



محمود زرگر

جهت دسترسی رایگان به نسخه دیجیتال سایر کتب همین مؤلف،

برقراری ارتباط با مؤلف

یا خرید نسخه فیزیکی کتابها

به نشانی زیر مراجعه کنید:

books4smes.com

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

انقلاب صنعتی چهارم در تولید

تألیف:

محمود زرگر

سرشناسه	: زرگر، محمود، ۱۳۳۴ -
عنوان و نام پدیدآور	: انقلاب صنعتی چهارم در تولید / تألیف محمود زرگر؛ ویراستار تخصصی محمدرضا زرگر
مشخصات نشر	: تهران: ابرون، ۱۴۰۰
مشخصات ظاهری	: ۱۴۸ ص.: مصور، جدول
شابک	: 978-964-384-093-8
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۳۷ - ۱۴۸
موضوع	: انقلاب صنعتی چهارم
موضوع	: Industry 4.0
موضوع	: صنعت - نوآوری
موضوع	: Industries -- Technological innovations
شناسه افزوده	: زرگر، محمدرضا، ۱۳۶۴ - ، ویراستار
رده بندی کنگره	: ۵۹۲/۶
رده بندی دیویی	: ۶۵۸/۴۰۳۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۷۶۱۸۲۹

نام کتاب	: انقلاب صنعتی چهارم در تولید
ناشر	: انتشارات ابرون
مؤلف	: محمود زرگر
ویراستار تخصصی	: محمدرضا زرگر
چاپخانه	: چاپ دیجیتال
نوبت چاپ	: دوم، ۱۴۰۱
تیراژ	: ۵۰۰ نسخه
قیمت	: ۱۲۰,۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۳۸۴۰-۹۳-۸	ISBN: 978-964-3840-93-8
-------------------------	-------------------------

Books4SMEs.com

کلیه حقوق قانونی و شرعی برای مؤلف محفوظ است. تکثیر تماماً یا قسمتی از این اثر به صورت حروفچینی و چاپ مجدد، چاپ افست، پلی کپی، فتوکپی و انواع دیگر چاپ ممنوع است. نقل مطالب به صورت معمول در مقاله‌های تحقیقاتی با ذکر نام کامل مؤلف و کتاب آزاد است. متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست مطالب

مقدمه	۵
الزامات و فناوری‌ها در انقلاب صنعتی نسل چهارم	۶
سطح آمادگی شرکت‌ها برای ورود به انقلاب صنعتی نسل چهارم	۷
برخی توضیحات	۸
بخش اول: شناخت انقلاب صنعتی چهارم	۱۱
فصل ۱: مفاهیم و تعاریف	۱۳
پیشینه صنعت نسل چهارم	۱۴
تعریف صنعت نسل چهارم	۱۸
چشم‌انداز صنعت نسل چهارم	۲۱
اهداف صنعت نسل چهارم	۲۳
صنعت نسل چهارم از دیدگاه‌های مختلف	۲۳
تولید انبوه تا سفارشی سازی انبوه	۳۰
فرصت‌های صنعت نسل چهارم	۳۰
چالش‌های صنعت نسل چهارم	۳۱
موانع کلیدی برای دیجیتالی شدن صنعت	۳۲
تلاش‌های بین‌المللی	۳۴
فصل ۲: نوآوری در صنعت نسل چهارم	۴۱
سطح اول: نوآوری مبتنی بر فناوری	۴۲
سطح دوم: نوآوری مبتنی بر داده و هوش مصنوعی	۴۲
سطح سوم: نوآوری زیست‌فناوری	۴۸

بخش دوم: فناوری‌های توانمندساز در انقلاب صنعتی چهارم ۵۰

فصل ۳: فناوری‌های کنترل و یکپارچگی ۵۵

اینترنت اشیاء صنعتی ۵۶

یکپارچگی سامانه‌های افقی و عمودی ۶۶

فصل ۴: فناوری‌های نرم ۸۱

امنیت سایبری ۸۲

واقعیت افزوده ۸۵

شبیه‌سازی ۹۲

تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم ۹۷

رایانش ابری ۱۰۵

فصل ۵: فناوری‌های سخت ۱۱۵

تولید افزودنی / چاپ سه بعدی ۱۱۶

روبات‌های خودران / پیشرفته ۱۲۹

منابع مورد استفاده ۱۳۷

مقدمه

مدتی است که محور راهبردی هوش مصنوعی در لیست فعالیت‌های توسعه علمی کشور قرار گرفته است. هوش مصنوعی در عرصه‌های زیادی کاربرد دارد. یکی از این عرصه‌ها که هدف کتاب پیش‌روست، عرصه تولید و صنعت است. هوش مصنوعی در قالب پیش‌ران فناوری‌های پیشرفته در انقلاب صنعتی چهارم کاربردهای زیادی پیدا کرده است. با معرفی فناوری‌های نوظهور، مشخص می‌شود در تمام ابعاد انقلاب چهارم صنعتی، رد پای هوش مصنوعی به وضوح دیده می‌شود و بدون آن، پدیده انقلاب صنعتی چهارم تقریباً بی‌معنی است. به همین دلیل، ظرفیت علمی و فنی کشور در حوزه هوش مصنوعی، پاسخگوی یکی از الزامات توسعه و استقرار انقلاب صنعتی چهارم در کشور خواهد بود.

از اعلام انقلاب صنعتی نسل چهار حدود یک دهه می‌گذرد، اما با توجه به ماهیت پیشرفت علم و فناوری در عصر حاضر، می‌توان گفت به میزان ده‌ها سال پیشرفت در این پدیده رخ داده است. این نسل از انقلاب صنعتی، در پی انقلاب‌های قبلی ماهیتی کاملاً متفاوت دارد. یکی از ویژگی‌های بارز انقلاب صنعتی نسل چهار با نسل‌های قبل در پیچیدگی آن و نزدیکی به ماهیت هوش انسان است که با پیشرفت‌های روز افزون در هوش مصنوعی محقق شده است. برخلاف انقلاب‌های صنعتی قبل از این، در انقلاب صنعتی نسل چهار، پیشرفته‌ترین فناوری‌ها با تمام پیچیدگی‌ها، به انسان نزدیک شده و در یک فضا و عملیات مشترک امکان همکاری نزدیک را فراهم نموده تا به کمک هم فرآیندهای تصمیم‌گیری و اجرایی را به سرعت و دقت به طور مشترک انجام دهند.

آنچه انقلاب دوم صنعتی در پی داشت، آلودگی محیط زیست، آسیب‌های روانی و کلافه کردن مردم بود، در برخی موارد عدم اشتغال و بیکاری انبوه، گاهی هم بردگی انسان در صنعت و تولید، و امثال اینها را به همراه داشت.

در انقلاب سوم صنعتی، کمی وضعیت بهتر شد و با استفاده از دستاوردهای فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، و خودکارسازی تجهیزات و ماشین‌آلات تولید، آرامش و راحتی بیشتری به انسان داده شد و محیط زیست از آلودگی کمتری برخوردار گردید. خدمات مورد نیاز افراد جامعه در دسترس تر و فراگیر شد. مرزهای ملی در تولید و اقتصاد برداشته شد و کشورها در فرآیندهای تولید به هم نزدیک شدند و در بسیاری موارد برای یک محصول، زمینه همکاری بین شرکت‌ها از اقتصادهای مختلف فراهم گردید.

اما در انقلاب صنعتی چهارم، روندها به نفع افراد بشر در حال رخ دادن است. حفظ محیط زیست یکی از آرمانهای این تحول عظیم است. کاهش مصرف مواد اولیه و بهره‌وری بیشتر، در نتیجه بهینه‌سازی مصرف انرژی از دستاوردهای این انقلاب صنعتی خواهد بود. لازم نیست مصرف‌کننده تسلیم مشخصات و ویژگی‌های از قبل طراحی شده محصولات باشد. بلکه مصرف‌کننده اختیار دارد سلیقه و شرایط خود را حتی در مراحل طراحی محصول هم اعمال نماید. علاوه بر اینها، نقش انسان در صنعت و تولید به سمت ارزش آفرینی بیشتر و تمرکز بر عمق استعدادهای خدادادی آن پیش می‌رود.

الزامات و فناوری‌ها در انقلاب صنعتی نسل چهارم

در انقلاب صنعتی نسل چهارم، از فناوری‌های متعدد و پیچیده و ضمناً در هم تنیده زیادی استفاده می‌شود. برخی فناوری‌ها نقش محوری و برخی نقش کمک کننده دارند. برخی ابعاد توسعه در این تحول عظیم مبتنی بر فناوری‌های قبلی است و برخی متکی به مفهوم و چارچوب‌های جدید است.

فناوری‌هایی از قبیل هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، واقعیت افزوده و مجازی، قدرت پردازش رایانه‌ها، ظرفیت و سرعت شبکه‌ها را می‌توان محورهای اصلی توسعه صنعت نسل چهارم نام برد. در کنار این تحولات، فناوری‌های دیگر از قبیل حسگرهای هوشمند، ابزارهای واسطه، و مفاهیم همه جا حاضر، نیز به سرعت، به ماهیت این انقلاب صنعتی کمک کردند.

تغییرات بازار اعم از سفارشی سازی و شخصی سازی هر چه بیشتر، رقابت‌های شدید، گسترش بازارها، و تنوع محصولات هم از دیگر عوامل رویکرد شرکت‌ها به دنیای انقلاب صنعتی نسل چهارم می‌باشد. نقش مصرف‌کننده در تولید، فراتر از انتخاب‌های فعلی، بلکه دخالت تا عمق تولید و حتی طراحی محصول پیش رفته است. این ویژگی‌ها، مزیت رقابتی برخی شرکت‌ها را فراتر از رقبا پیش برده و چنانچه شرکت‌ها نتوانند در این عرصه رقابت کنند، به ناچار از بازار حذف

خواهند شد. عملاً یکی از راه‌های حفظ موقعیت و برتری در این نوع رقابت‌های جدید استفاده از فناوری‌های تولید از نوع نسل چهارم صنعتی است.

در کنار موضوع تولید که بستر اصلی و مهم پیاده سازی فناوری‌های صنعتی نسل چهارم است، خدمات نیز دچار تحولاتی شده که قبل از این به هیچ ذهنی خطور نمی کرد. اینکه محصولات بتوانند وضعیت کارکرد و نیاز به تعمیر و نگهداری خود را از راه دور به شرکت‌های پشتیبان منعکس کنند. اینکه دستگاه‌ها و ماشین‌آلات خطوط تولید، پارامترهای تنظیم، و کارکردهای خود را مطابق تغییرات در مشخصات، طراحی محصول، شرایط، و سفارش مشتری به طور هوشمند تشخیص و اصلاح نمایند، از دیگر پدیده‌های عصر انقلاب صنعتی نسل چهارم است که گرچه تجربیات پیاده سازی آنها گزارش شده اما بسیاری از این فناوری‌ها و ترکیب و یکپارچگی آنها و خدمات مرتبط هنوز در ابتدای راه توسعه و نوآوری است.

سطح آمادگی شرکت‌ها برای ورود به انقلاب صنعتی نسل چهارم

برای ورود شرکت‌ها به تحولات انقلاب صنعتی چهارم، یک سؤال مهم در خصوص سطح آمادگی برای جذب این فناوری‌ها در ذهن‌ها خطور می کند. یعنی یک شرکت در چه مرحله یا چه سطحی از آمادگی می تواند برای جذب فناوری‌های صنعت نسل چهارم برنامه ریزی کند و امید موفقیت آن و دستیابی به اهداف بیان شده در این انقلاب صنعتی را خواهد داشت.

براساس مطالعات و بررسی منابع بسیار گسترده برای تهیه این کتاب، واضح‌ترین شرایط آمادگی شرکت‌ها به طور کلی به دو زمینه پایداری و رقابت‌پذیری در آنها بستگی دارد:

- **پایدار بودن:** پایداری به این مفهوم که شرکت‌ها در سطحی از موفقیت عملیاتی و مدیریت باشند که بحران‌های مالی، مدیریتی، فنی، و نوسانات بازار و هزینه‌های تمام شده به خوبی مدیریت می شود و به سطحی از آمادگی رسیده‌اند که فناوری‌های فوق پیشرفته در معیار انقلاب صنعتی نسل چهارم را در ابعاد مطالعات اولیه، سرمایه‌گذاری، یکپارچگی آن با سایر سامانه‌ها و فناوری‌های موجود و سایر الزامات، می‌توانند مدیریت و جذب نمایند. البته چارچوب‌ها، توصیه‌ها و تجربیات متعددی برای پیاده سازی فناوری‌های صنعت نسل چهارم وجود دارد که به طور مستقل در کتاب‌های بعدی از همین مؤلف ارائه خواهد شد.

- **رقابت‌پذیری:** محصولات شرکت‌ها از نظر کیفیت و قیمت و شیوه‌های بازاریابی، در سطح رقابتی داخلی و بین‌المللی خود باشند. البته یکی از شرایط منطقی شرکت‌ها برای

ورود به صنعت نسل چهار، سطحی از کیفیت و قیمت محصولات است که در بازارهای بین‌المللی و رقابت با دیگر تولیدکننده‌ها، موفق بوده باشند. چرا که یکی از دلایل قابل قبول شرکت‌ها برای ورود به فناوری‌های صنعت نسل چهار، لزوم رقابت با دیگر شرکت‌ها در بازارهای بین‌المللی است. این به خودی خود مدیران را به سرمایه‌گذاری در این تحول دیجیتالی ترغیب خواهد نمود.

برای این مهم، کتاب «شرکت‌های کوچک و متوسط موتور رونق اقتصاد» قبل از این توسط همین مؤلف تدوین و منتشر شد. در کتاب مورد اشاره تمامی ابعاد و ظرفیت‌های یک شرکت پایدار از یک سو، و مراحل ورود به بازارهای بین‌المللی از سوی دیگر، همراه با چالش‌ها، راه‌کارها، ابزارها و اطلاعات به تفصیل ارائه شد. ضمناً، به تجربیات موفق جهانی و توصیه‌های سازمان‌های تخصصی بین‌المللی به خوبی اشاره شده است. مراحل رشد شرکت‌ها از ارتقای مدیریت عملیاتی و داخلی شرکت‌ها تا ورود به بازارهای بین‌المللی و در نهایت چشم‌انداز ورود به زیست‌بوم‌های جدید و انقلاب صنعتی نسل چهار توضیح داده شده است. در واقع می‌توان گفت، کتاب مورد اشاره مقدمه مفهومی و قابل اجرا و نمایش سطح آمادگی برای ورود به دنیای صنعتی نسل چهارم است.

برخی توضیحات

فناوری‌های صنعت نسل چهار، رویا یا واقعیت: تمام فناوری‌های بسیار پیشرفته در صنعت نسل چهار که در کتاب حاضر اشاره می‌شود از منظر علمی و فناوری به سطح کاربردی رسیده‌اند و نمونه‌های عینی آنها نیز در برخی طرح‌های پیشرفته یا شرکت‌های پیشرو اجرا شده است. اما چرا هنگام اشاره به برخی از این فناوری‌ها هنوز از فعل آینده استفاده می‌شود و این چنین به خواننده القا می‌گردد که این فناوری‌ها در رویا و فکر هستند و هنوز اجرایی نشده‌اند. دلیل آن این است که فناوری‌های مرتبط با صنعت نسل چهار باید به سطحی از فراگیری رسیده باشند که قابلیت پیاده‌سازی در خطوط تولید در شرکت‌های معمولی و موفق (لزوماً نه شرکت‌های فوق پیشرفته و پیشرو در فناوری‌ها) را پیدا کرده باشند. به عبارت دیگر، تا این فناوری‌ها اقتصادی نشده و قابل دستیابی توسط صنعتگران و شرکت‌های معمولی نباشند، نمی‌توان از موفقیت صد در صدی آنها در جذب و فراگیری صحبت کرد. به همین دلیل پیش‌بینی می‌شود فناوری‌های

¹ Ecosystem

مورد اشاره در آینده نزدیک با مقیاس‌های اقتصادی و به صرفه در اختیار کلیه شرکت‌ها در سرتاسر جهان قرار گیرند و خدمات مرتبط با آنها هم به آسانی و به صرفه در دسترس باشد.

اندازه شرکت‌ها: شرکت‌های مد نظر برای پیاده سازی فناوری‌های صنعت نسل چهار در این کتاب، فارغ از اندازه آنها بوده است. اما هر جا مطالعه یا اشاره خاصی در سطح شرکت‌های کوچک و متوسط باشد، به آنها اشاره شده است.

معرفی شرکت‌ها و محصولات خارجی: در بسیاری موارد، برای معرفی شاخص‌ها و شرکت‌های موفق و پیشرو جهانی، یا حتی برخی محصولات فناوری و نرم‌افزارهای مورد استفاده در صنعت نسل چهار، صرفاً به شرکت‌ها و محصولات خارجی اشاره شده است. این اشارات که علیرغم میل باطنی مؤلف است، تنها برای معرفی سطح، کیفیت و شاخص‌های قابل استناد می‌باشد. اما امید داریم در ویرایش‌های بعدی کتاب، از شاخص‌ها و محصولات و تجربیات داخلی کشورمان استفاده کنیم و نیازی به معرفی نمونه‌های خارجی نباشد. به همین دلیل از کلیه شرکت‌ها و متخصصین محترم داخلی کشورمان، که تجربیات پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت نسل چهار را دارند، و یا محصولاتی در این حوزه دارند دعوت می‌شود در صورت امکان اطلاعات مرتبط را برای درج در ویرایش‌های بعدی کتاب اعلام فرمایند.

منابع کتاب: ریشه اصلی مطالب این کتاب برگرفته از مطالعات انجام شده در اتحادیه اروپا در خصوص معرفی و پشتیبانی شرکت‌ها برای ورود به دنیای صنعتی نسل چهار است. برای تدوین کتاب حاضر، علاوه بر مطالعه منابع معرفی شده در طرح اتحادیه اروپا از منابع دیگری هم استفاده شده است. بنابر این از منابع بسیار زیادی برای آماده سازی کتاب حاضر استفاده شد، تا کتاب حاضر با رویکرد صرفاً «تولید» آماده چاپ گردد. اما بقیه مطالب و دستاوردهای این حجم از مطالعات تخصصی منجر به آماده سازی دو موضوع مستقل و جامع دیگر با عناوین لجستیک و پیاده سازی گردید که در آینده نزدیک منتشر خواهند شد. آنچه پیش رو دارید اولین مجموعه با هدف معرفی و آشنایی با انقلاب صنعتی نسل چهارم در بخش «تولید» است.

مخاطبین کتاب: این کتاب با هدف آشنایی و معرفی انقلاب صنعتی نسل چهار برای تمامی گروه‌های دانشگاهی، صنعتی و علاقه‌مندان در هر سطح از آگاهی تدوین شده است. سعی وافیه شده تا امانت‌داری به نحو مطلوب انجام گرفته باشد و از تمامی منابع استفاده شده، چه مستقیم و چه غیر مستقیم، نام برده شود. برای این منظور، تمام منابع این کتاب به روش علمی و به راحتی قابل شناسایی و در دسترس است.

کلمات و اصطلاحات خارجی: در کتاب حاضر از تعداد فراوانی اصطلاحات تخصصی استفاده شده که تا حد ممکن فارسی شدند و برای برخی از آنها توضیحات مختصری برای انتقال بهتر

مفهوم اصلی ارائه شده است. چنانچه نیازی به توضیح نداشته باشند، اصل اصطلاح خارجی در پانوشته همان صفحه آورده شده است. اما از آنجا که برخی مطالب ارائه شده در کتاب در نوع خود جدید هستند و یا معادل فارسی برای انتقال درست آن مفاهیم جوابگو نیست، برای انتقال درست و رسای مطالب در ترجمه، از معادل کاربردی‌تری که میان فعالان این حوزه به طور مشترک قابل درک است استفاده شد. برای مثال، کلمات Smart و Intelligent در فارسی هر دو به معنی هوشمند ترجمه شده‌اند. در حالیکه از نظر فنی، به خصوص در حوزه انقلاب صنعتی نسل چهارم، این دو کلمه دو معنای متفاوت دارند. در واقع می‌توان گفت کلمه دوم، دروازه ورود هوش مصنوعی به دنیای انقلاب صنعتی نسل چهارم است. برای انتقال درست مطلب و ضمناً حفظ اهداف فارسی‌سازی در نمونه اشاره شده، معادل فارسی «هوشمند» و «هوشیار» به ترتیب برای این دو کلمه در نظر گرفته شد و در متن کتاب توضیحات بیشتری در خصوص تفاوت این دو کلمه بیان گردید. در مواردی هم که معادل فارسی ممکن بود موضوع اصلی را منتقل نکند به ناچار از همان اصطلاح اصلی در متن کتاب استفاده شده است.

به هر حال تلاش شد تا حد ممکن در پانوشته‌ها و توضیحات اجمالی، مطالب برای خواننده روشن باشد و در عین حال خدشه‌ای به پاس داشت زبان فارسی وارد نشود. پیشاپیش به دلیل تعداد زیاد پانوشته‌ها و یا برخی نارسایی‌های احتمالی در ترجمه مطالب، از خواننده گرامی پوزش خواسته می‌شود.

ساختار مطالب کتاب: کتاب حاضر به دو بخش تقسیم شده است. در بخش اول معرفی صنعت نسل چهارم، آشنایی با مفاهیم و تعاریف آن باضافه هر آنچه می‌تواند به شناخت این تحول عظیم دیجیتالی کمک کند. در بخش دوم کتاب فناوری‌های توانمندساز در این انقلاب صنعتی با تقسیم بندی فناوری‌های کنترل و یکپارچه‌سازی، فناوری‌های نرم و فناوری‌های سخت ارائه شد تا به درک بیشتر فناوری‌ها و نقش آنها در این تحولات کمک کند.

در خاتمه لازم می‌دانم از فرزند عزیزم آقای دکتر محمدرضا زرگر که در تمام مراحل تهیه کتاب پا به پای این حقیر بودند و ضمناً در ویراستاری علمی کتاب زحمات فراوانی کشیدند تشکر کنم. همچنین از دوست بسیار عزیزم جناب آقای ابراهیم حیدرآبادیان هم که در آخرین مرحله و آماده‌سازی کتاب برای چاپ، کمک در خور توجهی نمودند تشکر نمایم.

محمود زرگر

اسفند ۱۴۰۰

Mahmood.zargar@gmail.com

بخش اول: شناخت انقلاب صنعتی چهارم

books4smes.com

فصل ۱: مفاهیم و تعاریف

تحولات دیجیتالی عمدتاً طی دهه اخیر موجب تغییرات شگرف در ابعاد مختلف زندگی انسان و جهان شد. رقابت‌های فشرده و جدید در اقتصاد، و تغییرات تقاضای مشتری منجر به ترویج پیشرفتهای فناورانه نوظهور، تحت عنوان صنعت نسل چهارم در تمام بخش‌های صنعت، تولید، و خدمات شده است. صنعت نسل چهارم با هدف استفاده بیشتر از فرصت‌ها و بهبود یکپارچه بهره‌وری در تمام زنجیره‌های ارزش از جمله منابع، تولید، و مصرف ظاهر شده و رشد مستمر و بی‌انتهای خود را به رخ کشانده است. استفاده از فرصت‌ها، بهبودها، و پیشرفت‌ها همگی در سطح بالاتری از یکپارچگی و در فرآیندهای طراحی، تولید و زنجیره‌های ارزش ریشه دوانده است. کاهش مقیاس‌های اقتصادی تولید از انبوه سازی به سمت سفارشی سازی و خدمت انبوه، به یکی از برجسته ترین نمونه‌های پاسخ به این تغییرات و فشارهای رقابتی بوده است [۱].

شرکت‌های صنعتی باید به سمت پیاده‌سازی سامانه‌های تولیدی جدید که قابل انعطاف، جابک، پاسخگو، یکپارچه و مقرون به صرفه هستند بروند تا قادر به رقابت در سطح بین‌المللی باشند. با این حال، لازم است طراحی و مهندسی فرآیندهای خود را به طور مناسب و نظام یافته، با رویکردهای ساختارمند مبتنی بر اصول، ابزارها و روش‌های ثابت در نظر داشته باشند [۲].

موج چهارم انقلاب صنعتی در پاسخ به این شرایط جدید شکل گرفته است. این موج نوظهور فناوری از حدود یک دهه پیش، تولید برپایه تحولات دیجیتالی و هوش مصنوعی را به تمام بخش‌های صنعت معرفی کرده است. آرمان اصلی این رویکرد جدید، گسترش استفاده فراگیر و متصل فناوری‌های نوین در قالب شبکه‌های یکپارچه و هوشمند بین محصولات اعم از کالا و خدمات، ماشین‌ها و انسان در سرتاسر زنجیره ارزش است. هدف غایی در رویکرد این شبکه‌ها و سامانه‌های هوشمند در تولید و خدمات مرتبط، به حداقل رساندن اختلالات و ناهماهنگی‌ها از یک سو، و افزایش کیفیت، کارآمدی و بهره‌وری از سوی دیگر است.

بر خلاف رویکردهای حذف نقش انسان در تولید و فرآیندهای آن، و جایگزینی هر چه بیشتر خودکارسازی صنعتی در تحولات پیش از این، انقلاب صنعتی نسل چهارم به دنبال آرایش جدید صنعتی و ارتقای جایگاه انسان در فعالیتهای با ارزش بالاتر، کاهش آسیبها و خطرات جانی، و بهبود کیفیت زندگی و محیط زیست می باشد.

مدلهای سازمانی جدید در دنیای مجازی، و ساختارهای بدون مرز در کسب و کار، واکنش منطقی به بهره برداری هر چه بیشتر از فرصتهای جدید کسب و کار و بازار رقابتی را فراهم کرده اند. شرکتها در عصر انقلاب صنعتی نسل چهارم، ملزم به یکپارچه سازی منابع فنی و انسانی خود برای بهبود عملکردها و بهره وری می باشند. شرکتها با استفاده از معماریهای جدید و فناوریهای انقلاب صنعتی نسل چهارم و با استفاده درست و بهینه از منابع متعدد داده و اطلاعات برای تصمیم گیریهای آگاهانه و هوشمند، قادر به بازسازی متناسب با نیازها و فرصتهای در حال تغییر شده و به بلوغ بالاتری می رسند.

پیشینه صنعت نسل چهارم

قبل از انقلاب صنعتی نسل چهارم، جهان از دیر باز تا همین اواخر، با سه انقلاب صنعتی روبرو بوده است [۳].



انقلاب اول صنعتی

در انتهای قرن هیجده میلادی

مکانیزه شدن فرآیندهای
تولید، با اختراع ماشین
بخار



انقلاب دوم صنعتی

از ابتدای قرن بیستم

اختراع برق و تولید انبوه
براساس تفکیک مهارت‌ها



انقلاب سوم صنعتی

در دهه ۱۹۷۰ میلادی

ظهور فناوری‌های اطلاعات
و الکترونیک، همراه با
خودکارسازی تولید



انقلاب چهارم صنعتی

از دهه اخیر

ظهور سامانه‌های یکپارچه
فیزیکی سایبری

انقلاب‌های صنعتی از یک نقطه در عالم شروع و به تدریج به دیگر نقاط جهان منتقل می‌شوند، با این توزیع فناوری، ضمناً قدرت‌ها هم در سرتاسر جهان دستخوش تغییرات می‌شوند. موج جدید انقلاب صنعتی با نام صنعت نسل چهار با اختصار انگلیسی I4.0 حدود یک دهه پیش در پی دیجیتالی شدن اقتصاد و جامعه ظهور کرده است. این پدیده جدید شیوه تولید را در آینده تغییر فاحش می‌دهد [۴].

مفاهیم اولیه انقلاب صنعتی چهارم ابتدا در حوزه‌های فناوری و مهندسی بود، سپس به یک مفهوم بین رشته‌ای فراگیر تبدیل شد و به حوزه‌های دیگر مانند اقتصاد، مدیریت و غیره گسترش یافت [۵].

کارخانه‌های هوشمند، یکی از ویژگی‌های کلیدی صنعت نسل چهار است. در کارخانه‌های هوشمند، دستگاه‌های خط تولید دارای قابلیت حسگری در زمان واقعی همراه با قابلیت‌های دقیق

کنترل فرآیند هستند [۶]. از این رو، کارخانه‌های هوشمند قادر به مدیریت مؤثر پیچیدگی و کمتر مستعد اختلال می‌باشند و کالاهای با بهره‌وری بسیار بیشتری تولید می‌شوند [۷].

صنعت نسل چهارم به طور بنیادی عملیات اجرایی در محیط تولید را تغییر داده و به جای تمرکز بر برنامه‌ریزی مبتنی بر پیش‌بینی‌های سنتی در محیط تولید، برنامه‌ریزی آنی را محور عملیات خود قرار می‌دهند. ضمناً قابلیت‌های خود بهینه‌سازی پویا را هم به محیط برنامه‌ریزی تولید اضافه می‌کنند [۸].

به واسطه سامانه‌های تولید هوشمند در شرکت‌ها، حجم عظیمی از داده تولید می‌شود که مبنای تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌های هوشمند در تولید و سایر فعالیت‌های مرتبط می‌باشند [۶]. این داده‌ها بین انسان، ماشین، و منابع در جریان هستند و هدف اصلی این ارتباطات بهبود فرآیندهای کسب‌وکار در سرتاسر زنجیره ارزش، و بهبود کل تولید در داخل و خارج از مرزهای شرکت است.

اساساً یکی از مفاهیم تعیین‌کننده در انقلاب صنعتی نسل چهارم، کارخانه‌های هوشمند در بستر ترکیب و یکپارچگی سامانه‌های فیزیکی و سایبری است. دو محرک اصلی برای انقلاب صنعتی چهارم را می‌توان به شرح زیر توضیح داد [۹]:

محرک اول: دیجیتالی کردن فرآیندهای تولید و یکپارچگی افقی و عمودی در زنجیره‌های ارزش

یکپارچگی عمودی: در صنعت نسل چهارم، دیجیتالی کردن و یکپارچگی عمودی فرآیندها در کل سازمان، از طراحی و خرید محصول، تا تولید، لجستیک و ارائه خدمات محور اصلی تحولات آن است. در این تحولات، تمام داده‌ها در ارتباط با بهره‌وری، کیفیت، و طراحی فرآیندهای عملیاتی در زمان وقوع در دسترس قرار می‌گیرند. از این رو، فرآیندها با بکارگیری فناوری‌های نوظهور و ابتکاری در این انقلاب صنعتی پشتیبانی شده و در یک شبکه یکپارچه بهینه می‌شوند. یکپارچگی افقی: فرآیندها در یکپارچگی افقی، فراتر از عملیات داخلی، از تأمین‌کننده‌ها تا مشتریان و تمام شرکای کلیدی در زنجیره ارزش را پوشش می‌دهند. یکپارچه‌سازی افقی حداقل در برگیرنده فناوری‌های ره‌یابی و ردیابی^۱ و برنامه‌ریزی‌های یکپارچه در زمان واقعی همراه با تولید و اقدامات قبل و بعد از آن است.

^۱ Track and Trace

محرك دوم: دیجیتالی کردن محصولات و خدمات

دیجیتالی کردن محصولات شامل گسترش محصولات موجود (مثلاً با افزودن حسگرهای هوشمند یا وسایل ارتباطی) و ایجاد محصولات دیجیتالی جدید است. شرکت‌های پیشرو، محصولات خود را با ارائه راه‌حل‌های دیجیتالی پیشرفته و مخرب گسترش می‌دهند و به این شیوه محصولات نسل قبل را از بازار خارج می‌کنند. در زیست‌بوم‌های جدید، خدمات و کالاهای دیجیتالی، اغلب راه‌حل‌های کاملی را به مشتریان ارائه می‌کنند.

مفهوم صنعت نسل چهار برای اولین بار در جریان نمایشگاه هانور در سال ۲۰۱۱ معرفی شد. کارگروه انجمن پژوهشی علمی و صنعتی^۱ آلمان در همان سال گزارشی ارائه کرد که تحول صنایع سنتی به دلیل گسترش اینترنت اشیاء و تسلط داده‌ها و خدمات بر تمام عرصه‌های صنعتی را بیان می‌کرد. بعد از این گزارش، کارگروه صنعت نسل چهار تشکیل شد و وظیفه ارائه توصیه‌هایی برای پیاده‌سازی این انقلاب صنعتی را بر عهده گرفت. در سال ۲۰۱۳ گزارش نهایی این کارگروه با عنوان توصیه‌هایی برای پیاده‌سازی صنعت راهبردی نسل چهار به طور عمومی منتشر شد [۴].

صنعت نسل چهار در آلمان به صورت یک طرح ابتکاری از ۲۰۱۳ راه‌اندازی شد و هدف نهایی آن، این بود که صنایع تولیدی از ماشین‌ها، سامانه‌ها و شبکه‌های هوشمندی استفاده کنند که قادر به برقراری ارتباط شبکه‌ای با یکدیگر باشند [۶]. براساس گزارش نهایی این کارگروه، مراحل اساسی ورود به دنیای انقلاب صنعتی نسل چهار به شرح زیر توصیه شد [۲]:

- توسعه و پیاده‌سازی راهبردهای امنیتی یکپارچه در معماری و استانداردها؛
- شناسایی هویت‌های امنیتی برای محصولات، فرآیندها، و ماشین‌آلات؛
- آماده‌سازی راهبرد مهاجرت به انقلاب صنعتی نسل چهار؛
- یافتن راه‌حل‌های ایمنی و امنیت کاربر پسند؛
- اقدامات ایمنی و امنیت در سطح شرکت‌ها؛
- تضمین حفاظت از حق امتیاز محصولات و جلوگیری از سرقت آنها؛
- ارائه شیوه‌نامه‌ها و قوانین استاندارد برای محافظت از داده‌های مشترک؛
- استفاده بهینه از منابع.

¹ Industry-Science Research Alliance Working Group

البته دولت آلمان رسماً دو سیاست پیشرفت در فناوری‌های مرتبط با صنعت نسل چهار را محور توسعه ملی قرار داد:

- راهبرد اول: تولید و توسعه فناوری‌ها، ابزارها، سامانه‌ها و خدمات مرتبط با این انقلاب صنعتی است تا بتوان در این رهگذر، مراکز علمی و دانش بنیان و شرکت‌های قوی صنعتی آلمانی سهم خود را از بازار آینده ابزار و ماشین‌آلات و سامانه‌ها و فناوری‌های مرتبط به نحو چشم گیری بالا ببرند.
 - راهبرد دوم: کمک به شرکت‌ها و آماده سازی آنها در جذب و بکارگیری فناوری‌ها و راه کارهای انقلاب صنعتی نسل چهار است، تا سهم اقتصادی شرکت‌های آلمانی نسبت به رقبای آنها در دیگر کشورهای پیشرفته بسیار بیشتر باشد.
- اگر چه انقلاب صنعتی نسل چهار در سال‌های اولیه پیدایش آن، محدود به کشور آلمان بود، اما کمی بعد، سایر کشورهای اروپایی و بسیاری کشورهای پیشرفته طرح‌ها و ابتکار عمل‌های مشابهی را برای ترویج فناوری‌های صنعت نسل چهار، به اجرا گذاشتند. با نگاهی به انتشارات بین‌المللی، مشخص می‌شود که اکثر شرکت‌های بزرگ سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی برای استفاده از فناوری‌های جدید مرتبط با صنعت نسل چهار، در فرآیندهای تولید و لجستیک خود پیش‌بینی کردند. اما شرکت‌های کوچک و متوسط، به دلیل محدودیتهای منابع و تخصص، در این مسیر عقب ماندند. لیکن پیش‌بینی می‌شود در میان مدت، با انتقال نتایج تحقیقات کاربردی در صنعت، این شرکت‌ها هم قادر به مهاجرت به این تحول عظیم صنعتی باشند و از مزایای رقابت در این فناوری‌ها و نوآوری‌ها بهره‌مند گردند.

تعریف صنعت نسل چهار

- گرچه یک تعریف واحد از صنعت نسل چهار که اهل دانشگاه و مجرب‌های این رشته قبول کرده باشند در دسترس نیست، اما تعاریف زیر تا حدودی مورد قبول واقع شده‌اند:
- موسسه ارزیابی فناوری^۱: صنعت نسل چهار را به عنوان یک تغییر نظام‌مند و گسترده در نحوه انجام کارها تعریف می‌کند. براساس این تعریف، صنعت نسل چهار فقط معرفی فناوری‌های جدید و انطباق تدریجی سامانه‌های عملیاتی مانند انقلاب‌های قبلی نیست. این انقلاب صنعتی انباشت فناوری‌های جدید با درجات بالاتر بلوغ فنی و اثرات نظام‌مند و یکپارچه است [۱۰].

¹ Institute of Technology Assessment

- موسسه McKinsey : صنعت نسل چهار را به عنوان مرحله بعدی در دیجیتالی شدن بخش تولید، با چهار اختلال به شرح زیر تعریف می‌کند:
 - اختلال در حجم داده‌ها، قدرت پردازش، و اتصال؛
 - ظهور قابلیت‌های تجزیه و تحلیل و هوش تجاری^۱ و ادغام روش‌های جدید جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها. شرکت‌ها با استفاده از این قابلیت‌ها، می‌توانند داده‌های مورد نیاز برای اعمال تغییرات دقیق مطابق با شرایط و نیازهای مشتریان را جمع‌آوری کنند؛
 - ظهور شکل‌های جدید تعامل انسان با ماشین و فناوری‌های جدید از قبیل سامانه‌های واقعیت افزوده؛
 - انتقال شیوه‌نامه‌های دیجیتالی از طریق روبات‌های پیشرفته؛
 - استفاده از فناوری‌های تولید به روش افزودنی از طریق چاپگرهای سه بعدی.
- برخی صاحب نظران، صنعت نسل چهار را با نماد سامانه‌های فیزیکی سایبری، اینترنت اشیاء، اینترنت خدمات، و کارخانه هوشمند تعریف می‌کنند [۱۱]. آنها شش اصل برای شناسایی و اجرای سناریوهای صنعت نسل چهار را به شرح زیر پیشنهاد کردند:
 - تعامل پذیری سامانه‌ها و نیروی انسانی براساس ارتباطات، تبادل داده، و قابلیت‌های هماهنگی؛
 - مجازی سازی و نظارت بر فرآیندهای فیزیکی توسط منابع مجازی؛
 - تمرکز زدایی در اجزای سامانه‌ها برای کاهش مخاطرات و بهبود انعطاف‌پذیری عملیات؛
 - جمع‌آوری و پردازش داده‌ها در زمان واقعی برای تصمیمات آگاهانه و به موقع؛
 - تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم^۲ برای درک بهتر نیازهای مشتری‌ها؛
 - یکپارچگی و انعطاف‌پذیری مطابق با الزامات و نیازهای در حال تغییر.
- صنعت نسل چهار به عنوان «یکپارچگی سامانه‌های فیزیکی سایبری و اینترنت اشیاء در فرآیندهای صنعتی شناخته می‌شود. این موجب پیامدهایی برای زنجیره ارزش، مدل‌های کسب‌وکار، خدمات و محیط کار می‌شود» [۱۲].
- در تعریف دیگری، صنعت نسل چهار به عنوان یک گام در تحول عظیم تولید صنعتی، از جمله سازماندهی و مدیریت کل زنجیره ارزش تعریف شده است [۱۳].

^۱ Business-Intelligence (BI)

^۲ Big Data Analytics (BDA)

عنصر مشترک در همه این تعریف‌ها، پیوند بین سامانه‌های فیزیکی و مجازی با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای تسهیل فرآیندهای تولید است [۱۴]. با این حال، هر یک از این تعاریف بر برخی از اصول و ارزش‌های اساسی این پدیده صنعتی تأکید دارند [۱۵]:

- ارتباط متقابل بین حوزه‌های فیزیکی (سخت افزار) و سایبری (نرم‌افزار و هوش مصنوعی)؛
- شفافیت اطلاعات و تصمیم‌گیری غیر متمرکز؛
- همکاری یکپارچه بین انسان و روبات.
- ضمناً، ارزش‌های اصولی ذکر شده در این تعاریف عبارتند از:
- تجزیه و تحلیل هوشمند؛
- کارخانه هوشمند؛
- تولید هوشمند؛
- محصولات و خدمات هوشمند.

از این رو، براساس این اصول و ارزش‌ها، «صنعت نسل چهار، بستر همکاری یکپارچه از انواع فناوری‌های پیشرفته است که مجازی سازی و تجزیه و تحلیل هوشمند، تمام فرآیندهای تولید را در هم ادغام می‌کند. هدف آن درک چشم‌انداز کارخانه‌های هوشمند و هوشیار^۱ برای تولید محصولات هوشمند و ارائه خدمات هوشمند از طریق اطلاعات شفاف در زمان واقعی است» [۱۵]. با توجه به تمام این تعبیر، اما شرکت‌ها با اندازه‌های مختلف نقاط تمرکز متفاوتی در صنعت نسل چهار دارند [۱۶]:

- شرکت‌های بزرگ بیشتر روی مفاهیمی از قبیل سامانه‌های تولید چابک، ایستگاه‌های کاری متصل و دیجیتال، سامانه‌های نظارت دیجیتال (مانیتورینگ) در زمان واقعی، و تجزیه و تحلیل‌های داده‌های عظیم تمرکز دارند.
- شرکت‌های متوسط بیشتر روی مزایای صنعت نسل چهار در زمینه‌های آموزش نسل چهار، فناوری شناسایی و ردیابی، تعمیر و نگهداری قابل پیش‌بینی، و مدل‌های جریان پیوسته مواد تمرکز دارند.
- شرکت‌های کوچک تمرکز بیشتری روی نگهداری و تعمیرات قابل پیش‌بینی، نوآوری باز، فناوری‌های شناسایی و ردیابی دارند. ضمناً خدمت‌دهی و به اشتراک گذاری اقتصادی هم از دیگر اهداف این شرکت‌ها می‌باشد.

¹ Smart and Intelligent

صرف نظر از اندازه شرکت‌ها، مزایای اجرای طرح‌های صنعت نسل چهار با تمرکز بر حوزه‌های زیر به وقوع می‌پیوندد [۳، ۱۷]:

- یکپارچگی عمودی در تمام لایه‌های فرآیندهای تولید؛
- یکپارچگی افقی در تمام بخش‌های زنجیره ارزش؛
- مهندسی چرخه حیات در سرتاسر زنجیره ارزش؛
- شتاب از طریق فناوری‌های نوظهور.

چشم‌انداز صنعت نسل چهار

صنعت نسل چهار انعطاف‌پذیری و استحکام بیشتر، همراه با بالاترین استانداردهای کیفیت در فرآیندهای مهندسی، برنامه‌ریزی، تولید، عملیات و لجستیک را ارائه می‌کند. این امر منجر به ظهور زنجیره‌های ارزش پویا، بهینه‌سازی شده و خودسازماندهی در زمان واقعی می‌شود. علاوه بر اینها، معیارهای مختلف مانند هزینه، در دسترس بودن و مصرف بهینه منابع را هم تسهیل نموده است. البته اینها به یک چارچوب قانونی مناسب و فرآیندهای یکپارچه کسب‌وکار، و همچنین استانداردهای پیشرفته و واحد نیاز دارند. چشم‌اندازهای صنعت نسل چهار را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود [۳]:

- تعاملات هوشمند: ایجاد سطح جدیدی از تعاملات فنی و اجتماعی بین تمامی بازیگران و منابع درگیر در تولید، یکی از چشم‌اندازهای قابل وصول در عصر انقلاب صنعتی نسل چهار شناخته شده است. این تحول در اطراف شبکه‌های منابع تولید (از قبیل ماشین‌آلات، روبات‌ها، سامانه‌های نقاله و انبارداری و تأسیسات) سیر می‌کند و مبنای پیشرفتهایی از قبیل مستقل و خودران بودن^۱، خود کنترلی در پاسخ به موقعیت‌های مختلف، خودپیکربندی، مبتنی بر دانش بودن، مجهز به حسگر و غیر متمرکز بودن کنترل تجهیزات و دستگاه‌های خطوط تولید می‌باشد و ضمناً سامانه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت را هم در بر می‌گیرند.
- کارخانه هوشمند: کارخانه هوشمند به عنوان یکی از اجزای کلیدی چشم‌انداز صنعت نسل چهار، با مهندسی صفر تا صد، نقش اساسی در شبکه‌های ارزش بین شرکتی، فرآیندهای تولید و محصول، و دیگر عملکردها دارد و به همگرایی یکپارچه دنیای دیجیتال و فیزیکی دست می‌زنند. کارخانه‌های هوشمند، پیچیدگی فزاینده فرآیندهای

¹ Autonomous

تولید را قابل مدیریت، و به طور همزمان جذابیت، پایداری در محیط زندگی، و سودآور بودن را هم تضمین می‌کنند.

- محصولات هوشمند: محصولات هوشمند به طور بارز یکی از خروجی‌های صنعت نسل چهارم است و ممکن است در همه مراحل حتی در جریان ساخت هم قابل شناسایی باشند. محصولات هوشمند از جزئیات فرآیند تولید خودشان مطلع هستند. در برخی بخش‌های تولید، محصولات هوشمند قادر به کنترل تمام مراحل تولید هستند. علاوه بر این مشخصات، می‌توان اطمینان حاصل کرد که کالای نهایی دارای قابلیت‌های مناسب برای بهینه‌سازی عملکرد خود در جریان مصرف است. ضمناً تشخیص علائم ناپایداری محصول در طول چرخه عمر آن هم ممکن است از دیگر مشخصات محصولات هوشمند باشد. اطلاعات نحوه کارکرد محصول نزد مصرف‌کننده را می‌توان به منظور بهینه‌سازی کارخانه هوشمند از نظر لجستیک، تعمیر و نگهداری و یکپارچه‌سازی با برنامه‌های کاربردی مدیریت کسب‌وکار جمع‌آوری و از طریق شبکه‌ها به نقاط تصمیم‌گیری هدایت نمود.

- گنجاندن ویژگی‌های خاص مشتری و محصول در مراحل طراحی، پیکربندی، سفارش، برنامه ریزی، تولید، بهره برداری و بازیافت: حتی درخواست‌های لحظه آخری را می‌توان برای تغییرات بلافاصله قبل یا حتی در حین ساخت دخالت داد. این ویژگی امکان تولید اقلام یکبار تولید و مقادیر بسیار کم کالا را با سودآوری، ممکن می‌سازد.

- کنترل، تنظیم و پیکربندی شبکه‌های منابع هوشمند و مراحل تولید توسط کارکنان، بر اساس اهداف متناظر با موقعیت و زمینه: در این چشم‌انداز، کارکنان از انجام وظایف معمولی رها شده و بر فعالیت‌های خلاقانه و با ارزش افزوده بیشتر تمرکز می‌کنند. بنابر این نقش کلیدی کارکنان به ویژه در فرآیندهای تضمین کیفیت، حفظ خواهد شد. در عین حال، شرایط کاری منعطف، باعث سازگاری بیشتر بین کار و نیازهای شخصی کارکنان می‌شود.

تحقق چشم‌انداز صنعت نسل چهارم، مستلزم گسترش بیشتر زیرساخت‌های شبکه و مشخص کردن کیفیت خدمات شبکه از طریق قراردادهای سطح خدمات^۱ است. این شرایط مستلزم دسترسی به پهنای باند بالا برای برنامه‌های کاربردی متکی بر داده‌های عظیم و ارائه دهندگان خدمات برای تضمین زمان اجرا در برنامه‌های کاربردی حساس به زمان است.

^۱ Service Level Agreements (SLA)

اهداف صنعت نسل چهار

اهداف اصلی در طرح‌های پیاده سازی صنعت نسل چهار را می‌توان در سه سطح دسته بندی نمود [۱۸]:

- سطح راهبردی:
 - مدلها و خدمات جدید کسب و کار از طریق محصولات دیجیتالی؛
 - کوتاه تر شدن زمان ورود محصول به بازار، برای واکنش سریع به تقاضاهای جدید مشتری؛
 - پایداری بیشتر در برابر بی ثباتی تقاضای مشتری؛
- سطح سازمانی:
 - افزایش کیفیت کار از طریق بهبود تعادل کار و زندگی؛
 - فعالیت‌های متنوع از طریق خودکارسازی شغل‌های معمولی؛
 - محیط کاری کاربر محور از طریق تعامل نوآورانه انسان و ماشین؛
- سطح فرآیندی:
 - صرفه جویی در زمان از طریق فرآیندهای کارآمدتر و شفاف تر تولید؛
 - انعطاف پذیری بیشتر از طریق برنامه ریزی، کنترل و اجرای پویا؛
 - سودمندی بیشتر و بهره‌وری منابع برای محصولات تک؛
 - زمان کوتاه تر انجام کار از طریق استفاده از تحلیل‌های هوشمندانه؛
 - سازمان کاری مختلف از طریق کنترل و اجرای فرآیندهای سیار؛
 - بهبود کیفیت از طریق اجتناب از خطای قابل پیش بینی.

صنعت نسل چهار از دیدگاه‌های مختلف

انقلاب صنعتی نسل چهار بسیار گسترده و در عین حال پیوسته است. از دیدگاه‌های متفاوت می‌توان به این پدیده شگرف نگریست. بررسی و شناخت صنعت نسل چهار از دیدگاه‌های فناوری، هوشمندی، و زندگی انسان ورود بهتر و ملموس تری به این انقلاب صنعتی بدست خواهد آورد:

از دیدگاه فناوری

از منظر فناوری، صنعت نسل چهار به عنوان چتری تعریف می‌شود که برای توصیف گروهی از امکانات و پیشرفت‌های فناورانه استفاده می‌شود. این پیشرفت‌های فناورانه، اساسی برای دیجیتال کردن محیط کسب‌وکار است [۱۹، ۲۰].

تولید افزودنی، واقعیت‌های افزوده و مجازی، شبیه‌سازی و دوقلوهای دیجیتال، یکپارچگی افقی و عمودی، اینترنت اشیاء صنعتی، رایانش ابری و ذخیره سازی، امنیت سایبری، تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم از فناوری‌های توانمندساز در انقلاب صنعتی نسل چهار می‌باشند. در بخش دوم همین کتاب، در خصوص هر یک از این فناوری‌ها مطالب و توضیحاتی ارائه شده است.

از دیدگاه هوشمندی

از منظر هوشمندی، صنعت نسل چهار را می‌توان به عنوان یک جهش بزرگ در هوشمندتر کردن فرآیندهای تولید در نظر گرفت. از این دیدگاه، صنعت نسل چهار معمولاً به مفهوم کارخانه هوشمند شناخته می‌شود. در این دیدگاه، سامانه‌های تولیدی در حال ارتقاء به یک سطح هوشمندی مبتنی بر سامانه‌های فیزیکی سایبری متکی خواهند بود [۶، ۲۱].

فناوری‌های پیشرفته مورد استفاده در کارخانه‌های هوشمند و هوشیار^۱ به تولیدکنندگان کمک می‌کنند تا فرآیندهای انعطاف‌پذیر، هوشمند و قابل تنظیم مجدد و سازگار با پویایی بازارهای جهانی ایجاد شود [۲۲]. هدف اصلی یک کارخانه هوشمند، بهینه‌سازی فرآیندهای تولید با بهره‌گیری کامل از فناوری‌های پیشرفته اطلاعات و ساخت است. این مدل جدید تولید خودکار و متصل، در نهایت موجب ارتقای طراحی، تولید، مدیریت و یکپارچگی چرخه عمر محصولات می‌شود [۶، ۲۳].

۱. کارخانه هوشمند^۲

تولید هوشمند شکلی انقلابی از تولید مبتنی بر فناوری‌های فراگیر مانند حسگرها، ماشین‌های خودکار، سکوها، رایانش ابری، فناوری‌های ارتباطی پیشرفته، شبیه‌سازی، مدل‌سازی مبتنی بر داده‌ها و مهندسی مبتنی بر پیش‌بینی است [۲۴]. به عبارت دیگر، کارخانه هوشمند گام بعدی در دیجیتالی کردن فرآیندهای تولید است. از این رو، کارخانه‌های هوشمند هدف بسیاری از

^۱ Smart and Intelligent

^۲ Smart

شرکت‌های تولیدی است. در کارخانه‌های هوشمند، از قابلیت‌های پردازش متکی بر خدمات رایانش ابری و سامانه‌های کاملاً هوشمند و یکپارچه استفاده می‌شود. برای شناخت هر چه بیشتر مزایای اصلی کارخانه‌های هوشمند، به دو موضوع کلیدی زیر می‌توان اشاره کرد:

- غیرمتمرکز سازی کنترل و تصمیم‌گیری: یکی از ویژگی‌های اصلی سامانه‌های تولید هوشمند، فرآیندهای تصمیم‌گیری غیرمتمرکز آنهاست. این عدم تمرکز به شرکت‌ها کمک می‌کند تا تقاضای فزاینده برای سفارشی سازی انبوه را برآورده کنند [۱۷، ۲۵].
 - آگاهی نسبت به شرایط زمینه‌ای^۱ و خود تنظیمی: ماژولار بودن اجزای کارخانه هوشمند چالش‌های پیچیدگی در سفارشی سازی انبوه را حل می‌کند و ماشین‌آلات بر اساس برنامه‌های کاربردی آگاه نسبت به محتوا تنظیم می‌شوند. به عبارت دیگر، کارخانه‌های هوشمند به طور خودکار خودشان را در مقابل تغییرات محیطی اصلاح می‌کنند [۱۴].
- فناوری‌های کلیدی زیر، مبنای پیاده سازی مفهوم سامانه‌های تولید هوشمند در صنعت نسل چهار هستند [۲۴]:

- سامانه‌های فیزیکی سایبری،
 - اینترنت اشیاء،
 - رایانش ابری صنعتی،
 - هوش مصنوعی،
 - تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم.
- با توجه به ماهیت کارخانه‌های هوشمند، برخی متخصصین بر این باورند که تا زمانی که تمام بخش‌ها و عملکردها در یک خط تولید هوشمند نباشند، نمی‌توان کارخانه هوشمند را به طور کامل محقق شده دانست.

۲. کارخانه‌های هوشیار^۲ و خود بهینه ساز^۳

براساس دستاوردهای صنعت نسل چهار در سال‌های اخیر، بسیاری از دانشمندان به دنبال کشف موج انقلابی بعدی در علم تولید هستند. آنها معتقدند سطح بعدی که باید در زمینه تولید به دست آید، سامانه‌های تولید هوشیار و خودبهینه ساز است.

^۱ Context-awareness

^۲ Intelligent

این اصطلاح فراتر از هوشمند یعنی بیدار، دارای بینش، یعنی کارخانه‌هایی با قابلیت یادگیری و اصلاح تصمیمات و عملکرد قبلی خود است.

^۳ Self-Optimizing

یک کارخانه هوشمند سامانه‌ای است که قادر به استفاده از دانش قبلی است، اما یک کارخانه هوشیار، کارخانه‌ای است که به طور مستقل دانش جدید را به دست می‌آورد و آن را به منظور بهینه‌سازی مداوم خود در سامانه تولید به کار می‌گیرد. کارخانه‌های هوشیار، به طور خودکار، امکان یادگیری و ارتقای دانش قبلی را با خود به همراه دارند. سامانه کارخانه‌های هوشیار، نسخه ارتقاء یافته کارخانه‌های هوشمند است. کارخانه هوشمند اکنون در مراحل رشد و فراگیر شدن هستند در حالیکه کارخانه‌های هوشیار در مراحل ابتدایی برای جهش و فراگیر شدن می‌باشند. اتصالات و فناوری‌های مدرن در کارخانه‌های هوشمند، متعلق به دوره اول صنعت نسل چهارم به عنوان پیش‌نیازی برای کارخانه‌های هوشیار (سطح بعدی صنعت نسل چهارم) هستند. ضمناً به این فناوری‌ها، نسل ارتقاء یافته نسل چهارم (یا نسل چهارم بعلاوه) هم گفته می‌شود. این سطح جدید از صنعت نسل چهارم با چشم‌انداز کارخانه‌های هوشیار، خودآموز، و خود بهینه‌ساز در برخی مستندات به عنوان صنعت نسل پنجم هم معرفی شده است [۲۶، ۲۷].

- در صنعت نسل چهارم، بخش عظیمی از داده‌ها، با کیفیت بالا و با استفاده از حسگرها، فعال‌کننده‌ها، و دیگر فناوری‌های اینترنت اشیاء از خط تولید اخذ و جمع‌آوری می‌شوند. با یکپارچگی افقی و عمودی در کارخانه‌های هوشمند، تبادل بی‌درنگ داده در زمان واقعی از طریق فناوری‌های شبکه‌های بی‌سیم ممکن می‌شود. ضمناً این داده‌ها از طریق راه‌حل‌ها و فناوری‌های رایانش ابری نگهداری و مدیریت می‌شوند [۴، ۲۱]. شرکت‌ها با استقرار کارخانه هوشمند به جریان‌های کامل و یکپارچه اطلاعات در زمان و مکان مورد نیاز در سرتاسر زنجیره تأمین و شبکه توزیع دسترسی دارند.
- در سطح بالاتر از صنعت نسل چهارم، یا به بیان برخی صاحب‌نظران صنعت نسل پنجم، کارخانه هوشیار از اطلاعات کامل و یکپارچه برای دستیابی به هدف «خود بهینه‌سازی» در تولیدات صنعتی استفاده می‌کند. استفاده از این سطح جدید از کمیت و کیفیت داده در تولیدات صنعتی، برای نظارت و خود بهینه‌سازی، و به کارگیری راه‌حل‌های جدید و نوآورانه یک ضرورت است [۴]. فناوری‌های مخرب جدید، دستگاه‌ها و ماشین‌آلات مختلف را قادر می‌سازند تا با انسان همکاری کنند و رفتار آن‌ها را با تغییرات شرایط و الزامات بر اساس تجربیات و درس‌های آموخته شده قبلی تطبیق دهند [۲۸]. در این شاخص‌ها، روبات‌های همکار معروف به COBOT با مغز انسان در هم تنیده شده و به جای رقیب انسان به یک همکار با هوش تبدیل می‌شوند [۲۶].

¹ Actuators

در این نگاه، صنعت نسل چهار بر استفاده از حسگرها و اتصال دستگاه‌ها از طریق اینترنت اشیاء متمرکز است، در حالی که در سطح پیشرفته‌تر، بر تعامل و همکاری بین انسان و ماشین تأکید دارد [۲۹]. بیشتر فناوری‌هایی که صنعت نسل چهار پیشرفته‌تر را تشکیل می‌دهند، از سال‌ها قبل در استقرار صنعت نسل چهار معرفی شده‌اند، اما با آخرین پیشرفت‌ها در زمینه‌هایی مانند هوش مصنوعی، آنها اکنون در دسترس بخش صنعت هستند. این تحولات به تولیدکنندگان امکان می‌دهد تا به سمت سفارشی‌سازی و شخصی‌سازی بیشتر محصولات بدون توجه به آثار مقیاس تولید، حرکت کنند. کارخانه‌های هوشیار، در مسیر تحولات خود، و برای استقرار مفیدتر، ضمناً به راهبردها و مدل‌های جدید کسب‌وکار نیاز دارند.

در مسیر رشد و جذب فناوری‌های صنعت نسل چهار پیشرفته‌تر، هوش مصنوعی کلیدی‌ترین عنصر برای هوشیارسازی محیط، ابزارآلات، و ماشین‌آلات است و نقش حیاتی در سامانه‌های جدید تولید بازی می‌کند. فناوری هوش مصنوعی بدون مشارکت انسان می‌تواند فعالیت‌های یادگیری، استدلال، و در عین حال استقلال خود را داشته باشد.

مبانی نظری هوش مصنوعی سال‌ها پیش معرفی شد و ظرفیتهای بسیاری بالایی برای آن ارائه گردید که تقریباً بدون استفاده مانده بود. اما با توجه به حجم زیاد داده‌ها و افزایش قابلیت‌های پردازش رایانه‌ها در سال‌های اخیر، اکنون زمان مناسب برای استفاده کامل از ظرفیت‌های هوش مصنوعی فراهم شده است.

یکی از کاربردهای منحصر بفرد هوش مصنوعی، سامانه تولید صنعتی هوشیار^۱ است. این سامانه یکپارچگی بالاتری بین انسان و ماشین را ممکن می‌سازد و فاصله قابل توجهی با سامانه‌های تولید صنعتی سنتی دارد. در سامانه تولید صنعتی هوشیار از معماری مبتنی بر خدمت، رایانش ابری برای ارائه خدمات مشترک، قابلیت‌های سفارشی‌سازی در تمام مراحل طراحی تا تولید و توزیع، انعطاف‌پذیری، و تنظیم و تطبیق مجدد استفاده می‌شود. کارخانه فیزیکی سایبری Festo Didactic یک نمونه آموزشی از سامانه تولید صنعتی هوشیار است که خدمات تخصصی و آموزش‌های فنی را به طیف وسیعی از کاربران نهایی، شرکت‌های بزرگ، و دانشگاه‌ها، و مدارس ارائه می‌کند. این طرح، بخشی از طرح راهبردی سکوی انقلاب صنعتی چهارم در دولت آلمان است [۶].

^۱ Intelligent Manufacturing System (IMS)

با توجه به توضیحات بالا و مستندات منتشر شده در این خصوص، عناصر اصلی مفهوم صنعت نسل چهار پیشرفته تر را می توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- استفاده گسترده از روبات های همکار با انسان معروف به COBOT برای برآوردن نیازها و انتظارات در حال تغییر بازار و انعطاف پذیری بیشتر با محیط و قابلیت های انسان.
- گسترش سامانه های فیزیکی سایبری همراه با نقش بالای انسان، هوش مصنوعی، دستگاه های کنترل و هشدار در صورت بروز مشکل، و ضمناً کمک به کارکنان و مدیران اجرایی برای تصمیمات و اقدامات به موقع، دقیق، و پیشرفته.
- استفاده بهینه از هوش مصنوعی برای آموزش و درک موقعیت و شرایط فرآیندها، و تجزیه و تحلیل داده های دیگر سامانه های فعال [۳۰].

همکاری انسان و ماشین تاثیر قابل توجهی بر اقتصاد و محیط زیست خواهد داشت و ضمناً به عدم تولید زباله و تعادل زیست بوم طبیعت کمک می کند. با این توضیحات، توسعه صنعت نسل چهار منجر به همزیستی جدید بین انسان و ماشین، و تمرکز انسان روی خلاقیت و نوآوری می شود [۳۰]. وابستگی متقابل بین انسان و ماشین، به گونه ای است که ماشین ها در هنگام تصمیم گیری به انسان وابسته هستند. در مقابل، انسان زمان تصمیم گیری به تجزیه و تحلیل داده های بزرگ نیاز دارد، در این صورت انسان هم به ماشین متکی است. این همکاری یک فرصت عالی در یادگیری و راه حل های هوش مصنوعی برای درک تفکر شناختی و استفاده از آن در تصمیم گیری ها فراهم می کند [۳۱].

به طور خلاصه، گسترش کارخانه های هوشیار و خود بهینه ساز، نتایج مثبت مختلفی به همراه دارد:

- تسهیل در تمام مراحل چرخه عمر محصول به دلیل استفاده همه جانبه از حسگرهای هوشمند، تصمیم گیری تطبیقی^۱، مواد پیشرفته، دستگاه های هوشیار^۲ و تجزیه و تحلیل داده ها [۳۲]؛
- بهبود بازده تولید، کیفیت محصول، و سطح خدمات؛
- افزایش رقابت پذیری تولیدکنندگان، برای سازگاری پویا و مقابله با نوسانات بازار جهانی.

^۱ Adaptive Decision-Making

^۲ Intelligent Devices

از دیدگاه زندگی و نقش انسان

در تعریف مفهوم صنعت نسل چهار، به ویژگی‌های ارتباط و تعامل بین انسان و ماشین تاکید شده است. این ویژگی‌ها با فناوری‌هایی از قبیل اینترنت اشیاء و روبات‌های جدید کاربردی تر شده است. در انقلاب صنعتی نسل چهار، اتصال و تعامل بین انسان، ماشین و محصول در جریان ساخت، تضمین شده و تولید از یک بخش محدود و خودکار، به تاسیسات، نقش‌ها، و فرآیندهای کاملاً یکپارچه و مرتبط با یکدیگر تبدیل شده است. در این تعامل پیشرفته و فناورانه بین انسان و ماشین، ضمناً هر عنصر در زنجیره ارزش آزادانه قادر به برقراری ارتباط با دیگر عناصر می‌باشد. با ایده‌های جدید و تحقیقات پیش‌رو، بر استفاده هر چه بیشتر از فناوری‌های ارتباطی جدید جهت اطمینان از همکاری بهتر بین بازیگران مختلف تاکید شده است. در نهایت، پیشرفت تعامل انسان و ماشین منجر به اهداف و انتظارات زیر شده است:

- نفوذ هوش مصنوعی در زندگی روزمره؛
- همکاری برای افزایش ظرفیت کارکنان؛
- بازگشت انسان به جایگاه اصلی.

فدراسیون تجارت ژاپن، در سال ۲۰۱۶ از اصطلاح «جامعه نسل پنج» برای توصیف جامعه فوق هوشمند استفاده کرد [۳۳]. برخلاف صنعت نسل چهار، مفهوم جامعه نسل پنج، محدود به تولید نیست، بلکه هدف آن حل مشکلات اجتماعی با کمک فناوری‌های پیشرفته اطلاعات و ارتباطات، اینترنت اشیاء، روبات‌ها، هوش مصنوعی و واقعیت افزوده است [۴، ۲۰]. در رویکرد نقش فناوری در زندگی روزمره و فعالیت‌های انسان، پنج موج پیاپی از انقلاب‌های اجتماعی شناسایی و معرفی شد [۴]:

- جامعه نسل یک: از ابزار شکار استفاده می‌شد؛
- جامعه نسل دو: جامعه کشاورزی شکل گرفت؛
- جامعه نسل سه: جامعه صنعتی پدید آمد؛
- جامعه نسل چهار: از جامعه اطلاعاتی رو نمایی شد؛
- جامعه نسل پنج: جامعه فوق هوشمند^۱ پا به عرصه ظهور گذاشت.

در نتیجه می‌توان گفت انقلاب‌های صنعتی با دگرگونی ریشه‌ای در دنیایی که ما در آن زندگی می‌کنیم دنبال می‌شوند. این انقلاب‌ها را می‌توان به‌عنوان تغییرات مخرب در جوامع بشری در نظر گرفت، چرا که باعث از بین رفتن صنایع قدیمی و تولید صنایع جدید می‌شوند. براساس

^۱ Super-Smart Society

مشاهدات، همگرایی پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، اینترنت اشیاء، روبات‌ها، هوش مصنوعی، واقعیت افزوده، و دوقلوی دیجیتالی و بسیاری فناوری‌های هم ردیف، موجب تحولات صنعت نسل چهار به جامعه نسل پنج شده اند. بنابراین جامعه نسل پنج مفهومی کاملاً جدید و مجزا از صنعت نسل چهار نیست. اما می‌توان آن را گسترش طبیعی صنعت نسل چهار به زندگی و جامعه انسانی دانست [۴].

تولید انبوه تا سفارشی سازی انبوه

توسعه انقلاب صنعتی نسل چهار و استفاده از فناوری‌های مخرب و نوظهور، و اینترنت اشیاء پایه‌های سفارشی سازی انبوه، و شخصی سازی انبوه محصولات را مطابق نظر مشتری، امکان پذیر نموده است. در این انقلاب صنعتی، روبات‌ها و هوش انسانی شرکت‌ها را قادر می‌سازند تا محصولات سفارشی را در مقیاس‌های بزرگ تولید کنند [۳۴]. سامانه‌های فیزیکی سایبری هم امکان تولید محصولات با کیفیت بالا و منحصر بفرد که قبلاً قابل تصور نبود، را فراهم کرده اند. با توجه به رویکرد سفارشی سازی و شخصی سازی انبوه، تولیدکنندگان می‌توانند امکان انتخاب ترکیب‌های مختلفی را برای مونتاژ محصولات دلخواه به مشتریان خود هدیه کنند. این نیز یکی از توانمندی‌های ایجاد شده در نتیجه همکاری بین انسان و ماشین در تولید است، که باعث بهبود کارایی تولید و ضمناً نشانه یک محیط صنعتی سالم است [۳۴].

فرصت‌های صنعت نسل چهار

نوسانات فزاینده بازارها، تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات، خدمات شخصی شده، و شدت رقابت، به طور چشمگیری بر فرآیندهای تولید اثر گذاشته است. صنعت نسل چهار با راه‌حل‌های نو و فناورانه مسیر پاسخ به این شرایط را هموار کرده است. صنعت نسل چهار با ایجاد سامانه‌های خودآموز و تصمیم‌گیری بدون استفاده از فکر انسانی، و در مراحل پیشرفته‌تر، با همکاری و تعامل تکاملی با انسان، و با راه‌حل‌های خاص خود، فرصت‌های جدیدی پیش روی صاحبان سرمایه و شرکت‌ها قرار داده است.

سامانه‌های فیزیکی سایبری که امکان ادغام دنیای واقعی و مجازی را در زمان واقعی فراهم می‌کنند یکی از نمادهای صنعت نسل چهار است. پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت نسل چهار می‌تواند مزایای قابل توجهی را برای زنجیره ارزش تولید به همراه داشته باشد. این مزایا شامل، اما نه محدود به، بهبود بهره‌وری و کارایی، افزایش اشتراک دانش و کار، انعطاف‌پذیری و چابکی،

انطباق آسان‌تر با مقررات، تجربه بهتر مشتری، کاهش هزینه‌ها و درآمد بیشتر است [۳۵]. با در نظر گرفتن این مزایا، صنعت نسل چهارم مورد توجه دانشگاه‌ها، سازمان‌های تحقیقاتی، مشاغل و حتی دولت‌ها قرار گرفته است.

شرکت‌ها با پذیرش صنعت نسل چهارم، در موقعیت‌های مختلفی قرار دارند و بدون توجه به فاصله آنها تا صنعت نسل چهارم، فرصت‌های زیادی پیش روی آنها قرار گرفته است [۱۳]:

- شدت رقابت‌پذیری: دیجیتالی شدن صنعت، رقابت‌پذیری را افزایش داده و بر زنجیره ارزش محلی و جهانی تأثیر گذار است.
- سازگاری آسان‌تر با تغییرات بازار: صنعت نسل چهارم با ترکیب نیازها و ترجیحات مشتریان در خلق و نوآوری محصولات جدید، و انطباق فرآیندهای تولید با این نیازها و تغییرات، «فشار به سمت بازار» را به «کشش از سمت مشتری» تبدیل نموده است.
- کاهش مخاطرات و مشکلات: یکپارچه‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها به بهبود نظارت و کنترل کمک کرده و در نتیجه زمان توقف و خطاها را کاهش می‌دهد. ضمناً امنیت سایبری هم موجب کاهش مخاطرات دستکاری و دسترسی غیر مجاز به اطلاعات و داده‌ها خواهد شد.
- بهبود عملکرد کارکنان: سرمایه‌گذاری روی آموزش کارکنان و همچنین توسعه زیرساخت‌های مناسب، اگرچه در بیشتر موارد اجباری است، اما به عنوان فرصتی برای بهبود عملکردها تلقی می‌گردد.
- کاهش زمان و هزینه در تولید: بکارگیری حسگرهای هوشمند، چاپگرهای سه بعدی، و دیگر فناوری‌های جدید و پیشرفته، موجب شتاب تحولات در صنعت نسل چهارم شده و امکان طراحی و تولید نمونه‌های اولیه بر مبنای ایده‌های نو و ابتکاری، آزمایشات سریع هر نوع تغییر، و تطبیق با شرایط و الزامات تولید را در زمان و با هزینه بسیاری کمتری فراهم نموده است.

چالش‌های صنعت نسل چهارم

در بین چالش‌های اصلی در پیاده سازی و استفاده از فناوری‌های پیشرفته صنعت نسل چهارم، علاوه بر امنیت که چالش اصلی در تمام فناوری‌های صنعت نسل چهارم است، استانداردهای تبادل داده و درک یکسان داده‌ها از منابع مختلف بسیار حائز اهمیت است [۲۵]:

- امنیت سایبری: با توسعه فناوری‌ها و ارتباط عوامل انسانی، ماشین‌آلات، فرآیندها، مهندسی و فناوری‌ها، مخاطرات نفوذ و دستبرد اطلاعات و دسترسی‌های غیر مجاز

چالش بزرگتری نسبت به مقوله امنیت در قبل از این شده است. نفوذ غیر مجاز و خرابکارانه در سامانه ها، نه تنها موجب خسارت های ناشی از نابودی اطلاعات بلکه ممکن است موجب خروج فرآیندها از مسیرهای طراحی شده و اصلی آنها شود و خسارت های مالی و ناکارآمدی محصولات و خدمات را در پی داشته باشد.

- چالش های تبادل داده: زمانی با این چالش روبرو می شویم که ممکن است یک بازیگر مؤثر، ابزار یا استاندارد مناسبی برای ارسال یا دریافت داده در اختیار نداشته باشد. علاوه بر این ممکن است یک بازیگر مؤثر در دسترسی به محتوای فایل های داده پس از دریافت آنها با مشکل مواجه شود.
- چالش های درک اطلاعات تبادل شده: وقتی داده تبادل شد، باید اطمینان حاصل شود که بازیگران درک متقابل و یکسانی از داده ها دارند. در حقیقت، تنوع بازیگران و زمینه های تخصصی آنها، و همچنین تفاوت در زبان و مدل ها، یکی بودن معنا و درک را پیچیده تر می کند.

موانع کلیدی برای دیجیتالی شدن صنعت

همانطور که در نمودار زیر نشان داده شده، نبود تعامل پذیری و استانداردهای مرتبط، یکی از بارزترین موانع کلیدی برای توسعه فناوری های صنعت نسل چهارم است. یکپارچه سازی و خدمات تعامل پذیری به روش سنتی، اغلب انعطاف ناپذیر بوده و سازگاری با الزامات پویا هم در آنها دشوار است. این مشکل با تکیه بر استانداردهای پذیرفته شده بین المللی برای تبادل داده قابل حل است. نمونه های زیر را می توان به عنوان استانداردهای تبادل داده معتبر شناخت: STEP¹، ebXML³، EDI/EDIFACT² و UBL⁴.

¹ ISO 10303-1:1994 Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 1: Overview and fundamental principles

² ISO 9735: 1988 and ISO 9735-1:2002

³ ISO 15000-5:2014

⁴ ISO/IEC 19845:2015

موانع کلیدی برای دیجیتالی شدن	درصد اهمیت
نبود تعامل پذیری یا استاندارد معتبر تبادل داده	۶۵
ملاحظات امنیتی	۶۴
نرخ برگشت سرمایه نا مطمئن	۵۲
تجهیزات سنتی	۳۸
عدم بلوغ فناوری	۲۴
ملاحظات حرمانگی	۱۹
نبود کارکنان متخصص	۱۵
ملاحظات اجتماعی	۳

علاوه بر موارد فوق، حفظ حریم خصوصی و امنیت، به کار بیشتری نیاز دارد. یکی از فناوری‌هایی که هم اکنون به عنوان راه‌حل مطلوب شناخته شده، فناوری زنجیره بلوکی^۱ است. با استفاده از زنجیره بلوکی، ثبت تراکنش‌ها یا هر تعامل دیجیتالی به صورت غیر متمرکز با ویژگی امن، شفاف، بسیار مقاوم در برابر قطعی، ضمناً قابل بازرسی و کارآمد است. این قابلیت‌ها ناشی از ویژگی‌های قابلیت اطمینان و در دسترس بودن، شفافیت، تغییرناپذیری، و برگشت ناپذیری در این فناوری است [۲۵].

از آنجا که شرکت‌های خرد، کوچک، و متوسط، معمولاً در شرایط سنتی، از فناوری بالایی برخوردار نیستند، الزاماً به یک رویکرد مناسب برای بهره‌برداری از مزایای صنعت نسل چهار نیاز دارند. هم اکنون توجه به این نیاز، یکی از اولویت‌های مطالعاتی در بسیاری کشورها شده است. همچنین ابتکاراتی از قبیل سکوه‌های ادغام نوآوری (نوآوری باز) در صنعت نسل چهار ویژه شرکت‌های کوچک و متوسط یکی از راه‌حل‌ها است. اولویت‌های چنین سکوهایی برای شرکت‌های کوچک و متوسط، شامل موارد زیر است:

- بهبود محصولات و خدمات، و کاهش هزینه‌ها؛
- مدیریت عملیات به روشی کارآمدتر؛
- بهبود موقعیت رقابت پذیری.

¹ Blockchain: [https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain_\(database\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain_(database))

ارزش مزایای بالقوه صنعت نسل چهار برای شرکت‌های کوچک و متوسط را می‌توان در ابعاد زیر دسته‌بندی نمود.

نوع هزینه	دامنه صرفه جویی
انبارداری	۳۰ تا ۴۰ درصد
تولید	۱۰ تا ۲۰ درصد
لجستیک	۱۰ تا ۲۰ درصد
پیچیدگی (تولید به روش افزودنی، سفارشی سازی تولید، ..)	۶۰ تا ۷۰ درصد
کیفیت (سفارشی سازی محصول، شخصی سازی، ..)	۱۰ تا ۲۰ درصد
تعمیر و نگهداری	۲۰ تا ۳۰ درصد

تلاش‌های بین‌المللی

اگر چه طی چند سال اولیه، انقلاب صنعتی نسل چهارم محدود به کشور آلمان بود، اما خیلی زود، سایر کشورهای پیشرفته نیز برنامه‌ها و طرح‌هایی را برای استفاده از فرصت‌های این انقلاب صنعتی آغاز نمودند. طی سال‌های اخیر برخی کشورها از جمله اتحادیه اروپا، آمریکا، آلمان، چین، ژاپن و بعد کره جنوبی، هند و برخی دیگر از کشورها شروع به سرمایه‌گذاری در فناوری‌ها، و فرآیندهای تولید و لجستیک کردند. سیاست‌گذاری در سطح ملی و تقویت اراده صاحبان کسب‌وکارها برای حضور در این انقلاب صنعتی با هدف ورود جدی به این مقوله تحول‌گرا و نو از دیگر نشانه‌های تلاش کشورهای مختلف در استفاده هر چه بیشتر از فرصت‌های انقلاب صنعتی نسل چهارم می‌باشد. دیجیتالی کردن صنایع و زنجیره‌های ارزش در سطح بین‌المللی، نیازمند تحقیقات ساختار یافته برای به فعل رساندن ظرفیت‌های بالقوه از یک سو و کمک به رفع چالش‌های آن است. در این بخش برخی از این طرح‌ها که در اروپا، آلمان، آمریکا، ژاپن، و چین اجرا شده به اختصار توضیح داده می‌شود.

اتحادیه اروپا

در اتحادیه اروپا، در سال ۲۰۱۷ طرحی به نام «صنعت نسل چهار برای شرکت‌های کوچک و متوسط»^۱ با هدف پشتیبانی تولید و لجستیک هوشمند ویژه شرکت‌های کوچک و متوسط در یک محیط «X براساس سفارش و سفارشی‌سازی انبوه» اجرا شد. این طرح مطالعاتی برای چهار سال پیش‌بینی شد اما با یک سال تاخیر در سال ۲۰۲۱ خاتمه یافت [۶]. کنسرسیوم مجری این طرح متشکل از چهار نهاد اروپایی از دانشگاه و صنعت، با همکاری چهار سازمان علمی از اروپا، آمریکا، تایلند و هند است.

حوزه‌های تحقیق، و سؤالات هر حوزه برای این ابتکار تحقیقاتی در مقیاس بزرگ، و با هدف معرفی صنعت نسل چهار با رویکرد شرکت‌های کوچک و متوسط فعال در تولید و لجستیک به شرح زیر تنظیم شد [۶]:

- شناسایی الزامات برای کاربردها و اجرای صنعت نسل چهار در شرکت‌های کوچک و متوسط فعال در حوزه‌های تولید صنعتی و لجستیک:
 - مفاهیم و فناوری‌های شناخته شده واقعی صنعت نسل چهار چیست؟
 - فرصتها و مخاطرات اصلی برای استفاده از این مفهوم در شرکت‌های کوچک و متوسط چیست؟
 - مفاهیم مختلف برای کاربرد در شرکت‌های کوچک و متوسط چقدر مرتبط هستند؟
 - الزامات خاص شرکت‌های کوچک و متوسط برای انطباق با امید بخش‌ترین مفاهیم و فناوری‌های صنعت نسل چهار کدام است؟
- ارائه مفاهیم و راهبردها برای شرکت‌های کوچک و متوسط هوشمند و هوشیار در حوزه تولید و لجستیک:
 - اشکال یا سطوح مهاجرت قابل دستیابی برای تحقق سامانه‌های تولید هوشمند و هوشیار برای «X براساس سفارش»^۲ و سفارشی‌سازی انبوه چیست؟

¹ Industry 4.0 for SMEs – Smart Manufacturing and Logistics for SMEs in an X-to-Order and Mass Customization Environment

^۲ در X براساس سفارش، X ممکن است مونتاژ (مونتاژ براساس سفارش)، ساخت (ساخت براساس سفارش)، مهندسی (مهندسی براساس ساخت) باشد. اینها انواع کلیدی برنامه ریزی زنجیره تأمین هستند، یعنی فرآیند تولید پس از سفارش آغاز می‌شود.

- چگونه خودکارسازی، فناوری‌های پیشرفته ساخت، فناوری اطلاعات و ارتباطات، و سامانه فیزیکی سایبری می‌توانند بهره‌وری شرکت‌های کوچک و متوسط را بهبود بخشند؟
- مدل‌های مناسب برای زنجیره تأمین هوشمند و ناب در لجستیک شرکت‌های کوچک و متوسط چیست؟
- پیشنهاد سازمان و مدل‌های مدیریت مناسب برای شرکت‌های کوچک و متوسط هوشمند:
 - مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه و امیدبخش برای شرکت‌های کوچک و متوسط هوشمند چیست؟
 - راهبردهای بهینه برای معرفی صنعت نسل چهارم به شرکت‌های کوچک و متوسط چیست؟
 - مدل‌های سازمانی ایده‌آل برای شرکت‌های کوچک و متوسط یا شبکه‌های هوشمند برای این شرکت‌ها چیست؟
- علاوه بر اینها، این طرح با اهداف زیر پیگیری شده است:
- اطمینان از انتقال صنعت نسل چهارم به شرکت‌های کوچک و متوسط در اتحادیه اروپا از طریق مدل‌های شاخص و سازگار؛
- حفظ و ارتقاء رقابت‌پذیری شرکت‌های کوچک و متوسط در اتحادیه اروپا؛
- تسریع انتقال صنعت نسل چهارم در اتحادیه اروپا از تحقیق به عمل؛
- حفظ رفاه جامعه اروپا با اشتغال زایی از طریق صنعت نسل چهارم؛
- افزایش به کارگیری کارشناسان و دانشمندان جوان اروپایی واجد شرایط در زمینه تحقیقات در صنعت نسل چهارم.
- ضمناً در سال‌های اخیر، اکثر کشورهای اروپایی ابتکارات و برنامه‌های ملی خود را برای کمک به گسترش صنعت نسل چهارم در منطقه راه اندازی کردند. برخی از نمونه‌های پیش‌تاز در این زمینه را می‌توان در ایتالیا^۱، سوئد^۲، اتریش^۳، و اسپانیا^۴ پیگیری کرد [۴].

^۱ Piano Nazionale di Industria 4.0

^۲ Smart Industry - a strategy for new industrialization for Sweden

^۳ Industrie 4.0 Österreich

^۴ Industria Conectada 4.0

آلمان

طرح‌های مرتبط تحقیقاتی در آلمان عمدتاً روی اجرای فناوری‌های جدید در حوزه تولید صنعتی متمرکز است. یکی از این طرح‌ها به نام سکوی صنعت نسل چهارم^۱ به حمایت از تحقق چشم‌انداز صنعت نسل چهارم در شرکت‌های تولیدی اختصاص دارد. این سکو به شناسایی فناوری‌های مرتبط مانند حسگرهای هوشیار، شبکه‌های بی‌سیم و سامانه فیزیکی سایبری، پرداخته و به پیاده‌سازی آن‌ها در تولید صنعتی کمک می‌کند [۳۶].

علاوه بر این، با هدف استفاده گسترده از فناوری‌های جدید مانند اینترنت اشیاء یا رایانش ابری برای مدیریت تولید و ارائه قابلیت‌های ادراک اطلاعات، ارتباطات شبکه، کنترل دقیق و هماهنگی از راه دور در تجهیزات فیزیکی، تلاش‌های استاندارد سازی هسته اصلی هر یک از این طرح‌ها در کشور آلمان است [۳۶، ۳۷].

آمریکا

شرکت جنرال الکتریک برای اولین بار در سال ۲۰۱۲ مفهوم اینترنت اشیاء صنعتی را معرفی نمود. اینترنت اشیاء صنعتی تصمیم‌گیری هوشمندانه‌تر توسط انسان و ماشین را با هم امکان پذیر می‌کند [۶]. این مفهوم به عنوان شبکه‌ای از ماشین‌آلات، مواد، کارکنان و سامانه‌ها، قابلیت ذخیره کردن، تجزیه و تحلیل و تجسم داده‌های جمع‌آوری شده توسط ماشین‌ها و شبکه‌های هوشیار را برای دستیابی به هدف نهایی تصمیم‌گیری هوشمندانه و مستقل فراهم می‌کند [۳۸]. اینترنت اشیاء صنعتی در نهایت منجر به پیاده‌سازی کارخانه‌های هوشمند در صنعت نسل چهارم می‌گردد.

براساس طرح تعریف شده در جنرال الکتریک، اجزای اصلی اینترنت اشیاء صنعتی شامل تجهیزات، سامانه‌ها، و تصمیم‌گیری هوشمند است. یکپارچه‌سازی این اجزاء یک پیش شرط اساسی برای دستیابی به بالاترین ظرفیت اینترنت اشیاء صنعتی می‌باشد [۶].

معروف‌ترین سازمان آمریکایی در حوزه اینترنت اشیاء صنعتی، کنسرسیوم اینترنت اشیاء صنعتی می‌باشد. این کنسرسیوم در سال ۲۰۱۴ توسط جنرال الکتریک، سیسکو، اینتل، AT&T و آی بی ام تاسیس شد.

^۱ Plattform Industrie 4.0

هدف این کنسرسیوم شتاب در توسعه و استقرار اینترنت اشیاء صنعتی از طریق ارائه منابع، ایده‌ها و طرح‌های آزمایشی مرتبط با فناوری‌های این حوزه است. تمرکز اصلی این کنسرسیوم روی شناسایی بهترین تجربیات در زمینه اینترنت اشیاء صنعتی است.

بررسی طرح‌های مختلف در آمریکا نشان می‌دهد که جهت اصلی این ابتکارات بر جنبه‌های فناوری اطلاعات لایه بالایی، مانند رایانش ابری، تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم و فناوری‌های واقعیت مجازی تاکید دارند [۳۹].

طرح Predix یک سکوی اینترنت اشیاء صنعتی است که شرکت جنرال الکتریک برپا کرده است. یک مدل توزیع مبتنی بر خدمات خرد با معماری توزیع شده روی این سکو ارائه می‌شود. ضمناً تجزیه و تحلیل در مقیاس صنعتی برای مدیریت عملکرد دارایی‌ها و بهینه‌سازی عملیات، از طریق اتصال دستگاه‌های صنعتی به رایانش ابری را فعال کرده است [۶]. بخش‌های اصلی این سکو عبارتند از:

- نظارت بر امنیت دارایی‌های شبکه؛
- مدیریت داده‌های صنعتی؛
- تجزیه و تحلیل داده‌های صنعتی؛
- کاربردهای رایانش ابری ضمناً با دسترسی از طریق تلفن همراه.

ژاپن

به موازات ابتکار صنعت نسل چهارم در آلمان، طرح زنجیره ارزش صنعتی ژاپن^۱ در سال ۲۰۱۵ آغاز شد. بیش از ۳۰ شرکت ژاپنی از جمله فوجیتسو، نیسان، میتسوبیشی الکتریک و پاناسونیک در این طرح مشارکت دارند [۶]. این طرح بستری برای بحث در مورد تأثیرات اینترنت اشیاء و سامانه‌های متصل به هم بر روی حوزه تولید صنعتی انسان محور فراهم می‌کند [۳۶].

هدف این طرح، طراحی یک جامعه جدید، با نفوذ فناوری‌های جدید به حوزه تولید صنعتی، و ایجاد فضایی است که شرکت‌ها بتوانند به طور طبیعی با یکدیگر همکاری کنند. برای تحقق این هدف، شرکت‌های عضو IVI به طور فعال در مورد موقعیت‌های دنیای واقعی بحث می‌کنند تا به شناسایی چگونگی تغییرات تولید صنعتی با معرفی اینترنت اشیاء بپردازند و موقعیت‌های ایده‌آلی که باید دنبال شوند را تعریف کنند.

¹ Japanese Industrial Value Chain Initiative (IVI)

این طرح از یک سری اصول به شرح زیر پیروی می‌کند:

- تولید صنعتی متصل برای از بین بردن بار اضافی، ضایعات، و ناهمواری‌ها در مسیر تولید، و ایجاد زنجیره ارزش هوشمند که اساس آن خودکارسازی و توانایی انسان است؛
- تعریف یک استاندارد آسان برای ترویج مدل‌های سازگار به جای مدل‌های سخت؛
- رویکردی عمل‌گرایانه و مبتنی بر واقعیت که از شرایط فنی امروزی خطوط تولید شروع می‌شود و تا سطح بعدی پیشرفت، ادامه می‌یابد. براین اساس، ارزش هر شرکت با پیشرفت سامانه‌های تولید فیزیکی سایبری افزایش می‌یابد.

چین

راهبرد «ساخت چین ۲۰۲۵»^۱ به عنوان یک طرح ۱۰ ساله و بخشی از رویکرد ملی نوسازی و پیشرفت در مقیاس بزرگ از سال ۲۰۱۵ پایه‌گذاری شد. هدف این رویکرد، ارتقای ظرفیت تولید در سطح ملی است. عناصر اصلی راهبرد «ساخت چین ۲۰۲۵» بهبود خلاقیت، کیفیت و کارایی و توسعه سبز است [۳۶].

چین در حال برنامه‌ریزی برای ادغام کامل صنعت و فناوری اطلاعات تا سال ۲۰۲۵ است تا ظرفیت خود را برای نوآوری و دستیابی به سطوح بالای بهره‌وری در بخش تولید صنعتی بهبود بخشد. وزارت صنعت و فناوری اطلاعات (MIIT) مسئول اجرای این طرح ملی است. اهداف اصلی طرح «ساخت چین ۲۰۲۵» عبارتند از [۶]:

- افزایش ظرفیت نوآوری در تولید ملی؛
- ترویج ادغام عمیق اطلاعات و صنعتی شدن؛
- تقویت ظرفیت صنعتی پایه؛
- افزایش کیفیت برند ساخت چین؛
- ترویج تولید صنعتی سازگار با محیط زیست؛
- توانمندسازی پیشرفت در بخش‌های کلیدی؛
- تجدید ساختار در صنعت؛
- پیشرفت تولید خدمت‌گرا و صنایع خدماتی مرتبط با تولید؛
- افزایش مشارکت بین‌المللی در تولید.

¹ Made in China 2025

برای پشتیبانی از این تحول عظیم، دولت چین ضمناً طرح‌های راهبردی زیر را تعریف کرده است:

- راهنمای شورای دولتی در مورد ترویج اینترنت برتر^۱؛
 - راهنمای شورای دولتی در مورد تعمیق یکپارچگی تولید صنعتی و اینترنت؛
 - سیزدهمین برنامه پنج ساله در خصوص نوآوری علم و فناوری.
- رایانش ابری برای تولید صنعتی در چین اولین تلاش برای به واقعیت پیوستن شکل جدیدی از تولید هوشمند است. در این راستا، طرح‌هایی از قبیل دستگاه‌های کنترل عددی رایانه‌ای پیشرفته^۲، روبات‌های صنعتی، ابزارآلات هوشمند، و تولید صنعتی به روش افزودنی با حمایت دولت در دست اقدام است.
- به دنبال پیشرفت‌های صورت گرفته در تولید هوشمند در چین، زیرساخت شبکه این کشور به سطح بالاتری ارتقاء یافته که منجر به تشکیل مجموعه‌ای از شرکت‌های پیشرو در زمینه 5G، تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم و رایانش ابری شده است.
- به این ترتیب، دیجیتالی شدن برای چین، یک بستر اولیه برای جهش در اقتصاد جهانی است. با اجرای صنعت نسل چهار در چین و براساس برآوردها، بهره‌وری چین ۲۵ تا ۳۰ درصد افزایش می‌یابد و درآمد سرانه چینی‌ها با کشورهای نظیر آمریکا، آلمان و ژاپن برابری خواهد کرد [۲۱].

^۱ Internet+ Action

^۲ CNC

فصل ۲: نوآوری در صنعت نسل چهار

شاید این سؤال به ذهن خوانند خطور کند که چرا به مبحث نوآوری در صنعت نسل چهار در قالب یک فصل پرداخته می‌شود. دلیل آن این است که اصولاً پیشرفت‌های فناوری امروزی و آنچه در مقوله انقلاب صنعتی نسل چهار شاهد آن هستیم تماماً بر پایه نوآوری است و در تمام ابعاد و زوایا، آثار و نتایج نوآوری است که صنعت نسل چهار را به وجود آورده است. توضیح مستقل موضوع نوآوری در این فصل، خود یک شناخت از زاویه خاص دیگری است که به اهداف فصل اول کتاب یعنی شناخت هر چه بیشتر صنعت نسل چهار کمک می‌کند.

نوآوری هم مانند سایر زمینه‌ها در صنعت نسل چهار، مرز مشخصی با سایر زمینه‌ها ندارد و در لابلای سایر موضوعات، رد پای آن به خوبی قابل مشاهده است. مشخصه عدم مرز شفاف، برای سایر زمینه‌های علمی و فناوری در انقلاب صنعتی نسل چهار نیز صادق است. به عبارت روشن‌تر، فناوری‌ها و کاربرد علوم مختلف در انقلاب صنعتی نسل چهار، هیچکدام مرز مشخص و جداگانه‌ای نسبت به هم ندارند. تمام فناوری‌ها و علوم در این نسل از تحولات صنعتی، هم‌پوشانی دارند و با هم به طور عمیق ادغام شده‌اند تا یک کاربرد خاص را انجام دهند. با این شناخت، نوآوری به عنوان موتور محرک قوی در توسعه و خلق فناوری‌های انقلاب صنعتی نسل چهار نقش اساسی دارد. به همین دلیل، برای شناخت این فناوری‌ها و علوم ناچار به ورود از زوایای مختلف هستیم که نوآوری هم یکی از این زوایای شناخت می‌باشد.

باز به دلیل همین هم‌پوشانی‌ها است که در معرفی فناوری‌های صنعت نسل چهار، برخی مطالب در فصل‌های مختلف تکرار می‌شوند. برای مثال، موضوع کارخانه‌های هوشمند یا هوش مصنوعی که در فصل اول به آنها اشاره شد، در این فصل هم اشاره می‌شود. با این تفاوت که در هر فصل به یک زاویه از موضوعات مهم اشاره شده است.

همانطور که از مباحث فصل یک می‌توان برداشت کرد، فناوری‌های جدید به طور قابل توجهی بر مدل‌ها، رویکردها و مفاهیم غالب بخش تولید تأثیر می‌گذارند و نوآوری‌های جدیدی را به

ارمغان می‌آورند [۶]. به منظور بررسی نوآوری‌ها، می‌توان آنها را به سه سطح نوآوری مبتنی بر فناوری، نوآوری مبتنی بر داده و هوش مصنوعی، و نوآوری مبتنی بر زیست فناوری دسته‌بندی کرد.

در فصل اول ضمن ارائه مفاهیم و تعاریف صنعت نسل چهارم، به دو دسته اول نوآوری اشاراتی شد. اما دسته سوم که نوآوری مبتنی بر زیست فناوری است در نوع خود و در عرصه صنعت کاملاً جدید و برای ما تا قبل از این ناشناخته بود. به عبارت دیگر، شناخت ما از سطح اول بسیار بیشتر از سطح دو است و در مقابل شناخت ما از دسته سوم نوآوری بسیار کمتر از دو دسته دیگر است.

سطح اول: نوآوری مبتنی بر فناوری

سطح اول نوآوری در صنعت نسل چهارم عمدتاً روی فناوری‌های نوظهور متمرکز و هدایت می‌شود. این فناوری‌ها پیش‌نیاز ارتقاء به سطح بعدی صنعت نسل چهارم هستند. استفاده اساسی از فناوری‌ها در این مرحله کمک به ایجاد، ذخیره، حفاظت، تبادل، پردازش، تجزیه و تحلیل و تجسم اطلاعات یا داده‌های ساده و فرصت‌سازی برای تعامل انسان با دنیای مجازی است [۴]. هدف اصلی صنعت نسل چهارم در این سطح، ایجاد کارخانه‌های هوشمند است که قادر به جمع‌آوری و پردازش حجم عظیم داده‌ها از سامانه‌های تولیدی در زمان واقعی، برای تولید کارآمدتر و ارائه محصولات دقیقاً شخصی‌شده و سفارشی‌شده می‌باشد [۴۰].

سطح دوم: نوآوری مبتنی بر داده و هوش مصنوعی

تمرکز اصلی سطح اول نوآوری، فناوری‌ها با هدف تولید داده‌های با کیفیت بالاتر و مدیریت کارآمدتر آنها است. اما سطح دوم نوآوری مبتنی بر داده بیشتر و هدف آن هوش مصنوعی است [۴]. هدف در سطح دوم، تحقق چشم‌انداز صنعت نسل چهارم با تجهیز تولید صنعتی با قابلیت‌های هوشیاری و خودبهینه‌سازی از طریق استفاده از آخرین پیشرفت‌ها در هوش مصنوعی است [۳]. در این چشم‌انداز، انسان و ماشین به طور مشترک در محیط‌های صنعتی کار می‌کنند و ماشین‌ها به انسان کمک می‌کنند تا کار خود را انجام دهد. برای این همکاری، ماشین‌ها از فناوری‌هایی مانند تشخیص گفتار، بینایی رایانه‌ای، یادگیری ماشینی و غیره استفاده می‌کنند [۴۱]. این تعامل و همکاری در سطح هوشیاری، به تدریج منجر به تولید صنعتی هوشیار خواهد شد [۶].

سامانه تولید هوشیار و خود بهینه‌ساز، بر استفاده از هوش مصنوعی شامل یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق متکی است. انتظار می‌رود طرح‌های کاربرد هوش مصنوعی در تحقیقات مرتبط با تولید در سال‌های آینده برجسته تر باشند [۴].

هوش مصنوعی یک برنامه مبتنی بر دانش است که در ماشین‌هایی ایجاد شده که برای تقلید از توانایی استدلال انسان طراحی شده‌اند [۴۲]. در سال‌های اخیر، هوش مصنوعی در زمینه‌های مختلفی مانند استخراج، تعمیر و نگهداری و نظارت به کار گرفته شده است [۴۳]. کاربردهای نوظهور هوش مصنوعی مسیر صنعت نسل چهارم را تغییر داده است. این کاربردها شامل، اما نه محدود به گفتار و تشخیص چهره انسان، تفسیر داده‌های پیچیده و غیره است [۴۴]. هوش مصنوعی امکاناتی را برای کمک به انسان در خطوط تولید به ارمغان می‌آورد.

برخی کاربردهای مورد انتظار از هوش مصنوعی در حوزه تولید، طراحی مهندسی خودکار، پیکربندی مجدد سامانه‌های تولید، برنامه‌ریزی تولید، تعمیر و نگهداری قابل پیش‌بینی، بازرسی کیفیت و مدیریت زنجیره تأمین است. به عبارت دیگر، استفاده گسترده از راه‌حل‌های هوش مصنوعی در تولید صنعتی، این سامانه‌ها را قادر می‌سازد تا به چشم‌انداز خودآگاهی، پیش‌بینی و خودبهینه‌سازی دست یابند [۴۵].

در این مسیر، هوش مصنوعی با سایر فناوری‌های پیشرفته مانند داده‌های عظیم و رایانش ابری ادغام می‌شود تا سامانه‌های تولید را به راحتی و کارآمدی، قادر به انجام وظایف بسیار پیچیده و غیر قابل باور نماید [۴۳]. شرکت گوگل، SpaceX، اپل و میکروسافت از معروف‌ترین شرکت‌های جهانی فعال در حوزه توسعه هوش مصنوعی هستند [۴۴].

دامنه کاربردهای هوش مصنوعی را می‌توان با درک تفاوت بین سه اصطلاح پرکاربرد بهتر شناخت:

- هوش مصنوعی: هوش مصنوعی یک شاخه جدید از علم رایانه است که به عنوان علم و مهندسی ساخت ماشین‌های هوشیار تعریف می‌شود. سامانه‌های رایانه‌ای مجهز به هوش مصنوعی می‌توانند وظایفی را انجام دهند که معمولاً به هوش انسان نیاز است. رایج‌ترین کارهایی که توسط هوش مصنوعی انجام می‌شود شامل ادراک بصری، تشخیص گفتار و چهره، تصمیم‌گیری و ترجمه است [۴].
- یادگیری ماشینی^۱: یادگیری ماشینی زیر مجموعه هوش مصنوعی است. هدف یادگیری ماشینی، توانمندسازی سامانه‌های رایانه‌ای برای یادگیری براساس داده‌های ارائه شده و

¹ Machine Learning (ML)

همچنین داده‌هایی است که در اختیار دارند و سپس پیش‌بینی دقیق و برقراری ارتباط آسان با کارکنان در محیط تولید است [۴، ۶].

- یادگیری عمیق^۱: یادگیری عمیق سطح بعدی یادگیری ماشینی است. الگوریتم‌های یادگیری عمیق از شاخص‌های پردازش اطلاعات در مغز انسان الهام گرفته‌اند. الگوریتم‌های یادگیری عمیق از چندین لایه شبکه‌های عصبی تشکیل شده تا بتوانند داده‌های غیر ساخت‌یافته را پردازش کنند [۴۶]. تفاوت اصلی بین یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق این است که در یادگیری ماشینی به طبقه‌بندی دستی داده‌ها نیاز است، در حالیکه دستگاه‌ها در یادگیری عمیق، با پردازش داده‌های غیر ساخت‌یافته، می‌توانند وظایف خود را تشخیص و انجام دهند [۴۷].

در حقیقت، یادگیری عمیق زیرمجموعه یادگیری ماشین، و یادگیری ماشینی زیرمجموعه هوش مصنوعی است [۴، ۴۶]. به کمک این سلسله مراتب نوآوری‌های مبتنی بر هوشیاری، انسان و ماشین می‌توانند مهارت‌های مکملی را برای یکدیگر ایجاد کنند و بهره‌وری عمیق کار را بهبود بخشند. با بکارگیری ماشین‌های هوشیار در کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی در کنار انسان، موضوع ایمنی محیط کار و امنیت داده از اهمیت فوق‌العاده برخوردار است و باید در راس برنامه‌های توسعه فناوری قرار گیرند [۶].

از کارخانه هوشمند تا کارخانه هوشیار

ماشین‌های متصل در کارخانه‌های هوشمند، زمینه را برای جمع‌آوری داده‌ها و ارائه اطلاعات به سایر عناصر سامانه تولید (افراد، محصولات و غیره) فراهم می‌کنند [۴]. چشم‌انداز نهایی کارخانه هوشمند دستیابی به سامانه تولید پویا، خود بهینه‌ساز و خود سازماندهی شده به نام کارخانه هوشیار است. سامانه‌های تولید هوشیار می‌توانند با بهره‌گیری از فناوری هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی، خود را در واکنش به شرایط مختلف کنترل کنند [۳، ۴۵، ۴۸]. آنها می‌توانند فکر کنند، یاد بگیرند، به خاطر بسپارند و دانشی را که به دست آورده‌اند را به اشتراک بگذارند و به موقعیت‌های خاص واکنش نشان دهند [۲۷].

در کارخانه‌های هوشیار، کارکنان ملزم به انجام وظایف معمول تولید نخواهند بود. بنابر این، آنها ممکن است بر فعالیت‌های خلاقانه و دارای ارزش افزوده بیشتر مانند تحقیق و توسعه، طراحی

¹ Deep Learning (DL)

و بازاریابی تمرکز کنند. اگر چه، آنها همچنان نقش کلیدی نظارت و تضمین کیفیت را بعهده دارند [۳].

سامانه‌های تولید هوشیار^۱

سامانه‌های تولید هوشیار مبنایی برای استقرار فناوری‌های نوظهور پیشرفته و ایجاد فرآیندها و خدمات ارزش‌افزا در صنعت نسل چهار هستند. طراحی و توسعه این سامانه‌ها، مستلزم همکاری در سطح بالا بین گروه‌های بزرگی از شرکت‌ها و صنایع است [۶]. این به دلیل کنترل مؤثر بر طیف گسترده‌ای از اشیاء در فرآیند تولید، عمدتاً متکی بر پیاده‌سازی مدل‌ها و عملکردهای تولید مشترک و مبتنی بر رایانش ابری در زمینه‌هایی مانند سامانه مدیریت منابع تولید^۲ است [۴۹]. یکی از حوزه‌های کلیدی برای توسعه آینده در زمینه سامانه‌های تولید هوشیار، خدمات کنترل غیر متمرکز است. با کنترل غیر متمرکز، هر یک از اجزاء در این سامانه تولیدی می‌تواند بر اساس شرایط فعلی تصمیمات خودسازگار بگیرد. به این ترتیب، اجزای سامانه هوشیار در یک خط مونتاژ می‌توانند با قطعات در حال حرکت و سایر اجزاء به منظور حفظ هماهنگی در تولید، همکاری کنند. این سطح از استقلال تنها از طریق استفاده از تراشه‌ها و حسگرهای تعبیه شده پیشرفته قابل دستیابی است. این فناوری‌ها امکان شناسایی خودکار اجزاء و نظارت بر تأسیسات و واحدهای تولیدی را به صورت برخط فراهم می‌کنند. با کمک دستگاه‌های خودران پیشرفته و وسایل نقلیه هدایت شونده خودکار، سامانه‌های تولید کارآمدتر و پربازده‌تر خواهند بود. سکوهاى باز برای یکپارچگی فرآیندهای تولید و خدمات مرتبط در سامانه‌های تولید هوشیار، به نفع همه شرکت‌های تولیدی، به‌ویژه شرکت‌های کوچک و متوسط خواهند بود [۶].

سامانه‌های تولید هوشیار شامل اجزای مختلفی به شرح زیر می‌باشند:

- طراحی هوشمند: با انتشار فناوری‌های جدید مانند واقعیت مجازی و واقعیت افزوده، پدیده طراحی سنتی به یک مدل هوشمند ارتقاء خواهد یافت. با کمک چاپگرهای سه بعدی و یکپارچگی آن با فناوری واقعیت افزوده، نرم‌افزارهای طراحی از قبیل CAD و CAM قادر به تعامل یکپارچه با فرآیند تولید نمونه اولیه محصول در سامانه‌های هوشمند فیزیکی خواهند بود.
- دستگاه هوشمند: در بستر صنعت نسل چهار، روبات‌های هوشمند و انواع مختلف اشیاء هوشمند به تحقق ماشین‌های هوشمند کمک می‌کنند. این ماشین‌ها قادر به حس کردن

^۱ Intelligent Manufacturing System (IMS)

^۲ ERP

و تعامل با یکدیگر در زمان واقعی هستند. به عنوان مثال، ماشین‌ابزارهای هوشمند می‌توانند انواع مختلفی از داده‌ها را جمع‌آوری کرده و آن‌ها را در زمان واقعی به یک سامانه مبتنی بر رایانش ابری ارسال کنند. بنابر این، ماشین‌ابزارهای هوشمند و خدمات مرتبط با آن‌ها می‌توانند برای ارائه راه‌حل‌های تولید هوشمند هماهنگ شوند.

- نظارت هوشمند: یکی از مهم‌ترین جنبه‌های عملیات، نگهداری و برنامه‌ریزی سامانه‌های تولیدی، نظارت است. استفاده گسترده از حسگرها و تراشه‌ها در عصر هوشمندسازی، دستیابی به نظارت هوشمند در حوزه تولید را ممکن می‌سازد. داده‌هایی از جمله دما، مصرف برق، ارتعاشات و سرعت، نمونه‌ای از این منابع داده هستند که توسط حسگرها و در زمان واقعی جمع‌آوری و تبادل می‌شوند.

- کنترل هوشمند: توسعه سامانه‌های کنترل در زمینه تولید فیزیکی سایبری، به اعمال کنترل تولید با وضوح بالا و تطبیقی کمک می‌کند. هدف کنترل هوشمند، مدیریت فیزیکی ماشین‌ها و ابزارهای هوشمند توسط یک سکوی مبتنی بر رایانش ابری است. برای مثال، کاربران می‌توانند یک دستگاه یا روبات را با استفاده از تلفن‌های هوشمند، کنترل کنند.

- برنامه ریزی هوشمند: هدف برنامه‌ریزی هوشمند، زمان‌بندی و اجرا در زمان واقعی، و قابل اعتماد است. از این رو، برنامه‌ریزی هوشمند در درجه اول بر مدل‌ها و الگوریتم‌های پیشرفته، فنون مبتنی بر داده، معماری تصمیم‌گیری پیشرفته و داده‌های اخذ شده توسط حسگرها در فرآیند تولید متکی است. [۶]

چارچوب مبتنی بر عامل^۱ برای سامانه‌های تولید هوشمند، یک راه‌حل یکپارچه مناسب برای حل مشکل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید ارائه می‌دهد. در فرآیندهای تولید، عناصر متنوعی مانند برنامه‌ریزی و زمان‌بندی فرآیند تولید، نظارت و کنترل کارگاهی، مدیریت انبار و غیره وجود دارد. چارچوب مبتنی بر عامل، امکان تعریف گردش کار تولید را فراهم می‌کند. بنابر این، فرآیند تصمیم‌گیری مؤثر مرتبط با عناصر اشاره شده را تسهیل می‌کند [۵۰]. برای مثال، از فناوری‌های چند عاملی هوشمند می‌توان برای کنترل موازی روبات‌ها استفاده کرد. این معماری مبتنی بر عامل با عوامل توزیع شده، پیاده‌سازی سامانه تولید هوشیار را تسهیل می‌کند.

قطب دیگر سامانه تولید هوشیار، راه‌حل‌های مبتنی بر رایانش ابری است که از پردازش ابری و معماری خدمت‌گرا^۲ برای گردش یکپارچه منابع و داده‌های تولیدی استفاده می‌کند. با

^۱ Agent-based framework

^۲ SOA

یکپارچگی سکوهاى مبتنى بر رایانش ابرى در سامانه تولید هوشیار، و بهره‌بردارى مؤثر از قابلیت‌ها و منابع تولید، شرکت‌ها مى‌توانند خدمات بر اساس تقاضا را به مشتریان و کاربران نهایی خود ارائه دهند [۶].

الف - چارچوب عمومى برای تولید هوشیار

با توجه به ادغام روزافزون فناوری‌های صنعت نسل چهارم در حوزه تولید صنعتی، به یک چارچوب عمومى برای پیاده‌سازی سامانه تولید هوشیار نیاز است. این چارچوب عمومى تمام حوزه‌های مورد استفاده در شرکت‌های مختلف را پوشش مى‌دهد و اجرای سامانه‌های تولید هوشیار را هدایت و استاندارد مى‌کند [۶]. این چارچوب عمومى براساس معماری سلسله‌مراتبى هوشیار بنا شده و تمام حسگرهای پیشرفته، استانداردهای ارتباطی، مدل‌ها و الگوریتم‌های پردازش داده‌های عظیم و سایر ابزارها و برنامه‌ها در اطراف این معماری قرار مى‌گیرند. ضمناً از شبکه هوشمند^۱ به عنوان زیست‌بومى برای ترکیب این مجموعه گسترده از عناصر به شیوه‌ای بسیار مؤثر طراحی و استفاده مى‌شود [۵۱].

به طور کلی، نیازهای کاربران در رابطه با فناوری‌های مبتنى بر سکو مانند اینترنت اشیاء، فناوری مجازى سازی و خدمات و اشیاء هوشمند، هزینه تولید صنعتى را افزایش مى‌دهد. اما افزایش انعطاف‌پذیری و پیکربندی مجدد سامانه‌های تولید صنعتى از طریق طراحی هوشیار، تولید، لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین، این نوع هزینه‌ها را کاهش مى‌دهند. استفاده گسترده از فناوری مبتنى بر سکوهاى مرکب در طراحی و توسعه محصولات و خدمات، زمینه را برای تولید محصولات بسیار سفارشی فراهم مى‌کند [۵۲]. این نشان مى‌دهد که مفاهیم خدمت‌گرا در تولید هوشیار عنصرى کلیدی در صنعت نسل چهارم خواهند بود [۶].

ب- مدل‌های تولید هوشیار مبتنى بر داده

به دنبال روند یکپارچه‌سازی فزاینده دستگاه‌های دیجیتال مجهز به شناسایی با امواج رادیویی و حسگرهای هوشمند در حوزه تولید، حجم زیادی از داده، تولید و جمع‌آوری خواهد شد [۵۳]. استفاده مؤثر از این داده‌ها نه تنها کارایی در تولید را بهبود مى‌بخشد، بلکه منجر به سطح بالاتری از چابکی و یکپارچگی با سایر بخش‌های زنجیره ارزش مى‌شود. برای نمونه، شرکت اینتل، برای پیش‌بینی مشکلات احتمالی کیفیت و کاهش تعداد آزمایش‌ها و در نتیجه افزایش سرعت و کارایی تولید، از رویکرد تجزیه و تحلیل داده‌های تولید شده توسط تجهیزات خطوط تولید استفاده مى‌کند [۶].

¹ Smart Grid

در آینده نزدیک، مدل‌ها و خدمات مبتنی بر داده و دانش در مقیاس‌های بزرگ در سامانه‌های تولید هوشیار استفاده خواهند شد. این مدل‌های مبتنی بر داده از داده‌های تاریخی و زمان واقعی برای تشخیص یا پیش‌آگاهی سامانه استفاده می‌کنند. اساس این مدل‌ها، یکپارچه‌سازی اطلاعات یا دانش، داده کاوی و فنون تجزیه و تحلیل است [۵۳، ۵۴]. در نتیجه این نوع پویایی در تولید، کیفیت و کارایی سامانه‌های تولیدی، به طور قابل توجهی ارتقاء می‌یابد [۶]. برای مثال، صنایع تولید نیمه هادی‌ها از یک رویکرد داده محور به عنوان بخشی از چارچوب تعمیر و نگهداری خود برای پیش‌بینی خرابی‌های بالقوه استفاده می‌کنند [۵۵].

یک حوزه کلیدی در زمینه مدل‌های تولیدی هوشیار مبتنی بر داده، یکپارچگی خدمات مبتنی بر رایانش ابری با مدیریت دانش است. هدف این سکوها ارائه خدماتی مانند طراحی و ساخت هوشیار، مدل سازی و شبیه‌سازی سامانه تولید، لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین است. اساس اولیه برای چنین سکوهایی، مقادیر زیاد داده جمع‌آوری شده از عناصر تولیدی و اشیاء مجهز به حسگرهای هوشمند است. استفاده از این امکان بی‌سابقه به مراکز عملیات کارگاهی هوشیار کمک می‌کند تا از مدل‌ها و الگوریتم‌های پیشرفته برای اطمینان از تصمیم‌گیری مؤثر در سامانه تولید صنعتی استفاده کنند [۶].

سطح سوم: نوآوری زیست‌فناوری

یکی از ویژگی‌های مشترک در اکثر سامانه‌های زیست‌فناوری انعطاف‌پذیری و مقاومت آن است. این مشخصه، سامانه‌های زیست‌فناوری را قادر می‌سازد تا عملکرد خود را در مواجهه با اختلالات داخلی و خارجی حفظ کنند [۴]. در سال‌های اخیر، افزایش قابلیت‌های فنی در زمینه‌هایی مانند پردازش اطلاعات، درک ما را از فرآیندهای زیست‌فناوری گسترش داده‌اند. بنابراین، انتظار می‌رود که روند تحولات زیست‌فناوری و فناوری اطلاعات در آینده به موازات هم رشد یابند [۵۶].

پیشرفت در رشته زیست‌فناوری را می‌توان در سه سطح به حوزه تولید صنعتی منتقل کرد [۵۷]:

- تولید با الهام از علم زیست‌شناسی: تقلید یا انتقال پدیده‌های طبیعی، به عنوان راه‌حلی برای مشکلات فنی پیچیده در سامانه‌های تولید صنعتی؛
- تولید یکپارچه زیست‌فناوری: ادغام فرآیندهای فناورانه و زیست‌شناسی در فرآیندهای ارزش آفرینی در حوزه تولید؛

• تولید هوشیار زیست‌فناوری: ترکیب سامانه‌های فنی، اطلاعاتی و زیست‌شناسی با انتقال اصولی از طبیعت به حوزه‌های کاربردی مختلف، سامانه‌های خلق ارزش قوی و خودکفا را ایجاد می‌کنند. این روند منجر به خلق قابلیت‌های جدید در استفاده از طبیعت به عنوان یک منبع لایزال خواهد شد [۴].

در زمینه تولید صنعتی، سطح سوم تحول زیست‌فناوری نشان دهنده یک شاخص نوآوری مبتنی بر آخرین فناوری‌های صنعت نسل چهار و به ویژه هوش مصنوعی است. حوزه تمرکز اصلی صنعت نسل چهار در میان زمینه‌های مختلف زیست‌فناوری، زیست‌شناسی مصنوعی است [۴۳]. زیست‌شناسی مصنوعی یک رشته مطالعاتی نوظهور است که در آن دو رشته زیست‌شناسی و مهندسی با هم ادغام می‌شوند [۵۸]. این رشته علمی بر ایجاد دستگاه‌های زیست‌شناسی مصنوعی یا موجوداتی متمرکز است که قادر به تقلید از سامانه‌های طبیعی هستند [۵۹، ۶۰]. حوزه‌های اصلی کاربرد زیست‌شناسی مصنوعی در کشاورزی و مراقبت‌های بهداشتی خواهد بود [۴۳]. در عصر صنعت نسل چهار، زیست‌شناسی مصنوعی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک برای بهبود کارایی منبع تغذیه در بسیاری از سامانه‌ها مانند روبات‌های صنعتی و خودروهای خودران استفاده خواهد شد [۶۱، ۶۲].

بخش دوم: فناوری‌های توانمندساز در انقلاب صنعتی چهارم

books4smes.com

انقلاب صنعتی نسل چهارم با رشد فناوری‌های جدید، بسیاری از فناوری‌های موجود را ادغام یا تغییر داده، و موجب تغییرات سریع و کاربردهای خارق‌العاده شده است. در این انقلاب صنعتی، فناوری‌هایی با عنوان فناوری‌های توانمندساز کلیدی و فرصت‌ساز معرفی شده است. از نگاه فرصت‌سازی، کاربرد این فناوری‌ها موجب کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت محصولات، بهبود کارایی منابع انسانی و بهره‌وری خطوط تولید، هوشمندسازی تولید و محصول، ضایعات کمتر، کاهش اشکالات و دوباره کاری‌ها، انعطاف‌پذیری در طراحی و خط تولید، سفارشی‌سازی مقرون به صرفه حتی در سطح یک واحد محصول و بسیاری مزایای دیگر شده است.

بمنظور شناخت دقیق‌تر صنعت نسل چهارم، بررسی فناوری‌ها و ارتباط آنها با هم، یک اصل غیر قابل اجتناب است. فناوری‌های توانمندساز در صنعت نسل چهارم، از منظرهای مختلف قابل بررسی و تحلیل هستند. ارتباط آنها با هم به نوآوری‌های جدیدی ختم می‌شود که از ابعاد مختلف موجب پیشرفت صنعت نسل چهارم شده است.

در یک نگاه ویژه که در یک تحقیق مستقل ارائه شد، برای معرفی فناوری‌های توانمندساز در صنعت نسل چهارم از یک جدول دو بعدی استفاده می‌شود: بعد هوشمندی و بعد مهندسی [۶۳].

بعد هوشمندی فناوری‌های صنعت نسل چهار

بررسی فناوری‌های توانمندساز نشان می‌دهد که هوش این فناوری‌ها متفاوت است، بنابراین می‌توان آنها را بر اساس سطوح هوشمند^۱ تا هوشیار^۲ طبقه بندی کرد و عبارتند از: سطح کنترل، سطح یکپارچگی و سطح هوشیار [۶۴].

سطح کنترل

در سطح کنترل از فناوری‌هایی مانند کنترل عددی رایانه‌ای، کنترل منطقی قابل برنامه‌ریزی و تجزیه و تحلیل آمار و احتمال و غیره، برای جایگزینی نیروی کار و بهینه‌سازی بازده تولید استفاده می‌شود.

سطح یکپارچگی

در سطح یکپارچگی، فناوری‌های اینترنت اشیاء صنعتی و سامانه فیزیکی سایبری قرار است در تولید مبتنی بر فناوری‌های سطح کنترل اعمال شود و محیط و شبکه‌های تولید دیجیتال را ایجاد کنند. این نه تنها ماشین‌آلات و تجهیزات تولید را به هم متصل می‌کند، بلکه ارتباط بین سامانه‌های کنترل کننده را هم برقرار می‌کند [۶۳].

داده‌ها از حسگرها، ماشین‌ها، خطوط تولید یا سامانه‌های کنترل و مدیریت تولید و همچنین از خارج از کارخانه مانند بازخورد مشتری و زنجیره تأمین دریافت می‌شوند. در این سطح اطلاعات ارزشمندتری کشف می‌شود که کمک می‌کند تا فرآیند تولید و محصول، و در نهایت خدمات ارتقاء یابند.

سطح هوشمندی

سطح هوشمندی: در این سطح، از داده‌ها یا اطلاعات به دست آمده در یکپارچه‌سازی، برای برنامه‌سازی و تصمیم‌گیری توسط فناوری‌های هوشمند مانند داده‌کاوی پیشرفته و تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ استفاده می‌شود. تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه از مزایای این سطح از هوشمندی است.

سطح هوشیاری: در این سطح، فراتر از استفاده از داده‌ها و اطلاعات بدست آمده، دستگاه‌ها ممکن است از محیط و رفتار و موقعیت‌ها هم یاد بگیرند و هوشمندانه تر عمل کنند. به این ترتیب از سامانه تولید می‌توان خودآگاهی، خود بهینه‌سازی، خودپیکربندی و غیره که از مفاهیم پیشرفته و آرمانی صنعت نسل چهار هستند، را هم انتظار داشت. اتخاذ تصمیمات هوشمندانه و به موقع، براساس خودآگاهی و شرایط، از مزایای این سطح از هوشیاری است.

¹ Smart

² Intelligent

بعد مهندسی به گستره کاربرد فناوری‌ها اشاره دارد. این بعد، ماشین‌آلات، روبات‌ها، فرآیندها، تا کارخانه را در بر می‌گیرد. البته آخرین سطح در این بعد به فراتر از خط تولید، به مشتریان، لجستیک، و منابع اشاره دارد.

بعد مهندسی فناوری‌های صنعت نسل چهارم

بررسی فناوری‌ها در بعد مهندسی نشان می‌دهد که سطح کاربرد این فناوری‌ها متفاوت است، این بعد از فناوری‌ها در صنعت نسل چهارم بر اساس سطوح پوشش آنها در یک کارخانه تولیدی طبقه‌بندی می‌شوند: سطح ماشین‌آلات و روبات‌ها، سطح فرآیندها، سطح کارخانه، و سطح بیرونی کارخانه [۶۴].

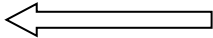
برخی فناوری‌ها از قبیل روبات‌ها و چاپگرهای سه بعدی، در همین سطح **سطح ماشین‌آلات و روبات‌ها** طراحی و اجرا می‌شوند. پیشرفت فناوری در این سطح به ارتباط و همکاری انسان با ماشین و ماشین با ماشین از یک سو، و توسعه هوشمندی تا هوشیاری از سوی دیگر ختم می‌شود.

براساس برخی مشاهدات و گزارش‌ها، صنعت نسل چهارم در همین سطح متوقف و اهداف آن از کنترل و یکپارچگی، تا هوشمندی، و هوشیاری توسعه یافته است. بهبود کنترل کیفیت، ارتقاء مدیریت فرآیندها، بهره‌وری بیشتر از مواد و تجهیزات، تا هماهنگی‌ها و تصمیمات غیر متمرکز و خودکار از دستاوردهای کاربردهای فناوری‌های صنعت نسل چهارم در این سطح است.

تمام ابعاد یک کارخانه، فراتر از ماشین‌آلات و فرآیندها، در این سطح به هم پیوند می‌خورند و منجر به نوآوری کارخانه‌های هوشمند می‌شود. توسعه یکپارچگی در فناوری‌های تولید، جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل‌ها، و کنترل‌ها، منجر به نفوذ عمیق تر فناوری‌های صنعت نسل چهارم در صنعت تولید می‌شود.

غایت یکپارچگی در پیاده‌سازی صنعت نسل چهارم، به این سطح از کاربرد ختم می‌شود و صنعت تولید را در تمام گستره آن پوشش می‌دهد. دخالت مشتری در طراحی محصول، موقعیت سنجی تجهیزات و سامانه‌ها، خودران بودن روبات‌ها براساس یافته‌ها، موقعیت، و فراگیری از محیط و شرایط، و در نهایت تولید به صرفه براساس سفارشی سازی تک محصولی را می‌توان از دستاوردهای این سطح از صنعت نسل چهارم بیان کرد.

سطح بیرونی کارخانه

 هوشمندی	 پیچیدگی			بعد هوشمندی	
	سطح ۹	سطح ۶	سطح ۳		
	سطح ۸	سطح ۵	سطح ۲		
	سطح ۷	سطح ۴	سطح ۱		
	کارخانه و فرا تر	فرآیندها	ماشین آلات	بعد مهندسی	

ترکیب بعد هوشمندی با بعد مهندسی، یک چارچوب سلسله مراتبی (شبیه شکل بالا) با نه سطح هوشمندی و مهندسی از فناوری‌های صنعت نسل چهار را ایجاد کرده است. این سطوح کاربردی از خودکارسازی ساده با کمترین هوشمندی شروع و تا پیچیده‌ترین ترکیب و نوآوری با هوشیاری سطح بالا ادامه می‌یابند.

از سطح یک تا نه، سامانه تولید به طور فزاینده‌ای خودکار، انعطاف‌پذیر و هوشیار می‌شود. به عبارت دیگر، اهداف و فناوری‌های عملی سطح بالا مبتنی بر کاربردهای سطح پایین هستند، یعنی این چارچوب به ترتیب کار می‌کند. به عنوان مثال، در سطح کارخانه، فناوری هوشیاری مبتنی بر فناوری یکپارچگی است که بر اساس فناوری خودکارسازی ساخته شده است. همچنین در سطح فناوری یکپارچگی، کاربرد سامانه‌های کارخانه سطح هوشمندی و هوشیاری، مبتنی بر فرآوری تولید براساس فناوری‌های صنعت نسل چهار در سطح ماشین‌آلات و روبات‌ها است [۶۳]. توسعه و کاربرد فناوری‌های صنعت نسل چهار در هم تنیده شده و ترکیب آنها منجر به نوآوری‌های شگرف می‌شود. شناخت این فناوری‌ها با ویژگی‌های ترکیبی آنها و هم‌پوشانی که با هم دارند بسیار سخت و در برخی موارد غیر ممکن است. اما فارغ از تحلیل ارائه شده در بالا، و مستقل از نگاه دو بعدی که اشاره شد، فناوری‌های توانمندساز در انقلاب صنعتی نسل چهار را به طور کلی می‌توان به سه دسته فناوری‌های کنترل و یکپارچگی، فناوری‌های نرم و فناوری‌های سخت تقسیم نمود.

فصل ۳: فناوری‌های کنترل و یکپارچگی

فناوری‌ها و کاربرد علوم مختلف در انقلاب صنعتی نسل چهار، هیچکدام مرز مشخص و جداگانه‌ای نسبت به هم ندارند. تمام فناوری‌ها و علوم در این نسل از تحولات صنعتی، هم‌پوشانی دارند و با هم به طور عمیق ادغام شده تا به کاربردهای خاصی دست یابند. به همین دلیل، موضوعاتی از قبیل کنترل و یکپارچگی هم فناوری شناخته می‌شود، اما هدف و کاربرد آنها با سایر فناوری‌ها در صنعت نسل چهار متفاوت است.

اینترنت اشیاء و یکپارچگی افقی و عمودی گرچه در جایگاه فناوری معرفی می‌شوند اما با بررسی مشخصات و ابعاد این دو موضوع در انقلاب صنعتی نسل چهار، بیشتر رویکردهای بنیادی دارند و سایر فناوری‌ها روی این چارچوبها یا رویکردهای بنیادی جاسازی می‌شوند. به همین دلیل در این کتاب، این دو موضوع، به خودی خود، نه به عنوان فناوری بلکه به عنوان بستر، چارچوب، یا بهتر است بگوییم رویکردهای بنیادی کنترل و یکپارچگی معرفی شده‌اند. اینترنت اشیاء که یک مفهوم قدیمی است و سال‌ها قبل از ظهور انقلاب صنعتی نسل چهار، معرفی شده بود، با تغییر رویکرد به اینترنت اشیاء صنعتی پوست اندازی کرده و با این رویکرد به یکی از چارچوب‌های توسعه صنعت نسل چهار تبدیل شده است.

حسگرها، ظرفیت‌های پردازش تعبیه شده، شبکه‌های ارتباطی، و دیگر الزامات اینترنت اشیاء، در یک معماری مهندسی شده می‌توانند صنعت را به حداکثر ظرفیت بهره‌برداری از دارایی‌ها و استفاده بهینه از منابع مختلف هدایت نمایند.

یکپارچگی افقی و عمومی، نیز بستر بکارگیری و رشد بسیاری از فناوری‌ها شده و در آن، سامانه فیزیکی سایبری به عنوان یکی از نمادهای مهم و تعیین کننده در صنعت نسل چهار، شکل می‌گیرد.

اینترنت اشیاء صنعتی	Industrial Internet of Things (IIoT)	سامانه‌های به هم پیوسته، مشاهده دقیق تولید، مدیریت بهتر موجودی، محیط کار ایمن، کاهش زمان خرابی دستگاه‌ها، و ارتقاء کیفیت
یکپارچگی افقی و عمودی	Horizontal and Vertical Integration	بهینه‌سازی زنجیره تأمین، تمایز در رقابت، بهره‌وری بالاتر، کیفیت برتر محصول، ضایعات کمتر، کاهش هزینه‌های راه اندازی، پیشگیری از خطاها و از کار افتادن ماشین‌آلات

اینترنت اشیاء صنعتی^۱

اینترنت اشیاء یا به تعبیر منطقی و معنایی، اینترنت چیزها، ارتباط دو کلمه «اینترنت» و «چیز» است. اینترنت به معنای شبکه‌ای است که اتصال «چیزها» را فراهم می‌کند و به یک شخص، یک شیء فیزیکی یا یک عامل منطقی اشاره دارد. به عبارت دیگر، آنرا می‌توان به سادگی اینگونه تعریف کرد: «اینترنت اشیاء به افراد و اشیاء اجازه می‌دهد در هر زمان، هر مکان، با هر چیز و هر کس، در حالت ایده‌آل با استفاده از هر مسیر یا شبکه و یا هر خدمت به هم متصل شوند» [۶۵]. اگرچه مفاهیم اینترنت اشیاء چندین دهه قبل از ابتکار انقلاب صنعتی نسل چهارم وجود داشت، اما اینترنت اشیاء صنعتی برای اعمال نفوذ و تحقق اینترنت اشیاء در چارچوب این انقلاب صنعتی معرفی گردیده است.

امروزه، تنها برخی حسگرهای خطوط تولید و ماشین‌آلات به هم شبکه شده‌اند و از پردازش تعبیه شده استفاده می‌کنند. آنها معمولاً در یک هرم خودکارسازی عمودی سازماندهی می‌شوند و در آن حسگرها و دستگاه‌های میدانی با کنترل‌کننده‌های هوشیار و خودکار محدود در یک سامانه کنترل فرایند تولید فراگیر تغذیه می‌شوند. اما با استفاده از اینترنت اشیاء صنعتی، دستگاه‌های بیشتری (حتی گاهی نامحدود) با ابتکار پردازش تعبیه شده در آنها مجهز شده و با استفاده از فناوری‌های استاندارد به هم متصل می‌شوند. این قابلیت به دستگاه‌های میدانی اجازه می‌دهد تا در صورت لزوم، با یکدیگر و با کنترل‌کننده‌های متمرکز ارتباط برقرار کنند و تعامل داشته باشند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری را غیرمتمرکز کرده و پاسخ‌های بلادرنگ را امکان پذیر می‌کنند [۶۶].

¹ Industrial Internet of Things (IIoT)

شرکت بوش^۱، فعال در حوزه فناوری سامانه‌های کنترل، یک واحد تولید شیرآلات را با فرآیند تولید نیمه خودکار و غیرمتمرکز تجهیز کرد. در این سامانه، محصولات با کدهای شناسایی با امواج رادیویی^۲ ردیابی می‌شوند. ایستگاه‌های کاری هم در این سامانه، مراحل تولیدی که باید برای هر محصول انجام شود را درک کرده و می‌توانند برای انجام عملیات خاص سازگار شوند [۶۶].

تولید مبتنی بر اینترنت اشیاء به یک اصل پیشرفته اشاره دارد که در آن منابع تولیدی معمول به اشیاء تولیدی هوشمند^۳ تبدیل می‌شوند و به طور خودکار قادر به حس کردن، اتصال و تعامل با یکدیگر می‌باشند و به طور سازگار وظایف تولیدی را انجام می‌دهند [۶۷]. در محیط‌های تولید مجهز به اینترنت اشیاء، ارتباطات انسان با انسان، انسان با ماشین و ماشین با ماشین برای درک هوشیار تحقق می‌یابد [۶۸]. بنابراین، استفاده بر اساس تقاضا و به اشتراک گذاری کارآمد منابع در تولید را می‌توان با استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیاء فعال کرد. اینترنت اشیاء به عنوان یک مفهوم تولیدی جدید در صنعت نسل چهارم در نظر گرفته می‌شود و از پیشرفت‌های اخیر مانند زیرساخت‌های پیشرفته فناوری اطلاعات برای جمع‌آوری و اشتراک داده‌ها استفاده می‌کند و بر عملکرد فرآیندهای تولید تأثیر زیادی دارد.

تولید مبتنی بر اینترنت اشیاء شامل جمع‌آوری و به اشتراک گذاری بی‌درنگ داده‌ها از منابع مختلف از قبیل ماشین‌آلات، کارکنان، مواد و کسب‌وکارها است. جمع‌آوری و به اشتراک گذاری داده‌ها در زمان واقعی بر اساس فناوری‌های کلیدی مانند شناسایی با امواج رادیویی و استانداردهای ارتباط بی سیم است. با استفاده از فناوری شناسایی با امواج رادیویی، جریان فیزیکی تولید مانند جابجایی مواد و جریان‌های اطلاعاتی مرتبط، و همچنین قابلیت‌های رویت و رصد عملیات مختلف تولید را می‌توان به طور یکپارچه با هم ادغام نمود. در شناسایی با امواج رادیویی از برجسب‌ها و گیرنده‌ها^۴ در محیط‌های تولیدی معمولی مانند کارگاه، خطوط مونتاژ و انبارها، استفاده می‌شود. این فناوری اجازه می‌دهد تا اختلالات کارگاه شناسایی و به سامانه تولید بر اساس زمان واقعی بازخورد داده شود، در نتیجه اثربخشی و کارایی تصمیم‌گیری صنعت و تولید بهبود می‌یابد [۶].

اینترنت اشیاء به دنیای بین شبکه‌ای اشاره دارد که در آن اشیاء مختلف به واسطه حسگرهای الکترونیکی، محرک‌ها یا سایر دستگاه‌های دیجیتالی، تجهیز شده تا بتوانند به منظور جمع‌آوری

^۱ Bosch Rexroth

^۲ RFID

^۳ Smart Manufacturing Objects (SMO)

^۴ Tags and Readers

و تبادل داده‌ها به شبکه وصل شوند [۶۹]. به طور کلی، اینترنت اشیاء قادر است اتصال پیشرفته اشیاء فیزیکی، سامانه‌ها و خدمات را ارائه دهد و ارتباطات شیء با شیء و به اشتراک گذاری داده‌ها را ممکن می‌سازد. در صنایع مختلف، کنترل و خودکارسازی روشنایی، گرمایش، ماشین‌کاری، روبات‌ها، و غیره، و نظارت از راه دور توسط اینترنت اشیاء قابل دستیابی است. یکی از فناوری‌های کلیدی در اینترنت اشیاء، فناوری شناسایی خودکار است که می‌توان از آن برای هوشمند سازی اشیاء استفاده کرد.

هدف اصلی اینترنت اشیاء و اینترنت خدمات فراتر از مفهوم صنعت نسل چهار، یکپارچه‌سازی فناوری‌های مختلف و فناوری اطلاعات و ارتباطات است. در زمینه استفاده صنعتی، می‌توان آن را به عنوان مجموعه‌ای از فناوری‌های خاص برای پشتیبانی از اهداف یک سازمان تعریف کرد. اصلی‌ترین جزء اینترنت اشیاء برای کاربرد آن در صنعت عمدتاً شامل فناوری‌هایی برای ردیابی و شناسایی اشیاء، فناوری‌های حسگر بی‌سیم، ارتباطات ارتقاء یافته، و اشیاء هوشمند است. این امر ایجاد کارخانه‌های هوشمند را از طریق یکپارچه‌سازی فرآیندهای تولید در شبکه‌ها ممکن می‌سازد. به عبارت دیگر، تلاشی برای پیوستن دنیای مجازی و فیزیکی به سامانه‌های فیزیکی سایبری است. این بدان معنی است که دستگاه‌ها در بستر رایانش ابری به یکدیگر متصل می‌شوند و توانایی تعامل و ارتباط با یکدیگر یا کنترل‌کننده‌ها را دارند. علاوه بر این، همچنین این فناوری امکان تمرکززدایی در تصمیم‌گیری و تجزیه و تحلیل را نیز فراهم می‌کند [۷۰].

با در نظر گرفتن یک چشم‌انداز کلی، فناوری اینترنت اشیاء به هر شیء که دارای هویت مجازی خاص خود و ظرفیت بالقوه برای ادغام و تعامل مستقل در یک شبکه با افراد دیگر یا ماشین‌ها را دارد اشاره می‌کند. براساس مفهوم شرکت سیسکو، با فناوری اینترنت اشیاء، چیزها یا اشیاء بیشتری نسبت به افراد بشر، به اینترنت متصل می‌شوند [۲۱].

قبلاً پیش‌بینی‌هایی برای تعداد دستگاه‌های به هم متصل شده در سرتاسر جهان ارائه شد و تا سال ۲۰۲۰ بیش از ۲۰ میلیارد دستگاه که از شناسایی با امواج رادیویی استفاده کامل می‌کنند گزارش شده بود. اما اکنون مشاهده می‌شود که این آمار به سرعت در حال افزایش است. چنین روندی بر بیشتر صنایع و به ویژه بخش‌های تولیدی تأثیر گذاشته است. در این راستا از فناوری شناسایی با امواج رادیویی برای شناسایی اشیاء مختلف در انبارها، کارگاه‌های تولیدی، شرکت‌های خدمات لجستیکی، مراکز توزیع، خرده فروشی و مراحل دفع یا بازیافت استفاده می‌شود. بعد از شناسایی، چنین اشیا دارای توانایی‌های سنجش هوشمند هستند. به طوری که می‌توانند از طریق شیوه‌های خاصی از اتصال، با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و با یکدیگر تعامل داشته باشند، و حجم عظیمی از داده‌ها ناشی از حرکات یا موقعیت‌های اشیاء را ایجاد و تبادل کنند. اتصال بین

اشیاء هوشمند را می‌توان از قبل تعریف و پس از تجهیز به گیرنده و برچسب‌های شناسایی با امواج رادیویی، کاربردها یا منطق خاصی مانند رویه‌های ساخت را به آنها داد. امکانات شناسایی با امواج رادیویی نه تنها به کاربران نهایی کمک می‌کند تا عملیات روزانه خود را انجام دهند، بلکه داده‌های مربوط به این عملیات را جمع‌آوری می‌کنند تا مدیریت تولید در زمان واقعی انجام شود. انواع مختلفی از حسگرهای هوشمند در گذشته نه چندان دور برای تأمین نیاز صنعت نسل چهار ارائه شده است. این حسگرها در ساخت دستگاه‌های هوشمند یا اشیایی مانند گرد و غبار هوشمند، دوربین‌های هوشمند، تلفن‌های هوشمند و خانه‌های هوشمند مهندسی شده‌اند. حسگرهای هوشمند بیشتر برای اهداف نظارتی کاربرد دارند. برای سامانه‌های نظارت بر سطوح آب و سیل، گاز، محیط زیست، درستی سازه‌ها، سامانه‌های تشخیص عیب از راه دور و تجهیزات، و همچنین در سامانه‌های پیشرفته پزشکی و بسیاری موارد دیگر، از حسگرهای هوشمند استفاده می‌شود. در عصر صنعت نسل چهار، حسگرهای هوشمند با سامانه اینترنت اشیاء ادغام شده و پیشرفت حسگرهای هوشمند را به رشد فوق‌العاده‌ای رسانده است. خانه‌های هوشمند، شهرهای هوشمند و شبکه‌های هوشمند اکنون به دلیل وجود حسگرهای هوشمند برای دما، مجاورت، نور، فشار و صوت شکل گرفته‌اند.

برای شرکت‌های متکی به دارایی، اولویت این است که از تجهیزات خود حداکثر بهره را برده و از آنها به طور بهینه استفاده کنند تا سود بیشتری نصیب شرکت شود. افزایش عملکرد به عوامل مختلفی از جمله عملیات، طراحی، تعمیر و نگهداری و موضوع عملیات بستگی دارد. مدل سازی عوامل در این شرکت‌ها، امکان کنترل بهتر بر دارایی را نیز فراهم می‌کند. با این حال، این تنها در صورتی امکان‌پذیر است که با اطلاعات دقیق امکان توصیف و شناخت تجهیزات فراهم شود. اینجاست که مفهوم اینترنت اشیاء صنعتی به عنوان پیشران استفاده از فناوری اینترنت اشیاء در صنعت ظاهر می‌شود.

استفاده از حسگرها بر روی تجهیزات و اتصال آنها از طریق شیوه‌نامه‌های پیچیده ارتباطی، بسترها را برای توسعه سامانه‌های فیزیکی سایبری و دوقلوهای دیجیتالی^۱ هموار می‌کند و موجب تقویت مزایای اینترنت اشیاء صنعتی می‌شوند. از دیگر فناوری‌های توانمند ساز، از قبیل تجزیه و تحلیل‌های داده‌های عظیم، رایانش ابری، و امنیت سایبری، در ترکیب با اینترنت اشیاء صنعتی در خدمت به تولید استفاده می‌شود. در کنار مزایای قابل توجه، با پذیرش اینترنت اشیاء صنعتی چالش‌هایی مانند هزینه‌های اولیه بالا و عدم اطمینان در بازگشت سرمایه، امنیت داده‌ها و مسائل

^۱ Digital Twin

مربوط به حریم خصوصی، فقدان کارکنان واجد شرایط، ادغام با سامانه‌های قدیمی، ناتوانی در انجام آزمایش سریع و عدم وجود استانداردهای تثبیت شده وجود دارد.

برای دستیابی به ظرفیت‌های بکارگیری اینترنت اشیاء صنعتی، شش عنصر فناوری به شرح زیر شناسایی شده است [۶۵]:

عنصر فناوری	شرح
شناسایی عمومی	شناسایی عمومی، درک صریح همه موجودیت‌های موجود در شبکه اینترنت اشیاء صنعتی است، که در آن موجودیت‌های شناسایی شده ممکن است داخلی یا خارجی باشند و به موجودیت‌های داخلی مرتبط باشند. فناوری شناسایی بر دو فرآیند اصلی تمرکز دارد: • نامگذاری: یک نام خاص به هر موجودیت اختصاص می‌یابد، • آدرس دهی: آدرس منحصر به فرد موجودیت را مشخص می‌کند. چالش کلیدی شناسایی در اینترنت اشیاء صنعتی، کاربرد فناوری در سکوها یا شبکه‌های ناهمگن است که ممکن است ارتباط بین دارایی‌ها در صنعت را با مشکل روبرو کند.
حس کردن در همه جا	حس کردن، فرآیند شناسایی رویدادها یا تغییر در وضعیت یک شیء یا سامانه و ارسال این اطلاعات به مرکز یا مراکز اینترنت اشیاء صنعتی است تا امکان استنتاج اقدامات واکنشی مؤثر یا تصمیمات آتی کارآمد را فراهم کند. در اینترنت اشیاء صنعتی از حسگرهای مختلف از جمله برجسب‌های شناسایی با امواج رادیویی، حسگرهای هوشمند و تجهیزات حسگر پوششی استفاده می‌شود. این حسگرها در زمینه‌های وسیعی در شبکه‌های اینترنت اشیاء صنعتی همه جا حاضرند و سامانه عصبی دیجیتالی را برای صنعت فراهم می‌کنند.
ارتباط یکپارچه در زمان واقعی	ارتباط یکپارچه به ارسال یا دریافت اطلاعات (یعنی پیام‌ها و فایل‌ها) بین دستگاه‌های ناهمگن از طریق شبکه اینترنت اشیاء صنعتی با هر پهنای باند یا سرعتی اشاره دارد. اتصال در شبکه‌های اینترنت اشیاء صنعتی با تأخیر صفر و با توان عملیاتی نامحدود است. از بسیاری فناوری‌ها از جمله اینترنت اشیاء صنعتی، ارتباطات میدان نزدیک ^۱ ، بلوتوث ^۲ ، LTE و 5G Wi-Fi می‌توان در اینترنت اشیاء صنعتی استفاده کرد.

^۱ Near-Field Communication (NFC)

^۲ Long-Term Evolution

عنصر فناوری	شرح
پردازش تعبیه شده و پیشرفته	محصولات، ماشین‌آلات و حتی ابزارها به تراشه‌ها و سامانه‌های تعبیه‌شده ای مجهز خواهند شد که برای انجام یک وظیفه خاص طراحی شده‌اند و توسط سرورها یا هسته‌های پردازشی که نزدیک به نقاط منبع داده یا استفاده قرار دارند، پشتیبانی می‌شوند. سامانه‌های اینترنت اشیاء صنعتی برای رفع محدودیت‌های پردازش متمرکز مانند تأخیر، پهنای باند، حریم خصوصی داده‌ها و استقلال، به طور گسترده به فناوری پردازش تعبیه شده و پیشرفته متکی هستند.
معماری خدمت گرا	معماری خدمت گرا ^۱ به در دسترس بودن اطلاعات یا وظایف به عنوان خدمت در رایانش ابری اینترنت اشیاء صنعتی اشاره دارد که راهکار یکپارچه ارتباطی همه جا حاضر را اجرا می‌کند. راهکار یکپارچه ارتباطی و استفاده از خدمات به شیوه‌ای آگاه از زمینه‌ها ارائه می‌شود، به گونه‌ای که هویت اشیایی که درخواست خدمات می‌کنند شناسایی شده، و هر گونه اطلاعات مرتبط جمع‌آوری و پردازش می‌شود. خدمات به موقع، برای پاسخگویی به درخواست‌ها، بدون سخت‌گیری در مورد زمان یا مکان، در دسترس خواهد بود.
ارتباطات معنا گرا با تعامل متقابل	دستگاه‌ها و تجهیزات صنعت نسل چهار که توسط سازندگان مختلف عرضه می‌شوند، به حوزه‌های مختلف متصل می‌شوند، یا از شیوه‌نامه‌های ارتباطی متفاوتی استفاده می‌کنند. این ناهمگونی عدم قابلیت همکاری بین دستگاه‌ها را ایجاد می‌کند و به این معنی است که دستیابی به دیجیتالی شدن انعطاف‌پذیر بین این دستگاه‌ها یک چالش است. فناوری معناگرا راه‌حلی است که امکان برقراری ارتباط متقابل و انعطاف‌پذیر بین دستگاه‌های مختلف و همچنین بین عوامل انسانی و غیر انسانی را فراهم می‌کند. در فناوری‌های وب معناگرا، به عنوان نمونه، RDF، RDF Schema و OWL یک نمایش استاندارد از دانش، و یک زبان جستجوی معنایی به نام SPARQL ارائه می‌شود.

اتخاذ تصمیمات مستقل و غیرمتمرکز به منظور به حداکثر رساندن کارایی فرآیند تولید یکی از اهداف مهم استقرار صنعت نسل چهار است. یک عامل مهم برای دستیابی به این هدف، شبکه عملیاتی اینترنت اشیاء صنعتی است، که در آن سامانه‌های منطقی در زمان واقعی، برای اجرای انواع راه‌حل‌های تولید هوشمند در یک سازمان خدمت می‌کنند. ضمناً فرآیندهای عملیاتی در بستر زنجیره تولید، با هم راهکار یکپارچه همکاری برقرار می‌کنند [۷۱].

¹ SOA

به طور خاص، اینترنت اشیاء صنعتی به همه حسگرها، ابزارها و سایر دستگاه‌های متصل به هم گفته می‌شود که در ترکیب با کاربردهای صنعتی، از جمله مدیریت تولید و انرژی، شبکه پیچیده‌ای از خدمات را ایجاد و امکان استفاده از خودکارسازی را در سطح بالاتری فراهم می‌کنند [۷۲].

این اتصال امکان جمع‌آوری، تبادل و تجزیه و تحلیل داده‌ها را برای بهبود عملکرد در سرتاسر زنجیره تولید فراهم می‌کند. ضمناً بخش تولید را قادر می‌سازد تا جهش‌های نوآورانه عظیمی داشته باشد، و فعالیت‌هایی را توسعه دهد که قبلاً غیر ممکن بود.

لازم به تأکید است که تبدیل کامل زنجیره تولید به یک فرآیند واقعاً یکپارچه و کاملاً خودکار مبتنی بر اینترنت اشیاء صنعتی مستلزم مبادله مداوم و بدون وقفه داده‌ها از تمام مراحل و ایستگاه‌های عملیاتی است. برای اجرای این ارتباطات، سامانه‌های اینترنت اشیاء صنعتی اغلب در یک معماری چند سطحی تعریف می‌شوند [۷۳]:

- لایه ادراک، توسط حسگرها برای جمع‌آوری داده‌ها؛
- لایه شبکه، به عنوان یک سکو برای انتقال داده؛
- لایه پردازش، برای تبدیل داده‌های خام به اطلاعات؛
- لایه کاربردی، که در آن محیط هوشمند ایجاد می‌شود. نمونه‌هایی از محیط هوشمند شامل کارخانه هوشمند، شهر هوشمند، خانه هوشمند، شبکه هوشمند و دولت هوشمند است.

همانطور که در شکل زیر نشان داده شده، لایه کاربردها نیز متکی به دو جریان داده و اطلاعات است و دربردارنده جریان جمع‌آوری و پردازش از یک سو، و جریان کنترل و بهینه‌سازی از سوی مقابل است.



بزرگترین مانع برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء صنعتی، امنیت سایبری^۱، چالش‌های قانونی^۲، و اتصال ضعیف است. برای رفع این مشکلات، و در جریان حرکت به سمت صنعت نسل چهارم، تمرکز روی راه‌حل‌های نوآورانه و افزایش اتصال این سامانه‌ها یک ضرورت است [۷۴].

تا کنون چندین نمونه واقعی از تولید، مبتنی بر اینترنت اشیاء صنعتی گزارش شده است. در یک مورد، یک سامانه مدیریت تولید بلادرنگ با قابلیت شناسایی با امواج رادیویی برای خط مونتاژ موتورسیکلت، با هدف بهبود انعطاف‌پذیری تولید، گزارش شده است. از این سامانه تولیدی در شرکت Loncin Motor برای جمع‌آوری داده‌های تولید در زمان واقعی، از مواد خام، اقلام در جریان کار و کارکنان استفاده می‌شود، تا قابلیت‌های مشاهده، ردیابی و پیگیری افزایش یابد [۷۵].

در یک مطالعه موردی از یک سازنده قطعات خودرو، نمونه دیگری ارائه شد. این شرکت که در اندازه متوسط است سازنده سوپاپ موتور می‌باشد، و از یک راه‌حل تولید کارگاهی با قابلیت شناسایی با امواج رادیویی در کل عملیات تولید استفاده می‌کند. بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در زمان واقعی و قابلیت‌های شناسایی با امواج رادیویی، سامانه اجرای تولید و سامانه برنامه‌ریزی منابع سازمان (ERP) با هم ادغام می‌شوند [۶].

^۱ Cyber Security

^۲ Forensic

مورد دیگری از پیاده‌سازی مدیریت مواد کارگاهی در زمان واقعی مبتنی بر شناسایی با امواج رادیویی در شرکت تهویه مطبوع گوانگدونگ چیگو گزارش شده است [۷۶]. در این نمونه، فناوری شناسایی با امواج رادیویی داده‌های خودکار و دقیق اشیاء را برای مشاهده و ردیابی در زمان واقعی فراهم کرده است.

نمونه‌های بیشتری از کاربردهای اینترنت اشیاء صنعتی در صنایع قالب‌سازی و ریخته‌گری، تولید قطعات خودرو و لوازم جانبی، مدیریت چرخه عمر محصول، و همچنین سامانه تعمیر و نگهداری در صنعت هوافضا گزارش شده است.

اینترنت اشیاء در حال حاضر به طور کلی به عنوان یک همگرایی بزرگتر از فناوری‌های پیشرفته مانند استانداردهای بی سیم همه جا حاضر^۱، تجزیه و تحلیل داده‌ها، و یادگیری ماشینی شناخته می‌شود. این نشان می‌دهد که بخش زیادی از حوزه‌های سنتی تحت تأثیر فناوری اینترنت اشیاء قرار می‌گیرند، چرا که این فناوری به مرور در جنبه‌های مختلف زندگی روزمره انسان وارد شده است.

اینترنت اشیاء صنعتی نیز بر چندین جنبه از بخش تولید، از جمله مدل‌های کسب‌وکار، تولید، زنجیره تأمین و مشتریان تأثیر می‌گذارد. برخی متخصصین، یک چارچوب نظام‌مند برای بررسی تأثیر اینترنت اشیاء صنعتی بر مدل‌های کسب‌وکار در تولید ارائه کردند. آنها ارزش تولید و بهینه‌سازی فرآیند ارائه شده توسط اینترنت اشیاء صنعتی را با تأکید بر اهمیت مشتریان در فرآیند تصمیم‌گیری که می‌تواند تغییرات مثبتی در مدل‌های کسب‌وکار ایجاد کند، گزارش نمودند [۷۷].

در یک مدل کسب‌وکار مبتنی بر نتیجه، شرکت‌ها را می‌توان به سمت تحول آسان دیجیتالی با اینترنت اشیاء صنعتی هدایت کرد. این مدل به تحول با مفاهیم قدیمی (که توسط شرکت‌های تولیدی طی چندین دهه گذشته استفاده می‌شده) کمک کرده و به تدریج ویژگی‌های دیجیتالی شدن را یکپارچه می‌کند. براساس تجربه دیگری [۷۸]، در یک کارگاه تولید بدنه کامپوزیتی خودرو برای بهینه‌سازی جریان مواد، کاهش زمان چرخه و کاهش هزینه‌های عملیاتی از اینترنت اشیاء صنعتی استفاده شد. مجریان طرح از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای برای مقایسه زمان تولید سامانه مبتنی بر اینترنت اشیاء صنعتی به هم پیوسته با سامانه‌های موجود استفاده کردند، که با تجربه جدید ۱۹ ساعت از زمان فرآیند کاهش یافت. گروه دیگری [۷۹]، از معماری باز اینترنت اشیاء صنعتی موسوم به FASTEN در خط مونتاژ سازه‌های فلزی در صنعت هوافضا در پرتغال برای بهبود بهره‌وری و چابکی و همچنین پیش‌بینی خرابی تجهیزات استفاده کردند.

¹ Ubiquitous

در یک بررسی تحقیقی دیگر [۸۰] با روش‌های ترکیبی برای پذیرش اینترنت اشیاء صنعتی توسط شرکت‌های تولیدی تلاش‌هایی انجام شد. در گزارش این بررسی، ابعاد مختلف زیست‌بوم کسب‌وکار، مانند مشتریان، تأمین کنندگان، سازمان‌های بیرونی و مؤسسات تحقیقاتی دیده می‌شود.

نتایج آن‌ها نشان‌دهنده نگرانی جزئی از سوی مشتریان و تأمین‌کنندگان بود، چرا که اینترنت اشیاء صنعتی، ارتباط دائمی با مشتریان را امکان پذیر می‌کند و این نوع ارتباط، هم طرفدار دارد و هم مخالف. به عقیده موافقان با بازخورد سریع بازار، تقاضا برای محصولات یا طرح‌های جدید ایجاد می‌شود. اما مخالفان به ایجاد انتظارات غیر واقعی توسط مشتریان ناشی از این بازخوردهای سریع اشاره می‌کنند.

از سوی دیگر، میزان همکاری بالاتر با سازمان‌ها و مؤسسات تحقیقاتی خارجی در این زیست‌بوم، زمینه‌های بیشتری برای توسعه صنعت را هم فراهم می‌کند.

نگاشت جریان ارزش^۱ ابزار مفیدی برای تولید ناب^۲ است و تلفیق اینترنت اشیاء صنعتی با آن می‌تواند استفاده از آن را با داده‌ها از منابع متعدد و در زمان واقعی گسترش دهد و منجر به تصمیم‌گیری‌های مؤثر شود. متخصصین، از اینترنت اشیاء صنعتی برای توسعه یک نگاشت جریان ارزش پویا با قابلیت جمع‌آوری مجموعه داده‌های بزرگ، مانند شناسایی تنگناها و بهینه‌سازی جریان فرآیند، برای تجزیه و تحلیل آنی استفاده می‌کنند [۸۱].

برای بهره‌برداری از مزایای اینترنت اشیاء صنعتی، یک کنسرسیوم اینترنت صنعتی (IIC) در سال ۲۰۱۴ تأسیس شد که شامل همکاران صنعتی، دولتی و دانشگاهی از سراسر جهان است تا با شناسایی، مونتاژ، آزمایش و ترویج بهترین شیوه‌ها، به رشد اینترنت اشیاء صنعتی سرعت دهند [۸۲].

برخی از معروف ترین شرکت‌های فعال در اختراع و استقرار اینترنت اشیاء صنعتی، و محصولات آنها عبارتند از [۸۳]:

- شرکت Microsoft: Microsoft Azure IoT
- شرکت Oracle: Oracle IoT cloud services
- شرکت Google: Google cloud IoT core

^۱ نگاشت جریان ارزش (Value stream mapping) به عنوان یک ابزار در تولید ناب است که از نمودار جریان برای مستندسازی هر مرحله از فرآیند استفاده می‌کند. بسیاری از متخصصین در حوزه تولید ناب (Lean)، نگاشت جریان ارزش را یک ابزار مفید و پایه برای شناسایی ضایعات، کاهش زمان چرخه فرآیند و اجرای بهبود فرآیند می‌دانند.

^۲ Lean Manufacturing

- شرکت IBM: IBM Watson IoT
- شرکت Amazon: AWS IoT
- شرکت Bosch: Bosch IoT suite

یکپارچگی سامانه‌های افقی و عمودی^۱

در صنعت نسل چهارم، سامانه‌ها و اجزای آنها نه تنها باید با هم ارتباط برقرار کنند، بلکه باید محیطی مشترک را برای بهبود محصول و خدمات مرتبط در کل چرخه حیات محصول ایجاد کنند. این یکپارچگی در دو جهت افقی و عمودی است. یکپارچگی افقی در سه حوزه شامل کارگاه تولید (به عنوان مثال، ماشین به ماشین)، در تأسیسات مختلف تولید، و در سرتاسر شبکه ایجاد ارزش فعال می‌شود. اما یکپارچگی عمودی درون شرکتی است و بر همکاری بین سطوح مختلف سلسله مراتب سازمانی از حسگرها تا سطح کسب‌وکار شرکت تمرکز دارد [۸۴].

از جنبه عملیاتی، یک شرکت با یکپارچگی افقی فعالیت‌های خود را اطراف ظرفیت‌های اصلی متمرکز کرده و مشارکت‌هایی را برای ایجاد یک زنجیره ارزش صفر تا صد ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، یک شرکت با یکپارچگی عمودی، تا آنجا که می‌تواند مدیریت زنجیره ارزش خود را، از طراحی محصول تا تولید، بازاریابی، فروش و توزیع، در داخل نگاه می‌دارد.

در تفکر راهبردی برای رشد کسب‌وکارها، یکپارچگی افقی به فعالیت شرکت‌هایی اشاره دارد که پایگاه مشتری آنها با محصولات یا خدمات متفاوت و متنوع اما مکمل پر می‌شود تا سهم بازار را افزایش دهند. از سوی دیگر، یک راهبرد رشد عمودی، به شرکت‌هایی اشاره دارد که از قابلیت‌های جدید به منظور کاهش هزینه‌های تولید، دسترسی ایمن به منابع مهم، پاسخ سریع‌تر به فرصت‌های جدید بازار و موارد دیگر، استفاده می‌کنند.

وقتی صحبت از تولید است، یکپارچگی عمودی به فرآیندهای یکپارچه قوی در سطح تولید اشاره دارد، در حالی که یکپارچگی افقی به این معنی است که خط تولید به شدت با فرآیندهای کسب‌وکار در سطح بالاتر (حتی بیرون شرکت) مانند لجستیک و کنترل کیفیت، یا سطح پایین‌تر از قبیل کاربران یا مصرف‌کننده، هماهنگ است.

مفهوم یکپارچگی افقی و عمودی مانند سایر توانمندسازهای صنعت نسل چهارم، سال‌هاست که به نفع سازمان‌های تولیدی بوده است. با این حال، پیاده‌سازی آن با فناوری‌های انقلاب صنعتی

¹ Horizontal and Vertical System Integration

نسل چهار، پیامدهای متفاوتی را به دنبال دارد که منجر به دستاوردهای بیشتری می‌شود. برخی متخصصین سه بعد را برای پدیده یکپارچگی در صنعت نسل چهار تعریف کرده‌اند [۸۵]:

- یکپارچگی افقی در کل شبکه خلق ارزش،
- یکپارچگی عمودی و سامانه‌های تولید شبکه‌ای،
- یکپارچگی مهندسی صفر تا صد^۱ در کل چرخه عمر محصول.

هدف یکپارچه‌سازی‌های افقی و عمودی توسعه‌شده نامه‌های سازمانی برای به اشتراک گذاری داده‌ها، و ایجاد مبنایی برای یک زنجیره تأمین و ارزش خودکار است. یکپارچگی مهندسی صفر تا صد در بر دارنده یکپارچه‌سازی ماشین‌آلات و یکپارچه‌سازی مشتری به عنوان بخشی از سامانه تولید، همراه با یکپارچه‌سازی «محصول به خدمت» از طریق نظارت مستقیم سازنده، تمرکز بر محصول، تولید و طراحی است. یکی از اصول طراحی در صنعت نسل چهار تعامل پذیری می‌باشد، و ایده اصلی آن ناشی از یکپارچگی است. این یکپارچگی‌ها بر اساس مزایای آنها به صورت مجزا یا ترکیبی است و توسط بخش تولید به طور مداوم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در دیدگاه مجزا، برخی متخصصین رویکرد یکپارچه‌سازی افقی را برای برقراری ارتباط مؤثر بین سامانه فیزیکی سایبری^۲، میان افزار و سامانه مدیریت تولید ارائه کرده‌اند [۸۶]. آنها همچنین محدودیت‌های این رویکرد را مورد بحث قرار دادند و تحقیقات بیشتری برای بهبود ثبات، تخصیص منابع و تجزیه و تحلیل عملکردها پیشنهاد کردند. برخی دیگر یک معماری ارتباطی انعطاف‌پذیر برای یکپارچگی عمودی پیشنهاد دادند که می‌تواند به شرکت‌های تولیدی اجازه دهد مستقیماً سامانه‌های فناوری اطلاعات خود را به فرآیندهای تولید متصل کنند. آنها روش خود را در کارخانه هوشمند KL در آلمان، با انتقال اطلاعات به عنوان شاخص‌های کلیدی عملکرد برای حمایت از تصمیم‌گیری و پر کردن شکاف بین فرآیندهای کسب‌وکار و فرآیندهای فنی آزمایش کردند [۸۷]. گروه دیگری یک شیوه‌نامه ارتباطی واحد برای سامانه تولید برپایه قابلیت‌های فیزیکی سایبری^۳ ارائه کردند تا بتواند بهبود مستمر را از طریق الگوریتم‌های هوشمند فراهم و وابستگی‌های بین اجزا را شناسایی کند و همچنین یک نمای کلی از امنیت سامانه ارائه دهد [۸۸].

در دیدگاه ترکیبی، رایج‌ترین آنها ترکیب یکپارچگی‌های افقی و عمودی است. برخی اساتید یک سامانه تولید فیزیکی سایبری را در کارخانه دیجیتالی آزمایشگاهی در دانشگاه Chemnitz

^۱ End-to-end engineering integration

^۲ Cyber Physical System (CPS)

^۳ Cyber Production Physical System (CPPS)

در آلمان ارائه دادند. آنها یک سامانه لجستیک با ترکیبی از یکپارچگی‌های افقی و عمودی پیاده‌سازی کردند. دست اندرکاران این طرح، ضمناً محدودیت‌ها را از نظر ارتباط و آزمایش در چنین طرحی نشان دادند [۸۹]. دو تن از اساتید دیگر هم یک چارچوب مدلسازی یکپارچه به نام HoVer را برای توسعه رویکرد مدل با محور جهانی برای یکپارچگی‌های افقی و عمودی، برای کارخانه‌های هوشمند ارائه دادند. آنها ضمناً یک هستی‌شناسی کسب‌وکار موسوم به منبع-رویداد-عامل^۱، با استفاده از مفاهیم ISA-95 برای ترکیب یکپارچگی‌های افقی و عمودی تهیه کردند [۹۰].

برخی متخصصین یک مدل محصول یکپارچه مبتنی بر فرمت استاندارد تبادل داده‌های محصول^۲ موسوم به STEP و ماشین کاری با تکنیک^۳ Feature را برای پیاده‌سازی یکپارچگی افقی و عمودی داده‌های محصول متناسب با نیازهای دستگاه‌های به هم متصل قالب‌گیری^۴ ارائه دادند. بر اساس این یکپارچگی‌های مؤثر، آنها ارتباط بین دستگاه‌ها، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و تجهیزات فیزیکی را در یک سطح بالاتر برقرار کردند [۹۱].

بر اساس میزان داده‌های تولید شده با استفاده از اینترنت اشیاء صنعتی و سامانه فیزیکی سایبری، ترکیبی از هر سه بعد از یکپارچه‌سازی نیز در بسیاری موارد رونق گرفته است. متخصصین ترکیب سه شیوه‌نامه یکپارچگی را مورد بحث قرار دادند و از رویکرد سامانه‌های مدیریت کیفیت DIN ISO 9000 برای برجسته کردن چالش‌ها و فرصت‌ها برای حوزه مدیریت کیفیت از طریق ظهور صنعت نسل چهارم در یک شرکت تولید الکترونیک اتریشی استفاده کردند [۹۲]. ضمناً گروه دیگری این سه نوع یکپارچه‌سازی را با برنامه ریزی راهبردی در سامانه فیزیکی سایبری یکی کردند. در مقالات متعددی در همین زمینه، قابلیت‌های رویکردهای مختلف یکپارچه‌سازی و اهمیت آنها در بخش تولید مبتنی بر داده برجسته شده است.

^۱ Resource-Event-Agent (REA)

^۲ Standard for the Exchange of Product Data (STEP)

^۳ ماشین کاری Feature می‌تواند برنامه‌نویسی NC را با استفاده از فرآیندهای انتخاب خودکار، سرعت بخشیده و ساده کند. داده‌های مربوط به ماشین کاری مانند عمق ماشین کاری، نقاط شروع، سطوح و تolerانس‌ها می‌توانند مستقیماً برای برنامه‌نویسی استفاده شوند.

^۴ Molded Interconnect Device (MID)

لایه پلاستیکی قالب‌گیری تزریقی که دارای یک شاخص مدار رسانا برای یکپارچگی عملکردهای مکانیکی و الکتریکی می‌باشد.

یکپارچگی افقی

در فضای انقلاب صنعتی نسل چهارم وقتی صحبت از یکپارچگی افقی می‌شود، شبکه‌های متصل از سامانه‌های فیزیکی سایبری و سازمانی را می‌توان در نظر گرفت که سطوح بی‌سابقه‌ای از خودکارسازی، انعطاف‌پذیری و کارایی عملیاتی را در فرآیندهای تولید معرفی می‌کنند. همانطور که قبلاً اشاره شد، یکپارچگی افقی در سطوح مختلفی اجرا می‌شود:

- در سطح کارگاه: ماشین‌ها و واحدهای تولیدی همیشه متصل، هر کدام به یک شیء با ویژگی‌های کاملاً مشخص در شبکه تولید تبدیل می‌شوند. آنها دائماً وضعیت عملکرد خود را تبادل می‌کنند. با هم و مستقلاً، به نیازهای تولید پویا پاسخ می‌دهند. هدف نهایی این است که کارگاه‌های تولیدی هوشمند بتوانند به شیوه مقرون به صرفه یک واحد محصول را تولید کنند و همچنین از طریق تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌شده زمان خرابی پرهزینه را کاهش دهند.
- در سرتاسر تأسیسات چندگانه تولید: اگر شرکتی دارای تأسیسات تولیدی متعدد باشد، از یکپارچگی افقی در سرتاسر سامانه‌های اجرایی تولید در سطح کارخانه^۱ استفاده می‌کند. در این سناریو، داده‌های مربوط به تولید (سطوح موجودی، تأخیرهای غیرمنتظره و غیره) به طور یکپارچه در کل شرکت به اشتراک گذاشته می‌شوند و در صورت امکان، وظایف تولید به‌طور خودکار میان تأسیسات تولیدی جابه‌جا می‌شود تا سریع و کارآمد به متغیرهای تولید پاسخ دهند.
- در سرتاسر زنجیره تأمین: صنعت نسل چهار شفافیت داده‌ها و سطوح بالای همکاری خودکار در سرتاسر زنجیره تأمین بالادستی و لجستیک را پیشنهاد می‌کند. این موضوع فرآیندهای تولید و زنجیره پایین‌دستی که محصولات نهایی به بازار عرضه می‌کنند، را نیز پشتیبانی می‌کند. تأمین‌کنندگان و ارائه‌دهندگان خدمات سوم شخص^۲ باید به طور ایمن اما محکم به صورت افقی در سامانه‌های کنترل تولید و لجستیک شرکت یکپارچه شوند.

^۱ Manufacturing Execution Systems (MES)

^۲ Third-party suppliers and service providers

یکپارچگی عمودی

اهداف یکپارچگی عمودی در صنعت نسل چهارم این است که تمام لایه‌های منطقی درون سازمان از لایه میدانی (یعنی کارگاه تولید) تا تحقیق و توسعه، تضمین کیفیت، مدیریت محصول، فناوری اطلاعات، فروش و بازاریابی و غیره را به هم پیوند دهد. داده‌ها آزادانه و شفاف به بالا و پایین این لایه‌ها جریان می‌یابند تا هم تصمیم‌های راهبردی و هم تاکتیکی بتوانند مبتنی بر داده باشند. یک شرکت نسل چهارم که به صورت عمودی یکپارچه شده است، با واکنش مناسب و چابک به علائم بازار و فرصت‌های جدید در حال تغییر، یک مزیت رقابتی مهم به دست می‌آورد.

هماهنگی^۱ قوی‌تر

با یکپارچه و پیچیده‌تر شدن سامانه‌های فناوری اطلاعات و فرآیندهای تولید، شرکت‌ها باید از سکوها هم‌هنگ‌سازی قوی‌تری استفاده کنند تا بتوانند دید کامل و بینش عملی را بین سامانه‌ها و واحدهای متنوع و توزیع‌شده داشته باشند. این سکوها معمولاً داده‌های ساخت یافته و بدون ساختار را از سامانه‌های موجود در سازمان جمع‌آوری می‌کنند تا بینش‌های عملی در حوزه‌های خاص را بتوانند استخراج کنند و راه‌حل‌های صفر تا صد تجزیه و تحلیل محصول نهایی را برای شرکت‌های تولیدی و تأمین‌کنندگان آن‌ها ارائه دهند. یک سکوی مناسب در سطح شرکت به‌عنوان یک سازمان‌دهنده آماده در کف کارگاه تولید برای صنعت نسل چهارم عمل می‌کند و یکپارچگی افقی را در میان تولید و داده‌های با کیفیت، همراه با یکپارچگی عمودی در سرتاسر زنجیره تأمین اشاعه می‌دهد.

به طور کلی، هفت عنصر فناوری برای یکپارچگی‌های افقی و عمودی شناسایی شده است

[۶۵]:

^۱ Orchestration

شرح	عنصر فناوری
یکپارچه‌سازی، به مدل‌ها و معماری‌های رایج برای تعریف ساختار ارتباطی نیاز دارد. برای ایجاد یکپارچگی مؤثر، زبان مشترک با نشانه‌ها، الفبا، واژگان، شیوه‌نامه، دستور زبان، معنانشناسی و فرهنگ‌های واقعیت‌گرایی ضروری است. هنگامی که در مورد معماری‌های مرجع یکپارچه‌سازی عمودی و افقی صحبت می‌شود، بلافاصله مرجع‌های قدیمی از قبیل CIM-OSA، PERA، GERAM، ISA-95 به ذهن متبادر می‌شوند. اما در دنیای انقلاب صنعتی نسل چهار، مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار^۱ موسوم به RAMI4.0 نقش مهمی بعهده دارد. با این حال، مدل‌های دیگری مانند معماری مرجع اینترنت صنعتی^۲ و معماری مرجع اینترنت اشیاء^۳ نیز قابل استفاده است [۹۳]. با این حال، قابلیت همکاری و امنیت از چالش‌های باز برای چنین معماری مرجع، به ویژه در سامانه‌های ناهمگن است.	معماری مرجع
آلمانی‌ها در سکویی به نام سکوی صنعت نسل چهار یک معماری مبتنی بر خدمت ویژه برای صنعت نسل چهار به نام RAMI 4.0 ارائه دادند. این معماری حوزه‌های صنعت نسل چهار را در یک مدل سه‌بعدی تعریف می‌کند: لایه‌ها، چرخه حیات و جریان ارزش، و سطوح سلسله مراتبی. • لایه‌ها به جنبه‌های مختلف از جمله دارایی‌ها و سخت‌افزار، داده‌ها و ارتباطات، و توضیحات عملکردی و فرآیند کسب‌وکار اشاره می‌کنند. • چرخه حیات و جریان ارزش، تمام چرخه عمر محصول از مرحله طراحی تا پایان عمر (یعنی بازیافت و ضایعات) را پوشش می‌دهد. • سطوح سلسله مراتبی که از محصول و دستگاه‌های میدانی شروع شده، و از طریق دستگاه‌ها و ایستگاه‌های کنترل تا ایستگاه‌های کاری و سازمان‌ها را پوشش می‌دهد.	RAMI4.0
یکپارچه‌سازی سامانه‌ها یکی از مشکلات عمده در سامانه‌های خودکار سنتی است. برای حل این مشکل، یک سری فناوری‌های مختلف تعامل‌پذیری و مدل‌های استاندارد خلق شده است. این فناوری‌ها شامل موارد زیر است [۹۴]: • Electronic Device Description, • Filed Device Integration, • OPCU UA, • Gateway and Mediator,	یکپارچه‌سازی سامانه‌ها

¹ Reference Architecture Model Industrie 4.0

² Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)

³ Internet of Things Reference Architecture (IoT RA)

شرح	عنصر فناوری
AutomationML and semantic standardization, با این حال، در محیط صنعت نسل چهار، یکپارچه‌سازی بسیار پیچیده‌تر است. سامانه‌های صنعت نسل چهار، زیر سامانه‌هایی (مانند ماشین‌ها، روبات‌ها، حسگرها) که ناهمگن، و توسط سازنده‌های مختلف عرضه می‌شوند و دارای رابط‌های مختلف هستند، گرد هم آورند. مدل‌های مختلف، نشان‌دهنده اطلاعات داده‌ها، عملکردها و رابط‌های متنوع برای دسترسی به داده‌ها هستند. این ناهمگونی‌ها، سازگاری و میانجیگری بین مدل‌ها را به یک چالش بزرگ تبدیل کرده است.	
دوقلوی دیجیتال^۱ ابزار مؤثری برای تحقق تولید هوشمند در صنعت نسل چهار از طریق مدل‌سازی پویا، شبیه‌سازی زمان واقعی و تصمیم‌گیری هوشمند است [۹۵]. دوقلوی دیجیتال وضعیت فیزیکی کارخانه را در فضای مجازی با استفاده از مدل‌های طراحی به کمک رایانه (CAD) با صداقت بالا منعکس می‌کند. این ارتباط دو طرفه بلادرنگ، شبیه‌سازی سناریوهای مختلف و پشتیبانی تصمیم‌گیری تعاملی را فراهم می‌کند. دوقلوی دیجیتال یک موضوع داغ در دانشگاه و صنعت است و در بسیاری جنبه‌ها جای پیشرفت دارد، از جمله موضوعات این حوزه می‌توان به دوقلوی دیجیتال مبتنی بر مازولار، ثبات و دقت مدل‌سازی، ادغام واقعیت مجازی در دوقلوی دیجیتال، و نگاشت کارآمد بین داده‌های مجازی و واقعی اشاره نمود.	دوقلوی دیجیتال
سامانه فیزیکی سایبری^۲ یک سامانه پیچیده و چند بعدی است که منابع فیزیکی را در دنیای سایبری ادغام می‌کند. این سامانه دریافت بلادرنگ^۳، اطلاعات و بازخورد داده‌ها، کنترل پویا و خدمات بیشتر را، از طریق پردازش و کنترل در یک راهکار یکپارچه ارتباطی، فراهم می‌کند [۹۶]. یکپارچگی در سامانه فیزیکی سایبری در هر دو بعد افقی و عمودی رخ می‌دهد. برای تحقق سامانه فیزیکی سایبری با تمرکز بیشتر بر جنبه یکپارچگی عمودی، تلاش زیادی در بسیاری از زمینه‌ها، به ویژه در مدل‌سازی (به عنوان مثال، سکوی سامانه فیزیکی سایبری)، یکپارچه‌سازی مدل‌ها، تصدیق و آزمایش مورد نیاز است.	سامانه فیزیکی سایبری

^۱ Digital Twin (DT)

^۲ Cyber-Physical-System (CPS)

^۳ Real-Time Sensing

عنصر فناوری	شرح
سامانه تولید فیزیکی سایبری ^۱	سامانه‌ای است که در تمام سطوح تولید، از فرآیندها به واسطه ماشین‌ها تا شبکه‌های تولید و تدارکات، مستقل بوده و در عین حال با هم کار می‌کنند. آنها قادر به دسترسی، ارائه و استفاده از داده‌های تولید از دنیای واقعی در زمان واقعی هستند. جنبه‌هایی مانند حق حاکمیت، راهکار یکپارچه ارتباطی، بهینه‌سازی و پاسخگویی باید به ویژه توسط سامانه تولید فیزیکی سایبری مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر اینها، شبیه‌سازی، شبکه‌های حسگر، داده‌های عظیم و موضوعات امنیتی بخش مهمی برای مقابله با چالش پیاده‌سازی سامانه‌های تولید فیزیکی سایبری هستند [۲۵]. پیشرفت‌های اخیر در زمینه حسگرهای هوشمند، شبکه‌های بی‌سیم و پردازش‌های تعبیه‌شده، همراه با کاهش مداوم هزینه‌های فناوری، به توسعه سریع اینترنت اشیاء صنعتی کمک کرده است. از این رو، اینترنت اشیاء صنعتی به عنوان محرک اصلی برای پیاده‌سازی صنعت نسل چهار ظاهر می‌شود و مستقیماً به توسعه موفقیت‌آمیز سامانه تولید فیزیکی سایبری مرتبط است.
شبکه‌های مشارکتی ^۲	تقریباً بین همه توانمندسازها و عناصر فناوری صنعت نسل چهار، چه به طور صریح یا ضمنی، همکاری وجود دارد و بیش از این هم لازم است. شبکه‌های مشارکتی در بسیاری از حوزه‌ها اعمال می‌شوند و با انواع راهکارهای یکپارچه ارتباطی، که شامل ساختار پویای صنعت تا زنجیره تأمین و خدمات گسترده هستند، پشتیبانی می‌شوند. شبکه‌های مشارکتی می‌توانند یک شبکه راهبردی هدف‌گرا یا بلند مدت باشند [۹۷]: • هدف‌گرا با تعامل شدید بین شرکت‌کننده‌ها برای رسیدن به یک هدف مشترک؛ • بلند مدت به عنوان یک اتحاد راهبردی برای اقدام به عنوان یک محیط رشد با هدف ارائه شبکه‌های حمایتی. تحقیقات در شبکه‌های مشارکتی به سمت همکاری انسان با ماشین و ماشین با ماشین، توسعه سکوه‌های یکپارچه ارتباطی، افزایش انعطاف‌پذیری و پایداری، و ایجاد فرهنگ همکاری و آگاهی‌گرایش پیدا کرده است.

^۱ Cyber Production Physical System (CPPS)

^۲ Collaborative Networks (CN)

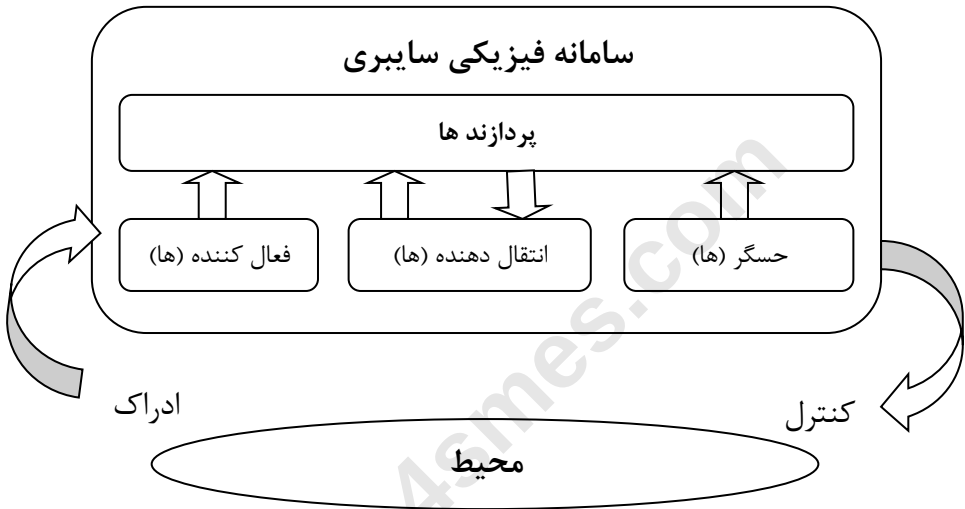
سامانه فیزیکی سایبری

یکی از نمادهای مهم صنعت نسل چهار، ادغام دنیای فیزیکی و مجازی است. این همجوشی و ادغام رایانه و فرآیندهای فیزیکی توسط سامانه‌های فیزیکی سایبری امکان پذیر شده است [۱۱].

صنعت نسل چهار یک راهبرد تولید جهانی است که هدف آن دستیابی به تولید کم هزینه با بهره‌وری بالا و انعطاف پذیر است. این هدف از طریق استفاده از سامانه‌های فیزیکی سایبری، یک فناوری مخرب که در حال حاضر در بسیاری از صنایع رواج دارد، محقق می‌شود. سامانه‌های فیزیکی سایبری از اجزای رایانه‌ای و فیزیکی تشکیل شده‌اند که با هم کار می‌کنند تا یک فرآیند را در زمان واقعی اجرا کنند. از زمان توسعه اولین رایانه‌ها و روبات‌ها، هدف بلندمدت، خودکارسازی وظایف و فرآیندها بوده است که باعث ایجاد استقلال در سامانه‌ها شود. اما تا قبل از اینها، فناوری‌ها و سخت‌افزارها قادر به تحقق این هدف نبودند. با این حال، فناوری‌های رایانه‌ای و سخت‌افزارها به سرعت تکامل یافتند و اکنون قادر به مدیریت و پردازش داده‌ها از چندین منبع (مانند حسگرها، محرک‌ها، دوربین‌ها، که همگی توسط یک نرم‌افزار به شبکه متصل شده‌اند و در زمان واقعی کار می‌کنند) به طور همزمان هستند. کارخانه‌های هوشمند، هواپیماهای بدون سرنشین دیده‌بانی، ساختمان‌های هوشمند، مراقبت‌های بهداشتی شخصی شده خودکار، و وسایل نقلیه خودکار را می‌توان به عنوان نمونه‌هایی از کاربرد سامانه‌های فیزیکی سایبری نام برد.

سامانه فیزیکی سایبری به یک سامانه شبکه‌ای گفته می‌شود که در آن بخش سایبری یا پردازش‌ها به شدت با اجزای فیزیکی یکپارچه شده است. این باعث می‌شود که سامانه فیزیکی سایبری یک سامانه تعبیه شده کاملاً مستقلی باشد. اخیراً، چارچوب سامانه‌های فیزیکی سایبری به طور منسجم در زمینه‌های مختلف از جمله تولید، آزمایشگاه و کارخانه‌های آموزشی مورد استفاده قرار گرفته است. آخرین توسعه در این فناوری، استفاده از آن روی گوشی‌های همراه است که دامنه‌های کاربردهای این سامانه را گسترش می‌دهد. با انتقال شتابان به سمت صنعت نسل چهار، و توسعه بیشتر سامانه‌های فیزیکی سایبری، استفاده از ارتباطات ایمن و قابل اعتماد با توجه به مدیریت گسترده ماشین‌آلات و فرآیندها، بسیار ضروری است. از این رو، سامانه فیزیکی سایبری با سایر فناوری‌ها از جمله اینترنت اشیاء، رایانش ابری و حسگرهای هوشمند ادغام می‌شود تا سامانه هوشمند فیزیکی سایبری جدیدی را شکل دهند و دنیای مجازی، فیزیکی و دیجیتالی را به هم پیوند دهند. این امر اشیاء هوشیار یا هوشمند را قادر می‌سازد تا به درستی و سریع با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و با یکدیگر تعامل داشته باشند [۴۳].

مفهوم اصلی سامانه فیزیکی سایبری، در سه عنصر (پردازش، ارتباطات و کنترل) برای دستیابی به تعامل بین دنیای واقعی و اطلاعات در زمان واقعی از طریق حلقه‌های بازخورد بین فرآیندهای رایانه‌ای و فیزیکی خلاصه می‌شود. همه اینها، به منظور افزایش یا گسترش عملکردهای جدید، امکان دریافت داده در زمان واقعی، کنترل پویا و بازخورد اطلاعات، و ویژگی‌های دیگر است.



سامانه فیزیکی سایبری، سامانه چند نظامی متشکل از پردازش‌ها، ارتباطات و فناوری‌های کنترل، برای بازخورد به رایانه تعبیه شده در سطح بسیار گسترده است. از طریق یکپارچه‌سازی، سامانه فیزیکی سایبری قادر به تحقق همکاری بی‌درنگ، ایمن، قابل اعتماد و پویا با سامانه‌های فیزیکی است که توسط تراشه‌های تعبیه شده نمایندگی می‌شود [۹۸].

یک سامانه فیزیکی سایبری عملکردی است که از طریق آن اشیاء فیزیکی و نرم‌افزار به صورت نزدیک در هم تنیده می‌شوند و اجزای مختلف را قادر می‌سازند تا به روش‌های بی‌شماری برای تبادل اطلاعات با یکدیگر تعامل داشته باشند. در این سامانه‌ها از روش‌شناسی‌های متعدد فرارشته‌ای، مانند شناخت کاربردهای رایانه، مهندسی مکانیک و میکاترونیک، علم طراحی و فرآیند، سامانه‌های تولید و علوم رایانه استفاده می‌شود. یکی از روش‌های فنی و در عین حال کلیدی، تراشه‌های تعبیه شده است که رابطه بسیار هماهنگ با ترکیب اشیاء فیزیکی و عناصر یا خدمات رایانه‌ای را امکان‌پذیر می‌سازد. یک سامانه مجهز به ادغام دنیای فیزیکی و سایبری، برخلاف سامانه‌های تعبیه شده سنتی، شامل تعاملات شبکه‌ای است که با ورودی و خروجی‌های

فیزیکی، همراه با خدمات به هم پیوسته رایانه‌ای در آن‌ها مانند الگوریتم‌های کنترل و ظرفیت‌های پردازش، طراحی و توسعه می‌یابد [۶].

بسیاری صنایع، پروژه‌هایی را در حوزه سامانه فیزیکی سایبری آغاز کرده‌اند. به عنوان مثال، Festo Motion Terminal یک سکوی استاندارد است که از ترکیب هوشیار مکانیک، الکترونیک، حسگرها و کنترل جاسازی شده و نرم‌افزار/ برنامه‌ها استفاده کامل می‌کند.

کشورهای مختلف در توسعه سامانه‌های فیزیکی سایبری به عنوان یک مفهوم امیدوار کننده برای حفظ رقابت‌پذیری در اقتصاد جهانی سرمایه‌گذاری کرده‌اند. همکاری چند رشته‌ای بین مهندسان، کارشناسان صنعتی و دانشمندان رایانه، پیشرفت در طراحی و توسعه این سامانه‌ها را با شناسایی نیازمندی‌ها، فرصت‌ها و چالش‌ها در بخش‌های مختلف تسریع کرده است.

در سامانه‌های فیزیکی سایبری، استقلال بالا و فرآیندهای تصمیم‌گیری سریع، الزاماتی هستند که فرآیندهای تولید را قادر می‌سازند کارایی و انعطاف‌پذیری را افزایش دهند. سامانه‌های فیزیکی سایبری ضمناً باید با دنیای بیرونی هماهنگ باشند تا اطلاعات را به اشتراک گذاشته و باعث اقدامات بیشتری شوند [۹۹].

از کاربردهای معمولی سامانه فیزیکی سایبری، خود مختار بودن همراه با ارتباطات مبتنی بر حسگر گزارش شده است. تعداد زیادی از شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌توانند بر جنبه‌های مختلف محیط زیست نظارت کنند، به طوری که اطلاعات محیطی را می‌توان به صورت متمرکز کنترل و برای تصمیم‌گیری، مدیریت کرد.

سامانه فیزیکی سایبری کاربردهای گسترده‌ای دارد زیرا آنها را می‌توان اساساً برای هر فرآیندی در نظر گرفت. در اینجا به اختصار به چندین حوزه صنعتی که در آنها سامانه فیزیکی سایبری با نتایج امیدوارکننده‌ای در حال توسعه است، اشاره می‌شود [۱۰۰]:

- تولید صنعتی: خطوط تولید کارآمد که امکان شخصی‌سازی انبوه محصولات را در زمان واقعی فراهم می‌کند.
- سامانه‌های انرژی: طراحی ساختمان‌های هوشمند کم مصرف، که ضمناً قادر به کنترل مصرف هستند.
- وسایل نقلیه: سامانه‌های خودکار هماهنگ با انسان در یک چرخه.
- کشاورزی: بهترین مکان‌یابی برای کشاورزی، خودکارسازی و نظارت بر تولیدات کشاورزی.

اگرچه سامانه فیزیکی سایبری، بسیار پیچیده است که پس از کاربرد آنها، تعداد کارکنان برای کنترل فرآیندها کاهش می‌یابد، اما در مقابل فرصت‌های چند رشته‌ای جدیدی در طراحی، توسعه، نگهداری و مدیریت چنین سامانه‌هایی ایجاد می‌شود.

با سامانه فیزیکی سایبری، بسیاری از چالش‌های جدید از قبیل نیاز به روش‌شناسی طراحی، ایمنی، مقررات، سازگاری سخت‌افزار و نرم‌افزار، انتقال داده‌ها در زمان واقعی و حفاظت از سامانه در برابر تهدیدات امنیتی در حال ظهور، شناسایی شده است. در این میان، چهار چالش اصلی برای این سامانه‌ها عبارتند از [۱۰۰]:

- ناهمگونی^۱: چالش یکسان‌سازی قالب داده از همه منابع
- قابلیت یکپارچه‌سازی: عدم امکان ادغام تمام زیرسامانه‌ها در یک سامانه
- تعامل‌پذیری: عدم ارتباط سامانه‌ها از سکوهاى مختلف
- امنیت: عدم حفاظت از داده‌ها و سامانه‌های حساس در برابر حملات مخرب

مراحل رشد سامانه‌های فیزیکی سایبری

رشد این سامانه‌ها را می‌توان در سه مرحله زیر شناسایی کرد [۱۱]:

- نسل اول شامل فناوری‌های شناسایی از قبیل برچسب‌های شناسایی با امواج رادیویی^۲ است که امکان شناسایی منحصر به فرد^۳ را فراهم می‌کنند. ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل باید به عنوان یک خدمت متمرکز در این نسل ارائه شود.
- نسل دوم مجهز به حسگرها و محرک‌ها با طیف محدودی از عملکردها است.
- نسل سوم می‌تواند داده‌ها را ذخیره و تجزیه و تحلیل کند. ضمناً مجهز به چندین حسگر و فعال کننده و سازگار با شبکه است.

هنگامی که اشیاء در یک محیط تولیدی دارای قابلیت‌های فیزیکی سایبری هستند و به یک شبکه متصل می‌شوند، امکانات خودکارسازی سامانه فراتر از محدودیت‌های سامانه‌های کنترل بازخورد سنتی گسترش می‌یابد. در حقیقت، برخلاف سامانه‌های کنترل مستقل متداول، در صنعت نسل چهارم، می‌توان مجموعه‌ای از سامانه‌های فیزیکی سایبری پیشرفته خودگردان^۴ را برای کار با هم طراحی کرد که خودشان را تنظیم می‌کنند، و به لطف ظرفیت هر موجودیت واحد قادر به بازیابی اطلاعات از همتایان خود و خودشان نیز هستند. این نوع سامانه‌های کنترل را

¹ Heterogeneity

² RFID

³ Unique

⁴ Autonomous

کنترل شبکه‌ای^۱ می‌نامند [۱۰۱]. این سامانه‌های شبکه‌ای برای انقلاب صنعتی نسل چهار اهمیت حیاتی دارند، و از جمله به اتصال و شبکه‌سازی تمام عناصر درگیر در یک سامانه تولید هوشمند نیاز دارند.

وقتی سامانه فیزیکی سایبری در یک محیط تولید متصل مستقر می‌شود، جایگزین هرم خودکارسازی سنتی می‌شود و اینترنت اشیاء و سامانه‌های خودکارسازی، که به طور سنتی از هم جدا هستند را ترکیب می‌کند [۱۰۲]: دو حوزه مهم در این رویکرد عمدتاً فناوری اطلاعات و فناوری عملیات هستند:

- حوزه فناوری اطلاعات (IT): دامنه مربوط به پردازش داده‌ها برای به دست آوردن اطلاعات ارزشمند است،
- حوزه فناوری عملیات (OT): دامنه مربوط به حمایت از خلق ارزش فیزیکی در فرآیندهای تولیدی است.

یک نمونه کاربردی سامانه فیزیکی سایبری، سطل هوشمند (iBin) می‌باشد که توسط Würth ابداع شده است. این شامل یک دستگاه دوربین مادون قرمز داخلی برای مدیریت قطعات C در یک کارخانه تولیدی است و میزان قطعات C^2 را در iBin تعیین می‌کند. اگر مقدار کمتر از سطح تعیین شده باشد، iBin به طور خودکار قطعات جدید را از طریق شناسایی با امواج رادیویی سفارش می‌دهد [۱۰۳].

سامانه تولید فیزیکی سایبری

مفهوم سامانه فیزیکی سایبری بیش از یک دهه به موضوع تحقیق جذاب تبدیل شده است. این سامانه در ابتدا برای زمینه‌های غیر از تولید و صنعت تولید مطرح می‌شد، اما با ترسیم چشم‌انداز انقلاب صنعتی نسل چهار، اشاره مستقیم به سامانه فیزیکی سایبری برای صنعت تولید مطرح گردید. امروزه این سامانه به طور مؤثر و به شکل سامانه تولید فیزیکی سایبری در خودکار سازی و کنترل فرآیند تولید صنعتی وارد شده است [۱۰۴]. اکنون سال‌ها است که اصطلاحات «صنعت نسل چهار» و «سامانه تولیدی فیزیکی سایبری» با هم برای تأثیر بر دیجیتالی شدن روند کلان در صنعت تولید استفاده می‌شوند.

^۱ Networked Control System (NCS)

^۲ براساس تجزیه و تحلیل ABC، قطعات C قطعاتی کوچک، پر مصرف، کم ارزش، و برای خط تولید بسیار مؤثر هستند. پیچ و مهره و واشر و امثال اینها نمونه‌های قطعات موسوم به C می‌باشند.

سامانه تولید فیزیکی سایبری که ریشه در سامانه فیزیکی سایبری دارد، سامانه‌ای برای همکاری و خودکار نمودن است که در تمام سطوح تولید، از فرآیندها تا ماشین‌آلات گرفته تا شبکه‌های تولید و لجستیک، حضور دارد. آنها قادر به دسترسی، ارائه و استفاده از داده‌های تولید از دنیای واقعی و در زمان واقعی هستند. جنبه‌هایی مانند حاکمیت، ارتباط یکپارچه، بهینه‌سازی و پاسخگویی باید به ویژه توسط این سامانه‌ها مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر اینها، شبیه‌سازی، شبکه‌های حسگر، داده‌های عظیم و موضوعات امنیتی نقش مهمی در مقابله با چالش‌های پیاده‌سازی این سامانه دارند.

پیشرفت‌های اخیر در زمینه حسگرهای هوشمند، شبکه‌های بی‌سیم و تراشه‌های تعبیه‌شده، همراه با کاهش مداوم هزینه‌های فناوری، به توسعه سریع اینترنت اشیاء صنعتی کمک کرده است. از این رو، اینترنت اشیاء صنعتی به عنوان محرک اصلی برای اجرای صنعت نسل چهارم ظاهر می‌شود و به طور مستقیم با توسعه موفقیت‌آمیز سامانه تولید فیزیکی سایبری مرتبط است. سامانه تولید فیزیکی سایبری همراه با اینترنت اشیاء صنعتی، ایجاد یک شبکه هوشمند از ماشین‌آلات، سامانه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، محصولات هوشمند و افراد را در کل زنجیره ارزش و چرخه عمر کامل محصول ممکن می‌سازد. ارتباط با زیرساخت‌ها نیز واقعیتی است که توانایی دسترسی به اطلاعاتی که از سایر سکوها هوشمند (مانند لجستیک هوشمند) می‌آید را فراهم می‌کند.

فصل ۴: فناوری‌های نرم

برخی فناوری‌های صنعت نسل چهار دارای هوش مصنوعی هستند که به سامانه‌های تولیدی اجازه می‌دهند تا از تجربیات خود بیاموزند و در نهایت یک فرآیند متصل، هوشمند و فراگیر را تحقق بخشند. هر چند مرز شفافی بین این فناوری‌ها دیده نمی‌شود اما مهم‌ترین ویژگی مشترک این فناوری‌ها نرم‌افزاری بودن آنها است و در اینجا به عنوان یک گروه مستقل معرفی می‌شوند. فراتر از ویژگی نرم‌افزار بودن این فناوری‌ها، قابلیت ترکیب آنها با یکدیگر و یکپارچگی با اینترنت اشیاء صنعتی و سامانه فیزیکی سایبری است. همین ترکیب و یکپارچگی‌ها است که زمینه نوآوری‌های گسترده در انقلاب صنعتی نسل چهار را در پی دارد.

امنیت سایبری	Cyber Security	حفاظت از داده‌ها و کاهش خطر دستکاری و دسترسی‌های غیر مجاز، اعتمادسازی برای مصرف‌کننده، افزایش بهره‌وری، محافظت در برابر جاسوس‌افزارها، کرم‌ها و ویروس‌ها.
واقعیت افزوده	Augmented Reality	طراحی و مونتاژ سریع و هوشمند محصولات، بهبود عملکرد اپراتور، پشتیبانی مؤثرتر متخصصین، تعمیر و نگهداری مؤثر ماشین‌آلات و تضمین کیفیت
شبیه‌سازی	Simulation	بهینه‌سازی پارامترهای محصول/ فرآیند، کاهش مخاطرات سرمایه‌گذاری، به حداقل رساندن ضایعات، امکان نمونه‌سازی سریع‌تر، تجزیه و تحلیل مجازی در سناریوهای پیچیده
تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم	Big Data Analytics (BDA)	از تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم در بسیاری موضوعات از جمله بهینه‌سازی دارایی‌ها در زنجیره تأمین، طراحی کیفیت محصول، پیش‌بینی بهتر آینده، شناسایی روندها، و رضایت بیشتر مشتری استفاده می‌شود.

این فناوری هزینه‌های سرمایه‌ای کمتر، انعطاف‌پذیری عملیات، بازیابی فاجعه/ بلایا، به روز رسانی خودکار نرم‌افزار، توسعه ارتباطات یکپارچه، آزادی عملیاتی، امنیت داده‌ها، و ایجاد فرصت‌هایی برای افزایش مهارت نیروی کار را در پی دارد.	رایانش ابری Cloud Computing
---	--------------------------------

امنیت سایبری^۱

امنیت سایبری که یک الزام اساسی در همه فناوری‌های انقلاب صنعتی نسل چهارم است «توانایی محافظت یا دفاع در فضای سایبری در مقابل تهدیدات، حملات، و دسترسی‌های غیر مجاز» را بر عهده دارد [۶۵]. براساس گزارش فهرست جهانی امنیت سایبری ۲۰۱۸ اتحادیه بین‌المللی مخابرات (ITU) تنها ۴۲ درصد از ۱۹۳ کشور عضو، راهبرد امنیت سایبری ملی دارند. از آنجا که عملکرد بیشتر توانمندسازهای صنعت نسل چهارم به شدت به اقدامات امنیتی سایبری متکی است، این گزارش در جای خود هشدار دهنده است. در نتیجه، امنیت سایبری عبور از یکی از موانع اصلی برای پذیرش فناوری‌های صنعت نسل چهارم است [۱۰۵]. علاوه بر این، توسعه دیجیتالی هم بدون امنیت سایبری پایدار نخواهد بود.

بسیاری از شرکت‌ها هنوز به سامانه‌های مدیریتی و تولیدی که متصل نیستند یا جزیره‌ای هستند متکی می‌باشند. با افزایش اتصال و استفاده از شیوه‌نامه‌های استاندارد ارتباطی که یکی از الزامات صنعت نسل چهارم است، نیاز به محافظت از سامانه‌های صنعتی و خطوط تولید، در برابر تهدیدات امنیت سایبری به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در نتیجه، به دلیل هویت پیچیده اشیاء و فرآیندها، و مدیریت دسترسی ماشین‌ها و کاربران، به ارتباطات ایمن و قابل اعتماد نیاز ضروری است. در همین اواخر، چندین فروشنده تجهیزات صنعتی از طریق مشارکت یا خرید شرکت‌های امنیت سایبری، به راهبردهای جدید امنیتی برای محصولات خود دست یافتند.

حرکت به سمت دیجیتالی‌سازی، سامانه‌های فیزیکی سایبری، دستگاه‌های به هم پیوسته، و ارتباطات بلادرنگ در زمینه صنعت نسل چهارم، اهمیت داده‌های تولید شده و حفاظت از آنها در راس موضوعات قرار گرفته است. امنیت سایبری به سرعت در حال تبدیل شدن به یک نگرانی اصلی برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان شده است. امنیت سایبری ترکیبی از سیاست‌ها و شیوه‌هایی است که توسط افراد و سازمان‌ها برای نظارت بر رایانه‌ها، شبکه‌ها، برنامه‌ها و داده‌ها و جلوگیری از دسترسی غیرمجاز یا حملات برای بهره‌برداری غیر مجاز یا تخریب، استفاده می‌شود.

^۱ Cyber Security

تهدیدهای سایبری می‌تواند به طور غیر قابل جبرانی به یک سازمان آسیب برسانند. به ویژه، بخش تولید در معرض خطراتی مانند سرقت مالکیت معنوی، نابسامانی در ابعاد یکپارچگی داده‌ها، آسیب‌های فیزیکی سایبری، ایمنی کارکنان و کاهش بهره‌وری قرار می‌گیرد.

الزام به استانداردسازی شیوه‌نامه‌های امنیت سایبری برای ایجاد اعتماد در سازمان‌ها اهمیت دو چندان پیدا کرده است. رایج ترین این استانداردها ISO/IEC 27001 و 27002 به عنوان بخشی از خانواده استانداردهای ISO/IEC 27000 هستند که توسط سازمان بین‌المللی استاندارد و کمیسیون الکتروتکنیک منتشر شده است.

برای استقرار موفق امنیت سایبری، دو عنصر فناوری به شرح زیر شناسایی شده است [۶۵]:

عنصر فناوری	شرح
ردیابی و شناسایی تهدید	با افزایش تعداد و پیچیدگی تهدیدات سایبری، سامانه‌های امنیتی در قابلیت‌های تشخیص بهبود یافته است. به طور کلی، تهدیدات سایبری می‌توانند انواع مختلفی داشته باشند: Malware, Phishing and spear Denial, Ransomware, Trojans, Man-in-the-middle attacks, phishing Data, Attacks on IoT devices, or distributed denial of service attacks breaches و ...
مقابله با از دست دادن داده‌ها	همه اینها در درجات مختلف با صنعت نسل چهار مرتبط هستند و همچنین راه‌های مبارزه با آنها کاملاً متنوع است. این تهدیدات امنیتی از بزرگ‌ترین و ضمناً از چالش‌های در حال رشد برای اینترنت اشیاء و سایر فناوری‌های صنعت نسل چهار اعم از فناوری‌های نرم و سخت هستند. برای موفقیت فناوری‌های صنعت نسل چهار، کاهش قابل توجه تهدیدهای امنیتی ضروری است.
مقابله با از دست دادن داده‌ها	محافظت برای از دست ندادن داده‌ها، به مجموعه‌ای از ابزارها و فرآیندها اشاره دارد که برای اطمینان از گم شدن، سوء استفاده یا دسترسی کاربران غیرمجاز به داده‌های حساس استفاده می‌شود. در چشم‌انداز صنعت نسل چهار فرآیندهای زیادی در بستر رایانش ابری در حال انجام است که مقابله با از دست دادن داده‌ها و امنیت سایبری را به طور کلی چالش برانگیزتر می‌کند. یک فناوری بالقوه که اغلب در رابطه با محافظت برای از دست ندادن داده‌ها ذکر می‌شود، فناوری زنجیره بلوکی ^۱ است [۱۰۶]. این یک فناوری امیدوار کننده از جنبه‌های احراز هویت، محرمانه بودن، پاسخگویی و عدم انکار، قابلیت ردیابی و ابطال است.

¹ Blockchain

امروزه اهمیت امنیت سایبری منجر به تحقیقات گسترده‌ای شده که در آنها تهدیدات/ حملات برنامه ریزی شده به سامانه‌های تولیدی با اهداف زیر دیده می‌شود:

- میزان آسیبی که می‌تواند به نرم‌افزار و سخت افزار وارد شود،
- ارزیابی توانایی‌های شیوه‌نامه‌های کنترل سایبری موجود،
- ارزیابی شایستگی افراد در شناسایی تهدیدات سایبری.

مخاطرات سایبری در فضای انقلاب صنعتی نسل چهار می‌توانند محصولات و فرآیندها را تحت تأثیر قرار دهند، داده‌ها را تغییر دهند و خدمات را رد کنند و منجر به از دست دادن قابل توجه زمان و منابع شوند. برای مثال، تغییر طراحی محصول در یک حمله سایبری، می‌تواند اثرات فاجعه باری بر عملکرد و کارایی محصول داشته باشد. سامانه‌های کنترل کیفیت موجود قادر به شناسایی حملات مخرب نیستند و به سادگی محصول را به دلیل عدم رعایت استانداردهای کیفیت رد می‌کنند.

براساس یک حمله سایبری آزمایشی از طریق وپروس‌ها، مسیر حرکت ابزار ماشین فرز سه محوره برای ساخت نمونه آزمایش کششی تغییر کرد. شرکت کنندگان در این آزمایش متوجه شدند که نمونه آنها با ابعاد مناسب ساخته نشده است، اما هیچ کس قادر به تشخیص این مشکل به عنوان یک حمله سایبری نبود [۱۰۷]. محققان در این آزمایش، کمبود آموزش و دانش در شناسایی چنین حملاتی را نشان دادند.

در یک آزمایش دیگر، یک حمله سایبری روی فایل STL در سامانه «تولید به روش افزودنی» انجام شد. این فایل آسیب پذیرترین بخش در این روش تولید است. براساس این آزمایش، یک حباب در داخل محصول قرار گرفت که به راحتی می‌توانست از طریق روش‌های معمول از آن جلوگیری کرد. این حباب باعث کاهش ۱۴ درصدی در استحکام محصول شد که نشان دهنده سهولت ایجاد یک نقص است. آزمایش کنندگان همچنین توصیه‌هایی برای کاهش چنین تهدیداتی، از قبیل بررسی‌های نرم‌افزاری بهبود یافته، امضای دیجیتال امن، بهبود نظارت بر فرآیند و آموزش اپراتورها ارائه کردند [۱۰۸].

واقعیت افزوده^۱

در انقلاب صنعتی نسل چهار بر استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات تاکید فراوان شده و هدف آن ارتقای ظرفیت مجازی سازی و تبادل اطلاعات است. واقعیت افزوده یا به عبارتی «واقعیت تکمیل شده با دنیای مجازی» نمادی از ترکیب دنیای واقعی با دنیای مجازی در سطح عالی است و موجب افزایش ادراک انسان از دنیای واقعی با استفاده از اطلاعات رایانه می‌گردد. در توسعه فناوری‌ها، حل مشکلات صنعت با شبیه‌سازی و کمک به بهبود فرآیندهای تولید قبل از انجام آنها، ممکن شده است. در واقعیت افزوده با استفاده از تلفن‌های هوشمند، تبلت‌ها و عینک‌های هوشمند از طریق «سکوه‌های همه جا در دسترس» می‌توان اطلاعات مرتبط را مستقیماً به میدان دید کارکنان اضافه و به انجام فعالیت‌ها کمک کرد.

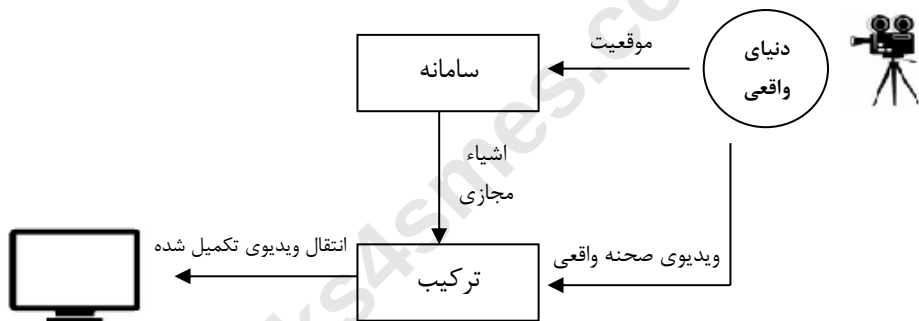
با این توصیفات، واقعیت افزوده ترکیبی از نرم‌افزار و سخت‌افزار است که برای راحتی شناخت در اینجا به عنوان یک فناوری صنعت نسل چهار از نوع نرم معرفی شده است.

به طور کلی، پنج عنصر فناوری مرتبط با واقعیت افزوده به شرح زیر شناسایی شده است [۶۵]:

عناصر فناوری	شرح
تعامل ماشین	از طریق دستگاه‌های واقعیت افزوده، اپراتورها می‌توانند اقدامات پیچیده‌ای را انجام دهند و به طور مستقیم با ماشین‌ها تعامل داشته باشند. برای مثال، ممکن است یک سامانه واقعیت افزوده برای کار با جرثقیل طراحی شده باشد، یا با برنامه‌نویسی همزمان روبات‌های همکار، نمونه دیگری از کاربرد واقعیت افزوده خلق شود.
تعامل انسان	امکان تعامل بین انسان‌ها بهبود یافته است. حتی اگر کارکنان یک کارخانه در یک مکان حضور نداشته باشند، امکان همکاری به صورت فراگیر وجود دارد. تعامل انسان‌ها اکنون با اینترنت سریع و دستگاه‌های ارزان بسیار فراگیرتر از قبل شده است.
آموزش	واقعیت افزوده همچنین یک فناوری توانمند از نقطه نظر آموزش و یادگیری وظایف جدید است. برای مثال، با ارائه اطلاعات دقیق در مورد روش‌های مونتاژ یا نگهداری ماشین‌آلات در طول عملیات، به طور مستقیم می‌توان از اپراتورها پشتیبانی کرد.

^۱ Augmented Reality (AR)

عنصر فناوری	شرح
ارتباطات	با استفاده از دستگاه‌های نوری، برای تسهیل و بهبود ارتباطات و درک محیط اطراف، امکان قرار دادن تصاویر، متن و نمادها بر روی میدان دید اپراتور فراهم شده است.
شبیه‌سازی	واقعیت افزوده ابزاری مفید برای طراحی است، زیرا شبیه‌سازی فرآیندهای تولید را قبل از انجام آنها ممکن می‌سازد. برای مثال، با استفاده از محیط‌های مجازی کاملاً همه جانبه، می‌توان کارخانه‌های صنعتی را با جزئیات دقیق طراحی نمود و یا با مجازی سازی فرآیند تولید، ماشین‌های کنترل عددی رایانه‌ای (CNC) را برنامه نویسی کرد.



واقعیت افزوده به این معنی است که آن چه شما می‌بینید همان دنیای فیزیکی و واقعی اطراف است. به علاوه این که چیزهای مجازی به آن اضافه شده است. به وسیله آن ایمیل‌ها، عکس‌ها یا فیلم‌ها را می‌توان به صورت سه بعدی در تلفن همراه مشاهده کرد. همچنین می‌توان با نشانگر نقشه از طریق رابط دوربین تلفن همراه و با چرخاندن سر به اطراف، جهت‌های واقعی را مشاهده نمود، یا با استفاده از گوشی مخصوص می‌توان از آن برای اضافه کردن موضوعات مجازی به فیلم ویدیویی یا بازی‌ها استفاده کرد.

سامانه‌های پیچیده‌تر واقعیت افزوده به شما اجازه می‌دهند تا دیوار خانه خود را به گونه‌ای ببینید که گویی صفحه رایانه خود را می‌بینید و تعدادی برنامه روی آن دارید. با ترکیب واقعیت افزوده با دنیای واقعی می‌توان در آن کارهای خارق العاده و خارج از تصور امروزی را انجام داد. برخی انواع واقعیت افزوده که ما امروز بر روی گوشی تلفن همراه خود می‌بینیم، به این صورت است که توسط کدهای QR اشیاء مجازی را در جاهایی قرار می‌دهند که دوربین می‌تواند آن‌ها

را ببینند. احتمالاً برای شما نیز پیش آمده که توسط دوربین تلفن همراه خود و با استفاده از برنامه‌های خواندن QR یک آدرس اینترنتی باز می‌شود یا شما را به صفحه‌ای دیگر هدایت می‌کند. البته پیشگامان این فناوری به دنبال انجام کارهای انقلابی‌تر و جذاب با هولوگرام‌ها و دستورات متحرک هستند.

برخی سامانه‌های پیچیده‌تر مانند Google Tango و Microsoft Hololens از مجموعه‌ای از دوربین‌ها استفاده می‌کنند تا رایانه را از موقعیتش در اتاق مطلع کرده و اجازه می‌دهند کاربر در اطراف اشیاء مجازی حرکت کند و آنها را همانطور که در اتاق هستند ببیند.

سامانه‌های مبتنی بر واقعیت افزوده از خدمات مختلفی مانند انتخاب قطعات در انبار و ارسال شیوه‌نامه تعمیر از طریق تلفن همراه پشتیبانی می‌شوند. این سامانه‌ها در حال حاضر در مراحل ابتدایی خود هستند، اما در آینده، شرکت‌ها از واقعیت افزوده برای ارائه اطلاعات بلادرنگ به کارکنان برای بهبود تصمیم‌گیری و رویه‌های کاری استفاده خواهند کرد. با این روش ممکن است کارکنان رویه‌های تعمیراتی برای تعویض یک قطعه خاص را، هنگام نگاه کردن به سامانه واقعی که نیاز به تعمیر دارد، دریافت کنند. این اطلاعات ممکن است با استفاده از وسایلی مانند عینک واقعیت افزوده مستقیماً در میدان دید کارکنان فنی نمایش داده شود.

کاربرد دیگر واقعیت مجازی آموزش مجازی است. شرکت زیمنس یک بسته آموزش مجازی برای اپراتورهای کارخانه روی نرم‌افزار Comos خود طراحی نمود که از یک محیط سه بعدی واقعی و مبتنی بر داده، با عینک‌های واقعیت افزوده و با هدف عبور از شرایط اضطراری استفاده می‌شود. در این دنیای مجازی، اپراتورها می‌توانند با کلیک بر روی یک نمایش سایبری تعامل با ماشین‌ها را یاد بگیرند. آنها همچنین می‌توانند پارامترها را تغییر دهند و داده‌های عملیاتی و شیوه‌نامه‌های تعمیر و نگهداری را بازیابی کنند [۶۶].

در برخی کاربردها از واقعیت افزوده برای پشتیبانی از مهندسين تولید و اپراتورهای سطح کارگاه در تهیه و استفاده از شیوه‌نامه‌های مونتاژ استفاده شده است [۱۰۹]. این روش به کارکنان این امکان را می‌دهد که سریع‌تر اقدام کنند و بار مطالعاتی آنها در اجرا، کاهش یافته و در نتیجه کارایی عملیاتی افزایش یابد.

برخی انواع واقعیت افزوده

واقعیت افزوده مبتنی بر نشانگر یا چشمی^۱: در این روش، از یک دوربین و نوعی نشانگر مانند تصویر دوبعدی یا کد QR استفاده می‌شود. نشانگر در دنیای فیزیکی توسط یک برنامه واقعیت افزوده خوانده می‌شود. این نشانگرها به راحتی شناسایی می‌شوند و نیازی به پردازش زیاد برای خواندن ندارند. ضمناً موقعیت و جهت را هم محاسبه می‌کنند و برخی از انواع محتوا و یا اطلاعات مربوط به نشانگر را هم ارائه می‌کنند.

واقعیت افزوده مبتنی بر نشانگر معمولاً برای اهداف بازاریابی و خرده‌فروشی استفاده می‌شود. نمایش تصاویر، مدل سه‌بعدی و ویدیو روی یک هدف دوبعدی یا کارت ویزیت هم از دیگر کاربردهای این فناوری است.

در این فناوری از پردازش چشمی^۲ استفاده شده است. پردازش چشمی اصطلاح جامعی است که گرافیک رایانه‌ای و فناوری‌های رسانه‌ای را برای کارخانه‌های هوشمند در آینده پوشش می‌دهد. برخی دانشمندان نقش پردازش چشمی در پشتیبانی اپراتورها در صنعت نسل چهارم را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنها چالش‌هایی که اپراتورها در کارخانه‌های هوشمند با آن روبرو می‌شوند، و فناوری‌هایی که این چالش‌ها را کاهش می‌دهند، را توضیح داده اند [۱۱۰]. برای مثال:

- اپراتورها می‌توانند برای انجام فعالیت‌های خود، با استفاده از فناوری واقعیت افزوده در تعامل انسان با ماشین، آموزش ببینند؛
- از تصمیم‌گیری اپراتورها می‌توان با استفاده از دوقلوهای دیجیتال^۳، داشبوردهای چند صفحه‌ای^۴، یادگیری از فعالیت اپراتورها به روش یادگیری عمیق مبتنی بر ویدیو^۵، و نظارت سامانه اجرای تولید، پشتیبانی کرد.

در جای دیگر، از مفهوم اپراتور نسل چهارم با پردازش چشمی استفاده شده است. در این مفهوم نیز چارچوبی با مثال‌های عملی ارائه شده و این نتیجه حاصل گردید که فناوری‌های پردازش چشمی می‌توانند به طور مؤثر به افزایش توانایی اپراتور برای انجام وظایف سنتی کمک کنند [۱۱۱].

^۱ Visual Augmented Reality (VAR)

^۲ Visual Computing

^۳ Digital Twins

^۴ Multi-Screen Dashboards

^۵ Video-Based Deep Learning

واقعیت افزوده مکانی^۱: با این نوع واقعیت افزوده، می‌توان چیدمان و مکان‌یای مختلف را به‌طور کاملاً دیجیتالی، شبیه دنیای واقعی، بدون نیاز به جابجایی فیزیکی اشیاء، پیاده‌سازی کرد. واقعیت افزوده مکانی به دوربین، GPS، قطب‌نمای دیجیتالی و شتاب‌سنج متکی است تا اطلاعات لازم را برای نرم‌افزار واقعیت افزوده جمع‌آوری کند. به عنوان مثال یک ماشین مجازی بدون در نظر گرفتن فضای اطراف، می‌تواند در هر نقطه با زاویه و نمای دلخواه تنظیم شود.

از این فناوری برای نقشه‌برداری مسیرها، پیدا کردن کسب‌وکارهای نزدیک و سایر برنامه‌های کاربردی با محوریت تلفن همراه استفاده می‌شود.

واقعیت افزوده مبتنی بر موقعیت مکانی، محتوای دیجیتالی را در یک مکان خاص نمایش می‌دهد. در واقع اشیاء به گونه‌ای ترسیم می‌شوند که وقتی مکان کاربر با نقطه از پیش تعیین شده مطابقت داشته باشد، روی صفحه نمایش ظاهر می‌شود. این نوع واقعیت افزوده از طریق مشاهده مکان مورد نظر با دوربین سامانه واقعیت افزوده و تلفیق آن با اشیاء مجازی عمل می‌کند.

در یک تجربه ثبت شده، یک نمونه اولیه از این فناوری طراحی شد تا در خطوط مونتاژ دستی استفاده شود. در این تجربه نمونه اولیه واقعیت افزوده مکانی، روی مونتاژ موتورسیکلت آزمایش شد و اثر بخشی عملیات بین واقعیت افزوده مکانی و استفاده از داده‌های کاغذی مقایسه گردید. بهبود عملکرد و کاهش نرخ خطا در این آزمایش به خوبی نمایان گردید [۱۱۲]. برخی دیگر تقویت یک جریان داده بر اساس نمودارهای فرآیند را برای هدایت مونتاژ دستی پیشنهاد دادند. آنها نشان دادند که چنین عملکردی می‌تواند با القای مهارت‌های به دست آمده از طریق انجام کار، که در غیر این صورت به دانش تخصصی نیاز داشت، مهارت کارکنان را بهبود می‌بخشد [۱۱۳]. در مورد دیگری استفاده از یک سامانه واقعیت افزوده مکانی مبتنی بر نورپرداز را برای تضمین کیفیت مورد بررسی قرار دادند. این سامانه در کارخانه هولدن جنرال موتور در استرالیا راه‌اندازی شد و برای ارزیابی کیفیت نطقه‌های جوش کاری شده دستی در خودروهای هولدن کروز استفاده شد. آنها کاهش ۵۲ درصدی در انحراف استاندارد را گزارش کردند و منجر به درجه بالاتری از دقت و صحت عملکرد توسط کارکنان فنی، بر اساس راهنمای واقعیت افزوده شد [۱۱۴]. برخی متخصصین استفاده از واقعیت افزوده مکانی و نمایشگرهای نصب شده روی سر را برای بازرسی نقطه‌های جوش در تولید خودرو مورد بررسی قرار دادند. آنها افزایش قابل توجهی در کارایی اپراتورها را گزارش کردند [۱۱۵]. زیرا اطلاعات در زمان مناسب و در مکان مناسب، به جای شیوه‌نامه‌های کاغذی که کاملاً بی‌اثر هستند، در دسترس بود.

¹ Spatial Augmented Reality (SAR)

واقعیت افزوده نوری: این نوع واقعیت افزوده با ایجاد نور مصنوعی بر روی سطوحی از دنیای واقعی کار می‌کند. در این روش، برای ایجاد تعامل با دنیای واقعی، یک جریان نوری به سطحی از دنیای واقعی ارسال می‌شود. در واقعیت افزوده نوری، از فناوری لیزر پلاسما برای طراحی هولوگرام سه بعدی و تعامل با فضای اطراف استفاده می‌شود.

واقعیت افزوده ترکیبی با دوقلوی دیجیتال و روبات‌های همکار با انسان: توسعه دوقلوهای دیجیتال توجه جریان اصلی را به خود جلب می‌کند، زیرا با این فناوری، امکان نظارت و کنترل در زمان واقعی یک دارایی فیزیکی از طریق یک نسخه دیجیتالی مجازی^۱ فراهم می‌شود. دو تن از متخصصین توانستند فناوری دوقلوی دیجیتال از یک ماشین فرز CNC را توسعه دهند و از هولولنز^۲ برای تقویت داده‌ها استفاده کنند [۱۱۶].

فناوری واقعیت افزوده به کاربر امکان نظارت و کنترل دستگاه و همچنین تعامل و مدیریت داده‌های دوقلوی دیجیتال را به طور همزمان می‌دهد. در تلاش دیگری فناوری واقعیت افزوده را با یک روبات همکار با انسان^۳، یک دستگاه مشاهده، فناوری دوقلوی دیجیتال، و یک الگوریتم برای تجسم مونتاژ، ادغام نمودند. آنها کارآمدی این تنظیم را برای قرار دادن داده‌های افزوده شده بر روی محصول فیزیکی، با دقت بسیار خوبی اثبات کردند و ظرفیت آن را برای بهبود فرآیندهای تولید نشان دادند [۱۱۷].

نمونه‌های اشاره شده نشان می‌دهد که واقعیت افزوده، برای صنعت تولید بسیار مفید است، اما ارزش آن با ادغام با سایر فنون، مانند دوقلوهای دیجیتال و روبات‌های همکار با انسان، افزایش فوق العاده می‌یابد.

از این فناوری‌ها در زندگی روزمره همراه با نوآوری‌های دیگر استفاده می‌شود. تفکیک مرزها و خطوط، برای کمک به شرایطی که چشم انسان نمی‌تواند تشخیص دهد، یک نمونه دیگر از کاربرد این فناوری در زندگی عادی انسان‌ها است. برای مثال، در رانندگی در شرایط نیمه روشن می‌توان از این فناوری استفاده نمود. در این کاربرد، واقعیت افزوده دقیقاً خطوط وسط جاده را به راننده نشان می‌دهد تا هنگام رانندگی در شرایط سخت، از صدمه و آسیب‌های احتمالی دور نگه داشته شود. در کاربرد دیگری از این فناوری برای کمک به راننده هنگام پارک کردن اتوموبیل در مکان کاملاً مشخص شده و تنگ استفاده می‌شود.

^۱ Virtual Digital Replica

^۲ HoloLens

^۳ COBOT

تفاوت واقعیت مجازی^۱ و واقعیت افزوده

در انقلاب صنعتی نسل چهار، استفاده از واقعیت افزوده و واقعیت مجازی هر دو بسیار سودمند است زیرا موجب سهولت و انعطاف‌پذیری عملیات می‌شوند. اما واقعیت افزوده اغلب با واقعیت مجازی اشتباه می‌شود:

- فناوری واقعیت افزوده، اطلاعات و محتوای دیجیتالی را در دنیای واقعی، در زمان واقعی، با استفاده از یک نمایشگر یا عینک پوشش می‌دهد. از واقعیت افزوده در تعمیر و نگهداری، و خدمات سامانه‌های پیچیده مانند موج‌شکن‌های هیدرولیکی^۲ استفاده شده است [۱۱۸، ۱۱۹].

- اما در واقعیت مجازی به کاربران اجازه داده می‌شود تا با گوشی مخصوص^۳ به دنیای مجازی بپردازند. مهم‌ترین حوزه کاربردی واقعیت مجازی از دهه ۱۹۹۰ به این طرف، موضوعاتی مانند ریاضیات، هندسه، فیزیک، شیمی و آناتومی بوده است [۱۲۰]. در سال‌های اخیر، از واقعیت مجازی در آموزش استفاده فراوان گردید.

واقعیت مجازی و واقعیت افزوده بازتابی معکوس از یکدیگر هستند. واقعیت مجازی یک سرگرمی دیجیتالی در بستر دنیای واقعی است در حالی که واقعیت افزوده با اضافه کردن عناصر مجازی به دنیای واقعی خودنمایی می‌کند.

این دو فناوری می‌توانند در زمینه پزشکی مانند جراحی کمک کننده باشند همانطور که برای درمان مشکلات روحی و برخی فشار روانی‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. البته این گونه نیست که این فناوری‌ها همیشه به صورت مجزا از یکدیگر عمل کنند بلکه معمولاً از ترکیب آنها برای واقعی کردن شرایط استفاده می‌شود. به طور کلی این فناوری‌ها راه را برای تعامل دستگاه‌های دیجیتالی و دنیای واقعی هموار می‌کنند.

در بسیاری موارد، این دو فناوری ترکیب می‌شوند و به آن واقعیت ترکیب شده می‌گویند که فرای کیفیت و دقت در فاصله، زمان و مقیاس و افزایش درک، کار گروهی، ارتباطات و تصمیم‌گیری، کاربردهای عظیمی را به ارمغان می‌آورند. اگرچه واقعیت افزوده به عنوان یک فناوری در حال توسعه در نظر گرفته می‌شود و برخی از شیوه‌نامه‌های فنی آن هنوز تهیه نشده، اما همچنان نماد صنعت نسل چهار است. زیرا دنیای فیزیکی و دیجیتال و در واقع حوزه عمومی و خصوصی را گرد هم می‌آورد.

^۱ Virtual Reality (VR)

^۲ Hydraulic Breakers

^۳ Headset

شرکت‌های مطرح در توسعه واقعیت مجازی و واقعیت افزوده، گوگل، میکروسافت، اپل، و Epson هستند. نمونه‌هایی از عینک‌های هوشمند واقعیت افزوده که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از عینک‌های گوگل، هولولنز مایکروسافت، هدست اپل و Epson Moverio Pro BT-2000. [۱۲۱].

شبیه‌سازی^۱

شبیه‌سازی یک روش معمول برای تجزیه و تحلیل رفتار سامانه‌های پیچیده است. شبیه‌سازی یک فناوری کلاسیک قدیمی است که قدمت آن به دوران رایانه‌های آنالوگ می‌رسد. با این وجود، کاربرد آن در زمینه‌های مختلف به دلیل توانایی اثبات شده آن در بهبود اجزای سامانه‌های تولید (محصولات، مواد و طراحی مهندسی انسانی، مصرف انرژی، فرآیندهای تولید و کارایی)، آموزش و سایر بخش‌های صنعتی گسترش یافته است. برای مثال، شبیه‌سازی در خودروسازی، تولید سرامیک و فرآیندهای شیمیایی، آموزش جراحی در پزشکی، اورولوژی و جراحی کودکان استفاده می‌شود. بعلاوه، برای مطالعه سامانه‌های پیچیده مانند سامانه مبتنی بر رایانش ابری و ایمنی گروهی به ویژه برای کارگران در معادن زیرزمینی استفاده شده است [۴۳].

پیش‌بینی می‌شود شبیه‌سازی به دلیل نیاز به درک رفتار سامانه‌های پیچیده با آخرین نوآوری‌های فناوری در زمینه‌هایی مانند حمل و نقل، ارتباطات، پزشکی، و علم اوزان به سرعت پیشرفت کند. به همین دلیل، توسعه دهندگان نرم‌افزارهای شبیه‌سازی به طور مداوم در حال به روز رسانی نرم‌افزارهای خود برای رفع نیازهای صنعت نسل چهار هستند. به عنوان مثال زیمنس، راکول اتوماسیون، MathWorks و Festo که به ترتیب توسعه دهندگان نرم‌افزارهای Solid edge، Arena، Simulink و FluidSim هستند، مرتب نسخه‌های به روز شده این نرم‌افزارها را منتشر می‌کنند [۱۲۲].

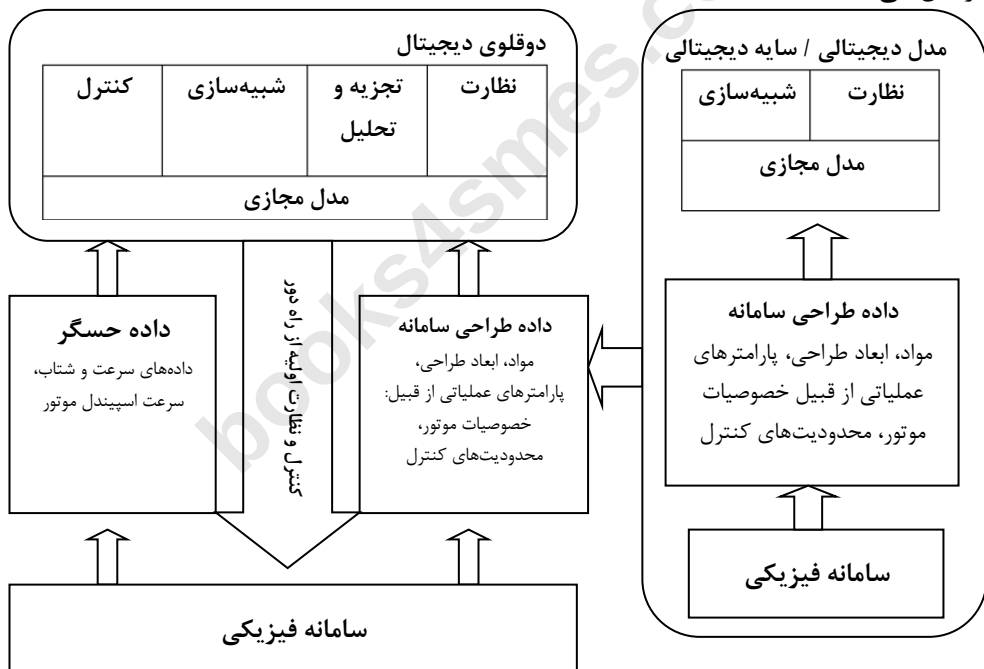
به خاطر پیچیدگی صنعت نسل چهار و مشکلاتی که با پیاده سازی و هماهنگی آن پیش آمده، شبیه‌سازی می‌تواند برای تسهیل استفاده از تمامی اجزای سامانه‌هایی مانند روبات‌ها، فناوری اطلاعات، تولید، و لجستیک مفید باشد. شبیه‌سازی نمایش عملیات دنیای واقعی در تابعی از زمان است. در کنار اتصال شبکه‌ای برخی اجزای صنعت نسل چهار، بهینه‌سازی متقابل آنها نیز مهم است. به همین دلیل، به طور فزاینده از شبیه‌سازی برای ارائه راه‌حل‌های بهینه یا تقریباً

¹ Simulation

بهینه برای کمک به تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شود. این رویکرد تا حد زیادی اتلاف وقت برای آزمایش‌هایی که باید در غیاب شبیه‌سازی انجام شود، را کاهش می‌دهد.

قبلاً در مرحله مهندسی، برای شبیه‌سازی سه عنصر محصولات، مواد، و فرآیندهای تولید از این فناوری استفاده شده است. اما در آینده، از شبیه‌سازی به طور گسترده‌تری در کارخانه‌ها استفاده خواهد شد. در شبیه‌سازی‌ها از داده‌های زمان وقوع برای انعکاس دنیای فیزیکی در یک مدل مجازی استفاده می‌شود. با این توانایی می‌توان فعالیت و واکنش ماشین‌ها، محصولات و انسان‌ها را شبیه‌سازی نمود.

یکی از کاربردهای خاص شبیه‌سازی، «دوقلوی دیجیتالی»^۱ نام گرفته است. این فناوری به اپراتورها اجازه می‌دهد تا تنظیمات ماشین‌آلات برای محصول بعدی را در دنیای مجازی، قبل از تغییرات فیزیکی، آزمایش و بهینه کنند، در نتیجه زمان راه‌اندازی دستگاه کاهش یافته و کیفیت افزایش می‌یابد.



برای مثال، شرکت زیمنس با یک همکار آلمانی، یک ماشین مجازی طراحی کردند که می‌تواند ماشینکاری قطعات را با استفاده از داده‌های ماشین فیزیکی شبیه‌سازی کند. این سامانه زمان فرآیند ماشینکاری واقعی را تا ۸۰ درصد کاهش داده است [۶۶].

¹ Digital Twin

تاکنون سه عنصر کلیدی برای توسعه فناوری‌های شبیه‌سازی شناسایی شده است [۶۵]:

عنصر فناوری	شرح
محصول و فرآیندها	شبیه‌سازی محصول و فرآیندها بسیار مهم و مبنایی برای شبیه‌سازی سامانه‌های بزرگتر است که موجب خلق صنعت نسل چهارم شده است. شبیه‌سازی ممکن است شامل تجزیه و تحلیل عناصر محدود ^۱ ، شبیه‌سازی عملکرد آکوستیک محصول، شبیه‌سازی رفتار ساختارهای کامپوزیت و تخریب پیش‌رونده، و شبیه‌سازی دینامیک سیالات باشد. یکی از چالش‌های شبیه‌سازی فرآیند، توسعه تولید به کمک رایانه (CAM) برای خودکارسازی فرآیندهای تولید است.
خطوط تولید، ایستگاه‌های کاری، و لجستیک داخلی	نقش کلیدی برای ایجاد یک کارخانه مجازی استفاده از شبیه‌سازی رویداد گسسته ^۲ است. کارخانه‌های مجازی که به عنوان دوقلوی دیجیتال هم شناخته می‌شوند، از شبیه‌سازی نه تنها در مرحله طراحی و برنامه ریزی، بلکه در کل چرخه عمر محصولات تولیدی استفاده گسترده‌ای می‌کنند. همچنین علاقه فزاینده‌ای به پیاده‌سازی واقعیت مجازی و واقعیت افزوده همراه با فناوری‌های شبیه‌سازی، برای بهبود رویه‌های کاری موجود و برنامه‌ریزی چیدمان کارخانه وجود دارد.
شرکت و محیط عملیاتی آن	شبیه‌سازی امکان درک بهتر پویایی سامانه‌های پیچیده کسب‌وکار مانند زنجیره‌های تأمین و شبکه‌ها را فراهم می‌کند. رویکردهای اصلی شبیه‌سازی مورد استفاده در این زمینه، پویایی‌های سامانه ^۳ ، شبیه‌سازی رویداد گسسته و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل ^۴ است. شبیه‌سازی رویداد گسسته به بلوغ رسیده و در بسیاری از زمینه‌ها در شرکت‌ها پیاده‌سازی می‌شود. اما برخلاف شبیه‌سازی رویداد گسسته و پویایی‌های سامانه، شبیه‌سازی مبتنی بر عامل روی فعالیت‌های گسسته عناصر یک سامانه، متمرکز است. این نوع کارکردهای شبیه‌سازی اغلب برای شبیه‌سازی فعالیت کل سامانه شرکت‌ها ترکیب می‌شوند، که در واقع این ترکیب به دلیل رفتار مدل‌های هماهنگ و قابل اعتماد، تاحدودی چالش برانگیز است.

^۱ Finite Element Analysis

^۲ Discrete Event Simulation (DES)

^۳ System Dynamics (SD)

^۴ Agent-Based Simulation (ABS)

شبیه‌سازی، یک تقریب بر اساس مدل‌های ریاضی یا ابزارهای آماری تعیین‌شده برای نشان دادن رفتار یک محصول یا یک فرآیند با استفاده از گرافیک است. شبیه‌سازی با شرایط و مشاهدات مختلف، نتایج را برای تصمیم‌گیری آگاهانه در اختیار کاربران قرار می‌دهد. با این حال، اعتبارسنجی با درصد خطای قابل قبول برای استفاده در سناریوهای دنیای واقعی یک گام ضروری در شبیه‌سازی است.

جذابیت این فناوری‌ها ناشی از پیشرفت در بسته‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی با الگوریتم‌های پیچیده‌تر و گرافیک‌های جذاب است. از شبیه‌سازی می‌توان برای یک محصول یا یک فرآیند یا یک جریان فرآیند استفاده کرد. امروزه بسته‌های نرم‌افزاری مختلفی برای این سناریوها وجود دارد [۸۲]:

- محصولات و فرآیندهای تولید: معمولاً بر اساس روش‌های تحلیل عددی زیر شبیه‌سازی می‌شوند:

- FEM (Finite Element Method)
- FVM (Finite Volume Method)
- DEM (Discrete Element Method)

- برخی از بسته‌های نرم‌افزاری موجود برای اینگونه شبیه‌سازی‌ها در صنعت تولید عبارتند از:

- CAEplex
- MATLAB
- Ansys
- OpenFOAM
- EMS
- SolidWorks Simulation Premium
- COMSOL Multiphysics
- Flow-3D
- ProModel Optimization Suite

- جریان فرآیند تولید: بر اساس موارد مدل‌سازی مختلف از جمله موارد زیر شبیه‌سازی می‌شوند:

- Discrete Event or Process-Centric
- Systems Dynamics
- Petri Net
- Monte Carlo simulations
- Agent-Based

- برخی از بسته‌های نرم‌افزاری موجود برای اینگونه شبیه‌سازی‌ها در صنعت تولید عبارتند از:

- WITNESS

- AnyLogic ○
- FlexSim ○
- iGrafx ○
- Simio ○
- SimSci ○
- Simul8 Professional ○

این شبیه‌سازی‌ها می‌توانند مدل‌های متحرک و تعاملی برای تکرار عملیات یک مرکز تولید (موجود یا پیشنهادی) را ارائه کنند. آن‌ها می‌توانند به حل چالش‌های رایج تولید شامل ارزیابی تأثیر سرمایه‌گذاری، بهینه‌سازی/ برنامه‌ریزی تولید، طراحی تجهیزات، برنامه‌ریزی قابلیت تولید، بهبود فرآیند، تجزیه و تحلیل تنگناها، تعادل خط تولید، تخصیص منابع، بهبود جریان مواد و برنامه‌ریزی موجودی، آزمایش با فنون تولید ناب^۱، و آخرین اما نه کم‌اهمیت‌تر از بقیه، رویکردهای صنعت نسل چهار کمک کنند [۱۲۳، ۱۲۴].

استفاده از روش‌های بهینه‌سازی پیشرفته‌تر، برای شبیه‌سازی بسیار مفید است، زیرا باعث صرفه‌جویی در زمان محاسباتی و ارائه نتایج واقعی‌تر می‌شود. گروهی از متخصصین، یک صفحه ترمز حمل و نقل ریلی مورد استفاده در واگن‌های باری را تجزیه و تحلیل کردند. آنها با استفاده از Ansys CFX تجزیه و تحلیل عددی را برای بهینه‌سازی اتلاف حرارت و کاهش تلفات تهویه انجام دادند. تحقیقات آنها ۳۷٪ کاهش در تلفات تهویه و ۲۱٪ کاهش در جرم را نشان داد که منجر به عملکرد حرارتی بهتری شد و به طور بالقوه باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی گردید [۱۲۵].

در جای دیگری، یک انژکتور جدید با نازل مخروطی توخالی (HCN) طراحی شد که می‌تواند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را برای موتور خودرو در پی داشته باشد. متخصصین، این طرح را با استفاده از OpenFOAM تجزیه و تحلیل کردند، و نتیجه ارزشمندی را ارائه نمودند، که در غیر این صورت مشاهده آن شاید غیر ممکن بود [۱۲۶].

در حوزه فرآیندهای تولید، فلسفه‌ها و روش‌های مدیریت از قبیل تولید ناب، شش سیگما، و مدیریت کیفیت فراگیر^۲ می‌توان با استفاده از شبیه‌سازی، نتایج را به صورت مجازی، قبل از اجرای فیزیکی، نشان داد.

در این زمینه، از قابلیت‌های WITNESS Horizon برای شبیه‌سازی تأسیسات تولید شیر صنعتی، و از روش مهندسی مجدد فرآیندها موسوم به Khan-Hassan-Butt (KHB) برای بهینه‌سازی آن استفاده شد. محققین افزایش ۲۰ درصدی در بازده تولید را در نتیجه استفاده از

¹ Lean

² Total Quality Management (TQM)

این روش‌ها نشان دادند که می‌تواند وابستگی‌های متقابل فرآیند را شناسایی و ضمناً با داده‌های ساختار یافته و همچنین نیمه ساختار یافته کار کند [۱۲۷].

در تجربه دیگری، تولید روکش لاستیکی-فلزی را برای شاسی خودرو با نگاشت جریان ارزش^۱ موجود و نگاشت جریان ارزش بهینه شده با استفاده از FlexSim بر اساس روش رویداد گسسته، شبیه‌سازی کردند. آنها با موفقیت پارامترهای مختلف فرآیند را بهینه کردند و اهمیت شبیه‌سازی رایانه‌ای را در تحلیل جریان ارزش نشان دادند که می‌تواند به تصمیم‌گیری مؤثر در رابطه با بهبود و توسعه فرآیند تولید کمک کند [۱۲۸].

در گزارش دیگری، از Anylogic برای انجام یک تحلیل مبتنی بر شبیه‌سازی برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی، طراحی و ارزیابی عملکرد یک ماشین چاپ سه بعدی در تولید تجهیزات پزشکی با مقیاس بزرگ استفاده شد. براساس این تجربه، یک کارخانه آزمایشی در یک نرم‌افزار تخصصی مدل‌سازی شد و با اصلاح تعداد چاپگرها، خوشه‌ها، ایستگاه‌های ژل‌سازی و تعداد کارکنان، جریان تولید را بهینه کردند [۱۲۹].

با استناد به تجربیات بیان شده و بسیاری موارد مشابه، استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای می‌تواند به تصمیم‌گیری مؤثر برای ارزیابی مزایا/معایب سازماندهی و تنظیمات معین برای دستیابی به حداکثر خروجی تولید کمک کند.

تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم^۲

اساساً، داده‌های عظیم اشاره به حجم عظیمی از داده‌ها است که در طول زمان انباشته می‌شوند، اما تجزیه و تحلیل و مدیریت آنها با استفاده از ابزارهای رایج مدیریت پایگاه داده دشوار است. وب سایت Zdnet داده‌های عظیم را به عنوان ابزار، فرآیندها و رویه‌هایی تفسیر می‌کند که به یک سازمان اجازه می‌دهد مجموعه‌های داده و امکانات ذخیره‌سازی عظیم را ایجاد، دستکاری و مدیریت کند و مفهوم فضای فیزیکی را به بعد داده‌های عظیم اضافه نماید. تعداد فزاینده‌ای از شرکت‌ها از قبیل جنرال الکتریک، نیز متعهد به بهینه‌سازی فرآیندهای تولید یا تعمیر و نگهداری در یک محیط داده عظیم هستند.

با حرکت به سمت انقلاب صنعتی نسل چهار، حوزه‌های اصلی کاربرد داده‌های عظیم، شامل شبکه هوشمند، کنتور هوشمند، اینترنت اشیاء، سلامت الکترونیک (به ویژه داده‌های دارویی، داده‌های آزمایشگاهی و بالینی)، خدمات عمومی (مانند تأمین آب و سامانه فاضلاب، حمل و نقل

^۱ Value Stream Map

^۲ Big Data Analytics (BDA)

و لجستیک، تعداد تصادفات در سال)، سنجش از دور برای کشاورزی (داده‌های به دست آمده از رطوبت خاک و تغییرات دما) و بسیاری موارد دیگر است [۱۳۰]. یکی دیگر از حوزه‌های کاربردی داده‌های عظیم، مالی دیجیتال است، جایی که از آن به عنوان سرمایه‌گذاری اعتباری داده‌های عظیم استفاده می‌شود و به طور کامل از فنون اطلاعات دیجیتال مدرن استفاده می‌کند. در نهایت، از داده‌های عظیم اخیراً برای دوره‌های برخط گسترده باز^۱ استفاده می‌شود، و انتظار می‌رود کاربرد آن در این زمینه در عصر صنعت نسل چهار رشد انفجاری داشته باشد [۱۳۱].

حیاتی‌ترین جنبه برای هر کسب‌وکار داده‌های آن است. داده‌ها به یک کسب‌وکار اجازه می‌دهد تا روان کار کند، تغییرات در راستای بهبودها را اعمال و پیشرفت‌های آینده را برنامه‌ریزی کند. با استفاده از اینترنت اشیاء صنعتی، داده‌های بیشتری نسبت به قبل، از حسگرهای متصل به ماشین‌ها، ارتباطات و تعامل انسان با ماشین و سایر تعاملات، جمع‌آوری می‌شود. تجزیه و تحلیل چنین مقادیر فراوانی از داده‌ها چالش برانگیز است. این همان کاری است که تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم می‌تواند برای بخش‌های مختلف صنعتی انجام دهد. فناوری‌های مرتبط با داده‌های عظیم می‌توانند از مجموعه داده‌های فراوانی که پردازش آنها توسط نرم‌افزارهای معمولی چالش برانگیز است، از طریق تجزیه و تحلیل، اطلاعات مفیدی استخراج نمایند. صنعت تولید نمونه بارزی است که در آن تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم، با ارائه بینش‌های سودمند و توانمند در تولید اطلاعات مفید، اثبات شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم فرآیندی است که به بررسی مقادیر زیاد و متنوع داده‌ها اشاره دارد تا به تولیدکنندگان در تصمیم‌گیری راهبردی کمک کند و می‌تواند تا حد زیادی زمان توقف تولید را کاهش داده و ضمناً حداکثر بهره‌وری را تضمین نماید. داده‌های عظیم به عنوان مجموعه‌های بزرگ از داده‌های ناهمگن است که از منابع مختلف، با فرمت‌های متفاوت، و در زمان واقعی جریان دارند [۱۳۲].

تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم به استفاده از آمار و سایر ابزارهای ریاضی برای داده‌های کسب‌وکار، و ارزیابی و بهبود شیوه‌های موجود اشاره دارد. در بخش تولید صنعتی، تجزیه و تحلیل می‌تواند برای بررسی داده‌های تاریخی فرآیندها، شناسایی شاخص‌ها و روابط بین مراحل و ورودی فرآیندهای گسسته، و بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند برای حداکثر خروجی استفاده شود. شرکت‌های تولیدی در سرتاسر جهان بر توسعه داده‌های کف کارخانه برای راهبرد تولید در زمان واقعی، ارزیابی‌های آماری پیچیده، افزایش بازده، و تحول به سمت تولید هوشمند تمرکز دارند.

¹ Massive Open Online Course (MOOC)

از نظر ویژگی‌ها، داده‌های عظیم ابتدا با سه ویژگی تعریف می‌شدند [۱۳۳]:

- حجم: رشد مداوم داده‌ها؛
- سرعت: پردازش سریع داده‌ها؛
- تنوع: داده‌ها در فرمت‌های مختلف.

با این حال، طی سال‌ها، ویژگی‌های بیشتری مانند صحت، تغییرپذیری، نوسان و ارزش به مقوله داده‌های عظیم اضافه شد تا آن را به هفت ویژگی رساندند [۱۳۴].

در حال حاضر تعداد این ویژگی‌ها برای توصیف داده‌های عظیم، به ۴۲ مورد رسیده که سطح پیچیدگی بالاتری را نشان می‌دهند [۸۲]. علاوه بر ویژگی‌ها، داده‌های عظیم با چهار نوع یا فرمت داده هم مشخص می‌شوند [۱۳۵]:

- ساخت یافته (دارای فرمت تعریف شده و آسان برای تجزیه و تحلیل)،
- نیمه ساخت یافته (دارای برخی شاخص‌ها و نسبتاً آسان برای تجزیه و تحلیل)،
- شبه ساخت یافته (دارای یک قالب نامنظم، و نیازمند به ابزارهای تخصصی، و ضمناً تجزیه و تحلیل آنها نسبتاً دشوار است)،
- غیر ساخت یافته (با ساختار غیر قابل تصویری که تجزیه و تحلیل آنها بسیار چالش برانگیز است).

با حرکت تهاجمی به سمت اینترنت و فناوری‌های اینترنت اشیاء، داده‌ها در بسیاری از صنایع در دسترس‌تر و همه‌جانبه‌تر می‌شوند و در نتیجه به موضوع کلان داده‌ها منجر می‌شود. داده‌های عظیم معمولاً از کانال‌های مختلف، از جمله حسگرها، دستگاه‌ها، ویدیو/صوت، شبکه‌ها، فایل‌های گزارش، برنامه‌های کاربردی و تراکنش‌ها، وب و تغذیه از طریق رسانه‌های اجتماعی سرچشمه می‌گیرند. تحت این شرایط، یک «محیط کلان داده» به تدریج در بخش تولید شکل می‌گیرد. اگرچه پیشرفت اینترنت اشیاء و حسگرهای هوشمند، جمع‌آوری داده‌ها را ساده کرده است، اما این سؤال باقی است که آیا این داده‌ها می‌توانند به درستی پردازش شوند تا اطلاعات مناسب برای هدف درست در زمان مناسب ارائه شود؟

در یک محیط داده‌های عظیم، مجموعه داده‌ها بسیار زیاد بوده و ممکن است جهت تجزیه و تحلیل با نرم‌افزارهای مرسوم بسیار پیچیده باشند. بنابراین، برای سازمان‌ها و تولیدکنندگان با داده‌های عملیاتی و کارگاهی فراوان، استفاده از فنون تحلیلی پیشرفته برای کشف شاخص‌های پنهان، همبستگی‌های ناشناخته، روندهای بازار، ترجیحات مشتریان و سایر اطلاعات مفید کسب‌وکار، بسیار ضروری است.

ابزارهای تحلیلی مرسوم برای تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های صنعتی مناسب نیستند، زیرا تحلیلگر قادر نخواهد بود کل ارزش داده‌ها را بدست آورد. به همین دلیل، اصطلاح «تجزیه و تحلیل»^۱ نیز برای صنعت نسل چهار بسیار مهم است. تجزیه و تحلیل شامل روش‌های مختلفی برای کشف شاخص‌های معنی‌دار در داده‌ها است. در این مهم، از علم داده برای حمایت از تصمیم‌گیری درست استفاده می‌شود.

تجزیه و تحلیل مبتنی بر مجموعه داده‌های عظیم اخیراً در دنیای تولید ظاهر شده است، جایی که کیفیت تولید را بهینه، انرژی را ذخیره و بکارگیری تجهیزات را بهبود می‌بخشد. در بستر صنعت نسل چهار، استانداردهای خاصی برای جمع‌آوری و ارزیابی جامع داده‌ها از منابع مختلف (تجهیزات و سامانه‌های تولید و همچنین سامانه‌های مدیریت مشتری و سازمان)، برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در زمان واقعی معرفی شده است.

ارزش واقعی داده زمانی آشکار می‌شود که به عنوان ابزاری برای فرآیندهای تصمیم‌گیری استفاده شود. تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم به عنوان یک فناوری در انقلاب صنعتی نسل چهار شناخته شده و می‌تواند فرآیند تصمیم‌گیری را بهبود بخشد و حجم تولید را با استفاده از ابزارهای دیگر مانند هوش مصنوعی^۲، الگوریتم‌ها و پایگاه‌های داده افزایش دهد. در این رهگذر، رویکردهای اطلاعاتی مبتنی بر دانش و هوشیاری برای درک داده‌ها و استفاده از آنها برای عملکرد بهتر سامانه‌های فیزیکی سایبری مورد نیاز است [۱۳۶]. علاوه بر تحلیل، از استانداردهای مهندسی هم می‌توان برای مدل‌سازی دامنه^۳ جهت کشف دانش ضمنی که برای مهندسان مفید است، استفاده کرد [۱۳۷]. مدل دامنه در مهندسی نرم‌افزار، مدلی مفهومی از یک دامنه است، که داده‌ها و رفتار آن را در خود جای می‌دهد.

پس از جمع‌آوری مقادیر فراوان داده به روش‌های مختلف، تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم ممکن است به چهار نوع گزارش زیر ختم شود [۱۳۸]:

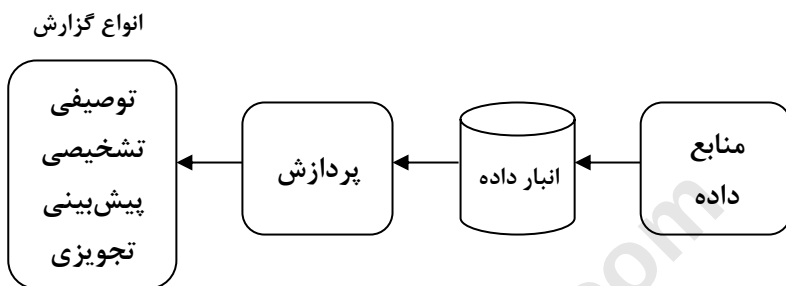
- تجزیه و تحلیل توصیفی: با استفاده از ابزارهای هوش تجاری، اطلاعاتی در مورد وضعیت و موقعیت کسب‌وکار ارائه می‌شود.
- تجزیه و تحلیل تشخیصی: از تجزیه و تحلیل توصیفی استفاده می‌کند تا با شناسایی علل اصلی، علت یک واقعه یا موقعیت را بیابد.

¹ Analytics

² Artificial Intelligence (AI)

³ Domain Modeling

- تجزیه و تحلیل پیش‌بینی: با تجزیه و تحلیل داده‌های تاریخی، وضعیت اجمالی آینده کسب‌وکار را ارائه می‌کند.
- تجزیه و تحلیل تجویزی: بر اساس خروجی مدل‌های تحلیلی پیش‌بینی، مسیر اقدامات درست را تعریف و تجویز می‌کند.



این تجزیه و تحلیل‌ها برای صنعت تولید بسیار مفید هستند، زیرا در بهینه‌سازی محصول/فرآیند/زنجیره تأمین، آزمایش خودکار کیفیت، تعمیر و نگهداری براساس پیش‌بینی یا روش پیشگیرانه، مدیریت مخاطرات، رشد شرکت مبتنی بر داده، و بررسی سربار در تولید روزانه کمک می‌کنند.

برای دستیابی به اهداف فناوری داده‌های عظیم و توانمندسازی تجزیه و تحلیل‌های آن، هشت عنصر اصلی به شرح زیر شناسایی شده است [۶۵]:

عنصر فناوری	شرح
حسگرها ^۱	حسگرها یکی از مهم‌ترین منابع داده در صنعت هستند، به عنوان مثال، حسگرها در دستگاه‌ها و ماشین‌های صنعتی مقادیر پارامترهای فرآیندهای تولید، و همچنین در مراقبت‌های پزشکی و خدمات عمومی، برق، میزان مصرف یا خرابی‌ها را دریافت می‌کنند. تنوع دامنه‌ها از ویژگی حسگرها در داده‌های عظیم است. ضمناً سنجش ^۲ با استقرار رایانش ابری حسگرها، خودکارسازی سنجش داده‌ها، و اطمینان از مقیاس پذیری زیرساخت حسگرها، همراه است. در زمینه داده‌های عظیم، یک چالش مهم ایجاد شبکه حسگرها و رایانش ابری حسگرها است که برای راه اندازی خدمات داده‌های عظیم بسیار کارآمد هستند.

^۱ Sensors

^۲ Sensing

عنصر فناوری	شرح
جمع‌آوری داده	رویاریویی با رشد مداوم داده‌ها برای جمع‌آوری آنها بسیار مهم است. مبنای جمع‌آوری داده‌های عظیم، خوشه‌بندی سرورهای رایانه، و سامانه‌های فایل توزیع شده^۱ است. سرورهای رایانه امکان پردازش توزیع شده را فراهم می‌کنند. این نوع پردازش، مقیاس‌پذیری بالا و میزان تحمل خطای بالا را هم ممکن می‌سازد. در حقیقت سامانه فایل‌های توزیع شده می‌تواند صدها نقطه در یک خوشه را مدیریت کند. این سامانه فایل‌ها را روی سرورهای توزیع شده مدیریت می‌کند، تراکم شبکه را کاهش می‌دهد و عملکرد سامانه را افزایش می‌دهد. داده‌های عظیم همچنین می‌توانند در قالب‌های اصلی خود جمع‌آوری شده و به لطف «دریاچه‌های داده»^۲ از معماری مسطح^۳ استفاده کنند [۱۳۹].
پردازش داده	پردازش داده‌های عظیم بر اساس دو عملکرد نگاشت و کاهش است. اینها به عنوان مدل برنامه نویسی موسوم به «Map Reduce» ترکیب می‌شوند، و اجازه می‌دهند برنامه‌ها به طور همزمان روی بسیاری از رایانه‌ها اجرا شوند. مفاهیم دیگری که اجرای موازی برنامه‌ها را امکان‌پذیر می‌کند و از هزاران نقطه در یک زمان استفاده می‌کند YARN و Dryad است [۱۴۰، ۱۴۱]. در فناوری داده‌های عظیم، جریان‌های داده با سرعت بسیار بالا تولید می‌شوند، لیکن ذخیره تمام این داده‌ها امکان‌پذیر یا مقرون به صرفه نخواهد بود. بنابراین، پردازش بلادرنگ جریان‌های داده چالش مهمی برای موضوع داده‌های عظیم در صنعت نسل چهارم است.
پرس و جو در داده	پشتیبانی از پردازش داده‌ها به دلیل تبدیل پرس و جوهای سطح بالا به اجرای پردازش توزیع شده و موازی موسوم به Map Reduce^۴، کاهش پیچیدگی این نوع پردازش‌ها، و ساده‌سازی پرس و جو به صورت موازی، به ویژه در مجموعه داده‌های عظیم، مهم است. این چالش، با زبان برنامه نویسی سطح بالا از قبیل Pig Latin یا زبان تشریحی JAQL برطرف می‌شود. با این حال، مشکل ذکر شده در بالا که در مورد بهینه‌سازی پرس و جوی داده‌ها است، هنوز در نوع خود از چالش‌های پا بر جا در تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم می‌باشد.

^۱ Distributed File Systems (DFS)

^۲ مخازن نگهداری داده در شبکه‌های داده‌های عظیم هستند که در آنها داده‌ها با فرمت‌های مختلف و از منابع متفاوت وارد شده و ذخیره می‌شوند.

^۳ Flat Architecture

^۴ یک مدل برنامه‌نویسی است که برای اجرای پردازش توزیع شده و موازی بر روی مجموعه بزرگی از داده‌ها استفاده می‌شود. این روش، اولین بار توسط گوگل و سپس در بسیاری از شرکت‌های مشابه نیز مورد استفاده قرار گرفت.

شرح	عنصر فناوری
فناوری‌های مرتبط با دسترسی داده‌ها، انتقال کارآمد داده‌ها بین خوشه‌های سرورهای داده‌های عظیم، و نگهداری داده‌های ساختار یافته (پایگاه‌های اطلاعاتی رابطه‌ای، انبار داده‌های سازمانی) را امکان‌پذیر می‌سازد. به دلیل تنوع منابع داده‌های عظیم، یکپارچه‌سازی این منابع چالش اصلی هم برای جمع‌آوری داده‌ها و هم برای دسترسی است. سایر فناوری‌ها، دسترسی داده در حافظه^۱ را فراهم می‌کنند. فناوری دسترسی داده در حافظه، برنامه‌های کاربردی را چندین برابر سریع‌تر اجرا می‌کند و همچنین از پردازش بلادرنگ، یادگیری ماشینی برخط و پردازش مستمر پشتیبانی می‌کند.	دسترسی داده
تجزیه و تحلیل داده در مجموع، چهار نوع تجزیه و تحلیل تعریف شده است: • توصیفی، برای خلاصه کردن مجموعه داده‌های موجود به منظور شناخت وضع موجود از گذشته. • تشخیصی، برای تعیین اینکه چرا چیزی در گذشته اتفاق افتاده است. • پیش‌بینی، برای استفاده از یک مدل توسعه یافته بر اساس داده‌های موجود برای پیش‌بینی داده‌های آینده. • تجویزی، برای استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای توصیه یک اقدام خاص. علیرغم این واقعیت که انواع تجزیه و تحلیل‌های بیان شده، مربوط به قبل از دوران داده‌های عظیم است، اما همچنان می‌توانند برای مجموعه داده‌های عظیم صنعتی استفاده شوند. با این حال، ایجاد درک به موقع از داده‌ها، هنوز یک چالش اصلی برای تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم است.	تجزیه و تحلیل داده
از دیدگاه انقلاب صنعتی نسل چهار و داده‌های عظیم، یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق می‌توانند برای حمایت از فرآیند تصمیم‌گیری حیاتی باشند. آنها امکان کشف اطلاعات از حجم زیادی از داده‌های دسته بندی نشده را فراهم می‌کنند. این خدمت از طریق بسیاری از برنامه‌های کاربردی در دنیای واقعی، مانند موتورهای توصیه^۲، سامانه‌های تشخیص^۳، سامانه‌های کنترل خودکار^۴ و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم^۵ برای کاهش هزینه‌های تولید تایید	پشتیبانی تصمیم‌گیری

¹ In-Memory Data Access

² Recommendation Engines

³ Recognition Systems

⁴ Autonomous Control Systems

⁵ Decision Support Systems

شرح	عنصر فناوری
شده است. روش‌های داده‌کاوی با تصویرسازی یا نمودار^۱ تکمیل می‌شوند که به ارائه شهودی و کارآمدتر اطلاعات کمک می‌کنند [۱۴۱].	
داده‌های عظیم به روش‌ها و فنون مناسب مدیریت داده برای اهداف زیر، نیاز دارند: • هماهنگی برنامه‌ها و سرورها در خوشه، • خدمات برگرداندن برای محافظت از سرورها در برابر خرابی، • بازیابی خودکار سامانه. ابزارهای مدیریت داده همچنین امکان ایجاد واسطی را فراهم می‌کنند که مهندسين بتوانند سامانه را مشاهده، حساب‌های کاربری را ایجاد و مدیریت کنند، و از سلامت خوشه‌ها اطمینان حاصل نمایند. شرکت‌های مختلف ممکن است شیوه‌نامه‌های انتقال، روش‌های ذخیره‌سازی داده، قالب‌های داده و غیره ویژه خود را داشته باشند. این می‌تواند یک چالش جدی برای ایجاد یک سامانه مدیریت داده جهانی باشد.	فنون و روشهای مدیریت داده

تحقیقات در دانشگاه و صنعت نشان می‌دهد که خرده‌فروشان می‌توانند با استفاده از فناوری‌های تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم به افزایش ۱۵ تا ۲۰ درصدی در بازگشت سرمایه دست یابند [۱۴۲]. در بیشتر صنایع، استفاده از داده‌های مدیریت ارتباط با مشتری^۲ در تجزیه و تحلیل‌ها، به عنوان یک راه مؤثر جهت افزایش تعامل و رضایت مشتری اثبات شده است. شرکت‌ها می‌توانند با تجزیه و تحلیل عمیق‌تر در داده‌های مختلف از محصولات و فرآیندها، به بهره‌وری و رقابت‌پذیری برسند. برای مثال، در جریان تولید یک محصول دارویی، صدها متغیر باید نظارت شود تا دقت، کیفیت و بازده تضمین گردد. با پردازش کلان داده، یک تولید کننده می‌تواند علائم حیاتی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت یا تغییرات بازده دارند، کشف کند.

فنون اصلی که معمولاً در داده‌های عظیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل ذخیره‌سازی داده‌های رابطه‌ای و غیررابطه‌ای، پردازش، و پردازش توزیع شده و موازی است. در ارتباط با چارچوب‌های نرم‌افزاری در داده‌های عظیم می‌توان از [۱۴۳]: Hadoop، Spark، Hive و Google's Big Query نام برد.

^۱ Visualization

^۲ Customer Relationship Management (CRM)

با این حال، با ضرورت پیشرفت مستمر برای شکل‌دهی تحولات شگرف در صنعت نسل چهار، انتظار می‌رود چارچوب‌های نرم‌افزاری داده‌های عظیم پیشرفته‌تری، که بتوانند حجم وسیع‌تری از داده‌ها را مدیریت کنند، ظاهر شوند.

رایانش ابری^۱

رایانش ابری یک اصطلاح رایج برای اشاره به توزیع خدمات رایانه‌ای مقیاس‌پذیر در بستر اینترنت است. رایانش ابری مدلی برای دسترسی به شبکه‌های همه جا حاضر^۲، راحت و بر اساس تقاضا، انباشته از منابع رایانه‌ای قابل تنظیم (به عنوان مثال، شبکه‌ها، سرورها، ذخیره‌سازی، برنامه‌ها و خدمات) و قدرت پردازش، با کمترین تلاش مدیریتی و کمترین تعامل با ارائه دهنده خدمات است و به سرعت تهیه و ارائه شود. این مدل به سازمان‌ها اجازه می‌دهد از نیاز کم شروع کنند و به تدریج با افزایش تقاضا برای خدمات بیشتر، سرمایه‌گذاری بیشتری داشته باشند. بر اساس توصیه‌های موسسه ملی استاندارد و فناوری^۳، یک رایانش ابری ایده‌آل باید دارای پنج ویژگی زیر باشد [۶۵]:

- انتخاب خدمت توسط کاربر و بر حسب تقاضا
- با امکان دسترسی گسترده به شبکه
- تجمع منابع
- قابلیت انعطاف‌پذیری سریع
- خدمات با قابلیت اندازه‌گیری

با پیشرفت‌های فعلی در فناوری اطلاعات و ارتباطات، رایانش ابری را می‌توان در کنار آب، برق، گاز و تلفن، یکی از نیازهای اساسی زندگی اجتماعی در نظر گرفت. به دلیل نوآوری نسبی و توسعه انفجاری آن در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی در زمینه پردازش در فضای ابری انجام شده است.

مدل‌های رایانش ابری از چهار مدل استقرار به شیوه‌های عمومی، خصوصی، اجتماعی و ترکیبی تشکیل شده و ضمناً از سه مدل ارائه خدمات «ترم‌افزار به عنوان خدمت»، «سکو به عنوان خدمت» و «زیرساخت به عنوان خدمت» پیروی می‌کنند [۱۴۴]. سازمان‌ها در هر نوع و اندازه‌ای از خدمات رایانش ابری استفاده می‌کنند تا ظرفیت خود را با حداقل بودجه و بدون

^۱ Cloud Computing (CC)

^۲ Ubiquitous

^۳ NIST

سرمایه‌گذاری در خرید نرم‌افزارهای جدید، ترکیب زیرساخت‌های جدید، و آموزش کارکنان خود افزایش دهند.

این یک رویکرد قابل اشتراک‌گذاری است که در آن می‌توان از سکوها و مکان‌های مختلف با زحمت اندک، به منابع رایانه‌ای دسترسی پیدا کرد. اگرچه انقلاب صنعتی نسل چهار، دارای الزامات بالایی از قابلیت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات توسط ذینفعان است، اما کارخانه‌ها و شرکت‌های محلی معمولاً دانش و تخصص کافی برای آخرین فناوری‌ها را در اختیار ندارند. در نهایت، کاربران رایانش ابری می‌توانند وظایف فناوری اطلاعات را بر اساس نیازهای خود در اختیار ارائه‌دهنده خدمات رایانش ابری قرار دهند و خود بر فرآیندهای ارزش افزوده واقعی در کسب‌وکارشان تمرکز کنند.

شرکت‌ها در حال حاضر از نرم‌افزارهای مبتنی بر رایانش ابری برای برخی برنامه‌های تحلیلی و سازمانی استفاده می‌کنند، اما صنعت نسل چهار، در تعهدات مرتبط با تولید، نیاز به اشتراک داده‌های بیشتر در سرتاسر تاسیسات و مرزهای شرکت‌ها را بیشتر کرده است. به طور همزمان، عملکرد فناوری‌های رایانش ابری نیز بهبود یافته و به زمان واکنشی تنها طی چند میلی‌ثانیه دست می‌یابند. در نتیجه، داده‌های ماشین‌آلات و عملکردها به طور فزاینده‌ای در فضای ابری مستقر می‌شوند و خدمات بیشتری مبتنی بر داده را برای سامانه‌های تولیدی امکان‌پذیر می‌سازند. حتی سامانه‌هایی که فرآیندها را نظارت و کنترل می‌کنند ممکن است از خدمات رایانش ابری استفاده کنند. اخیراً شرکت‌های تولیدی و اجرایی در حوزه‌های برخی صنایع پیشرفته، از جمله صنایع هواپیمایی و خودروسازی، همراه با فروش محصولات خود و بنا به تقاضای مشتری، به ارائه خدمات مبتنی بر رایانش ابری اقدام می‌کنند [۶۶].

در طول سال‌ها، رایانش ابری برای برخی نیازهای سازمانی و تحلیلی مورد استفاده قرار گرفته است، اما در عصر انقلاب صنعتی نسل چهار، انتظار می‌رود عملکرد فناوری‌های رایانش ابری به ویژه پس از امنیت در سطح شبکه، در سطح برنامه‌های کاربردی و میزبانی^۱ بهبود بیشتری پیدا کند. شرکت‌های اصلی در توسعه و استقرار رایانش ابری در سطح بین‌المللی عمدتاً آمازون، مایکروسافت، گوگل و آی بی ام هستند. این ارائه‌دهندگان خدمات رایانش ابری، اغلب طرح‌های قیمت‌گذاری غیر قابل انعطاف برای کاربران خود را صرفاً بر اساس مدت زمان پیشنهاد می‌کنند. تاکنون فناوری‌های کلیدی رایانش ابری به شرح زیر شناسایی شده است [۶۵]:

¹ Host

عنصر فناوری	شرح
رایانش ابری	فناوری رایانش ابری تأمین کننده منابع رایانه‌ای و قدرت پردازش از مکان‌های دور است که نیازی به سرمایه‌گذاری بالا برای کاربر ندارد. در سال‌های گذشته، بسیاری از راه‌کارهای تجاری این مدل با نام‌های Microsoft Azure، Amazon web services، IBM Cloud، Google compute engine و غیره راهی بازار شدند. در همین حال، سکوهاى ابرى باز از قبیل Openstack، Apache CloudStack، Apache Mesos و غیره هم عرضه شده است. این سکوها گزینه‌های مختلف صنعت را برای تسهیل ساختار رایانه‌ای در یک حوزه خصوصی، جامعه یا عمومی ارائه می‌کنند. برای کاربران رایانش ابری، چالش اصلی انتخاب یک خدمت مناسب برای نیازهای کسب‌وکار و ایمنی آن است.
تعامل‌پذیری ^۱	تعامل‌پذیری اشاره به قابلیت سامانه‌های مختلف، اجزاء، یا محصولات برای درک و کار با یکدیگر است. در عمل، یک سامانه مهندسی قابل اجرا باید همکاری در قابلیت‌های مختلف از قبیل معناگرایی، شیوه‌نامه‌ها، پایگاه داده، سخت افزارها، سامانه‌ها و غیره را تضمین کند. در سناریوهای صنعت نسل چهار، فناوری‌های جدید باید بتوانند با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و کار کنند.
خدمت‌سازی ^۲	خدمت‌سازی مبتنی بر رایانش ابری، تحویل منابع رایانه‌ای در قالب خدمت است. کاربران می‌توانند خدمات مورد نیاز خود را بر اساس میزان دقیق، انتخاب و هزینه آنرا پرداخت کنند. در سال‌های گذشته، رویکردهای متفاوتی برای ارائه منابع و قابلیت‌های مهندسی بر روی رایانش ابری، در قالب خدمت ارائه شده است. هم سخت‌افزار و هم نرم‌افزار می‌توانند از نظر خدمات مقیاس‌پذیر به بسته‌های خدمتی تبدیل شده و در لیست منابع رایانش ابری قرار گیرند.
رایانش ابری صنعتی ^۳	براساس موفقیت فناوری‌های رایانش ابری و خدمت‌سازی در آنها، مفهوم ابر به دامنه صنعت گسترش یافت و به آن فناوری رایانش ابری صنعتی گفته می‌شود. این نوع فناوری به دسترسی شبکه به یک مجموعه مشترک و قابل تنظیم از منابع مورد نیاز در تولید اشاره دارد. در رایانش ابری صنعتی، سخت‌افزار و نرم‌افزار خاص تولید را می‌توان خدمت‌سازی نمود و در فضای ابری ارائه کرد تا قابلیت‌های رایانه‌ای ویژه صنعت، قابل دسترس و انعطاف‌پذیر با سرمایه‌گذاری اولیه کم برای کاربران فراهم شود.

¹ Interoperability² Servicelisation³ Cloud Manufacturing

از بسته‌های نرم‌افزاری در بخش تولید برای بسیاری خدمات از جمله شبیه‌سازی و مدیریت منابع استفاده می‌شود. معمولاً، چنین بسته‌های نرم‌افزاری یا برنامه‌های کاربردی بر روی یک رایانه فیزیکی یا سرور داخلی پیاده‌سازی می‌شوند. اما رایانش ابری امکان استفاده از این بسته‌ها را از طریق اینترنت برای شرکت‌هایی که مجوز استفاده دارند فراهم می‌کند. در این صورت نیازی به تهیه سرورهای شخصی در این شرکت‌ها نخواهد بود.

حالت‌های استقرار ابر، مدل‌سازی منابع تولید، و تطبیق نیازمندی‌ها و خدمات، نگرانی‌های کلیدی در استقرار خدمات رایانش ابری هستند. از آنجا که باید محیط تولید را مجازی یا راه‌حلی برای به اشتراک‌گذاری خدمات ایجاد شود، رویکردهای استقرار رایانش ابری براساس یکی از مدل‌های عمومی، خصوصی، اجتماعی یا ترکیبی نیاز است تا بتوان دسترسی یکسان و در همه مکان‌ها را برای کاربران نهایی فراهم کرد. برای مثال، رایانش ابری با مدل ترکیبی، از چندین ابر تشکیل شده که حالت‌های استقرار چندگانه را همراه با مزایایی مانند استقرار انعطاف‌پذیر و دسترسی آسان به برنامه‌های کاربردی کسب‌وکارها ارائه می‌کند. منابع تولیدی مختلف مانند ماشین‌آلات و خطوط مونتاژ نیز باید در ارائه خدمات قابل توزیع و به اشتراک‌گذاری منابع خود مدل‌سازی شوند. انجمن تولیدکنندگان برق و الکترونیک آلمان^۱ رویکرد پیشرفته‌ای را در این خصوص ارائه داده است. آنها نه تنها یک معماری مرجع^۲ بر روی محصولات و خدمات صنعت نسل چهار ایجاد کرده‌اند، بلکه یک پوسته سازمانی^۳ یا مدیریتی را برای چندین دستگاه توصیف کرده تا امکان استفاده مداوم از داده‌ها و منابع فراهم شود.

با این حال، این نوع توسعه هم می‌تواند چالش برانگیز باشد، زیرا تعداد زیاد اشیاء فیزیکی در خط تولید با انواع مختلف و فرمت‌های ناهمگن ممکن است پیچیدگی غیرمنتظره‌ای برای مدل‌سازی ایجاد کنند. الزامات تولید صنعتی و تطبیق خدمات در رایانش ابری مخصوص تولید، بسیار مهم است. این تطبیق نه تنها شامل یک راه‌حل بهینه برای ارائه دهندگان خدمات و مشتریان می‌شود، بلکه شامل برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و اجرای خدمات نیز می‌گردد.

^۱ ZVEI

^۲ Reference Architectural Model Industry (RAMI)

^۳ Administration Shell



علیرغم مزایای قابل توجه رایانش ابری، چالش‌های حیاتی بر قابلیت اطمینان این مفهوم در حال پیشرفت تأثیر گذاشته است. محققان و ارائه دهندگان خدمات، مطالعات متعددی را برای شناسایی و طبقه‌بندی موضوعات مربوط به رایانش ابری انجام داده‌اند. بر اساس مطالعات انجام شده، مهم‌ترین نگرانی در مورد رایانش ابری تضمین حریم خصوصی و امنیت است. چالش‌های دیگری مانند مدیریت داده و تخصیص منابع، تعادل بار، مقیاس‌پذیری و در دسترس بودن، مهاجرت به ابرها و سازگاری آنها، قابلیت همکاری و ارتباط بین ابرها، که قابلیت اطمینان و کارایی سامانه‌های مبتنی بر رایانش ابری را کاهش می‌دهند هنوز به قوت خود باقی است [۶].

رایانش ابری صنعتی

رایانش ابری برای صنعت، به یک مدل تولید پیشرفته تحت پشتیبانی رایانش ابری، اینترنت اشیاء، مجازی سازی و فناوری‌های مبتنی بر خدمت اشاره دارد که منابع خطوط تولید را به خدماتی تبدیل می‌کند که می‌توانند به طور جامع به اشتراک گذاشته شده و به گردش درآیند. این فناوری، تمام چرخه عمر طولانی یک محصول، از طراحی، شبیه‌سازی، ساخت، تا آزمایش و نگهداری آن را پوشش می‌دهد. بنابر این معمولاً به عنوان یک سامانه تولید موازی، شبکه‌ای و هوشیار به نام «ابر تولید»^۱ (یا همان رایانش ابری صنعتی) در نظر گرفته می‌شود که در آن منابع تولید و ظرفیت‌ها را می‌توان هوشیارانه مدیریت کرد.

در رایانش ابری صنعتی، منابع و ظرفیت‌های مختلف تولید را می‌توان به طور هوشیارانه از طریق حسگرها به ابر متصل نمود. فناوری‌های اینترنت اشیاء مانند شناسایی با امواج رادیویی و بارکدها می‌توانند برای مدیریت و کنترل خودکار این منابع و اشتراک‌گذاری، دیجیتالی شوند. فناوری‌های مبتنی بر خدمت و رایانش ابری پشته‌های این مفهوم هستند. در نتیجه، منابع و ظرفیت‌های خطوط تولید ممکن است مجازی‌سازی، کپسوله و در خدمات مختلفی که قابل دسترس، قابل فراخوانی و قابل پیاده‌سازی هستند، گردش کنند. چنین خدماتی را می‌توان با توجه به قوانین خاص از پیش تعریف شده، دسته بندی و تجمیع نمود.

انواع مختلفی از رایانش ابری برای صنعت تولید وجود دارد که خدمات مختلفی را برای تولید مدیریت می‌کنند. کاربران قادر به جستجو، دسترسی و فراخوان خدمات واجد شرایط از طریق یک محیط یا سکوی مجازی تولید هستند.

ادغام رایانش ابری با سایر فناوری‌ها، مانند نسل بعدی تلفن همراه، حسگرهای پیشرفته، رایانه با کارایی بالا و نرم‌افزار طراحی، مهندسی و ساخت به کمک رایانه (CAD/CAE/CAM)، یک جزء ضروری از تحولات تولید هوشمند هستند. یکی از جنبه‌های کلیدی محبوبیت رایانش ابری این است که هم شرکت‌های بزرگ و هم شرکت‌های کوچک و متوسط، بسته به توان مالی و نیازشان، می‌توانند از قابلیت‌های آن در مدل مبتنی بر اشتراک بهره‌مند شوند. رایانش ابری و اینترنت اشیاء همچنین راه را برای پدیده «ابر تولید» هموار کرده‌اند. این پدیده به عنوان یک مدل شبکه هوشمند در صنعت تولید تعریف می‌شود که رایانش ابری را در بر می‌گیرد، و هدف آن برآورده کردن تقاضای روزافزون برای فردی سازی بیشتر محصول، همکاری جهانی گسترده تر، نوآوری مبتنی بر دانش و افزایش چابکی برای پاسخگویی به بازار است. محققین با ترکیب

¹ Manufacturing Cloud

مدل‌سازی حجم کار، ضریب کارایی خدمات و کمیت خدمات، یک مدل زمان‌بندی چند وظیفه‌ای برای رایانش ابری صنعتی، ایجاد کردند [۱۴۵]. این ترکیب امکان تکمیل موفقیت‌آمیز فعالیت‌های بیشتری را در مدت زمان محدود بدون تأثیر منفی بر کیفیت فراهم می‌کند. در تحقیق دیگری، یک مدل بهینه‌سازی در رایانش ابری برای تعیین میزان تولید با هدف کاهش هزینه‌ها و صرفه جویی در زمان معرفی شده است. در این تحقیق، روی موضوع زمانبندی وظایف در ابر تولید تمرکز و به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای، کاربرد مدل نشان داده شد [۱۴۶].

در یک طرح پژوهشی، یک سامانه خدمات مبتنی بر رایانش ابری و اینترنت اشیاء در ابر تولید پیشنهاد شد. بنحویکه رابطه بین رایانش ابری، اینترنت اشیاء، و ابر تولید تعریف و مدل حاصل مورد بحث قرار گرفت تا چالش‌ها و کاربردهای بالقوه در این حوزه را برجسته کنند [۶۸]. گروه دیگری از متخصصین در یک مدل خدمات ابر تولید جستجوی اکتشافی^۱ را برای توصیف وابستگی کیفیت خدمات^۲ در یک خدمت به سایر خدمات مرتبط ارائه کردند. آنها نتایج کاربردی خوبی از مدل خود نشان دادند و ضمناً محدودیت‌های آن (افزایش درصد همبستگی خدمات ابری) را نیز مورد بحث قرار دادند [۱۴۷]. این گروه یک الگوریتم هوشیار موازی جدید به نام بهینه‌سازی آشوبگونه تطبیقی^۳ مبتنی بر اتصال کامل با مهاجرت واکنشی^۴، برای رسیدگی به موضوع انتخاب بهینه ترکیب خدمات در رایانش ابری تولید ایجاد کردند. مدل پیشنهادی آنها در مقایسه با الگوریتم‌های هوشیار سریال سنتی و الگوریتم‌های هوشیار موازی کلاسیک، از نظر قابلیت جستجو و بازده زمانی، کارایی قابل‌توجه بالاتری را نشان داد [۱۴۸]. با تحقیقات بیشتر روی توسعه مدل‌های جدید برای ابر تولید، مطالعات گسترده‌ای هم در مورد چالش‌های چنین مدل‌هایی انجام شد [۱۴۹، ۱۵۰]. بنابراین، برای شرکت‌های تولیدی ضروری است که مزایا و معایب مدل‌های ابر تولید را قبل از اجرا بسنجند.

در اینجا تعاریف، ویژگی‌ها، و مزایای سکوه‌های مطرح بین‌المللی براساس توضیحات مالکین این سکوها، و مطابق با رتبه‌بندی ناشی از تقاضای جهانی، ارائه می‌شود [۲۱]:

^۱ Correlation-Sware

جستجوی اکتشافی برای پشتیبانی دستگاه‌های مجازی هوشمند در رایانش ابری

^۲ Quality of Service (QoS)

^۳ Adaptive Chaos Optimization

^۴ Reflex Migration

سکوی Splunk

تعریف

داده‌های تولید شده توسط ماشین را به اطلاعات ارزشمند تبدیل می‌کند و شرکت‌ها را قادر می‌سازد با بهره‌وری بیشتر، سودآورتر و ایمن‌تر باشند.

ارتباط با داده‌های عظیم

در میان مزایای ارائه شده توسط Splunk، داده‌های عظیم نقش مهمی ایفا می‌کند. زیرا امکان جمع‌آوری و پردازش داده‌های تولید شده توسط ماشین‌ها را با یکی از پیچیده‌ترین و سریع‌ترین حوزه‌های داده‌های عظیم ممکن می‌سازد. این توانایی شامل اطلاعاتی از تمام تراکنش‌ها، رفتارهای مشتری، خواندن حسگرها، رفتارهای ماشین، تهدیدات امنیتی، فعالیت‌های کلاهبرداری و غیره است. این جایی است که Splunk به کشف ارزش پنهان تمام داده‌های تولید شده توسط ماشین‌ها کمک می‌کند و روشی یکپارچه برای سازمان‌دهی و استخراج اطلاعات بلادرنگ از حجم عظیمی از داده‌های ماشین تقریباً از هر منبعی از قبیل وبسایت‌ها، برنامه‌های کاربردی سازمانی، سکوها، شبکه‌های اجتماعی، سرورها، برنامه‌های ناظر ارشد^۱، حسگرها، پایگاه‌های داده سنتی و داده‌های منبع باز و انبارهای داده ارائه می‌کند.

ارتباط با اینترنت اشیاء و اینترنت اشیاء صنعتی

این سامانه، داده‌ها را در زمان واقعی از حسگرها، دستگاه‌ها و سامانه‌های صنعتی مانند SCADA و با ارائه یک سکوی منعطف و همه‌کاره خاص از داده‌های ماشین که توسط همه منابع متصل به شبکه‌های فعلی تولید شده است، جمع‌آوری می‌کند.

سکوی Anella Industrial 4.0

تعریف

این سکو توسط مراکز فناوری و صنایع محلی با هدف ارائه چارچوبی امن، پایدار و در دسترس برای تبادل خدمات رایانش ابری به عنوان یک راه‌حل جهانی برای گسترش اینترنت اشیاء صنعتی برپا شد. این سکو یک ابزار تحول دیجیتال است که از طریق یک بازارگاه، دیجیتالی کردن فرآیندها را تسهیل می‌کند و از طریق آن، شرکت‌های صنعتی قادر خواهند بود به بروشور خدمات دیجیتالی برای صنعت خود دسترسی داشته باشند. این سامانه ضمناً دسترسی کارآمد، ایمن و مقیاس‌پذیر را به نرم‌افزارهای استاندارد می‌دهد.

¹ Hypervisors

یک برنامه رایانه‌ای است که اجازه ساخت و اجرای ماشین‌های مجازی را می‌دهد.

سکوی Xompass Faas

تعریف

این یک راه‌حل تمام عیار با استفاده از قدرت پردازش رایانش ابری است، که در نهایت هوشیاری را به هزاران دارایی در استخراج، آب، برق، نفت، گاز و نیرو اضافه می‌کند.

شرح

- این سامانه به سه معنا مبتنی بر سکو است و مدیریت شرکت را از مزایای اینترنت، داده‌های عظیم، رایانش ابری و اینترنت اشیاء صنعتی بهره‌مند می‌کند و امکانات زیر را ارائه می‌کند:
- استقرار سریع: تمام دارایی‌ها را می‌توان در چند ثانیه متصل کرد، آنها را با سامانه‌های کنترل موجود فراتر از لایه کنترل ادغام نمود تا برای پیاده‌سازی فوری در دسترس باشد.
 - بهبود بهره‌وری: با قدرت رایانش ابری و هوشیاری مدیریت داده جدید، تصمیم‌گیری بهتر در زمان واقعی را امکان‌پذیر می‌کند، و اجازه می‌دهد تا دارایی‌ها به طور کارآمدی کار کنند و زیان‌های از دست دادن محصول را کاهش دهد.
 - کاهش زمان خرابی: با جلوگیری از خرابی دستگاه‌ها برپایه مدل‌های پیش‌بینی رفتار دارایی مبتنی بر رایانش ابری و ادغام منابع داده‌های میدانی، نیروی کار تعمیر و نگهداری کاهش یافته، در نتیجه هزینه نگهداری پیشگیرانه و اصلاحات کمتر می‌شود.

سکوی Microsoft Azure

تعریف

یک سکوی ابری باز و منعطف برای ساخت، استقرار و مدیریت سریع برنامه‌ها در سرتاسر شبکه جهانی مراکز داده تحت مدیریت شرکت مایکروسافت است. این منبع باز، پایه و اساس برنامه‌های کاربردی کسب‌وکار و مصرف‌کننده را فراهم می‌کند و روشی ثابت برای ذخیره‌سازی و اشتراک‌گذاری راحت و ایمن اطلاعات در فضای ابری است و دسترسی به آن را در هر دستگاهی و از هر مکانی ممکن می‌سازد.

شرح

- این سامانه از طریق سه درگاه زیر خدمات متعددی ارائه می‌کند:
- زیر ساخت به عنوان یک خدمت (IaaS): کنترل کامل زیرساخت مجازی را برای کاربران فراهم می‌کند. این شامل همه چیز مربوط به سرورها (ماشین‌های مجازی)، انتخاب سیستم عامل (ویندوز، لینوکس، اوراکل، Open Logic و غیره)، تعداد هسته‌های پردازش، ظرفیت حافظه یا دیسک‌های مجازی است.
 - سکو به عنوان یک خدمت (PaaS): این سکو از قبل توسط Azure ایجاد شده و توسط خودش مدیریت می‌شود. این خدمت، نیازهای کاربران را از طریق برنامه‌ها، توسعه و مدیریت می‌کند.

- برنامه‌های کاربردی (نرم‌افزار) به عنوان یک خدمت (SaaS): زیر ساختها و سکو در این خدمت زیر یک چتر خاص پنهان می‌مانند.

سکوی Watson IoT Platform

تعریف

با این سامانه درک درستی از داده‌ها برای بهینه‌سازی عملیات، مدیریت دارایی‌ها، بازنگری در محصولات و خدمات، و تغییر تجربه مشتری ایجاد می‌شود.

شرح

تجزیه و تحلیل پردازش زبان طبیعی^۱: به طور خودکار کلمات گفته شده را با معنا و قصد کاربر پیوند می‌دهد.

یادگیری خودکار^۲: پردازش داده‌ها را خودکار کرده و داده‌ها بر اساس اولویت طبقه‌بندی می‌شوند.

تجزیه و تحلیل ویدیو و تصویر^۳: نظارت بر داده‌های بدون ساختار در کانال ویدیویی و عکس‌های فوری برای شناسایی صحنه‌ها و شاخص‌ها در داده‌های ویدیویی.

تجزیه و تحلیل متن: بررسی داده‌های متن بدون ساختار.

اتصال آسان تراشه‌های دستگاه‌های هوشمند به برنامه‌های کاربردی و راه‌حل‌های صنعتی آنها

مدیریت اطلاعات و یکپارچه‌سازی داده‌های خارجی
مدیریت مخاطرات و جمع‌آوری اطلاعات از محیط اینترنت اشیاء با استفاده از داشبورد و هشدار

درج برای افزایش داده دستگاه‌ها و انجام تجزیه و تحلیل بیشتر، داده‌ها از سایر منابع و سکوها را هم وارد می‌کند.

توسعه انواع خدمات ابری

^۱ Natural Language Processing

^۲ Automatic learning

^۳ Image and Video Analysis

فصل ۵: فناوری‌های سخت

بعد از معرفی فناوری‌های کنترل و یکپارچگی، و همچنین فناوری‌های نرم که همگی ماهیت نرم‌افزاری داشتند، در این فصل به معرفی فناوری‌های سخت می‌پردازیم. این فناوری‌ها عمدتاً از خانواده روبات‌ها می‌باشند و ماهیت سخت‌افزاری دارند. البته این بدان معنی نیست که از نرم‌افزار در این فناوری‌ها استفاده نشده باشد. اما بارزترین ماهیت نرم‌افزاری آنها، ترکیب با هوش مصنوعی است. تاکنون در منابع مختلف، تنها دو نوع فناوری از این دسته توضیح داده شده که در ادامه معرفی می‌شوند.

شاید بتوان گفت آسان‌ترین دریچه ورود به دنیای انقلاب صنعتی نسل چهارم، تهیه و بکارگیری یکی از این فناوری‌های سخت است. این دستگاه‌ها، فارغ از سایر سامانه‌ها و کارکردهای موجود می‌توانند به طور مستقل در خطوط تولید و صنایع بکار گرفته شوند. در واقع فناوری‌های سخت در عین آثار و فواید بسیار شگرف آنها، ساده‌ترین نوع ورود به صنعت نسل چهارم می‌باشند. انتخاب، خرید، نصب و راه اندازی چاپگرهای سه بعدی و روبات‌های خودران یا همکار انسان حداقل الزامات مورد نیاز برای ورود به دنیای صنعت نسل چهارم از طریق این فناوری‌ها است. در این فصل دو فناوری زیر در قالب فناوری‌های سخت توضیح داده می‌شوند:

تولید به روش افزودنی یا چاپگر سه بعدی	Additive Manufacturing	این فناوری با انعطاف‌پذیری در طراحی، کاهش زمان راه‌اندازی تولید، نیاز کمتر به ابزار، ضایعات کمتر در محصولات سبک وزن و سفارشی، همچنین برای تولید انبوه سازه‌های مقیاس بزرگ و کوچک بسیار مؤثر است.
روبات‌های خودران	Autonomous Robots	این فناوری افزایش کارایی و بهره‌وری، کاهش خطا و کار مجدد، ایمنی اپراتور، یادگیری تصاعدی با جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های ماشین را به ارمغان می‌آورد.

تولید افزودنی^۱ / چاپ سه بعدی^۲

تولید به روش افزودنی یا به اصطلاح رایج‌تر، چاپ سه بعدی مفهومی است که برای اشاره به گروهی از فناوری‌های تولید بکار می‌رود و با فنون سنتی تولید کاهشی یا انبوه در تضاد است. فن آوری‌های تولید افزودنی به طور ذاتی دیجیتال هستند، زیرا آنها پس از ظهور رایانه شخصی متولد شدند و گردش کار آنها بر اساس استفاده و پردازش داده‌های دیجیتال است. جریان داده‌های دیجیتال از مدل سه بعدی مجازی محصول تا تکمیل ساخت فیزیکی جریان می‌یابد. فرصت ایجاد تعداد بی‌نهایت شکل مختلف با هر پیچیدگی، با یک دستگاه و بدون استفاده از قالب یا ریخته‌گری، سفارشی‌سازی انبوه را از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌کند [۱۵۱].

تولید به روش افزودنی یک اصطلاح کلی و در بر دارند چندین روش است و قادر به تولید محصولات سه بعدی با افزودن لایه‌ها بر روی یکدیگر می‌باشد. اولین روش تولید افزودنی در دهه ۱۹۸۰ به وجود آمد و از آن زمان به بعد این فرآیندها از نظر تعداد، عملکرد و استفاده در بخش تولید افزایش یافته است.

چاپگر سه بعدی یا تولید افزودنی بر خلاف تولید کاهشی، نوعی فناوری است که اشیاء فیزیکی را بر اساس فایل سه بعدی آنها با افزودن متوالی مواد مایع، ورق یا پودر تولید می‌کند. در تولید به روش افزودنی، ابتدا مدل سه بعدی از قطعه‌ای که قرار است تولید شود تهیه می‌گردد. این مدل ممکن است با یک نرم‌افزار مخصوص طراحی شود و یا ممکن است با استفاده از نمونه موجود آن قطعه و از طریق اسکن، مدلسازی شود. بعد از تهیه مدل سه بعدی از قطعه یا محصول، برش‌زدن از این مدل توسط یک نرم‌افزار دیگر انجام می‌گیرد. به این ترتیب هزاران برش از مدل تهیه می‌شود که ممکن است ضخامت هر برش کمتر از یک دهم میلیمتر باشد. بعد از این مرحله و براساس برش‌های نرم‌افزاری تهیه شده، عملیات ساخت فیزیکی آغاز می‌گردد. در فناوری تولید به روش افزودنی یا چاپگرهای سه بعدی از مواد سرامیکی، کاغذ، پلیمر، بتن، و حتی مواد خوراکی به عنوان ماده اولیه و بیشتر به شکل سیم یا رشته مخصوص، یا پودر استفاده می‌شود.

شرکت‌ها به تازگی برای نمونه‌سازی و تولید قطعات تکی، شروع به استفاده بیشتر از فناوری‌های افزودنی (چاپ سه بعدی) کرده اند. در صنعت نسل چهارم، از روش‌های تولید افزودنی برای ساخت دسته‌هایی از محصولات سفارشی که دارای مزایایی از قبیل طرح پیچیده و سبک

^۱ Additive Manufacturing (AM)

^۲ 3-D Printing

هستند، به‌طور گسترده استفاده می‌شود. سامانه‌های تولید افزودنی، غیرمتمرکز و با کارایی بالا هستند که هزینه‌های حمل و نقل و موجودی کالا را به شدت کاهش می‌دهند. برای مثال، شرکت‌های هوا فضا در حال حاضر از تولید به روش افزودنی برای اجرای طرح‌های جدید استفاده می‌کنند و به این روش وزن هواپیما را کاهش داده، ضمناً از هزینه تهیه موادی مانند تیتانیوم به شدت کاسته‌اند.

اجزای چاپگر سه بعدی^۱

اولین قدم در شناخت فناوری تولید افزودنی، آشنایی با اجزای چاپگرهای سه بعدی است. لیست ارائه شده در اینجا، اجزایی است که به‌طور معمول و در ساده‌ترین چاپگرهای سه بعدی وجود دارند. اما مشخصات و فناوری‌های هر مدل نیاز به شناخت فنی و تخصصی بیشتری دارد که از حوصله و اهداف این فصل خارج است. با آشنایی بیشتر با اجزاء و قطعات چاپگرهای سه بعدی، درک بهتری از عملکرد این دستگاه‌ها بدست می‌آید. از این رو، می‌توان هنگام کار با آنها از این دانش استفاده نمود. فراتر از این، هنگامی که اپراتورها با جزئیات بیشتر درباره این چاپگرها آشنا می‌شوند، ممکن است راحت‌تر با این دستگاه‌های جدید کار کنند.

بورد اصلی یا کنترل^۲

وظیفه این قطعه مهم در چاپگرهای سه بعدی، کنترل پردازش رایانه‌ای است و به عنوان مغز دستگاه عمل می‌کند. این بخش از چاپگر، اجزای حرکتی را طبق شیوه‌نامه‌های ارسال شده از رایانه هدایت و در عین حال علائم دریافتی از حسگرها را هم تفسیر می‌کند.

قاب^۳

قاب به نکه داشتن سایر اجزای چاپگر و ثبات دستگاه کمک می‌کند. هرچه قاب مقاوم‌تر باشد دوام دستگاه هم بیشتر می‌شود. متداول‌ترین جنس برای قاب، مواد فلزی و اکریلیک است.

^۱ <https://pick3dprinter.com/3d-printer-parts>

^۲ MotherBoard or Controller Board

^۳ Frame

قاب‌های باز و بسته در این دستگاه‌ها، محدودیت‌ها و خواص ویژه خود را دارند. برای مثال، قاب بسته با حفظ دمای ثابت در اطراف فضای چاپ نتایج بهتری ارائه می‌دهد. برخی چاپگرها دارای قاب نیمه بسته هستند.

مواد چاپ^۱

معمولی‌ترین نوع مواد چاپگرهای سه بعدی، رشته‌ای است. رشته‌ها در لایه‌های روی هم می‌نشینند و قطعه یا محصول، از این رشته‌ها ساخته می‌شود. از انواع مختلف رشته‌ها برای چاپ سه بعدی استفاده می‌شود و هر کدام از آنها خواص و محدودیت‌های متفاوتی دارند. رشته‌ها به صورت قرقره در بازار فروخته می‌شوند. هنگام مصرف رشته‌ها، چاپگر آنها را تا دمای معینی گرم کرده و به مایع تبدیل می‌کند تا روی صفحه چاپ قرار گیرند. برخی چاپگرها فقط با یک نوع رشته کار می‌کنند و یا حتی ممکن است از رشته‌های کاملاً اختصاصی خود استفاده کنند. برخی دیگر از رشته‌های متنوعی می‌توانند استفاده کنند.

سامانه کنترل حرکت^۲

چاپگرهای سه بعدی در امتداد سه محور حرکت می‌کنند. کنترل‌کننده شیوه‌نامه‌های ویژه براساس ابعاد و جزئیات مدل سه بعدی قطعه را از بورد اصلی دریافت می‌کند، و براساس نقشه برش‌ها، حرکت می‌کند.

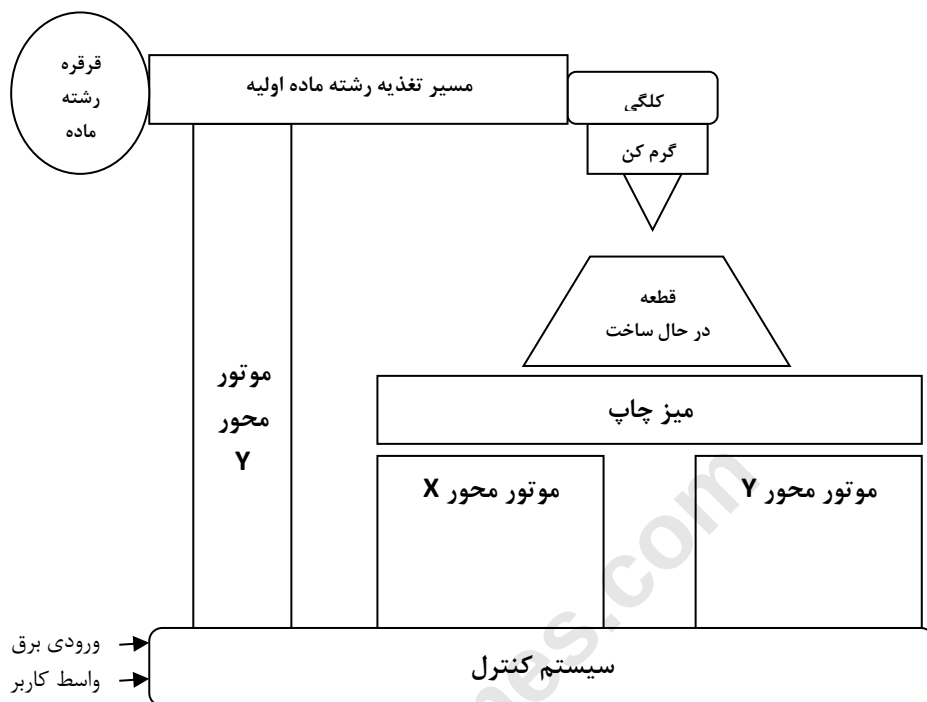
تأمین کننده برق^۳

یا به اختصار PSU، برق مورد نیاز چاپگر را برای یک عملکرد روان تأمین می‌کند. معمولاً دستگاه تأمین برق روی قاب چاپگر نصب می‌شود. در برخی چاپگرها ممکن است جای دیگری نصب شود. اما آنچه مورد توجه سازنده‌های چاپگرهای سه بعدی است، جاسازی تأمین کننده برق به گونه‌ای است که جای کمتری اشغال کند و مزاحمتی برای اپراتور و وظایف دستگاه نداشته باشد.

^۱ Print Material

^۲ Motion Controllers

^۳ Power Supply Unit



میز چاپ^۱

معمولاً، با اولین نگاه به چاپگرهای سه بعدی، میز کار به راحتی قابل تشخیص است. این یکی از قطعات اصلی چاپگر سه بعدی است که کیفیت و پرداخت سطح قطعه چاپ شده را تعیین می‌کند. رشته‌های تغذیه چاپگر (ماده اولیه)، لایه به لایه برای ساخت قطعه مورد نظر روی هم و روی میز چاپ قرار می‌گیرند.

چاپگرهای سه بعدی مختلف دارای انواع مختلف میز چاپ هستند. میزهای چاپ ممکن است گرم‌شونده و غیرگرم‌شونده باشند. در ارتباط با مواد مختلف برای ساخت قطعات، ممکن است میزهای گرم شونده توصیه شود. این به افزایش چسبندگی و پایداری لایه اول چاپ کمک می‌کند. ضمناً میزهای چاپ با استفاده از مواد مختلفی ساخته می‌شوند. به عنوان مثال، میزهای چاپ آلومینیومی و شیشه‌ای، در نوع خود مزایا و محدودیت‌های خاصی دارند. میزهای چاپ آلومینیومی سریع‌تر گرم می‌شوند و میزهای چاپ شیشه‌ای سطح صاف‌تری در اختیار فرآیند تولید قرار می‌دهند و نگهداری آنها آسان‌تر است. برخی چاپگرهای سه بعدی تنظیم‌ها و زوایای میز چاپ را

^۱ Print Bed

هم به طور خودکار انجام می‌دهند. اما در برخی انواع چاپگرها، ممکن است اپراتور ملزم به تراز کردن میز به صورت دستی باشد.

کلگی^۱

کلگی در قسمت بالایی چاپگر قرار دارد و رشته مواد را روی میز چاپ تزریق می‌کند. کلگی به دو بخش انتهایی سرد و انتهایی گرم تقسیم می‌شود. کار انتهایی سرد این است که رشته را در حالی که آن را به تدریج به سمت پایین و به سمت انتهایی داغ فشار می‌دهد، قفل می‌کند. کار انتهایی گرم این است که رشته مواد را روی میز چاپ قرار داده و ذوب می‌کند. علاوه بر انتهایی سرد و گرم، کلگی بخش‌های مختلفی دارد:

- دنده حرکت دهنده رشته مواد
- صفحه حرارتی
- کارتریج گرم‌کن
- حرارت سنج
- خنک ساز
- نازل

برخی چاپگرهای سه بعدی دو کلگی دارند که هر دو با هم کار چاپ را انجام می‌دهند. این نوع چاپگرها به دلیل دارا بودن دو کلگی، دارای تنظیمات عملکردی مستقلی به ازای هر کلگی می‌باشند.

سامانه تغذیه کننده^۲

در چاپگرهای سه بعدی دو سامانه تغذیه مستقیم و غیر مستقیم وجود دارد. در سامانه تغذیه مستقیم، رشته مواد مستقیماً به انتهایی گرم فشار داده می‌شود. اما در سامانه غیر مستقیم (موسوم به Bowden) معمولاً رشته مواد از طریق یک لوله حرکت می‌کند تا به انتهایی داغ کلگی برسد. این دو سامانه هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند.

¹ Extruder

² Feeder System

اتصال^۱

چاپگرهای سه بعدی در موضوع اتصال به دیگر دستگاه‌ها و انتقال فایل نقشه و دیگر ارتباطات و تعاملات شبکه، تفاوت‌های زیادی با هم دارند. برخی فقط پورت اترنت یا USB را برای اتصال انتخاب می‌کنند، اما بسیاری از چاپگرهای سه بعدی جدید اکنون با Wi-Fi به شبکه متصل می‌شوند.

برای کارکرد مستقل چاپگرهای سه بعدی و عدم نیاز به اتصال، برخی چاپگرها دارای جایگاه کارت حافظه هستند و با قرار دادن کارت حافظه در آنها، فایل نقشه سه بعدی توسط دستگاه خوانده می‌شود.

واسط کاربر^۲

با کمک واسط کاربر که معمولاً یک نمایشگر LCD است، تنظیمات چاپگر را بدون نیاز به رایانه می‌توان کنترل کرد. به این ترتیب، این چاپگرها به صورت مستقل کار می‌کنند. این واسط می‌تواند به بررسی و تنظیم پارامترهای دستگاه کمک کند. ضمناً از این واسط برای فرمان دادن بارگیری یا تخلیه رشته مواد استفاده می‌شود. علاوه بر این، اپراتور می‌تواند برای تراز میز چاپ از طریق این صفحه نمایش کوچک، مقدار دهی کند.

انواع فناوری تولید به روش افزودنی به شرح جدول زیر است:

شرح	نوع
در این روش از یک مخزن مواد فتوپلیمر استفاده می‌شود. این ماده در مراحل تولید با نور UV سخت می‌شود. در یکی از روشهای تولید در این دستگاه بجای نور از لیزر استفاده می‌شود.	Vat photo polymerization
این چاپگرها از نوع پودری هستند و بخش مهمی از بازار چاپگرهای سه بعدی را به خود اختصاص داده اند. در این چاپگرها از مواد گوناگون برای تولید یک شیء استفاده می‌شود و محصولات با رنگ	Powder bed fusion

¹ Connectivity

² User Interface

نوع	شرح
	و خواص مکانیکی متنوع به دست می آیند. ¹ MJF و ² SLS دو روش در این نوع چاپگرهای سه بعدی است.
Binder jetting	در این چاپگرها از دو ماده استفاده می شود. یکی پودر و دیگری به عنوان چسب به آن اضافه می شود. در پایان فرآیند چاپ، شیء ساخته شده از مواد پودری خارج می گردد.
Material jetting	این چاپگرها شبیه چاپگرهای رنگی جوهرافشان کار می کنند. مواد در این چاپگرها به صورت قطره بسیار ریز از نازل مخصوصی به میز چاپ تزریق شده و قطعه سه بعدی را به صورت لایه لایه می سازد. برای سخت کردن مواد تزریقی از نور UV استفاده می شود.
Sheet lamination	ماده اولیه در این روش به صورت ورق های فلزی، کاغذی، یا پلیمر است. بسته به نوع ماده اولیه ورق ها روی هم جوش یا چسب می شوند. بعد از جوش هر لایه برای شکل دهی کار از فرز مخصوصی استفاده می شود.
Material extrusion	در این چاپگرها از فرآیند فشار حرکتی استفاده می شود. در این فرآیند از رشته های پلاستیکی یا فلزی به عنوان ماده اولیه استفاده می شود. دستگاه نازل در این روش قادر به حرکات افقی و عمودی است و به تدریج ماده اولیه را ذوب می کند.
Directed energy deposition	این چاپگرها به روش تابش مستقیم انرژی کار می کنند. در این روش از پودر فلز یا سیم فلزی استفاده می شود و برای ذوب آن از اشعه الکترونی یا پلاسما یا لیزر به روش مستقیم استفاده می گردد.

تولید به روش افزودنی یا چاپگر سه بعدی به عنوان یکی از فناوری های کلیدی برای انقلاب صنعتی نسل چهارم شناخته شده است. در این فناوری تاکنون شش عنصر کلیدی به شرح زیر شناسایی شده است [۶۵]:

¹ Multi Jet Fusion

² Selective Laser Sintering

عنصر کلیدی	شرح
فرآیندهای پلیمری	در این نوع فرآیندهای تولید افزودنی از اصول فیزیکی مختلف برای ساخت لایه به لایه قطعات از ترموپلاستیک یا موادی که در مقابل حرارت سخت می‌شوند استفاده می‌شود. قطعات کامپوزیتی با ماتریس پلیمری را ضمناً می‌توان با الیاف تقویت کننده کوتاه یا پیوسته ساخت. در جریان فرآیند تولید، به طور مداوم بر وضعیت تولید قطعه نظارت می‌شود. در این روش با استفاده بهینه از مواد با ضایعات کم و بدون ابزار تولیدی خاص، پایداری قطعه نیز تقویت می‌شود. بهینه کردن بهره‌وری فرآیند و دامنه گسترده مواد اولیه، از چالش‌های توسعه در این فناوری است.
فرآیندهای فلزات	فرآیندهای تولید افزودنی برای فلزات شامل فناوری‌های مستقیم و غیر مستقیم است: • فرآیندهای مستقیم خود شامل ذوب بر بستر پودر^۱ با منابع لیزر یا پرتو الکترونی، و توزیع مستقیم انرژی^۲ که ضمناً به عنوان روکش فلزی هم شناخته می‌شود، می‌باشند. امروزه، استفاده از فن آوری‌های ذوب بر بستر پودری در بسیاری از بخش‌های صنعت به عنوان جایگزینی برای تولید سنتی جهت تولید تعداد کم یا اجزاء تکی شناخته می‌شود [۱۵۲]. • فرآیندهای غیرمستقیم به روش پاشش روی پودر^۳ یا فشار حرکتی^۴ مواد است و برای ساخت قطعات فلزی متراکم، همراه با عملیات پس از فرآوری، از جمله مرحله پخت نهایی، نیز استفاده می‌شود [۱۵۳]. بهینه کردن بهره‌وری فرآیند و دامنه گسترده مواد اولیه، از چالش‌های توسعه در این فناوری است.
فرآیندهای سرامیک	فنون تولید افزودنی از مواد سرامیکی به دلیل نیاز محدود صنعت، رواج گسترده‌ای نیافته است. اگرچه اکثر فرآیندهای تولید افزودنی با تعداد کم است، لیکن این محدودیت تعدادی در مورد سرامیک‌ها سخت‌تر است [۱۵۴]. سرامیک‌ها عمدتاً با ذوب بر بستر پودری یا لیزر یا پاشش روی پودر (JB)، فرآیندی غیرمستقیم هستند که برای ساخت قطعات متراکم نیاز به

^۱ Powder Bed Fusion (PBF)

^۲ Directed Energy Deposition (DED)

^۳ Binder Jetting (BJ)

^۴ Extrusion

عنصر کلیدی	شرح
مواد	مراحل پس از فراوری و سخت شدن دارند [۱۵۵]. حجم ساخت و بهره‌وری بزرگ‌ترین چالش برای پیشرفت فرآیندهای تولید افزودنی با سرامیک است. مواد خام برای تولید افزودنی در حالت مایع چسبناک، پودر، یا جامد (گلوله، رشته، یا سیم) تأمین می‌شود. در مقایسه با فرآیندهای سنتی، تنوع مواد در فناوری به روش افزودنی محدود است. اما با توجه به فعالیت‌های مستمر تحقیق و توسعه روی مواد جدید، به طور مداوم تنوع این مواد در حال افزایش است. استفاده بهینه و بهره‌برداری از مواد با ضایعات حداقل از مزایای بالقوه تولید افزودنی است [۱۵۶]. قابلیت اطمینان بهتر در فرآیندها و دانش اپراتورها از چالش‌های پیش‌رو در این فناوری است.
طراحی	موفقیت کلیدی برای پذیرش تولید افزودنی، شناسایی مزایای خاص آن است که می‌تواند ارزش افزوده با افزایش عملکرد و نقش، برای محصولات ایجاد کند. فناوری افزودنی زمانی به ظرفیت کامل خود (حتی از منظر محیط زیست) دست می‌یابد که قطعات در فناوری تولید افزودنی طراحی مجدد شوند [۱۵۷]. چالش اصلی در این عنصر کلیدی، ترویج و انتشار روش‌های نوآوری در طراحی و تجسم محصولات جدید است که توسط فناوری‌های تولید افزودنی ساخته می‌شوند.
نرم‌افزار	در جریان بکارگیری فناوری تولید افزودنی معمولاً از بسته‌های نرم‌افزاری مختلفی استفاده می‌شود. از یک نرم‌افزار سه بعدی برای تعریف مدل مجازی محصول استفاده می‌شود. برای طراحی مولد یا بهینه‌سازی توپولوژی، از ابزارهایی استفاده می‌شود که بهترین توزیع مواد را در یک حجم طراحی، با لحاظ محدودیت‌ها و بارهای مهندسی، محاسبه می‌کنند [۱۵۸]. از یک نرم‌افزار ویژه هم برای برش و لایه لایه کردن شیء در مدل سه بعدی و تبدیل مسیر به کد اختصاصی یا ISO G-code باز برای ارسال به دستگاه تولید افزودنی استفاده می‌شود. چالش اصلی برای عنصر نرم‌افزار در فناوری تولید افزودنی، دستیابی به قابلیت اطمینان بالاتر در شبیه‌سازی فرآیندهای تولید برای پیش‌بینی تغییر شکل و کیفیت قطعه است [۱۵۹].

بیشترین مواد مورد استفاده در چاپگرهای سه بعدی از نوع پلاستیک:

- Polylactic Acid
- Acrylonitrile Butadiene Styrene
- Hydrogel Composites

همچنین در این زمینه از مواد فلزی به ویژه از انواع فولاد، فولاد ضد زنگ، تیتانیوم، طلا و نقره نیز نام برده می‌شود. اخیراً مواد جدیدی از الاستومرهای کریستال مایع و جوهر میکروژل متراکم در چاپگرهای سه بعدی استفاده می‌شود. فناوری‌های پشتوانه چاپ سه بعدی هم شامل موارد زیر است [۱۵۴]:

- Nano particles jetting
- Laser engineering net shape
- Wire and arc additive manufacturing
- Electron beam melting
- Selective laser sintering/melting
- Atomic diffusion additive manufacturing
- Single pass jetting
- Fused deposition modeling
- Direct ink printing
- Filament extrusion method

به طور کلی، از چاپ سه بعدی برای تولید هر چیز، از جمله ساخت انواع محصولات بتنی و ساختمانی و پل، قطعات هواپیما، اعضای بدن انسان (مانند کلیه و قلب، بافت‌ها مانند ماهیچه، دندان، و استخوان) گزارش شده است. در برخی موارد فعالیت در حد نمونه‌سازی و آزمایشگاهی است اما در بسیاری موارد از این فناوری به طور حرفه‌ای و نهایی استفاده شده است. البته تولید یا به اصطلاح رایج‌تر، چاپ اعضای بدن در مراحل ابتدایی است. اما پیش‌بینی می‌شود با تحولات آتی در صنعت نسل چهار، این کاربردها افزایش یابند. فراتر از آن، رشد چاپ سه بعدی به طور راهبردی نوآوری‌هایی برای تولیدات مواد واکنشی زنده مانند پلیمرهای حافظه‌دار^۱، و دستگاه‌هایی مانند روباتیک نرم^۲ در پی دارد [۱۶۰].

با استفاده از فنون مختلف تولید افزودنی، اشکال هندسی پیچیده را می‌توان تولید کرد، هزینه‌های تولید صنعتی را کاهش داد، و قطعاتی را با مواد درجه یک با دوره تولید کوتاه در زمان اندک عرضه نمود. تولید افزودنی امکان اجرای طرح‌های پیشرفته قطعات با فضای اضافی، قطعات چند منظوره، قطعات چند ماده‌ای، یکپارچه‌سازی قطعات و قطعاتی که ماشین کاری آنها دشوار

¹ Shape-Memory Polymers (SMP)

پلیمرهای حافظه‌دار، مواد پلیمری هوشمندی هستند که توانایی بازگشت از حالت تغییر شکل (که توسط یک محرک خارجی، مانند تغییر دما ایجاد شده) به شکل اصلی (دائمی) خود را دارند.

² Soft Robot

روباتیک نرم زیرشاخه‌ای از روباتیک است که به طراحی، کنترل و ساخت روبات‌ها از مواد نرم، به جای پیوندهای سخت و سخت، می‌پردازد.

است را فراهم می‌کند. تحقیقات گسترده‌ای در فناوری تولید افزودنی یا چاپ سه بعدی برای موارد زیر در حال انجام است [۱۶۱، ۱۶۲]:

- بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند تولید؛
- استفاده از مواد جدید؛
- توسعه فرآیندهای جدید؛
- بهبود فرآیندهای موجود؛
- خواص مواد بکار رفته در محصولات؛
- استانداردسازی؛
- مدل‌سازی مواد؛

برپایه این ویژگی‌ها، فناوری تولید افزودنی به طور گسترده توسط بخش‌های صنعتی از قبیل هوافضا، خودروسازی، ساختمان و عمران، پزشکی، و کالاهای مصرفی استفاده می‌شود. در بخش هوافضا، شرکت‌هایی مانند Airbus و جنرال الکتریک آمریکا سال‌هاست که از فناوری تولید افزودنی استفاده می‌کنند. برای قطعات فلزی، کاربردهای اصلی فناوری‌های تولید افزودنی شامل توزیع مستقیم انرژی^۱ و ذوب بر بستر پودری^۲ است. برای قطعات غیر فلزی، فناوری‌های غالب در تولید افزودنی یا همان چاپ سه بعدی عبارتند از [۸۲]:

- Vat Photo Polymerization
- Material Jetting
- Material Extrusion

آلیاژی از نیکل و آهن به نام فنی (Invar 36 (UNS K93600 هم با استفاده از ذوب لیزری انتخابی^۳ و شناسایی پارامترهای فرآیند بهینه، پیشنهاد شده است. این ماده دارای ضریب انبساط حرارتی پایینی است و می‌تواند برای صنعت هوافضا بسیار مفید باشد. در این تجربه، تأثیرات زیر بررسی شد [۱۶۳]:

¹ Directed Energy Deposition (DED)

توزیع مستقیم انرژی یک روش چاپ سه بعدی است که از یک منبع انرژی متمرکز مانند قوس پلاسما، لیزر یا پرتو الکترونی برای ذوب ماده‌ای که به طور همزمان توسط یک نازل رسوب می‌شود استفاده می‌کند.

² Powder Bed Fusion

ذوب بستر پودری (PBF) یک روش چاپ سه بعدی است که مواد پودری را نقطه به نقطه با استفاده از یک منبع انرژی، معمولاً یک پرتو لیزر یا یک پرتو الکترونی، به هم جوش می‌دهد. این یکی از رایج‌ترین فنون چاپ سه بعدی است که برای تولید به روش افزودنی در صنعت استفاده می‌شود.

³ Selective Laser Melting (SLM)

با همجوشی ذرات پودر فلز در یک فرآیند ذوب کامل، قطعات را به صورت افزودنی شکل می‌دهند. فرآیند ذوب کامل به فلز اجازه می‌دهد تا یک بلوک همگن با مقاومت خوب تشکیل شود.

- لیزر با قدرت بالا^۱،
- سرعت اسکن: فناوری اسکن سه بعدی فعلی (مانند اسکنرهای سی تی) وضوح مورد نیاز برای بازرسی دقیق میکرونی را تولید می‌کنند،
- فاصله تا نقطه مرکزی ابزار روبات‌های چاپ سه بعدی،
- زمان نورددهی: مقدار زمانی که منبع نور در طول چاپ، لایه‌ها را در معرض دید قرار می‌دهد،
- فاصله بین دو پرتو لیزر متوالی^۲،
- عرض نوار به عنوان حداکثر طولی که یک نوار می‌تواند در جریان تولید داشته باشد. عرض نوار بیشتر، باعث ایجاد تنش‌های پسماند بالاتر بر روی سطح می‌شود،
- هم‌پوشانی نوارها،
- پرتو افست^۳ یا فاصله از لبه بیرونی لایه‌ای که قرار است تا وسط پرتو لیزر سخت شود،
- ضخامت لایه روی تراکم،
- ریزساختار^۴ با قابلیت‌های لازم برای تغییر خصوصیات فیزیکی اجسام مانند کشسانی، مقاومت، و سختی،
- ویژگی‌های سطح محصولات.

مشابه صنعت هوا فضا، صنعت خودروسازی هم همراه با مزایای مشابه از روش تولید افزودنی استفاده می‌کند. محصولات سبک و بهینه‌سازی آیرودینامیکی می‌تواند به کاهش مصرف سوخت و سربار کمک کند.

در یک تجربه تحقیقاتی، چرخه عمر قطعات فلزی یک موتور در کامیون سبک ارزیابی شد. آنها ذوب بر بستر پودری را با تولید سنتی مقایسه کردند و نشان دادند که ذوب بر بستر پودری می‌تواند عملکرد زیست محیطی چرخه عمر قطعات را با طراحی مجدد اجزا برای کاهش وزن بهبود بخشد، که این منجر به مصرف سوخت کمتر توسط موتور در مقایسه با روش‌های تولید سنتی می‌شود [۱۶۴].

استفاده از تولید افزودنی، برای ساختمان سازی، مزایای زیادی برای کاربران خود ارائه می‌کند. ایمنی کارگران، به ویژه در محیط‌های سخت یکی از این مزایا است. زنجیره تأمین طرح‌های ساختمانی نیز کوچک می‌شود، چرا که سازه‌های بزرگ سفارشی را می‌توان در محل، به سرعت،

¹ Laser Power

² Hatch Spacing

³ Beam Offset

⁴ Microstructure

و بدون نیاز به تأمین کنندگان متعدد، احداث نمود. این نوع تولید را تولید افزودنی در مقیاس بزرگ می‌نامند و شامل چندین روش است که از بازوهای روباتیک برای تزریق مواد استفاده می‌کند، از جمله روشهای تولید افزودنی در مقیاس بزرگ را می‌توان در ساخت دروازه‌ای^۱، ساخت سلولی^۲، d-shape^۳ و چاپ بتن مشاهده نمود [۸۲].

در تجربه دیگری در حوزه ساختمان، یک سکوی^۴ ساختمان سازی دیجیتالی^۵ براساس تولید افزودنی ساخته شد که شامل یک اسکلت بازوی روباتیک مرکب (ساخته شده از بازوهای مکانیکی با نیروی آب و برق) است و بر روی یک سکوی متحرک زنجیردار حمل می‌شود. براساس این تجربه، یک سازه قالب قوسی به عرض ۱۴.۶ متر و ارتفاع ۳.۷ متر با زمان کمتر از ۱۳.۵ ساعت، در محل تولید شد [۱۶۵]. چنین ساخت و سازی می‌تواند همراه با مزایای ایمنی، کیفیت، سفارشی سازی، سرعت، هزینه و عملکرد باشد. برای مقابله با بی‌خانمانی جهانی، یک سازمان غیرانتفاعی مستقر در آمریکا به نام New Story با همکاری ICON و با استفاده از فناوری تولید افزودنی، اقدام به ساخت ۳۰ واحد مسکونی در تاباسکو، مکزیک، کرده است [۸۲].

فناوری تولید افزودنی تأثیر قابل توجهی بر اقتصاد جهانی گذاشته است. توسعه چاپگرهای تولید ساختمان‌های مسکونی نمونه‌ای از این تحول است. یکی دیگر از نمونه‌های این تأثیر، استفاده از فناوری تولید افزودنی در بحران جدی شیوع COVID-19 است. یک شرکت ساختمانی در چین به نام WinSun بخش‌های ایزوله بیمارستانی که با فناوری تولید افزودنی با مقیاس بزرگ تولید شده بودند را در بیمارستان نوساز منطقه ووهان مستقر کرد تا تیم‌های پزشکی از آنها استفاده کنند. این بخش‌ها برای مطابقت با الزامات استانداردهای مربوطه درست شدند و می‌توانستند شرایط محیطی کاملاً ایزوله برای سالم ماندن در مقابل ویروس کووید را تحمل کنند.

¹ Contour Crafting

این یک فناوری چاپ ساختمان است که توسط بهرخ خوش‌نویس در مؤسسه علوم اطلاعات دانشگاه کالیفرنیا جنوبی مورد تحقیق قرار گرفته است و از جرقه‌ای دروازه‌ای کنترل‌شده توسط رایانه برای ساخت سریع و کارآمد ساختمان، با کار دستی بسیار کم استفاده می‌کند.

² Cellular Fabrication

ساخت سلولی، ماتریس‌های باز را از پلیمرهای با کارایی بالا چاپ می‌کند که می‌تواند به تنهایی به عنوان قطعات معماری یا ساختاری یا چارچوبی برای مصالح ساختمانی معمولی عمل کند. سازه‌ها معمولاً به صورت سه بعدی در پانل‌های ماژولار چاپ می‌شوند سپس می‌توانند در محل نصب شوند.

³ یک چاپگر سه بعدی بزرگ که با استفاده از روش binder-jetting، فرآیند چاپ لایه روی لایه، با ترکیبی از شن و ماسه و آب را انجام می‌دهد. با اضافه کردن ترکیبی از منیزیم اجسام به سختی سنگ ساخته می‌شود.

⁴ Platform

⁵ Digital Construction Platform (DCP)

استفاده از تولید افزودنی در بخش پزشکی طی این سال‌ها برای مدل‌های پزشکی، ایمپلنت‌های جراحی، ابزار جراحی، و برخی تولیدات زیستی به‌طور تصاعدی افزایش یافته است. در یک تجربه تحقیقاتی در حوزه پزشکی، از روش ذوب لیزری برای تولید صنعتی یک ایمپلنت مفصل ران انسان براساس داده‌های جمع‌آوری شده از طریق پرتونگاری مقطعی محاسبه شده^۱ با پودر Ti-6Al-4V استفاده شد [۱۶۶]. آزادی طراحی در فناوری تولید افزودنی، امکان طراحی یک سطح از بافت بدن برای ایمپلنت‌ها را فراهم می‌کند که می‌تواند فرآیند یکپارچه‌سازی Osseo را بهبود بخشد. محققین ضمناً فرآیند دیگری برای بازپخت^۲ که با گرم کردن ایمپلنت همراه است ابداع کردند و موجب افزایش استحکام کششی به میزان قابل توجهی شدند.

علاوه بر تلاش‌های تحقیقاتی در فناوری تولید افزودنی، همچنین مواردی وجود دارد که از این فناوری به عنوان تسریع کننده تولید به نفع جامعه استفاده می‌شود. این امر با اجتماع دست اندرکاران تولید افزودنی از سراسر جهان برای حمایت از متخصصین پزشکی در مبارزه با COVID-19 نشان داده شد. در این ایام، از فناوری تولید افزودنی برای تقویت زنجیره تأمین خدمات پزشکی، از جمله اقلام زیر استفاده شد:

- تجهیزات محافظ شخصی از قبیل ماسک و شیلد؛
- کیت‌های آزمایش پزشکی از قبیل سواب‌ها^۳؛
- اجزای تجهیزات پزشکی، مانند شیرهای اکسیژن دهنده^۴؛
- اجزای زیست‌بوم محیط از قبیل بازکننده درب‌ها بدون دخالت دست.

روبات‌های خودران / پیشرفته

روبات‌های خودران یا بهتر است بگوییم خودمختار، ماشین‌های هوشیاری هستند که می‌توانند وظایف خود را بدون کنترل آشکار انسان انجام دهند. این روبات‌ها هسته اصلی تولید به صورت خودمختار هستند که بخش مهمی از ابتکار کارخانه هوشمند به عنوان یکی از مفاهیم اساسی صنعت نسل چهارم است [۱۶۷].

روبات‌های پیشرفته یک قطعه حیاتی از پازل صنعت نسل چهارم است و به طور گسترده در صنعت تولید استفاده می‌شوند. یکی از مشخصات یک روبات خودمختار، داشتن درجه‌ای از استقلال برای درک و پاسخ به محرک‌های خارجی است. یک روبات معمولی به دلیل انجام اموری

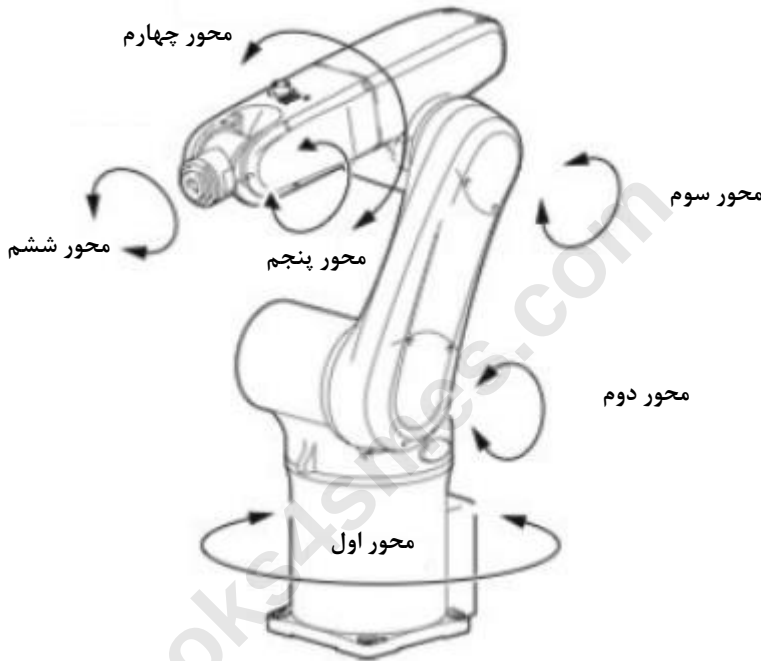
¹ Computed Tomography

² Annealing

³ Swabs

⁴ Ventilator Valves

از قبیل کارهای تکراری، خطرناک و وقت گیر، با دقت بالاتر، نیاز به کارایی بیشتر، ضرورت کاهش خطا و زمان عملیاتی، بدون نیاز به استراحت، دارای مزایای زیادی برای انسان است. اما روبات خودران با استفاده از هوش مصنوعی و اضافه کردن آن به توانایی روبات‌های معمولی، نیازی به کنترل انسان ندارد و می‌تواند بر اساس برنامه‌ریزی، به طور مستقل تصمیم بگیرد [۱۶۷].



روبات‌های خودران به طور مداوم در حال پیشرفت می‌باشند تا نیاز صنعت نسل چهارم را در سطح هوشیاری برآورده کنند.

تولیدکنندگان در بسیاری از صنایع مدت‌هاست که از روبات‌ها برای انجام وظایف پیچیده استفاده می‌کنند، با این حال روبات‌ها برای کاربرد بیشتر در حال تکامل هستند و در حال رشد به سمت خودمختاری، انعطاف‌پذیری و همکاری بیشتر می‌باشند. در نهایت، قرار است روبات‌ها با یکدیگر در تعامل بوده و با ایمنی در کنار انسان‌ها کار کنند و در برخی موارد ممکن است حتی از انسان یاد بگیرند. روبات‌های پیشرفته (که در راه است) دارای طیف وسیعی از قابلیت‌ها نسبت به روبات‌های امروزی هستند.

یک شرکت دانش‌بنیان اروپایی فعال در حوزه تجهیزات روباتیک به نام Kuka، روبات‌های خودمختاری تولید می‌کند که با یکدیگر در تعامل هستند. این روبات‌ها با هم کار می‌کنند و به

طور خودکار وظایف‌شان را تنظیم می‌کنند. بنحویکه محصول ناتمام بعدی را در فرآیند تولید قرار می‌دهند. حسگرهای پیشرفته و بخش‌های کنترل در این روبات‌ها، امکان همکاری نزدیک با انسان را هم فراهم کرده‌اند.

یک شرکت دیگر تولید کننده روبات‌های صنعتی به نام ABB در حال راه اندازی یک روبات دوبازویی به نام YuMi است که به طور خاص برای مونتاژ محصولاتمانند لوازم الکترونیکی مصرفی در کنار انسان طراحی شده است. دو بازوی بالشتکی و دید رایانه‌ای در آنها امکان تعامل ایمن با انسان، و شناسایی هوشمند قطعات را فراهم می‌کند [۶۶].

روبات‌های خودران تولید را به طور مستقل و با دقت بیشتری انجام می‌دهند و می‌توانند در کنار انسان یا حتی در مکان‌های محدود یا ممنون برای انسان، کار کنند. برخلاف روزهای قدیم که روبات‌ها اساساً برای انجام وظایف پیچیده در صنایع تولیدی طراحی می‌شدند، روبات‌های خودمختار امروزی نیز این توانایی را دارند که وظایف محوله را به طور دقیق و در زمان معین انجام دهند و بر ایمنی، انعطاف‌پذیری، تطبیق‌پذیری و همکاری مشترک با یکدیگر و انسان تمرکز کنند. روبات‌های خودران پیشرفته ضمناً در خدمات لجستیکی از قبیل انبارها و پایانه‌های کانتینری به کار گرفته می‌شوند.

معماری استفاده از روبات‌های خودران شامل اجزای عملکردی و تصمیم‌گیری است که با رونق ناگهانی صنعت نسل چهار باید با افزایش حوزه‌های جدید کاربرد آنها نیز توسعه یابد. برای دستیابی به اهداف پیشرفته روبات‌های خودران، سه عنصر فناوری به شرح زیر شناسایی شده است [۶۵]:

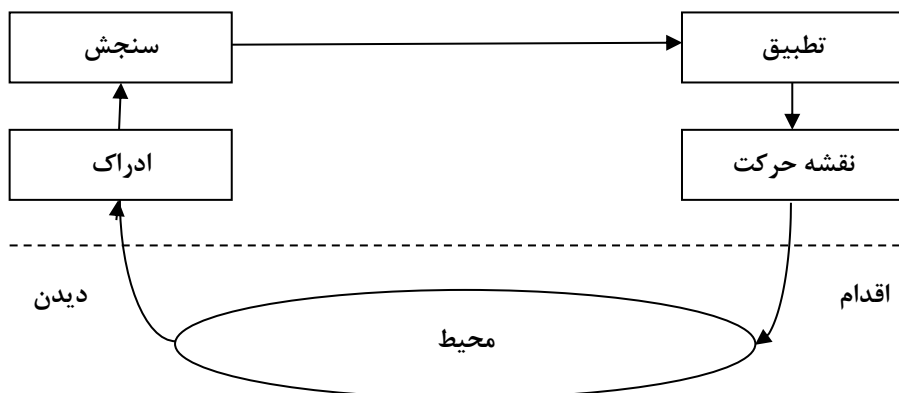
شرح	عنصر فناوری
ادراک یک عنصر کلیدی در توسعه روبات‌های خودران است که شامل جمع‌آوری داده‌ها و در نتیجه استخراج اطلاعات مفید از محیطی است که در آن کار می‌کنند. با توجه به نیاز روز افزودن این روبات‌ها در صنعت نسل چهارم، عنصر ادراک در روبات‌های خودران، چالش برانگیزتر می‌شود. اساسی‌ترین وظیفه‌ای که روبات‌ها می‌توانند انجام دهند، استقرار در یک نقطه مرجع در محیط فعالیت است. این را می‌توان با استفاده از فناوری‌های مختلف از جمله دوربین‌های دیجیتال دو بعدی و سه بعدی، GPS، Lidar، حسگرهای امواج مافوق صوت و مادون قرمز، حسگرهای مغناطیسی و غیره، انجام داد. بعلاوه، با توسعه روبات‌های نرم‌افزاری، حسگرهای جدیدتری نیز در حال ظهور است.	ادراک^۱
در صنعت نسل چهارم، نیاز فزاینده‌ای به روبات‌های خودران انعطاف‌پذیر وجود دارد که بتوانند با وظایف مختلف سازگار شوند و در موقعیت‌های مختلف تعامل داشته و همچنین در هر محیطی یکپارچه شوند. در چنین شرایطی، نیاز به فناوری‌های بررسی و سنجش به شدت نقش برجسته خواهد داشت. وظیفه بررسی و سنجش مربوط به فعالیت‌هایی است که برای دستیابی به اهداف مورد نظر انجام می‌شود و با استدلال صحیح در رابطه با این اهداف مطابقت می‌یابد. برای بررسی و سنجش اقداماتی از قبیل برنامه‌ریزی، اقدام، مشاهده، نظارت، استدلال منطبق با هدف و یادگیری نیاز است [۱۶۸].	بررسی و سنجش^۲
خودمختاری در روبات‌ها یعنی میزانی که یک روبات به منظور رسیدن به یک هدف، چه به روبات داده شده و یا توسط خودش درک شده باشد، و ضمناً بدون کنترل خارجی، می‌تواند محیط را حس کرده و بر اساس آن ادراک، برنامه‌ریزی، و براساس یافته‌ها، عمل کند [۱۶۹]. برای این منظور، هوش مصنوعی (AI) از اهمیت بالایی برخوردار است. با این حال، ایجاد تعادل مناسب بین استقلال روبات و کنترل انسان یک چالش اساسی، از نظر فنی و اخلاقی است. یک مفهوم مهم مرتبط با استقلال، قابلیت اطمینان یعنی توانایی ارائه خدمات قابل اعتماد است، که عمدتاً بر مدیریت خطا از نظر پیشگیری، حذف، پیش‌بینی و تحمل انحراف^۴ تمرکز دارد [۱۷۰].	خودمختاری^۳

^۱ Perception

^۲ Deliberation

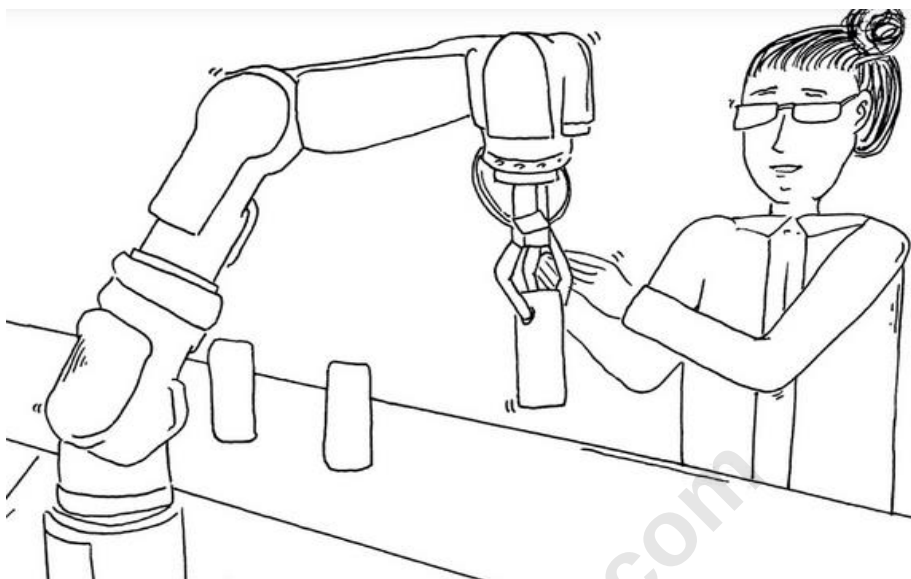
^۳ Autonomy

^۴ Tolerance



برای بهره‌مندی از حداکثر مزایای روبات‌های خودران، کلاس خاصی از روبات‌ها به نام *cobot* یا روبات‌های همکار با انسان تعریف شده است [۱۷۱]. این روبات‌ها فضای کاری را با انسان به اشتراک می‌گذارند و در کنار انسان فعالیت می‌کنند تا وظایف خود را به نحو احسن انجام دهند. این روبات‌ها که توسط KUKA (آلمان) و روبات‌های عمومی (دانمارک) پیشگام شدند، نسبت به دیگر روبات‌ها عملکرد متفاوتی دارند. بسیاری از *cobot*ها به جای برنامه‌ریزی برای مجموعه‌ای از مراحل خاص، می‌توانند با استفاده از ابزارهای برنامه‌نویسی، توسط انسان‌ها آموزش داده شوند. برای آموزش آنها، اپراتور بازوهای این روبات‌ها را هدایت کرده و با تمرین برای انجام یک کار جدید، به روبات آموزش می‌دهد. در این شیوه آموزش، اپراتور، روبات را به حرکت در آورده و روبات آن حرکت را در حافظه خود ضبط می‌کند. این نوع یادگیری استفاده از مهارت‌های تخصصی برای برنامه نویسی روبات را نیز حذف می‌کند و در عمل کنترل روبات را به اپراتور انسانی می‌دهد. براساس اعلام فدراسیون بین‌المللی روبات، چهار نوع روبات‌های همکار در تولید صنعتی معرفی شده است:

- همکاری همزیستی: انسان و روبات بدون فضای مشترک با هم کار می‌کنند،
- همکاری ترتیبی / متوالی: انسان و روبات روی یک قطعه به طور جداگانه و غیر همزمان کار می‌کنند،
- همکاری همزمان: انسان و روبات همزمان روی یک قطعه یا ماشین کار می‌کنند،
- همکاری واکنشی: روبات به طور هوشمندانه به حرکات انسان پاسخ می‌دهد.



این روبات‌های همکار در صنعت محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند و از نظر طراحی، استفاده و اقدامات حفاظتی، تحت پوشش چندین استاندارد بین‌المللی قرار دارند. از نظر کاربردی، در یک طرح پژوهشی، ظرفیت استفاده از دو نوع روبات‌های عمومی موسوم به UR3 و UR5 برای مونتاژ و اشکال دایره شکل^۱ که توسط یک شرکت سوئدی به نام CEJN AB استفاده می‌شد، مورد ارزیابی علمی قرار گرفت. ضمناً از دو راهبرد خودکارسازی، یعنی DFA2 و DYNAMO++ در این طرح استفاده شد. محققین به این نتیجه رسیدند که روبات‌های همکار می‌توانند بهبود قابل توجهی در کیفیت و کاهش زمان چرخه تولید ایجاد کنند. این محققین، در عین حال بر نیاز به توسعه استانداردهای بیشتر برای اطمینان از کاربرد و نتایج سازگارتر روبات‌ها تأکید داشتند [۱۷۲].

در یک تلاش دیگر، یک واحد تولیدی با همکاری مشترک انسان و روبات برای مونتاژ مشترک و با سرعت ثابت طراحی شد. در این طرح، روبات را دستکاری کردند تا بسته به نیاز اپراتور بین حالت فعال و غیرفعال تغییر وضعیت دهد. گزارش کاهش قابل توجه در فشار کاری اپراتور و خطر آسیب‌ها از نتایج بارز این طرح بود [۱۷۳]. براساس یک سری برآوردها، پیش‌بینی می‌شود که در صورت استقرار چنین سامانه‌ای در صنعت خودرو، دوره بازگشت سرمایه^۲ یک ساله باشد.

^۱ O-Ring

^۲ Payback Period

در یک تحقیق دیگر، راه‌حل کنترل توزیع شده^۱ برای تولید، که در آن سامانه چند عامل مبتنی بر هستی‌شناسی^۲ و سامانه مدیریت قوانین کسب‌وکار^۳ به روش همکاری ترکیب می‌شوند، پیشنهاد شد [۱۷۴]. پیشنهاد دهنده‌ها، بر ارائه دانش تولید، به اشتراک‌گذاری و استدلال بین اپراتور، روبات و اجزای تولید در محیط، تمرکز کردند. روش پیشنهادی امکان تصمیم‌گیری جمعی را فراهم می‌کند که می‌تواند بر اساس الزامات به طور مؤثر تطبیق داده شود.

برخی متخصصین نیز قواعد یادگیری تحت نظارت^۴ مبتنی بر شبکه عصبی را برای بهبود برنامه‌ریزی حرکت بدون برخورد^۵ در جریان فعالیت‌های مشترک بین انسان و روبات در خط تولید ابداع کردند [۱۷۵]. آنها همچنین یک خط سیر حرکت بهینه را اعمال کردند که می‌تواند به راحتی در یک محیط کاری پویا استفاده شود.

ادغام راهبردهای خودکار سازی می‌تواند عملکرد روبات‌ها را به طور قابل توجهی بهبود بخشد. در مجموع، روبات‌های همکار با تقویت نقش انسان، برای مؤثرتر و کارآمدتر کردن و پیشرفت انسان‌ها خلق شده که از دلایل پذیرفته شدن گسترده آنها در صنعت تولید است. تنها نگرانی عمده در همکاری بین انسان و روبات، موضوع کلیدی امنیت است و از سایر جنبه‌های عملکرد و کاربرد آنها تجربیات راضی‌کننده‌ای کسب شده است [۸۲].

از شرکت‌های بزرگ و معروف جهانی که در نوآوری و توسعه روبات‌های خودران نقش فعالی دارند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: Kuka، Rethink Robotics، Bionics Robotics، Roberta، Fanuc و ABB، Honda، Gmtec.

¹ Distributed Control Solution

² Ontology-based Multi-agent System

³ Business Rule Management System

⁴ Supervised-Learning Protocol

⁵ Collision-Free Motion Planning

منابع مورد استفاده

۱. Ferreira, F., et al. *Industry 4.0 as enabler for effective manufacturing virtual enterprises*. in *Working Conference on Virtual Enterprises*. 2016. Springer.
۲. Yıldız, T., *Examining the concept of industry 4.0 studies using text mining and scientific mapping method*. *Procedia computer science*, 2019. **158**: p. 498-507.
۳. Kagermann, H., W. Wahlster, and J. Helbig, *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Final report of the Industrie, 2013. **4**(۰)
۴. Rauch, E. *Industry 4.0+: The Next Level of Intelligent and Self-optimizing Factories*. 2020. Cham: Springer International Publishing.
۵. Piccarozzi, M., B. Aquilani, and C. Gatti, *Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review*. *Sustainability*, 2018. **10**(10): p. 3821.
۶. Zhong, R.Y., et al., *Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review*. *Engineering*, 2017. **3**(5): p. 616-630.
۷. Da Silva, I.A., et al. *Industry 4.0 Maturity Models: A bibliometric study of scientific articles from 2001 to 2018*. in *26th EurOMA Conference Operations Adding Value to Society*. 2019.
۸. Bauernhansl, T., M. Ten Hompel, and B. Vogel-Heuser, *Industrie 4.0 in produktion, automatisierung und logistik: Anwendung-Technologien-Migration*. 2014: Springer.
۹. PWC, *4.0: Building the Digital Enterprise—Industry 4.0 Survey*. PricewaterhouseCoopers: London, UK, 2016.
۱۰. Pfeiffer, S., *Effects of Industry 4.0 on vocational education and training (ITA manu: script 15-04)*. 2015.
۱۱. Hermann, M., T. Pentek, and B. Otto. *Design principles for industrie 4.0 scenarios*. in *49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*. 2016. IEEE.
۱۲. Schmitt, U. *Personal knowledge management devices-The next co-evolutionary driver of human development*. in *International Conference on Education and Social Sciences (INTCESS14)*. 2014.

۱۳. Deloitte, *Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*. Finance, Audit Tax Consulting Corporate :Zurich, Swiss, 2015: p. 1-12.
۱۴. Schuh, G., et al., *Industry 4.0 implementation framework for the producing industry*. Journal of Advances in Technology and Engineering Studies, 2018. 4(2): p. 79-90.
۱۵. Mubarok, K. *Redefining Industry 4.0 and Its Enabling Technologies*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. IOP Publishing.
۱۶. Sarvari, P.A., et al., *Technology roadmap for Industry 4.0*, in *Industry 4.0: Managing the digital transformation*. 2018, Springer. p. 95-103.
۱۷. Erol, S., A. Schumacher, and W. Sihn. *Strategic guidance towards Industry 4.0—a three-stage process model*. in *International conference on competitive manufacturing*. 2016.
۱۸. Hochmuth, C.A., C. Bartodziej, and C. Schwägler, *Industry 4.0: Is your ERP System ready for the Digital Era*. Deloitte White paper, 2017.(۶)
۱۹. Kagermann, H., *Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0*, in *Management of permanent change*. 2015, Springer. p. 23-45.
۲۰. Skobelev, P. and S.Y. Borovik, *On the way from Industry 4.0 to Industry 5.0: From digital manufacturing to digital society*. Industry 4.0, 2017. 2(6): p. 307-311.
۲۱. Rodríguez-Molano, J.I., L.E. Contreras-Bravo, and E. Rivas-Trujillo. *Industry Knowledge Management Model 4.0*. 2018. Cham: Springer International Publishing.
۲۲. Shen, W. and D.H. Norrie, *Agent-based systems for intelligent manufacturing: a state-of-the-art survey*. Knowledge and information systems, 1999. 1(2): p. 129-156.
۲۳. Cheng, G.-J., et al. *Industry 4.0 development and application of intelligent manufacturing*. in *2016 international conference on information system and artificial intelligence (ISAI)*. 2016. IEEE.
۲۴. Park, H.-S. and R.A. Febriani, *Modelling a Platform for Smart Manufacturing System*. Procedia Manufacturing, 2019. 38: p. 1660-1667.
۲۵. Marques, M., et al., *Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0*. Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, 2017. 9(3): p. 299-313.
۲۶. Nahavandi, S., *Industry 5.0—A human-centric solution*. Sustainability, 201۱: (۱۶) ۱۱. ۹p. 4371.
۲۷. Özdemir, V. and N. Hekim, *Birth of industry 5.0: Making sense of big data with artificial intelligence, “the internet of things” and next-generation technology policy*. Omics: a journal of integrative biology, 2018. 22(1): p. 65-76.
۲۸. McFarlane, D., et al., *Auto ID systems and intelligent manufacturing control*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2003. 16(4): p. 365-376.

- .۲۹ Alippi, C. and S. Ozawa, *Computational intelligence in the time of cyber-physical systems and the Internet of Things*, in *Artificial Intelligence in the Age of Neural Networks and Brain Computing*. 2019, Elsevier. p. 245-263.
- .۳۰ Pathak, P., et al., *Fifth revolution: Applied AI & human intelligence with cyber physical systems*. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 2019. **8**(3): p. 23-27.
- .۳۱ Jarrahi, M.H., *Artificial intelligence and the future of work: Human-AI symbiosis in organizational decision making*. Business Horizons, 2018. **61**(4): p. 577-586.
- .۳۲ Li, B.-h., et al., *Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review*. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2017. **18**(1): p. 86-96.
- .۳۳ Nirmala, J., *Super Smart Society: Society 5.0*. URL: <https://www.roboticstomorrow.com/article/2016/09/supersmart-society-society-50/8739>, 2016.
- .۳۴ Yao, B., et al., *A function block based cyber-physical production system for physical human-robot interaction*. Journal of manufacturing systems, 2018. **48**: p. 12-23.
- .۳۵ Kiel, D., et al., *Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0*, in *Digital Disruptive Innovation*. 2020, World Scientific. p. 231-270.
- .۳۶ Wang, Y., T. Towara, and R. Anderl. *Topological approach for mapping technologies in reference architectural model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)*. in *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. 2017.
- .۳۷ Chhabra, N., *Comparative analysis of different wireless technologies*. International Journal Of Scientific Research In Network Security & Communication, 2013. **1**(5): p. 3-4.
- .۳۸ Qiu, X., et al., *Physical assets and service sharing for IoT-enabled Supply Hub in Industrial Park (SHIP)*. International Journal of Production Economics, 2015. **159**: p. 4-15.
- .۳۹ Posada, J., et al., *Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet*. IEEE computer graphics and applications, 2015. **35**(2): p. 26-40.
- .۴۰ Uhlemann, T.H.-J., C. Lehmann, and R. Steinhilper, *The digital twin: Realizing the cyber-physical production system for industry 4.0*. Procedia Cirp, 2017. **61**: p. 335-340.
- .۴۱ Antrobus, V., G. Burnett, and C. Krehl, *Driver-passenger collaboration as a basis for human-machine interface design for vehicle navigation systems*. Ergonomics, 2017. **60**(3): p. 321-332.
- .۴۲ Krittanawong, C., et al., *Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine*. Journal of the American College of Cardiology, 2017. **69**(21): p. 2657-2664.

- .۴۳ Bongomin, O., et al., *Exponential disruptive technologies and the required skills of industry 4.0*. Journal of Engineering, 2020. **2020**.
- .۴۴ Mayr, A., et al., *Application scenarios of artificial intelligence in electric drives production*. Procedia Manufacturing, 2018. **24**: p. 40-47.
- .۴۵ Lee, J., et al., *Industrial Artificial Intelligence for industry-۴.۰ based manufacturing systems*. Manufacturing letters, 2018. **18**: p. 20-23.
- .۴۶ Garbade, M.J., *Clearing the confusion: Ai vs machine learning vs deep learning differences*. Towards Data Science, 2018. **14**.
- .۴۷ Nicholson, C., *Artificial Intelligence (AI) vs Deep Learning*. Retrieved from <https://skymind.ai/wiki/ai-vs-machinelearning-vs-deep-learning>, 2019.
- .۴۸ Juhás, P. and K. Molnár, *Key components of the architecture of cyber-physical manufacturing systems*. Industry 4.0, 2017. **2**(5): p. 205-207.
- .۴۹ Zhong, R.Y., et al., *A big data approach for logistics trajectory discovery from RFID-enabled production data*. International Journal of Production Economics, 2015. **165**: p. 260-272.
- .۵۰ Koren, Y., W. Wang, and X. Gu, *Value creation through design for scalability of reconfigurable manufacturing systems*. International Journal of Production Research, 2017. **55**(5): p. 1227-1242.
- .۵۱ Jiang, B. and Y. Fei, *Smart home in smart microgrid: A cost-effective energy ecosystem with intelligent hierarchical agents*. IEEE Transactions on Smart Grid, 2014. **6**(1): p. 3-13.
- .۵۲ Simpson, T.W., et al., *Advances in product family and product platform design*. New York: Springer, 2014.
- .۵۳ Zhong, R.Y., et al., *Big Data for supply chain management in the service and manufacturing sectors: Challenges, opportunities, and future perspectives*. Computers & Industrial Engineering, 2016. **101**: p. 572-591.
- .۵۴ Zou, J., et al., *Dynamic production system diagnosis and prognosis using model-based data-driven method*. Expert Systems with Applications, 20۱۷:۸۰ p. 200-209.
- .۵۵ Luo, M., et al., *A data-driven two-stage maintenance framework for degradation prediction in semiconductor manufacturing industries*. Computers & Industrial Engineering, 2015. **85**: p. 414-422.
- .۵۶ Dieckhoff, P., R. Möhlmann, and J. van Ackeren, *Biologische Transformation und Bioökonomie. White Paper*. 2018, Fraunhofer Verlag, Munich.
- .۵۷ Mieke, R., et al., *The biological transformation of the manufacturing industry—envisioning biointelligent value adding*. Procedia CIRP, 2018. **72**: p. 7۰۴۳-۳۹.
- .۵۸ Betten, A.W., J.E. Broerse, and F. Kupper, *Dynamics of problem setting and framing in citizen discussions on synthetic biology*. Public Understanding of Science, 2018. **27**(3): p. 294-309.
- .۵۹ Goold, H.D., P. Wright, and D. Hailstones, *Emerging opportunities for synthetic biology in agriculture*. Genes, 2018. **9**(7): p. 341.

- .۶۰ Wurtzel, E.T., *Changing form and function through carotenoids and synthetic biology*. Plant physiology, 2019. **179**(3): p. 830-843.
- .۶۱ Combes, B., et al., *Emerging and exponential technologies: New opportunities for low-carbon development*. 2017.
- .۶۲ Gotovtsev, P., et al., *Bioenergy based power sources for mobile autonomous robots*. Robotics, 2018. **7**(1): p. 2.
- .۶۳ Qin, J., Y. Liu, and R. Grosvenor, *A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond*. Procedia cirp, 2016. **52**: p. 173-178.
- .۶۴ Shen, W., et al., *Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review*. Advanced engineering INFORMATICS, 2006. **20**(4): p. 415-431.
- .۶۵ Mabkhot ,M.M., et al., *Mapping industry 4.0 enabling technologies into united nations sustainability development goals*. Sustainability, 2021. **13**(5): p. 2560.
- .۶۶ Rüßmann, M., et al., *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Boston Consulting Group, 2015. **9**(1): p. 54-89.
- .۶۷ Zhong, R.Y., et al., *RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2013. **29**(2): p. 283-292.
- .۶۸ Tao, F., et al ,*CCIoT-CMfg: cloud computing and internet of things-based cloud manufacturing service system*. IEEE Transactions on industrial informatics, 2014. **10**(2): p. 1435-1442.
- .۶۹ Xia, F., et al., *Internet of things*. International journal of communication systems :^(۹)۲۰.۲۰۱۲ ,p. 1101.
- .۷۰ Črešnar, R., V. Potočan, and Z. Nedelko, *Management tools for supporting transition of manufacturing organizations to Industry 4.0: The case of slovenia*. Proceedings of the IACSS, Prague, Czech, 2018: p. 27-28.
- .۷۱ Banafa, A., *2 the industrial internet of things (IIoT): challenges, requirements and benefits*. 2018.
- .۷۲ Mumtaz, S., et al., *Massive Internet of Things for industrial applications: Addressing wireless IIoT connectivity challenges and ecosystem fragmentation*. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2017. **11**(1): p. 28-33.
- .۷۳ Tsiknas, K., et al., *Cyber threats to industrial IoT: a survey on attacks and countermeasures*. IoT, 2021. **2**(1): p. 163-188.
- .۷۴ Yaqoob, I., et al., *Internet of things forensics: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges*. Future Generation Computer Systems, 2019. **92**: p. 265-275.
- .۷۵ Liu, W., et al., *RFID-enabled real-time production management system for Loncin motorcycle assembly line*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2012. **25**(1): p. 86-99.
- .۷۶ Qu, T., et al., *A case of implementing RFID-based real-time shop-floor material management for household electrical appliance manufacturers*. Journal of Intelligent Manufacturing, 2012. **23**(6): p. 2343-2356.

- .۷۷ Kiel ,D., C. Arnold, and K.-I. Voigt, *The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies—A business level perspective*. Technovation, 2017. **68**: p. 4-19.
- .۷۸ Yerra, V.A. and S. Pilla, *IIoT-enabled production system for composite intensive vehicle manufacturing*. SAE International Journal of Engines, 2017. **10**(2): p. 209-214.
- .۷۹ Vita, R., et al. *An IIoT-based architecture for decision support in the aeronautic industry*. in *MATEC Web of Conferences*. 2019. EDP Sciences.
- .۸۰ Arnold, C. and K.-I. Voigt, *Ecosystem effects of the Industrial Internet of Things on manufacturing companies*. Acta Infologica, 2017. **1**(2): p. 99-108.
- .۸۱ Balaji, V., et al., *DVSMS: dynamic value stream mapping solution by applying IIoT*. Sādhanā, 2020. **45**(1): p. 1-13.
- .۸۲ Butt, J., *A strategic roadmap for the manufacturing industry to implement industry 4.0*. Designs, 2020. **4**(2): p. 11.
- .۸۳ Gerrikagoitia, J.K., et al., *Digital manufacturing platforms in the industry 4.0 from private and public perspectives*. Applied Sciences, 2019. **9**(14): p. 2934.
- .۸۴ Alcácer, V. and V. Cruz-Machado, *Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems*. Engineering science and technology, an international journal, 2019. **22** : (۳) p. 899-919.
- .۸۵ Stock, T. and G. Seliger, *Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0*. procedia CIRP, 2016. **40**: p. 536-541.
- .۸۶ Kim, D.-G. and M.-G. Park, *Horizontal integration between cyber physical system based on industry 4.0 and manufacture execution systems through middleware building*. Journal of Korea Multimedia Society, 2014. **17**(12): p. 1484-1493.
- .۸۷ Gerber, T., H.-C. Bosch, and C. Johnsson, *Vertical Integration of decision relevant production information into IT-Systems of manufacturing companies*. IFAC Proceedings Volumes, 2012. **45**(6): p. 811-816.
- .۸۸ Bicaku, A., et al. *Towards trustworthy end-to-end communication in industry 4.0*. in *2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. 2017. IEEE.
- .۸۹ Liu, Q., et al. *An application of horizontal and vertical integration in cyber-physical production systems*. in *2015 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery*. 2015. IEEE.
- .۹۰ Mazak, A. and C. Huemer. *HoVer: A modeling framework for horizontal and vertical integration*. in *2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. 2015. IEEE.
- .۹۱ Zhuo, Y., C. Alvarez, and K. Feldmann, *Horizontal and vertical integration of product data for the design of moulded interconnect devices*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2009. **22**(11): p. 1024-1036.
- .۹۲ Foidl, H. and M. Felderer. *Research challenges of industry 4.0 for quality management*. in *International conference on enterprise resource planning systems*. 2015. Springer.

- .۹۳ Lin, S.-W., et al., *The industrial internet of things volume G1: reference architecture*. Industrial Internet Consortium, 2017. **1**: p. 1-7.
- .۹۴ Bangemann, T., et al., *Integration of classical components into industrial cyber-physical systems*. Proceedings of the IEEE, 2016. **104**(5): p. 947-959.
- .۹۵ Davis, J., et al., *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. Computers & Chemical Engineering, 2012. **47**: p. 145-156.
- .۹۶ Lim, K.Y.H., P. Zheng, and C.-H. Chen, *A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives*. Journal of Intelligent Manufacturing, 2020. **31**(6): p. 1313-1337.
- .۹۷ Benaben, F., et al., *Supporting interoperability of collaborative networks through engineering of a service-based Mediation Information System (MISE 2.0)*. Enterprise Information Systems, 2015. **9**(5-6): p. 556-582.
- .۹۸ Liu, Y., et al., *Review on cyber-physical systems*. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2017. **4**(1): p. 27-40.
- .۹۹ Rojas, R.A., et al., *Enabling connectivity of cyber-physical production systems: a conceptual framework*. Procedia Manufacturing, 2017. **11**: p. 822-829.
- .۱۰۰ Lozano, C.V. and K.K. Vijayan, *Literature review on Cyber Physical Systems Design*. Procedia manufacturing, 2020. **45**: p. 295-300.
- .۱۰۱ Gupta, R.A. and M.-Y. Chow, *Networked control system: Overview and research trends*. IEEE transactions on industrial electronics, 2009. **57**(7): p. 2527-2535.
- .۱۰۲ Monostori, L., et al., *Cyber-physical systems in manufacturing*. Cirp Annals, 2016. **65**(2): p. 621-641.
- .۱۰۳ Rojas, R.A. and E. Rauch, *From a literature review to a conceptual framework of enablers for smart manufacturing control*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019. **104**(1): p. 517-533.
- .۱۰۴ Monostori, L., *Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges*. Procedia Cirp, 2014. **17**: p. 9-13.
- .۱۰۵ Thames, L. and D. Schaefer, *Industry 4.0: an overview of key benefits, technologies, and challenges*. Cybersecurity for Industry 4.0, 2017: p. 1-33.
- .۱۰۶ Gatteschi, V., et al., *To blockchain or not to blockchain: That is the question*. It Professional, 2018. **20**(2): p. 62-74.
- .۱۰۷ Wells, L.J., et al., *Cyber-physical security challenges in manufacturing systems*. Manufacturing Letters, 2014. **2**(2): p. 74-77.
- .۱۰۸ Sturm, L.D., et al., *Cyber-physical vulnerabilities in additive manufacturing systems: A case study attack on the STL file with human subjects*. Journal of Manufacturing Systems, 2017. **44**: p. 154-164.
- .۱۰۹ Makris, S., et al., *Assembly support using AR technology based on automatic sequence generation*. CIRP Annals, 2013. **62**(1): p. 9-12.
- .۱۱۰ Posada, J., et al., *Graphics and media technologies for operators in industry 4.0*. IEEE computer graphics and applications, 2018. **38**(5): p. 119-132.

- .۱۱۱ Segura, Á., et al., *Visual computing technologies to support the Operator 4.0*. Computers & Industrial Engineering, 2020. **139**: p. 105550.
- .۱۱۲ Uva, A.E., et al., *Evaluating the effectiveness of spatial augmented reality in smart manufacturing: a solution for manual working stations*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018. **94**(1): p. 509-521.
- .۱۱۳ Molineros, J. and R. Sharma. *Computer vision for guiding manual assembly*. in *Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning (ISATP2001). Assembly and Disassembly in the Twenty-first Century.(Cat. No. 01TH8560)*. 2001. IEEE.
- .۱۱۴ Doshi, A., et al., *Use of projector based augmented reality to improve manual spot-welding precision and accuracy for automotive manufacturing*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017. **89**(5): p. 1279-1293.
- .۱۱۵ Zhou, J., et al., *In-situ support for automotive manufacturing using spatial augmented reality*. International Journal of Virtual Reality, 2012. **11**(1): p. 33-41.
- .۱۱۶ Zhu, Z., C. Liu, and X. Xu, *Visualisation of the digital twin data in manufacturing by using augmented reality*. Procedia Cirp, 2019. **81**: p. 89-۹۰۳.
- .۱۱۷ Blaga, A. and L. Tamas. *Augmented reality for digital manufacturing*. in *2018 26th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*. 2018. IEEE.
- .۱۱۸ Gattullo, M., et al., *Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2019. **56**: p. 276-286.
- .۱۱۹ Palmarini, R., et al., *A systematic review of augmented reality applications in maintenance*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2018. **49**: p. 215-228.
- .۱۲۰ Rau, P.-L.P., et al., *Speed reading on virtual reality and augmented reality*. Computers & Education, 2018. **125**: p. 240-245.
- .۱۲۱ Jung, T. and M.C. tom Dieck, *Augmented reality and virtual reality*. Ujedinjeno Kraljevstvo: Springer International Publishing AG, 2018.
- .۱۲۲ Klee, H. and R. Allen, *Simulation of dynamic systems with MATLAB® and Simulink®*. 2018: Crc Press.
- .۱۲۳ Wörner, M., et al. *Visual Analysis of Advanced Manufacturing Simulations*. in *EuroVA@ EuroVis*. 2011.
- .۱۲۴ Ruediger, P. and H. Hagen. *Dealing with uncertainties in manufacturing process simulations*. in *Applied Mechanics and Materials*. 2017. Trans Tech Publ.
- .۱۲۵ Grivc, U., D. Deržič, and S. Muhič, *Numerical optimisation and experimental validation of divided rail freight brake disc crown*. Journal of Modern Transportation, 2019. **27**(1): p. 1-10.

١٢٦. Migliaccio, M., et al., *Experimental and numerical analysis of a high-pressure outwardly opening hollow cone spray injector for automotive engines*. Fuel, 2017. **196**: p. 508-519.
١٢٧. Khan, M.A.A., et al., *Integration of Data-Driven Process Re-Engineering and Process Interdependence for Manufacturing Optimization Supported by Smart Structured Data*. Designs, 2019. **3**(3): p. 44.
١٢٨. Stadnicka, D. and D. Antonelli, *Application of value stream mapping and possibilities of manufacturing processes simulations in automotive*. FME Transactions, 2015. **43**(4): p. 279-286.
١٢٩. Avventuroso, G., M. Silvestri, and E.M. Frazzon, *Additive manufacturing plant for large scale production of medical devices: A simulation study*. IFAC-PapersOnLine, 2018. **51**(11): p. 1442-1447.
١٣٠. Huang, Y., et al., *Agricultural remote sensing big data: Management and applications*. Journal of Integrative Agriculture, 2018. **17**(9): p. 1915-1931.
١٣١. Tong, T. and H. Li, *Demand for MOOC-an application of Big Data*. China economic review, 2018. **51**: p. 194-207.
١٣٢. Ren, S., et al., *A framework for shopfloor material delivery based on real-time manufacturing big data*. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2019. **10**(3): p. 1093-1108.
١٣٣. Beyer, M.A. and D. Laney, *The importance of 'big data': a definition*. Stamford, CT: Gartner, 2012: p. 2014-2018.
١٣٤. Tewari, S. and U. Dwivedi, *Ensemble-based big data analytics of lithofacies for automatic development of petroleum reservoirs*. Computers & Industrial Engineering, 2019. **128**: p. 937-947.
١٣٥. Gandomi, A. and M. Haider, *Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics*. International journal of information management, 2015. **35**(2): p. 137-144.
١٣٦. Toro, C., I. Barandiaran, and J. Posada, *A perspective on knowledge based and intelligent systems implementation in industrie 4.0*. Procedia Computer Science, 2015. **60**: p. 362-370.
١٣٧. Toro, C., et al., *Building domain ontologies from engineering standards*. Cybernetics and Systems, 2012 : (٢)٤٣ .p. 114-126.
١٣٨. Belhadi, A., et al., *Understanding the capabilities of Big Data Analytics for manufacturing process: insights from literature review and multiple case study*. Comput. Ind. Eng, 2019. **137**: p. 106099.
١٣٩. Miloslavskaya, N. and A. Tolstoy, *Big data, fast data and data lake concepts*. Procedia Computer Science, 2016. **88**: p. 300-305.
١٤٠. Lydia, E.L. and M.B. Swarup, *Big data analysis using hadoop components like flume, mapreduce, pig and hive*. International Journal of Science, Engineering and Computer Technology, 2015. **5**(11): p. 390.
١٤١. Oussous, A., et al., *Big Data technologies: A survey*. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 2018. **30**(4): p. 431-448.

۱۴۲. Perrey, J., D. Spillecke, and A. Umblijs, *Smart analytics: How marketing drives short-term and long-term growth*. McKinsey Quarterly, 2013: p. 00425-3.
۱۴۳. Eckroth, J., *A course on big data analytics*. Journal of parallel and distributed computing, 2018. **118**: p. 166-176.
۱۴۴. Mell, P. and T. Grance, *The NIST definition of cloud computing*. 2011.
۱۴۵. Liu, Y., et al., *Workload-based multi-task scheduling in cloud manufacturing*. Robotics and Computer-integrated manufacturing, 2017. **45**: p. 3-20.
۱۴۶. Jian, C. and Y. Wang, *Batch task scheduling-oriented optimization modelling and simulation in cloud manufacturing*. International Journal of Simulation Modelling, 2014. **13**(1): p. 93-101.
۱۴۷. Jin, H., X. Yao, and Y. Chen, *Correlation-aware QoS modeling and manufacturing cloud service composition*. Journal of Intelligent Manufacturing, 2017. **28**(8): p. 1947-1960.
۱۴۸. Tao, F., et al., *FC-PACO-RM: a parallel method for service composition optimal-selection in cloud manufacturing system*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012. **9**(4): p. 2023-2033.
۱۴۹. Tao, F., et al., *Cloud manufacturing: a computing and service-oriented manufacturing model*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2011. **225**(10): p. 1969-1976.
۱۵۰. He, W. and L. Xu, *A state-of-the-art survey of cloud manufacturing*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2015. **28**(3): p. 239-250.
۱۵۱. Minetola, P. and D.R. Eysers. *Additive manufacturing as a driver for the sustainability of short-lifecycle customized products: the case study of mobile case covers*. in *International Conference on Sustainable Design and Manufacturing*. 2017. Springer.
۱۵۲. Atzeni, E., et al., *Additive manufacturing as a cost-effective way to produce metal parts*. Bartolo PJ et al., High Value Manufacturing, CRC Press (GBR), 2013: p. 3-8.
۱۵۳. Galati, M. and P. Minetola, *Analysis of density, roughness, and accuracy of the atomic diffusion additive manufacturing (ADAM) process for metal parts*. Materials, 2019. **12**(24): p. 4122.
۱۵۴. Zocca, A., et al., *Additive manufacturing of ceramics: issues, potentialities, and opportunities*. Journal of the American Ceramic Society, 2015. **98**(7): p. 1983-2001.
۱۵۵. Deckers, J., J. Vleugels, and J.-P. Kruth, *Additive manufacturing of ceramics: A review*. Journal of Ceramic Science and Technology, 2014. **5**(4): p. 245-260.
۱۵۶. Ingarao, G. and P.C. Priarone, *A comparative assessment of energy demand and life cycle costs for additive-and subtractive-based manufacturing approaches*. Journal of Manufacturing Processes, 2020. **56** :p. 1219-1229.

۱۵۷. Priarone, P.C. and G. Ingarao, *Towards criteria for sustainable process selection: On the modelling of pure subtractive versus additive/subtractive integrated manufacturing approaches*. Journal of Cleaner Production, 2017. **144**: p. 57-68.
۱۵۸. Liu, J., et al., *Current and future trends in topology optimization for additive manufacturing*. Structural and multidisciplinary optimization, 2018. **57**(6): p. 2457-2483.
۱۵۹. Song, X., et al., *Advances in additive manufacturing process simulation : Residual stresses and distortion predictions in complex metallic components*. Materials & Design, 2020. **193**: p. 108779.
۱۶۰. Liu, X., et al., *3D printing of living responsive materials and devices*. Advanced Materials, 2018. **30**(4): p. 1704821.
۱۶۱. Seifi, M .,et al., *Progress towards metal additive manufacturing standardization to support qualification and certification*. Jom, 2017. **69**(3): p. 439-455.
۱۶۲. Butt, J. and H. Shirvani, *Experimental analysis of metal/plastic composites made by a new hybrid method* .Additive Manufacturing, 2018. **22**: p. 216-222.
۱۶۳. Yakout, M., et al., *The selection of process parameters in additive manufacturing for aerospace alloys*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017. **92**(5): p. 2081-2098.
۱۶۴. Böckin, D. and A.-M. Tillman, *Environmental assessment of additive manufacturing in the automotive industry*. Journal of Cleaner Production, 2019. **226**: p. 977-987.
۱۶۵. Keating, S.J., et al., *Toward site-specific and self-sufficient robotic fabrication on architectural scales*. Science Robotics, 2017. **2**(5): p. eaam8986.
۱۶۶. Popovich, A., et al., *Producing hip implants of titanium alloys by additive manufacturing*. International Journal of Bioprinting, 2016. **2**(۲)
۱۶۷. Bekey, G.A., *Autonomous robots: from biological inspiration to implementation and control*. 2005: MIT press.
۱۶۸. Ingrand, F. and M. Ghallab, *Deliberation for autonomous robots: A survey*. Artificial Intelligence, 2017. **247**: p. 10-44.
۱۶۹. Beer, J.M., A.D. Fisk, and W.A. Rogers, *Toward a framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction*. Journal of human-robot interaction, 2014. **3**(2): p. 74.
۱۷۰. Guiochet, J., M. Machin, and H. Waeselynck, *Safety-critical advanced robots: A survey*. Robotics and Autonomous Systems, 2017. **94**: p. 43-5.۲
۱۷۱. Djuric, A.M., R. Urbanic, and J. Rickli, *A framework for collaborative robot (CoBot) integration in advanced manufacturing systems*. SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 2016. **9**(2): p. 457-464.
۱۷۲. Fast-Berglund, Å., et al., *Evaluating cobots for final assembly*. Procedia CIRP, 2016. **44**: p. 175-180.

۱۷۳. Cherubini, A., et al., *Collaborative manufacturing with physical human–robot interaction*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2016. **40**: p. 1-13.
۱۷۴. Sadik, A.R. and B. Urban, *An ontology-based approach to enable knowledge representation and reasoning in worker–cobot agile manufacturing*. Future Internet, 2017. **9**(4): p. 90.
۱۷۵. Meziane, R., M.J.-D. Otis, and H. Ezzaidi, *Human-robot collaboration while sharing production activities in dynamic environment: SPADER system*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2017. **48**: p. 243-253.