوری‌های تولید دیجیتال افسانه‌های قدیمی درباره محیط کار کارخانه را بی‌اعتبار کرده و امکان همکاری توسعه‌دهندگان نرم‌افزار، طراحان محصول و تکنیسین‌های تولید در یک محیط باز و آسوده را فراهم می‌کنند. ۵. از خصوصیات شغلی ... تا ... نیروی کار قابل پیکربندی. فناوری امکان جمع‌آوری دانش منفعل در ذهن مهندسان و قرار دادن آن در دسترس اپراتورها از طریق واقعیت افزوده را میسر می‌سازد که باعث تغییر پارادایم‌های آموزش و مهارت می‌شود. شرکت‌های درگیر با از دست دادن دانش به علت بازنشستگی کارکنان و آموزش اپراتورهای جدید، این تجربه را در چنگ خود خواهند داشت که در الگوریتم‌ها و هوش مصنوعی جاسازی شده است. ۶. از وظایف «کاغذبازی، خسته‌کننده و تکراری» ... تا ... اشتغال واقعی کارکنان و تمرکز بر فعالیت‌های با ارزش‌افزوده ۷. رنسانس مشاغل مهندسی، طراحی و IT-OT
شبیه‌سازی و بهینه‌سازی	طراحان و اپراتورها به‌طور مجازی در یک محیط تعاملی برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تصمیمات غوطه‌ور خواهند بود. فناوری VR، واقعیت مجازی تعاملی و شبیه‌سازی‌های پیشرفته سناریوهای واقع‌گرایانه برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری را فراهم می‌سازد.	
بهینه‌سازی حجم کار	اپراتورها می‌توانند از حسگرهای blodata برای ردیابی حجم کار فیزیکی و شناختی استفاده کنند. اپراتورها می‌توانند مکان افراد را ردیابی کرده و بنابراین ریسک آسیب‌ها و حوادث را در محیط کار به حداقل برسانند و از تجزیه‌وتحلیل شخصی به‌منظور بهینه‌سازی حجم کار استفاده کنند.	

منبع: جستجو در مطبوعات؛ کیرنی

در جدول ۲۴ مهارت‌ها و صلاحیت‌های لازم برای بهره‌مندی از فناوری‌های تولید با چاپگر سه‌بعدی آورده شده است.

جدول ۲۴: مهارت‌ها و شایستگی‌های لازم برای بهره‌برداری از فناوری‌های تولید با چاپگرهای سه‌بعدی

عملکرد	اهمیت افزایش انطباق	میزان تغییر مهارت مورد نیاز	مهارت‌های جدید لازم برای تطبیق با چاپگر سه‌بعدی	تحول مهارت‌های موجود برای تطبیق با چاپگر سه‌بعدی
مهندسی	زیاد	زیاد	عملیات مفید چاپگر سه‌بعدی: امکان عمل و انجام وظایف end-to-end برای اجرای دارایی‌های جدید مبتنی بر چاپگر سه‌بعدی قابلیت‌های پرداخت‌کاری: تغییر تمرکز برای پرداخت‌کاری قطعات در مقابل حذف مواد از بلوک خام	تعمیرات و آموزش نگهداری: بهره‌گیری از مجموعه مهارت‌های فعلی برای پشتیبانی دارایی‌های حاصل از چاپگر سه‌بعدی
آموزش	زیاد	متوسط	آموزش چاپگر سه‌بعدی: درک مبانی و روندها، هم با لحاظ فنی و هم تجاری	برنامه درسی چاپگر سه‌بعدی: ایجاد دوره‌ها در هر نقطه ورودی (کودکستان- دانشگاه) برای آموزش مفاهیم و کاربردها
طراحی محصول جدید	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	طراحی سه‌بعدی: تبدیل ایده محصول به سه‌بعدی در مقابل دوبعدی مبانی چاپگر سه‌بعدی: درک فرایند و قابلیت‌ها	سرعت طراحی: تولید سریع طرح‌ها به کمک کامپیوتر برای پشتیبانی از سفارشی‌سازی بالا
تحقیق و توسعه مواد	نسبتاً زیاد	متوسط	توسعه مواد چاپگر سه‌بعدی: شناسایی/ توسعه مواد چاپگر سه‌بعدی جدید مورد نیاز برای پشتیبانی از نیازهای تجاری	تست مواد: ایجاد قابلیت‌هایی برای تست ویژگی‌های چاپگر سه‌بعدی در مقابل مواد مرسوم
توسعه سخت‌افزاری و نرم‌افزاری	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	طراحی دارایی‌های چاپگر سه‌بعدی: بهبود سخت‌افزار جدید برای انطباق با عملکرد مورد نیاز (اندازه و سرعت چاپ)	واسط کاربری: افزایش سهولت استفاده برای ساخت و نگهداری و برای نیروی کار بدون درک فنی
فروش و بازاریابی (S&M)	متوسط	نسبتاً زیاد	آموزش بازار چاپگر سه‌بعدی: رواج و فروش محصولات چاپگر سه‌بعدی و تحقق فرصت‌های تجاری جدید	سرعت فعالیت فروش و بازاریابی: پشتیبانی سریع از ایجاد محصولات جدید با سرعت بیشتر
منابع انسانی	نسبتاً کم	متوسط	درک سطح بالای چاپگر سه‌بعدی: انتقال قابلیت‌ها و استراتژی‌ها برای کارکنان بالقوه	حفظ کارکنان: ایجاد استراتژی‌های خاص چاپگر سه‌بعدی برای حفظ استعداد در بازار کار پررقابت
تهیه	نسبتاً کم	نسبتاً کم	استراتژی تأمین منابع: درک بازار عرضه برای مواد، نرم‌افزار و سخت‌افزار	صلاحیت تأمین‌کننده: استفاده از معیارهای جدید برای پشتیبانی سریع طرح‌های صلاحیت خاص چاپگر سه‌بعدی

منبع: جستجو در مطبوعات؛ کیرنی

۲-۵- جمع‌بندی

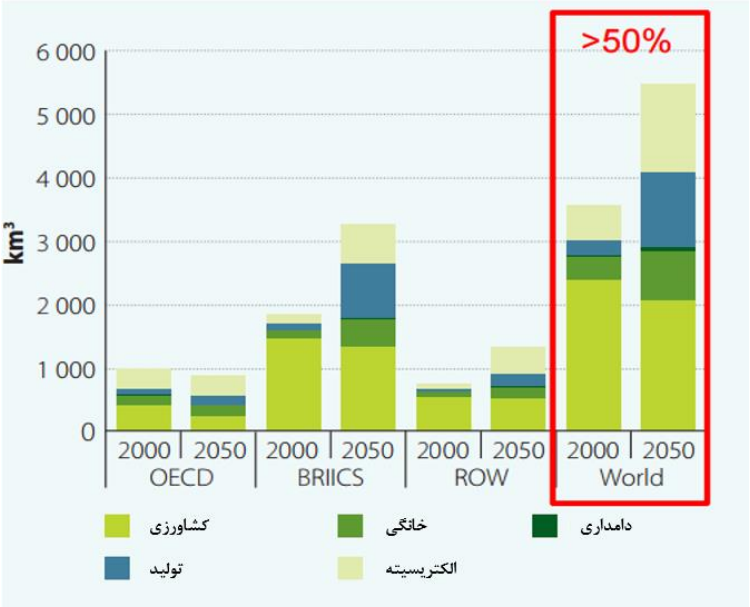
در این بخش خلاصه‌ای از ویژگی‌ها و فناوری‌های در نظر گرفته شده در خصوص ارتباط تحولات فناوری و تولید آورده شده است.

جدول ۲۵: ویژگی‌ها و فناوری‌های مرتبط با تحولات فناوری و تولید

گزارش	مؤسسه	ویژگی‌ها	فناوری‌های در نظر گرفته‌شده
فناوری و نوآوری برای آینده تولید: شتاب بخشیدن به ایجاد ارزش	مجمع جهانی اقتصاد	در این گزارش به بررسی اثرات ۵ فناوری منتخب بر آینده تولید پرداخته شده است. افق زمانی یکسانی برای فناوری‌های مختلف پیش‌بینی نشده است. افق زمان فناوری هوش مصنوعی تا ۲۰۳۰ ارائه شده است. این گزارش به بررسی آینده محتمل و ممکن پرداخته است. تعیین میزان آمادگی و پذیرش فعلی و آینده فناوری‌ها یک گام اساسی برای توسعه چشم‌انداز اثرگذاری آن‌ها است. رسیدن بازار اینترنت اشیا از ۱۷ به ۸۰ میلیارد دلار در ۲۰۲۵ رسیدن درصد فعالیت‌های تولیدی که با ربات انجام می‌شوند از ۱۰ به ۲۵-۴۰ درصد تا ۲۰۳۰ رسیدن بازار فناوری‌های پوشیدنی از ۷۰۰ میلیون به ۵ میلیارد تا ۲۰۲۰	• قدرت محاسباتی و ارتباطی: اینترنت اشیا • هوشمندی و تحلیل: هوش مصنوعی • تحول دیجیتالی-فیزیکی: رباتیک پیشرفته، چاپگر سه‌بعدی • فناوری‌های پوشیدنی: واقعیت افزوده واقعیت مجازی

۶- تحولات فناوری و چالش آب

مطابق شکل ۴۷، تقاضای آب تا سال ۲۰۵۰ حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. همین امر اهمیت توجه به مسئله آب را به‌عنوان یکی از روندهای تأثیرگذار بر سازمان فضایی کشور بیش‌ازپیش نشان می‌دهد. آب همواره نقش بسیار مهمی در انتخاب محل سکونت انسان‌ها داشته است. هرچند با پیشرفت فناوری در دهه‌های اخیر، راه‌حل‌های نوینی برای مقابله با چالش آب به وجود آمده است. این راه‌حل‌های نوآورانه و فناورانه موجب شده تا در مسئله تعیین محل سکونت یا گسترش سکونت‌گاه‌ها، بحث دسترسی به منابع آب آشامیدنی طبیعی در آن منطقه اهمیت خود را از دست دهد و راه‌حل‌های نوآورانه و فناورانه جایگزین آن شود.



شکل ۴۷: تقاضای آب در ۲۰۰۰ و ۲۰۵۰

منبع: OECD

سازمان ملل کشورهایی را که سرانه آب تجدیدپذیر در آن‌ها کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال باشد، کشورهای مواجه با کمبود آب[1] تعریف می‌کند و بر این اساس امارات با کمبود شدید منابع آب تجدیدپذیر روبه‌رو است. با وجود کمبود شدید منابع آبی تجدیدپذیر، امارات توانسته است آب مورد نیاز برای توسعه و رشد صنعتی و جمعیتی نسبتاً سریع خود را تأمین کند. بر اساس آمارهای بانک جهانی، این کشور در ۱۰ سال اخیر به‌طور میانگین ۴ درصد رشد تولید ناخالص داخلی و ۹ درصد رشد جمعیت داشته است و اگر تنها به منابع آبی تجدیدپذیر اکتفا می‌کرد در این مسیر با مشکلات زیادی روبه‌رو می‌شد. اما این کشور با اتخاذ راهبرد شیرین‌سازی آب دریا توانسته است بر مشکل کمبود آب خود غلبه کند، به‌نحوی‌که ۸۰ درصد از آب مورد نیاز امارات با واحدهای آب‌شیرین‌کن تأمین می‌شود. این کشور توانسته است با تأسیس ۲۵ واحد بزرگ، ظرفیت

1. Water scarce

شیرین‌سازی آب را از صفر مترمکعب در روز در سال ۱۹۶۶ به بیش از ۹ میلیون مترمکعب در روز در سال ۲۰۱۳ برساند.

دوبی با بیش از ۲ میلیون نفر جمعیت، پرجمعیت‌ترین شهر امارات توانسته است به یک قطب تجاری بزرگ در خاورمیانه تبدیل شود، بنابراین تأمین آب شرب برای این شهر از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به کمبود شدید منابع آب تجدیدپذیر در امارات، شیرین‌سازی آب راهبرد اصلی تأمین آب این شهر است به‌نحوی‌که ۹۸,۸ درصد از آب مورد نیاز این شهر با آب‌شیرین‌کن‌ها تأمین می‌شود.

درواقع، اماراتی‌ها دریافته‌اند که تأمین آب یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های لازم برای توسعه شهرهایی مانند دوبی است و برای این موضوع، از مزیت دسترسی به آب‌های خلیج‌فارس استفاده و با شیرین‌سازی آب مشکل خود را حل کرده‌اند. این در حالی است که از شیرین‌سازی آب در شهرهای جنوبی ایران مانند آبادان، خرمشهر، بوشهر و چابهار که به سواحل خلیج‌فارس و دریای عمان دسترسی دارند، غفلت شده است و در این مناطق مشکل کمبود آب به‌شدت احساس می‌شود و این مشکل به مانعی بر سر راه توسعه اقتصادی و اجتماعی آن‌ها تبدیل شده است. ضروری است دولت با نگاه به تجربه موفق شهرهایی مانند دوبی، احداث آب‌شیرین‌کن به میزان مورد نیاز در این مناطق را به‌صورت جدی در دستور کار قرار دهد و مانع بزرگ ایجادشده بر سر راه توسعه اقتصادی- اجتماعی این مناطق را برطرف کند.

در این بخش به بررسی جوانب مختلف نقش تحولات فناوری در آینده آب پرداخته شده است.

۱-۶- آینده جهانی آب: پنج سناریوی تلطیف شده

این گزارش خروجی برنامه جهانی ارزیابی آب سازمان ملل متحد است که در سال ۲۰۱۲ منتشر شد. این گزارش خلاصه‌ای از سناریوهای محتمل آب در آینده را منتشر کرده است. توسعه سناریوها عموماً شامل مراحل زیر می‌شود:

۱-۱-۶- افق زمانی

افق زمانی سناریوها بین ۲۰ تا ۴۰ سال (۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰) در نظر گرفته شده است.

۲-۱-۶- نیروهای پیشران

تعدادی از خوشه‌های اصلی نیروهای پیشران شناسایی شده‌اند که روندها، فرایندها و توسعه‌هایی که بر آینده سیستم جهانی آب تأثیرگذارند را پوشش می‌دهند. این خوشه‌ها شامل جمعیت‌شناسی، اقتصادی، فناوری، منابع آب، زیرساخت‌های آب، تغییرات جهانی آب‌وهوا، محیط زیستی (شامل کشاورزی)، اجتماعی، فرهنگی و اخلاقی، نهادی/ دولتی و سیاسی است. با توجه به چارچوب این پژوهش، در این بخش تنها به بررسی پیشران فناوری پرداخته شده است.

- نوآوری فناورانه و انتشار آن (منابع جدید و بهبودیافته انرژی، فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی، بیوتکنولوژی، خودکارسازی، مواد جدید، نانوتکنولوژی)؛ افزایش کارایی استفاده از آب؛ فناوری‌های نمک‌زدایی مقرون‌به‌صرفه؛

فناوری‌های کاستن از آلودگی آب؛ تکنیک‌های رفع آلودگی آب؛ توسعه اقلام کشاورزی جدید (مانند گونه‌های مقاوم در برابر شوری)؛ واحدهای نمک‌زدا؛ فناوری‌های جدید ذخیره‌سازی و انتقال آب؛

- تغییر در بهره‌وری آب، استفاده از آب و کارایی استفاده؛
- کنترل و دست‌کاری آب‌وهوا؛
- بهبود در سنسورها و سیستم‌های سنجش از راه دور به‌منظور دسترسی به کمیت و کیفیت آب؛
- نرخ و اهمیت توسعه و اشاعه فناوری (مانند هزینه پایین در نمک‌زدایی و بیوتکنولوژی، کشاورزی با آب دریا و تولید گوشت بدون حیوان)؛
- دسترسی به فناوری‌های اطلاعاتی و منابع اطلاعاتی جدید؛
- اکتشافات علمی بنیادین (مانند کاتالیست‌های جدید برای استخراج کم‌هزینه هیدروژن از آب دریا).

۱-۲-۱-۶- فناوری

چالش‌ها و نوآوری‌های اطلاعاتی، ارتباطاتی و فناورانه بر مدیریت و بهره‌وری آب مؤثر هستند. توافقی در خصوص میزان اطلاعات آبی در دسترس تصمیم‌گیرندگان در بخش‌های مختلف جهان وجود ندارد. در بیشتر موارد تصمیم‌گیران محلی دقیقاً نمی‌دانند چه میزان آب در دسترس دارند و خطرات آینده چه مواردی هستند.

- فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند به غلبه بر این مسئله کمک کند. هرچند داده‌های هیدرولوژیکی به‌ندرت به اشتراک گذاشته می‌شوند. این مشکل ناشی از نبود پروتکل اشتراک‌گذاری عمومی، عدم دسترسی فیزیکی به داده و نگرانی‌های سیاستی و امنیتی است. باید پروژه‌هایی به‌منظور پایگاه داده مشترک با اهداف علمی و کاربردی مانند چشم‌انداز منطقه و فصلی هیدرولوژیکی، پیش‌بینی، هشدار و پیشگیری از بلایا و مدیریت منابع آبی در حوزه‌های بین‌المللی صورت گیرد. در صورت دسترسی به داده، مسئله دقت و قابل مقایسه بودن آن‌ها به وجود می‌آید. همچنین مشخصه حوزه مدیریت آب، وجود طیف گسترده‌ای از فرایندهای تصمیم‌گیری در ابعاد مختلف است. تعداد زیادی از فناوری‌های آب وجود دارند که به دلیل توانمندی آن‌ها برای افزایش آب در دسترس یا افزایش کارایی آب باید مورد توجه قرار گیرند.
- **فناوری‌های محافظت از آب**: این فناوری‌ها با سرعت کمی در حال رایج‌شدن هستند و می‌توانند به کاهش مصرف آب کمک کنند. این فناوری‌ها شامل شیرهای سنسوردار با جریان پایین، دوش‌های جریان کم، شیرهای کاهش فشار، ماشین‌های لباسشویی افقی، ماشین‌های ظرف‌شویی کارا، فلاش‌تانک‌های کاراتر، توالت‌های فلاشومتری کم‌فشار و... است.
- **فناوری‌های بازیافت و احیای آب خاکستری**: این فناوری‌ها استفاده مجدد از پساب‌های صنعتی و شهری را افزایش می‌دهد و می‌توانند تأثیر مهمی بر کاهش تنش آبی داشته باشند. بسیاری از ثبت اختراعاتی که بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۲ منتشر شده‌اند، بر این حوزه تمرکز دارند.

- **نمک‌زدایی**: در سال ۲۰۰۵ حدود ۴۶ درصد از ظرفیت جهانی نمک‌زدایی از روش اسمز معکوس استفاده می‌کردند. پیش‌بینی می‌شود در آینده هزینه نمک‌زدایی آب نسبت به سایر منابع آبی بسیار بیشتر وابسته به قیمت انرژی باشد.
- **سنجش از راه دور**: استفاده از سنسورها به ما امکان ایجاد تصاویر چندطیفی را می‌دهد. این تصاویر می‌توانند به‌منظور آشکارسازی نشتی کانال‌ها، نوع و سلامت محصولات، هجوم حشرات و... استفاده شوند. این سنسورها می‌توانند داخل زمین، روی زمین، در هوا و در فضا قرار گیرند. این فناوری می‌تواند در حوزه کشاورزی نیز به کار گرفته شود.
- **مدل‌سازی احتمالی**: از این روش می‌توان به‌منظور مدل‌سازی فرایندها استفاده کرد.
- **کشاورزی دقیق**: این روش از فناوری اطلاعات به‌منظور رصد محصولات و شرایط زمین و کمک به کار بردن مواد شیمیایی در کشاورزی به کار گرفته می‌شود. سیستم موقعیت‌یاب جهانی به تراکتورها اجازه می‌دهد تا به‌صورت دقیق مکان خود را بدانند که این باعث افزایش کارایی کاشت و مصرف سوخت می‌شود. با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌منظور تشخیص شرایط خاک و توسعه مزارع، کشاورزی دقیق می‌تواند هزینه محصول را با تنظیم دقیق دانه‌ریزی، کوددهی و استفاده آب و مواد شیمیایی کاهش دهد و تولید را افزایش دهد.
- **فناوری نانو**: می‌توان از فیلترهای نانو، نانوذرات در حوزه نمک‌زدایی، خالص‌سازی آب، تصفیه آب و از حسگرهای نانو به‌منظور رصد در مدیریت منابع آبی بهره گرفت. نرخ توسعه فناوری نانو در حال افزایش است.
- **رشد سریع هواکشت:**[۱] این فناوری به گیاهان اجازه می‌دهد بدون خاک و مقدار بسیار کمتری آب نسبت به سایر روش‌های کشاورزی رشد کنند.
- **توسعه کشاورزی مقاوم در برابر شوری**: این فناوری می‌تواند امنیت غذایی را افزایش دهد. توانمندی بالقوه‌ای برای توسعه محصولات مقاوم در برابر شوری و همچنین افزایش سرعت رشد آن‌ها با استفاده از فناوری زیستی وجود دارد.
- **تولید گوشت بدون حیوان**: این فناوری می‌تواند به کاهش زمین، آب و منابع دیگر کمک کند. به دلیل هزینه بالای چالش‌های مهندسی بافت، این فناوری هنوز با تجاری‌سازی فاصله دارد.

رابطه علی بین پیشران‌ها در جدول ۲۶ آورده شده است. اعداد بالاتر نشان‌دهنده تأثیر قوی‌تر پیشران‌ها بر یکدیگر است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود فناوری تأثیر زیادی بر اغلب پیشران‌های دیگر دارد.

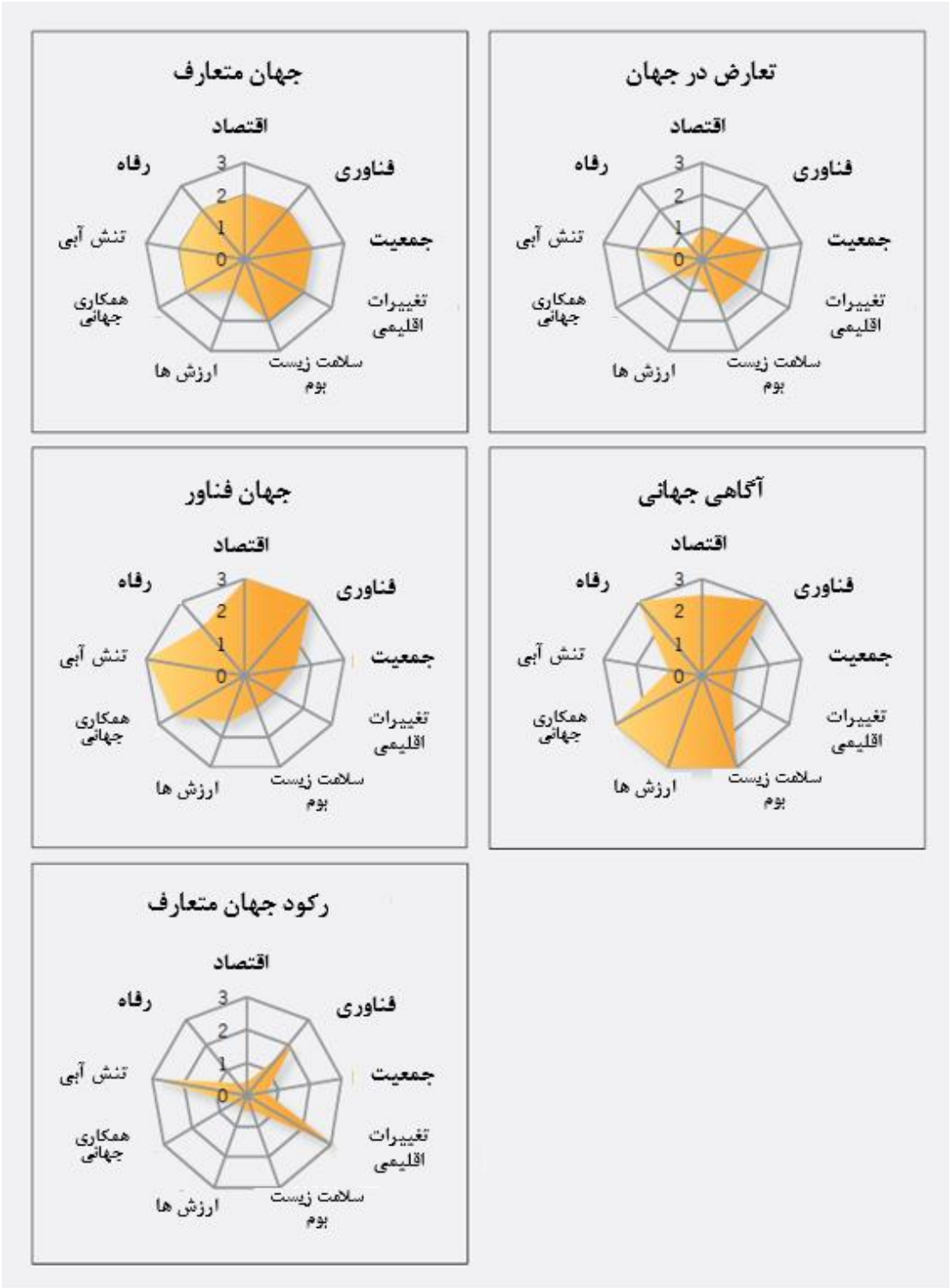
۱. Aeroponics

جدول ۲۶: رابطه علی بین پیشران‌های مسئله آب

	رتبه	منابع آبی و اکوسیستم	تغییرات آب و هوا	حکمرانی (نهادی)	فناوری	اقتصادی و امنیتی	کشاورزی	زیرساختی	جغرافیایی	اخلاقی، اجتماعی و فرهنگی	سیاسی
منابع آبی و اکوسیستم	10		3.0	2.7	2.8	2.8	3.0	2.8	2.5	2.0	2.0
تغییرات آب و هوا	1	3.0		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
حکمرانی (نهادی)	12	2.8	1.7		2.9	3.0	2.9	2.8	3.0	3.0	2.8
فناوری	7	2.7	2.7	3.0		2.9	2.7	2.1	2.9	2.4	2.0
اقتصادی	7	3.0	3.0	3.0	3.0		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
امنیتی	6	2.5	2.2	2.7	2.2	2.5	1.3	1.3	1.7	3.0	3.0
کشاورزی	7	2.4	2.6	1.4	2.7	2.4		1.9	1.9	2.4	1.9
زیرساختی	5	3.0	2.2	2.2	2.2	2.8	3.0		3.0	2.0	2.2
جغرافیایی	3	3.0	3.0	3.0	2.0	2.7	3.0	2.7		3.0	2.3
اخلاقی، اجتماعی و فرهنگی	7	2.9	2.4	2.4	2.7	2.6	2.9	2.4	2.7		2.3
سیاسی	14	2.3	2.3	2.2	2.5	2.0	2.3	2.4	2.4	2.0	

منبع: برنامه جهانی ارزیابی آب سازمان ملل متحد

در شکل ۴۸ رتبه‌بندی ویژگی‌های اساسی حالات نهایی سناریوها آورده شده است. خوب یا بد بودن مقادیر بالا برای یک مشخصه، با توجه به ویژگی‌های آن از نظر اهداف توسعه پایدار مشخص می‌شود.



شکل ۴۸: رتبه‌بندی خصوصیات اصلی حالات نهایی سناریوها

منبع: برنامه جهانی ارزیابی آب سازمان ملل متحد

* بسته به شاخص، مقادیر بالا ممکن است با توجه اهداف توسعه پایدار، مطلوب یا نامطلوب تعبیر شود.

۳-۱-۶- سناریوها

سناریوی ۱: جهان متعارف. این سناریو پایه است. این سناریو به تصویر کشیدن روندهای فعلی در آینده نیست، اما می‌توان آن را سناریویی دانست که بر اساس آنچه به‌طور مرسوم از آینده انتظار می‌رود؛ شامل تشدید روندهای فعلی و اینکه رفتار تصمیم‌گیرندگان دولتی و اجتماعی تقریباً مشابه ۴۰ سال گذشته باشد، توسعه داده شده است.

در این سناریو، نوآوری و اشاعه گسترده فناوری ادامه دارد که منجر به افزایش کارایی آب و گسترش سلامت می‌شود، اما سرعت تغییرات مناسب نیازها رو به رشد نیست. دیگر توضیحات در مورد این سناریو در شکل ۷ آورده شده است.

جدول ۲۷: توضیحات سناریوی «جهان متعارف»

اقتصاد جهانی	رشد پس از بحران مالی پایان دهه گذشته، با به‌کارگیری سیستم‌های کنترل کارآمدتر، اما بدون تغییرات عمده، از سر گرفته شده است. رشد به‌طور فزاینده توسط کشورهای نوظهور به جلو رانده می‌شود. با این حال، تعداد قابل توجهی از کشورها در این مزایا سهیم نیستند.
جمعیت	افزایش آن ادامه دارد، اما به‌سرعت قبل نیست.
فناوری	نوآوری و پیشرفت تکنولوژیکی شدید ادامه دارد که منجر به افزایش بهره‌وری استفاده از آب و مراعات اصول بهداشتی شده، اما هنوز به حدی نیست که از عهده الزامات رو به رشد برآید.
تغییرات اقلیمی	به علت اراده سیاسی ناکافی و فشار مصرف روزافزون تشدید شده است؛ در انتهای این دوره، معیارهای ماهوی زیادی در نظر گرفته شده است، اما اثر تسکین‌دهنده آن‌ها تنها پس از چند دهه تأخیر احساس خواهد شد.
سلامت اکوسیستم	در اثر تقاضای روزافزون غذا و تغییر اولویت‌های تغذیه به محصولات حیوانی، زمین‌های کشاورزی (هم دیم و هم آبی) گسترش یافته‌اند. اکوسیستم‌های خاکی و آبی به روند اضمحلال تدریجی ادامه می‌دهند که با جنگل‌زدایی زمین‌های کشاورزی و توسعه شهرنشینی، آلودگی گسترده (علی‌رغم افزایش کنترل‌ها در بسیاری از کشورها) و تغییر مناطق بوم‌اقلیمی مرتبط با تغییرات اقلیمی وخیم‌تر شده است. در حالی‌که سازگاری کشاورزی- زیست بوم به‌وسیله استفاده از واریته‌های جدید و سیستم‌های کشت افزایش یافته، بسیاری از اکوسیستم‌های غالب توسط ارگانیسم‌های با رشد آهسته (جنگل، توندرا و غیره) ناپدید شده یا به‌شدت کاهش یافته است.
همکاری بین‌المللی	نظم سیاسی جهانی به‌طور فزاینده روی مسائل امنیتی تمرکز یافته و دغدغه‌های توسعه‌ای را به عقب رانده است. بسیاری از MDG ها تا سال ۲۰۱۵ حاصل نمی‌شوند و روال حرکت بر اساس اهداف و مناطق، نابرابر است. اختلافات مربوط به آب بین مرزی در مناطق خشک بالا گرفته است. جهان بیش از گذشته در حال چندقطبی شدن است، اما هنوز قدرت در تعداد کمی از کشورها متمرکز است.
ارزش‌ها	ارزش‌های مصرف‌گرایی حاکم است و خرده‌فرهنگ‌های (بسیار در اقلیت) سبک‌های زندگی دیگری را اتخاذ کرده‌اند. توجه به منافع فردی و دیدگاه‌های کوته‌بینانه، هنجار به شمار می‌روند.
تنش آبی	به علت برداشت بی‌رویه، منابع آبی زیرزمینی در اکثر مناطق خشک جهان خالی شده است. رواناب‌های سطحی هم به‌طور گسترده تحت تأثیر برداشت‌های فزاینده و همچنین افزایش تبخیر و تبخیر-تعریق و تغییر الگوهای بارش در تمام مناطق هستند که مرتبط با گرمایش جهانی است. فراوانی و شدت حوادث جوی شدید، افزایش یافته است. تنش آبی در مناطق خشک به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه به مرحله بحران رسیده است و عدم اطمینان و آسیب‌پذیری سیستم‌های آبی را بالا برده که بر جوامع، اقتصادها و اکوسیستم‌ها اثر می‌گذارد.

رفاه	فقر مطلق جهانی هنوز وجود دارد، هرچند کاهش اندکی در فقر نسبی (بخشی از کل افراد دچار فقر) وجود دارد. نابرابری درون و بین کشورها به رشد خود ادامه می‌دهد که باعث ایجاد درگیری‌ها و محرومیت میلیاردها نفر از افراد فقیر در سطح جهان شده است.

منبع: برنامه جهانی ارزیابی آب سازمان ملل متحد

سناریوی ۲: تعارض در جهان. در این سناریو به دلیل شرایط اقتصادی آشفته به‌استثنای فناوری‌های نظامی و امنیتی، سایر نوآوری‌های فناورانه وارد دوره رکود می‌شود. انتشار فناوری به دلیل رویکرد انزواگرایی و عدم اعتماد از بین می‌رود. سایر ویژگی‌های این سناریو در جدول ۲۸ آورده شده است.

جدول ۲۸: سناریوی «تعارض در جهان»

اقتصاد جهانی	اقتصاد جهانی رشد پراکنده را پس از بحران مالی جهانی از سر گرفته است، اما وارد مرحله طولانی بی‌ثباتی با تعداد فرازونشیب‌هایی شده است.
جمعیت	به رشد خود ادامه می‌دهد، اما نه به‌سرعت قبل.
فناوری	تحت تأثیر وضعیت اقتصادی متلاطم، نوآوری تکنولوژیکی، به‌استثنای فناوری نظامی و امنیتی رونقی ندارد. گسترش فناوری تحت تأثیر جو عمومی گرایش به انزوا و بی‌اعتمادی غیرقابل پیش‌بینی است.
تغییرات اقلیمی	تغییر اقلیمی در معرض فشارهای رقیب است: از یک‌سو عدم توافق و همکاری جهانی درباره اقدامات لازم مشکلات را وخیم‌تر کرده است، اما از سوی دیگر رکود اقتصادی انتشار گازهای گلخانه‌ای را در سطح جهان کاهش داده است. روی هم رفته روند انتشار گازهای گلخانه‌ای رشد آهسته‌تری در مقایسه با سناریوی جهان متداول دارد، اما هنوز افزایش می‌یابد.
سلامت اکوسیستم	کشاورزی در تمام کشورها در تلاش برای دستیابی به حداکثر خودکفایی غذایی ممکن گسترش و/یا شدت می‌یابد. تمایل قوی به تشدید/ گسترش کشاورزی (ازجمله استفاده از زمین‌های حاشیه‌ای و ضعیف) منجر به جنگل‌زدایی و دست‌درازی به اکوسیستم‌های طبیعی شده و آلودگی شیمیایی کشاورزی را افزایش داده که بر کیفیت نهرها اثر گذاشته و باعث آلودگی آبخیزها شده است. از سوی دیگر، نرخ رشد آلودگی صنعتی به علت روندهای ناپایدار در اقتصادی عمومی محدود شده است.
همکاری بین‌المللی	بی‌ثباتی اقتصادی منجر به افزایش درگیری‌های مرتبط با نابرابری درون و بین کشورها و محرومیت جمعیت فقیر شده است. تروریسم جهانی گسترش یافته است. در این جو کلی درگیری، اختلافات مرتبط با آب شعله‌ور شده و از کشورهایی که مستقیماً درگیر آن هستند فراتر رفته‌اند. موانع مهاجرت بین‌المللی در کشورهای ثروتمند افزایش یافته‌اند. گرایش اولیه به سمت نظامی‌گری روابط بین‌الملل، میل به گردهمایی را حفظ کرده است. علی‌رغم برخی اتحادیه‌های بسته به موقعیت بر اساس منافع کوتاه‌مدت، گرایش‌ها به سمت میل به انزوای سیاسی قابل مشاهده است. حاکمیت بین‌المللی تضعیف شده و دولت‌های نظامی در بسیاری از کشورها زمام امور را به دست گرفته‌اند.
ارزش‌ها	مصرف‌گرایی به‌عنوان هدف شخصی اکثر افراد باقی مانده است، اما توجه به منافع شخصی و پارانویای بی‌اعتمادی حاکم است.
تنش آبی	نگرانی‌های امنیتی و نظامی باعث ته کشیدن منابع برای ساخت و نگهداری زیرساخت‌های آبی (سدها، خطوط لوله، شبکه‌های توزیع) شده که باعث اضمحلال تدریجی آنها شده است. تنش آبی عمدتاً به علت گسترش بی‌رویه کشاورزی آبی و افت کارایی زیرساخت آب افزایش یافته است. تغییر مناطق اقلیمی و افزایش فراوانی حوادث جوی شدید ناشی از تغییر اقلیم همراه با افت کارایی و قدیمی شدن سیستم‌های آب‌رسانی باعث ایجاد مناطق جدیدی با تنش آبی بالا شده است (اما همچنین به علت افزایش بارندگی در برخی مناطق، باعث کاهش خشکی آنها شده است).
رفاه	فقر مطلق و نسبی در اکثر مناطق جهان افزایش یافته است. ترس و اضطراب همراه با بی‌اعتمادی به سایرین به‌عنوان خلق‌وخوی این دوران شناخته می‌شود. کیفیت کلی زندگی هم به لحاظ ابعاد عینی و هم ذهنی تنزل یافته است.

منبع: برنامه جهانی ارزیابی آب سازمان ملل متحد

سناریوی ۳: جهان فناور. سرعت نوآوری‌های فناورانه افزایش می‌یابد. سرمایه‌داری جدید به‌منظور مقابله با محدودیت‌های مواد و انرژی بر روی فناوری‌های جدید سرمایه‌گذاری می‌کند. با درک خطرات اقتصادی تغییرات

اقلیمی، تلاش‌ها برای استفاده از فناوری گداخت هسته‌ای در انتهای دوره به ثمر می‌نشیند. آینه‌های غول‌پیکر فضایی به‌منظور متمرکزسازی انرژی خورشید بر زمین به کار گرفته می‌شوند و منبع بزرگی از انرژی غیرکربنی را ایجاد می‌کنند. کارایی مواد و انرژی در تمام مراحل تولید و مصرف افزایش می‌یابد که موجب کاهش اثر افزایش خروجی می‌شود. آلودگی شیمیایی که منابع آن در یک نقطه است، در بیشتر کشورها مهار می‌شود؛ اما تأثیر تجمعی آلودگی‌های منتشرشده باقی می‌ماند. جنگل‌های طبیعی به‌سرعت با استفاده از سیستم‌های مهندسی جنگل با مزارع مصنوعی ترکیب شده و با زمین‌های کشاورزی جایگزین می‌شوند تا تولید بهینه شده و از انتشار کربن جلوگیری شود. راه‌حل‌های فناورانه شامل مهندسی اجتماعی برای تمام مسائل اساسی جستجو می‌شوند. دیگر ویژگی‌های این سناریو در شکل ۲۹ آورده شده است.

جدول ۲۹: سناریوی «جهان فناور»

اقتصاد جهانی	اقتصاد پس از رکود در اواخر دهه ۲۰۰۰، رشد خود را از سر گرفت. درس‌های بحران مالی جهانی فراگرفته شد و طراحی مجدد بنیادی اقتصادهای ملی و بین‌المللی اجرا شد. بازارهای جهانی به‌طور مستمر گسترش یافت، اما هنوز ثروت در شرکت‌های بزرگ بسیار متمرکز است. برخی از کشورهای بسیار فقیر از اقتصاد جهانی محروم باقی مانده‌اند. به علت کمبود آب، توسعه اقتصاد جهانی در انتهای این دوره کند شد که تهدید رکود را در افق زمانی بلندمدت به دنبال دارد.
جمعیت	نرخ رشد، همراه با افزایش رفاه در تعداد فزاینده‌ای از کشورها، به‌تدریج کاهش یافت. به‌طور هم‌زمان، متوسط مصرف سرانه افزایش پیدا کرد؛ این عامل حاکم است و باعث افزایش تقاضای بی‌سابقه جهانی برای کالاها و خدمات شده است.
فناوری	حرکت نوآوری تکنولوژیک شتاب گرفته است. سرمایه‌داری جدید محدودیت‌های مواد و انرژی خود را با سرمایه‌گذاری در راه‌حل‌های تکنولوژیکی جدید مرتفع کرده است. با شناخت ریسک اقتصادی تغییر اقلیم، تلاش‌های زیاد برای مهار کردن همجوشی هسته‌ای تقریباً در انتهای این دوره به موفقیت نائل شده است. آینه‌های فضایی غول‌آسا برای انتقال انرژی خورشیدی متراکم به سمت زمین مورد استفاده قرار گرفته که منابع انرژی غیرفسیلی عظیمی فراهم می‌کند. بارورسازی اقیانوس برای افزایش جذب دی‌اکسید کربن توسط ریزجلبک‌ها در حجم وسیعی صورت گرفته است. بهره‌وری انرژی و مواد در تمام مراحل تولید و مصرف افزایش یافته که اثر افزایش میزان محصول را کاهش داده، اما حذف نکرده است. آلودگی شیمیایی نقاط آلاینده در اکثر کشورها به شکلی مؤثر کنترل شده، اما اثر تجمعی آلودگی پراکنده هنوز وجود دارد. جنگل‌های طبیعی به‌طور فزاینده با سیستم‌های جنگل مصنوعی مهندسی شده جایگزین می‌شوند که در آن‌ها کشت‌های مصنوعی به‌منظور بهینه‌سازی محصول و در عین حال جداسازی، با زمین کشاورزی ترکیب شده‌اند. راه‌حل‌های تکنولوژیک ازجمله «مهندسی اجتماعی» برای تمام مشکلات عمده دنبال می‌شود.
تغییرات اقلیمی	درنتیجه کاهش استفاده از منابع انرژی فسیلی و افزایش جذب کربن، اثر گلخانه‌ای به نحو مؤثری کاهش یافته است، هرچند به علت تأخیر در سیستم اقلیم جهانی، اثرات گازهای منتشر شده قبلی در تمام این مدت در حال آشکار شدن بود.
سلامت اکوسیستم	علی‌رغم کاهش تغییر اقلیمی، مداخلات فراگیر نظیر دست‌کاری اقلیم، بارورسازی اقیانوس، دخالت در زنجیره‌های غذایی و ادغام اکوسیستم‌ها و از بین بردن تنوع زیستی، باعث اختلالات بوم کره جهانی شده که منجر به ازدیاد آفات جدید و بیماری‌های واگیر شده است که تعادل اکولوژیک را تغییر داده و جلوه‌گری نقاط بحرانی زیست‌کره که قبلاً ناشناخته بوده، شده است.
همکاری بین‌المللی	شرکت‌های بزرگ، همراه با دولت‌ها بر صحنه بین‌الملل مسلط شده‌اند. شرکت‌ها قویاً بر دولت‌ها تأثیر می‌گذارند و جهان را به مناطق بزرگ تحت تأثیر خود تقسیم کرده‌اند. قدرت نظامی به شکل فزاینده به حامی سیاست‌های اقتصادی تبدیل شده که به‌اتفاق هم توسط حکومت‌های ملی و شرکت‌های فراملی تعریف می‌شوند. جنگ‌های متعارف نادر هستند و همکاری بین‌المللی به سمت اهداف تجاری و کنترل اثرات جنبی منفی رشد اقتصادی و الگوهای مصرف و به‌ویژه درگیری‌ها و اختلافات ناشی از نابرابری‌های روزافزون بین کشورها سوق یافته‌اند.

ارزش‌ها	مصرف‌گرایی حکم‌فرماست؛ منافع فردی بلندمدت همگانی منجر به معیارهایی شده که برخی از مهم‌ترین وضعیت‌های بی‌ثبات‌سازی را به‌منظور کنترل تعارضات و حفظ منافع تجاری کاهش داده است.
تنش آبی	منابع آبی به‌طور فزاینده‌ای به مهم‌ترین عامل محدودکننده غیرقابل فائق آمدن برای رشد اقتصادی آینده تبدیل شده است. برداشت‌ها به حداکثر مقدار رسیده است؛ تمام منابع آبی که به لحاظ عملی قابل دسترسی بوده‌اند، مدیریت شده‌اند و آب زیرزمینی برای محدود کردن پایداری استخراج می‌شود. فهم این مطلب که سطح کلی تنش آبی به آستانه غیرقابل برگشت رسیده که منجر به قائل شدن اولویت بالا برای بهره‌وری مصرف آب شده است؛ با این حال، این اقدامات برای حفظ رشد اقتصادی جهان کافی نیست. پس از آزمودن راه‌حل‌های بسیار پرهزینه، نظیر آب‌شیرین‌کن‌های بزرگ و انتقال کوه‌های یخ از مناطق قطبی، محدودیت‌های آب ایجاد شده است.
رفاه	شرایط مادی برای بخش اعظم جمعیت جهان به‌استثنای مناطق محروم («اقتصادهای ورشکسته») بهبود یافته است. در این مناطق، فقر گسترده است. نابرابری بین و درون کشورها بالا است.

منبع: برنامه جهانی ارزیابی آب سازمان ملل متحد

سناریوی ۴: آگاهی جهانی. در این سناریو، نوآوری‌ها و انتشار فناوری بر ارائه راه‌حل‌های پایدار متمرکز می‌شود. فناوری‌های ترکیبی (ترکیب فناوری‌های سطح بالا با فناوری‌های سنتی و دوستار طبیعت) گسترش می‌یابد. فناوری‌های نوین دوستار طبیعت که با چرخه‌ها و فرایندهای محیط‌زیست کار می‌کنند، توسعه داده می‌شوند. افزایش دانش در مورد عملکرد سیستم زمین و چرخه‌های شیمیایی، زمینی و زیستی باعث تنظیم دقیق فرایندهای کشاورزی و صنعتی شده، کارایی مواد و انرژی را افزایش داده، اتلاف را کاهش و ساختار جدیدی به اقتصاد می‌بخشد. دیگر ویژگی‌های این سناریو در جدول ۳۰ نمایش داده شده است.

جدول ۳۰: سناریوی «آگاهی جهانی»

اقتصاد جهانی	بحران اقتصادی در مقایسه با آنچه در ابتدا پیش‌بینی می‌شد، سال‌های بیشتری با فرازونشیب‌های مختلف طول کشیده که کاستی‌های عمیق سیستم اقتصاد بین‌المللی را برملا خواهد کرد. نهایتاً دولت‌ها تصمیم می‌گیرند دورهم جمع شوند تا مکانیسم بازرسی‌ها و ترازها را به‌طور بنیادین مجدداً طراحی کنند که اولویت بالایی برای پایداری بلندمدت این سیستم قائل می‌شوند. با این هدف و همراه کردن تغییر تدریجی در اولویت‌های بخش‌های در حال رشد جمعیت، سیاست‌های اقتصادی برای کاهش رشد اقتصادی مادی و در عین حال پیشرفت شدید اقتصاد غیرمادی (مثلاً خدمات اجتماعی، خدمات اطلاعاتی، کالاها و خدمات فرهنگی) وضع خواهد شد. رشد عملکرد مادی و انرژی اقتصاد جهانی متوقف شده و پس از آن به‌طور پیوسته کاهش خواهد یافت.
جمعیت	درنتیجه ریشه‌کنی فقر و تغییر ارزش‌ها، رشد جمعیت بسیار سریع‌تر از سناریوی جهان متعارف کاهش می‌یابد و برخی جوامع به‌طور موقت نرخ‌های زادوولد کمتر از سطوح جایگزینی را برمی‌گزینند؛ کل جمعیت جهان در این قرن در حد پایین پیش‌بینی‌های بلندمدت سازمان ملل متحد تثبیت می‌شود.
فناوری	نوآوری و گسترش تکنولوژیکی به‌طور فزاینده بر راه‌حل‌های پایدار تمرکز می‌کند؛ هیبریداسیون فناوری (ترکیب سازنده فناوری بالا با فناوری‌های سنتی و دوستدار محیط‌زیست) گسترش می‌یابد و فناوری‌های زیست‌محیطی جدیدی که با فرایندها و چرخه‌های اکولوژیکی کار می‌کنند، توسعه پیدا می‌کند. دانش بیشتر درباره عملکرد سیستم زمین و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی امکان تنظیم دقیق فرایندهای کشاورزی و صنعتی را می‌دهد که باعث افزایش بهره‌وری مواد و انرژی، کاهش پسماند و مادی‌زدایی بیشتر اقتصاد می‌شود.
تغییرات اقلیمی	انتشار گازهای گلخانه‌ای که طی دوره بحران اقتصادی کاهش یافته بود، برای دوره ترمیم اقتصادی از سر گرفته شد و پس از آن به علت تغییر در فناوری و الگوهای مصرف به‌تدریج کاهش می‌یابد. با این وجود، گرمایش جهانی به علت تأخیر در سیستم‌های اقلیمی به افزایش خود ادامه می‌دهد، اما اقلیم جهانی به‌تدریج پیش از پایان این قرن در محدوده امن تثبیت می‌شود.

سلامت اکوسیستم	اکوسیستم‌های آبی و خاکی در معرض کاهش فشار بهره‌برداری طی بحران اقتصادی بودند و پس از آن، گسترش فناوری‌های محیط‌زیستی و ترمیم فرایندها و چرخه‌های اکولوژیک منجر به بازیابی کلی سلامت این اکوسیستم‌ها خواهد شد (ازجمله اکوسیستم‌های جدید پرورش یافته توسط اشکال جدید مدیریت ملایم اکوسیستم). از بین بردن تنوع زیستی متوقف می‌شود.
همکاری بین‌المللی	هماهنگ با فرمول‌بندی مجدد سیستم‌های اقتصادی، مجراهای جدیدی برای همکاری بین‌المللی ایجاد می‌شود؛ با شناخت تهدیدهای فراگیر ایجاد شده توسط نابرابری شدید، سطوح بی‌سابقه‌ای از همکاری بین‌المللی باعث کاهش چشمگیر فقر و فرایند همگرایی تدریجی بین کشورها می‌شود. در انتهای این دوره، شکل‌گیری یک اتحادیه جهانی به‌عنوان سیستم جدید حکمرانی بین‌المللی آغاز می‌شود. جامعه جهانی چند فرهنگی به آهستگی اما به‌طور یقین رونمایی می‌شود.
ارزش‌ها	آگاهی از عملی نبودن (نامطلوب بودن) مسیر تاریخی متعارف بین مردم و حکومت‌ها اشاعه می‌یابد که با بحران اقتصادی طولانی و افزایش حوادث فاجعه‌بار مرتبط با تغییر اقلیم همراه می‌شود. مصرف‌گرایی به‌سرعت زرق‌وبرق خود را از دست می‌دهد و به‌تدریج با علاقه روزافزون به تعامل اجتماعی، فعالیت‌های فرهنگی و جستجوی مفاهیم و مشارکت‌های فردی و جمعی برای تحول زندگی در جهان جایگزین می‌شود. همبستگی، رسیدن از افراد به سطح گونه‌های انسان، به یک ارزش مشترک، البته با سایه‌روشن‌ها و رنگ‌های مختلف مطابق با تنوع فرهنگ‌ها، تبدیل می‌شود.
تنش آبی	فشار کمتر روی آب در اثر پیشرفت‌های اکوتکنولوژیکی، کاهش مصرف آب در اقتصاد و تثبیت جمعیت امکان پر شدن مجدد آبخیزها و برگشت تدریجی منابع سطحی را فراهم می‌آورد. مدیریت زیست‌محیطی چرخه‌های آب همراه با زیرساخت آب موجود، نقش مهمی ایفا می‌کند. تنش آبی که قبلاً در برخی مناطق کم آب جهان در شروع این دوره در سطح بحرانی بود، به‌تدریج با پیاده‌سازی تغییرات اقتصادی، تکنولوژیکی و سبک زندگی کاهش می‌یابد.
رفاه	با افزایش چشمگیر برابری، ریشه‌کنی فقر و تغییر ارزش‌ها، کیفیت زندگی مردم در سراسر جهان به بالاترین سطح از نظر تاریخی می‌رسد.

منبع: برنامه جهانی ارزیابی آب سازمان ملل متحد

سناریوی ۵: جهان سنتی وارد رکود می‌شود. در ابتدا نوآوری و انتشار فناوری با قدرت ادامه می‌یابد، اما پس از آن به دلیل رکود اقتصادی راکد می‌شود و اثبات می‌شود که برای ارائه راه‌حل‌هایی برای مشکلات پایه‌ای کافی نیست. سایر ویژگی‌های این سناریو در جدول۳۱ آورده شده است.

جدول ۳۱: سناریوی «جهان سنتی وارد رکود می‌شود»

اقتصاد جهانی	پس از بحران مالی انتهای دهه ۲۰۰۰، رشد خود را با استفاده از سیستم کنترل کارآمدتر، اما بدون تغییرات عمده از سر می‌گیرد. رشد به‌طور فزاینده توسط کشورهای نوظهور جلو برده می‌شود، هرچند تعداد قابل توجهی از شرکت‌ها در مزایای آن سهیم نیستند. در اواسط این دوره، تغییرات اقلیمی چشمگیر هزینه‌های مالی زیادی به همراه دارد و در بسیاری از کشورها باعث ایجاد پسرفت اقتصادی می‌شود؛ اقتصاد جهانی مختل شده و منجر به طولانی‌ترین رکود در تاریخ مدرن می‌شود.
جمعیت	همانند سناریوی جهان متعارف تا اواسط این دوره به افزایش خود ادامه می‌دهد. پس از آن، قحطی‌های شدید و سیل‌ها و خشک‌سالی‌های فاجعه‌بار باعث ایجاد امواج بزرگ آوارگان زیست‌محیطی می‌شود که در تلاش برای بقا سعی در مهاجرت دارند. جمعیت جهان شروع به کاهش می‌کند که بخش عمده آن به علت افزایش نرخ مرگ‌ومیر است.
فناوری	در ابتدا نوآوری و توسعه تکنولوژیکی شدید ادامه می‌یابد، اما بعداً همراه با اقتصاد وارد دوره رکود می‌شود و عدم کفایت آن جهت ارائه راه‌حل‌های پایدار برای مشکلات ایجاد شده اثبات می‌شود.
تغییرات اقلیمی	در ابتدا تغییر اقلیم به علت اراده سیاسی ناکافی و فشار مصرف بالاتر تشدید می‌شود. به‌سرعت آشکار می‌شود که تأثیرات آن سریع‌تر از آنچه قبلاً توسط دانشمندان پیش‌بینی شده بود، گسترش می‌یابند. ترکیب بازخوردهای مثبت باعث ایجاد برخی «مؤلفه‌های تحول» جهانی زمین می‌شود که بین خود تعامل می‌کنند و باعث تغییر برگشت‌ناپذیر اقلیم جهانی به یک وضعیت جدید می‌شوند. در کنار سایر تغییرات، این شامل سرد شدن مناطق شمال غربی اروپا به علت توقف جریان اقیانوس اطلس است که باعث حفظ دما در این منطقه و نابودی بخش عمده جنگل‌های آمازون می‌شود که منجر به ناپایداری اقلیمی کلی و تنزل جدی اقتصادها و رفاه مردم سراسر جهان می‌شود.
سلامت اکوسیستم	در اثر افزایش تقاضای غذایی و تغییر اولویت‌های تغذیه، زمین‌های کشاورزی گسترش می‌یابد. همانند سناریوی جهان متعارف، اکوسیستم‌های خاکی و آبی به روند نابودی تدریجی ادامه می‌دهند. اما تغییرات شدید در سیستم اقلیمی جهان باعث ایجاد تغییرات اکولوژیکی شدید، از بین رفتن برخی اکوسیستم‌ها و پیدایش اکوسیستم‌های جدیدی می‌شود که بسیاری از آن‌ها برای استفاده یا سکونت انسان مناسب نیستند. این پدیده، کاهش فشارهای انسانی به علت از هم گسیختگی اقتصادی و نابودی جمعیت را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد.
همکاری بین‌المللی	با تحول آغازین مشابه سناریوی جهان متعارف با تمرکز بر امنیت، اقدامات برای کاهش تغییرات اقلیمی جهانی ناکافی و همراه با تأخیر است. در اثر گسترش و رشد تغییرات اقلیمی، مدیریت بحران به‌طور فزاینده بر نگرانی‌های جهانی حاکم می‌شود. همکاری بین‌المللی از هم می‌پاشد چراکه هر کشور در بحبوحه بلاتکلیفی‌های بی‌سابقه، برای بقای خود می‌جنگد. کشورها درهای خود را به روی مهاجران می‌بندند. تنازعات بین‌المللی بر سر منابع مشترک آب بالا می‌گیرد.
ارزش‌ها	دنبال کردن مصرف در میان ارزش‌های اجتماعی غالب می‌شود تا زمانی که وخیم‌تر شدن شرایط باعث تغییر ارزش‌های غالب به جنگ برای بقا و رقابت بر سر منابع می‌شود؛ نظم جهانی به‌سرعت ناپدیدشده و گروه‌های کوچک گسترش می‌یابد.
تنش آبی	در ابتدا همانند سناریوی جهان متعارف تحول می‌یابد، اما در میان‌مدت حجم و مکان منابع آب سطحی به شکل قابل توجه و بی‌سابقه در پاسخ به تغییر چشمگیر سطح الگوهای مکانی بارش و تبخیر تغییر می‌یابد. در آغاز این دوره، تنش آبی در مناطق خشک و کم‌آب بحرانی می‌شود، وضعیتی که با نابهنجار شدن الگوهای آب و هوایی به سایر مناطق نیز گسترش می‌یابد که موجب افزایش تعداد سیل‌ها و خشک‌سالی‌های بی‌سابقه می‌شود. چون این تحولات باعث تغییر جغرافیای تولید مواد غذایی و سکونت‌پذیری انسان می‌شود، تکافوی آب تنها یکی از نگرانی‌های عمده راجع به بقا است.
رفاه	فقر نسبی در ابتدا کاهش می‌یابد، اما بعداً به علت بحران‌های اقتصادی و قحطی‌ها، هم فقر نسبی و هم فقر مطلق به‌شدت افزایش می‌یابد. تعداد زیادی از آوارگان زیست‌محیطی به دنبال شانس‌های بقای بهتر در اطراف سرگردان می‌شوند. مهاجرت بین‌المللی به‌شدت محدود می‌شود و محدود به مهاجران غیرقانونی می‌شود که از کنترل‌های شدید اعمال‌شده توسط کشورهای هدف عبور می‌کنند. میزان جنایت بین‌المللی و ملی به بالاترین حد در تاریخ می‌رسد.

منبع: برنامه جهانی ارزیابی آب سازمان ملل متحد

برخی از این سناریوها بدبینانه و برخی خوش‌بینانه هستند. بدترین آن‌ها سناریوی ۵ است که با کمترین رفاه، بیشتر تنش آبی و بیشترین تغییرات اقلیمی همراه است. به دنبال آن، سناریوی تعارض جهان است. سناریوی

جهان سنتی سناریوی میانه است، هرچند در بلندمدت ناپایدار است. هر دو سناریوی جهان فناور و جهان آگاه بهتر از جهان سنتی هستند، اما سناریوی جهان آگاه بالاترین سطح رفاه و پایداری را ایجاد می‌کند.

اگرچه این سناریوها را نباید به‌عنوان پیش‌بینی آینده در نظر گرفت، اما با توجه به نحوه توسعه و برهم‌کنش پیشران‌ها، تمام آن‌ها را می‌توان ارزیابی امکان‌پذیری از وضع فعلی دانست. به همین دلیل آن‌ها نمایشی از آینده‌های وضعیت جهانی آب هستند. با در نظر گرفتن امکان‌پذیری و معقولیت این سناریوها، بازه گسترده‌ای از احتمالات را دربر می‌گیرند. سناریوهای میانی دیگری نیز می‌تواند در نظر گرفته شود، مخصوصاً در صورتی‌که توسعه غافلگیرکننده‌ای در قلمروهای فیزیکی و اجتماعی شکل بگیرد که در حال حاضر قابل‌تصور نیست.

۲-۶- فناوری اطلاعات و ارتباطات برای مدیریت هوشمند آب[۱]

یکی از چالش‌های اصلی کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه برای توسعه پایدار، اطمینان از دسترسی همه مردم به منابع آبی و سیستم‌های فاضلاب است؛ بنابراین منابع آب باید به‌دقت مدیریت شوند. دسترسی به اطلاعات در مورد وضعیت در یک شرایط خاص برای تصمیم‌گیری در خصوص مدیریت منابع آب ضروری است.

فناوری‌هایی مانند سنجش از راه دور ماهواره‌ای به همراه شبکه سنسورهای مفهومی[۲] و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌توانند توسط مسئولان آب به‌منظور رصد لحظه‌ای مصرف آب، رصد و پیش‌بینی سطح آب رودخانه‌ها و شناسایی منابع جدید آب تازه استفاده شوند.

حسگرهای تحت وب و شبکه‌های ارتباطی، فرصتی را برای ذی‌نفعان آب فراهم می‌سازد تا اطلاعاتی را در مورد متغیرهای فیزیکی و محیط‌زیستی مانند دما، سطح رطوبت خاک و بارش به دست آورند. فناوری‌های کنتورهای هوشمند می‌توانند اطلاعات لحظه‌ای را در اختیار افراد، کسب‌وکارها و سازمان‌های آب قرار دهد تا آگاهی در خصوص استفاده، نشتی و کنترل تقاضا افزایش یابد.

۱-۲-۶- مدیریت منابع آب

فناوری اطلاعات و ارتباطات[۳] یک توانمندساز استراتژیک در فرایند توسعه راه‌حل‌های نوآورانه برای مقابله با مسئله کمبود آب است. با تسهیل گردآوری و تحلیل داده‌های محیطی، فناوری اطلاعات و ارتباطات پژوهشگران را قادر می‌سازد تا مدل‌های دقیق‌تری برای پیش‌بینی آب‌وهوا بسازند. نواحی اصلی که فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند نقش محوری در مدیریت آب ایفا کند، در ادامه آورده شده است.

۲-۲-۶- نقشه‌برداری از منابع آب، پیش‌بینی آب‌وهوا و رصد اقلیم

با توجه به محدودیت منابع آب، مسئولان حوزه آب باید به منابع آب فعلی دسترسی داشته باشند تا بتوانند تعیین کنند که چگونه باید به تقاضای آینده آب پاسخ دهند. بنابراین، نقشه‌برداری از منابع آبی اهمیت

۱. این بخش برگرفته از گزارش اتحادیه بین‌المللی مخابرات در سال ۲۰۱۵ است.

۲. Semantic sensor web

۳. (Information and communications technology (ICT

روزافزونی یافته است. سیستم‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مبتنی بر رادیو مانند حسگرهای از راه دور، منبع اصلی اطلاعات در مورد جو زمین و شرایط محیطی است. فناوری‌های سنجش از راه دور با سیستم‌های مخابراتی رادیویی ماهواره‌ای، سیستم تعیین موقعیت جهانی[1] و سیستم اطلاعات جغرافیایی[2] ترکیب شده تا در شناسایی منابع آب شیرین جدید، ساخت مدل‌های حوزه آبخیز و تحلیل مشکلات محیطی استفاده شود.

علم پیش‌بینی آب‌وهوا و رصد اقلیم از توسعه ICT بهره فراوانی برده که تأثیر آن را می‌توان در سیستم مشاهدات جهانی آب‌وهوا[3] ذیل سازمان جهانی هواشناسی[4] مشاهده کرد. سیستم رصد جهانی آب‌وهوا از سه جزء اصلی تشکیل شده است:

۱. سیستم مشاهدات جهانی[5] مشاهداتی با کیفیت بالا و استاندارد از اتمسفر و سطح اقیانوس‌ها از تمام نقاط جهان و از فضای بیرونی تهیه می‌کند. این سیستم با استفاده از ماهواره و حسگرهای زمینی از راه دور (فعال و غیرفعال) در خدمت ماهواره‌های هواشناسی، ماهواره‌های اکتشاف زمین و خدمات رادیویی هواشناسی کار می‌کند. این سرویس‌ها نقش مهمی در رصد اقلیم و پیش‌بینی آب‌وهوا ایفا می‌کنند.
۲. سیستم مخابرات جهانی که امکان تبادل لحظه‌ای داده‌های مشاهدات هواشناسی، تحلیل‌ها، هشدارها و پیش‌بینی‌ها را در بین سرویس‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی فراهم می‌کند.
۳. سیستم جهانی پردازش داده و پیش‌بینی که تحلیل‌ها، هشدارها و پیش‌بینی‌ها را تهیه می‌کند. این موارد توسط شبکه‌ای از مراکز هواشناسی جهانی و مراکز هواشناسی منطقه‌ای خاص تولید می‌شود.

نقش‌های اصلی فناوری اطلاعات و ارتباطات در مدیریت آب:

۱. نقشه‌برداری منابع آبی و پیش‌بینی آب‌وهوا؛
۲. سنجش از راه دور توسط ماهواره؛
۳. سیستم‌های سنجش در داخل زمین؛
۴. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی؛
۵. شبکه سنسورهای اینترنتی.

مدیریت دارایی برای شبکه توزیع آب:

۱. شناسایی و برچسب‌گذاری الکترونیکی دارایی‌های نصب‌شده در زیر خاک؛
۲. لوله‌های هوشمند؛
۳. تعمیرات بهنگام، ارزیابی ریسک لحظه‌ای.

1 . Global Positioning System (GPS)
2. Geographic Information System *(*GIS*)*
3. The World Weather Watch System
4. World Meteorological Organization (WMO)
5. The Global Observing System

ایجاد سیستم‌های هشداردهنده زودهنگام و پاسخ به تقاضای آب در شهرهای آینده:

۱. برداشت آب باران و طوفان؛
۲. مدیریت سیل؛
۳. شارژ آبخوان مدیریت‌شده؛
۴. اندازه‌گیری هوشمند؛
۵. سیستم‌های پردازش دانش؛
۶. آبیاری بهنگام در کشاورزی و محوطه‌سازی؛
۷. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی؛
۸. شبکه‌های سنسورهای اینترنتی.

حسگرهای فعال در وب و شبکه‌های ارتباطی، فرصتی برای ذینفعان آب فراهم کرده تا به‌صورت لحظه‌ای در مورد متغیرهای فیزیکی و محیطی مانند دما، میزان رطوبت خاک و بارندگی اطلاعات داشته باشند. فناوری‌های هوشمند اندازه‌گیری نیز می‌تواند اطلاعات لحظه‌ای در مورد مصرف آب را در اختیار افراد، کسب‌وکارها و شرکت‌های حوزه آب قرار دهد که موجب افزایش آگاهی آن‌ها در مورد مصرف، مکان‌یابی نشت آب و کنترل بهتر تقاضای آب شود.

۳-۶- روندهای اصلی بخش آب در جهان[۱]

این بخش از دیدگاه نوآوری به آینده آب پرداخته است و از بعد جهانی بر بخش آب تمرکز دارد و برخی مثال‌های خاص از کشورهای مختلف به‌منظور نمایش عملکرد روندها بیان شده است. بینش مبتنی بر داده، پتانسیل زیادی برای تغییر تفکر مشتریان، دولت‌ها و صنایع در مورد آب به‌عنوان یک منبع و همچنین چگونگی برنامه‌ریزی، سرمایه‌گذاری و مدیریت زیرساخت‌های آبی در آینده دارد. شرکت‌های آب و فاضلاب در سراسر جهان برای افزایش بهره‌وری در تلاش بوده و این موضوع باعث شده که فرصتی مناسب برای تمرکز کسب‌وکارها در ارائه راه‌حل‌های افزایش منابع و استفاده پایدار و کارا از آب پدید آید.

حال که تأثیرات تغییر آب‌وهوا و آلودگی چرخه هیدرولوژیکی آشکارتر شده است، بعضی کشورها به دنبال تقویت استانداردهای تنظیم آب به‌منظور تأمین آب هستند. با افزایش تمایل کشورها و کسب‌وکارها به تنظیم اصول نظارت بر آب، تمایل به سرمایه‌گذاری بر روی راه‌حل‌های نوآورانه افزایش یافته است. کمبود آب، تغییرات جمعیتی و کارایی عملیاتی، چالش‌های اصلی بخش آب در سطح جهانی بوده که با تأثیر غیرقابل پیش‌بینی تغییرات آب‌وهوایی تشدید شده‌اند. تقاضای آب به‌طور پیوسته در حال افزایش است. طبق گزارش سازمان همکاری اقتصادی و توسعه[۲] تا میانه قرن حاضر، مصرف آب نسبت به سال ۲۰۱۵ تا ۵۵ درصد افزایش خواهد یافت که بیشتر ناشی از رشد جمعیت است. بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل متحد، جمعیت جهان تا سال

۱. این بخش برگرفته از گزارش سال ۲۰۱۹ مؤسسه دیلویت است.
۳.(Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD

۲۰۵۰ حدود ۲,۴ میلیارد نفر افزایش یافته و به ۹,۷ میلیارد نفر خواهد رسید. شهری شدن، تغییرات غذایی و سبک زندگی نیز افزایش تقاضای آب را تشدید خواهد کرد. با افزایش سریع جمعیت، برخی نقاط آسیا که اکنون درگیر تنش آبی هستند، با بحران کمبود آب مواجه خواهند شد. رقابت شدید بین کاربران آب به این معنی است که در حدود سال ۲۰۳۰، سیاره زمین با ۴۰ درصد کمبود منابع آبی مواجه خواهد شد.

کاهش کیفیت آب نیز به نگرانی جهانی تبدیل شده است. این موضوع به‌طور مستقیم بر هزینه تهیه آب، کاهش حجم آب در دسترس برای استفاده و سلامت انسان (به‌طور غیرمستقیم) تأثیر می‌گذارد. آلودگی آب بیشتر به دلیل ضایعات کشاورزی، فاضلاب خانگی و صنعتی است. اثرات بلندمدت محصولات و داروهای مراقبت شخصی مانند مسکن‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها، بر چرخه آب باعث ایجاد نگرانی‌های عمیقی در جامعه علمی شده است.

هدررفت آب به دلیل نشتی، یک مسئله اساسی در تمام کشورهاست. در ولز انگلستان، نشت لوله‌ها به‌طور میانگین عامل ۲۲ درصد هدررفت آب در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ بوده که نشان‌دهنده افزایش میزان هدررفت آب به دلیل نشتی است. اکثریت نشتی به دلیل افزایش سن زیرساخت‌ها است.

تأثیر بلندمدت تغییرات آب‌وهوایی غیرقابل پیش‌بینی است. بسیاری از متخصصان بر این باورند که کمبود آب تشدید و برنامه‌ریزی حوزه آبریز دشوارتر خواهد شد و عواقب افزایش سن زیرساخت‌های آبی نیز به دلیل تغییرات شدید شرایط آب‌وهوایی وخیم‌تر خواهد شد. سطح خطرپذیری تغییرات آب‌وهوایی باعث افزایش پیچیدگی و هزینه مدیریت چرخه آب، زیرساخت‌ها و تقاضا شده است. گرمای هوا نه‌تنها موجب افزایش تقاضای آب، افزایش سطح آب دریاها و الگوهای آب‌وهوایی متنوع شده، بلکه باعث تغییرات اجتماعی عمیقی مانند مهاجرت گسترده مردم نیز خواهد شد. برنامه‌ریزی برای تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی دشوار است؛ به‌طوری که داده‌های گذشته نمی‌توانند کمکی برای پیش‌بینی آینده باشند.

درنهایت، جهان نیازمند سیستم‌های آبی منعطف و مقاومی است که تغییرات شرایط را پیش‌بینی و رصد کنند. نیاز است تا روش‌های مدیریت پایدار به‌منظور محافظت از چرخه‌های آبی و کاهش تأثیر فعالیت انسان بر آن‌ها به کار گرفته شوند.

۱-۳-۶- اهمیت آب

ایالت کالیفرنیای آمریکا نمونه‌ای از تأثیر کم‌آبی بر توسعه اقتصادی است. این ایالت با کمبود شدید آب به دلیل تغییرات اقلیمی و افزایش مصرف آب مواجه است. دولت ایالتی قوانین اجباری برای آب وضع کرده تا بتواند آب مورد نیاز برای بخش کشاورزی، انرژی، تجاری و خانگی را فراهم کند. کمبود آب بر تولید غذا و انرژی کالیفرنیا، اقتصاد ایالت و کسب‌وکارهای خصوصی بسیار تأثیرگذار بوده است. برآورد شده است که خشک‌سالی در سال ۲۰۱۵، حدود ۳ میلیارد دلار به اقتصاد این ایالت ضربه زده و حدود هفده هزار شغل در بخش کشاورزی از دست رفته است. همچنین از بین رفتن حدود بیست هزار شغل تا سال ۲۰۱۵ در این ایالت برآورد شده است.

کمبود آب، بخش انرژی این ایالت را نیز تحت تأثیر قرار داده است. کاهش آب رودخانه‌ها موجب تغییر منبع تأمین انرژی از نیروگاه‌های برق‌آبی به نیروگاه‌های گازی شده است. این امر، قیمت انرژی را افزایش داده و موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است. بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ مردم کالیفرنیا نسبت به میانگین، حدود ۱,۴ میلیارد دلار بیشتر بابت برق هزینه کرده‌اند که ناشی از تغییر منابع تأمین انرژی است.

۲-۳-۶- ارزش داده

بیشتر شرکت‌های آب و فاضلاب در سراسر دنیا با چالش‌های مشابهی مواجه هستند که تصمیم‌گیری درست در مورد آن‌ها حیاتی است. در همین حال، پیچیدگی جهان در حال افزایش است. تعداد ذینفعان در بخش آب در حال افزایش بوده و شرکت‌ها باید قوانین بیشتر، تغییرات اقلیمی، خطرات سایبری و افزایش هزینه‌های کسب‌وکار را در نظر گیرند. در این شرایط، تصمیم‌گیری دشوارتر شده و تنها تجارب و سوابق گذشته ضامن موفقیت نیست.

برای تصمیم‌گیری درست، افراد شایسته باید در زمان مناسب به اطلاعات مناسب دسترسی داشته باشند. به این دلیل، شرکت‌ها باید از داده‌های موجود به‌عنوان دارایی محافظت کرده و از داده‌های خارجی نیز به بهترین نحو استفاده کنند.

حجم داده‌های حوزه آب و فاضلاب در سال‌های اخیر به‌شدت افزایش یافته است. این روند با توجه به وسیع شدن محدوده کاربرد ابزارها و فناوری‌های هوشمند ادامه دارد. این بخش به برخی از چالش‌های تحلیل داده که شرکت‌های آب با آن‌ها مواجه هستند، روش مقابله با این چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی سازمان‌ها برای بهره‌برداری از این داده‌ها می‌پردازد.

۳-۳-۶- سیلی از داده

داده‌های بسیار زیادی در حوزه‌های زیر جمع‌آوری می‌شوند:

۱. داده‌های آزمایشگاهی و غلظت شیمیایی؛
۲. جریان‌های آب؛
۳. اندازه‌گیری تأمین و مصرف آب مشتریان؛
۴. داده‌های مهندسی و ساخت‌وساز؛
۵. داده‌های عملکرد، نگهداری و تعمیرات دارایی‌ها.

فناوری‌ها و حسگرهای راه دور، در کنار تحلیل‌های جغرافیایی، ظرفیت بخش را برای کمی‌سازی، رصد منابع آبی و سیل‌ها در محدوده‌های جغرافیایی وسیع افزایش داده است. این فناوری‌ها سرعت جمع‌آوری داده را نیز افزایش داده‌اند. اخیراً فناوری‌هایی مانند حسگرهای بسیار دقیق سنجش کیفیت آب، شبکه‌های خودکار کنتورهای آب، متغیرهای هیدرولوژیک و هواشناسی مانند رطوبت خاک، بارش و برف را رصد می‌کنند. این فناوری‌ها باعث شده که بخش کشاورزی بتواند بهره‌وری بالاتری را تجربه کند. رشد تنوع داده‌ها، به‌ویژه

داده‌های ساختاربندی نشده مانند محتوای وب، محتوای شبکه‌های اجتماعی و جمع‌سپاری نیز موجب تغییر وسعت داده‌های مرتبط با آب شده است.

رفع چالش‌های حوزه آب تنها با تجزیه‌وتحلیل داده‌های جمع‌آوری، مدیریت و تحلیل میسر نبوده و به‌علاوه نیازمند بهبود کیفیت و سرعت تصمیم‌گیری در سازمان‌های مرتبط است.

۴-۳-۶- پتانسیل فناوری

طبق گزارش گروه منابع آبی،[۱] در صورت عدم تغییر وضعیت فعلی کسب‌وکارها، فاصله بین عرضه و تقاضای آب تا سال ۲۰۳۰ به ۴۰ درصد خواهد رسید. بنابراین، نقش فناوری در کاهش این فاصله بیش‌ازپیش اهمیت می‌یابد. با توجه به روند فناوری‌های حوزه آب، فناوری‌های موجود آشکارا در حال تغییر هستند؛ مانند نمک‌زدایی آب دریا به شیوه‌ای ارزان‌تر و کاراتر و همچنین پیشرفت‌های زیادی در فناوری‌ها و روش‌های تصفیه فاضلاب به وجود آمده است. در ادامه به بررسی پیشرفت‌های اخیر در حوزه فناوری‌های تصفیه و استفاده مجدد از آب پرداخته شده است.

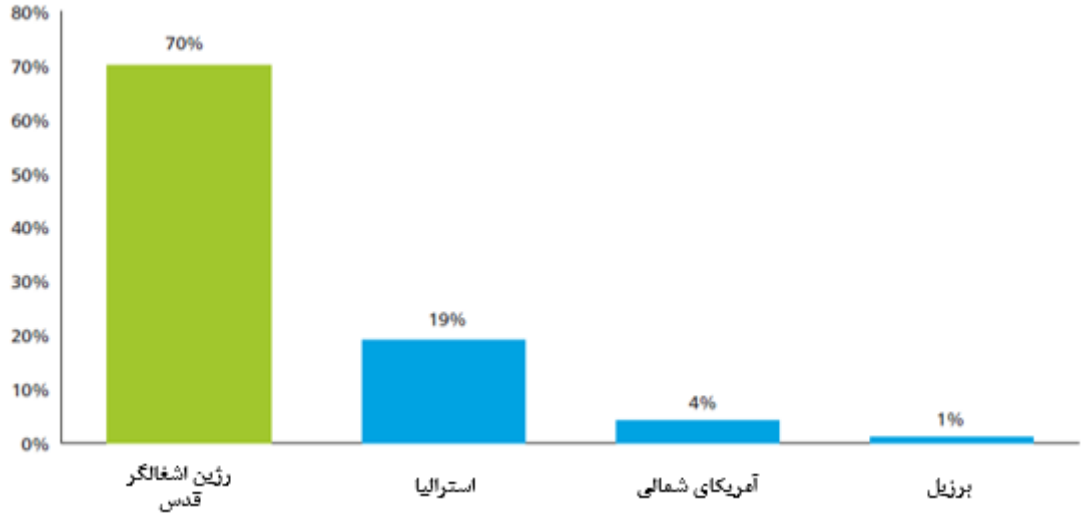
۱-۴-۳-۶- تفاوت بین تصفیه آب و استفاده مجدد از آب

تصفیه آب به بازگشت فاضلاب تصفیه‌شده به آب‌های سطحی یا آبخوان‌ها اشاره دارد؛ در حالی‌که استفاده مجدد از آب یک گام فراتر رفته و فاضلاب شهری و صنعتی را به سطحی می‌رساند که در بخش کشاورزی، صنایع و حتی آب آشامیدنی قابل استفاده باشد.

بسیاری از کشورهای مواجه با کمبود مداوم منابع آبی در استفاده مجدد از آب پیشرو هستند. به‌عنوان مثال رژیم اشغالگر قدس از ۷۰ درصد از فاضلاب خود استفاده مجدد می‌کند. تلاش‌ها در راستای تصفیه و استفاده مجدد از آب در جهان در حال گسترش است. به عنوان مثال دولت ایالتی استرالیای غربی، «یک ایالت خشک در قاره خشک»، متعهد شده تا سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۶۰ به ترتیب ۳۰ و ۶۰ درصد از فاضلاب خود را تصفیه کنند. در آمریکا، کالیفرنیا سرمایه‌گذاری برای استفاده مجدد از آب در حد کیفیت آشامیدنی را آغاز کرده است.

هم‌زمان با نیاز روزافزون به افزایش منابع آبی، بازار صنعتی تصفیه و استفاده مجدد آب در ۵ سال آینده، ۵۰ درصد رشد خواهد داشت و از ۷ میلیارد دلار در ۲۰۱۵ به ۱۱ میلیارد دلار در ۲۰۲۰ خواهد رسید. در شکل ۴۹ درصد استفاده مجدد از آب برای سه منطقه آورده شده است.

۱. Water Resource Group



شکل ۴۹: درصد آب آلوده‌ای که از آن‌ها استفاده مجدد شده است رژیم

منبع: دیلویت

۲-۴-۳-۶- افزایش کارایی و کاهش هزینه: غشاها می‌آیند

یکی از پیشرفت‌های اصلی در صنایع آبی در سال‌های اخیر، توسعه فناوری‌های غشایی است. هم‌اکنون نیز گستره عظیمی از مواد پیشرفته غشایی برای تصفیه و کمک به استفاده مجدد از آب به کار می‌روند. به عنوان مثال، غشاهای پلیمری و سرامیکی در صنعت شناخته شده هستند. استفاده از فیلتراسیون میکرو، الترا و نانو، تصفیه با استفاده از فناوری‌های الکترودیالیز و اسمز معکوس و روبه‌جلو در شهرداری‌ها و صنایع مختلف در حال گسترش است. دیگر فناوری‌های غشایی مانند بیوراکتورها که فرایند تخریب بیولوژیکی را با فیلتراسیون میکرو نانو ترکیب می‌کند، در حال گسترش روزافزون در سطح جهانی به‌ویژه کاربردهای در مقیاس بزرگ هستند.

پیشرفت‌های اخیر موجب کاهش هزینه، افزایش کارایی و اثربخشی فناوری‌های غشایی شده و استفاده از این فناوری‌ها را افزایش داده است. امروزه بسیاری از فناوری‌های غشایی در دسترس شهرداری‌ها، کسب‌وکارها، شرکت‌های نفتی، گازی و معدنی قرار گرفته است. این صنایع در بیشتر مراحل طرح‌های خود از آب تازه و شور استفاده می‌کنند و بنابراین می‌توانند از این فناوری‌ها بهترین بهره را ببرند. یکی از نتایج این پیشرفت‌ها، مدیریت بهینه بسیاری از شرکت‌های این بخش‌ها به‌منظور کاهش عمده در مصرف آب خام است.

تحقیقات فعلی بر بهبود عملکرد غشاها به‌منظور افزایش عمر و کاهش تخریب در هنگام فرایند متمرکز هستند. این کار موجب افزایش جریان آب در غشاها و کاهش زمان نگهداری و تعمیرات می‌شود و بنابراین کارایی را افزایش می‌دهد. بهبود پیوسته در عملکرد غشاها باعث افزایش کاربرد آن در بخش‌هایی مانند صنایع نساجی می‌شود که پیش از این چالش‌برانگیز بوده‌اند.

۳-۴-۳-۶- آینده روشن برای سایر فناوری‌های تصفیه آب

در گذشته، سایر فناوری‌ها مانند اشکال مختلف فناوری‌های شناوری و گرمایی برای استفاده در سطح وسیع بسیار گران و هزینه‌بر تلقی می‌شدند. همچنین تمایل به استفاده از فناوری‌هایی که از مواد شیمیایی برای تصفیه آب استفاده می‌کردند، محدود بود؛ چراکه برخی از آن‌ها بسیار گران‌قیمت هستند.

هم‌اکنون، پژوهش‌ها بر بهبود کارایی انرژی و کاهش استفاده از مواد شیمیایی و اتلاف آب در این فناوری‌ها متمرکز هستند. به عنوان مثال در بخش نفت و گاز، شکست هیدرولیکی فرایند حفاری و تزریق مخلوط آب، شن و مواد شیمیایی با فشار زیاد به داخل زمین به‌منظور شکستن صخره‌های شل و آزادسازی گاز طبیعی داخل آن صورت می‌گیرد. این فرایند نیازمند حجم زیادی از آب است. شرکت‌ها باید به استانداردهای سخت‌گیرانه محیط‌زیستی به‌منظور جمع‌آوری، تصفیه و دفع جریان بازگشتی از چاه‌ها پایبند باشند؛ موضوعی که باعث افزایش شدید هزینه تولید نفت و گاز از طریق شل شده است. هرچند فناوری‌های جدیدی پدید آمده‌اند که کاربرد آن‌ها منجر به کاهش مقدار مواد شیمیایی می‌شود که شرکت‌ها به داخل چاه‌ها تزریق می‌کنند یا از آن برای جداسازی گاز و نفت از آب استفاده می‌کنند. این فناوری‌های نوآورانه شامل ترکیبات فناوری‌های اوزون، حفره هیدرودینامیک، اکسیداسیون الکتروشیمیایی و هیدروسیکلون است. هزینه خرید و زدودن مواد شیمیایی از لجن هزینه‌بر است. استفاده از فناوری‌های پیشرفته که نیازمند مواد شیمیایی کمتری هستند، می‌توانند منجر به افزایش آب تزریق‌شده به چاه‌ها، کاهش فشار تزریق و ساده‌تر شدن عملیات شود. نهایتاً هزینه آب به ازای هر بشکه نفت تولیدی کاهش می‌یابد.

اگرچه فناوری‌های تصفیه و استفاده مجدد از آب پیچیده‌تر، ارزان‌تر، کاراتر و مؤثرتر شده است، اما هنوز چالش محصول جانبی آن، یعنی لجن باقی مانده است. تصفیه و دفع لجن‌های سمی منجر به مسائل اقتصادی و محیطی می‌شود؛ هرچند فناوری‌های نوآورانه فرصت‌های جدیدی برای استفاده، تصفیه و کاهش لجن ایجاد کرده‌اند.

۴-۴-۳-۶- ارزش لجن

لجن به‌عنوان زباله‌های آلی آب، توجهات را در داخل و خارج از صنعت آب به خود جلب کرده‌اند. سرمایه‌گذاری‌های بیشتری بر روی گرفتن گاز متان در فرایند تجزیه لجن، صورت گرفته است و از این گاز به‌عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر برای کاهش هزینه انرژی تصفیه آب بهره گرفته‌اند.

علاوه بر این، مواد معدنی و فلزی ارزشمندی می‌توانند از فاضلاب‌ها استخراج شوند. لجن تولیدشده در یک شهر یک میلیون نفری در سال می‌تواند شامل فلزاتی ازجمله طلا و نقره باارزش ۱۳ میلیون دلار باشد. دیگر محصولات جانبی لجن مانند فسفر و نیتروژن نیز می‌توانند به‌عنوان کود یا در صنایع کاغذ استفاده شوند. همچنین فناوری، هزینه‌های واحدهای تصفیه فاضلاب را به دلیل کاهش لجن تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد. تصفیه فاضلاب بدون استفاده مجدد از آن، فرصتی رو به رشد برای پیشرفت فناوری فراهم کرده است. رشد

بازار، فشار تغییرات اقلیمی و رشد جمعیت باعث فشار به صنایع برای حرکت از تصفیه به استفاده مجدد خواهد شد.

۴-۶- راه‌حل‌هایی برای بحران جهانی آب[1]

با افزایش شهرنشینی تا سال ۲۰۵۰ تقاضای غذا ۶۰ درصد افزایش خواهد یافت و از طرفی رژیم غذایی به سمت افزایش مصرف گوشت حرکت خواهد کرد. مصرف آب به ازای هر کالری تولیدشده در محصولات گوشتی به‌مراتب بیشتر از محصولات کشاورزی است. چالش آب باعث ایجاد چالش‌های اقتصادی خواهد شد. در صورتی‌که تغییری در مدیریت منابع آب ایجاد نشود تا سال ۲۰۵۰، ۶۳ تریلیون دلار از GDP جهانی در خطر است. راه‌حل‌های زیر برای اجتناب از بحران جهانی آب پیشنهاد می‌شود:

۱. زیرساخت‌های آب: بین ۷٫۵ تا ۹٫۷ تریلیون دلار سرمایه‌گذاری در سطح جهان برای ارتقا، نگهداری و ایجاد زیرساخت‌های جدید مورد نیاز است.
۲. ابزارهای تنظیم‌گری مبتنی بر بازار: به عنوان مثال سازوکار قیمت‌گذاری و راه‌اندازی بازار آب.
۳. راه‌حل‌های مبتنی بر فناوری: شامل ابزارهای هوشمند آب (کنتور، کلان‌داده)، نمک‌زدایی، کشاورزی دقیق و استفاده مجدد از آب تولید شده است.

۱-۴-۶- نقش فناوری

فناوری همواره نقش بسیار مهمی در مدیریت آب ایفا کرده است. نمک‌زدایی منبع قابل اعتمادی برای تأمین آب شستشو در کشورهای کم‌آب فراهم کرده است. همچنین واحدهای تصفیه آب این امکان را فراهم کرده که بتوان از آب، بارها استفاده کرد. بهبود فناوری، راه‌های نوآورانه‌ای برای مدیریت مؤثر آب مهیا کرده است. ابزارهای هوشمند مدیریت آب، واحدهای نمک‌زدایی کارا، محصولات مقاوم در برابر خشک‌سالی و کشاورزی دقیق، همگی به دنبال تلطیف چالش‌های بخش آب هستند. این بخش برخی از نوآوری‌هایی که می‌توانند بخش آب را متحول کنند، آورده شده است.

۱-۱-۴-۶- مدیریت آب هوشمند و تأمین آب شهری

ابزارهای مدیریت آب هوشمند به پنج دسته اصلی تقسیم می‌شود:

- اکتساب و یکپارچه‌سازی داده (مانند شبکه‌های حسگر، لوله‌های هوشمند، کنتورهای هوشمند)؛
- مدل‌سازی و تحلیل؛
- انتشار و ذخیره‌سازی داده؛
- مدیریت و کنترل (مانند سیستم‌های SCADA)؛
- کمک به تصمیم‌گیری و تصویرسازی.

۱- این بخش برگرفته از گزارش موسسه مالی Citi در سال ۲۰۱۷ است.

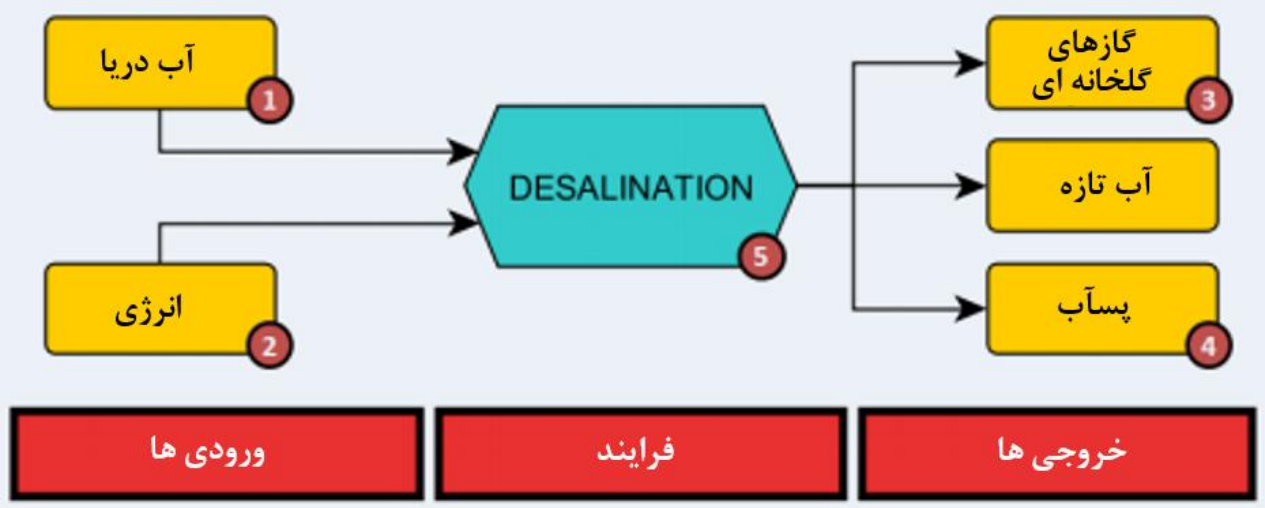
فناوری‌هایی مانند کنتورهای هوشمند، نظارت از راه دور (SCADA)، سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) و سیستم‌های ارتباطات مخابراتی باعث دسترسی به داده‌های لحظه‌ای شده است. این کار منجر به بهبودهای لحظه‌ای خواهد شد و از دست دادن آب در شبکه‌های توزیع کاهش خواهد یافت. یک نمونه از این سیستم‌ها، دیدبان آب بی‌سیم است که یک راه‌حل شبکه ابری هوشمند است که به واسط کاربری مشترکان متصل است و معیارهای کیفیت آب را به‌صورت لحظه‌ای رصد می‌کند تا هر گونه نشتی را از راه دور تشخیص دهد.

کنتورهای هوشمند سازمان‌ها و مشترکان را قادر می‌سازند تا استفاده از آب را به‌خوبی رصد کنند. در انگلستان استفاده تجاری از کنتورهای هوشمند آغاز شده است.

۲-۱-۴-۶- نمک‌زدایی

روش‌های متنوعی برای نمک‌زدایی وجود دارد. قدیمی‌ترین روش، نمک‌زدایی گرمایی بود. بیشتر واحدهای جدید از روش نمک‌زدایی اسمز معکوس استفاده می‌کنند. روش جدیدی که امیدواری زیادی را ایجاد کرده است، فناوری اسمز روبه‌جلو است؛ اما این روش به مرحله تجاری‌سازی نرسیده است. هزینه فرایند اسمز معکوس با توجه به موقعیت جغرافیایی و ظرفیت متفاوت است، اما به‌طور کلی هزینه آن حدود ۰٫۶ دلار در مترمکعب برای نمک‌زدایی شورابه و ۱ دلار برای تصفیه آب دریا است که شوری بیشتری دارد. تخلیه پساب‌های نمکی و همچنین کربن خروجی ناشی از مصرف بالای انرژی، دو چالش عمده استفاده از روش نمک‌زدایی است.

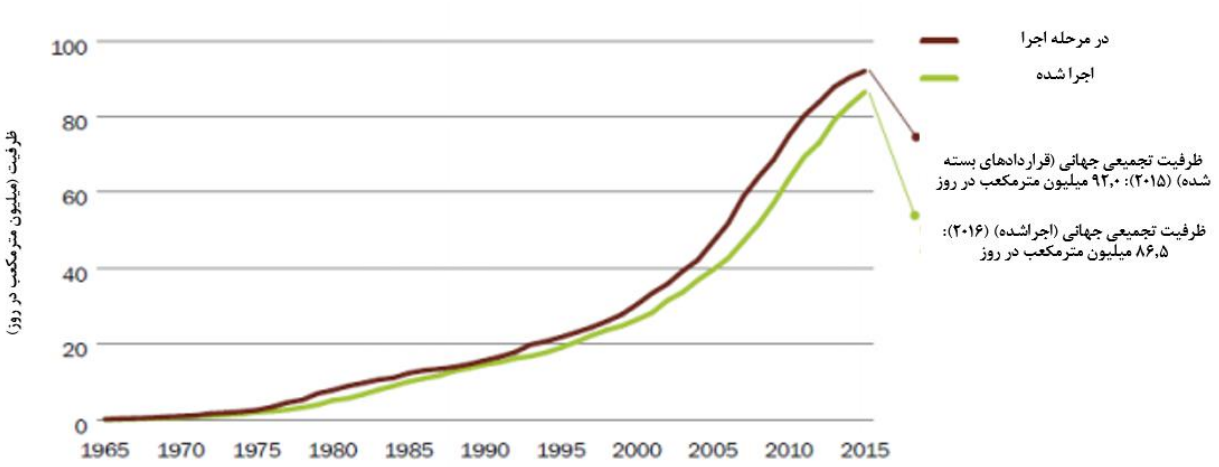
در **Error! Reference source not found.**۰ فرایند کلی فناوری‌های نمک‌زدایی آورده شده است.



شکل ۵۰: فرایند کلی فناوری‌های نمک‌زدایی

منبع: مؤسسه مالی citi

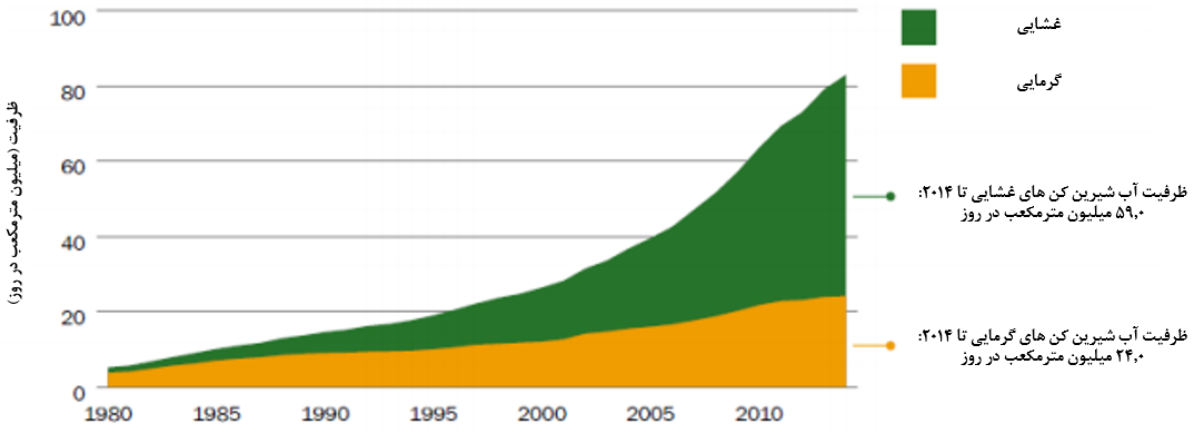
مطابق شکل ۵۱ ظرفیت نمک‌زدایی به‌سرعت در حال افزایش است.



شکل ۵۱: روند افزایش ظرفیت نمک‌زدایی در جهان تا ۲۰۱۵

منبع: مؤسسه مالی citi

در شکل ۵۲ ظرفیت واحدهای تصفیه گرمایی و غشایی آورده شده است.



شکل ۵۲: ظرفیت واحدهای تصفیه گرمایی و غشایی جهان

منبع: مؤسسه مالی Citi

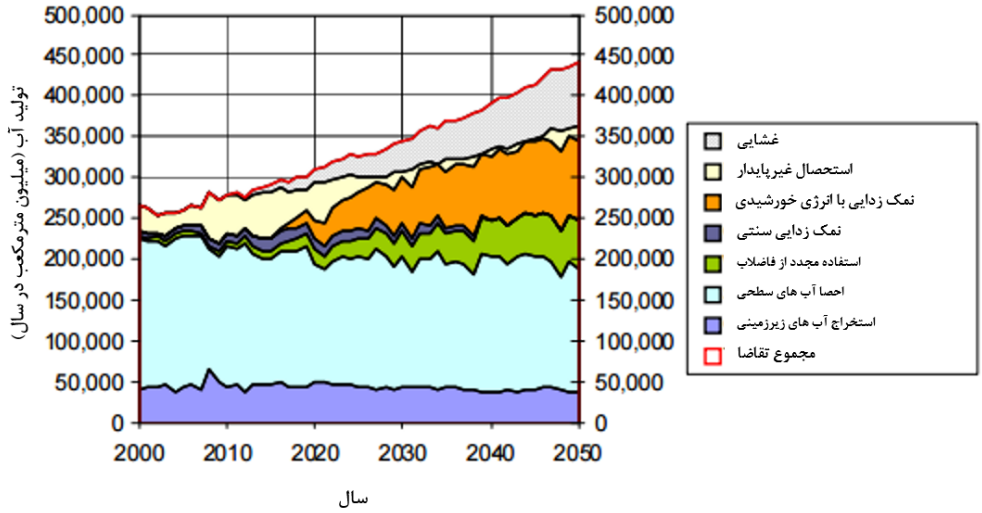
درصد فناوری‌های مختلف استفاده‌شده برای تصفیه آب در سال ۲۰۱۵ در شکل ۵۳ آورده شده است.

شکل ۵۳: درصد استفاده از فناوری‌های مختلف برای تصفیه آب در ۲۰۱۵

منبع: مؤسسه مالی Citi

۵-۶- چشم‌انداز آب منطقه منا[1]

در شکل ۵۴ پیش‌بینی از منابع تأمین آب منطقه منا شامل کشورهای شمال آفریقا و خاورمیانه تا سال ۲۰۵۰ ارائه شده است.

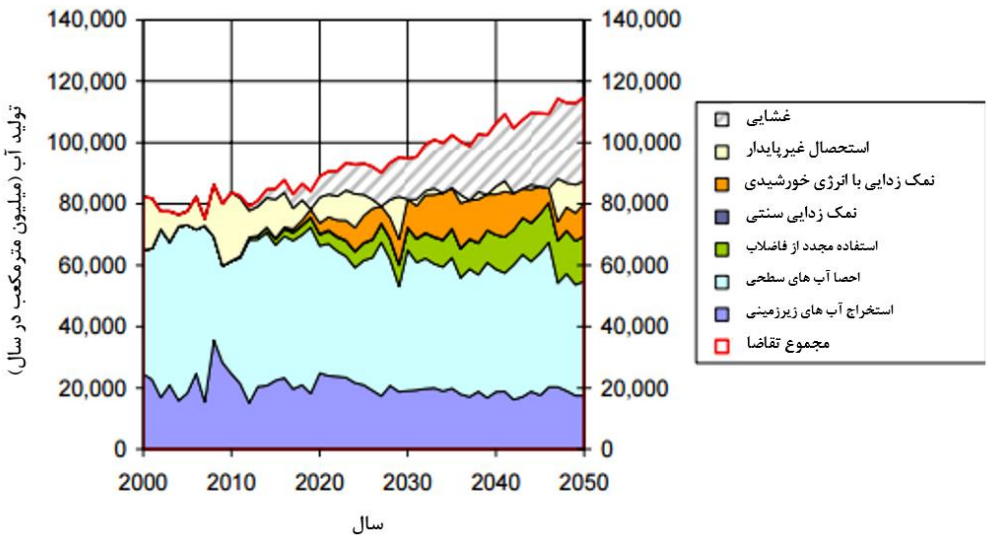


شکل ۵۴: منابع تأمین آب کشورهای منطقه منا تا ۲۰۵۰

منبع: شرکت فیچتنر

۱. این بخش برگرفته از گزارش شرکت فیچتنر در سال ۲۰۱۱ است.

در شکل ۵۵ سناریوی تأمین آب برای ایران تا ۲۰۵۰ آورده شده است.



شکل ۵۵: سناریوی تأمین آب ایران تا سال ۲۰۵۰

منبع: شرکت فیچتنر

در جدول۳۲ مقادیر عددی روش‌های مختلف تأمین آب بین ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰ برای منطقه منا در سناریوی تغییرات آب‌وهوایی محتمل آورده شده است.

جدول ۳۲: منابع تأمین آب کشورهای منطقه منا تا ۲۰۵۰ (میلیون مترمکعب در سال)

سال	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰	۲۰۵۰
دستاوردهای کارایی	۰	۰	۱۷۶۵۵	۳۵۹۵۹	۵۷۱۰۸	۸۰۰۳۶
استخراج ناپایدار	۳۲۴۳۲	۴۷۰۱۵	۴۴۶۳۶	۹۱۰۴	۷۰۹۳	۱۶۵۸۹
نمک‌زدایی با انرژی متمرکز خورشیدی	۰	۰	۲۳۴۰۵	۵۵۸۵۵	۷۹۴۶۱	۹۷۶۵۸
نمک‌زدایی سنتی	۴۵۹۸	۹۲۱۰	۱۲۶۷۹	۹۷۳۲	۱۰۵۴	۰
استفاده مجدد از فاضلاب	۴۴۴۵	۴۹۲۹	۱۶۹۶۵	۲۹۶۱۸	۴۴۱۲۵	۶۰۳۵۷
استخراج آب‌های سطحی	۱۸۵۲۵۶	۱۷۲۹۷۵	۱۴۶۷۴۹	۱۶۲۱۳۱	۱۶۵۷۳۵	۱۵۰۰۲۴
استخراج آب‌های زیرزمینی	۳۹۱۳۶	۴۳۰۵۱	۴۸۱۱۶	۴۱۴۹۱	۳۶۰۳۲	۳۷۷۰۰
کل تقاضا	۲۶۵۸۶۸	۲۷۷۱۸۰	۳۱۰۲۰۵	۳۴۳۸۹۱	۳۹۰۶۰۹	۴۴۲۳۶۴

منبع: شرکت فیچتنر

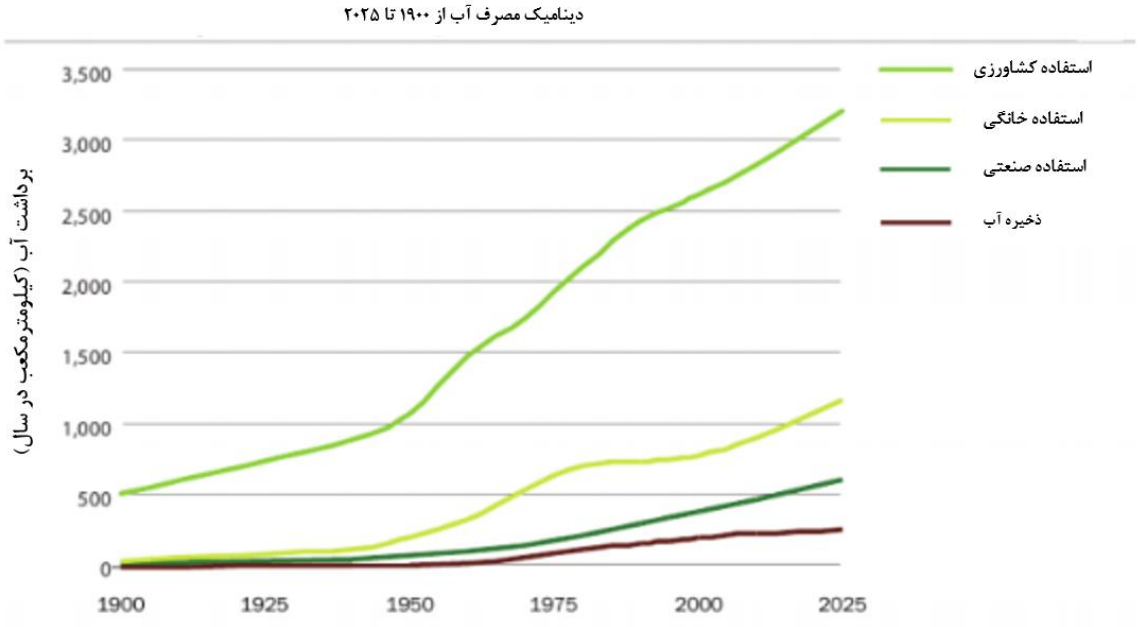
در جدول ۳۳ مقادیر عددی منابع مختلف تأمین آب تا ۲۰۵۰ برای ایران آورده شده است.

جدول ۳۳: سناریوی تأمین آب ایران تا ۲۰۵۰

سال	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰	۲۰۵۰
دستاوردهای کارایی	۰	۰	۶۷۹۵	۱۳۲۵۷	۲۰۶۳۰	۲۷۵۲۱
استخراج ناپایدار	۱۷۳۴۹	۲۲۱۵۰	۸۵۵۵	۰	۲۶۴۲	۷۲۲۲
نمک‌زدایی با انرژی متمرکز خورشیدی	۰	۰	۳۴۰۰	۹۲۳۷	۱۳۱۵۶	۱۰۵۶۵
نمک‌زدایی سنتی	۰	۱۷۲	۲۸۲	۲۱۸	۰	۰
استفاده مجدد از فاضلاب	۰	۰	۳۶۹۸	۷۱۸۸	۱۱۱۵۲	۱۴۸۱۵
استخراج آب‌های سطحی	۴۰۵۱۳	۳۶۹۴۳	۴۱۴۱۶	۴۵۸۸۳	۴۰۰۹۸	۳۷۳۴۰
استخراج آب‌های زیرزمینی	۲۴۴۵۰	۲۴۵۷۸	۲۴۸۵۶	۱۹۰۱۹	۱۸۶۶۵	۱۷۴۱۴
کل تقاضا	۸۲۳۱۲	۸۳۶۴۳	۸۹۰۰۱	۹۴۸۰۲	۱۰۶۳۴۳	۱۱۴۸۷۸

منبع: شرکت فیچتنر

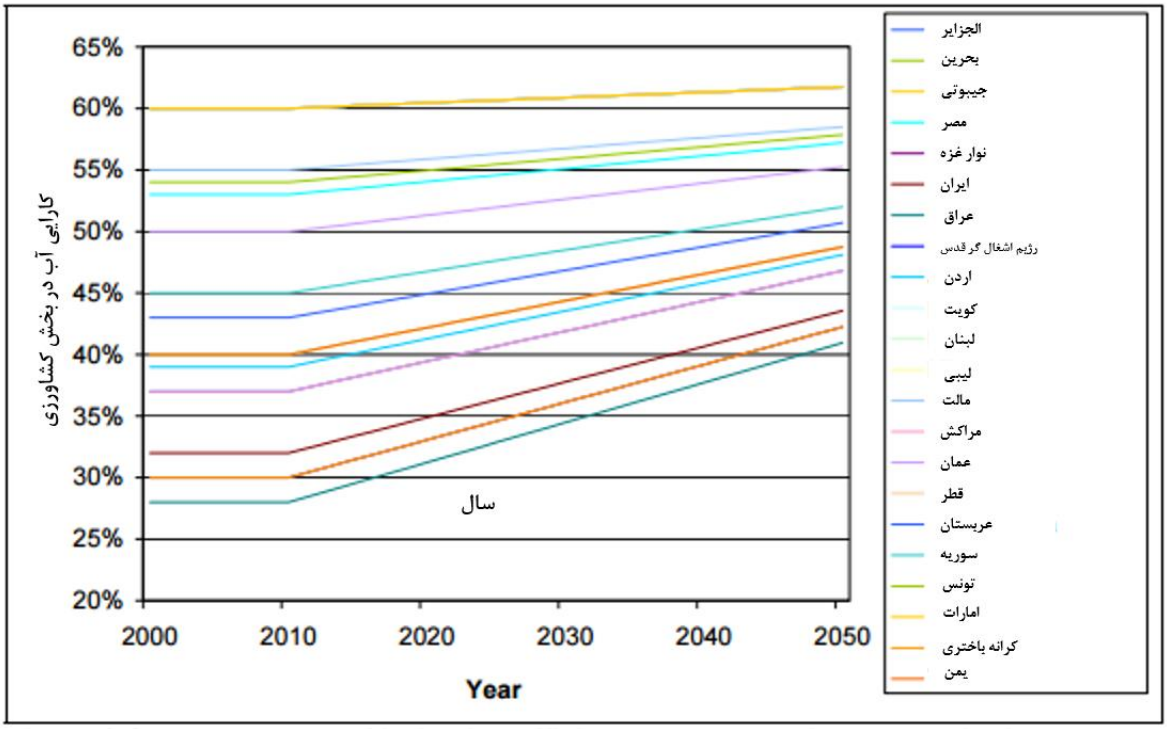
در شکل۵۶ پیش‌بینی میزان مصرف آب در حوزه‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی تا سال ۲۰۲۵ آورده شده است.



شکل ۵۶: پیش‌بینی میزان مصرف آب در حوزه‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی تا ۲۰۲۵

منبع: شرکت فیچتنر

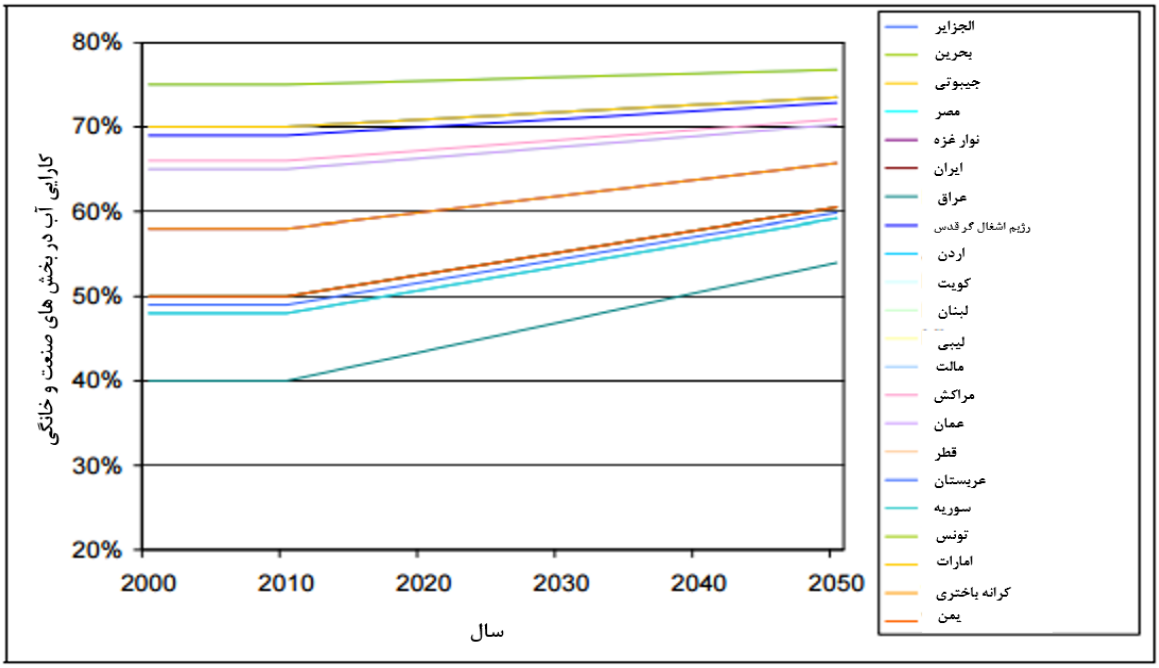
در شکل ۵۷ کارایی آبیاری کشاورزی تا ۲۰۵۰ برای منطقه منا پیش‌بینی شده است.



شکل ۵۷: میزان کارایی آبیاری کشاورزی تا ۲۰۵۰ در کشورهای منطقه منا

منبع: شرکت فیچتنر

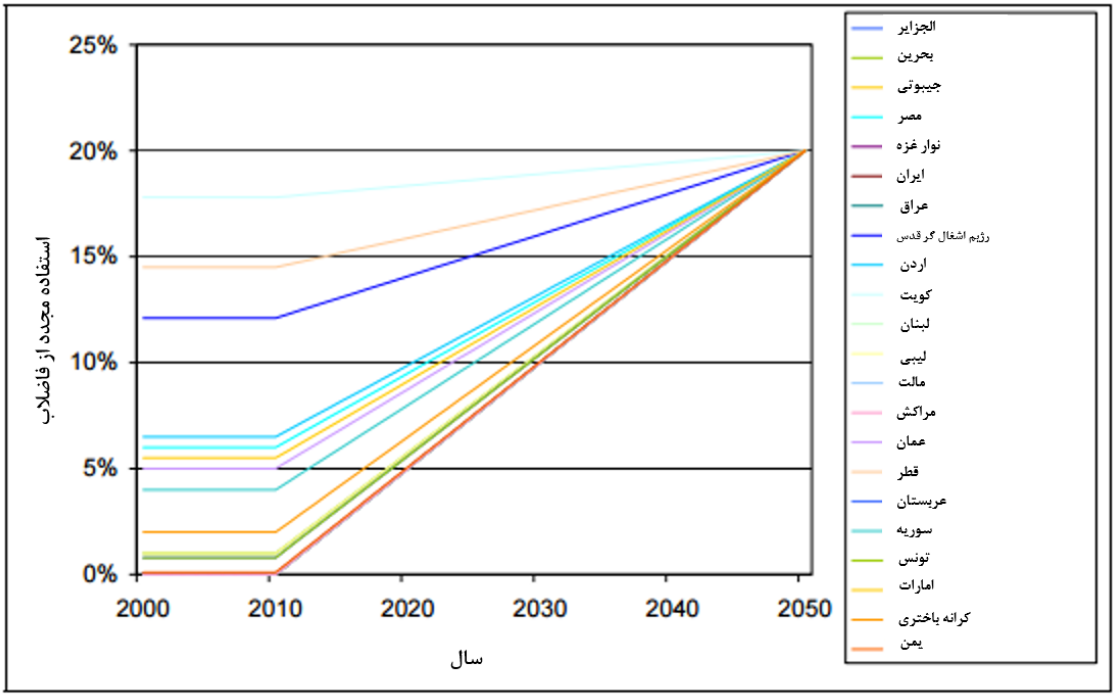
در شکل ۵۸ کارایی آب مورد استفاده در صنعت و مصرف خانگی تا سال ۲۰۵۰ برای منطقه منا آورده شده است.



شکل ۵۸: میزان کارایی استفاده آب در بخش خانگی و صنعتی تا سال ۲۰۵۰ در کشورهای منطقه منا

منبع: شرکت فیچتنر

در شکل ۵۹ میزان فاضلاب بازیافت شده به‌منظور استفاده مجدد در آبیاری آورده شده است.



شکل ۵۹: درصد بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب به‌منظور آبیاری در کشورهای منطقه منا تا ۲۰۵۰

منبع: شرکت فیچتنر

۶-۶- جمع‌بندی

در جدول ۳۴، رویکردها و فناوری‌های مدنظر هر یک از گزارش‌های بین‌المللی خلاصه شده است. استفاده از فناوری‌های ذکرشده علاوه بر رفع مشکل آب آشامیدنی، می‌تواند کارایی استفاده از آب در بخش‌های دیگر را نیز به نحو قابل توجهی افزایش دهد. مسئله اصلی گزینش، راه‌حل‌های مطلوب و بهره‌گیری از آن‌هاست.

جدول ۳۴: جمع بندی رویکردها و فناوری ها

عنوان گزارش	مؤسسه	ویژگی	فناوری‌های در نظر گرفته‌شده
آینده جهانی آب: پنج سناریو	سازمان ملل متحد	در این گزارش نیروهای پیشران که بر روندهای آینده سیستم جهانی آب تأثیرگذارند، ارائه شده و در دسته‌های زیر تقسیم‌بندی شده‌اند: • جمعیت‌شناسی • اقتصادی • فناوری • منابع آب • زیرساخت‌های آب • تغییرات جهانی آب‌وهوا • محیط‌زیست و کشاورزی • اجتماعی، فرهنگی و اخلاقی • نهادی/ دولتی • سیاسی پنج سناریو: - ادامه جهان سنتی - تعارض در جهان - جهان فناور - آگاهی جهانی - رکود جهان سنتی	در این گزارش به کلیات نقش فناوری و سناریوهای آن در آینده آب اشاره شده است. با این حال لیست فناوری‌های مدنظر آن‌ها برای آینده آب شامل موارد زیر است: • تمام فناوری‌های مرتبط با منابع جدید و بهبودیافته انرژی • ICT • فناوری‌های محافظت از آب (شیرهای سنسوردار با جریان پایین، دوش‌های جریان کم و ...) • فناوری نمک‌زدایی • فناوری کاستن از آلودگی آب • فناوری‌های رفع آلودگی آب • فناوری‌های توسعه اقلام کشاورزی جدید (مقاوم در برابر شوری) • فناوری‌های جدید ذخیره‌سازی و انتقال آب • فناوری‌های کنترل و دست‌کاری آب‌وهوا • سنسورها و سیستم‌های سنجش از راه دور • فناوری‌های تحلیل منابع جدید اطلاعات • نانو فناوری (فیلترهای نانو، مواد نانو نانوذرات و حسگرهای نانو) • فناوری زیستی • کشاورزی دقیق • کاتالیست‌ها • فناوری تولید گوشت بدون حیوان • هواکشت
ICT برای مدیریت هوشمند آب	اتحادیه بین‌المللی مخابرات سازمان ملل متحد	این گزارش بیشتر به بررسی نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در بخش آب پرداخته است.	تأکید این گزارش بر ICT است. • سنجش از راه دور ماهواره‌ای • شبکه سنسورها • سیستم اطلاعات جغرافیایی • کنتورهای هوشمند • تحلیل داده • فناوری‌های نقشه‌برداری منابع آبی و پیش‌بینی آب‌وهوا • سیستم‌های سنجش در داخل زمین • لوله‌های هوشمند
چشم‌انداز آب منطقه MENA	فیچتنر	در این گزارش پیش‌بینی از منابع آب تا ۲۰۵۰ و فناوری‌های قابل استفاده در این حوزه ارائه شده است.	در این گزارش به‌صورت خاص برای ایران پیش‌بینی شده است که مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی تا ۲۰۵۰ کاهش یافته و استفاده از فناوری نمک‌زدایی، فناوری‌های استفاده مجدد از آب افزایش می‌یابد. همچنین کارایی استفاده از آب نیز افزایش قابل توجهی خواهد داشت.
روندهای اصلی بخش آب در جهان	دیلویت	سناریوی آینده: افزایش جمعیت به ۹,۷ میلیارد در سال ۲۰۵۰.	• کلان داده • فناوری‌ها و حس‌گرهای راه دور • حس‌گرهای بسیار دقیق سنجش کیفیت آب

		کمبود ۴۰ درصدی آب در ۲۰۳۰ در صورت عدم‌تغییر وضعیت فعلی کسب‌وکارها تشدید کمبود آب افزایش پیچیدگی و هزینه مدیریت چرخه آب، زیرساخت‌ها و تقاضا و به دنبال آن مهاجرت گسترده مردم	• شبکه‌های خودکار کنتورهای آب • کشاورزی دقیق • فناوری‌های پیشرفته نمک‌زدایی • فناوری‌های تصفیه فاضلاب • مواد پیشرفته مانند فناوری‌های غشایی (پلیمری و سرامیکی) • فیلتراسیون میکرو، الترا و نانو • فناوری الکترودیالیز، اسمز معکوس و اسمز رو به جلو • بیوراکتورها • استفاده از مواد شیمیایی به‌منظور کاهش مصرف آب در فرایندهای آب بر • استفاده از لجن خروجی فرایند تصفیه به‌عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر یا استخراج منابع با ارزش آن • فناوری گداخت هسته‌ای • فناوری آینه‌های غول‌پیکر فضایی به‌منظور تمرکز انرژی خورشید بر زمین
راه‌حل‌هایی برای بحران جهانی آب	مؤسسه مالی Citi	با افزایش شهرنشینی تا ۲۰۵۰، تقاضای غذا ۶۰ درصد افزایش خواهد یافت. درصورتی‌که تغییری در مدیریت منابع آب ایجاد نشود، ۶۳ تریلیون دلار از GDP جهان تا ۲۰۵۰ درخطر است. راه‌حل‌های پیشنهادی برای مقابله با بحران آب: ۱-ارتقا، نگهداری و ساخت زیرساخت‌های آب ۲-ابزارهای تنظیم گری و مبتنی بر بازار ۳-راه‌حل‌های مبتنی بر فناوری	• ابزارهای مدیریت هوشمند آب: شبکه‌های سنسور، کنتورهای هوشمند، لوله‌های هوشمند، ابزارهای مدل‌سازی و تحلیل، ابزارهای انتشار و ذخیره‌سازی • کلان‌داده • محاسبات ابری و فناوری موبایل • فناوری نمک‌زدایی (فناوری غشا و اسمز روبه‌جلو)[1] • کشاورزی دقیق • فناوری استفاده مجدد از آب تولیدشده • فناوری‌های ایجاد محصولات مقاوم در برابر خشک‌سالی

۱. Forward Osmosis

۷- تحول فناوری و تأثیر آن بر کشاورزی

تحولات فناوری از جنبه‌های مختلف بر کشاورزی تأثیرگذار است. به همین منظور در این بخش به بررسی آینده فناوری‌های حوزه کشاورزی پرداخته شده است.

در گزارشی که توسط فائو منتشر گردید از زیست‌فناوری به‌عنوان امیدی برای بهبود امنیت غذایی در افق ۲۰۳۰ نام برده شده است. در صورتی‌که تهدیدات محیط‌زیستی ناشی از فناوری بایو مورد توجه قرار گیرد و اگر فناوری مقرون به صرفه بوده و به سمت نیازهای فقرا و افراد دارای سوءتغذیه حرکت کند، گونه‌های تولیدی اصلاح ژنتیکی شده می‌تواند حامی کشاورزی در مناطق حاشیه‌ای و بازیابی زمین‌های فرسوده باشد. برای رفع نگرانی مصرف‌کنندگان، فائو خواستار بهبود آزمایش‌ها و پروتکل‌های ایمنی برای ارگانیسم‌های اصلاح‌شده ژنتیکی شده است.

دیگر فناوری‌های نوظهور امیدوارکننده با رعایت حفاظت از محیط‌زیست تولید را افزایش می‌دهند. این فناوری‌ها شامل کشاورزی حفاظتی[۱] و مدیریت یکپارچه آفات و مواد مغذی است. کشاورزی ارگانیک می‌تواند در ۳۰ سال آینده به جایگزین مناسبی برای کشاورزی سنتی تبدیل شود.

۷-۱- کشاورزی آینده[۲]

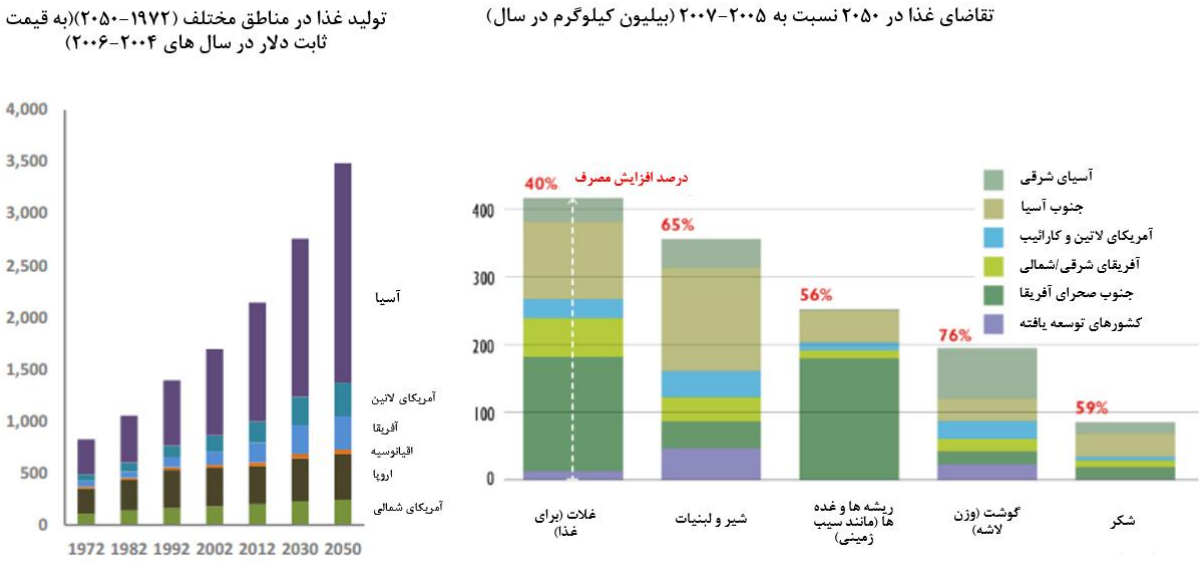
جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر و تقاضای غذا نسبت به ۲۰۱۲، ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. تا سال ۲۰۳۰ تولید غذا ۳۵ درصد افزایش خواهد یافت. برای پایان دادن به فقر باید سالانه ۴,۵ درصد به درآمد کشاورزان در کشورهای فقیر افزوده شود و استفاده از منابع طبیعی ازجمله زمین، آب، تنوع زیستی و اتمسفر باید پایدار باشد.

کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ با سه چالش مواجه است:

نخستین چالش، بهره‌وری است. تولید غذا در مناطق مختلف بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۵۰ و تقاضای غذای مناطق مختلف در شکل ۶۰ آورده شده است.

۱. Conservation agriculture

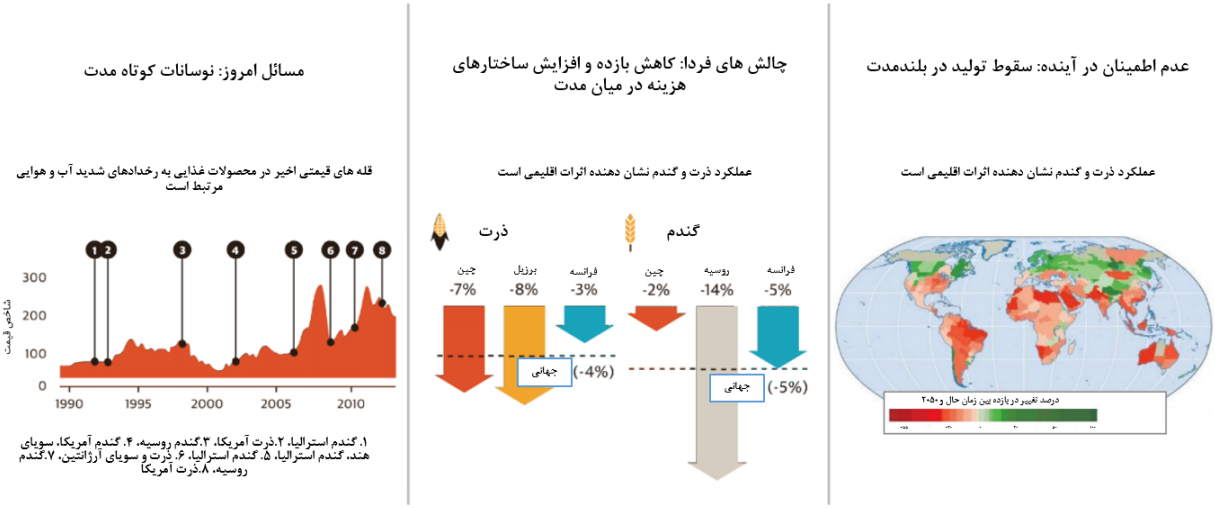
۲. این بخش برگرفته از گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۳ بوده و افق زمانی آن سال ۲۰۵۰ است.



شکل ۶۰: تقاضای غذا و میزان تولید غذا تا سال ۲۰۵۰ در مناطق مختلف

منبع: بانک جهانی

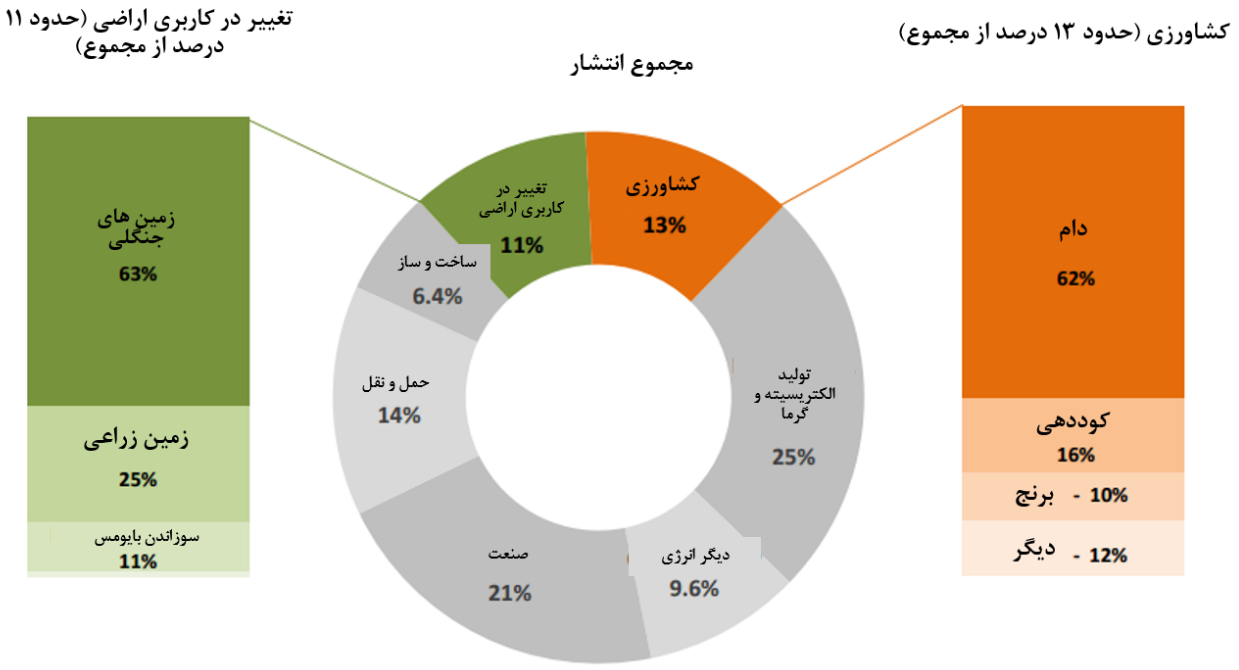
چالش دوم، انطباق با تغییرات آب‌وهوایی و تأثیر آن بر سیستم‌های غذایی است. در شکل ۶۱ ارتباط بین وقایع آب‌وهوایی شدید و قیمت غذا، کاهش غذا در میان‌مدت و سقوط تولید در بلندمدت آورده شده است.



شکل ۶۱: اثرات کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تغییرات آب‌وهوایی بر سیستم غذایی

منبع: بانک جهانی

درنهایت چالش سوم، انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در شکل ۶۲ میزان انتشار فعلی گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های مختلف آورده شده است.



شکل ۶۲: میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع مختلف

منبع: بانک جهانی

تا سال ۲۰۵۰ انتشار از مبدأ کشاورزی باید ۶۰ درصد کاهش یابد. انتشار ناشی از تغییر کاربری زمین نیز باید صفر شود. راه‌حلی که در این گزارش ارائه شده، کشاورزی هوشمند آب‌وهوا محور[1] است که شامل ارتقای مدیریت آب هوشمند، تقویت ابزارهای مدیریت خطرپذیری کشاورزی، به‌کارگیری اقدامات مناسب برای مدیریت خاک، پالایش سیستم اطلاعات کشاورزی و ارتقای فرایند جداسازی کربن است.

۲-۷- کشاورزی در ۲۰۳۰- داستان‌های آینده[2]

این گزارش هفت روایت متفاوت از چشم‌انداز کشاورزی سوئد در آینده ارائه کرده است. نویسندگان هدف این گزارش را ایفای نقش در فرایندهای دموکراتیک با پیشنهاد چشم‌اندازی دوردست‌تر و طرح مباحثی در مورد اینکه چگونه تصمیمات امروز ما بر آینده تأثیرگذار است، عنوان کرده‌اند. این هفت روایت آینده، نتیجه پروژه‌ای در پلتفرم تحقیقات بین‌رشته‌ای آینده کشاورزی در دانشگاه کشاورزی سوئد است. زمینه روایت‌ها از سناریوهای پروژه آینده کشاورزی اقتباس شده است (Oborn et al, 2011). این سناریوها شامل موارد زیر است:

- جهان سوء استفاده‌شده؛
- جهان متعادل؛
- تغییر تعادل قدرت در جهان؛

۱. Climate-Smart Agriculture

۲. این بخش برگرفته از گزارش دانشگاه کشاورزی سوئد در ۲۰۱۷ است.

- جهان جداشده.

عنوان نخستین روایت از این مجموعه «فناوری راه‌حل مسائل کشاورزی» است. در این بخش نیروهای پیشران، احتمالات و عواقب توسعه فناوری‌ها آورده شده است.

۱-۲-۷- فناوری راه‌حل مسائل کشاورزی

در آینده راه‌حل‌های فناورانه جدید و افزایش استفاده از فناوری منجر به سهولت تولید پایدار از نظر اقتصادی، بوم‌شناسی و اجتماعی خواهد شد. شاید پردازش و استفاده از محصولات پسماند امکان‌پذیر شود. توسعه فناوری وابسته به سرمایه‌گذاری دولت‌ها و شرکت‌ها بر روی منابع و مسیر توسعه‌ای است که جوامع طی می‌کنند. مسائل اصلی شامل موارد زیر هستند:

- توسعه فناوری چه جهتی را طی می‌کند؟
- جوامع چه کنترلی بر آن‌ها خواهد داشت؟
- توسعه فناوری چه پیامدهای برای بخش کشاورزی و بقیه جامعه دارد؟

این روایت سه سناریوی مختلف برای توسعه فناوری در سال ۲۰۳۰ ارائه می‌دهد:

سناریوی ۱: فناوری‌های جدید برای آینده پایدار

این سناریو آینده‌ای را به تصویر می‌کشد که در آن کمترین تعارضات در اطراف جهان وجود دارد. بیشتر قدرت در اروپا در سطح فراملی و فراتر از مرزهای ملی است و تغییر واضحی به سمت جامعه پایدارتر وجود دارد. اهداف جاه‌طلبانه در مورد عدالت جهانی، برابری و محیط‌زیست در مسیر تحقق قرار دارند و فناوری‌های جدید توسعه داده‌شده برای کشاورزی در سطح کوچک و وسیع مناسب هستند. تمرکز بر کاهش تأثیرات محیط‌زیستی و آسان کردن کشاورزی در چرخه محیط‌زیست، هم در آب و هم در خاک است. پرورش دقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد و سنجه‌های پرورش ورودی‌های تولید به‌دقت و با توجه به شرایط منطقه‌ای تنظیم می‌شوند. با کمک زیست‌فناوری گیاهانی پرورش داده می‌شوند که در برابر آفات و بیماری‌ها مقاوم هستند و از ربات‌های کوچک برای مبارزه با علف هرز بهره گرفته می‌شود. حیوانات متناسب با نیازهای شخصی تغذیه می‌شوند که موجب کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهینه‌سازی مصرف منابع می‌شود. فناوری‌های جدید به‌منظور کشف و جلوگیری از بیماری در حیوانات موجب افزایش کارایی تولید حیوانات می‌شود.

با توجه به سیاست‌های محیط‌زیستی و آب‌وهوایی، مشوق‌هایی برای توسعه اقتصادی با میزان بالاتر بازیافت و استفاده مجدد ارائه می‌شوند. این روند منجر به توسعه فناوری بازیافت محصولات کشاورزی می‌شود. توسعه فناوری‌های جدید با موافقت‌نامه‌های سازمان‌های بین‌المللی تشدید می‌شود. تقاضای بازار برای فناوری دوستار محیط‌زیست موجب توسعه این فناوری می‌شود. این تغییرات با سیاست چماق و هویج صورت خواهد گرفت. در برخی موارد استفاده از فناوری‌هایی که برای محیط‌زیست و سلامت مضر هستند، ممنوع خواهد شد که این منجر به توسعه فناوری‌های جدید خواهد شد. در موارد دیگر، یارانه‌ها و تحقیقات به‌منظور توسعه فناوری‌های جدید مانند کنترل بیولوژیکی آفات و بیماری‌ها تشویق خواهند شد. به دلیل تقاضای زیاد برای فناوری‌های

هوشمند محیط‌زیستی، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه این زمینه‌ها برای تجار و صنایع اقتصادی خواهد بود.

بخش عمومی باور دارد که توسعه فناوری در مسیر درستی قرار دارد. توافقی جهانی در مورد ایجاد ابزارهای کنترل و قوانین تجارت وجود خواهد داشت که به معنی وجود تعداد بیشتری شرکت موفق در بخش بذر است. یکی از اثرات دیگر مقررات مرتبط با زیست‌فناوری و فرایندهای پالایش این است که آن‌ها از حقوق کشاورزان برای بهره‌برداری از بذر و بازیابی آن دفاع می‌کنند.

خودروهای سبک‌تر، خودران و دقیق بسیاری از وظایف را بر عهده گرفته و هزینه‌های سوخت و نیروی انسانی کاهش می‌یابد. هم‌زمان فناوری اطلاعات کشاورزی و جوامع را نسبت به اختلالات حساس‌تر خواهد کرد.

سناریوی ۲: غذای سوئد برای صادرات به آسیا

در دیگر سناریوی آینده، تعادل قدرت از غرب به شرق منتقل خواهد شد. در سطح بین‌المللی توافق سیاسی کمی بر روی محیط‌زیست و آب‌وهوا وجود دارد. گرم شدن زمین موجب تغییر مناطق تولید کشاورزی به سمت شمال جهان خواهد شد. اقتصاد جهانی با آزادسازی تجارت همراه است. در اروپا توافق ضعیفی در مورد سیاست کشاورزی وجود دارد. بسیاری از کشاورزان سوئدی توسط شرکت‌هایی آسیایی به کار گرفته شده‌اند. بسیاری از شرکت‌های کشاورزی سوئد تغییر وضعیت داده و برای بازارهای آسیا تولید می‌کنند. فناوری بایو به‌طور گسترده‌ای در برنامه‌های پرورش استفاده می‌شوند و بر تولید بیشتر حیوانات مقاوم در برابر بیماری تمرکز دارد.

سناریوی ۳: سوخت زیستی سوئد به‌عنوان نیروی پیشران توسعه فناوری

سومین سناریوی آینده نشان‌دهنده جهانی است که در آن کمبود کالا، زمین و آب وجود دارد. تجارت آزاد کماکان وجود دارد، اما محافظه‌کاران در حال قدرتمندتر شدن هستند. صنعت خودرو سرمایه‌گذاری وسیعی بر روی تطبیق خودروها با ترکیبات جدید سوختی صورت خواهند داد و بیشتر خودروهای سوئد و ماشین‌آلات کشاورزی از سوخت‌های زیستی استفاده خواهند کرد.

۳-۷- آینده‌نگری فناوری ۲۰۳۵: فناوری‌های متحول کننده بخش کشاورزی-غذایی[1] ایرلند

این گزارش در سال ۲۰۱۶ توسط مؤسسه ایرلندی تیگسک[2] که مسئول ارائه سرویس‌های تحقیق و توسعه، آموزش و مشاوره‌ای در بخش کشاورزی-غذایی است، منتشر شد و بر شناسایی فناوری‌های کلیدی که باعث رقابت‌پذیری و توسعه پایدار بخش کشاورزی-غذایی در ۲۰ سال آینده می‌شود، تمرکز دارد. هدف این گزارش شناسایی فناوری‌هایی است که ایرلند باید بر روی آن‌ها سرمایه‌گذاری کند. انتظار می‌رود این گزارش به سیاست‌گذاری در سطح ملی و همچنین در سطح اتحادیه اروپا کمک کند.

بخش کشاورزی-غذایی و اقتصاد زیستی یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصاد ایرلند از نظر اشتغال و صادرات است. رقابت‌پذیری و پایداری بلندمدت آن یک نگرانی کلیدی در سیاست ملی است. کشاورزی به‌صورت خاص با چالش‌های عمده‌ای نه‌تنها در ایرلند، بلکه در اروپا و سایر نقاط دنیا در دهه‌های پیش رو مواجه است. از طرفی باید غذای بیشتری برای جمعیت در حال رشد تولید شود؛ جمعیتی که نیازمند غذای متنوع و رژیم غذایی سرشار از پروتئین است. رقابت بر سر منابع طبیعی کمیاب، محافظت از تنوع زیستی، کیفیت آب‌وخاک، بازیابی زیست‌بوم‌های ضعیف و بهبود اثرات تغییرات آب‌وهوا همگی از مسائل پیش روی کشاورزی است. کشاورزی باید با عواقب مستقیم تغییرات آب‌وهوا مانند میانگین دمای بالاتر، رخدادهای آب‌وهوایی سخت، افزایش سیل و از دست دادن محصول و بیماری‌های محصولات و حیوانات نیز مقابله کند. چالش بعدی کاهش رو به گسترش اقدامات کنترلی مناسب در برابر پاتوژن‌ها و آفت‌های در حال رشد مداوم است.

۱-۳-۷- فناوری‌های نوظهور

یافته کلیدی این پروژه این است که صنعت کشاورزی-غذایی با به‌کارگیری فناوری‌های جدید در آستانه تحول قرار دارد. علاوه بر این، پیشرفت‌های اخیر در ICT و بیولوژی مولکولی، توان و ظرفیت تحول این بخش را دارد. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های موجود و جدید نقش تعیین‌کننده‌ای را در توانمندسازی بخش برای شدت بخشیدن به تولید، افزایش خروجی، صادرات و اشتغال با در نظر گرفتن محیط ایفا می‌کند. چالش فعلی، شناسایی نواحی جدید فناوری است که برای آینده بهره‌وری و پایداری اهمیت دارند. فناوری، ایرلند را قادر می‌سازد تا تعهدات قانونی خود را برای حفاظت از سرمایه طبیعی و تضمین موقعیت آن به‌عنوان یک تولیدکننده سبز، نشان دهد. تحقق این تحول نه‌تنها منجر به افزایش جاه‌طلبانه صادرات محصولات کشاورزی در رده جهانی می‌شود، بلکه اقتصاد زیستی پویایی را به ارمغان می‌آورد که شغل و فرصت‌های جدید به وجود می‌آورد. همچنین این امر به افزایش سودآوری در سراسر زنجیره ارزش کشاورزی-غذایی کمک می‌کند.

چالش بزرگ فعلی شناسایی نواحی از فناوری است که برای آینده بهره‌وری و پایداری بخش ضروری است. تمرکز این گزارش بر روی این فناوری‌ها است که اگر در برنامه‌های تحقیقاتی قرار گیرند، بیشترین توان اثرگذاری و تحول اقتصادی را تا سال ۲۰۳۵ داشته باشند و پاسخی برای چالش‌های کلیدی مانند کاهش

1. Agri-food
2. Teagasc

گازهای گلخانه‌ای باشند. با کمک گرفتن از ۲۰۰ متخصص که در فرایند پیش‌بینی مشارکت داشتند و با مشورت ذینفعان صنعتی، پنج زمینه فناوری زیر به‌عنوان اولویت‌های نوآوری و پژوهش در ایرلند در سال‌های آینده انتخاب شدند.

- ژنومیک گیاهان و حیوانات و فناوری‌های مرتبط: در طی ده سال اخیر، حوزه‌های مختلفی از علوم زندگی و بیولوژی مولکولی گستره‌ای از فنون و روش‌های جدید را توسعه داده‌اند که تغییردهندگان بازی برای بخش کشاورزی-غذایی هستند. این موارد شامل توالی‌یابی نسل جدید، توالی کامل بیوم، ویرایش ژنی و زیست‌شناسی سینتیک است. ترکیبی از فناوری‌های جدید و در حال ظهور، توانایی تحول در پرورش حیوانات و محصولاتی با عملکرد بالا که دارای خصوصیات ارزشمندی برای تولیدکنندگان، پردازشگران، مصرف‌کنندگان و محیط‌زیست هستند را دارند.

- میکروبیوتای انسان، حیوانات و خاک: محیط‌های طبیعی مانند خاک، چمنزار، دستگاه گوارش انسان و حیوان شامل جوامع پیچیده میکروارگانیسم هستند. این جوامع نه‌تنها برای زنده ماندن و تکثیر در این محیط‌ها تکامل یافته‌اند، بلکه آن‌ها عملکردهای سطح بالای پیچیده‌تری را در همزیستی با سیستم‌های زندگی بزرگ‌تر انجام می‌دهند. آن‌ها نقش مهمی در هر جنبه از زنجیره ارزش غذایی کشاورزی دارند و ما در حال حاضر اهمیت آن‌ها را برای تولید غذا، سلامت و تغذیه انسان‌ها، حیوانات و خاک و همچنین سلامت محیط‌زیست بهتر درک می‌کنیم. پیشرفت‌های اخیر در پردازش کامپیوتری و توالی‌یابی نسل جدید به ما اجازه می‌دهد تا میکروبیوتا را به‌صورت عمیق‌تری بررسی کنیم و نقش بزرگ آن را درک کرده و راهبردهای لازم برای مدیریت ارتباط بین این جوامع و محیطی که در آن زندگی می‌کنند را بیابیم. ما در ابتدای دانستن این هستیم که میکروبیوتای دستگاه گوارش انسان چگونه می‌تواند منجر به ایجاد محصولات و خدمات جدید برای سلامت و تغذیه انسان شود.

- فناوری‌های دیجیتال: این فناوری‌ها به جمع‌آوری داده از طریق سیستم‌های مدیریتی و اتوماسیون فعالیت‌هایی مانند دوشیدن شیر، مدیریت گله، غذا دادن، مدیریت علف‌های هرز، بیماری‌های گیاهان و همچنین ساده‌سازی و خودکارسازی اداره زمین کشاورزی کمک می‌کنند. کشاورزی دقیق، شیردوشی رباتیک، سیستم‌های غنی‌شده با حسگر، سیستم‌های داده‌محور، اینترنت اشیا و اینترنت اشیای کشاورزی و اینترنت اشیای زنده، وسایل نقلیه خودران و پهپادها، سنجش مبتنی بر تراکتور و استقرار ماهواره‌های کوچک، سیستم‌های رباتیک برای جابه‌جایی محصولات ظریف مانند میوه و سبزیجات ازجمله فناوری‌های حوزه کشاورزی هستند که از فناوری دیجیتال کمک می‌گیرند. با استفاده از نسل جدید شبکه‌ها و رشد اقتصاد دیجیتال در سایر بخش‌های اقتصاد، بهره‌وری بخش کشاورزی نیز بالاتر می‌رود.

- فناوری‌های جدید برای پردازش مواد غذایی: تا سال ۲۰۳۵ صنایع غذایی به تکمیل روش‌های پیشرفته برای تقلیل، حفظ و فرموله‌سازی محصولات غذایی نوآورانه، ایمن و طبیعی ادامه خواهد داد. این به‌طور فزاینده‌ای به بینش ما از میکروبیوتای زنجیره غذایی مرتبط است. با این حال، بزرگ‌ترین تحول ناشی از مصرف‌کنندگان

انتهای زنجیره ارزش به‌عنوان داده‌های مربوط به نیازها و ترجیحات غذایی، راحتی و شیوه زندگی است. یکی از چالش‌های صنایع غذایی بهبود اتلاف مواد غذایی است که حدود ۱,۳ میلیارد تن (یک‌سوم از تولید جهانی غذا) را شامل می‌شود. فناوری‌هایی مانند چاپگرهای سه‌بعدی، رباتیک پیشرفته و ترکیب آن‌ها با کلان‌داده به دست آمده از پوشیدنی‌های هوشمند و پایگاه‌های داده ژن‌های شخصی مصرف‌کنندگان، صنایع غذایی را قادر می‌سازد که محصولاتشان را با خدمات ارزش افزوده‌ای که نیازهای خاص مشتریان و گروه‌های مصرف‌کننده کوچک را شامل می‌شود، تقویت کنند. فناوری‌های غیرگرمایی مانند اولتراسوند پلاسما، فناوری‌های منجمدسازی، تصفیه زیستی،[۱] بیولوژی سینتیک، کارخانه‌های سلولی،[۲] غذاهای تک‌سلولی،[۳] چاپگرهای سه‌بعدی و ربات‌های مرتبط با غذا ازجمله فناوری‌های مرتبط با پردازش مواد غذایی هستند.

- تحول در سیستم زنجیره ارزش غذایی: زنجیره تأمین و زنجیره ارزش این بخش در سال ۲۰۳۵ بسیار متفاوت با زنجیره فعلی خواهد بود. آن‌ها بیشتر مبتنی بر دانش بوده و به دلیل تبادل گسترده داده، عملیات و خدمات آن‌ها کاراتر خواهد بود. آن‌ها با توجه به مفاهیم اقتصاد دایره‌ای[۴] مجدداً سازمان‌دهی می‌شوند. الگوهای اقتصادی و کسب‌وکار این حوزه بسیار متفاوت خواهد بود. با استفاده از حسگرهای کم‌هزینه و اینترنت اشیا، آن‌ها از فناوری بیشتر استفاده خواهند کرد.

در جدول ۳۵ تأثیر فناوری‌های جدید بر زنجیره ارزش بخش کشاورزی-غذایی در سال ۲۰۳۵ آورده شده است.

جدول ۳۵: تأثیر فناوری‌های مهم نوظهور بر زنجیره ارزش بخش کشاورزی-غذایی در ۲۰۳۵

	ICT			ژنتیک			میکروبیوتیک		
	شبکه‌های حسگر هوشمند کم‌هزینه، سنجش از دور و GIS، داده‌های عظیم + کوچک	روباتیک، اتوماسیون، ماشین‌های هوشمند، چاپگرهای سه‌بعدی و ...	پشتیبان تصمیم، فناوری‌های شناختی و AI	نسل بعدی ترتیب گذاری (بسیار سریع، کم‌هزینه) و ژنوتایپینگ کم‌هزینه و گسترده	اصلاح ژنتیک- germ line	اصلاح ژنتیک- non germ line	ترتیب گذاری بیوم کامل (امکان‌پذیر شده از طریق ترکیب ICT +ژنتیک)	تغذیه و مدیریت فلور میکروبی	بیوراکتورهای پیشرفته نسل بعد
به فناوری‌های خط لوله یا قطره‌ای که به‌کارگیری آنها قریب‌الوقوع و در دست انجام است، نپرداخته‌ایم. روی فناوری‌هایی تمرکز می‌کنیم که به تغییر زنجیره‌های ارزش موجود بین اکنون و سال ۲۰۳۵ ادامه خواهند داد									

۱. Biorefining
۲. Cell Factories
۳. Single cell foods
۴.Circular economy

تولید کشاورزی	مدیریت خاک	❋	❋	❋			❋	❋	❋	
	مدیریت مرتع	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	
	مدیریت کشت	❋	❋	❋	❋	❋	❋			
	پرورش دام و گیاه	❋	❋	❋	❋	❋	❋			
	سلامت دام	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	❋	
	تغذیه، تولیدمثل و مدیریت دام	❋	❋	❋	❋	❋	❋			
	مدیریت کیفیت	❋	❋	❋	❋		❋	❋	❋	❋
	بهره‌وری ماشین‌آلات و نیروی کار	❋	❋	❋			❋			
	مدیریت منابع	❋	❋	❋			❋	❋	❋	❋
	انرژی، پسماند و انتشار گازهای گلخانه‌ای	❋	❋	❋	❋	❋	❋			❋
	خدمات زیست‌محیطی	❋	❋	❋			❋	❋	❋	❋
غذا، تغذیه و فرآوری زیستی یعنی زیست‌پایه	فرآوری اولیه	❋	❋							
	فرآوری ثانویه	❋								❋
	بخش‌های عملیاتی	❋		❋	❋				❋	❋
	سوخت‌های زیستی				❋	❋			❋	❋
	شیمی سبز				❋	❋			❋	❋
	مدیریت کیفیت	❋	❋	❋			❋	❋	❋	
خدمات مصرف‌کننده	توزیع صنعتی		❋							
	توزیع مواد غذایی، خرده‌فروشی و غیره		❋	❋						
	مدیریت کیفیت	❋	❋	❋	❋		❋	❋		❋
	خدمات تهیه غذا و رستوران	❋	❋	❋			❋			
	بهداشت و امنیت غذایی	❋	❋	❋			❋	❋		❋
	خدمات غذایی، سلامت و تغذیه	❋	❋	❋			❋	❋		❋

منبع: مؤسسه تیگسک

در جدول ۳۶ نقش میکروبیوتا در انسان، حیوانات و محیط آورده شده است.

جدول ۳۶: نقش میکروبیوتا در انسان، حیوانات و محیط‌زیست

بیوم	نقش
GIT انسانی	سلامت عمومی و بهزیستی تغذیه حفاظت در برابر عفونت توسط عوامل بیماری‌زا آلرژی‌ها عدم تحمل مواد غذایی
شکمبه و GIT تمام حیوانات اهلی مزرعه	سلامت عمومی حیوان هضم و تبدیل غذا تولید متان
خاک	سلامت و محصول‌دهی گیاه دسترس‌پذیری مواد مغذی تصفیه و ذخیره‌سازی آب ذخیره‌سازی کربن تهیه آنتی‌بیوتیک‌ها، مواد دارویی و غیره
موجودات آبزی	کیفیت آب درمان‌های زیستی تنوع زیستی، جلبک، گیاهان آبزی، جمعیت‌های ماهی و حشره مدیریت آب، کنترل آب‌وهوای بد و سیل
بیوراکتورها	سیستم‌های تخمیر برای تولید مواد غذایی و نوشیدنی (پنیر، ماست، خمیر سویا و محصولات غذایی جدیدی که به‌زودی کشف خواهد شد... این یک موضوع تحقیقاتی مهم در کشورهایی نظیر کره جنوبی است) تبدیل ماده آلی (پسماند یا غیرپسماند) به مواد سوختی تبدیل ماده آلی به مواد غذایی (سیلاژ، حشرات و ...) تبدیل ماده آلی به مواد شیمیایی و پیش سازهای صنعتی

منبع: مؤسسه تیگسک

در جدول ۳۷ ارتباط بین سیستم زنجیره ارزش غذا و کلان‌داده آورده شده است.

جدول ۳۷: ارتباط بین سیستم زنجیره ارزش غذا و کلان‌داده

بازیگران زنجیره تأمین	داده پیشران	ایجاد ارزش و نوآوری
مصرف‌کنندگان • نوزادان • کودکان • مادران • ورزشکاران • سالخوردگان	داده‌های عملکرد: داده‌های مداوم درباره تغذیه و رفتار مصرف کنندگان-سلامت، اشتها و وزن، خواب و فعالیت بدنی، تناسب اندام و سطح انرژی، قند خون، آلرژی‌ها، تحمل ناپذیرها داده‌های ژنتیک: دنباله ژنتیک و داده‌های متا-ژنتیک مصرف‌کنندگان مختلف داده‌های بیومیک: داده‌هایی درباره فلور میکروبی انسان در پوست، مو، شکم و مسیر گوارشی ...	مبتنی بر درک بهتر • نحوه تأثیرگذاری غذا بر فلور میکروبی بدن انسان • نحوه تأثیر جمعی آن‌ها بر سلامت، تغذیه، عملکرد، خلق‌وخو و بهزیستی افراد • وابستگی به سن، وضعیت سلامتی و آرایش ژنتیک • انگیزه کشف بخش‌های جدید بازار • توسعه محصولات و خدمات جدید با هدف قرار دادن این بخش‌ها • کشف مولکول‌های جدید با ارزش و سایر اجزایی که می‌توانند از محصول جدا شده و به‌عنوان یک افزودنی یا ترکیبات غذایی عاملی به فروش برسند
توزیع‌کنندگان • زنجیره‌های خرده‌فروشی • بازارها و مزارع D2C • رستوران‌ها و مراکز تهیه غذا • ارائه‌دهندگان خدمات غذایی	داده‌های عملکرد: داده‌هایی راجع به سلامت، کیفیت، تازگی، قابلیت ردیابی، جریان‌های پسماند، انتشار گازهای گلخانه‌ای، شدت انرژی و سهم انرژی تجدید پذیر ... داده‌های بیومیک: دنباله‌های کامل بیوم و نمونه‌برداری فلور میکروبی که در فضاهای ذخیره‌سازی و محیط حمل‌ونقل زندگی می‌کنند.	این جریان داده‌ها باعث بهبود به لحاظ موارد زیر خواهد شد • رعایت مقررات، بهبود فرآیند، تصمیم‌گیری و نوآوری در رابطه با تضمین کیفیت، بهداشت، ایمنی و تازگی غذا • هزینه مربوط به انرژی، انتشار کربن و گازهای گلخانه‌ای مربوط به حمل‌ونقل، خرده‌فروشی، آماده‌سازی و خدمات غذایی • خسارات ناشی از دورریز همراه با داده‌های تولیدشده در سطح مصرف‌کننده • نوآوری در خدمات غذایی داده محور با هدف کمک به مصرف‌کننده جهت دستیابی به اهداف سلامت تغذیه و سبک زندگی
فرآوری کنندگان • لبنیاتی‌ها • کشتارگاه‌ها • فرآوری کنندگان ثانویه • فرآوری کنندگان پسماند	داده‌ها کارایی: داده‌های محصول به لحاظ وزن و کیفیت لاشه‌ها و برش‌ها برای عمده‌فروشی یا خرده‌فروشی، کیفیت محصولات لبنی، مدیریت پسماند و بازیافت، انرژی، سهم انرژی تجدیدپذیر و انتشار گازهای گلخانه‌ای. داده‌های بیومیک: کل دنباله بیوم فضاهای کاری و بیوراکتورها مرتبط با فرآوری غذایی (برای تخمیر، تولید نان و سایر اشکال تبدیلات زیستی) و همچنین تبدیل پسماند آلی به انرژی، مواد شیمیایی سبز و محصولات مفید دیگر.	این بینش‌ها از موارد زیر پشتیبانی می‌کند • برنامه تضمین کیفیت با داده‌های عینی • توسعه نسل بعدی سیستم‌های تولید و مدیریت مزرعه • سیستم‌هایی برای مبادله کربن و مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای • فروش خدمات اکولوژیک
تولیدکنندگان • گاو شیری و گوشتی • خوک و طیور • گوسفند • غلات و گیاهان علوفه‌ای • میوه، سبزی، قارچ... • پرورش آبزیان... • جنگلداری...	داده‌های عملکرد: داده‌های محصول با دقت بالا با تعیین مکان و زمان درباره حیوانات، مراتع، گیاهان و مزارع. داده‌های ورودی راجع به تغذیه، کوددهی، آبیاری و آب‌وهوا. داده‌های وضعیت درباره آب‌وهوا و رطوبت، رفتار حیوان. رشد گیاهان و مراتع، وضعیت و تنوع زیستی خاک، موجودات آبزی و اکولوژی محلی، تنوع زیستی اکولوژی‌های محلی، داده‌های ورودی همراه جزئیات درباره تغذیه و کود، مداخلات مراقبت‌های بهداشتی حیوان و گیاه... پایش مستمر سلامت حیوان و گیاه، ارتفاع علوفه، رشد، کیفیت آب و تنوع زیستی داده‌های ژنتیک: داده‌های ژنتیک و مرتبط حیوانات و گیاهان مختلف داده‌های بیومیک: دنباله‌های بیوم کامل مسیرهای گوارشی حیوانات مختلف به‌خصوص نشخوارکنندگان ... دنباله بیوم کامل علفزارها و خاک‌ها	همراه با داده‌های فرآوران و سایر بازیگران زنجیره تأمین برای پیشبرد موارد زیر به کار می‌رود • واریته‌های عاملی جدید گیاهان • ترکیب علوفه مراتع • بهبود طرح‌های مدیریت خاک • توسعه طرح‌های جدید خوراک، کود دهی، تغذیه حیوان و گیاه • بهبود تجزیه کربن در خاک • کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف منابع • مبادله کربن و مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای • فروش خدمات اکولوژیکی

منبع: مؤسسه تیگسک

۸- خلاصه‌ای از فناوری‌های مرتبط با هر بخش

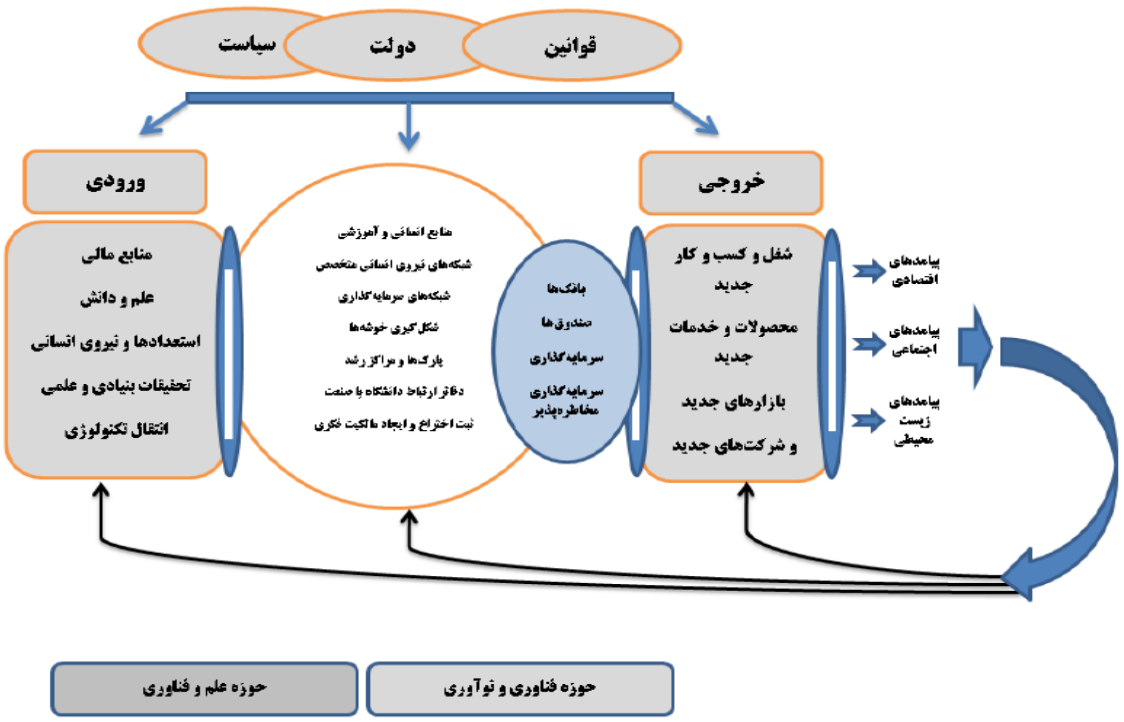
در این قسمت فهرستی از فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم ارائه شده است. سپس با توجه به نتایج گزارش‌های بررسی‌شده، ارتباط این فناوری‌ها با بخش‌های هدف بررسی و در جدول ۳۸ این ارتباط بیان شده است. تعداد نقاط در هر خانه نشان‌دهنده تعداد تکرار آن فناوری در گزارش‌های حوزه مربوطه است. با توجه به نتایج این گزارش، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا بیشترین اهمیت را در آینده حمل‌ونقل، اشتغال، تولید، کشاورزی و آب دارند. پس از آن‌ها کلان‌داده‌ها و رباتیک پیشرفته بیشترین توجهات را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۳۸: خلاصه فناوری‌های ذکر شده در گزارش‌های مختلف

فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم	بخش موردبررسی	حمل‌ونقل	مشاغل	تولید	آب	کشاورزی	وزن تکرار
	تعداد گزارش‌های بررسی‌شده	۴	۳	۱	۵	۴	
وسایل نقلیه خودران		**** (۱)	* (۰,۳۳)			** (۰,۵)	۱,۸۸
باتری		* (۰,۲۵)	* (۰,۳۳)				۰,۵۸
منابع جدید انرژی					** (۰,۴)		۰,۴
ریل‌های پرسرعت		*(۰,۲۵)					۰,۲۵
چاپگرهای سه‌بعدی (تولید افزودنی)			** (۰,۶۶)	* (۱)		* (۰,۲۵)	۱,۹۱
رباتیک پیشرفته			* (۰,۳۳)	* (۱)		*** (۰,۷۵)	۲,۰۸
مواد پیشرفته و نانو		* (۰,۲۵)	* (۰,۳۳)		**** (۰,۸)	* (۰,۲۵)	۱,۶۶
حسگرها		* (۰,۲۵)			**** (۰,۸)	** (۰,۵)	۱,۵۵
اینترنت اشیا		* (۰,۲۵)	*** (۱)	* (۱)		** (۰,۵)	۲,۷۵
واقعیت افزوده واقعیت مجازی		* (۰,۲۵)	* (۰,۳۳)	* (۱)		* (۰,۲۵)	۱,۸۳
زنجیره بلوکی		* (۰,۲۵)	* (۰,۳۳)				۰,۵۸
اقتصاد شراکتی		*** (۰,۷۵)					۰,۷۵
پلتفرم‌های دیجیتالی						* (۰,۲۵)	۰,۲۵
فناوری اطلاعات و ارتباطات		* (۰,۲۵)			*** (۰,۶)	**** (۱)	۱,۸۵
هوش مصنوعی		** (۰,۵)	*** (۱)	* (۱)	*** (۰,۶)	* (۰,۲۵)	۳,۳۵
محاسبات کوانتومی			** (۰,۶۶)				۰,۶۶
کلان داده‌ها		** (۰,۵)	** (۰,۶۶)		**** (۰,۸)	** (۰,۵)	۲,۴۶
توالی‌یابی ژنتیکی، ویرایش ژن‌ها و روش کریسپر					** (۰,۴)	* (۰,۲۵)	۰,۶۵
بیولوژی سینتیک و فناوری زیستی			* (۰,۳۳)		* (۰,۲)	*** (۰,۷۵)	۱,۲۸
پزشکی فرادقیق							۰
چاپ زیستی							۰
فناوری‌های کاشتنی در بدن							۰

۹- تصویر وضع موجود بخش علم، نوآوری و فناوری کشور

توصیف و تحلیل وضع موجود نیازمند به‌کارگیری الگویی مناسب بر اساس ویژگی‌های حوزه علم و فناوری و نوآوری و نیز اقتضائات و شرایط کشور است. مطابق شکل ۶۳ بر اساس الگوی انتخاب‌شده نظام نوآوری ایران یک زیست‌بوم نوآوری است که از مجموعه‌ای از زیرساخت‌ها و منابع تشکیل شده که به‌واسطه ورودی‌ها، تغذیه و به‌واسطه خروجی‌ها ارزیابی و احیا می‌شود. تولید علم و فناوری دارای ورودی‌هایی شامل منابع مالی، زیرساخت‌ها، استعدادها و نیروی انسانی است. حوزه فناوری و نوآوری درنهایت منجر به ایجاد شرکت‌های دانش‌بنیان، ارائه محصولات و خدمات جدید، مشاغل جدید و بازارهای جدید می‌شود. این زیست‌بوم واجد پیامدهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی است که دوباره بر ورودی‌ها، فرایند و خروجی‌ها اثرگذار است. مؤلفه‌های دولت، سیاست و قوانین، جزئی از مؤلفه‌های محیطی هستند.



شکل ۶۳: چارچوب کارکردی علم، فناوری و نوآوری در توسعه اقتصادی اجتماعی ایران

پس از اجرای دو برنامه بر اساس سند چشم‌انداز (برنامه‌های چهارم و پنجم توسعه)، روند رشد تولیدات علمی و حرکت پویا در مرزهای دانش نشان می‌دهد ایران در سال ۲۰۱۴ یعنی ۱۰ سال زودتر از افق چشم‌انداز پیش‌بینی شده، با پشت سر گذاشتن ترکیه به رتبه اول تولید علم در منطقه دست یافته است.

رتبه شاخص شتاب علمی ایران در رشد تولید مقالات علمی در میان ۲۵ کشور برتر علمی دنیا از ۲۵ در سال ۲۰۱۳ به ۲ در سال ۲۰۱۶ ارتقا پیدا کرده است. جایگاه ایران در حوزه‌های خاص و دارای اولویت، پیشرفت چشمگیری داشته است. ازجمله این حوزه‌ها می‌توان به بهبود جایگاه جهانی ایران در علوم و فناوری نانو زیست‌فناوری اشاره کرد.

بر اساس داده‌های موجود، کشور جمهوری اسلامی ایران، از نظر رتبه علمی دارای وضعیت قابل قبول و رو به رشدی است. حتی در میان کشورهایی که رشد علمی خوبی دارند، ایران از جایگاه مناسبی برخوردار است و در ایجاد ظرفیت‌های زیرساختی تلاش‌های خوبی صورت گرفته است؛ اما از این زیرساخت‌ها و ظرفیت‌های ایجادشده در رفع نیازها و حل مسائل کشور، رفاه و تأمین نیازهای جامعه به‌خوبی استفاده نشده است. برای مثال، تبدیل پیشرفت‌های علمی ایران در حوزه نانو به محصولات مورد نیاز به‌ویژه در بخش پزشکی و تجاری‌سازی و ایجاد ثروت از آن نکاتی است که باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. از طرفی، برخی از معاهدات بین‌المللی موانعی را در مسیر توسعه فناوری در کشور ایجاد کرده‌اند.

نتیجه آن‌که با توجه به وضعیت فعلی، در صورت ادامه روند موجود در کشور و به‌شرط آن‌که روندهای جهانی هم با همین سیاق ادامه پیدا کنند، بخش پژوهش و فناوری کشور نیازمند تغییر جهت‌گیری‌ها به سمت رفع نیازهای اساسی و خلق ثروت از طریق کاربست دستاوردهای حوزه پژوهش و فناوری است. اما بررسی اجمالی روند تحولات علم و فناوری در جهان این واقعیت را پشتیبانی می‌کند که توسعه علم و فناوری تغییرات مهمی را در تمام زمینه‌های اجتماعی و انسانی ایجاد خواهد کرد و شاهد دگرگونی‌های اساسی در آینده خواهیم بود و این نکته بسیار حیاتی، ضرورت حفظ و ارتقای فعالیت‌های پژوهشی و فناورانه را بیش از گذشته یادآور می‌شود.

۱-۹- عملکرد متغیرهای کلیدی حوزه فناوری طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۹۷

عملکرد مهم‌ترین متغیرهای کلیدی حوزه فناوری در سال ۱۳۹۲ و سال‌های بعد که در برنامه پنجم توسعه مورد تأکید قرارگرفته است به شرح جدول ۳۹ است.

جدول ۳۹: عملکرد متغیرهای کلیدی بخش پژوهش و فناوری طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۲

ردیف	عنوان متغیر / شاخص	واحد متعارف	سال ۱۳۹۲	سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۹۴	سال ۱۳۹۵	سال ۱۳۹۶	سال ۱۳۹۷
۱	شاخص نوآوری[۱]	امتیاز	۲۷,۳	۲۶,۱	۲۸,۴	۳۰,۵	۳۲,۱	۳۳,۴
۲	رتبه شاخص جهانی نوآوری (۱)	رتبه	۱۱۳	۱۲۰	۱۰۶	۷۸	۷۵	۶۵
۳	رتبه شاخص کارایی نوآوری	رتبه	۱۰۷	۱۲۲	۱۰۳	۵۱	۵۶	۱۱
۴	رتبه جهانی تولید دانش (۱)	رتبه	۳۴	۴۰	۲۴	۲۶	۳۶	۳۵
۵	شاخص دستیابی به فناوری اطلاعات و ارتباطات (۱)	امتیاز	۴۴,۷	۴۶,۸	۵۵,۳	۵۹,۷	۶۲,۶	۶۷,۴
۶	رتبه جهانی دستیابی به فناوری اطلاعات و ارتباطات (۱)	رتبه	۷۲	۷۱	۷۱	۶۷	۶۸	۶۱
۷	تعداد شرکت‌های تأییدشده دانش‌بنیان	تعداد	۵۲	۱،۵۰۰	۲،۲۷۹	۳۰۶۸	۳۳۸۲	۳۸۴۹

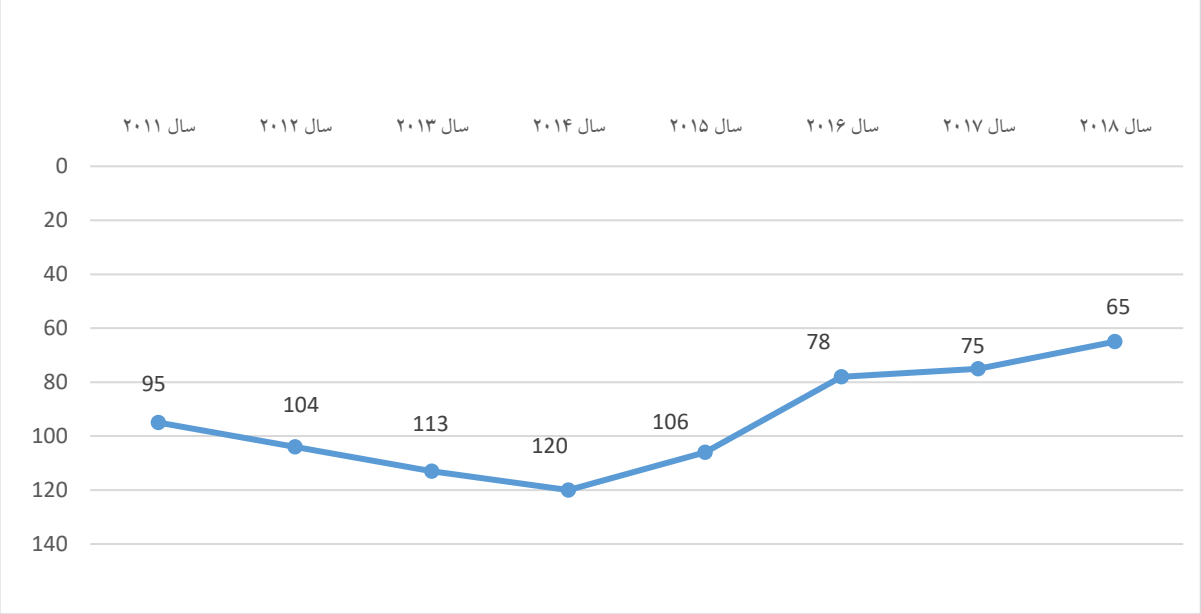
با اقداماتی که از سال ۱۳۹۲ تاکنون انجام شده، شاخص‌های اساسی این بخش در وضعیت مناسب‌تری قرار گرفته است. موارد زیر در خصوص ارتقا و پیشبرد پژوهش و فناوری در کشور قابل تأمل است.

- ارتقای رتبه شاخص جهانی نوآوری ایران به ۶۵.
- تعداد صندوق‌های پژوهش و فناوری غیردولتی دارای مجوز در سال ۱۳۹۷ به ۳۹ صندوق افزایش یافته است. فعالیت این صندوق‌ها نقش مؤثری در تأمین سرمایه خطرپذیر حوزه نوآوری و فناوری در حمایت از جوانان مستعد و صاحب ایده دارد.

از لحاظ افزایش تعداد پارک‌ها و مراکز علم و فناوری نیز رشد قابل توجهی حاصل شده است؛ به‌گونه‌ای که ۴۳ پارک و ۱۹۲ مرکز رشد علم و فناوری و ۲۵ مرکز نوآوری در کشور فعالیت می‌کنند.

مطابق شکل ۶۴ رتبه شاخص جهانی نوآوری ایران بر اساس آخرین گزارش منتشرشده سال ۲۰۱۸ (GII) معادل ۶۵ و امتیاز این شاخص ۳۳/۴۴ بوده است. بر اساس گزارش یادشده رتبه ایران در این سال با ۴۱ رتبه بهبود نسبت به سال ۲۰۱۵ و ۱۰ رتبه بهبود نسبت به سال ۲۰۱۷، به رتبه ۶۵ رسیده است.

۱. بر اساس گزارش‌های سالیانه Global Innovation Index.



شکل ۶۴: رتبه ایران در شاخص جهانی نوآوری (GII)

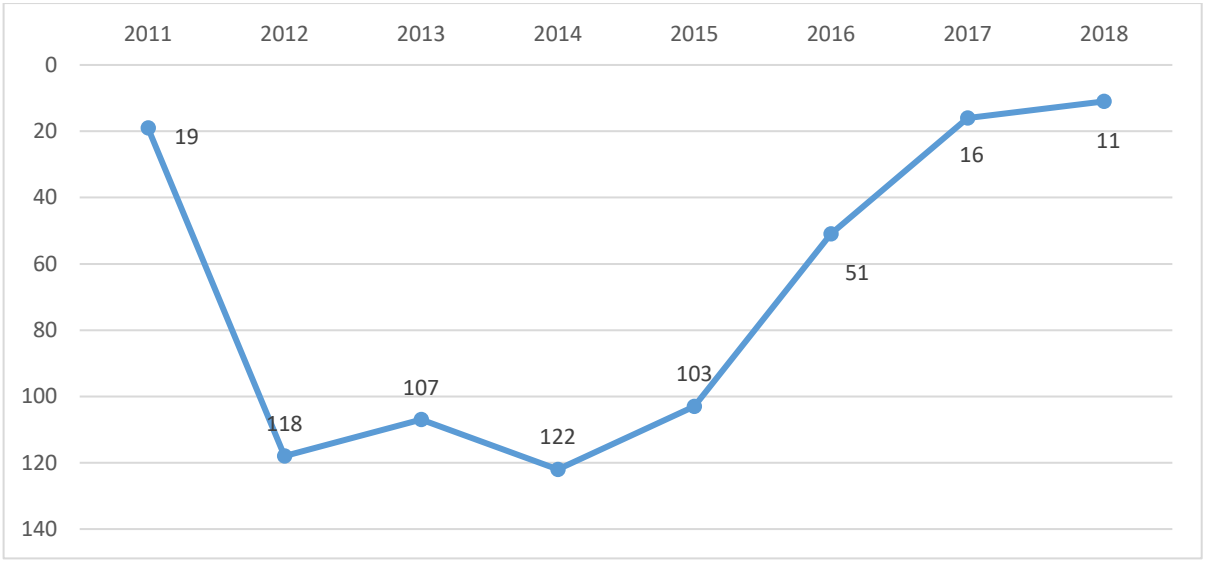
در جدول ۴۰ رتبه ایران در زیرشاخص‌های مرتبط با شاخص GII آورده شده است.

جدول ۴۰: رتبه ایران در زیرشاخص‌های اصلی شاخص نوآوری جهانی طی سال‌های[۱] ۲۰۱۸-۲۰۱۱

شاخص‌های اصلی نوآوری جهانی	سال ۲۰۱۱	سال ۲۰۱۲	سال ۲۰۱۳	سال ۲۰۱۴	سال ۲۰۱۵	سال ۲۰۱۶	سال ۲۰۱۷	سال ۲۰۱۸
نهادها و مؤسسات	۱۱۴	۱۲۸	۱۳۲	۱۳۱	۱۲۶	۱۱۲	۱۰۶	۱۱۰
سرمایه انسانی و پژوهش	۵۸	۵۴	۵۶	۴۶	۴۶	۴۸	۴۵	۴۵
زیرساخت	۹۲	۸۸	۷۹	۸۱	۶۸	۹۱	۹۹	۸۷
پیچیدگی بازار	۱۱۷	۱۳۳	۱۳۳	۱۳۹	۱۳۹	۱۰۲	۱۱۲	۱۰۶
پیچیدگی کسب‌وکار	۱۱۴	۴۹	۱۲۰	۱۳۶	۱۳۰	۱۱۱	۱۱۵	۱۰۸
بروندادهای دانشی و فناورانه	۴۵	۷۳	۹۶	۱۱۳	۹۰	۶۵	۴۷	۴۱
بروندادهای خلاقانه	۱۰۰	۱۳۱	۱۲۷	۱۲۸	۱۱۶	۷۵	۶۵	۵۹
رتبه شاخص نوآوری	۹۵	۱۰۴	۱۱۳	۱۲۰	۱۰۶	۷۸	۷۵	۶۵

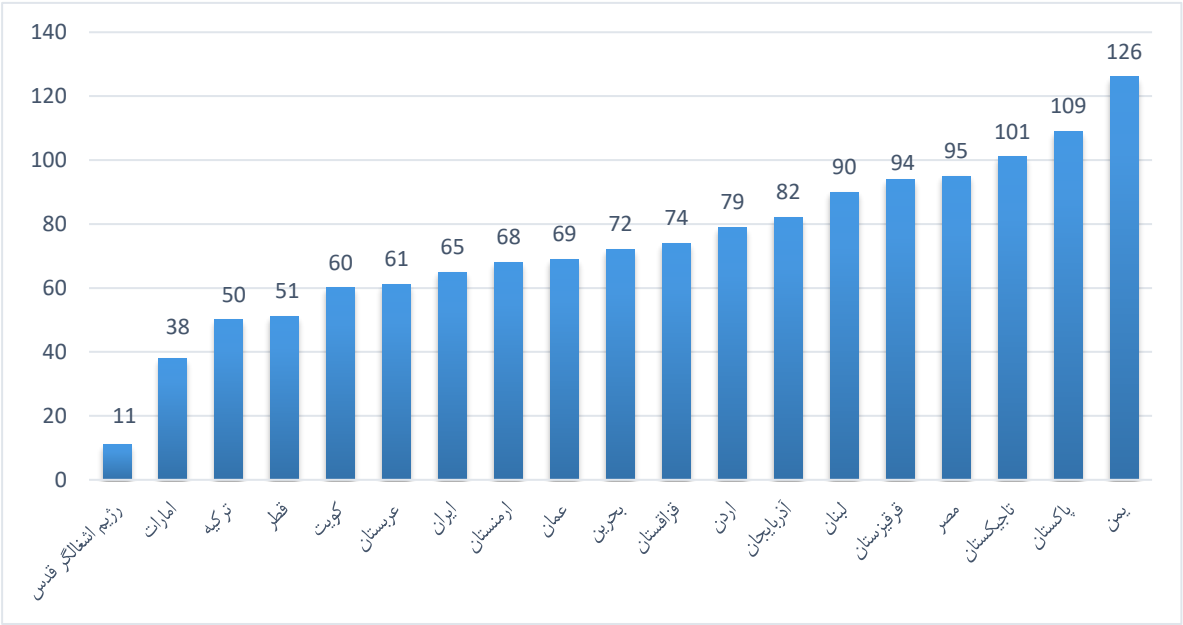
مطابق شکل ۶۵ رتبه ایران در شاخص کارایی نوآوری نسبت به سال گذشته، ۵ پله بهبود یافته است. به این معنی که نظام ملی نوآوری ایران توانسته است باوجود ضعف‌های عدیده در ورودی‌ها که خود شامل متغیرهای ورودی و نهاده‌های مورد نیاز برای تولید نوآوری از یک‌سو و شرایط محیطی از سوی دیگر می‌شود، خروجی قابل قبولی از خود به‌جای گذارد.

۱. منبع: The global innovation index report, 2011-2018



شکل ۶۵: شاخص کارایی نوآوری ایران طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۱

مطابق شکل۶۶ در سال ۱۳۹۷ کشورهای عربستان، کویت، قطر، ترکیه، امارات و رژیم اشغالگر قدس جایگاه بهتری در مقایسه با ایران در منطقه داشته‌اند که نشان از توانمندی این کشورها برای بهبود وضعیت خود در



شکل ۶۶: رتبه کشورهای منطقه در شاخص جهانی نوآوری ۲۰۱۸

این شاخص در سال‌های آتی دارد. پس از ایران کشورهای ارمنستان، عمان، بحرین و قزاقستان در این رتبه‌بندی قرار گرفته‌اند.

۲-۹- شاخص توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات

شاخص IDI تا ICT Development Index شاخص توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات توسط اتحادیه بین‌المللی مخابرات سازمان ملل بر مبنای معیارهای مورد توافق بین‌المللی در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات منتشر می‌شود. در جدول ۴۱ مقادیر این شاخص در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ و همچنین مقادیر زیرشاخص‌های IDI در ایران و جهان آورده شده است. شاخص توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات بر مبنای یازده معیار فاوا بنا شده است و در سه زیرشاخه دسترسی، استفاده و مهارت‌ها گروه‌بندی شده‌اند. زیرشاخص دسترسی سطح آمادگی زیرساخت‌های فاوا را اندازه‌گیری می‌کند و شامل پنج معیار و زیرساخت دسترسی است. زیرساخت استفاده میزان به‌کارگیری فاوا را اندازه می‌گیرد و شامل سه معیار مصرف است. زیرساخت مهارت‌ها، توانمندی‌ها و شاخص‌های ورودی پیش‌نیاز و ضروری را اندازه‌گیری می‌کند.

جدول ۴۱: وضعیت ایران در شاخص توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات

	وزن شاخص	ایران	میانگین جهانی
رتبه در شاخص **IDI** برای سال ۲۰۱۷		۸۱	
رتبه در شاخص **IDI** برای سال ۲۰۱۶		۸۵	
مقدار شاخص **IDI** برای سال ۲۰۱۷		۵,۵۸	۵,۱۱
مقدار شاخص **IDI** برای سال ۲۰۱۶		۵,۰۴	۴,۹۴
زیر شاخص دسترسی (۲۰۱۷)		۶,۷۴	۵,۵۹
• تعداد خطوط تلفن ثابت به ازای هر ۱۰۰ نفر	۲۰	۳۸,۳۰	۱۳,۵۷
• تعداد خطوط موبایل به ازای هر ۱۰۰ نفر	۲۰	۱۰۰,۰۷	۱۰۱,۵۳
• پهنای باند بین‌المللی به ازای هر کاربر (بیت بر ثانیه)	۲۰	۱۵۲۳۷,۵۳	۷۴۴۶۴
• درصد خانه‌های دارای کامپیوتر	۲۰	۶۱,۳۹	۴۶,۶۱
• درصد خانه‌های دارای دسترسی به اینترنت	۲۰	۶۲,۲۱	۵۱,۴۶
زیرشاخص استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات		۳,۵۴	۴,۲۶
• درصد افرادی که از اینترنت استفاده می‌کنند	۳۳	۵۳,۲۳	۴۵,۹۱
• اشتراک اینترنت ثابت به ازای هر ۱۰۰ نفر	۳۳	۱۱,۵۸	۱۲,۳۹
• اشتراک فعال اینترنت موبایل به ازای هر ۱۰۰ نفر	۳۳	۳۳,۷۷	۵۲,۲۳
زیر شاخص مهارت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات		۷,۳۲	۵,۸۵
• میانگین سال‌های تحصیل	۳۳	۸,۸۰	۸,۵۲
• میزان ثبت‌نام در مقطع دوم تحصیلی (دبیرستان)	۳۳	۸۹,۱۷	۸۴
• میزان ثبت‌نام در مقطع سوم تحصیلی (دانشگاه)	۳۳	۷۱,۸۸	۳۸,۶۹

۳-۹- شاخص آمادگی شبکه‌ای[۱]

این شاخص نشان‌دهنده میزان آمادگی پیشرانان انقلاب فناوری اطلاعات و ارتباطات در سطح جهان است و یک شاخص ترکیبی است که به چهار دسته اصلی، ۱۰ زیرشاخه و ۵۳ شاخص منحصربه‌فرد تقسیم می‌شود. این شاخص‌ها به ترتیب عبارت‌اند از:

- شاخص محیطی شامل محیط سیاسی و تنظیم‌گری، محیط کسب‌وکار و نوآوری؛
- شاخص آمادگی شامل زیرساخت استطاعت در پرداخت و مهارت‌ها؛
- شاخص کاربرد شامل کاربرد برای افراد، کاربرد برای کسب‌وکارها و کاربرد برای دولت؛
- شاخص تأثیر شامل اثرات اقتصادی و اثرات اجتماعی.

تازه‌ترین گزارش مجمع جهانی اقتصاد که توسط معاونت تحقیقات اتاق تهران ترجمه و منتشر شده، مربوط به سال ۲۰۱۶ میلادی است. بر اساس این گزارش، ایران در شاخص آمادگی شبکه نمره ۳,۷ از ۷ کسب کرده که در میان کشورهای مورد بررسی رتبه ۹۲ را دارد. این رتبه نسبت به سایر کشورهای دارای درآمد متوسط رو به بالا، رتبه قابل قبولی محسوب نمی‌شود. با این حال، نمره ایران نسبت به سال ۲۰۱۵ حدود ۰/۱ و رتبه ایران ۴ پله ارتقا یافته است.

مطابق جدول ۴۲ در زیرشاخه محیط ایران نمره ۳,۹ و رتبه ۸۲، زیرشاخه آمادگی نمره ۴,۶ و رتبه ۸۳، زیرشاخه کاربرد نمره ۳,۳ و رتبه ۹۹ و زیرشاخه نمره ۳,۲ و رتبه ۱۰۹ را داراست.

جدول ۴۲: وضعیت ایران در شاخص آمادگی شبکه‌ای ۲۰۱۶

	رتبه	نمره
شاخص آمادگی شبکه‌ای (۷-۱)	۹۲	۳,۷
زیرشاخص A: محیطی	۸۲	۳,۹
- محیط سیاستی و تسهیل گری	۹۱	۳,۵
- محیط کسب‌وکار و نوآوری	۷۶	۴,۲
زیرشاخص B: آمادگی	۸۳	۴,۶
- زیرساخت و زمینه دیجیتال	۱۰۱	۳,۰
- توان مالی	۳۷	۶,۰
- مهارت‌ها	۸۰	۴,۸
زیرشاخص C: استفاده (Usage)	۹۹	۳,۳
- فرد	۹۰	۳۳
- کسب‌وکار	۱۲۶	۳,۱
- دولت	۹۳	۳,۵
زیرشاخص D: تأثیر	۱۰۲	۳,۲
- اثرات اقتصادی	۱۰۰	۲,۹
- اثرات اجتماعی	۱۰۱	۳,۵

۱. Network readiness index

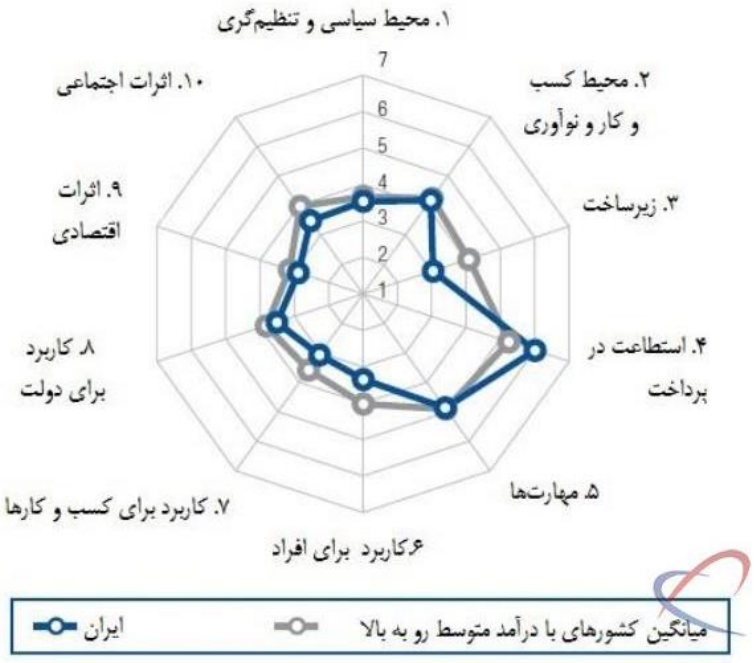
بهترین جایگاه ایران در شاخص‌های ده‌گانه آمادگی شبکه‌ای مربوط به شاخص استطاعت در پرداخت با نمره ۶ و رتبه ۳۷ و بدترین آن مربوط به شاخص کاربرد برای کسب‌وکار با نمره ۳,۱ و رتبه ۱۲۶ بوده است.

در میان شاخص‌های آمادگی شبکه‌ای، دو شاخص کاربرد برای کسب‌وکار و اثرات اقتصادی اهمیت ویژه‌ای برای فعالان اقتصادی دارد. در خصوص شاخص کاربرد برای کسب‌وکار، نمره ایران در زیرشاخه جذب فناوری در سطح بنگاه ۳,۷ بوده که در میان ۱۳۹ کشور مورد بررسی رتبه ۱۳۲ را کسب کرده، در زیرشاخه استفاده واحدهای تجاری از اینترنت برای ارتباط با سایر کسب‌وکارها نمره ۳,۹ و رتبه ۱۲۱ و در زیرشاخه میزان آموزش کارکنان در حوزه فناوری اطلاعات نمره ۳,۲ و رتبه ۱۲۸ را کسب کرده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که باوجود رشد فناوری اطلاعات در کشور، بهره‌برداری مناسبی از فناوری اطلاعات در بنگاه‌های اقتصادی صورت نمی‌گیرد.

در خصوص شاخص اثرات اقتصادی نیز، نمره ایران در زیرشاخه تأثیر فناوری اطلاعات بر الگوهای سازمانی جدید ۳,۵ بوده که در میان ۱۳۹ کشور موردبررسی، رتبه ۱۰۸ را کسب کرده است.

مطابق شکل ۶۷، مقایسه جایگاه ایران نسبت به کشورهای با درآمد متوسط رو به بالا نشان می‌دهد که به‌غیر از شاخص استطاعت در پرداخت، در اکثر شاخص‌های آمادگی شبکه‌ای، نمره پایینی کسب کرده است، به‌ویژه در شاخص زیرساخت که فاصله زیادی میان ایران و سایر کشورهای با درآمد متوسط رو به بالا مشاهده می‌شود.

پایین بودن نمره ایران در شاخص زیرساخت، عمدتاً به علت امنیت پایین سرورهای اینترنت و کم بودن پهنای باند اینترنت در مقایسه با سایر کشورهای با درآمد متوسط رو به بالا است.



شکل ۶۷: مقایسه ایران و کشورهای با درآمد متوسط رو به بالا در زیرشاخه‌های شاخص آمادگی شبکه‌ای ۲۰۱۶

مطابق در بین کشورهای منطقه امارات با نمره ۵,۳ و رتبه ۲۶ در شاخص آمادگی شبکه‌ای در سال ۲۰۱۶، بهترین جایگاه را در بین کشورهای منطقه دارد.

۴۳ در بین کشورهای منطقه نیز ایران جایگاه مناسبی ندارد. در سال ۲۰۱۶، ترکیه با نمره ۴,۴ رتبه ۴۸ را در شاخص آمادگی شبکه‌ای کسب کرده که نسبت به سال ۲۰۱۵ تغییری نداشته است.

در بین کشورهای منطقه امارات با نمره ۵,۳ و رتبه ۲۶ در شاخص آمادگی شبکه‌ای در سال ۲۰۱۶، بهترین جایگاه را در بین کشورهای منطقه دارد.

جدول ۴۳: شاخص آمادگی شبکه‌ای در کشورهای منطقه بین ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶

کشور	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
	در بین ۱۴۲ کشور	در بین ۱۴۴ کشور	در بین ۱۴۸ کشور	در بین ۱۴۳ کشور	در بین ۱۳۹ کشور
ایران	۱۰۴	۱۰۱	۱۰۴	۹۶	۹۲
ترکیه	۵۲	۴۵	۵۱	۴۸	۴۸
روسیه	۵۶	۵۴	۵۰	۴۱	۴۱
عربستان	۳۴	۳۱	۳۲	۳۵	۳۳
امارات	۳۰	۲۵	۲۴	۲۳	۲۶
پاکستان	۱۰۲	۱۰۵	۱۱۱	۱۱۲	۱۱۰
چین	۵۱	۵۸	۶۲	۶۲	۵۹

۱۰- تحلیل نقاط قوت، ضعف و فرصت‌ها و تهدیدها (SWOT)

در این بخش تحلیل نقاط قوت، ضعف و فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی توسعه فناوری کشور آورده شده است.

۱-۱۰- تعریف SWOT

SWOT یا نقاط قوت،[۱] نقاط ضعف،[۲] فرصت‌ها[۳] و تهدیدها[۴] چارچوبی تحلیلی است که به شرکت‌ها کمک می‌کند تا بتوانند با بزرگ‌ترین چالش‌ها روبه‌رو شده و بهترین و جدیدترین بازارها را پیدا کنند. این روش در دهه ۱۹۶۰ میلادی و توسط افراد بانفوذی در علم اقتصاد، مانند ادموند پی لِرند،[۵] رونالد کریستِنسون،[۶] کنِت اندرو[۷] و ویلیام دی بوک[۸] در کتابی به نام «سیاست‌گذاری کسب‌وکار، متن و موارد مطالعاتی»[۹] به چاپ رسید. برای اطلاع بیشتر در زمینه تحلیل SWOT می‌توانید به این کتاب مراجعه کنید.

تحلیل SWOT سازمان‌ها را قادر می‌سازد عوامل مؤثر داخلی و خارجی را شناسایی کنند. طبق گفته بانی تیلور،[۱۰] استراتژیست بازاریابی در شرکت سی‌سی‌اس اینویشن،[۱۱] اصلی‌ترین هدف SWOT کمک به سازمان‌ها در رسیدن به آگاهی کامل از تمامی عواملی است که در تصمیم‌گیری مؤثر هستند.

اگر کسب‌وکاری را از تمامی زوایا بررسی نکنیم، نمی‌توانیم به‌طور دقیق برای آینده آن برنامه‌ریزی کنیم. این بررسی شامل نگاهی جامع به‌تمامی منابع داخلی و خارجی و تهدیدها می‌شود. تحلیل SWOT این کار را در چهار مرحله ساده انجام می‌دهد که حتی برای تازه‌کارترین صاحبان مشاغل هم قابل درک است.

تحلیل SWOT بر چهار موردی که در اسمش مشخص شده، تمرکز می‌کند و شرکت‌ها را قادر می‌سازد نیروها، اقدامات یا نوآوری‌هایی که بر استراتژی تأثیر می‌گذارند را شناسایی کنند. شناخت این عوامل مثبت و منفی به شرکت‌ها کمک می‌کند تا ارتباط مؤثری با بخش‌هایی از برنامه که نیازمند بررسی هستند، داشته باشند.

افراد معمولاً زمانی که تحلیل SWOT انجام می‌دهند، جدولی با چهار ستون رسم می‌کنند تا عوامل مؤثر را نوشته و باهم مقایسه کنند. معمولاً نقاط قوت و ضعف با فهرستی که از فرصت‌ها و تهدیدها تشکیل شده

---

۱. Strengths
۲. Weaknesses
۳. Opportunities
۴. Threats
۵. Edmund P. Learned
۶. Roland Christensen
۷. Kenneth Andrews
۸. William D. Book
۹. Business Policy, Text and Cases
۱۰. Bonnie Taylor
۱۱. CCS Innovations

هماهنگی ندارند، اگرچه باید به طریقی با هم ارتباط پیدا کنند؛ چون به هر حال به هم گره خورده‌اند. بیلی بوئر[۱] مدیر شرکت رویس لدر[۲] عقیده دارد که پیدا کردن ارتباطی بین تهدیدات بیرونی و نقاط ضعف داخلی، جدی‌ترین مشکلاتی که شرکت با آن‌ها روبه‌رو است را برای مدیران مشخص می‌کند.

بعد از اینکه خطرات مشخص شد، می‌توان تصمیم گرفت که بهترین کار حذف نقاط ضعف داخلی از طریق افزایش منابع شرکت برای اصلاح مشکل است یا کاهش تهدیدات خارجی با کنار گذاشتن مناطق تهدیدآمیز برای فعالیت تجاری.

عوامل درونی

دو حرف اولی که در این نام اختصاری دیده می‌شوند، نقاط قوت (S) و نقاط ضعف (W) هستند که به عوامل درونی مربوط می‌شوند و به معنی منابع و تجربیاتی هستند که در دسترس شما قرار دارند. مثال‌هایی از حوزه‌هایی که معمولاً این دو مورد را در برمی‌گیرند، شامل موارد زیر هستند:

- منابع مالی مثل بودجه، منبع درآمد و فرصت‌های سرمایه‌گذاری؛
- منابع فیزیکی مثل مکان شرکت، امکانات و تجهیزات؛
- منابع انسانی مثل کارکنان، داوطلبان و مخاطبان هدف؛
- دسترسی به منابع طبیعی، علائم تجاری، گواهی‌نامه‌ها و حق تألیف‌ها؛
- فرایندهای جاری مانند برنامه‌های مربوط به کارمندان، سلسله‌مراتب بخش‌ها و سیستم‌های نرم‌افزاری

به گفته میچل وِیس[۳] استاد دانشگاه هاتفورد «تا زمانی که عوامل داخلی به‌خوبی ارزیابی نشده باشند، شرکت‌ها نمی‌توانند از منابع خارجی نهایت استفاده را ببرند».

عوامل بیرونی

نیروهای بیرونی بر تمامی شرکت، افراد و بخش‌ها تأثیر می‌گذارند. این عوامل به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر فرصت‌ها و تهدیدها تأثیر دارند و باید به‌صورت کامل نوشته و بررسی شوند. عوامل بیرونی، معمولاً چیزهایی هستند که از کنترل شما و شرکت‌تان خارج هستند، مانند:

- گرایش‌های بازار مثل محصولات و تکنولوژی‌های جدید یا تغییر نیاز مخاطبان؛
- گرایش‌های اقتصادی مثل گرایش‌های مالیِ محلی، ملی یا بین‌المللی؛
- بودجه‌هایی که از موقوفات مجلس و منابع دیگر می‌آیند؛
- عوامل جمعیتی مثل سن، نژاد، جنسیت و فرهنگ مخاطبان هدف؛
- رابطه با شرکا و تأمین‌کنندگان؛

۱. Billy Bauer
۲. Royce Leather
۳. Mitchell Weiss

- قوانین سیاسی، محیطی و اقتصادی.

بعد از اینکه ستون‌های مربوط به چهار عامل را پر کردید، باید بر اساس نتیجه، به استراتژی‌های جدید فکر کنید. لیندا پوفال[1] مدیرعامل شرکت مشاوره ارتباطات استراتژیک[2] می‌گوید این استراتژی‌ها باید از نقاط قوت و فرصت‌ها به‌عنوان اهرمی برای غلبه بر نقاط ضعف و تهدیدها استفاده کنند. «این در اصل حوزه‌ای از توسعه استراتژیک است؛ جایی که سازمان‌ها فرصت دارند تا بیشترین خلاقیت را داشته باشند و همین‌جا است که ایده‌های جدید ظهور پیدا می‌کنند؛ اما برای رسیدن به این مرحله، تحلیل باید با دقت آماده شده باشد».

۱-۱-۱۰- نقاط قوت

نقاط قوت هر سازمان با توجه به نوع محصول و خدمات و صنعتی که در آن فعال است، مشخص می‌شود. درواقع کاری است که شما در کسب‌وکارتان به‌خوبی و بهتر از بقیه انجام می‌دهید. نقاط قوت شما می‌تواند غیرملموس باشد مانند برند یا فروش بالا و شناخته شدن شما در تولید یک نوع محصول. همچنین ممکن است رهبری و مدیریت قوی در سازمان یا تیم فنی قوی را به‌عنوان نقطه قوت خود نام ببرید.

مثال‌های دیگر نقاط قوت: جوان و چابک بودن نیروها یا باتجربه بودن نیروی‌های یک سازمان یا ارتباطات خوب و شبکه‌سازی قوی یک شرکت یا هر مهارت و تکنولوژی خاصی که رقیب‌های شما آن را نداشته باشند. در کالج تپسل بیشتر بخوانید.

نقاط قوت شامل موارد زیر می‌شود:

- کارهایی که شرکت شما به‌خوبی انجام می‌دهد؛
- ویژگی‌هایی که شما را از رقیبانتان متمایز می‌کند؛
- منابع داخلی مانند مهارت و دانش کارکنان؛
- دارایی‌های ملموس مانند سرمایه و تکنولوژی.

۲-۱-۱۰- نقاط ضعف

بعد از مشخص شدن نقاط قوت، بهتر است به یک شناخت جامع‌تر از خود برسید و نقاط ضعف را هم در نظر بگیرید. چه چیزی باعث می‌شود که از رقیبان خود عقب بمانید؟ در این قسمت می‌توانید چالش‌های درون سازمان را هم بیان کنید. برای مثال، مسائل مالی و سرمایه‌گذاری، نیاز به آموزش بیشتر کارکنان، ضعف در برقراری ارتباط و شبکه‌سازی با شرکت‌های دیگر فعال در صنعت از مثال‌های دیگری برای این قسمت است.

نقاط ضعف شامل موارد زیر می‌شود:

- چیزهای ضروری که در کسب‌وکارتان ندارید.
- کارهایی که رقیبان شما بهتر از شما انجام می‌دهند و با استفاده از آن‌ها از شما سبقت می‌گیرند.

---

۱. Linda Pophal

۲. Strategic Communications

- موقعیت نامشخص راهبردی برای فروش محصول؛ یعنی محصولی دارید که نمی‌دانید مخاطبان اصلی آنچه کسانی هستند و چرا باید محصول شما را به محصول مشابه ترجیح بدهند.

۳-۱-۱۰- فرصت‌ها

تعداد بالای سرنخ‌های فروش، ایده‌های خلاقانه و جدید می‌تواند فرصت‌هایی برای رشد کسب‌وکار و افزایش فروش باشد. فرصت‌های موجود شامل موارد زیر می‌شود:

- تعداد کم رقیبان در صنعت شما یا در محصولی خاص؛
- به وجود آمدن نیازهای جدید در جامعه برای محصولات و خدمات شما؛
- توانایی ارتباط با جامعه مشتریان از روش‌های مختلف (شبکه‌های اجتماعی، بلاگ، رویدادها و ...).

۴-۱-۱۰- تهدیدها

قسمت آخر از تحلیل SWOT مربوط به تهدیدهای موجود در محیط برای کسب‌وکار است. منظور از تهدید، خطرهای پیش رو در تصمیم‌گیری‌ها یا شرایط خاصی در بازار است که مانع پیشرفت کسب‌وکار و باعث کاهش فروش می‌شود.

تهدیدها می‌تواند شامل موارد زیر شود:

- رقیبان تازه‌وارد به صنعت؛
- تغییر وضعیت اقتصادی؛
- انتشار اخبار منفی و شایعات علیه شما؛
- تغییر نیازهای افراد جامعه.

۲-۱۰- نقاط قوت و ضعف و فرصت‌ها و تهدیدهای آموزش، پژوهش و فناوری کشور

در **۴۴Error! Reference source not found.** نقاط قوت و ضعف و فرصت‌ها و تهدیدها در حوزه‌های آموزش، پژوهش و فناوری از دیدگاه سند تحول راهبردی علم و فناوری کشور آورده شده است.

جدول ۴۴: نقاط قوت و ضعف و فرصت‌ها و تهدیدهای آموزش، پژوهش و فناوری کشور

حوزه	قوت‌ها و فرصت‌ها	ضعف‌ها و تهدیدها
آموزش	۱. وجود بسترها و زمینه‌های لازم برای استفاده از مشارکت‌های بخش غیردولتی و سازمانی‌های مردم‌نهاد ۲. حرکت به سمت ساماندهی نیروی انسانی متناسب با صلاحیت‌های حرفه‌ای و تخصصی ۳. گرایش به عدم تمرکز در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با نظام آموزشی ۴. تدوین سند ملی آموزش‌وپرورش ۵. توجه به نقش آموزش‌وپرورش در تحقق چشم‌انداز و نقشه جامع علمی کشور ۶. وجود معاهده بین‌المللی آموزش برای همه و اهداف توسعه هزاره سوم ۷. وجود قطب‌های علمی دانشگاهی (رشته‌های ممتاز) و قطب‌های علمی منطقه‌ای ۸. قابلیت علمی دانش آموزان و دانشجویان ایرانی با توجه به موفقیت آنها در مسابقات علمی جهانی ۹. توسعه آموزش‌های نیمه‌حضوری ۱۰. وجود شبکه ملی اطلاع‌رسانی علمی در آموزش عالی کشور (فارغ از نقطه‌نظر کیفی) ۱۱. افزایش تمایل دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی کشور نسبت به ایجاد دوره‌ها و رشته‌های آموزشی در زمینه IT ۱۲. وجود بستر سخت‌افزاری مناسب برای اجرای سیستم های اتوماسیون برخی دانشگاه‌ها ۱۳. نیاز بازار کار به نیروی ماهر و کارآزموده ۱۴. امکان ایجاد فرصت برای دستیابی به تحصیلات عالی از طریق گسترش آموزش نیمه حضوری و مجازی در نقاط مختلف کشور ۱۵. افزایش مشارکت مردمی در تأمین هزینه‌های آموزش ۱۶. بهبود فرایند آموزشی در حال اجرا ۱۷. توسعه رشته‌های میان بخشی ۱۸. برخورداری نسبی از برنامه‌ریزی و ارزیابی برنامه‌های آموزشی ۱۹. بالابودن تقاضای اجتماعی برای آموزش عالی ۲۰. توجه مقطعی به قوانین پشتیبان حمایت از استقلال دانشگاه‌ها (ماده ۴۹ برنامه چهارم)	۱. ضعف و نارسایی بخشی از مدیریت منابع انسانی آموزش و پرورش (جذب، آموزش، توزیع، ارتقاء و نگهداشت) ۲. عدم تناسب بخشی از اهداف و محتوای نظام آموزشی و پرورشی با نیازهای فردی و ملی ۳. پایین بودن اثربخشی و کارایی درونی نظام آموزشی و به‌تبع آن اتلاف منابع ۴. فقدان طرح جامع نیازسنجی اولویت‌های پژوهشی بخش صنعت ۵. ناهماهنگی پژوهش‌های دانشگاهی با نیازهای تحقیق و توسعه کشور ۶. پایین بودن ضریب نفوذ فناوری‌های نوین در همه شئون آموزش و پرورش ۷. ضعف نظام آموزشی در تحقق پوشش کامل تحصیلی نظام آموزش عمومی ۸. ظهور کمیت گرایی در صف آموزش عالی ۹. نداشتن طرح آمایش آموزش عالی در کشور ۱۰. نبود خوشه‌های علم و فناوری در کشور جهت ۱۱. هدایت مسائل کلان و کاربردی کشور در آموزش و پژوهش ۱۲. فقدان بودجه‌ریزی عملیاتی در آموزش عالی کشور به تفکیک زیرمجموعه‌ها ۱۳. فقدان مدیریت فرایندها در دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی و پژوهشی برای ایجاد رقابت علمی ۱۴. توسعه ناهماهنگ و نامتوازن مؤسسات آموزش عالی در بخش غیردولتی و تأثیرات نامطلوب آن بر آموزش عالی دولتی ۱۵. نامشخص بودن نقش نهادهایی همچون فرهنگستان‌ها در توسعه علوم و طراحی سیاست‌های علمی ۱۶. عدم توجه به شایسته‌سالاری در جذب اعضای هیئت‌علمی ۱۷. فقدان سیستم تعاملی بین آموزش، پژوهش و فناوری ۱۸. فقدان شاخص‌های جامع نظام آموزش عالی ۱۹. روزآمد نبون محتوی دوره‌های آموزشی ۲۰. عدم جذب متخصصان ایرانی خارج از کشور جهت تدریس در دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی ۲۱. فقدان زیرساخت‌های اطلاع‌رسانی و فناوری‌های نوین در شیوه‌های آموزشی ۲۲. نبود یک برنامه جامع و ادغام یافته و متناسب با نیازهای جامعه. ۲۳. فقدان آمار و اطلاعات مربوط به شاخص‌های آموزشی

		۲۴. نداشتن نظام تعریف شده اقتصادی در حمایت از فعالیت‌های آموزشی. ۲۵. وجود قوانین متعدد و دست و پاگیر. ۲۶. عدم دسترسی به خدمات به صورت یکسان برای تمام آحاد جامعه. ۲۷. روند فزایندهٔ دخالت‌های قضایی در امور فنی آموزش. ۲۸. فرار مغزها ۲۹. ادغام آموزش پزشکی با نظام سلامت. ۳۰. ادغام مقول هاآموزش و سلامت و زمینهٔ آموزش از طریق خدمات سلامت.
پژوهش	۱. توجه ویژه به گسترش نهضت نرم‌افزاری در کشور؛ ۲. رشد سریع علمی کشور و انعکاس آن در جوامع بین‌المللی؛ ۳. گسترش امکان ارتباطات بین‌المللی سریع با هزینه کم از طریق شبکه‌های الکترونیکی؛ ۴. بهره‌مندی از دانش پژوهشگران ایرانی در خارج از کشور؛ وجود مزیت‌های نسبی (نظیر نفت و معادن) در کشور که از طریق تأمین حداقل منابع مالی مورد نیاز، زمینه توسعه پژوهش و فناوری در کشور را فراهم می‌آورد. ۵. گسترش دوره‌های تحصیلات تکمیلی در سال‌های اخیر؛ ۶. تاسیس و توسعه مراکز رشد و پارکهای علم و فناوری در کشور؛ ۷. رشد سریع تعداد مقالات علمی منتشره؛ ۸. امکان افزایش اعتبارات پژوهشی کشور با توجه به توانایی مالی دولت؛ ۹. وجود نیروی انسانی جوان، تحصیل‌کرده، مستعد و علاقه‌مند به یادگیری در کشور، در مقایسه با دیگر کشورهای خاورمیانه و دور؛ ۱۰. وجود یک نسل هیئت علمی جوان، پرانرژی و تحصیل‌کرده ایرانی در کشورهای پیشرفته صنعتی؛ ۱۱. توانمندی‌های پژوهشگران موجود در دانشگاه‌ها و سایر مراکز تحقیقاتی. ۱۲. وجود امکانات و سخت‌افزارهای مناسب تحقیقاتی در برخی از مراکز پژوهشی؛ ۱۳. توجه دستگاه‌ها و سازمان‌های مختلف به اهمیت پژوهش و فناوری؛	۱. اندک بودن اعتبار متوسط پروژه‌های پژوهشی انجام‌شده در دانشگاه‌ها ۲. آموزش‌محور بودن دانشگاه‌های کشور ۳. مؤثر نبودن پژوهش در شتاب بخشیدن و درون‌زا شدن رشد اقتصادی ۴. ورودی مدار بودن منابع مالی پژوهشی دانشگاهی ۵. سطحی و شکلی بودن معیارهای ارزیابی پژوهش کشور و اتکا صرف به شاخص تعداد مقالات ۶. پراکنده بودن فعالیت علمی کشور در موضوعات فراوان دانش ۷. فقدان برنامه و ضوابط مدون جهت تقویت و توسعه دانشگاه‌ها و مؤسسات علمی و پژوهشی غیردولتی؛ ۸. فقدان نهاد و متولی مشخص برای سیاست‌گذاری پژوهش و نداشتن اولویت پژوهشی ۹. ارتباطات بین‌المللی علمی ضعیف و عدم وجود همکاری‌های منطق‌های و بین‌المللی در بروندادهای علمی ۱۰. کمبود نیروی محقق نسبت به جمعیت خصوصاً در بخش صنعت ۱۱. مبتنی نبودن نظام تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری بر فعالیت‌های پژوهشی ۱۲. نبود دوره‌های مؤثر در پژوهش دانشگاهی مانند دوره پسادکتری ۱۳. پژوهش‌محور نبودن جذب و پرورش دانشجویان تحصیلات تکمیلی ۱۴. کمبود شبکه‌های علمی جهت استفاده از توان جمعی اعضای هیئت علمی ۱۵. فرار مغزها ۱۶. عدم ارتباط منطقی و قانونی بین مرجع ثبت اختراعات و مراکز تحقیقاتی و پژوهشی و ضرورت حمایت قانونی و اجرایی از حقوق

	۱۴. وجود ساختار آموزش عالی منسجم و باسابقه کشور؛	۱۷. مالکیت معنوی و همچنین ضرورت تغییر روش ثبت اختراعات از اعلامی به تحقیقی در بسیاری از موارد. ۱۸. ضعف ارتباط بین کاربرد یافته‌های پژوهشی و رشد ارزش‌افزوده و کاربردی نبودن پژوهش‌ها ۱۹. عقب‌ماندگی عمیق در تعداد ثبت اختراعات بین‌المللی و ملی پژوهشگران معادل تمام‌وقت.
فناوری	۱. افزایش توجه به برنامه‌ها و پروژه‌های سیاست‌گذاری علم و فناوری؛ ۲. توجه به سیاست‌های توسعه فناوری در برنامه چهارم؛ ۳. تدوین سند تحول راهبردی نظام علم و فناوری کشور به‌عنوان برنامه‌های بلندمدت توسعه در حوزه علم و فناوری؛ ۴. طراحی اسناد راهبردی برای فناوری‌های کلیدی و اولویت‌دار از قبیل نانو، بیو، هوافضا و... ۵. توسعه دوره‌های سیاست‌گذاری علم و فناوری در برخی از دانشگاه‌های کشور.	۱. نقش پررنگ دولت در تأمین منابع مالی توسعه فناوری و کم‌رنگ بودن نقش بخش خصوصی ۲. ضعف نهادهای دولتی در شکل‌دهی به مکانیسم‌های توسعه سرمایه‌گذاری خطرپذیر ۳. کمبود مکانیسم‌های مالی و سیاستی معطوف به‌طرف تقاضا ۴. عدم هماهنگی در تخصیص منابع مالی پژوهش و فناوری در سطح ملی ۵. عدم تحقق سیاست‌های حمایتی و اعتباری متناسب با اهداف کمی پیش‌بینی شده در برنامه چهارم ۶. عدم نظام‌یافتگی فرایند سیاست‌گذاری و نامشخص بودن تفکیک وظایف میان برخی نهادهای موجود ۷. کمبود مراکز و مؤسسات تخصصی سیاست‌پژوهی

۳-۱۰- تحلیل SWOT توسعه فناوری کشور

در این بخش نقاط قوت و ضعف حوزه فناوری کشور و فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی آن بررسی و با استفاده از تحلیل SWOT راهکارهایی به‌منظور تسریع توسعه فناوری پیشنهاد شده است. در جدول ۴۵ نقاط قوت نظام علم و فناوری فعلی کشور آورده شده است.

جدول ۴۵: نقاط قوت نظام علم و فناوری کشور

نقاط قوت
وجود جامعه جوان که قابلیت جهت‌دهی به سمت فعالیت‌های نوآورانه را دارند
رتبه پنجم جهان از نظر تعداد فارغ‌التحصیلان مهندسی
تعداد بالای پژوهشگران مطرح نسبت به کشورهای منطقه
وجود مراکز گوناگون علمی در سراسر کشور
توجه ویژه مقام معظم رهبری به رشد اقتصاد دانش‌بنیان و اقتصاد مقاومتی
دسترسی سراسری به زیرساخت‌هایی ازجمله برق، آب و اینترنت
تمایل بسیار زیاد دانشجویان و فارغ‌التحصیلان برتر کشور به ایجاد کسب‌وکارهای نوآورانه
وجود ۷ صندوق جسورانه در فرابورس
وجود ۴۳ پارک علم و فناوری و ۱۹۲ مرکز رشد
وجود ۷۲ شتاب‌دهنده در کشور

در جدول ۴۶ نقاط ضعف نظام علم و فناوری کشور آورده شده است.

جدول ۴۶: نقاط ضعف نظام علم و فناوری کشور

نقاط ضعف
موازی‌کاری و عدم ثبات و انسجام در سیاست‌گذاری و راهبری کلان علم و فناوری
نبود الگوی مدیریت علمی و پژوهشی مناسب در مراکز پژوهشی و فناوری
نبود نظام ارزیابی اثربخش سیاست‌های پژوهشی و توسعه فناوری و سیستم‌های منسجم نظارت و ارزیابی فعالیت‌ها
اثربخشی و کیفیت پایین تولیدات علمی ازجمله مقالات
پایین بودن نرخ رسوخ و انتقال (انتشار) فناوری و تجاری‌سازی پژوهشی بر اساس نیازهای بازار
متنوع نبودن منابع مالی پژوهش و فناوری
کمبود سرمایه‌گذاری خطرپذیر
عدم توجه کافی به‌طرف تقاضای علم و فناوری
نبود تقاضای مؤثر بخش‌های تولیدی و اقتصادی و طرح‌های زیربنایی و بزرگ توسعه‌ای کشور برای محصولات دانش‌بنیان با کیفیت داخلی
حمایت‌های غیرهوشمندانه از صنایع با فناوری پایین و متوسط
استفاده بسیار پایین از ظرفیت سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی
ضعف نهادهای ارائه‌دهنده مشاوره تخصصی به بنگاه‌های نوپا
ضعف حضور بخش خصوصی در پارک‌ها و مراکز رشد علم و فناوری
ضعف زیرساخت‌ها و نظامات پشتیبان پژوهش و فناوری
ضعف نظام ضمانت و بیمه برای کاهش مخاطره نهادهای حامی فعالیت‌های تحقیق و توسعه فناوری و تجاری‌سازی و کارآفرینان
ضعف نظام آماری و اطلاعاتی منسجم از وضعیت علم و فناوری و نوآوری کشور
کمبود آزمایشگاه‌های مرجع و فرسودگی تجهیزات پژوهشی
کمبود نیروی انسانی متخصص و ماهر در حوزه‌های میان‌رشته‌ای از قبیل مالکیت فکر، مذاکره و ...
نبود مکانیسم و مشوق‌های کافی برای انجام همکاری‌های فناوری دانشگاه و صنعت
ضعف فرهنگ کارآفرینی در دانشگاه و جامعه
ضعف ارتباطات بین‌المللی پژوهشگران
گسترش تقلب علمی
محیط قانونی پیچیده و مانع نوآوری
سیستم قانونی و حقوق مالکیت معنوی ضعیف
وجود انحصار در بسیاری از بازارها

در جدول ۴۷ فرصت‌های پیش روی نظام علم و فناوری کشور آورده شده است.

جدول ۴۷: فرصت‌های پیش روی نظام علم و فناوری کشور

فرصت‌ها
وجود نمونه‌های موفق کارآفرینی فناورانه در کشور
گسترش تأمین مالی جهانی
ظهور دانشگاه نسل چهارم
وجود ۳۵۱۴ صنعت بزرگ در کشور
وجود سیستم‌های بین‌المللی ارزیابی زیست‌بوم کارآفرینی و نوآوری
گسترش ابزارهای ارتباطی مؤثر بر فرهنگ
وجود جامعه بزرگی از پژوهشگران ایرانی در خارج از کشور
وجود الگوهای متعدد توسعه فناوری موفق در سایر کشورها
بازار هزار میلیارد دلاری کشورهای همسایه
وجود بازار داخلی گسترده برای محصولات دانش‌بنیان
وجود بازار دولتی گسترده
دسترسی به سرمایه‌های مالی گسترده در بانک‌ها و جامعه
دسترسی وسیع‌تر به منابع اطلاعاتی علمی با گسترش نفوذ اینترنت

در جدول ۴۸ تهدیدهای پیش روی نظام علم و فناوری کشور آورده شده است.

جدول ۴۸: تهدیدهای پیش روی نظام علم و فناوری کشور

تهدیدها
سرعت بسیار پایین حرکت دانشگاه‌های کشور به سمت دانشگاه نسل چهارم
مهاجرت نخبگان
وجود اقتصاد کاملاً دولتی (سهم ۶۷ درصدی از تولید ناخالص داخلی سال ۱۳۹۵)
جهانی‌شدن بازارها و استعدادها
رشد سریع تولیدات دانش‌بنیان در کشورهای منطقه
وجود بازارهای غیرمولد با سوددهی بالا
واردات بی‌رویه و عدم محافظت هوشمندانه از بازار محصولات دانش‌بنیان
قاچاق گسترده به داخل کشور
سرعت بالای رشد فناوری در سایر کشورها

۴-۱۰- راهکارها

با توجه به تحلیل SWOT، راهکارهای زیر به‌منظور تسریع توسعه فناوری کشور پیشنهاد می‌شود. ماتریس تحلیل SWOT در قسمت بعد آورده شده است.

۱- تقسیم‌کار، رفع موازی‌کاری و همپوشانی به‌منظور ارتقای هماهنگی نهادها و دستگاه‌های سیاست‌گذار و اجرایی متولی توسعه و اجرای علم و فناوری.
۲- پیاده‌سازی و اجرای نقشه جامع علم و فناوری.
۳- استقرار نظام رصد و پایش علمی و فناوری کشور و ارزیابی سیستمی این نظام.
۴- استقرار ساختار نهادی تخصصی آینده‌نگاری ملی و بین‌المللی در حوزه‌های فناورانه، بخشی و منطقه‌ای.
۵- تقویت سازوکارهای حمایتی مانند انجمن‌های علمی.
۶- ایجاد قطب‌های علمی و فناوری با تأکید بر نقش پارک‌های فناوری و دانشگاه‌های برتر.
۷- حمایت مالی از پژوهش‌های تقاضامحور مشترک با دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی، پژوهشی و فناوری و حوزه‌های علمیه در موارد ناظر به حل مشکلات کشور.
۸- افزایش سهم ایران از اعتبارات پژوهشی نهادهای بین‌المللی و گسترش همکاری پژوهشی با دانشگاه‌ها و مراکز پژوهش خارجی.
۹- تدوین و تصویب لایحه جامع نظام مالی علم و فناوری کشور.
۱۰- مشارکت صندوق نوآوری و شکوفایی در تأمین مالی صندوق‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر غیردولتی راه‌اندازی شده توسط شرکت‌های بزرگ (CVCs) به‌منظور افزایش زمینه‌های مشارکت میان شرکت‌های بزرگ و کوچک یا دانش‌بنیان و ارتقای توانمندی‌ها و قابلیت‌های شرکت‌های کوچک و بهره‌گیری مناسب از این قابلیت‌ها از طریق اتصال به شرکت‌های بزرگ.
۱۱- تعیین شاخص‌های کمی اقتصاد دانش‌بنیان.
۱۲- ایجاد نظامات تنظیمی مقررات در بخش تأمین مالی حوزه فناوری.
۱۳- ایجاد و توسعه پارک‌های علم و فناوری تجاری.
۱۴- ایجاد و توسعه مراکز رشد علم و فناوری بین‌المللی.
۱۵- تهیه ضوابط و مشوق‌های لازم جهت هدایت سرمایه‌گذاری خارجی به استفاده از نیروی کار متخصص داخلی، توسعه زنجیره تأمین داخلی و خرید محصولات دانش‌بنیان داخل و همچنین صادرات محصولات دانش‌بنیان از ایران به کشورهای دیگر در ازای حضور در بازار داخلی.
۱۶- طراحی نظام آماری هزینه‌های تحقیق و توسعه فناوری و نوآوری به تفکیک بخش دولتی و غیردولتی و عملکرد آن‌ها.
۱۷- بهره‌برداری بهینه از ظرفیت‌های موجود آزمایشگاهی در قالب نظام شبکه‌ای و الزام آن‌ها به ارائه خدمات به شرکت‌های دانش‌بنیان و بخش خصوصی.
۱۸- برخورداری پارک‌های علم و فناوری از مقررات، امتیازات و اختیارات مناطق آزاد اقتصادی.

۱۹- استفاده از رسانه‌های ملی، جمعی و مردمی مانند صداوسیما، رسانه‌های مکتوب، منابر و نمازهای جمعه و جماعات برای تکریم علم و دانش و تأکید بر ثروت‌آفرینی و ارزش‌آفرینی، بازنگری در منابع درسی مدارس و دانشگاه‌ها در راستای تشویق و رشد خلاقیت و نوآوری، ارتقای منزلت اجتماعی و جایگاه اقتصادی نخبگان و پژوهشگران، حمایت از مطالعات و پژوهش‌های کاربردی در راستای تبیین مفهوم اقتصاد مقاومتی و ابعاد فرهنگی آن و تدوین اصول و مبانی فرهنگی اقتصاد مقاومتی.

۲۰- شناسایی متخصصان ایرانی مقیم خارج از کشور.

۲۱- اولویت دادن به دیپلماسی اقتصادی باهدف توسعه سرمایه‌گذاری خارجی، ورود به بازارهای جهانی و دستیابی به فناوری برای تحقق اهداف اقتصاد مقاومتی.

۲۲- تدوین الگوی مناسب نقش‌آفرینی دانشگاه‌های کشور در زیست‌بوم کارآفرینی نوآورانه و تهیه نقشه راه تبدیل دانشگاه به بازیگر اصلی زیست‌بوم، حرکت هرچه سریع‌تر دانشگاه‌های کشور به سمت دانشگاه‌های نسل سوم و چهارم مطابق با الگوی نقش‌آفرینی آن‌ها در زیست‌بوم کارآفرینی نوآورانه.

۲۳- تمرکز بر رفع موانع و چالش‌های ارتباط مطلوب دانشگاه و صنایع بزرگ به‌منظور رشد زیست‌بوم کارآفرینی نوآورانه.

۲۴- ارتقای نقش دانشگاه به‌عنوان منبع اصلی پرورش نیروهای انسانی متخصص مطابق با نیاز زیست‌بوم کارآفرینی نوآورانه ایران.

۲۵- الگوسازی و ارائه الگوی مناسب ارتباط دانشگاه‌ها با سیستم‌های حمایتی (شامل مراکز رشد، شتاب‌دهنده‌ها، شرکت‌های حقوقی، مشاوره‌ی کسب‌وکار و ...) و تقویت هرچه بیشتر این ارتباط.

۲۶- ایجاد نظام رتبه‌بندی دانشگاه‌ها به‌منظور جهت‌دهی فعالیت‌های دانشگاه‌ها در راستای رفع نیازهای کشور و حذف دانشگاه‌هایی که در مدت‌زمان معین توانایی لازم برای رسیدن به استانداردهای مطلوب را ندارند.

۲۷- پیش‌بینی و ارزیابی مداوم الگوهای کسب‌وکار آینده و مشاغل نوظهور، استخراج مهارت‌های لازم برای این مشاغل و اصلاح مداوم برنامه آموزشی دانشگاه‌های کشور متناسب با مشاغل در حال ظهور.

۲۸- عارضه‌یابی وضعیت فعلی خصوصی‌سازی صنایع، اصلاح وضعیت واگذاری‌های سابق (شرکت‌های دولتی که تبدیل به شرکت‌های غیردولتی شده‌اند) و تدوین برنامه مناسب برای خصوصی‌سازی واقعی شرکت‌های دولتی که در صف واگذاری قرار دارند.

۲۹- رفع موانع رشد شرکت‌های خصوصی به‌منظور افزایش هرچه بیشتر تعداد شرکت‌های خصوصی بزرگ کشور با استفاده از ابزارهایی همچون جلوگیری از رانت‌های دولتی، افزایش شفافیت بازار و تدوین قوانین حامی بخش خصوصی واقعی.

۳۰- ایجاد ابزارهای مناسب برای کمک به صاحبان صنایع بزرگ در راستای رصد مداوم فعالیت‌های نوآورانه دانشگاهیان و محصولات و خدمات شرکت‌های دانش‌بنیان و استارتاپ‌ها؛ بهبود شبکه بین استارتاپ‌ها و کارآفرینان و صاحبان صنایع بزرگ.

۳۱- عارضه‌یابی بستر حقوقی و قانونی فعالیت سرمایه‌گذاران خطرپذیر و ارائه الگوی جامعی برای بهبود آن (به‌عنوان‌مثال بهبود قانون مالکیت فکری و پیاده‌سازی مؤثر آن موجب شفافیت فرایند سرمایه‌گذاری خطرپذیر[1] بر روی ایده‌های جدید خواهد شد).

۳۲- تقویت مستمر ارتباط بین نهادهای تأمین سرمایه همانند سرمایه‌گذاران خطرپذیر و فرشتگان کسب‌وکار با کارآفرینان و ارائه آموزش‌های لازم به طرفین به‌منظور بهبود فرهنگ و فرایند این نوع همکاری و تقویت هرچه بیشتر ارتباط بین سرمایه‌گذاران خطرپذیر و فرشتگان کسب‌وکار با نهادهای پشتیبان شرکت‌های نوپا همانند پارک‌های علم و فناوری، مراکز رشد، شتاب‌دهنده‌ها (گاهی خود این نهادها استارتاپ‌ها را در مراحل اولیه تأمین مالی می‌کنند) و شرکت‌های حقوقی مربوطه.

۳۳- ایجاد بستر مناسب به‌منظور افزایش تعداد سرمایه‌گذاران خطرپذیر شرکتی و صندوق‌های جسورانه بورسی باکیفیت بالا در تمام مراحل پیدایش و رشد و توسعه یک استارتاپ.

۳۴- تدوین دقیق نقش دولت در تأمین مالی زیست‌بوم و نحوه ارتباط دولت با سرمایه‌گذاران خطرپذیر و تشویق سرمایه‌گذاران به حضور در زیست‌بوم.

۳۵- با توجه به وجود سرمایه‌های کلان در دست نهادهای دولتی و شبه‌دولتی، لازم است آموزش‌های لازم در خصوص زیست‌بوم کارآفرینی نوآورانه و مزایا و نحوه سرمایه‌گذاری در این حوزه به آن‌ها داده شود تا بخشی از سرمایه خود را به‌صورت مناسب به زیست‌بوم تزریق کنند.

۳۶- تشویق بانک‌ها و مؤسسات مالی و اعتباری به همکاری با کارآفرینان و شرکت‌های نوآور نوپا.

۳۷- تدوین بسته تسهیل و تسریع حضور سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیر خارجی در کشور.

۳۸- ایجاد بانک اطلاعاتی جامع از کلیه نهادهای تأمین مالی زیست‌بوم و عملکرد آن‌ها به‌منظور تسهیل فرایند تصمیم‌گیری کلان در این حوزه.

۳۹- تدوین بسته جامعی به‌منظور افزایش جذابیت زیست‌بوم ملی و زیست‌بوم‌های محلی برای حفظ نیروی انسانی متخصص داخلی، بازگرداندن نیروهای متخصص ایرانی به کشور و جذب نیروی انسانی متخصص از سایر کشورها.

۴۰- ایجاد بانک‌های اطلاعاتی جامع به‌منظور دسترسی کارآفرینان نوآور و خطرپذیر به ابزارهای مناسب برای پاسخ به تمام نیازهایی که برای راه‌اندازی یک کسب‌وکار نوآورانه و رشد و توسعه آن دارند.

۴۱- ایجاد شبکه‌های مؤثر با ایرانیان فعال در صنایع پیشرفته دنیا و بهره‌گیری حداکثری از نظرات و توانمندی آن‌ها به‌صورت دائم.

۴۲- تدوین الگوی مناسب ارزیابی پارک‌های علم و فناوری، مراکز رشد و شتاب‌دهنده‌ها و به‌کارگیری ابزارهای مناسب به‌منظور تشویق و ترغیب آن‌ها برای توسعه و بهبود مستمر خدمات.

۴۳- تشویق و حمایت مادی و معنوی از پارک‌های علم و فناوری پیشرو، مراکز رشد و شتاب‌دهنده‌های با عملکرد مطلوب به‌منظور ایجاد حس رقابت بین آن‌ها به‌منظور رشد کیفی.

1. Venture capital (VC)

۴۴- ایجاد کانال ارتباطی دائمی و فعال بین دولت و نهادهای قانون‌گذار با نهادهای پشتیبان به‌منظور رفع سریع مشکلات قانونی مربوطه.
۴۵- بهبود و تقویت مداوم ارتباط بین نهادهای پشتیبان و متولیان تأمین سرمایه (خصوصی و دولتی).
۴۶- افزایش شفافیت سازوکارهای بازار داخلی و خارجی برای کارآفرینان و نوآوران (با ابزارهایی به‌منظور جلوگیری از رانت، رشوه، انحصار و...) و تدوین برنامه جامعی جهت افزایش دسترسی نوآوران و کارآفرینان به بازارهای داخلی و خارجی.
۴۷- تدوین برنامه جامعی به‌منظور تأمین نیازهای دولت توسط شرکت‌های نوپا و دسترسی کارآفرینان به بازار دولتی و پیشگامی دولت در تطبیق خود با فناوری‌های نوین.
۴۸- ایجاد سازوکارهای مؤثر به‌منظور تشویق بنگاه‌های بزرگ به رصد و خریداری استارتاپ‌های نوآور و حرکت به سمت ارائه محصولات و خدمات نوآورانه.
۴۹- تدوین برنامه جامع جهت ارتقای سریع و جهش فرهنگ و دانش کارآفرینی در فارغ‌التحصیلان، مدیران و کارمندان شرکت‌ها و سازمان‌های خصوصی و دولتی و تدوین برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت به‌منظور ارتقای فرهنگ و دانش کارآفرینی در خانواده‌ها و نسل جدید از طریق رسانه‌های جمعی، مدارس، دانشگاه‌ها و سایر ابزارهای در دسترس.
۵۰- تبدیل کردن کارآفرینان برجسته کشور به الگوهای جامعه به‌منظور ایجاد امید، انگیزه و نشاط کارآفرینی در بین مردم (در مقابل تبدیل بازیگران و خواننده‌ها به الگوی جوانان)، شناسایی دقیق قوانین تأثیرگذار بر زیست‌بوم کارآفرینی، بررسی اثرات کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت این قوانین، اصلاح یا حذف قوانین مخل توسعه زیست‌بوم کارآفرینی نوآورانه، ایجاد انعطاف در قانون‌گذاری و تنظیم‌گری و اصلاح قوانین در راستای پاسخگویی به اقتضائات عملکردی کسب‌وکارهای جدید.
۵۱- مشارکت هرچه بیشتر نهادهای فعال در زیست‌بوم کارآفرینی نوآورانه در فرایند قانون‌گذاری و اجرا و نظارت بر قوانین.
۵۲- ایجاد شعب سراسری رسیدگی به دعاوی مالکیت معنوی به‌منظور کاهش مدت‌زمان رسیدگی به این اختلافات.
۵۳- ایجاد دادگاه‌های مخصوص شرکت‌های دانش‌بنیان؛ به‌طوری که بتوانند به‌صورت تخصصی به مسائل مربوط به این حوزه رسیدگی کنند.
۵۴- اصلاح نظام مالیاتی به نفع گسترش هرچه بیشتر زیست‌بوم‌های کارآفرینی.

۵-۱۰- ماتریس تحلیل SWOT نظام علم و فناوری کشور

در ماتریس تحلیل SWOT برای نظام علم و فناوری کشور آورده شده است. اعدادی که در هر خانه این ماتریس آورده شده نشان‌دهنده شماره راهکار مربوطه است.

جدول ۴۹: تحلیل نقاط قوت، ضعف و فرصت‌ها و تهدیدها

	تحلیل نقاط قوت و ضعف و فرصت ها و تهدیدها	فرصت ها												تهدیدات									
		دسترسی وسیعتر به منابع اطلاعاتی علمی با گسترش تدول اینترنت	دسترسی به سرمایه های مالی گسترده در بانک ها و جامعه	وجود بازار دولتی گسترده	وجود بازار بالقوه گسترده برای محصولات دانشی بنیان	بازار جزار جهانی و دارای گسترش های همسایه	وجود الگوهای متعدد توسعه فناوری موفق در سایر کشورها	وجود جامعه بزرگی از پژوهشگران ایرانی در خارج از کشور	گسترش ابزارهای ارتباطی موثر بر فرهنگ	وجود سیستم های بین المللی ارزیابی زیست بوم کارآفرینی و نوآوری	وجود ۳۵۱۴ صنعت بزرگ در کشور	شیوع دانشگاه نسل چهارم	گسترش تامین مالی جهانی	وجود نمونه های موفق کارآفرینی فناورانه در کشور	سرعت بالای رشد فناوری در سایر کشورها	قابلیان گسترده به داخل کشور	واردات بی رویه و عدم محافظت هوشمندانه از بازار محصولات دانشی بنیان	وجود بازارهای عمومی با سودهی بالا	رشد سریع تولیدات دانشی بنیان در کشورهای منطقه	جهانی شدن بازارها و استعدادها	وجود اقتصاد کاملا دولتی (سهم ۶۷ درصدی از تولید ناخالص داخلی سال ۱۳۹۵)	مهاجرت نخبگان	سرعت بسیار پایین حرکت دانشگاه های کشور به سمت دانشگاه نسل چهارم
نقاط قوت	وجود جامعه جوان که قابلیت جهت دهی به سمت فعالیت های نوآورانه را دارند	۵	۲۳.۳۴		۷.۳۳.۳۴.۲۷.۳۹	۷.۳۴.۲۷	۲۲	۲۴.۳۹		۵.۱۹	۲۳.۳۴	۸.۳۲.۳۴.۲۶		۵.۱۹	۷.۸.۳۳.۲۶		۲۳		۲۳.۲۶		۷.۸.۳۴.۲۶	۵.۷۸.۱۹.۲۴	۸.۳۴.۲۶
	رتبه پنجم جهان ازنظر تعداد فارغ التحصیلان مهندسی		۱۵.۲۳.۲۴		۷.۱۵.۳۴.۲۴	۷.۱۵.۲۴	۲۲	۲۴			۲۳.۲۴	۲۳.۲۴	۱۵		۷.۱۵.۲۳		۲۳		۲۳		۷.۱۵.۲۴	۷.۱۵.۲۴	۲۴
	تعداد بالای پژوهشگران مطرح نسبت به کشورهای منطقه		۲۳		۷.۲۳	۷	۲۲				۲۳	۸.۲۲			۷.۸.۲۳		۲۳		۲۳		۷.۸	۷.۸	۸
	وجود مراکز گوناگون علمی در سراسر کشور		۲۳.۲۴		۲۳.۲۴	۲۴	۲۲	۲۴		۴	۲۳.۲۴	۴.۲۳.۲۴			۴.۲۳		۲۳		۲۳.۲۶		۴.۲۴	۲۴	۴.۲۴.۲۶
	توجه ویژه مقام معظم رهبری به رشد اقتصاد دانش بنیان و اقتصاد مقاومتی		۲۳		۱.۲۳	۱.۲۱	۱.۱۱	۲۱		۱۱	۲۳	۱۱	۲۱		۱.۲۱.۲۳	۱	۱.۲۳	۱	۱.۲۳	۱	۱.۲۱		۱.۱۱
	دسترسی سراسری به زیرساخت هایی از جمله برق، آب و اینترنت										۱۷	۱۷			۱۷							۱۷	
	تمایل بسیار زیاد دانشجویان و فارغ التحصیلان برتر کشور به ایجاد کسب و کارهای نوآورانه			۲۳	۷.۲۳	۲۲			۱۹		۲۳	۲۳		۱۹	۷.۲۳		۲۳		۲۳		۷	۷.۱۹	
	وجود ۷ صندوق جسورانه در فرابورس		۹.۱۰.۱۲.۲۳.۳۴.۳۵		۲۵.۴۰	۲۵.۴۰	۲۵.۴۰						۹.۱۰.۱۲		۲۵		۲۵						
	وجود ۴۳ پارک علم و فناوری و ۱۹۲ مرکز رشد		۶.۱۳.۱۴.۱۸		۶.۱۳.۱۴.۱۸.۲۵.۳۴	۶.۱۳.۱۴.۱۸.۲۵.۴۰	۶.۱۳.۱۴.۱۸.۲۵.۴۰				۱۳.۱۴		۶.۱۸		۶.۱۳.۱۴.۲۵.۳۳		۶.۲۵		۶.۱۳.۱۴.۱۸			۶	
	وجود ۷۲ شتابدهنده در کشور				۲۵.۴۰	۲۵.۴۰	۲۵.۴۰								۲۵.۴۰		۲۵.۴۰						
نقاط ضعف	موازی کاری و عدم ثبات و انسجام در سیاست گذاری و راهبری کلان علم و فناوری		۱				۱.۴.۴								۲	۱	۱		۲				۱.۲
	نبود الگوی مدیریت علمی و پژوهشی مناسب در مراکز پژوهشی و فناوری		۲۳		۲.۴.۲۳		۲.۴.۲۳		۴	۲۳	۴.۲۳				۴.۳۳.۴۳		۲۳		۲.۴.۲۳		۴		۴
	نبود نظام ارزیابی اثربخش سیاست های پژوهشی و توسعه فناوری و سیستم های منسجم نظارت و ارزیابی فعالیت ها		۲۳.۲۶.۴۳		۲۳.۴۳	۴۳	۳.۳۲.۴۳		۳	۲۳	۳.۲۳				۳.۳۳		۲۳		۲۳				۳
	اثربخشی و کیفیت پایین تولیدات علمی از جمله مقالات		۲۳		۲۳.۴۷		۲۳.۴۷	۴۱		۲۳	۸.۲۳				۸.۳۳.۴۷		۲۳		۲۳.۴۷		۸	۸	۸
	پایین بودن نرخ رسوخ و انتقال (انتشار) فناوری و تجاری سازی پژوهشی براساس نیازهای بازار		۱۳.۱۴		۶.۱۳.۱۴.۲۳.۳۰	۱۳.۱۴.۲۹	۶.۱۳.۱۴.۲۳.۳۰	۲۰		۲	۱۳.۲۳.۳۰	۲.۲۳			۷.۱۳.۱۴.۲۳		۲۳	۲۸.۳۹	۲.۲۳	۲۸.۳۹	۷.۱۳.۱۴	۷	۲
	متنوع نبودن منابع مالی پژوهش و فناوری		۶.۹.۱۵		۱۵	۱۵							۹.۱۰.۱۲.۱۵.۳۷		۱۵						۱۵	۱۵	
	کمبود سرمایه گذاری خطرپذیر		۹.۱۰.۱۲.۲۳.۳۴.۳۵.۳۶		۲۲.۴۳	۲۱.۲۴							۹.۱۰.۱۲.۳۱.۳۷		۲۲		۳۱		۲۲	۲۱			
	عدم توجه کافی به طرف تقاضای علم و فناوری				۷.۲۳		۲۲	۳۱		۲۳	۲۲				۷.۲۳				۲۳	۷		۷	
	نبود تقاضای موثر بخش های تولیدی و اقتصادی و طرح های زیربنایی و بزرگ توسعه ای کشور برای محصولات دانش بنیان با کیفیت داخلی		۶		۲۳					۲۳					۲۳				۲۳				
	حمایت های غیرهوشمندانه از صنایع با فناوری پایین و متوسط				۲۹	۲۹															۲۸.۳۹		
	استفاده بسیار پایین از ظرفیت سرمایه گذاری مستقیم خارجی		۶.۹.۱۲	۱۵	۱۵	۱۵.۲۱		۲۱		۲۱		۲۱	۹.۱۲.۱۵		۱۵.۲۱					۲۱	۱۵.۲۱		۱۵
	ضعف نهادهای ارائه دهنده مشاوره تخصصی به بنگاه های نوپا		۶.۹.۱۲		۲۵	۲۵	۲۵						۹.۱۲		۲۵					۲۵			
	ضعف حضور بخش خصوصی در پارک ها و مراکز رشد علم و فناوری		۶.۱۳.۱۴.۱۸	۲۳	۱۳.۱۴.۱۸.۲۳	۱۳.۱۴.۱۸	۱۳.۱۴.۱۸				۱۳.۱۸.۲۳				۱۳.۱۴.۱۸.۲۳		۲۳				۱۳.۱۴.۱۸		
	ضعف زیرساخت ها و نظامات پشتیبان پژوهش و فناوری		۶		۷		۲۲					۲۲			۷						۷	۷	
	ضعف نظام ضمانت و بیمه برای کاهش مخاطره نهادهای حامی فعالیت های تحقیق و توسعه فناوری و تجاری سازی و کارآفرینان		۶												۵۲								
	ضعف نظام آماری و اطلاعاتی منسجم از وضعیت علم و فناوری و نوآوری کشور	۳۸	۱۶		۴۰	۴۰		۲۰					۱۶		۱۷			۴۰				۱۶	
	کمبود آزمایشگاه های مرجع و فسودگی تجهیزات پژوهشی											۱۷			۱۷				۱۷				۱۷
	کمبود نیروی انسانی متخصص و ماهر در حوزه های میان رشته ای از قبیل مالکیت فکر، مذاکره و ...		۲۴		۲۴	۲۴	۲۲		۲۴		۲۴	۲۲.۲۴		۲۲	۲۲				۲۴		۲۴	۲۴	۲۴
	نبود مکانیزم و مشوق های کافی برای انجام همکاری های فناوری دانشگاه و صنعت	۶	۲۳		۶.۷.۲۳.۴۸	۴۸					۲۳.۴۸				۷.۲۳		۲۳		۶.۲۳		۷	۷	
	ضعف فرهنگ کارآفرینی در دانشگاه و جامعه	۵	۴۹		۴۹۴	۴۹	۴۹	۵	۴۹.۵۰					۵.۱۹.۴۹.۵۰								۵.۱۹	
	ضعف ارتباطات بین المللی پژوهشگران	۴۱						۵.۴۰.۴۱	۵			۸		۵	۸						۸	۵.۸	۸
	گسترش نقب علمی				۷										۷						۷	۷	
	محیط قانونی پیچیده و مانع نوآوری		۱۲		۴۴	۴۴	۴۴						۱۲		۴۴	۴۴	۴۴	۴۴	۴۴				۴۴
	سیستم قانونی و حقوق مالکیت معنوی ضعیف		۵۱		۵۱.۵۳	۵۱.۵۳									۵۴	۵۱.۵۳.۵۴	۵۱.۵۳.۵۴	۵۱.۵۳.۵۴	۵۱.۵۳.۵۴			۵۱.۵۳.۵۴		
	وجود انحصار در بسیاری از بازارها			۲۸.۲۹.۴۶.۴۷	۴۶	۴۶										۴۶	۴۶	۲۸.۳۹.۴۶		۴۶	۲۸.۲۹.۴۶		

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی و تحلیل راهبردی کلان‌روند تحولات فناوری پرداخته شد. تحولات فناوری تمامی جنبه‌های زندگی را تحت تأثیر قرار داده است. به همین منظور در این پژوهش ابتدا ابعاد مختلف انقلاب صنعتی چهارم و فناوری‌های مؤثر در آن بررسی شد. سپس حوزه‌های فناوری که بیشترین تأثیر را بر سازمان فضایی دارند، بررسی شدند. ازجمله این حوزه‌های منتخب می‌توان به حوزه حمل‌ونقل، مشاغل، تولید، آب و کشاورزی اشاره کرد.

الگوهای جدید حمل‌ونقل نقش تعیین‌کننده‌ای در سبک زندگی و الگوهای سکونت در آینده خواهند داشت. با این حال باید به این نکته توجه داشت که آینده‌های مختلفی برای فناوری‌های این حوزه به تصویر کشیده شده است. هر یک از آینده‌های ممکن، مسیر تحقق مخصوص به خود را دارند و دولت‌ها و سیاست‌گذاران می‌توانند با انتخاب آینده مطلوب حمل‌ونقل در کشور، نقشه راهی را به‌منظور رسیدن به آن طرح‌ریزی و دنبال کنند.

حوزه دیگری که در این گزارش به بررسی آن پرداخته شد، تأثیر کلان‌روند تحولات فناوری بر مشاغل است. یکی از عوامل جذب یا دفع نیروی انسانی در یک منطقه، میزان سهولت دسترسی به شغل مناسب در آن منطقه است. تحولات فناوری موجب تغییر بنیادی در الگوهای اشتغال شده است. چه بسیار مشاغلی هستند که آینده آن‌ها در خطر است و انتظار می‌رود در کمتر از یک دهه آینده به‌طور کامل یا جزئی از بین روند. از طرفی، مشاغل نوظهوری به وجود می‌آیند که پاسخگوی نیازمندی‌های جدید جوامع هستند. همچنین باید به این نکته توجه داشت که در بسیاری از صنایع، عامل اصلی انتخاب مکان استقرار (و به دنبال آن ایجاد شغل و جذب نیروی انسانی به آن منطقه) دسترسی به استعدادهای انسانی است.

تولیدات و کشاورزی نیز از دیگر حوزه‌هایی هستند که تأثیر فناوری بر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تحولات فناوری موجب شده‌اند که بسیاری از محدودیت‌هایی که تا پیش از این کشاورزی و تولید با آن مواجه بودند، رفع شود. پیشرفت فناوری‌های کشاورزی موجب شده تا بسیاری از محصولات در مناطقی کشت شوند که تا پیش از این امکان رشد آن‌ها در آن مناطق وجود نداشت. به همین منظور لازم است تا در تمام برنامه‌های توسعه تولید یا کشاورزی به این نکات توجه لازم صورت گیرد.

آب آخرین حوزه‌ای است که تأثیر تحولات فناوری در آن مورد بررسی قرار گرفته است. پیشرفت‌های فعلی و بالقوه در فناوری‌های حوزه آب، الگوهای ممکن برای سکونت و توسعه شهرها را تحت تأثیر قرار داده‌اند. مسئله آب دیگر برای بسیاری از مناطق یک چالش لاینحل نیست. در بسیاری از مناطق ساحلی و بیابانی که دسترسی کافی به آب آشامیدنی ندارند، استفاده از فناوری‌های پیشرفته زندگی را کاملاً امکان‌پذیر کرده است. دبی نمونه‌ای از این شهرها است که باوجود نداشتن منابع آب شرب، توانسته با به‌کارگیری فناوری آب‌شیرین‌کن، مشکل کمبود آب خود را برطرف کند و گام‌های توسعه را استوارتر طی کند. سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران باید بدانند که دسترسی به آب مناسب، دیگر یک مسئله بی‌پاسخ نیست و آن‌ها هستند که باید با انتخاب

دقیق راهکارهای فناورانه و نوآورانه موجود، موانع توسعه مناطق با بحران آبی را از بین ببرند. این گزارش نیز چکیده‌ای از راهکارهای نوآورانه و فناوری به‌منظور مدیریت چالش آب را ارائه کرده است.

در انتها باید به این نکته اشاره کرد که راهکارهای مختلفی برای توسعه فناوری وجود دارد. انتقال فناوری و توسعه درون‌زا دو راهکار عمده برای اکتساب فناوری‌های نوین است. استفاده از هر کدام از این راهکارها اقتضائات مخصوص به خود را می‌طلبد. همچنین حوزه‌های مختلف نیز نیازمند روش‌های مخصوص به خود برای اکتساب فناوری هستند. در این گزارش زیست‌بوم نوآوری کشور از ابعاد مختلفی بررسی شد. همچنین وضعیت کشورهای همسایه نیز در این حوزه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با این حال باید به این نکته اشاره کرد که هر فناوری خاص در کشور در مرحله خاصی از بلوغ خود قرار دارد و شناخت این مرحله نیازمند الگوهای مخصوص به خود است. در پیوست، الگویی به‌منظور سنجش وضعیت فناوری‌های منتخب ارائه شده است.

در انتهای گزارش نیز مزیت‌ها، ظرفیت‌ها، فرصت‌ها، محدودیت‌ها و چالش‌های نظام نوآوری و فناوری در کشور تحلیل شده و راهکارهایی متناسب با آن‌ها با استفاده از تحلیل SWOT ارائه شدند.

پیوست: مدلی برای سنجش وضعیت فناوری‌های منتخب

در این فصل، راهکاری به‌منظور تعیین وضعیت فناوری‌های هدف در کشور ارائه شده است. به‌منظور تعیین وضعیت فعلی فناوری‌های هدف، از الگوی سطح آمادگی فناوری[۱] به‌عنوان معیاری عددی برای این موضوع بهره گرفته شده است. هدف اصلی این الگو کمک به توسعه‌دهندگان فناوری است تا به کمک الگوهای تصمیم‌گیری تشخیص بهتری از فعالیتی که باید در هر مرحله از توسعه فناوری انجام گردد، داده شود. استفاده از این الگو برای بررسی وضعیت فناوری، مزایا و معایبی دارد. مزیت اصلی استفاده از این روش بررسی هر فناوری از سطح ریز فناوری‌های هر حوزه است که سبب دقت بالای ارزیابی وضعیت فناوری می‌شود. این روش در مقایسه با روش‌هایی مانند پرسش از خبرگان که به دلیل خطای انسانی یا انحراف در قضاوت‌های خبرگان از دقت کمی برخوردار است، مطلوبیت بیشتری را برای کاربران ایجاد کرده است. هم‌چنین در این روش دلیل قرار گرفتن یک فناوری در یکی از سطوح، در اجزای ریز شاخص‌ها مشخص است. درنتیجه در مواقع لزوم با مراجعه به سطوح خرد مرحله‌بندی می‌توان دلیل این امر را به‌دقت مورد بررسی و تحلیل قرار داد؛ بنابراین استفاده از این روش در مقایسه با روش کیفی پرسش‌نامه خبرگان از ابهام کمتری در دلایل مخفی پشت اعداد به‌دست‌آمده برخوردار است. مزیت اصلی این روش در فرایند آینده‌نگاری، تعیین نقطه مبدأ برای هر فناوری در کشور است و با استفاده از این روش می‌توان گام‌های دقیق‌تر و بهتری برای رسیدن به آینده مطلوب طرح‌ریزی کرد.

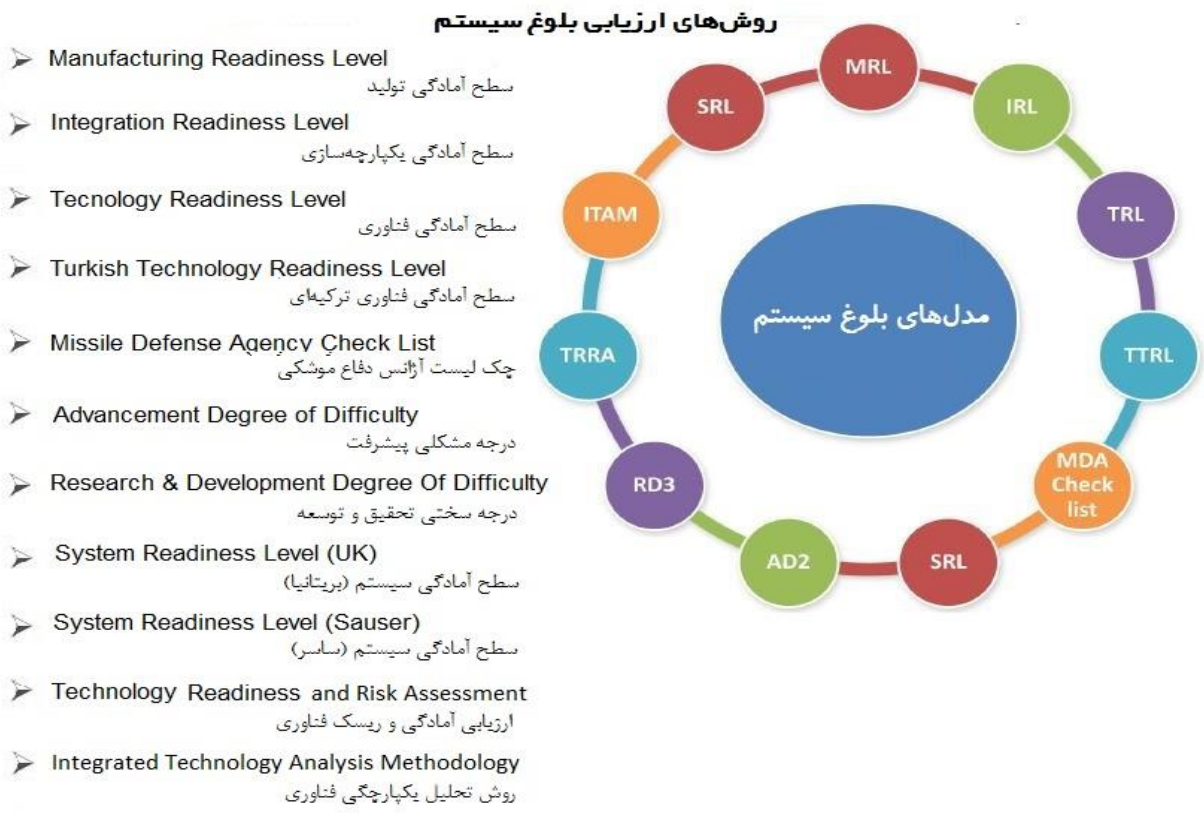
در این فصل، الگوی سطح آمادگی فناوری به‌عنوان معیارمحوری قرار گرفته است و سه الگوی دیگر برای سنجش وضعیت فناوری به‌صورت اقماری در اطراف این الگوی فناوری، وضعیت فناوری را بررسی کرده و گزارش می‌دهند. دلیل استفاده از این الگوهای اقماری برای تعیین وضعیت فناوری این است که الگوی سطح آمادگی فناوری خطرپذیری توسعه فناوری، یکپارچگی فناوری یا سطح بلوغ چرخه عمر در سطح سیستم را گزارش نمی‌دهد، بنابراین برای تکمیل الگو، این سه الگو به‌صورت اقماری طراحی و استفاده می‌شوند. الگوی اول، سطح بلوغ یکپارچگی است. این الگو به بررسی سطح بلوغ محیط آن حوزه خاص فناوری و تلفیق و یکپارچگی فناوری‌های مختلف آن حوزه یا عدم یکپارچگی آن می‌پردازد. الگوی دوم سطح آمادگی سیستم[۲] است که دو الگوی فوق را تلفیق کرده و سطح آمادگی سیستم را گزارش می‌دهد. درنتیجه در این الگو به‌صورت هم‌زمان چندین فناوری خاص آن حوزه و یکپارچگی این اجزا مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و مقدار عددی آن گزارش می‌شود. الگوی سوم شاخص آمادگی تجاری‌سازی[۳] است که به بررسی ابعاد تجاری‌سازی ورود به بازار فناوری می‌پردازد. این الگو وابستگی اقماری با سطح آمادگی فناوری دارد.

در سال ۱۹۹۰ ناسا یک معیار سنجش نه مرحله‌ای به نام[۴] TRL را برای ارزیابی سطح بلوغ یک فناوری و مقایسه سازگار بین سطح بلوغ انواع مختلف فناوری‌ها تدوین کرد. با توجه به کاربرد عملی این معیار سنجش،

۱. Technology Readiness Level
۲. System Readiness Leve
۳. Commercial Readiness Index
۴. Technology Readiness Level (TRL)

وزارت دفاع آمریکا در سال ۱۹۹۹ مفهوم مشابهی از TRL را ارائه کرد. اگرچه کاربرد این معیار در ناسا و وزارت دفاع یکسان است، با این وجود وزارت دفاع آمریکا ادعا کرد قبل از به‌کارگیری یک فناوری و ورود آن به پروژه‌ها، لازم است به سطح آمادگی هفت رسیده باشد.

تزریق فناوری به‌عنوان یکی از مراحل برنامه اکتساب فناوری، نیازمند ابزارهای ارزیابی کمی است که مشخص کند مجموعه‌ای از فناوری‌های مجزا با سطوح آمادگی مشخص، امکان یکپارچگی و عملکرد به‌صورت یک سیستم یکپارچه را با خطرپذیری پایین دارند یا نه. در حقیقت TRL به‌نوعی پایه شاخص تصمیم‌گیری در چرخه اکتساب فناوری است. البته کاستی‌هایی در TRL وجود دارد که باعث شده است به‌تنهایی برای تصمیم‌گیری مناسب نباشد. برای نمونه این شاخص به خطرپذیری، یکپارچگی و چرخه عمر فناوری توجهی نمی‌کند و بنابراین، به‌تنهایی تضمین‌کننده توسعه موفقیت‌آمیز فناوری در سیستم نیست. لذا در ادامه شاخص‌های دیگری همچون IML[۱]، SRL[۲] و ... نیز توسعه داده شدند که مکمل سطح آمادگی بودند. در شکل ۶۸ تعدادی از این شاخص‌ها ارائه شده است.



شکل ۶۸: شاخص‌های توسعه داده‌شده برای سنجش سطح آمادگی

منبع: عزیزیان و سرکانی، ۲۰۰۹

۱. Integration Maturity Level (IML)

۲. System Readiness Level (SRL)

۶-۱۰- سطح آمادگی فناوری

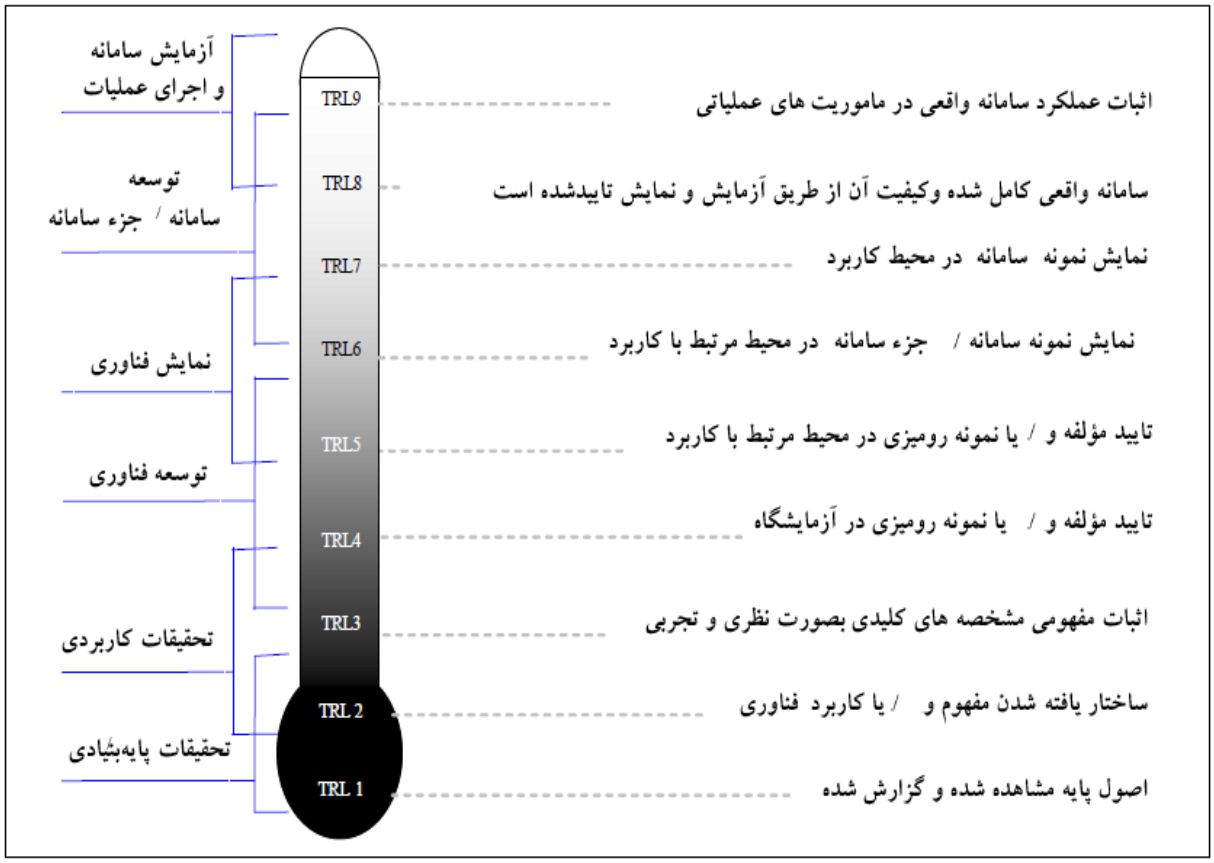
TRL شاخصی است که توسط بسیاری از سازمان‌های دولتی برای تعیین سطح بلوغ فناوری‌های نوظهور استفاده شده است. قبل از ورود یک فناوری در سیستم و آغاز به‌کارگیری، فناوری نیازمند بهبود، آزمون و ارزیابی است. لذا از TRL جهت سنجش سطح آمادگی فناوری استفاده می‌شود. مزایا و نقاط قوت این شاخص عبارت‌اند از:

۱. می‌توان سطح آمادگی اجزاء فناوری را به کمک آن مشخص کرد.
۲. بسیار دقیق است.
۳. با سرعت انجام می‌شود و قابل تکرار در دوره‌های مختلف است.

از معیار TRL می‌توان در برنامه توسعه فناوری‌ها استفاده کرد. هم‌چنین TRL در تصمیم‌گیری در خصوص استراتژی توسعه فناوری در چرخه اکتساب، می‌تواند مفید باشد. به‌طور خلاصه می‌توان از آن در موارد زیر استفاده کرد:

۱. سنجش سطح آمادگی اجزای فناوری.
۲. سنجش سطح بلوغ سیستم.
۳. معیاری برای قابلیت انتقال دستاورد پروژه‌های تحقیقاتی به صنعت و کاهش خطرپذیری ورود فناوری.
۴. از آنجایی‌که اندازه‌گیری سطح آمادگی یک فناوری به‌صورت دوره‌ای ممکن است، می‌توان از آن برای پایش پیشرفت برنامه توسعه فناوری استفاده کرد.
۵. تعیین نقطه پایانی پروژه‌های تحقیقاتی و مدیریت خطرپذیری پروژه.
۶. تصمیم‌گیری در خصوص استراتژی توسعه فناوری در چرخه اکتساب با توجه به سطح آمادگی فناوری.
۷. مقایسه سطح آمادگی فناوری‌های مختلف و تصمیم‌گیری در خصوص فناوری مورد استفاده.

در شکل ۶۹ مراحل شاخص TRL آورده شده است.



شکل ۶۹: مراحل شاخص TRL

منبع: منکینز، ۱۹۹۵

در جدول ۵۰ مفاهیم مربوط به سطوح مختلف شاخص TRL ارائه شده است.

جدول ۵۰: مفهوم سطوح مختلف آمادگی فناوری

سطح	سطح آمادگی فناوری	توصیف
۱	اصول پایه مشاهده و گزارش‌شده	پایین‌ترین سطح بلوغ فناوری که در آن تحقیقات علمی جهت انتقال به تحقیقات کاربردی و توسعه شروع می‌شود.
۲	فرموله شدن مفهوم یا کاربرد فناوری	کاربردهای عملی مشخصه‌ها شناسایی می‌شود. در این سطح کاربردها ذهنی و گمانی هستند و تجزیه تحلیل مفصل در مورد آن‌ها صورت نگرفته.
۳	اثبات مفهومی مشخصه‌های کلیدی به‌صورت نظری و تجربی	شروع تحقیق و توسعه فعال شامل مطالعات تحلیل و آزمایشگاهی به‌منظور اثبات نتایج مطالعات تحلیلی
۴	تأیید مؤلفه در محیط آزمایشگاه	مؤلفه‌های اصلی فناوری یکپارچه‌شده تا نشان داده شود که اجزا با یکدیگر کار می‌کنند. اجزا به‌صورت موقتی و مجزا به‌صورت دستی روی میز آزمایشگاه به هم وصل شده‌اند.
۵	تأیید مؤلفه در محیط مرتبط با کاربرد	مؤلفه‌های اصلی فناوری باید بر عناصر واقعی متکی شده به‌گونه‌ای که بتوان کل کاربردها را در سطح مؤلفه‌ها، زیرسیستم‌ها و سیستم در یک محیط شبیه‌سازی کرد.
۶	نمایش مدل سیستم/ زیرسیستم در محیط مرتبط با کاربرد	مدلی از سیستم یا نمونه اولیه‌ای از آن در یک محیط مرتبط تست می‌شود. در صورتی‌که محیط مرتبط یک محیط فضایی باشد، باید مدل یا نمونه در فضا به نمایش گذاشته شود.
۷	نمایش نمونه سیستم در محیط عملیاتی	نمونه‌ای از سیستم واقعی باید در محیط واقعی به نمایش گذاشته شود. این نمونه باید نزدیک به سیستم عملیاتی اصلی یا در مقیاس همانند آن باشد و در محیط عملیاتی تست گردد.
۸	بررسی کیفیت سیستم واقعی کامل شده از طریق تست و نمایش	غالباً این مرحله بیانگر پایان توسعه سیستم برای بیشتر عناصر فناوری است. در این حالت فناوری جدید با سیستم موجود یکپارچه شده است.
۹	اثبات عملکرد سیستم واقعی در مأموریت‌های عملیاتی	در این مرحله عیب و ایرادهای احتمالی برطرف می‌شود.

منبع: منکینز: ۱۹۹۵

بنابراین، مهم‌ترین فایده سطوح آمادگی فناوری آشکار کردن فاصله بین بلوغ فعلی فناوری و بلوغ مورد نیاز برای استفاده از آن در یک محصول است.

۱-۶-۱۰- اندازه‌گیری سطح آمادگی فناوری

سنجش فناوری در یک سیستم پیچیده نیازمند سنجش سطح آمادگی تمامی زیرسیستم‌ها و اجزاء است. تمامی این اجزاء حتی مواردی که به نظر می‌رسد به علت کاربردهای گذشته به بلوغ رسیده‌اند، باید ارزیابی شوند. به‌منظور اندازه‌گیری سطح آمادگی فناوری، محاسبه‌گر TRL توسط ویلیام نولت[1] (۲۰۰۱) توسعه داده شده است. نسخه اصلی این محاسبه‌گر (ویرایش ۱) در سال ۲۰۰۲ در نرم‌افزار کاربردی اکسل ارائه شد که در آن بر مبنای پرسش‌های مرتبط در ارتباط با فناوری، سطح آمادگی اجزای فناوری سنجش می‌شود. درواقع، بر اساس ویژگی‌هایی که هر یک از سطوح دارند، پرسش‌هایی مطرح می‌شود. نتیجه این جواب‌ها نشان خواهد داد که فناوری مورد بررسی در چه سطحی از آمادگی قرار دارد.

۱۰-۷- سطح آمادگی یکپارچگی

زمانی که یک فناوری به سیستم وارد می‌شود، باید بتواند به‌طور سازگار با سیستم عمل کند، در غیر این صورت عملکرد مناسبی نخواهد داشت. درواقع، فناوری با اجزاء و زیرسیستم‌های مختلفی در ارتباط خواهد بود و لازم است این اجزاء و فناوری‌ها به‌صورت هم‌افزا عمل کنند؛ بنابراین در ارتباط با یکپارچگی یک فناوری در سیستم خطرپذیری وجود دارد و عدم یکپارچگی یک فناوری در سیستم موجب افزایش هزینه‌ها در سیستم خواهد شد و حتی ممکن است زمینه‌ساز شکست کل سیستم شود.

هرچقدر که پیچیدگی یک سیستم افزایش یابد، وجود روشی مطمئن برای یکپارچه‌سازی (ادغام) ضروری‌تر خواهد بود. یکپارچه‌سازی فرایند مونتاژ و سرهم‌بندی اجزای یک سیستم است؛ به‌طوری که نیازمندی‌های خواسته‌شده را برطرف کند. یکپارچه‌سازی می‌تواند فرایندی پیچیده شامل هم‌پوشانی و کارهای تکراری باشد. در حقیقت هدف از آن عملکرد درست سیستم و برآورده‌سازی نیازهایی است که سیستم برای رفع آن‌ها به وجود آمده است.

از طرفی در شاخص TRL خطر پذیرش یک فناوری به‌درستی در نظر گرفته نمی‌شود. لذا پژوهشگران شاخص جدیدی به نام سطح آمادگی یکپارچه سازی[2] را توسعه دادند. این شاخص که در بعضی پژوهش‌ها شاخص سنجش سطح بلوغ یکپارچه سازی[3] [4] خوانده می‌شود؛ در حقیقت اندازه‌گیری سیستمی تعاملات سازگار فناوری‌های مختلف و مقایسه سطح بلوغ نقاط یکپارچه‌سازی (نقاط ادغام) است. در IRL بلوغ یکپارچه‌سازی یک فناوری در حال توسعه با یک فناوری دیگر در حال توسعه یا بالغ شرح داده می‌شود. علاوه بر این، IRL بررسی می‌کند که در کجا فناوری در مرحله آمادگی یکپارچه‌سازی است. در حقیقت در IRL خطر یکپارچه‌سازی بررسی می‌شود. در جدول ۵۱ سطوح شاخص سطح آمادگی یکپارچه‌سازی آورده شده است.

1. William Nolte
2. . Integration Readiness Level (IRL)
3. Integration Maturity Level (IML)

جدول ۵۱: سطوح شاخص سطح آمادگی یکپارچه‌سازی

سطح	سطح آمادگی یکپارچگی	توصیف
۱	تعاملات مابین فناوری‌ها شناسایی شده است.	این سطح، پایین‌ترین سطح آمادگی یکپارچه‌سازی است و بیانگر انتخاب یک رسانه برای یکپارچه‌سازی است.
۲	سطوحی از مشخصات، برای توصیف تعاملات مابین فناوری‌ها وجود دارد.	پس از انتخاب رسانه، روش تعاملی باید تعیین شود تا دو فناوری بتوانند به کمک آن بر روی یکدیگر تأثیر بگذارند. به‌عبارت‌دیگر IRL 2 بیانگر قابلیت تأثیر دو فناوری بر یکدیگر به کمک رسانه انتخاب‌شده در سطح قبل است.
۳	بین فناوری‌ها سازگاری اولیه‌ای وجود دارد و می‌توانند با یکدیگر تعاملات اثرگذار داشته باشند.	سطح IRL 3 سطح کمینه مورد نیاز برای یکپارچگی موفقیت‌آمیز است. درواقع به این معناست که دو فناوری قادرند بر روی یکدیگر تأثیر گذاشته و ارتباط قابل تفسیری را تبادل کنند. IRL 3 اولین سطح محسوس در فرایند بلوغ یکپارچگی است.
۴	جزئیات کافی در مورد کیفیت و اطمینان از یکپارچگی فناوری‌ها با یکدیگر وجود دارد.	در بسیاری از شکست‌های یکپارچه‌سازی فناوری مشاهده می‌کنیم که یکپارچگی از سطح IRL 3 عبور نمی‌کند. علت آن تصور نادرستی است با این مفهوم که اگر دو فناوری قادر باشند با یکدیگر اطلاعات تبادل کنند به‌صورت کامل یکپارچه‌اند. سطح IRL 4 فراتر از تبادل داده هست و نیازمند مکانیسمی برای بررسی داده است؛ یعنی اطمینان از اینکه داده دریافتی یک فناوری، همان داده ارسال شده است و تغییری نکرده است.
۵	کنترل کافی بر روی فناوری‌های لازم برای ایجاد، مدیریت و اتمام یکپارچه‌سازی وجود دارد.	IRL 5 نشان‌دهنده توانایی یک یا چند فناوری در کنترل یکپارچگی است و شامل ایجاد، حفظ و پایان دادن به آن است.
۶	برای کاربرد فناوری‌هایی مورد یکپارچه‌سازی، اطلاعات ساختاریافته‌ای وجود دارد.	IRL 6 بالاترین سطح فنی است که باید بدان رسید و شامل قابلیت کنترل یکپارچگی است. به‌علاوه اطلاعاتی که باید تبادل شود، نیز مشخص می‌شود. هم‌چنین واحدهای اندازه‌گیری برای مشخص نمودن اطلاعات تعیین می‌شوند.

سطح	سطح آمادگی یکپارچگی	توصیف
۷	یکپارچه‌سازی فناوری‌ها به اثبات رسیده و معتبر است.	سطح IRL 7 گام فراتری از IRL 6 است. یکپارچه‌سازی از بعد فنی و همین‌طور از بعد نیازمندی‌ها بررسی می‌شود. IRL 7 نشان‌دهنده نیازمندی‌های یکپارچه‌سازی مانند عملکرد و قابلیت اطمینان است.
۸	بررسی کیفیت سیستم واقعی کامل شده از طریق تست و نمایش	IRL 8 نشان‌دهنده نیازمندی‌های یکپارچه‌سازی است. در اینجا فناوری در سطح سیستمی در یک محیط مرتبط نمایش داده می‌شود. ارائه فناوری در محیط مرتبط موجب کشف اشکالات و نقص‌هایی خواهد بود که تنها پس از تعامل اجزاء فناوری‌ها در محیط قابل‌شناسایی هستند.
۹	اثبات عملکرد سیستم واقعی در مأموریت‌های عملیاتی	IRL 9 نشان‌دهنده‌ی فناوری یکپارچه‌شده‌ای است که به‌صورت موفقیت‌آمیز در محیط سیستم بکار گرفته‌شده است. برای آنکه یک فناوری به سطح TRL 9 برسد، باید در ابتدا با سیستم یکپارچه شده و در محیط سیستم خود را اثبات کند. بنابراین، تلاش برای رسیدن به سطح IRL9، شامل رسیدن بلوغ فناوری به سطح TRL 9 است.

منبع: ساسر، ۲۰۰۷

۸-۱۰- سطح آمادگی سیستم

یک سیستم می‌تواند متشکل از فناوری‌های مختلفی باشد و در هر سیستمی یک فناوری دست‌کم با یک فناوری دیگر در ارتباط است. با استفاده از شاخص‌های TRL و IRL، سطح آمادگی هر کدام از فناوری‌ها و سطح آمادگی یکپارچه شدن این فناوری‌ها مشخص می‌شود. در اواسط سال ۲۰۰۰ شاخص دیگری با عنوان SRL[۱] برای سنجش سطح آمادگی سیستم ارائه شد. این شاخص تابعی از دو شاخص TRL و IRL است و نشان‌دهنده سطح بلوغ یک سیستم بالقوه به‌عنوان تابعی از TRL اجزای کنونی سامانه و IRL مابین آن‌ها است.

۱-۸-۱۰- نحوه محاسبه سطح آمادگی سیستم

همان‌طور که اشاره شد، SRL یک سیستم تابعی از دو ماتریس است.

۱- بردار TRL اجزاء: این بردار، دارای n جزء (تعداد اجزاء سیستم) است و هر درایه آن نشان‌دهنده سطح آمادگی یک جزء است. معادله شماره ۱ نشان‌دهنده این بردار است.

۱. System Readiness Level (SRL)

$$[\,TRL]_{n\times 1} = \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ \dots \\ TRL_n \end{bmatrix} \quad (۱)$$

۲- ماتریس IRL که نشان‌دهنده نقاط یکپارچگی فناوری‌های مختلف برای تشکیل یک سیستم واحد است. IRL یک ماتریس n×n است که هر درایه آن نشان‌دهنده بلوغ یکپارچگی بین دو فناوری است. در معادله شماره ۲ این ماتریس نمایش داده شده است. برای نمونه درایه IRL_{11} نشان‌دهنده سطح آمادگی یکپارچگی بین فناوری یک و فناوری دو است.

$$[\,IRL]_{n\times n} = \begin{bmatrix} IRL_{11} & IRL_{12} & \dots & IRL_{1n} \\ IRL_{21} & IRL_{22} & \dots & IRL_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ IRL_{n1} & IRL_{n1} & \dots & IRL_{nn} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

چند نکته در مورد ماتریس IRL حائز اهمیت است.

- برای افزایش دقت مقادیر IRL ماتریس نرمال‌سازی شده و در محدوده [0,1] خواهند بود.
- اگر دو فناوری با یکدیگر ارتباطی نداشته باشند مقدار درایه مربوطه، یک در نظر گرفته می‌شود، چراکه در حقیقت یکپارچگی فناوری با خودش سنجیده می‌شود.
- اگر دو فناوری کاملاً با یکدیگر یکپارچه باشند، مقدار درایه مربوطه یک خواهد بود.
- درصورتی‌که دو فناوری به‌هیچ‌وجه امکان یکپارچه شدن نداشته باشند، درایه مربوطه مقدار صفر را خواهد داشت.
- ماتریس IRL یک ماتریس مربعی است و درایه‌های قطر اصلی آن دارای مقدار یک است.

در ادامه ماتریس SRL که نشان‌دهنده سطح آمادگی هر یک اجزاء سیستم است، از طریق ضرب ماتریسی، دو ماتریس شرح داده‌شده به دست می‌آید. در معادله ۳ نحوه محاسبه ارائه شده است.

$$[\,SRL]_{n\times 1} = [\,IRL]_{n\times n} \times [\,TRL]_{n\times 1} \quad (۳)$$

ماتریس SRL یک ماتریس با n درایه (تعداد اجزاء سیستم) است که در آن هر درایه بیانگر سطح آمادگی یک فناوری با در نظر گرفتن ملاحظات سیستمی است. در زیر روش محاسبه آن آورده شده است:

$$[\,SRL]_{n\times 1} = \begin{bmatrix} SRL_1 \\ SRL_2 \\ \dots \\ SRL_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IRL_{11}TRL_1 + IRL_{12}TRL_2 + \dots + IRL_{1n}TRL_n \\ IRL_{21}TRL_1 + IRL_{22}TRL_2 + \dots + IRL_{2n}TRL_n \\ \dots \\ IRL_{n1}TRL_n + IRL_{n2}TRL_2 + \dots + IRL_{3n}TRL_n \end{bmatrix} \quad (۴)$$

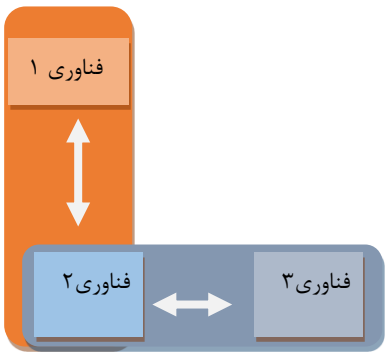
هر یک از مقادیر به‌دست‌آمده در معادله ۴، (بردار SRL سیستم) می‌تواند در بازه (n و ۰) باشد. برای استاندارد شدن مقدار هر یک از درایه‌ها، آن‌ها را بر n (تعداد اجزاء سیستم) تقسیم می‌کنیم. در این صورت سطح آمادگی هر جزء با دید سیستمی، در بازه (۱ و ۰) قرار می‌گیرد. مقدار SRL کل سیستم میانگین مقادیر نرمال شده SRL اجزای سیستم است (ارزش اجزاء سیستم یکسان فرض شده و لذا از میانگین استفاده شده است).

$$SRL = \frac{\frac{SRL_1}{n} + \frac{SRL_2}{n} + \cdots + \frac{SRL_n}{n}}{n} \qquad (۵)$$

دقت کنید که ماتریس SRL به‌صورت جداگانه می‌تواند یک ابزار تصمیم‌گیری باشد؛ چراکه اجزای فناوری‌های سیستم را اولویت‌بندی می‌کند و لذا می‌تواند کمبودها را در روند بلوغ سیستم مشخص کند.

۲-۸-۱۰- کاربرد سطح آمادگی سیستم

در ادامه مثالی از کاربرد و چگونگی محاسبه سطح آمادگی سیستم ارائه شده است. مطابق شکل ۷۰ سیستمی را در نظر بگیرید که دارای سه فناوری است و مقدار سطح آمادگی هر یک از این فناوری‌ها و سطح یکپارچگی دوبه‌دو آن‌ها مشخص شده است.



شکل ۷۰: سیستم فرضی با سه فناوری

منبع: ساسر، ۲۰۰۷

فرض کنید برای این سیستم فرضی مقادیر ماتریس TRL و ماتریس IRL به شرح زیر است:

$$[TRL]_{3\times1} = \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ TRL_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9 \\ 6 \\ 6 \end{bmatrix}$$

$$[IRL]_{3\times3} = \begin{bmatrix} IRL_{11} & IRL_{12} & IRL_{13} \\ IRL_{21} & IRL_{22} & IRL_{23} \\ IRL_{31} & IRL_{32} & IRL_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9 & 1 & 9 \\ 1 & 9 & 7 \\ 9 & 7 & 9 \end{bmatrix}$$

پس از نرمال‌سازی این مقادیر به‌صورت زیر خواهند بود:

$$[TRL] = \begin{bmatrix}1.000\\0.667\\0.667\end{bmatrix}$$

$$[IRL] = \begin{bmatrix}9 & 1 & 9\\1 & 9 & 7\\9 & 7 & 9\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1.000 & 0.111 & 1.000\\0.111 & 1.000 & 0.778\\1.000 & 0.778 & 1.000\end{bmatrix}$$

دقت شود که بین فناوری یک و فناوری سه یکپارچگی لازم نیست و لذا مقدار IRL مربوط به آن‌ها نه در نظر گرفته شده است.

در ادامه برای محاسبه سطح آمادگی سیستم داریم:

$$[SRL] = \begin{bmatrix}1.000\\0.667\\0.667\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}1.000 & 0.111 & 1.000\\0.111 & 1.000 & 0.778\\1.000 & 0.778 & 1.000\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1.740\\1.296\\2.185\end{bmatrix}$$

درنهایت مقادیر این ماتریس هم نرمال شد:

$$SRL = (SRL_1, SRL_2, SRL_3) = \frac{\left(\frac{1.740}{3} + \frac{1.296}{3} + \frac{2.185}{3}\right)}{3} = 0.58$$

$$SRL_1 = 0.58, \qquad SRL_1 = 0.43, \quad SRL_1 = 0.73$$

۹-۱۰- سطح آمادگی بالقوه سیستم

می‌توان از SRL به‌عنوان روشی برای مشخص کردن سطح فعلی آمادگی سیستم و سطح آمادگی سیستم در آینده در فرایند اکتساب DOD استفاده کرد. سطح آمادگی یک سیستم در زمان فعلی، بینش مدیریتی مناسبی را در ارتباط با سطح آمادگی فعلی سیستم ارائه می‌کند؛ می‌توان از SRP[۱] (سطح آمادگی بالقوه سیستم) برای بهینه کردن مقدار آمادگی در آینده با توجه به محدودیت منابع استفاده کرد.

طراحی بهینه یک سیستم از رده مسائل کلاسیک بهینه‌سازی است که در حیطه مهندسی سیستم قرار می‌گیرد. به‌طور کلی هدف این مسائل بهینه کردن تابع هدفی از ویژگی‌های طراحی سیستم (قابلیت اطمینان، هزینه، پشتیبانی و ...) با در نظر داشتن محدودیت‌های منابع (وزن، حجم، بودجه و ...) و محدودیت‌های مربوط به نیازمندی‌های لازم در سیستم (قابلیت اطمینان، دسترس‌پذیری و ...) است. برای بهینه کردن تابع هدف، معمولاً فرض می‌شود که می‌توان سیستم را به تعدادی زیرسیستم و اجزاء تجزیه کرد و برای هر کدام از این زیرسیستم‌ها، معادلات عملکردی نوشت.

از دیدگاه مهندسی سیستم، روش بهینه‌سازی که در آن میان نیازمندی‌ها و منابع تعادل ایجاد شود، روشی کارا و مؤثر برای کاهش خطرپذیری است. توسعه شاخص SRL می‌تواند به‌عنوان چارچوبی برای بهینه‌سازی،

۱. Systems Readiness Potential (SRP)

توسط مهندس سیستم جهت طراحی سیستم توسعه‌یافته (قابلیت اطمینان، نگهداشت‌پذیری و ...) به کار گرفته شود. در این حالت مهندس سیستم مسئله‌ای را طراحی می‌کند که هدف آن بهبود شاخص SRL کل سیستم است و باید تصمیم گرفته شود که باوجود محدودیت منابع، شاخص IRL کدام‌یک از اجزاء و تا چه میزان بهبود یابد، به طوری‌که درنهایت بیشترین مقدار ممکن افزایش در شاخص SRL را با توجه به منابع در دسترس داشته باشیم. در حقیقت زمانی که لازم باشد بین انتخاب‌های رقیب در طراحی سیستمی تصمیم‌گیری شود یا نیاز باشد تصمیم گرفته شود که IRL کدام جزء از دستگاه بهبود داده شود تا شاخص SRL توسعه یابد، استفاده از مسئله بهینه‌سازی ضروری به نظر می‌رسد.

برای بهینه کردن SRL و تصمیم‌گیری در خصوص چگونگی تخصیص منابع، باید با توجه به عواملی همچون الف) ویژگی‌های سیستم مثل دسترس‌پذیری، عملکرد، کارایی ب) اجزای مورد نیاز سیستم برای داشتن سیستمی با عملکرد کارا، تصمیم‌گیری کرد. این عوامل در اجزای یک سیستم دارای محدوده‌های کمی مشخصی هستند. از طرفی نیازمندی‌های کارکردی لازم در سیستم را می‌توان پشتیبانی از حداقل مقادیر مشخصی از مقادیر کمی شده ویژگی‌هایی مثل قابلیت اطمینان، اعتبار، نگهداشت پذیری، پشتیبانی و ... تعریف کرد. تعاملات میان اجزای سیستم، سطوح مختلفی را برای مقادیر شاخص IML در سیستم رقم می‌زند. لذا انتخاب بهینه اجزایی که باید در سیستم توسعه داده شود تا SRL نهایی سیستم بهبود یاب، در یک مسئله بهینه‌سازی طراحی سیستم است. با توجه به شرایط حاکم دو الگو جهتبهبود SRL پیشنهاد می‌شود که در ادامه توضیحات آن ارائه شده است.

۱-۹-۱۰- نحوه محاسبه سطح آمادگی بالقوه

الگوی اول:

در این الگو، SRL با توجه به محدودیت‌های منابع بیشینه می‌شود. مدل ریاضی این مسئله به شرح زیر است.

SRP Model 1:

$Max\ SRL\ (TRL, IRL)$

$subject\ to$:

$$R_1(TRL, IRL) \leq r_1$$
$$R_2(TRL, IRL) \leq r_2$$
$$\dots$$
$$R_n(TRL, IRL) \leq r_n$$

الگوی دوم:

هدف این الگو، کمینه کردن هزینه‌ها، با در نظر گرفتن حداقل مشخصی برای شاخص SRL سیستم است. در الگوی دوم، کمینه کردن هزینه‌ها برای رساندن شاخص SRL به مقادیر از قبل مشخص در نظر گرفته می‌شود. در ادامه مدل ریاضی این مسئله آورده شده است.

SRP Model 2:

$$Min\ Cost\ (TRL, IRL)$$

$$subject\ to:$$

$$SRL(TRL, IRL) \geq \lambda$$

$$R_1(TRL, IRL) \leq r_1$$

$$R_2(TRL, IRL) \leq r_2$$

$$\dots$$

$$R_n(TRL, IRL) \leq r_n$$

در این الگوها، ماتریس IRL شامل متغیرهای تصمیم‌گیری است. هرکدام از این متغیرها عدد صحیح هستند و در بازه $(\mathrm{IML}_i, 9)$ قرار می‌گیرند؛ چراکه در هر کدام از الگوها مقدار IRL یک جزء پس از توسعه سیستم نباید کمتر از مقدار قبلی خود باشد. بنابراین، در این الگوها مجموعه‌ای از متغیرهای عدد صحیح وجود دارد که با توجه به تابع هدف، مقادیر آن‌ها مشخص می‌شود. همان‌طور که درگذشته اشاره شد، ماتریس IRL یک ماتریس مربعی است که در آن یکپارچگی تمامی اجزاء به‌صورت دوبه‌دو با یکدیگر ملاحظه شده است. از طرف دیگر، بردار TRL بیانگر سطح آمادگی فناوری هر یک از اجزای سیستم است. درنهایت شاخص SRL با توجه به این شاخص محاسبه می‌شود. لذا درنهایت دو محدودیت زیر نیز در مجموعه محدودیت‌ها در نظر گرفته می‌شود:

$$SRL = \frac{\frac{SRL_1}{n} + \frac{SRL_2}{n} + \dots + \frac{SRL_n}{n}}{n}$$

$$[SRL] = \begin{bmatrix} SRL_1 \\ SRL_2 \\ \dots \\ SRL_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IRL_{11}TRL_1 + IRL_{12}TRL_2 + \dots + IRL_{1n}TRL_n \\ IRL_{21}TRL_1 + IRL_{22}TRL_2 + \dots + IRL_{2n}TRL_n \\ \dots \\ IRL_{n1}TRL_n + IRL_{n2}TRL_2 + \dots + IRL_{3n}TRL_n \end{bmatrix} where\ IRL_{ij} = IRL_{ji}$$

لازم به ذکر است مشخص کردن چگونگی مصرف منابع یکی از مهم‌ترین وظایف مدیر طراحی سیستم است.

۱۰-۱۰- درجه مشکلی پیشرفت

شاخص TRL سطح آمادگی یک فناوری را مشخص می‌کند، ولی اطلاعاتی را در ارتباط با آینده فناوری پیش‌بینی نمی‌کند. درواقع در برنامه توسعه فناوری اطلاعات لازم را به مدیران، نمی‌دهند. پاسخ به پرسش‌هایی از قبیل موارد زیر، به کمک این شاخص ممکن نیست:

- هزینه رسیدن سطح آمادگی فناوری به مقدار مشخص چقدر است؟
- برنامه توسعه چه مدت به طول می‌انجامد؟
- چه خطری در برنامه توسعه وجود دارد که می‌تواند موجب عدم موفقیت پروژه باوجود فراهم‌سازی منابع لازم باشد؟

با مشخص شدن TRL عناصر مختلف سیستم و مؤلفه‌ها، انجام ارزیابی برای رساندن فناوری به سطح آمادگی مورد نظر ضروری است. یک روش برای رسیدن به این هدف، استفاده از فرایند ارزیابی درجه مشکلی پیشرفت (AD2)[۱] است. این ارزیابی، تحلیلگر را با پرسش‌هایی از این قبیل روبه‌رو می‌کند:

- ✓ آیا به داده‌ها، ابزارها و امکانات جدید نیازمندیم؟
- ✓ آیا باید مواد جدید را توسعه دهیم؟
- ✓ مطالبات آزمون چه هستند؟

برای تعیین شاخص AD2، پرسش‌هایی در پنج حوزه زیر مطرح می‌شود:

- ❖ تحلیل و طراحی؛
- ❖ ساخت؛
- ❖ توسعه نرم‌افزاری؛
- ❖ آزمون؛
- ❖ اجرا.

این پرسش‌ها برای هر عنصر در ساختار شکست فناوری (WBS)، از سطوح بالا تا پایین‌ترین سطح پرسیده می‌شود. این پرسش‌ها در مورد خود عنصر نیست، بلکه دربرگیرنده مسائلی مانند وجود منابع لازم، مهارت‌ها، ابزارها، تسهیلات و ... برای طراحی، ساخت، آزمون و به‌کارگیری است.

در دو فناوری یکسان با TRL فعلی مختلف و هدف مشخص TRL در برنامه توسعه، AD2 فناوری با TRL فعلی بالاتر، پایین‌تر است. به‌عبارت‌دیگر، هر چه TRL یک فناوری بالاتر باشد، در هدف مشخص TRL، مقدار شاخص AD2 پایین‌تر است. هم‌چنین در یک فناوری با TRL ثابت، هر چه هدف TRL نهایی بالاتر باشد،

۱. Advanced Degree of Difficulty (ADD)

مقدار AD2 بیشتر است. از طرفی، در دو فناوری مختلف با سطح آمادگی یکسان و هدف یکسان TRL، ممکن است شاخص AD2 با توجه به پیچیدگی سیستم متفاوت باشد. در جدول ۵۲ مفهوم سطوح مختلف AD2 شرح داده شده است.

جدول ۵۲: مفاهیم سطوح مختلف درجه مشکلی پیشرفت

سطح AD2	دسته‌ی ریسک	توصیف	ریسک
9	آشفتگی	نیازمند توسعه جدید خارج از پایه‌های تجارب کنونی است. هیچ روش عملی وجود ندارد که بتوان با اطمینان از موفقیت دنبال کرد. پژوهش در حوزه‌های کلیدی قبل از روش‌های امکان‌پذیر می‌تواند تعریف شود.	90 - 100%
8	مجهولات ناشناخته	نیازمند توسعه جدید است در جایی که مشابهت با پایه‌های تجارب موجود را تنها می‌توان در وسیع‌ترین مفهوم تعریف کرد. باید رویکردهای توسعه متعددی دنبال شود.	80%
7	مجهولات ناشناخته	نیازمند توسعه جدید است، ولی مشابهت با تجارب موجود برای تضمین تفاوت در تنها یک بخش از حوزه‌های حیاتی کافی است. رویکردهای توسعه متعددی باید دنبال شود.	70%
6	مجهولات ناشناخته	نیازمند توسعه جدید است، ولی مشابهت با تجارب موجود برای تضمین تفاوت در بخشی از حوزه‌های حیاتی کافی است. رویکردهای توسعه دوگانه جهت نیل به درجه میانه‌ای از اطمینان به موفقیت دنبال شود.	50%
5	مجهولات مشخص	نیازمند توسعه جدید است، ولی مشابهت با تجارب موجود برای تضمین تفاوت‌ها در تمامی حوزه‌های حیاتی کافی است. رویکردهای توسعه دوگانه جهت داشتن درجه بالایی از اطمینان به موفقیت دنبال شود.	40%
4	به‌خوبی شناخته‌شده	نیازمند توسعه جدید است، ولی مشابهت با تجارب موجود برای تضمین تفاوت‌ها در برد آزمایشگاهی کافی است. می‌توان یک رویکرد توسعه با درجه‌ی بالایی از اطمینان به موفقیت در نظر گرفت.	30%
3	به‌خوبی شناخته‌شده	نیازمند توسعه در پایه‌های کاربردی (تجربی) است. یک رویکرد توسعه کافی است.	20%
2	به‌خوبی شناخته‌شده	وجود دارد ولی نیازمند تغییرات اساسی است. یک رویکرد توسعه کافی است.	10%
1	به‌خوبی شناخته‌شده	بدون هیچ تغییراتی یا با تغییرات جزئی کمی وجود دارد. یک رویکرد توسعه کافی است.	0%

منبع: دی مِیر و همکاران، ۲۰۰۲

مشکل‌ترین عنصر، نیازمند طولانی‌ترین زمان برای توسعه است و درنهایت، بالاترین اولویت را به خود اختصاص خواهد داد. کاربرد دیگر AD2 مشخص کردن جاهایی است که نیاز به اتخاذ رویکردهای موازی دارد. ارزیابی AD2 نقش مهمی در تعیین هزینه‌ها و زمان‌بندی برنامه‌ها دارد.

موفقیت اجرای فرایند ارزیابی درجه مشکلی پیشرفت در گرو وجود افراد ماهر و منحصربه‌فرد در گروه است. ارزیابی TRL تنها نیازمند اطلاعات در ارتباط با آنچه تاکنون انجام داده‌ایم و آنچه انجام نداده‌ایم، است. لذا در این مرحله به افرادی نیاز است که این اطلاعات را دارا باشند. اما برای ارزیابی درجه مشکلی پیشرفت به افرادی متخصص و باتجربه نیاز است که قادر به ارزیابی باشند. در بسیاری از موارد، تجربه‌ای نیز وجود ندارد و باید گروه یا گروه‌های ارزیاب، مدتی را برای شناخت موضوع اختصاص دهند. تشکیل گروه ارزیابی یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیر برنامه فنّاوری و از عوامل کلیدی موفقیت است.

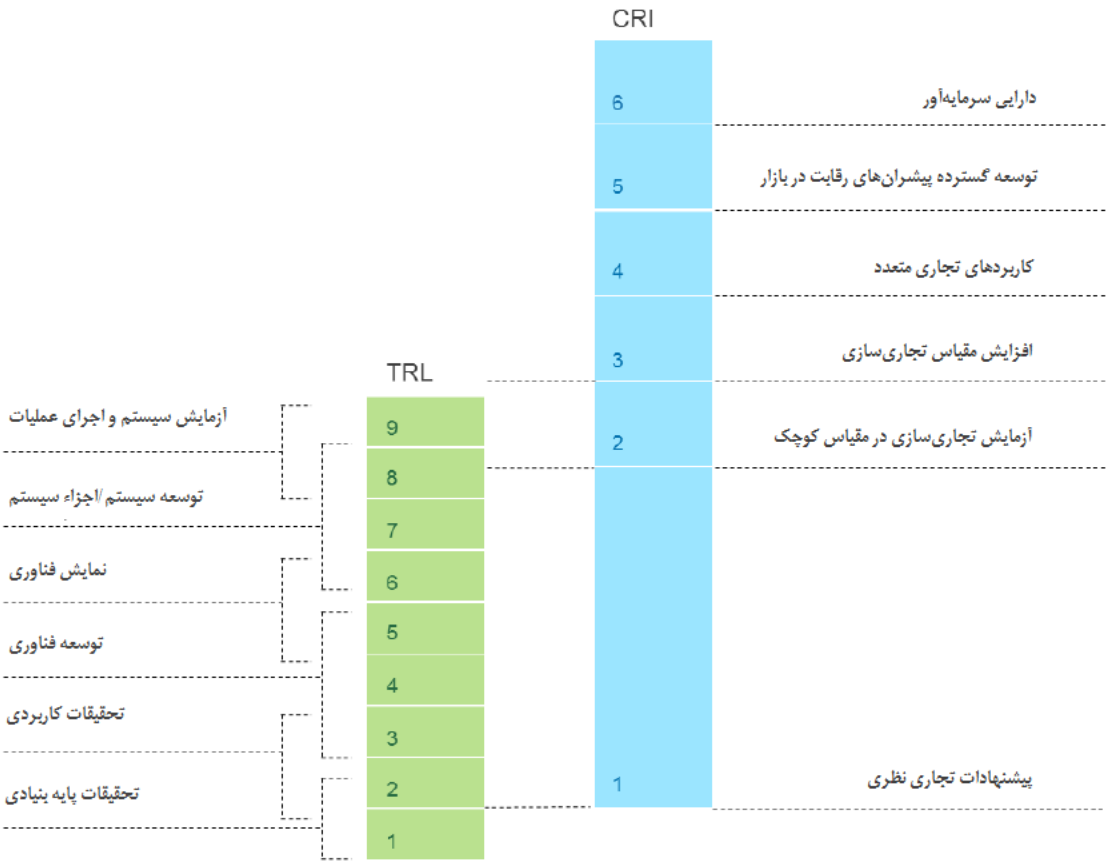
۱۱-۱۰- سطح آمادگی تجاری‌سازی

TRL خطرپذیری به‌کارگیری یک فناوری و ارائه آن به کاربران نهایی را مشخص می‌کند؛ ولی اطلاعاتی در مورد خطرپذیری تجاری‌سازی فناوری و متوقف شدن چرخه توسعه فناوری در مرحله استقرار نمی‌دهد. از طرفی فناوری‌های جدید یا بنگاه‌هایی که قصد ورود به بازار جدیدی را دارند، در طول فرایند تجاری‌سازی، با موانع بسیاری مواجه می‌شوند. به‌علاوه فرایند تجاری‌سازی نیازمند زمان و هزینه است و لذا ارزیابی جذابیت یک فناوری قبل از آغاز فرایند تجاری‌سازی می‌تواند موجب کاهش خطرپذیری شود.

شاخص آمادگی تجاری‌سازی ابزاری برای پیگیری روند پیشرفت توسعه یک فناوری خاص در مراحل ابتدایی زنجیره نوآوری است. زمانی که یک فناوری به مرحله استقرار می‌رسد، مجموعه‌ای از عوامل در تعیین سطح آمادگی تجاری‌سازی فناوری کمک‌کننده هستند. به کمک این شاخص، سطح آمادگی یک فناوری در فرایند تجاری‌سازی مشخص می‌شود و ساختاری برای تدوین استراتژی در فرایند تجاری‌سازی پیشنهاد می‌دهد.

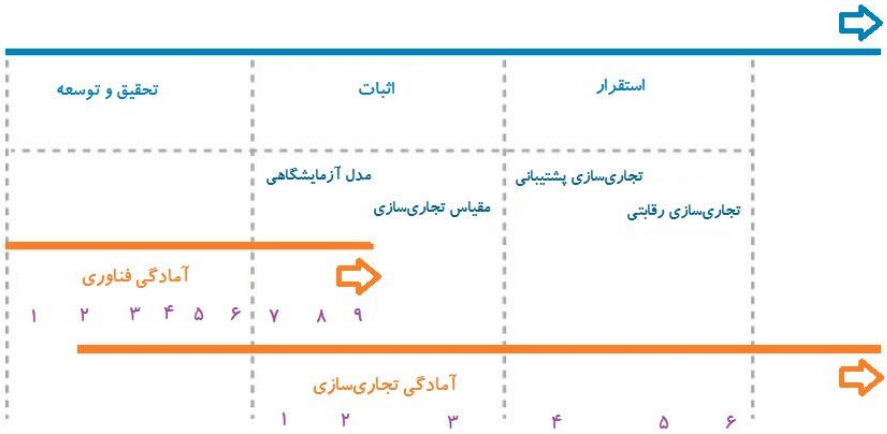
۱-۱۱-۱۰- ارتباط میان شاخص‌های سطح آمادگی فناوری و سطح آمادگی تجاری‌سازی

در شکل ۷۱ و شکل ۷۲ رابطه بین شاخص CRI و TRL ترسیم شده است. بر اساس این اشکال، CRI زمانی آغاز می‌شود که تحقیقات ثابت کرده باشند، فناوری امکان‌پذیر است (TRL2).



شکل ۷۱: ارتباط بین TRL و CRI

منبع: سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر استرالیا، ۲۰۱۴



شکل ۷۲: زنجیره توسعه فناوری و شاخص TRL و CRI

منبع: سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر استرالیا، ۲۰۱۴

۲-۱۱-۱۰- شرح سطوح CRI

سطوح CRI از سطح یک آغاز شده و تا سطح شش ادامه دارد. این سطوح به شرح زیر هستند:

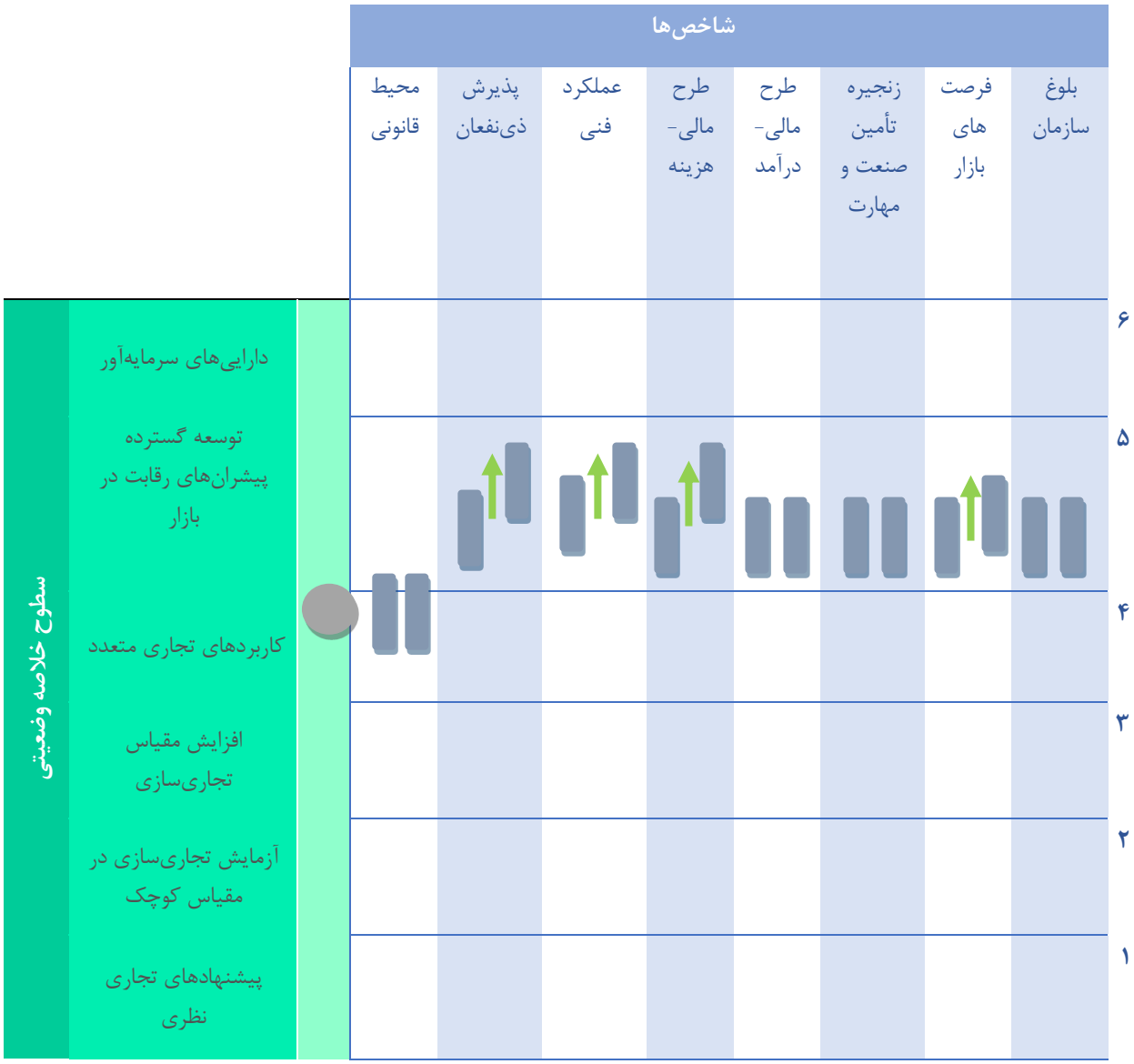
- سطح ۱ CRI: پیشنهادهای تجاری نظری.
- سطح ۲ CRI: آزمایش تجاری‌سازی در مقیاس کوچک.
- سطح ۳ CRI: افزایش مقیاس تجاری‌سازی.
- سطح ۴ CRI: کاربردهای تجاری متعدد.
- سطح ۵ CRI: توسعه گسترده پیشران‌های رقابت در بازار.
- سطح ۶ CRI: دارایی سرمایه‌آور.

زنجیره توسعه فناوری دارای سه بخش است که از تحقیق و توسعه آغاز شده و تا گسترش تجاری‌سازی ادامه می‌یابد. TRL سطح ۱ تا TRL سطح ۶ در محدوده مرحله تحقیق و توسعه هستند. TRL سطح ۷ تا ۹، در مرحله مدل آزمایشی قرار می‌گیرند. CRI سطح ۱ از تحقیق و توسعه آغاز شده و تا مرحله اثبات[۱]- مدل آزمایشگاهی[۲] ادامه می‌یابد. CRI سطح ۳ در محدوده مرحله اثبات- مقیاس تجاری‌سازی قرار دارد. CRI سطح ۴ در مرحله استقرار- تجاری‌سازی پشتیبانی شده قرار می‌گیرد. CRI سطح ۵ و ۶ نیز درون مرحله تجاری‌سازی رقابتی هستند. در شکل ۷۱ این روابط به تصویر کشیده شده است.

- CRI از دو بخش خلاصه وضعیتی و شاخص‌ها تشکیل‌شده است. خلاصه وضعیتی، بیانگر سطح فعلی شرایط بازار در یک شاخص خاص است و از مقدار یک تا شش درجه‌بندی می‌شود. لازم به ذکر است، لزومی بر یکسان بودن سطوح مختلف شاخص‌ها نیست. این دو بخش نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص‌های الگوی سنجش CRI در هشت محور کلیدی محیط قانونی، پذیرش ذینفعان، عملکرد فنی، طرح مالی- هزینه‌ها، طرح مالی- درآمد، زنجیره تأمین صنعت و مهارت، فرصت‌های بازار و بلوغ سازمان به توصیف وضعیت تجاری‌سازی فناوری می‌پردازد. برای بهبود فناوری در بحث تجاری‌سازی، باید یک یا چند شاخص CRI آن بهبود یابد. خلاصه‌ای از توصیف شاخص‌ها و خلاصه وضعیتی در جدول ۵۴ ارائه شده است.

۱. Demonstration
۲. Pilot model

جدول ۵۳: دو بخش تشکیل‌دهنده CRI، شاخص‌ها و خلاصه وضعیتی



منبع: سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر استرالیا، ۲۰۱۴

جدول ۵۴: توصیف سطوح مختلف خلاصه وضعیتی

سطح خلاصه وضعیتی	توصیف
۶	در این سطح فنّاوری به بلوغ می‌رسد دارایی‌های قابل سرمایه‌آور[1] با معیارهای مشابهی قابل‌تشخیص است. کلاس دارایی‌های سطح بانکی[2] با استانداردها و انتظارات عملکردی مشخص قابل‌تشخیص است. ریسک‌های بازار و فنّاوری، تصمیمات سرمایه‌گذاری را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. توانمندی‌های طرفداران، قیمت‌گذاری و دیگر نیروهای بازار بالابرنده هستند.
۵	رقابت بازار درزمینه سیاست‌گذاری‌های بلندمدت پیشران در حوزه‌های گسترده‌ای است. رقابت در نقاط مختلف زنجیره تأمین با جایگیری اجزای اساسی محصولات مالی اتفاق می‌افتد.
۴	کاربردهای تجاری چندمنظوره‌ای که ظهور می‌یابند، هنوز مورد حمایت‌های مالی قرار می‌گیرند. داده‌های قابل تأیید از عملکرد مالی و فنی در حوزه عمومی از بسیاری از بدهی‌ها و منابع سود دریافت می‌کند، اگرچه هنوز به حمایت‌های دولتی نیازمند است. چالش‌های قانون‌گذاری در حوزه‌های مختلف نشان داده می‌شوند.
۳	افزایش مقیاس تجاری با سیاست‌های ویژه وام‌های مالی ظهور یافته اتفاق می‌افتد. پیشنهادهای تجاری‌سازی توسط طرفداران فنّاوری و مشارکت‌کنندگان در بازار قابل‌کشف است.
۲	آزمایش تجاری‌سازی: در مقیاس کوچک، اولین پروژه‌هایی که توسط شرکا یا دولت حمایت می‌شوند. پیشنهادهای تجاری با شواهدی از داده‌های قابل تأیید همراه هستند، البته نه در حوزه‌های عمومی.
۱	پیشنهادهای تجاری نظری: از نظر فنی آماده ولی ازنظر تجاری تست نشده و تأیید نشده است. پیشنهادهای تجاری توسط مدافعان فنّاوری بدون شاهد قابل تأیید یا داده‌های مالی ارائه می‌شود تا جایگزین ادعاها شود.

منبع: سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر استرالیا، ۲۰۱۴

جدول ۵۵: توصیف شاخص‌ها

شاخص‌ها	توصیف
محیط قانونی	بلوغ برنامه‌ریزی‌ها و استانداردهای مربوط به فناوری
پذیرش ذی‌نفعان	بلوغ فرایندهای مشورتی مبتنی بر شواهد با ذی‌نفعان مرتبط با یکپارچه‌سازی فناوری در بازار
عملکرد فنی	دسترس‌پذیری اطلاعات عملکرد فناوری
طرح مالی- هزینه	دسترس‌پذیری اطلاعات مالی پویا، بر اساس سرمایه و هزینه‌ها و پیش‌بینی سود که به کمک آن سرمایه‌گذاران در سطوح بالاتری از بازار آینده سرمایه‌گذاری کنند.
طرح مالی- درآمد	

۱. Bankable

۲. Bankable grade asset class

زنجیره تأمین صنعت و مهارت	توسعه زنجیره تأمین مهارت و محصول کارا و رقابتی در صنعت که مورد نیاز برای پشتیبانی از بخش تجاری پایدار است.
فرصت‌های سازمان	توسعه از یک طرح تجاری فرضی به ارائه بازار پایدار از طریق کانال‌های رقابتی به بازار و مدل‌های کسب‌وکار پایدار.
بلوغ سازمان	توسعه بخش برای شمول شرکت‌های ایجادشده همراه با اعتبار و سوابق عملکرد قوی.

منبع: سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر استرالیا، ۲۰۱۴

در برنامه تجاری‌سازی یک فناوری، ابتدا وضعیت موجود ترسیم شده و سپس تصمیم گرفته می‌شود که در یک یا چند شاخص، توسعه داشته باشیم. جایگاه فعلی در هر شاخص مشخص شده و از فلش‌ها برای مشخص کردن محل توسعه استفاده می‌شود. در زنجیره توسعه فناوری دارای سه بخش است که از تحقیق و توسعه آغاز شده و تا گسترش تجاری‌سازی ادامه می‌یابد. TRL سطح ۱ تا TRL سطح ۶ در محدوده مرحله تحقیق و توسعه هستند. TRL سطح ۷ تا ۹، در مرحله مدل آزمایشی قرار می‌گیرند. CRI سطح ۱ از تحقیق و توسعه آغاز شده و تا مرحله اثبات- مدل آزمایشگاهی ادامه می‌یابد. CRI سطح ۳ در محدوده مرحله اثبات- مقیاس تجاری‌سازی قرار دارد. CRI سطح ۴ در مرحله استقرار- تجاری‌سازی پشتیبانی شده قرار می‌گیرد. CRI سطح ۵ و ۶ نیز درون مرحله تجاری‌سازی رقابتی هستند. در شکل ۷۱ این روابط به تصویر کشیده شده است.

- CRI از دو بخش خلاصه وضعیتی و شاخص‌ها تشکیل‌شده است. خلاصه وضعیتی، بیانگر سطح فعلی شرایط بازار در یک شاخص خاص است و از مقدار یک تا شش درجه‌بندی می‌شود. لازم به ذکر است، لزومی بر یکسان بودن سطوح مختلف شاخص‌ها نیست. این دو بخش نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص‌های الگوی سنجش CRI در هشت محور کلیدی محیط قانونی، پذیرش ذینفعان، عملکرد فنی، طرح مالی- هزینه‌ها، طرح مالی- درآمد، زنجیره تأمین صنعت و مهارت، فرصت‌های بازار و بلوغ سازمان به توصیف وضعیت تجاری‌سازی فناوری می‌پردازد. برای بهبود فناوری در بحث تجاری‌سازی، باید یک یا چند شاخص CRI آن بهبود یابد. خلاصه‌ای از توصیف شاخص‌ها و خلاصه وضعیتی در جدول ۵۴ ارائه شده است.

۵۵ نمونه‌ای از وضعیت کنونی و برنامه توسعه ارائه شده است.

۱-۲-۱۱-۱۰- موقعیت شاخص‌های CRI در هر سطح

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد؛ شاخص‌های الگوی سنجش CRI در شش سطح مختلف توصیف می‌شود. در ادامه، شرح هر یک از این سطوح ارائه شده است..

محیط قانونی

۱. فرایندهای قانون‌گذاری شامل برنامه‌ریزی، مجوزها و استانداردهای ملی ویژه تعریف نشده‌اند. زمان‌بندی و هزینه اتصالات شبکه در الگوها فرض شده، ولی ایجاد نشده است.
۲. موانع قانون‌گذاری ظهور می‌کند که اغلب به توجهات ویژه برجسته نیاز دارد.
۳. پیشنهادهای اولیه‌ای برای اشاره به موانع موجود ظهور می‌کند. شرکت‌های اولیه جهت دریافت گواهینامه توسعه فرایند سرمایه‌گذاری می‌کنند. سیاست‌ها بر فشار فنّاوری/ پروژه تنظیم شده است.
۴. یافته‌های کلیدی در برنامه‌ریزی، مجوزها و چالش‌های قانون‌گذاری بر اساس شواهد واقعی منتشر شده است. قضاوت‌های چندگانه به همراه تجارب به سمت ظهور استانداردهای ملی می‌رود. سیاست‌ها بر اساس کشش بازار تنظیم می‌شود.
۵. چالش‌های قانون‌گذاری، برنامه‌ریزی و صدور مجوزها مورد بررسی است، هنوز برخی از این چالش‌ها حل نشده‌اند و با رشد نفوذ فناوری کلیدی حل خواهند شد.
۶. قانون‌گذاری (تنظیم‌گری)، برنامه‌ریزی و فرایند مجوزدهی، تدوین و مستند شده است و به‌طور مستمر در حال بازبینی و بهبود است. سیاست‌های تعیین‌شده بازارهای سرمایه بلندمدت، پایدار و تأیید شده هستند.

پذیرش ذینفعان

۱. حمایت یا مخالفت ذینفعان نظری است.
۲. حمایت و مخالفت مورد به مورد ذینفعان به همراه مهارت‌های راهبر پروژه یک عامل موفقیت حیاتی است.
۳. موضوعات گسترده‌تر مورد حمایت ذینفعان، پدیدار می‌شود. توجهات و آدرس‌هایی که ذینفعان در مورد موضوعات می‌دهند، ملاحظه اساسی در زمان‌بندی توسعه پروژه‌ها و سناریوهای تجاری‌سازی می‌شود.
۴. فرایند شفافی با استفاده از شواهد قابل‌کشف، برای درگیر کردن ذینفعان وجود دارد.
۵. فرایند شکل‌یافته‌ای توسط همه شرکا، برای کسب مقبولیت ذینفعان فهمیده شده و مورد انتظار است.
۶. تجربیات و شواهدی برای افزایش مقبولیت ذینفعان و اطلاع‌رسانی به آنان وجود دارد.

عملکرد فنی

۱. پیش‌بینی کارا بر اساس الگوهای توضیحی.
۲. پیش‌بینی کارایی بر اساس الگوهای شبیه‌سازی‌شده که به شواهدی از تحقیق توسعه یا نمایش مقیاس پایلوت ارجاع داده شده است. پیش‌بینی‌های تجدیدشونده از منابع از داده‌گیری میدانی استخراج می‌شود. اغلب از شواهد بین‌المللی به‌منظور حمایت از موارد سرمایه‌گذاری استفاده می‌شود.
۳. پیش‌بینی کارایی و بازده بر اساس برون‌یابی از مقیاس‌های کاهش یافته یا کاربردها یا مسیرهای مشابه انجام می‌شود. نرخ کارایی مورد اطمینان، عامل کلیدی در پذیرش بانک‌ها برای تأمین مالی پروژه‌هاست. همچنین شواهد بین‌المللی در سرمایه‌گذاری عاملی کلیدی است.
۴. پیش‌بینی بهره‌وری و کارایی منتشر می‌شود و محرک‌های اصلی شناخته می‌شوند. روش‌شناسی ارزیابی کارایی و ضمانت‌ها استانداردها با فرایندهای تعیین خطرپذیری کلیدی و انتظار بازگشت بدهی‌ها استاندارد شده است.
۵. داده‌های چندگانه در پروژه‌های تجاری در محدوده محیط عملیاتی قابل‌کشف است. روش ارزیابی عملکرد و تضمین‌ها توسط الزامات تأمین مالی تعریف و استخراج می‌شود. پیش‌بینی منابع تجدیدپذیر بر اساس تجربیاتی از محدوده گسترده‌ای از منابع به‌شدت پیچیده است.
۶. بازارهای درجه دو برای دسترسی به اطلاعات تأییدشده از عملکرد تلاش‌های صورت گرفته موجود است. بررسی عملکرد و تضمین نرخ اعتبارات شفاف است.

طرح مالی- هزینه‌ها

۱. داده‌های هزینه‌ها (در صورت موجود بودن) بر اساس پیش‌بینی از داده‌ها کم یا بدون داده‌های جایگزین قبلی است.
۲. هزینه‌های اصلی بر اساس داده‌های واقعی اندک در دسترس مشخص است.
۳. داده‌های هزینه‌ها مبتنی بر پیش‌بینی از یک سایت یا یک سایت قابل قیاس یا روش قابل قیاس است. پیشران‌های کلیدی قیمت مشخص می‌شود که این امر باعث می‌شود در مقیاس بلندمدت‌تری، بازار وسیع‌تری برای موفقیت‌های فنّاورانه آینده ایجاد شود.
۴. اجرای اصلی هزینه‌های پروژه‌ها در بخش عمومی است. جای‌گیری اجزای اصلی صورت می‌گیرد. محرک‌های هزینه‌ای با نقشه‌های راه فهمیده می‌شوند، به‌جای آنکه رقابت در بازار تعیین‌کننده آن باشد.
۵. پیشنهاد ارزش و قیمت، شفاف و جذاب است و دسترسی به روند قیمت‌ها و پیش‌بینی‌ها بر اساس داده‌های پروژه‌های واقعی در طیف وسیعی از کاربردها آزاد (فراهم) است.
۶. هزینه‌های سیستم برای تحریک مثبت قابل اعتماد کافی و رقابتی است. جزئیات هزینه‌ها به‌طور گسترده‌ای برای کاربردهای چندگانه مشابه منتشر و تأیید می‌شود. قیمت‌های جهانی و محلی نمایه و گزارش می‌شوند.

طرح مالی- درآمد

۱. داده‌های مالی مبتنی بر طراحی و پیش‌بینی با داده‌ای اندک یا بدون داده‌های قبلی.
۲. درآمدهای بالاآمده به‌شدت توسط سرمایه‌گذاران کاهش می‌یابد.
۳. درآمد در زمینه تجاری آزمون می‌شود. برای برنامه‌ریزی بلندمدت نیازمندی‌ها توسط سرمایه‌گذاران بررسی‌شده و قراردادها برای مقیاس کاربردی بالا منعقد می‌شود.
۴. میزان درآمد توسط داده‌های تجاری پیش‌بینی می‌شود. شکاف‌های قیمتی فهمیده می‌شود و نقشه‌های راه جایگزین آدرس‌ها می‌شود. قراردادهای بلندمدت یا توافقات فروش نیازمند وام‌های مطمئن است.
۵. پیش‌بینی درآمدی مبتنی بر داده‌های تجاری تأییدشده و پیش‌بینی‌های تأیید شده است. قراردادهای گزینشی برای توسعه‌دهندگان بزرگ‌مقیاس مهیا است، با سرمایه‌گذارانی که با تضمین ارزش دارایی‌های پیشنهادی موافقند.
۶. پیش‌بینی درآمدی توسط صنعت مالی با شواهد بنچمارک شفاف مورد قبول و تأیید شده است. مثال‌هایی از روش‌های مختلف استراتژی‌های مشارکت در بازار با تأمین مالی استقراضی خطرپذیری بازرگانان را تعیین می‌کند.

زنجیره تأمین صنعت و مهارت

۱. عناصر کلیدی زنجیره تأمین، به‌ویژه توسط منابع تخصصی به‌طور کامل مورد توجه واقع نشده است و اغلب تحت ویژگی‌های طرفداران فنّاوری است.
۲. زنجیره تأمین در دسترس نیست یا تمایل به مشارکت در آن توسط بسیاری از اجزای کلیدی وجود ندارد. پیشبران پروژه‌ها معمولاً طراحی و پشتیبانی از عناصر مختلف را بنا بر ویژگی‌های خود انجام می‌دهند. هزینه‌های مهندسی، پشتیبانی، ساخت و حمل‌ونقل بر اساس زمان و مواد اولیه با درجه بالایی از خطرپذیری همراه است.
۳. رویکرد پروژه به پروژه در مهندسی، تأمین، ساخت و حمل‌ونقل با تأمین‌کنندگانی با تجربیات قبلی محدود برقرار است. دسترسی‌های محدود به اجزای کلیدی و مهارت‌های اندک در EPC یا O&M. مشارکت‌کنندگان اصلی در زنجیره تأمین ممکن است به علت تعارضات موجود در مدل تجاری از توسعه حمایت نکنند.
۴. مهارت‌های کلیدی با نتایج تکرارشونده آشکار می‌شوند. گزینه‌های تأمین محدودیت تأیید می‌شوند. زمان ساخت یکی از کلیدی‌ترین محرک‌های کارایی در آینده است.
۵. مشخصه‌هایی در طول زنجیره تأمین بر اساس استانداردهای تعریف‌شده و عملکرد بیرونی تأمین‌کنندگان به وجود می‌آید.
۶. در این سطح گزینه‌های چندگانه با قابلیت‌های ثابت‌شده موجود است. عوامل کلیدی انتخاب تمایز خدمات و پروژه‌ها مشخص است.

فرصت‌های بازار

۱. این سطح، مرحله‌ای کلیدی در فنّاوری جهت تغییر از راه‌حل‌های فنی به فرصت‌های تجاری رو به رشد است. موارد سرمایه‌گذاری برای تجاری‌سازی آزمایشی با شواهدی از طرح تجاری بررسی‌شده با هزینه‌های تأییدشده و درآمدهای تخمینی احتمالی، اندازه بازار و کانال‌های اولیه برای بازار شناخته‌شده همراه است. خطرهای کلیدی داخل و خارج از فضای قابل کنترل شناخته شده است.
۲. تجاری‌سازی آزمایشی به‌عنوان بخشی از بازار هدف جهت آزمایش به‌منظور اطمینان به سرمایه‌گذاران آینده است که فنّاوری می‌تواند با اطمینان تولید شود و درآمدی قابل پیش‌بینی حاصل کند؛ هرچند هنوز ممکن است غیراقتصادی باشد. تحقیقات بازار برای تخمین بازار محلی و بین‌المللی انجام می‌شود.
۳. تمرکز از اثبات عملکرد تجاری به بهینه‌سازی ساختار هزینه- درآمد و کاهش مصرف انرژی مورد نیاز در بخش بازار مورد نظر، حرکت می‌کند. تحقیقات تفصیلی بازار برای فهم اندازه، سود و آمادگی بازار انجام می‌شود. کمک‌های درآمدی قبلی، سرمایه در گردش کافی برای وام‌ها و انتظارات شرکا ایجاد می‌کند.
۴. تقاضای بازار محرک اصلی موارد سرمایه‌گذاری به‌وسیله شفافیت در بخش‌های بازار و زنجیره تأمین صنعت یا کانال بازار برای تحویل است. اندازه بازار در دسترس است و توسط شرکا تأیید شده است. شکاف مالی بین ارزش جاری خالص درآمد با هزینه درک می‌شود. برخی حمایت‌های سیاستی مورد نیاز است.

۵ و ۶. بازار فرایند سرمایه‌گذاری را بدون نیاز به حمایت‌های سیاستی انجام می‌دهد. عوامل بیرونی ممکن است کاهش یابند یا شتاب گیرند. فرصت‌های بازار شفاف و قابل‌فهم هستند.

بلوغ سازمان

۱. توانمندی مدیران به طرفداران شخصی آن‌ها مربوط است.
۲. بدنه صنعت شکل گرفته، ولی ضعیف‌تر از طرف‌های قراردادها است.
۳. بدنه صنعت در جای خود و با قدرت بخش و ذینفعان بیرونی را نمایندگی می‌کند. صنعت هنوز با طرفداران فنّاوری پیش می‌رود.
۴. بازیگران جدید به‌وجود آمده به‌عنوان بخشی از صنعت محسوب می‌شوند (اگرچه در لبه). تعادل و تأثیر طرفداران فنّاوری افزایش می‌یابد. توانمندی مدیران هنوز عامل تعیین‌کننده‌ای در انتخاب پروژه است.
۵. بازیگران پیشرو در بخش و گستره تجارب مدیران در پذیرش فنّاوری و به‌کارگیری آن مؤثر است.
۶. طرفداران پیشرو اغلب شرکت‌های بخش عمومی هستند. توانمندی مدیران ملاحظه تعیین‌کننده‌ای در اکثر پروژه‌ها نیست.

۱۲-۱۰- تعیین وضعیت دسته فناوری‌های منتخب به کمک شاخص ترکیبی SRL- CRI

پس از تعیین دسته فناوری‌های منتخب، باید وضعیت هر یک از این فناوری‌ها مشخص شود. بدین منظور شاخص ترکیبی SRL-CRI، توسعه داده شده است. در این شاخص پنج سطح کلی و ده زیرسطح تعریف شده

است. هر یک از این سطوح، بیانگر وضعیت مشخصی از فناوری در مراحل توسعه فناوری و تجاری‌سازی است. به‌منظور سنجش وضعیت فناوری در هر یک از این سطوح، پرسش‌هایی تعریف شده است. باید به پرسش‌های تمامی سطوح برای هر یک از این فناوری‌ها پاسخ داده شود و در صورتی‌که پاسخ حداقل ۸۰ درصد از این پرسش‌ها «بلی» باشد، سطح مورد نظر در مورد فناوری پشت سر گذاشته شده است. هرکدام از این زیرسطح‌های ده‌گانه در ذیل یکی از سطح‌های کلی‌تر «مطالعات اولیه»، «توسعه فناوری»، «توسعه محصول»، «تجاری‌سازی» و «توسعه بازار» قرار دارد و در صورتی‌که تمامی زیرسطح‌های این سطوح کلی پشت سر گذاشته شده باشد، در مورد فناوری مربوطه این سطوح کلی برقرار است. لذا خروجی این بخش درنهایت مشخص شدن وضعیت برقراری سطوح کلی برای هر یک از فناوری‌های منتخب مربوطه است. برای مثال، در مورد مته حفاری باید بررسی شود که هر یک از سطوح پنج‌گانه اصلی «مطالعات اولیه»، «توسعه فناوری»، «توسعه محصول»، «تجاری‌سازی» و «توسعه بازار» پشت سر گذاشته شده است یا خیر. این امر، همان‌طور که گفته شد به کمک پرسش‌هایی تهیه‌شده قابل بررسی است. توضیحات دقیق‌تر شاخص ترکیبی CRI -SRL در ادامه ارائه شده است.

۱-۱۲-۱۰- توصیف شاخص ترکیبی CRI-SRL

با توجه به الگوهای ارائه‌شده در بخش‌های ابتدایی، در این قسمت، الگوی پیشنهادی سنجش وضعیت فناوری ارائه می‌شود. این الگوی پیشنهادی بر پایه دو الگوی SRL و CRI که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، بنا نهاده شده است. این دو الگو فناوری‌محور در نظر گرفته شده است.

سطوح کلی تعریف شده در جدول ۵۶ ارائه شده است. پنج سطح اول ناظر به همان سطوح TRL و سطوح باقی‌مانده با توجه به شاخص CRI توسعه داده شده‌اند. سطوح کلی در نظر گرفته‌شده در این شاخص به‌وسیله مصاحبه‌هایی با خبرگان مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است.

جدول ۵۶: سطوح مختلف وضعیت فناوری

	سطح	شرح
مطالعات اولیه	سطح اول	پس از آنکه ایده اولیه به ذهن رسید، ادبیات علمی مسئله مطالعه شده و تحقیقات علمی جهت ورود به تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای آغاز شده و کاربردهای عملی شناسایی می‌شود. در این سطح، کاربردها ذهنی و گمانی هستند و تجزیه و تحلیل مفصل در مورد آن‌ها صورت نگرفته است. در این مرحله دانش علمی مربوط به فناوری اکتساب می‌شود.
توسعه فناوری	سطح دوم	طراحی مفهومی فناوری انجام‌شده است و تحقیق و توسعه فعال شامل مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی، به‌منظور اثبات نتایج مطالعات تحلیلی آغاز شده است و مؤلفه‌های اصلی فناوری یکپارچه شده و نشان داده شده که اجزاء با یکدیگر کار می‌کنند. اجزاء به‌صورت موقتی و مجزا به‌صورت دستی روی میز آزمایشگاه به هم وصل شده‌اند.
	سطح سوم	مدلی از سیستم یا نمونه اولیه‌ای از آن در محیط‌های مرتبط و آزمایشگاهی مکرر تست شده است.
توسعه محصول	سطح چهارم	نمونه‌ای از سیستم واقعی در محیط واقعی ایجاد شده است. این نمونه نزدیک به سیستم عملیاتی اصلی یا در مقیاسی همانند آن است و در محیط عملیاتی کیفیت نمونه تست شده است تا نتایج غیرقابل پیش‌بینی آن در محیط واقعی بررسی شود. این نمونه قابل استفاده بوده ولی تجاری نشده است.
	سطح پنجم	در این مرحله عیب و ایرادهای احتمالی برطرف و عملکرد سیستم واقعی در مأموریت‌های عملیاتی اثبات‌شده است. نمونه کارگاهی در این مرحله به‌صورت محدود تولید شده است.
تجاری‌سازی	سطح ششم	تجاری‌سازی فناوری در مقیاس کوچک انجام گرفته است. درواقع، در این مرحله تولید به‌صورت محدود انجام شده و سایر الزامات تجاری‌سازی مثل مسائل مربوط به بازار و تأییدیه‌های رسمی پیگیری شده است.
	سطح هفتم	افزایش مقیاس تجاری‌سازی با سیاست‌های ویژه و مدل‌های نوظهور تأمین مالی صورت گرفته است. تقاضای بازار برای فناوری قابل شناسایی است.
	سطح هشتم	کاربردهای تجاری چندمنظوره‌ای که ظهور می‌یابند، هنوز مورد حمایت‌های مالی قرار می‌گیرند. چالش‌های قانون‌گذاری در حوزه‌های مختلف بروز یافته است.
توسعه بازار	سطح نهم	زنجیره تأمین (عرضه) تکمیل شده و در هر یک از اجزای اساسی آن، رقابت در بازار شکل گرفته است. رقابت در بازار نیازمند تنظیم سیاست‌های بلندمدت است.
	سطح دهم	کشش بازار برای محصولات فناوری بالاست، سودآوری پایدار و ریسک بنگاه پایین است، به‌طوری که امکان استفاده از تسهیلات بانک‌های تجاری فراهم شده است.

پرسش‌های ناظر به هر یک از سطوح وضعیت فناوری در جدول ۵۷ آورده شده است.

جدول ۵۷: پرسش‌های ناظر به سطوح مختلف وضعیت فناوری

سطح ۱	
پس از آنکه ایده اولیه به ذهن رسید، ادبیات علمی مسئله مطالعه شده و تحقیقات علمی جهت ورود به تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای آغاز شده و کاربردهای عملی شناسایی می‌شود. در این سطح، کاربردها ذهنی و گمانی هستند و تجزیه و تحلیل مفصل در مورد آن‌ها صورت نگرفته است.	
مطالعات نظری امکان‌پذیری کاربرد اجزاء و سیستم را تأیید می‌کند؟	
فرضیات تحقیق فرموله شده است؟	
ادبیات موضوع پروژه (مشاهدات علمی مرتبط با اندیشه کلی طرح) مطالعه شده است؟	
آیا نتایج مطالعات تحلیلی در مجلات علمی و ... گزارش‌شده است؟	
کاربردهای ممکن (بالقوه) فناوری و اجزاء آن شناسایی‌شده و عملکرد آنان پیش‌بینی‌شده است؟	
کاربران نهایی فناوری شناسایی‌شده‌اند؟	
متدولوژی (روش علمی) انجام طرح و روش پژوهش مشخص شده است؟	
آیا سیستمی برای ردیابی نیازمندی‌ها در نظر گرفته شده است؟	
پیش‌نویس اولیه نیازمندی‌های عملکردی (الزامات کاربردی) تهیه شده است؟	
نیازمندی‌های نرم‌افزاری به به‌صورت کلی و اولیه مشخص شده است؟	
امکان‌پذیری الگوریتم‌ها و مفاهیم پایه آن‌ها به‌طور کلی بررسی‌شده است؟	
آیا به‌وسیله داده‌های آزمایشی اعتبارسنجی کلی طرح نرم‌افزاری انجام شده است؟	
اجزاء فناوری شناسایی شده ویژگی‌های اجزاء سیستم/ فناوری تا حدی مشخص شده است؟	
سخت‌افزار میزبان نرم‌افزار در دسترس است؟	
شناسایی نیازمندی‌های کاربردی فرایند تولید آغاز شده است؟	
آیا مشتری وجود دارد که به استفاده از فناوری ابراز علاقه کرده باشد؟	
آیا برنامه تحقیق و توسعه‌ای که از توسعه فناوری حمایت کند، شناسایی و استراتژی آن آماده شده است؟	
مجری طرح (برنامه) و محل اجرای آن مشخص شده است؟	
حامی یا منبع تأمین مالی برای پروژه شناسایی شده است؟	
مستندسازی کدنویسی اولیه نرم‌افزار با رعایت اصول پایه، انجام شده است؟	
تجزیه‌وتحلیل کیفی و اولیه ریسک (تولید نمونه اولیه) پیش رو مستند شده است؟	
آیا بخش‌های فناوری هر کدام به‌صورت مجزا به‌درستی کار می‌کنند؟ (بدون تلاش واقعی برای ادغام)	
سطح ۲	
طراحی مفهومی فناوری انجام‌شده و تحقیق و توسعه فعال شامل مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی، به‌منظور اثبات نتایج مطالعات تحلیلی آغاز شده است و مؤلفه‌های اصلی فناوری یکپارچه شده و نشان داده شده که اجزاء با یکدیگر کار می‌کنند. اجزاء به‌صورت موقتی و مجزا به‌صورت دستی روی میز آزمایشگاه به هم وصل شده‌اند.	
آیا نماینده‌ای از مشتری برای همکاری در تیم تحقیق و توسعه مشخص شده است؟	
آیا مشتری در ایجاد نیازمندی‌ها مشارکت می‌کند؟	
پیش‌نویس سند نیازمندی‌ها موجود است؟	
نیازمندی‌های کاربر نهایی سیستم/ فناوری مستند شده است؟	
نیازمندی‌های کارکردی نهایی شده است؟	
آیا ویژگی‌های و مقادیر مربوط به عملکرد سیستم مستندسازی شده است؟	

تست پذیرش قطعات انجام شده است؟	
آیا قطعات و اجزاء به‌صورت پیش‌تولید موجودند؟	
عملکرد اجزاء و روابط بین اجزاء به‌طور کامل شرح داده شده است؟	
سازگاری اجزاء با یکدیگر نشان داده شده است؟	
مطالعات یکپارچه‌سازی آغاز شده است؟	
مشکلات بالقوه تولید مستند شده است؟	
معیارهای اندازه‌گیری عملکرد سیستم/ فناوری تعریف‌شده است؟	
نمونه بردبورد مونتاژ شده است؟	
آیا نمونه بردبورد عملکرد تمامی اجزاء را نشان می‌دهد؟	
آیا بیشتر اجزاء سیستم در دسترس (موجود) است (در برخی موارد جایگزین‌های آزمایشگاهی)؟	
فرایندهای کلیدی تولید شناسایی شده‌اند؟	
تاریخ دسترسی به فناوری‌های ناموجود (در صورت وجود) مشخص شده است؟	
آیا قابلیت‌های اساسی (عملکردهای اصلی) فناوری در محیط ساده‌شده اثبات شده است؟	
آیا پیشران‌های اولیه هزینه‌ها مشخص شده است؟ (هزینه‌های اصلی)	
ریسک‌های برنامه تعیین و استراتژی کاهش ریسک برنامه مستند شده است؟	
برنامه مدیریت ریسک پروژه به‌صورت رسمی آغازشده است؟	
اثرات متقابل (مضر) فناوری به‌طور کامل شناسایی و مستند شده است؟	
ضوابط خروج (توقف طرح) و نقاط کلیدی تعیین شده است؟	
آزمایش‌ها امکان‌پذیری (عملی بودن) استفاده از فناوری را تأیید می‌کنند؟	
تیم یکپارچه محصول (IPT) به‌صورت رسمی تشکیل شده و نماینده‌ای از مشتری عضو تیم است؟	
مقادیر واقع‌بینانه هزینه به‌عنوان اهداف در سطوح مختلف تعریف شده است؟	
ساختار شکست کار (WBS) (فیزیکی و برنامه‌ریزی) توسعه داده شده است؟	
آیا نرم‌افزارهای موجود برای استفاده مجدد بررسی شده‌اند؟	
فهرست نرم‌افزارهای دسترس (موجود) که وظایف/ کارهای مشابه با موارد موردنیاز را انجام می‌دهند کامل شده است؟	
مشخصات ویژگی‌های نرم‌افزار مشخص است؟	
تجزیه‌وتحلیل داده‌های موردنیاز و فرمت آن تمام شده است؟	
طرح کلی از الگوریتم نرم‌افزاری مستند شده است؟	
آیا هر یک از ماژول‌ها با طرح اولیه معماری سیستم همسو هستند؟	
یکپارچه‌سازی توابع یا مدل‌ها نشان داده شده است؟	
آیا طراحی‌ها از طریق فرایندهای تست و بازرسی رسمی بررسی شده است؟	
ویژگی‌های عملکردی فناوری/ سیستم به‌وسیله مجموعه داده‌های نمونه تأیید شده است؟	
برنامه‌نویسی مقدماتی تأیید می‌کند که نرم‌افزار می‌تواند نیازمندی‌های اجرایی را برآورده سازد؟	
آیا الگوریتم‌ها در محیط آزمایشگاهی (احتمالاً در یک پردازنده جانشین) به‌درستی اجرا می‌شوند؟	
سطح ۳	
در این سطح، مدلی از سیستم یا نمونه اولیه‌ای از آن در یک محیط مرتبط تست شده است.	
اثرات متقابل (منفی) فناوری به‌طور کامل شناسایی، تحلیل و مستند شده است؟	

سخت‌افزارهای لازم پیش‌تولید موجود است؟ (تهیه شده است)؟	
اهداف تولیدی برای داشتن بازده بیشتر در صورت نیاز ایجاد شده‌اند؟	
فرایندهای کلیدی تولید اعتبارسنجی شده و مستند شده‌اند؟	
نمونه بردبورد دارای رابط‌های واقعی است؟	
عملکرد ابزارها و ماشین‌های تولید در آزمایشگاه اثبات شده است؟	
تمام مشخصات سیستم را می‌توان در محیط آزمایشگاهی شبیه‌سازی و اعتبارسنجی کرد؟	
آیا نمونه brassboard توسعه داده شده است؟	
محیط آزمایشگاه دقیق و قابل اطمینان است؟	
آیا کاربران نهایی در توسعه مشخصات فیزیکی، عملکردی و اجرایی درگیر شده‌اند؟	
ارزیابی از نیازمندی‌های موردنیاز مونتاژ اجزاء انجام شده است؟	
مسائل یکپارچگی سیستم‌ها مورد ملاحظه قرارگرفته و پیش‌نویس این مسائل تهیه شده است؟	
برنامه تست و ارزیابی نهایی و مستند شده است؟	
پیش‌نویس واسط‌های الکتریکی و مکانیکی تهیه شده است؟	
فرایندهای تولید مورد بازبینی قرار گرفته است؟	
عملکرد نهایی مورد انتظار مستند شده است؟	
برنامه مدیریت ریسک پروژه مستند شده است؟	
آیا استراتژی‌های کاهش‌دهنده خطرات چالش‌های پیش‌رو در تولید تعیین شده است؟	
آیا مسائل مربوط به کیفیت و قابلیت اطمینان مستند شده است؟ مقادیر هدف ممکن است هنوز مشخص نشده باشد.	
بازبینی رسمی تمامی اجزاء انجام شده است؟	
اهداف هزینه (برآورد هزینه) تعیین شده است؟	
مورد تجاری برای محصول توسعه داده شده است؟	
تحلیل شکست و اثرات آن (FMEA) انجام شده است؟	
تحلیل هزینه چرخه عمر انجام شده است؟	
سیستم در محیط واقعی خارج آزمایشگاه تست شده است؟	
معماری سیستم نهایی شده است؟	
نمودارهای مهندسی نهایی شده است؟	
محیط اجرایی سیستم به‌طور کامل شناخته شده است؟	
جمع‌آوری داده‌های نگهداشت، قابلیت اطمینان و پشتیبانی آغازشده است؟	
سرمایه‌گذاری لازم برای فرایندها و تدارکات ابزارها، مشخص شده است؟	
ساختار شکست محصول (WBS) توسعه داده شده است؟	
سطوح کیفیتی و قابلیت اطمینان تعریف شده است؟	
موجودی لازم رابط‌های خارجی به‌طور کامل تهیه شده است؟	
تقریباً بیشتر سخت‌افزار تولید موجود است؟	
امکان‌پذیری برنامه مهندسی (برنامه‌ریزی ساخت) به‌طور کامل اثبات شده است؟	
فرایند تولید انتخاب شده است؟	
نیازمندی‌های تولید توسط تولیدکننده و کاربر نهایی بازبینی شده است؟	

سند ویژگی‌های نیازمندی‌های سیستم تمام شده است؟	
گزارش فنی نهایی تمام شده است؟	
مشکلات و موانع اصلی تولید برطرف شده است؟	
فرایندهای اساسی تولید نمونه‌سازی شده‌اند؟ (پروتوتایپ)	
مشتری وجود دارد توافق‌نامه انتقال فناوری را امضا کرده است؟	
مشتری موافقت کرده است که می‌تواند سیستم را تولید کرده، مستقر ساخته و از آن نگهداری کند؟	
برنامه‌نویسی توابع/ مدل‌ها به‌صورت مجزا تمام شده و الگوریتم‌های نرم‌افزاری با سیستم‌های موجود یکپارچه شده است؟	
کارایی ماژول‌های یکپارچه شده تست شده است؟	
تأیید، اعتباربخشی و اعتبارسنجی نرم‌افزار آغاز شده است؟	
تحلیل ساختار پایگاه داده تمام شده است؟	
نسخه اولیه نرم‌افزار ارائه شده است؟	
الگوریتم‌ها بر روی پردازنده‌ای با قابلیت قرارگیری در محیط بهره‌برداری اجرا شده‌اند؟	
سطح ۴	
نمونه‌ای از سیستم واقعی در محیط واقعی ایجاد شده است. این نمونه نزدیک به سیستم عملیاتی اصلی یا در مقیاسی همانند آن است و در محیط عملیاتی کیفیت نمونه تست شده است تا نتایج غیرقابل‌پیش‌بینی آن در محیط واقعی بررسی شود. این نمونه قابل‌استفاده بوده ولی تجاری نشده است.	
فناوری و سیستم در محیط مرتبط به اجرا گذاشته شده و تست شده‌اند؟	
تمامی رابط‌ها به‌صورت مجزا در شرایط تنش‌زا و غیرعادی تست شده‌اند؟	
تست کامل اجرایی فناوری/سیستم در یک محیط مرتبط انجام شده است؟	
هزینه‌های برآورد شده اعتبارسنجی شده‌اند؟	
هزینه‌های برآورد شده با توجه به نرخ تولید اولیه پایین است؟	
جزء ناموجود سیستم را می‌توان شبیه‌سازی کرد؟	
تمامی اجزاء فناوری/سیستم از لحاظ عملکرد با یکدیگر سازگارند؟	
جمع‌آوری داده‌های لازم برای تحلیل اطمینان، نگهداری و پشتیبانی انجام شده است؟	
رویه و فرایند تولید و مواد لازم مشخص شده است؟	
سطوح کیفیتی فرایندهای تولید تعریف شده است؟	
فرایندهای تولید کنترل می‌شود تا ازلحاظ سطح کیفی در سطح مناسبی قرار داشته باشد؟	
عملکرد ماشین‌های تولید اثبات شده است؟	
تمامی اجزاء تولید موجود هست؟	
تمامی مواد لازم برای تولید آماده و موجود است؟	
فرایند آماده‌سازی ماشین‌آلات برای تولید و بازرسی آنان در محیط تولید انجام شده است؟	
تکنیک‌های طراحی، روش‌ها، فرایندها و مواد تعیین شده است؟	
طرح فرایند تولید تغییراتی نداشته یا تغییر کمی کرده است؟	
تکنیک‌های طراحی، روش‌ها، فرایندها و مواد به‌طور متوسط توسعه داده‌شده و اعتبارسنجی شده‌اند؟	
پروتوتایپ به‌طور کامل یکپارچه شده در محیط اجرایی شبیه‌سازی‌شده یا در محیط واقعی نمایش داده شده است؟	
فرایندهای تولید سطوح عملکردی و بازده قابل قبولی را نشان دادند؟	

عملکرد، اندازه و قالب فناوری/ سیستم در محیط اجرایی اثبات شده است؟	
ارزیابی و تست توسعه فنی (E&DT) با موفقیت به اتمام رسیده است؟	
مستندسازی ارزیابی و تست توسعه فنی (E&DT) به‌طور کامل انجام شده است؟	
فرایند کنترل رابط‌ها تکمیل شده است؟	
نسخه نهایی نمودارهای معماری تکمیل شده است؟	
سند آموزش تکمیل شده است؟	
سند نگهداری تکمیل شده است؟	
سند کاربران نرم‌افزار تکمیل شده است؟	
نسخه بتا نرم‌افزار ارائه شده است؟	
بیشتر اشکالات نرم‌افزاری برطرف شده است؟	
الگوریتم‌ها توسط پردازنده‌ای در محیط اجرایی اجرا شده‌اند؟	
تأیید، اعتباربخشی و اعتبارسنجی نرم‌افزار تمام شده است؟	
سطح ۵	
در این مرحله عیب و ایرادهای احتمالی برطرف و عملکرد سیستم واقعی در مأموریت‌های عملیاتی اثبات شده است. نمونه کارگاهی در این مرحله به‌صورت محدود تولید شده است.	
ارزیابی و تست اجرایی با موفقیت انجام شده است؟	
مستندسازی ارزیابی و تست اجرایی انجام شده است؟	
برنامه آموزشی اجرا شده است؟	
فناوری/ سیستم در محیط اجرایی هدف مستقر شده است؟	
مسائل ایمنی و اثرات جانبی شناسایی شده و کاهش داده شده است؟	
تمامی اسناد برنامه تکمیل‌شده است؟ شامل اسناد معماری، طراحی و آموزشی	
تمامی اشکالات برطرف شده و فناوری/سیستم همان‌گونه که در سند مفهوم کارکردی بیان شده است، عمل می‌کند؟	
اشکالات نرم‌افزار به‌طور کامل رفع شده است؟	
اهداف هزینه‌ای (برآورد هزینه) برآورده شده است؟	
دستورالعمل نگهداری و تعمیرات محصول تهیه شده است؟	
راهنمای تولید تهیه شده است؟	
درخواست پتنت برای فناوری انجام‌شده است؟	
برنامه پشتیبانی اجرا شده است؟	
طرح حفاظت از برنامه اجرا شده است؟	
سطح ۶	
در این مرحله، تجاری‌سازی فناوری در مقیاس کوچک انجام گرفته است.	
درخواست پتنت برای فناوری انجام شده است؟	
الزامات ایمنی و محیط زیستی شناسایی شده است؟	
BOM درختواره قطعات و مواد تشکیل شده است؟	
نیازهای مشتریان شناسایی‌شده بررسی شده است؟	
مشتریان قطعی اولیه شناسایی شده‌اند؟	

طرح تجاری فناوری در حال تهیه شدن است؟ (چشم‌انداز اولیه‌ای از طرح وجود داشته باشد)	
تمامی فرایندهای تولیدی برای قرارگیری در سطح کیفی مناسب کنترل می‌شوند؟	
برای تولید اولیه با نرخ پایین آمادگی وجود دارد؟	
برنامه‌ریزی تولید به‌طور کامل انجام شده است؟	
سخت‌افزار پیش از تولید آماده است؟	
پیش‌نویس اولیه‌ای از مسائل قانونی پیش‌رو (پیش‌بینی‌شده) تهیه شده است؟	
برنامه‌ریزی برای نظام استاندارد کیفی انجام شده است؟	
پیش‌نویس سند چشم‌انداز تجاری‌سازی فناوری ترسیم شده است؟	
پیش‌نویس برنامه بازارسازی تهیه‌شده است؟	
منابع تأمین مالی طرح برای scale-up تعیین شده‌اند؟	
آیا پیامدهای scale-up مواد تعیین شده است؟	
برنامه‌ریزی برای تأمین نیروی انسانی جهت scale-up انجام شده است؟	
آیا فنّاوری مقیاس‌پذیر نمونه اولیه ساخته شده است؟	
آیا تکنیک‌های طراحی شناخته‌شده‌اند، بنابراین درخواست‌های کوچک می‌توانند تحلیل/ شبیه‌سازی شوند؟	
آیا مشکلات بالقوه تولید (با تمرکز بر تولید در مقیاس بالا) مستند شده‌اند؟	
آیا در طرح تجاری در حال تدوین فناوری، محدودیت‌های قابلیت پایه صنعتی و فرایندهای ساخت دیده شده است؟	
مجموعه در مکان استیجاری یا مستقلی مستقر شده است؟	
شرکت دانش‌بنیان تشکیل شده و در مراکز رشد مستقر شده است؟	
آیا فرایند تولید برای مقیاس بالاتر انتخاب شده است؟	
آیا نمونه اولیه شکل، تناسب و عملکرد واقعی را نشان می‌دهد؟	
سطح ۷	
شرح سطح: افزایش مقیاس تجاری‌سازی با سیاست‌های ویژه و مدل‌های نوظهور تأمین مالی صورت گرفته است و تقاضای بازار برای فناوری قابل شناسایی است.	
آیا پروسه‌های تولید کلیدی معتبر و مستند شده‌اند؟	
آیا استراتژی‌های کاهش برای آدرس‌دهی کمبود تولید احتمالی شناخته شده است؟	
آیا مسائل مربوط به کیفیت و قابلیت اطمینان مستند شده است؟ (سطح هدف ممکن است هنوز مشخص نشده باشد)	
آیا یک ارزیابی نیازهای مونتاژ جزء انجام شده است؟	
آیا فرآیند تولید مرور شده است؟	
آیا نیازهای سرمایه‌گذاری برای فرایند و تجهیز نشان داده شده است؟	
آیا آزمون‌های پذیرش کارخانه انجام شده است؟	
آیا تمام مسائل مربوط به تولید عمده حل شده است؟	
آیا برنامه‌ریزی تولید در مقیاس اصلی تکمیل شده است؟	
طرح تجاری فناوری تکمیل شده است؟	
ساختار قیمت‌گذاری فناوری تعیین/ نهایی شده است؟	
آیا برنامه‌های بهبود نرخ راندمان آغاز شده است؟	
آیا هزینه‌ها با استفاده از نتایج واقعی حاصل، آنالیز شده‌اند تا از دستیابی به هزینه‌های هدف اطمینان حاصل گردد؟	

بخش‌بندی و ارزیابی بازار انجام شده است؟	
قیمت نهایی فروش تحلیل و تعیین شده است؟	
کارگروه فروش و بازاریابی در شرکت وجود دارد؟	
برنامه شناسایی مشتریان در حال اجرا است؟	
شرکت دانش‌بنیان ایجادشده یا با صنایع موجود مشارکت برای سرمایه‌گذاری صورت گرفته است؟	
شرکت در واحد مستقلی مستقر شده است؟	
تولید سفارشی در شرکت انجام می‌شود؟	
برنامه‌ریزی جهت راه‌اندازی خط تولید تمام شده است؟	
راه‌اندازی خط تولید انجام‌شده است یا در مراحل پایانی است؟	
آیا برنامه‌ریزی برای تولید در مقیاس بالاتر انجام شده است؟	
برنامه نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات، تهیه شده است؟	
آیا مسائل مربوط به قیمت تولید اولیه و امکان کسب تکاملی ساخته شده است؟	
آیا تولید پایدار است؟	
برای تولید با نرخ کامل آمادگی وجود دارد؟	
آیا همه مواد لازم تولید در دسترس هستند؟	
سطح ۸	
کاربردهای تجاری چندمنظوره‌ای که ظهور می‌یابند، هنوز مورد حمایت‌های مالی قرار می‌گیرند. چالش‌های قانون‌گذاری در حوزه‌های مختلف بروز یافته است.	
چالش‌های قانونی پیش رو مرتفع شده است؟	
استانداردسازی محصول انجام شده است؟	
آیا آلترناتیوهای لازم برای منابع خارجی یا تک منبعی در نظر گرفته شده است؟	
برنامه‌ای برای شناسایی بازارهای جدید آغاز شده است؟	
رضایت مشتریان ارزیابی و تحلیل شده است؟	
واحد تحقیق و توسعه در شرکت تشکیل شده است؟	
خط تولید محصول راه افتاده است؟	
راهنمای تولید و نگهداری و تعمیرات اصلاح شده است؟	
آیا مسائل مربوط به ایمنی و عوارض جانبی شناخته‌شده و کاهش داده شده‌اند؟	
آیا تحلیل ارزش انجام شده است؟	
آیا تحلیل هزینه چرخه حیات انجام شده است؟	
آیا همه فرآیندهای تولید برای رسیدن به سطح کیفیت مناسب کنترل می‌شوند؟	
آیا اهداف طراحی به هدف هزینه محقق شده است؟	
آیا سطوح کیفیت برای فرایند تولید (مثل سیگما) مقرر شده است؟	
آیا اطلاعات برای تحلیل قابلیت اطمینان، نگهداشت پذیری و قابلیت پشتیبانی وجود دارد؟	
آیا روند تولید و تجهیز به بلوغ رسیده است؟	
پیش‌بینی برای روند فروش کالا انجام شده است؟	
آیا اهداف تولید برای بهبود بازده، اگر لازم است، ایجاد شده است؟	

سطح ۹	
زنجیره تأمین تکمیل‌شده و در هر یک از اجزای اساسی، رقابت در بازار شکل‌گرفته است. رقابت در بازار نیازمند تنظیم سیاست‌های بلندمدت است.	
ارزیابی از ریسک بازار به‌طور کامل انجام شده است؟	
تولیدات محصولات متنوع و سفارشی است؟ (بیش از یک محصول در شرکت ارائه می‌شود)	
شرکت در ساختمان مستقلی مستقر شده است؟	
شرکت دانش‌بنیان وارد پارک فناوری شده و یا رشد کرده و اشتغالی بالای ۵۰ نفر دارد؟	
آیا ریسک‌ها و قابلیت‌های کیفی تأمین‌کنندگان، شناسایی‌شده‌اند تا در مدیریت کیفیت تأمین‌کنندگان رده‌بندی لحاظ شود.	
برنامه‌ریزی برای تأمین مواد و قطعات تولیدی انجام‌شده و سیستمی به این منظور تهیه شده است؟	
رقبا شناسایی و تحلیل شده‌اند؟	
کانال‌های توزیع شناسایی‌شده و ارزیابی شده‌اند؟	
برنامه بازاریابی نهایی شده است؟	
رضایت مشتریان ارزیابی و تحلیل شده است؟	
با توجه به نتایج رضایت مشتریان و تحلیل‌های صورت گرفته از رقبا ویژگی‌های محصول اصلاح شده است؟	
نحوه توزیع و کانال‌ها جهت بررسی رضایت مخاطبان ارزیابی شده است؟	
خدمات پس از فروش محصول تعیین شده است؟	
مدیریت ارتباط با مشتریان برنامه‌ریزی و اجرا شده است؟	
مدیریت منابع انسانی در شرکت به‌صورت یک سمت مستقل فعالیت می‌کند؟	
واحد مالی و حسابرسی در شرکت وجود دارد؟	
سطح ۱۰	
کشش بازار برای محصولات فناوری بالاست، سودآوری پایدار و ریسک بنگاه پایین است، به‌طوری که امکان استفاده از تسهیلات بانک‌های تجاری فراهم شده است.	
بانک‌های عامل در تأمین منابع مالی شرکت نقش قابل توجهی دارند؟	
شرکت دانش‌بنیان وارد پارک فناوری شده و یا رشد کرده و اشتغالی بالای ۵۰ نفر دارد؟	
تحقیق و توسعه شرکت‌های تابعه انجام می‌شود؟	
چرخه عمر محصول بررسی و تحلیل شده است؟	
تولید به حداکثر میزان افزایش یافته است؟	
برنامه‌ریزی برای صادرات محصول انجام شده است؟	
شرکت در ساختمان مستقلی مستقر شده است؟	

۱۳-۱۰- استخراج جایگاه نوآوری در جدول حالات مختلف وضعیت نوآوری

شاخص ترکیبی ارائه‌شده در بالا رویکرد خطی به توسعه فناوری ندارد. به‌عبارت دیگر از آنجایی‌که در مراحل توسعه یک فناوری طبق الگوهای غیرخطی ممکن است مراحل مختلف به ترتیب اجرا نشوند، بررسی پشت سر گذاشته شدن هر یک از سطوح پنج‌گانه تعریف شده، در هر مرحله از سنجش مورد نیاز است و نمی‌توان این‌گونه فرض کرد که این مراحل به ترتیب پشت سر گذاشته می‌شود. به‌عنوان‌مثال، فناوری‌هایی وجود دارند که توسعه بازار در مورد آن‌ها رخ داده، ولی هنوز سطح مطالعات اولیه آن انجام نشده است یا مرحله تجاری‌سازی

در مورد آن فناوری مورد نیاز نیست؛ اگرچه بقیه مراحل آن طی شده باشد مانند فناوری‌هایی که از طریق مهندسی معکوس به دست می‌آیند.

بر این اساس، در این مرحله حالات مختلف نوآوری استخراج شدند. این حالات ترکیبی از اکتساب پنج وضعیت کلی فناوری: «مطالعات علمی»، «توسعه فناوری»، «توسعه محصول»، «تجاری‌سازی» و «توسعه بازار» است. حالات آورده شده در جدول ۵۸، حالت‌های موجه از بین همه ۳۲ حالات ترکیبی پنج سطح کلی تعریف شده است.

در این مرحله با توجه به نتایج حاصل از «تعیین وضعیت دسته فناوری‌های منتخب به کمک شاخص ترکیبی CRI -SRL» جایگاه فناوری در جدول حالات مختلف نوآوری مشخص می‌شود. خروجی این مرحله تعیین یک حالت به‌عنوان وضعیت توسعه فناوری برای هر یک از فناوری‌های منتخب است. در جدول ۵۸ این حالات همراه با توضیحات ارائه شده است.

جدول ۵۸: حالات مختلف وضعیت نوآوری

وضعیت	شرح	مطالعات علمی	توسعه فناوری	توسعه محصول	تجاری‌سازی	توسعه بازار
حالت اول	برای فناوری مربوطه هیچ‌یک از سطوح وضعیت فناوری برقرار نیست.	×	×	×	×	×
حالت دوم	مدل خطی توسعه فناوری که در آن برای فناوری مربوطه، تنها سطح مطالعات علمی برقرار بوده (پشت سر گذاشته‌شده) و سایر سطوح پشتیبانی نمی‌شود.	✓	×	×	×	×
حالت سوم	مدل خطی توسعه فناوری که در آن سطح مطالعات علمی و توسعه فناوری در آزمایشگاه انجام‌شده، اما توسعه محصول، تجاری‌سازی و توسعه بازار برقرار نیست (پشت سر گذاشته نشده است).	✓	✓	×	×	×
حالت چهارم	مدل خطی توسعه فناوری که در آن، سطح مطالعات علمی، توسعه فناوری و توسعه محصول برقرار است (پشت سر گذاشته شده است).	✓	✓	✓	×	×
حالت پنجم	مدل خطی توسعه فناوری که در آن سطح مطالعات علمی، توسعه فناوری، توسعه محصول و تجاری‌سازی برقرار است (پشت سر گذاشته شده است).	✓	✓	✓	✓	×
حالت ششم	فناوری مربوطه تجاری شده و تمامی سطوح وضعیت فناوری شامل مطالعات علمی، توسعه فناوری و محصول و توسعه بازار برقرار است (پشت سر گذاشته شده است).	✓	✓	✓	✓	✓
حالت هفتم	فناوری در آزمایشگاه مطالعه شده و توسعه محصول و تجاری‌سازی آن رخ داده است؛ اما سطح مطالعات علمی در مورد آن برقرار نیست (پشت سر گذاشته نشده است). در این حالت انتقال فناوری همراه با مطالعات آزمایشگاهی رخ داده است.	×	✓	✓	✓	×

حالت هشتم	در این حالت انتقال فناوری رخ داده است و مطالعاتی علمی و آزمایشگاهی برقرار نیست (پشت سر گذاشته نشده است).	×	×	✓	×	×
حالت نهم	توسعه فناوری و محصول با مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی و اثبات در مأموریت‌های عملیاتی انجام‌شده؛ اما تجاری‌سازی رخ نداده است. به‌علاوه سطح مطالعات علمی پشت سر گذاشته نشده است. برای مثال در این حالت فناوری از طریق مهندسی معکوس به‌دست‌آمده است.	×	✓	✓	×	×
حالت دهم	در ابتدا فناوری از طریق مهندسی معکوس یا انتقال فناوری به‌دست‌آمده و پس از مطالعه در آزمایشگاه با انجام تغییراتی شخصی‌سازی شده و بحث‌های تجاری‌سازی و توسعه بازار آن انجام شده است. در این حالت سطح مطالعات علمی برقرار نیست (پشت سر گذاشته نشده است).	×	✓	✓	✓	✓
حالت یازدهم	انتقال فناوری همراه با تجاری‌سازی آن رخ داده است؛ در این حالت مطالعات علمی و آزمایشگاهی رخ نداده است.	×	×	✓	✓	×

منابع

خلیل، طارق (۱۳۸۵). *مدیریت تکنولوژی، رمز موفقیت در رقابت و خلق ثروت*، ترجمه سیدمحمد اعرابی و داود ایزدی، تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی.

سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر استرالیا، ۲۰۱۴.

گزارش GII سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ گزارش بر اساس شاخص جهانی نوآوری (Global Innovation Index) در سال‌های (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸).

میسنر، درک، لئوید گوکبرگ و الکساندر سوکولوف (۱۳۹۵). *سیاست‌گذاری علم، فناوری و نوآوری در آینده؛ ظرفیت‌ها و محدودیت‌های مطالعات آینده‌نگاری*، ترجمه: عین‌الله کشاورز ترک و مهدی نیکویه، تهران: مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور.

نامداریان، لیلا و علیرضا حسن‌زاده (۱۳۹۵). *آینده‌نگاری علم و فناوری و اثرات آن در سیاست‌گذاری*، تهران: چاپار.

Agriculture in Sweden - stories of the future (2017). *Agriculture in 2030 – Stories Of the Future*, SLU.

Bruinsma, J. (2017). *World agriculture: towards 2015/ 2030: an FAO study*, Routledge.

chwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*, Currency.

Cosgrove, C. E. & Cosgrove, W. J. (2012). *The Dynamics of Global Water Futures: Drving Forces 2011-2050, Report on the Findings of Phase One of the UNESCO-WWAP Water Scenarios Project to 2050*, UNESCO.

Cotteleer, M. & Sniderman, B. (2017). "The forces of change: Industry 4.0", *Deloitte Insights*, Vol.18.

DE MEYER, A. C. L. Loch, C. H. & Pich, M. T. (2002). "Managing project uncertainty: from variation to chaos", *MIT Sloan Management Review*, Vol.43, No.2, 60.

Deloitte, S. C. Vitale, J. Kelly, E. & Cathles, E. (2015). *The Future of Mobility, How Transportation Technology and Social Trends Are Creating a New Business Ecosystem*, DELOITTE.

Farming For the Future, World Bank, 2017

Five Force Transforming Transport and Logistics, PWCCEE Transport & Logistics Trend Book. 2019

Food and agricultural organization of the united nations (2002). *World Agriculture 2030: Main Findings*, FAO.

Gallopín, G. C. (2012). Global water futures 2050: Five stylized scenarios, UNESCO.

Glenn, J. C. & Florescu, E. (2016). Millennium Project Team (2016) Future Work/Technology 2050 Real-Time Delphi Study: Excerpt from the 2015-16 State of the Future Report, *Journal of Socialomics*, Vol.5, No.3, 1000171.

Government of Canad (2018).*Transformative Technologies and Jobs of the Future*, OECD.

Leigh, James (2016). *Water Tight 2.0: The Top Trends in the Global Water Sector*, DELOITTE.

Martin, C. & Leurent, H. (2017). "Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation", In *World Economic Forum*, Geneva Switzerland.

Power, Lauren (2014). "*Scarcity and Abundance: UAE Food and Water Security*", Future Directions International.

Sauser, B. J. Ramirez-Marquez, J. E. Magnaye, R. B. & Tan W. (2008). *System maturity indices for decision support in the defense acquisition process* (No.NPS-AM-08-030), STEVENS INST OF TECH HOBOKEN NJ SCHOOL OF SYSTEMS AND ENTERPRISES.

Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*, Currency.

Solutions For The Global Water Crisis, CITI, 2017

Teagasc Technology Foresight 2035, TEAGASC, 2016

Verdier, F. (2011). *MENA regional water outlook part II desalination using renewable Energy task 1– desalination potential*, Fichtner Stuttgart.