



چهارم

الگوی پیاده‌سازی

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 چہارم الگوی پیادہ سازی

تألیف:

محمود زرگر

سرشناسه	زرگر، محمود، ۱۳۳۴
عنوان و نام پدیدآور	انقلاب صنعتی چهارم؛ الگوی پیاده‌سازی/ تالیف محمود زرگر؛ ویراستار محمدرضا زرگر
مشخصات نشر	تهران: ابرون، ۱۴۰۱
مشخصات ظاهری	۱۴۴ص: مصور، جدول؛ ۱۴/۵×۲۱/۵س م
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۳۸۴-۱۶۹-۰
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	کتابنامه:ص. ۱۴۴-۱۴۱
موضوع	انقلاب صنعتی چهارم
موضوع	Industry 4.0
رده بندی کنگره	۶/۵۹T
رده بندی دیویی	۶۵۸/۴۰۳۸
شماره کتابشناسی ملی	۹۰۷۰۷۵۸

نام کتاب	: انقلاب صنعتی چهارم: الگوی پیاده‌سازی
ناشر	: ابرون
مؤلف	: محمود زرگر
ویراستار تخصصی	: محمدرضا زرگر
چاپخانه	: چاپ دیجیتال
نوبت چاپ	: اول، ۱۴۰۱
تیراژ	: ۵۰۰ نسخه
قیمت	: ۱۰,۲۰۰,۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۳۸۴-۱۶۹-۰	ISBN: 978-964-384-169-0
-------------------------	-------------------------

کلیه حقوق قانونی و شرعی برای مؤلف محفوظ است. تکثیر تماماً یا قسمتی از این اثر به صورت حرفه‌جینی و چاپ مجدد، چاپ افست، پلی‌کپی، 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	۷
بخش اول: راهبردها و نقشه راه تحول دیجیتال	۱۱
فصل ۱: راهبردها	۱۵
دلایل مهم برای انتقال به صنعت نسل چهار	۱۸
پیش‌زمینه‌های انتقال به صنعت نسل چهار	۱۹
رویکردهای راهبردی برای انتقال به صنعت نسل چهار	۲۲
فرآیند راهبردی برای تحول دیجیتال شرکت‌ها	۲۳
فصل ۲: نقشه راه تحول دیجیتال	۲۵
گام اول: ارزیابی آمادگی دیجیتال و شایستگی‌ها	۲۵
مفاهیم آمادگی دیجیتال	۲۶
مفاهیم شایستگی	۲۷
مفاهیم بلوغ با تأکید بر صنعت نسل چهار	۲۷
گام دوم: شناسایی نقاط قوت و ضعف	۳۰
گام سوم: شناسایی فرصت‌ها	۳۱
گام چهارم: تهیه نقشه راه تحول دیجیتال	۳۱
مراحل نقشه راه تحول دیجیتال	۳۲
نقشه راه صنعت نسل چهار برای شرکت‌های کوچک و متوسط	۴۳
گام صفر: شناسایی گلوگاه‌ها	۴۵
گام یک: تدوین راهبرد	۴۵

گام دو: ایده‌ها و نمونه‌ها.....	۴۶
گام سه: اتصال دستگاه‌ها.....	۴۶
گام چهار: تجزیه و تحلیل.....	۴۶
گام پنج: عملیاتی شدن.....	۴۶
مدل‌های ارزیابی بلوغ دیجیتال.....	۴۷
مدل ارزیابی بلوغ و آمادگی دیجیتالی شرکت‌های تولیدی.....	۴۹
مدل ارزیابی بلوغ PwC.....	۵۲

بخش دوم: مدل‌های سازمانی ۵۷

فصل ۳: مدل فرآیندی و کسب‌وکار در تحول دیجیتالی صنعت نسل چهار ۶۱

مدل فرآیندی.....	۶۱
مرحله یک: رویکرد نوآوری مشترک یا تصویرسازی صنعت نسل چهار.....	۶۲
مرحله دو: رویکرد نقشه راه.....	۶۲
مرحله سه: رویکرد طرح و تصویب آن.....	۶۳
مدل کسب‌وکار.....	۶۳
گام اول: رویکردهای مدل کسب‌وکار.....	۶۳
گام دوم: طراحی مدل‌های کسب‌وکار.....	۶۷

فصل ۴: مدل‌های معماری ۷۳

مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار.....	۷۵
محور اول: سطوح سلسله‌مراتبی.....	۷۸
محور دوم: جریان ارزش چرخه حیات.....	۸۰
محور سوم: لایه‌ها.....	۸۱
مدل مؤلفه‌های صنعت نسل چهار.....	۸۳
مفاهیم مدل مؤلفه‌های صنعت نسل چهار.....	۸۵
مدل معماری اینترنت اشیاء.....	۸۵
ستون فقرات یا لایه‌های معماری سامانه اینترنت اشیاء.....	۸۷

۹۵.....	سایر مدل‌های معماری برای صنعت نسل چهارم.....
۹۵.....	معماری‌های مرجع موسسه ملی استاندارد و فناوری.....
۹۵.....	معماری سامانه صنعتی هوشمند چین.....
۹۶.....	تصویر بزرگ استانداردها.....
۹۷.....	مدل معماری مرجع زنجیره ارزش صنعتی.....
۹۷.....	فرا مدل ISO و IEC.....
۹۹.....	بخش سوم: پیاده‌سازی.....
۱۰۵.....	فصل ۵: مدیریت تغییر.....
۱۰۵.....	ضروریات و توصیه‌های تغییر.....
۱۰۶.....	چالش‌های تغییر.....
۱۰۸.....	اصول تغییر.....
۱۱۳.....	فصل ۶: پیاده‌سازی با رویکردهای ناب.....
۱۱۳.....	مدیریت ناب.....
۱۱۴.....	تولید ناب.....
۱۲۰.....	صنعت نسل چهارم مکمل تولید ناب.....
۱۲۶.....	سایر ابزارهای مدیریتی.....
۱۲۶.....	شنش سیگما.....
۱۲۷.....	مدیریت دانش.....
۱۲۷.....	شبکه‌های اجتماعی.....
۱۲۹.....	فصل ۷: پیاده‌سازی با رویکرد هوشمندسازی.....
۱۳۰.....	خط تولید هوشمند.....
۱۳۱.....	ویژگی‌های عمومی و مشترک در خطوط تولید هوشمند.....
۱۳۳.....	برنامه‌های کاربردی در خط تولید هوشمند.....
۱۳۵.....	کارخانه کوچک هوشمند.....

کارخانه کوچک هوشمند و سامانه‌های فیزیکی سایبری ۱۳۶

کارخانه کوچک هوشمند و سامانه‌های فیزیکی سایبری تولید ۱۳۸

همکاری انسان و روبات ۱۳۹

منابع مورد استفاده ۱۴۱

مقدمه

تحول دیجیتالی یک مفهوم عام از دیجیتالی شدن و ورود به نسلهای جدید فناوری است. اما انقلاب صنعتی نسل چهار یک مفهوم خاص از تحول دیجیتالی و توسعه هوشمند در عرصه‌های تولید، لجستیک، و زنجیره تامین در ابعاد داخلی و بین‌المللی است. از اهداف کلیدی صنعت نسل چهار می‌توان به گسترش دیجیتالی سازی در محیط تولید، کاهش هزینه‌های تولید، افزایش سودآوری، و ارتقای خودکارسازی به منظور ایجاد ارتباط نزدیک بین محصولات، محیط تولید، و شرکای کسب‌وکار اشاره نمود. تحولات دیجیتالی با رویکرد صنعت نسل چهار موجب بازنگاشت زنجیره‌های ارزش و راهبردهای اقتصادی و سرمایه‌گذاری مجدد در عرصه‌های مختلف تولید و خدمات و زنجیره‌های تامین شده است. بنا به برخی تحلیل‌ها، بهره‌وری کل ناشی از استقرار انقلاب صنعتی نسل چهار، تا هفت برابر^۱ افزایش خواهد نمود. این میزان افزایش، چنان وسوسه‌ای در بین سیاست‌گذاران اقتصادی کشورها و مدیران و سرمایه‌گذاران صنعت ایجاد کرد که تقریباً اکثر کشورها را به خود مشغول نموده است.

دستیابی به این میزان افزایش بهره‌وری مستلزم روش‌ها و اصولی است که بهانه مؤلف به نگارش سه کتاب با محوریت آشنایی با صنعت نسل چهار شده است. نگارنده کتاب برای معرفی مبانی و فناوری‌های صنعت نسل چهار مطالعات گسترده‌ای در مقالات و گزارش‌ها و همچنین طرح‌های مطالعاتی و آزمایشگاهی انجام و جمع‌بندی آنها را مبنای کار خود قرار داده است. قبل از کتاب حاضر، دو کتاب از نوع آشنایی با فناوری‌های صنعت نسل چهار در تولید و لجستیک روانه بازار نشر شد و کتاب حاضر به عنوان الگوی پیاده‌سازی مختص راهبردها و پیاده‌سازی

¹ Capgemini 2017

صنعت نسل چهار آماده تقدیم به جامعه دانشگاهی و دست اندرکاران صنعتی اعم از سیاست‌گذاران و مدیران و صاحبان صنایع شده است.

مخاطبین کتاب

این کتاب در ادامه روند آشنایی و معرفی انقلاب صنعتی نسل چهار در تولید و لجستیک، به راهبردها، رویکردها، مراحل و در یک کلام الگوی پیاده‌سازی صنعت نسل چهار اشاره می‌کند. به همین دلیل در برخی مطالب کتاب وقتی به موضوعات و مطالبی اشاره می‌شود که در کتاب‌های قبلی به تفصیل آمده، به ناچار به اشاره و اختصار بسنده شده است.

مطالب کتاب برای تمامی گروه‌های دانشگاهی، صنعتی، و علاقمندان در هر سطح از آگاهی تدوین شده است. سعی وافی شده تا امانت داری به نحو مطلوب انجام گرفته باشد و از تمامی منابع استفاده شده، چه مستقیم و چه غیرمستقیم، نام برده شود. برای این منظور، به تمام منابع این کتاب به روش علمی اشاره شده و توسط علاقمندان به راحتی قابل شناسایی است.

واژه‌ها و اصطلاحات

همانند کتاب‌های قبل، در کتاب حاضر از تعداد فراوانی اصطلاحات تخصصی استفاده و تا حد ممکن فارسی شدند و در برخی از آنها توضیحات مختصری برای انتقال بهتر مفهوم اصلی ارائه شده است. چنانچه نیازی به توضیح نداشته باشند، اصل اصطلاح لاتین در پانویست همان صفحه آورده شد. 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، به ناچار برای انتقال درست و رسای مطالب، از معادل کاربردی تری که میان فعالان این حوزه به طور مشترک قابل درک است استفاده شده است.

در مواردی هم که معادل فارسی ممکن بود موضوع اصلی را منتقل نکند به ناچار از همان اصطلاح اصلی در متن کتاب استفاده شد. به هر حال تلاش شد تا حد ممکن به کمک پانویست‌ها 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 پانویست‌ها و یا برخی نارسایی‌های احتمالی در ترجمه اصطلاحات، از خواننده گرامی پوزش خواسته می‌شود.

ساختار کتاب

در راستای استفاده از یک رویکرد جامع برای اجرای صنعت نسل چهار، به یک چارچوب راهبردی در این کتاب اشاره شده که مبنای ساختار مطالب به شرح زیر گردیده است:

- راهبردها و نقشه راه به عنوان مطالب بخش اول کتاب:

در این بخش با تکیه بر دیدگاه‌های متکی بر راهبردها و فناوری، به طراحی نقشه راه برای پیاده‌سازی صنعت نسل چهار اشاره شده است. در این بخش به دو موضوع اساسی راهبردهای تحول دیجیتال و نقشه راه راهبردی به خوبی پرداخته می‌شود.

- مدل‌های سازمانی و معماری به عنوان موضوع بخش دوم کتاب: یکپارچه‌سازی سامانه‌ها شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا عملیات مجازی، نظارت بر خطوط تولید، و بهینه‌سازی عملیات در کارخانه و در طول زنجیره تامین را به طور مؤثر و شگفت‌انگیزی گسترش دهند. این مهم بدون یک مدل معماری متناسب با شرایط و توانمندی‌های شرکت امکان پذیر نیست.
- در این بخش به سه موضوع اساسی یعنی مدل فرآیندی، مدل کسب‌وکار، و مدل معماری متناسب با تحول دیجیتال و ظرفیت‌های آنها به تفصیل و با هدف شناخت بیشتر از اقدامات و الزامات ورود به دنیای صنعت نسل چهار پرداخته می‌شود.
- مدیریت تغییر یا پیاده‌سازی به عنوان موضوع بخش سوم کتاب: شرکت‌های پیشگام معمولاً با استقرار ابزارهای تولید و مدیریت ناب، ضایعات مختلف در فرآیندها را حذف و فرآیندها را کارآمدتر می‌کنند. در گام‌های بعدی، با بکارگیری فناوری‌های صنعت نسل چهار عملکرد فرآیندها را به حداکثر می‌رسانند تا نتایج و آثار تولید ناب را در سطح بالایی حفظ کنند.
- در این بخش به انواع تجربیات پیاده‌سازی صنعت نسل چهار با رویکردهایی از قبیل مدیریت تغییر، تولید ناب، خودکارسازی یا هوشمندسازی، و برخی تجربیات محدود اشاره می‌شود.

در خاتمه لازم می‌دانم همانند کتاب‌های قبلی از فرزند عزیزم آقای دکتر محمدرضا زرگر که در تمام مراحل تهیه کتاب پا به پای این حقیر بودند و ضمناً ویراستاری علمی کتاب را به عهده داشتند تشکر کنم. ضمناً لازم می‌دانم از همسر گرامیم به دلیل فراهم آوردن محیط و شرایط کاری برای کتاب حاضر تشکر ویژه داشته باشم.

محمود زرگر

پاییز ۱۴۰۱

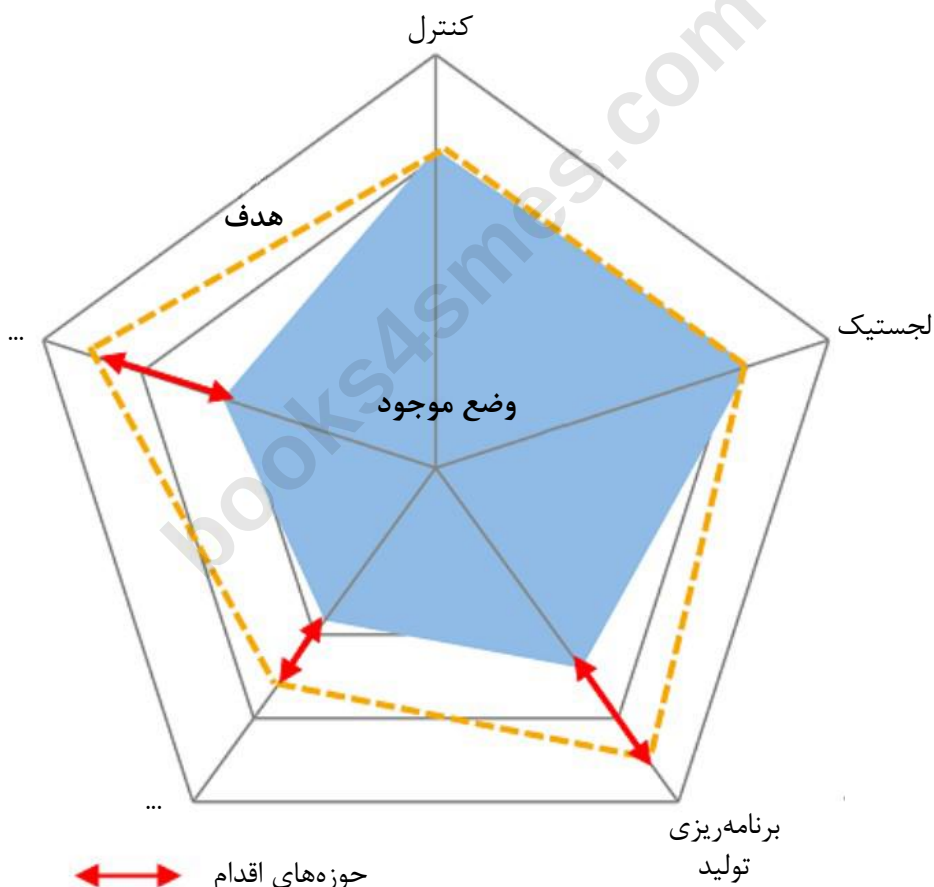
mahmood.zargar@gmail.com

بخش اول: راهبردها و نقشه راه تحول دیجیتال

books4smes.com

در اولین گام و بر اساس قابلیت‌های اصلی تحول دیجیتال و اهداف شرکت، و اجرای انقلاب صنعتی نسل چهارم به یک راهبرد ویژه نیاز است. این راهبرد باید در بر دارنده چشم‌انداز منطقی و منطبق با اهداف شرکت در حوزه فرآیندهای شرکت بوده و منابع مورد نیاز برای اجرای آن نیز مشخص شده باشد.

برای تهیه مستندات یک راهبرد منحصر به فرد برای هر شرکت، از رویکرد تجزیه و تحلیل ارزیابی بلوغ شرکت در خصوص پیاده‌سازی صنعت نسل چهارم با استفاده از شاخص‌های معرفی شده می‌توان استفاده نمود. از آنجا که هدف از اجرای فناوری‌های صنعت نسل چهارم دستیابی به اهداف توسعه و بهبود عملیاتی شرکت است، با مقایسه وضع موجود و مطلوب و ترسیم شکاف یا فاصله این دو پایه، برنامه توسعه شرکت به خوبی قابل تدوین و تصمیم‌گیری خواهد بود.



شکل ۱ نمایش شکاف بین وضع موجود و اهداف صنعت نسل چهارم [1]

از سوی دیگر، برای پیاده‌سازی تحول دیجیتال صنعت نسل چهارم، و بر اساس هر دو دیدگاه متکی بر راهبردها و فناوری، به یک نقشه راه جامع نیاز است، به گونه‌ای که تصویر آینده شرکت در قالب کاملاً دیجیتالی، از همان ابتدا برای تمام اعضای شرکت به صورت واضح و دست یافتنی نمایش داده شود [2].

در این بخش به سه موضوع اساسی تحت عنوان راهبردهای تحول دیجیتال و نقشه راه راهبردی، و در انتها به معرفی مدل‌های ارزیابی بلوغ دیجیتال اشاره می‌شود. در فصل نقشه راه، ابتدا به میاحث نظری و کلاسیک پرداخته می‌شود و سپس چارچوب پیشنهادی ویژه شرکت‌های کوچک و متوسط معرفی می‌گردد.

فصل ۱: راهبردها

فشار رقابتی ناشی از جهانی شدن در حال پیشرفت است. این نیز شرکت‌ها را وادار کرده تا راه‌های جدیدی برای تمایز خود از رقبایشان پیدا کنند. صنعت نسل چهارم به عنوان گام مهم بعدی در پیشرفت خلق ارزش، موجب ظهور فناوری‌ها و روش‌های جدیدی برای دستیابی به بهبودهای بیشتر در رقابت شده است. ارتباطات و شبکه سازی بلادرنگ افراد، ماشین‌ها و اشیاء نه تنها فرصتی برای استفاده از بسیاری از قابلیت‌های نهفته بهره‌وری است، بلکه مدل‌های جدید کسب‌وکار مبتنی بر داده را قادر می‌سازد تا به افزایش بیشتر درآمدها دست یابند.

صنعت نسل چهارم در حال حاضر به عنوان یک راه حل بالقوه برای مقابله با چالش‌های جهانی و متمایز شدن، که تاکنون گریبانگیر دنیای اقتصاد بود، در نظر گرفته شده و در حال ترویج است. تحول دیجیتال از نوع صنعت نسل چهارم می‌تواند به طور همزمان موجب بهبود رقابت و درآمد گردد. از سوی دیگر، از طریق اتصال و یکپارچگی در تامین، ساخت، نگهداری، تحویل و خدمات مشتری، زنجیره‌های ارزش سخت و تغییر ناپذیر به شبکه‌های ارزش بسیار انعطاف‌پذیر تبدیل می‌شوند. بنابراین صنعت نسل چهارم قابلیت‌های گسترده‌ای ارائه می‌دهد، اما همزمان چالش‌های عمده‌ای برای کسب‌وکارها و بسیاری از زیست بوم‌های صنعتی و اجتماعی ایجاد می‌کند. سامانه‌های تولیدی موجود باید در این رویکرد جهانی، به صورت افقی در شبکه‌های ارزش ادغام و به صورت عمودی با فرآیندهای داخلی شرکت‌ها مرتبط شوند.

در دسترس بودن راه‌حل‌های فناوری جدید مانند هوش مصنوعی، روبات، تجزیه و تحلیل داده‌ها، رایانش ابری، شبکه اینترنت اشیاء و واقعیت مجازی باید در داخل شرکت مورد توجه قرار گیرند و در موارد استفاده بالقوه به چالش کشیده شوند. [1]

سازمان‌ها باید صنعت نسل چهارم را به جای پیروی از یک روند نوگرایی، به عنوان وسیله‌ای برای افزودن ارزش به کسب‌وکار خود ببینند. از این رو، درک مزایای آن و منابع مورد نیاز این تحول دیجیتال با اتخاذ راهبردهای صحیح و مؤثر بسیار مهم است.

در نتیجه اگرچه مفهوم و توانمندسازهای صنعت نسل چهار به طور گسترده شناخته شده، اما با این وجود شرکت‌ها برای اجرای موفق و پایدار آن دست و پنجه نرم می‌کنند. در دنیای امروزی که پویایی، تغییرات زیاد، و فردی شدن سفارش محصولات از مشخصات آن است، مزایای اقتصادی پیاده‌سازی صنعت نسل چهار تقریباً بدون چون و چرا بر همه آشکار شده است. با اشاره به گزارش بازار آلمان و چشم‌انداز این تحول عظیم صنعتی، ارزش افزوده ناخالص انباشته تا ۱۰۰ میلیارد یورو تا سال ۲۰۲۵ برای اقتصاد آلمان نوید داده می‌شود. این ظرفیت ارزش افزوده به طور کلی موجب صرفه‌جویی تا ۵۰٪ در زمینه‌های مختلف تولید خواهد شد. به همین دلیل، همه شرکت‌های موجود در یک شبکه تولید جهانی ملزم به پیاده‌سازی فناوری‌های مناسب در این تحول دیجیتالی هستند تا ارتقای رضایت مشتری از اجرای فناوری‌های صنعت نسل چهار برای کل شبکه جهانی تولید حاصل شود [3].

بر اساس شواهد، راهبردهای ورود به صنعت نسل چهار و بهره‌مندی از مزایا و فرصت‌های آن از یک سو، رفع چالش‌ها و حل مشکلات طرح‌های تحول دیجیتالی از سوی دیگر، در دو سطح ملی و شرکت‌ها در حال پیگیری و برنامه‌ریزی است. دولت‌ها بیشتر به راهبردهای تسهیل‌کننده و زیر ساختی فکر می‌کنند و شرکت‌ها بیشتر به رویکردها و شیوه‌های ورود به این عرصه بسیار گسترده و جامع، متناسب با منابع و اصول سرمایه‌گذاری و آثار این تحول عظیم می‌نگرند.

در سطح دولت‌ها: کشورهای پیشرو در این زمینه، هر کدام به فراخور راهبردها و ظرفیت‌های شناسایی شده خود، ابتکاراتی را برای ترویج تجهیزات و سامانه‌های تولیدی پیشرفته مد نظر قرار داده‌اند. برای مثال، تمرکز دولت‌های اروپایی، انگلیس و آمریکا بر توسعه مدل‌های کسب‌وکار و استانداردسازی است و کشورهایی مانند ژاپن، آلمان و چین که دیجیتالی‌سازی را اجرا می‌کنند، برای افزایش کارایی و کیفیت محصول، و کاهش هزینه‌ها برنامه‌ریزی کرده‌اند. از سوی دیگر، طرح‌های مرتبط در اتحادیه اروپا با هدف شناسایی موانع برای جذب صنعت نسل چهار در شرکت‌های کوچک و متوسط، و پیشنهاد ابزارهای مختلف مدیریتی برای سهولت در تحول دیجیتالی آنها در حال اجرا است. دولت استرالیا همکاری با سکوی صنعت نسل چهار آلمان را برای تحقیق در موضوعاتی از قبیل معماری مرجع، استانداردها، ارتقای کیفیت، آموزش و تربیت منابع انسانی در دستور کار خود قرار داده است.

در سطح شرکت‌ها: شرکت‌ها متناسب با منابع، تجربیات، و سوابق خود در تعالی سازمانی و استفاده از فناوری‌های نوظهور، با راهبردهای متفاوتی به عرصه صنعت نسل چهار ورود می‌کنند. اهداف شرکت‌ها در دوره‌های زمانی کوتاه و بلند مدت نیز در این انتخاب مؤثر است. برخی شرکت‌ها که برنامه‌های توسعه را از قبل آغاز کرده‌اند ممکن است ورود به عرصه صنعت نسل

چهار را در ادامه روند قبلی توسعه خود ببینند. اما برخی شرکت‌ها ممکن است به دنبال یک راهبرد جدید و تحول انقلابی باشند [4].

برای ورود شرکت‌ها به انقلاب صنعتی نسل چهار، راهبردهای مختلفی پیشنهاد شده است. **خودکارسازی** یکی از این راهبردها است. گرچه برخی صاحب نظران معتقدند استفاده از فناوری‌های صنعت نسل چهار، نیازی به مقدمات برگرفته از انقلاب صنعتی نسل سوم ندارد، اما در برخی حوزه‌ها و فرآیندها استقرار خودکارسازی به عنوان بخش مهمی از انقلاب صنعتی نسل سوم، قبل از ورود به فناوری‌های صنعت نسل چهارم، برنامه‌ریزی می‌شود. چنانچه شرکت‌ها قبلاً در این حوزه‌ها خودکارسازی را اجرا نکرده باشند، بهتر است این اقدام را به عنوان اولین گام در ورود به دنیای صنعت نسل چهار لحاظ کنند و در معماری و نقشه راه خود، خودکارسازی فرآیندها و عملیات شرکت را جزئی از برنامه توسعه قرار دهند. در این صورت ممکن است، اجرای خودکارسازی با تغییراتی بستر ساز ادغام فناوری‌های پیشرفته تر مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم باشد و آن را تسهیل نماید.

شروع از **مؤثرترین حوزه‌ها** نیز یکی دیگر از راهبردهای مهاجرت به انقلاب صنعتی نسل چهارم است. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های دیجیتالی از راهبردی ترین حوزه‌ها شروع می‌شود. به طور طبیعی، هر شرکت و سازمان، حوزه‌های راهبردی خاص خود را دارد که باید مدیران و مشاورین به این تشخیص رسیده باشند. با این انتخاب، هرگونه تغییر و حرکت به سمت فناوری‌های نوین اثر بیشتر و گاهی اوقات قابل توجه نسبت به سایر حوزه‌ها بر سودآوری و تحقق آرمان‌ها و اهداف شرکت خواهند داشت.

مدل‌های تولید نسبت به سفارش، در اتخاذ راهبرد ورود به انقلاب صنعتی نسل چهار نقش بسزایی دارد. فرصت‌های شناسایی شده در شرکت‌های مختلف ممکن است بسته به راهبردهای عملیاتی آن‌ها کاملاً متفاوت باشند. به این معنی که در شرکت‌هایی که مونتاژ و مهندسی محصول، پس از دریافت سفارش از مشتری صورت می‌گیرد بیشتر به سمت سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های مرتبط با «محصول» سوق داده می‌شوند. در مقابل، شرکت‌هایی که قبل از دریافت سفارش، محصول را تولید و انبار می‌کنند به نظر می‌رسد بیشتر به سمت سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های مرتبط با «فرآیند» هدایت می‌شوند. به منظور آشنایی بیشتر با این راهبردها، در اینجا به انواع مدل‌های تولید به اختصار اشاره می‌شود:

تولید و انبار کردن قبل از دریافت سفارش ^۱	این یک رویکرد تولید از پیش است که در آن برنامه تولید با استفاده از پیش‌بینی‌های فروش یا سوابق گذشته تقاضا تدوین می‌شود.
تولید پس از دریافت سفارش ^۲	این مدل ضمناً به عنوان ساخت بر اساس سفارش شناخته می‌شود. این یک رویکرد تولید است که در آن تولید تنها پس از دریافت سفارش مشتری شروع می‌شود.
مونتاژ پس از دریافت سفارش ^۳	گونه‌ای از رویکرد تولید سفارشی است که در آن مونتاژ پس از دریافت سفارش مشتری شروع می‌شود. البته در این مدل، استانداردهای محصول از پیش تعریف شده است.
ترکیب نهایی محصول پس از دریافت سفارش ^۴	گونه‌ای از رویکرد تولید سفارشی است که ترکیب نهایی تولید ^۵ تنها پس از دریافت سفارش مشتری شروع می‌شود. در این مدل مثل مدل قبلی، استانداردهای محصول از پیش تعریف شده است.
طراحی مهندسی پس از دریافت سفارش ^۶	گونه‌ای از رویکرد تولید سفارشی است که در آن طراحی مهندسی پس از دریافت سفارش مشتری شروع می‌شود.

دلایل مهم برای انتقال به صنعت نسل چهارم

با توجه به رویکردهای مختلف در کشورها و از سوی دیگر، زمینه‌های بسیار متفاوت در شرکت‌ها برای پیاده‌سازی و بهره‌مندی از مزایا و منافع تحول صنعتی نسل چهارم، به نظر می‌رسد ابتدا به برخی دلایل اصلی در این مهاجرت بنیادی پرداخته شود. بر اساس برخی مطالعات چهار دلیل زیر از میان انبوهی از دلایل دیگر، دارای پشتوانه‌های ناشی از واقعیت و نظریه پردازی قوی‌تری هستند:

- دلیل اول: طی دهه‌های گذشته، و در جریان آماده‌سازی بسیاری زمینه‌ها برای پیشرفت رفاه و اقتصاد کشورهای شرقی مانند چین، مالزی، سنگاپور، و دیگر کشورها، و از سوی

¹ Make to Stock (MTS) or Build to Stock (BTS)

² Make to Order (MTO) or Build to Order (BTO)

³ Assemble to Order (ATO)

⁴ Configure to Order (CTO)

⁵ Configuration

⁶ Engineer to Order (ETO)

دیگر، ارزان بودن منابع انسانی و در کل تولید در این کشورها، صنعت با مبداء کشورهای غربی به تدریج وارد این کشورها شد و موجب به تعطیلی کشاندن بسیاری از کارخانه‌ها در غرب گردید. در نتیجه این انتقال، **بیکاری** در برخی سطوح منابع انسانی در غرب رو به افزایش گذاشت..

- دلیل دوم: به موازات افزایش سطح رفاه در جهان، مردم به عنوان مصرف کننده‌های اصلی، به سمت **محصولات با ویژگی‌های شخصی** گرایش پیدا کردند و کارخانه‌های با ظرفیت تولید انبوه و سری، یکی از مهمترین عوامل مزیت رقابتی خود را از دست دادند. اکنون به کارخانه‌هایی نیاز است که بتوانند تولید انعطاف‌پذیری داشته باشند تا به خواسته و سلیقه های بیشتری پاسخگو باشند.
- دلیل سوم: ضرورت کوتاه شدن زمان عرضه کالا به بازارها و تحویل به مشتری بیش از گذشته به یک مزیت رقابتی تبدیل شد. در نتیجه به فناوری‌هایی نیاز است که دریافت سفارش تا تولید و تحویل محصولات را به کمک فناوری‌های جدید **یکپارچه** نموده و با بکارگیری هوش مصنوعی، شخصی سازی سفارشات را هر چه بیشتر در خطوط تولید دخیل کرده و به اتکای نوآوری ها، همزمان به تقاضاهای متنوع مشتریان پاسخ دهند.
- دلیل چهارم: هزینه بالای تولید در بسیاری فعالیت‌ها همزمان با ضرورت انعطاف‌پذیری بیشتر در تولید از یک سو، و **حذف خطا و ضایعات** از سوی دیگر، موجب گرایش بیشتر شرکت‌ها به استفاده از فناوری‌های جدید و هوشمند شد. فناوری‌های تحول دیجیتالی، ضرورت استفاده از تجهیزات و سامانه‌های هوشمند، و روبات‌ها را در خطوط تولید، مونتاژ، بسته بندی و ارسال، لجستیک، و تعمیر و نگهداری، همراه با حذف بسیاری از فرآیندها و عملیات اضافی در روش‌های سنتی، بیش از پیش به اثبات رسانده است.

پیش‌زمینه‌های انتقال به صنعت نسل چهار

گرچه هنوز برخی مسائل فنی، قانونی، شناختی و سازمانی به عنوان برخی پیش زمینه‌ها و الزامات در ارتباط با صنعت نسل چهار نیاز به رسیدگی دارند، اما این تحول جهانی، فرصت‌های زیادی را برای کسب‌وکارها فراهم می‌کند [5].

کسب‌وکارها بایستی به واحدهای کوچک شده، استانداردسازی آنها، و بازمهندسی فرآیندهای کسب‌وکار بیشتر توجه کنند تا بتوانند از فرصت‌های پیش رو به خوبی بهره برداری نمایند. برای این مهم، شرکت‌ها با بازبینی در سیاست ها، فرآیندها، و شناخت عمیق از مراحل پیاده‌سازی

صنعت نسل چهار، به چند پیش زمینه نیاز دارند که در اینجا به برخی از این نیازهای اصلی و اساسی اشاره می‌شود:

مصرف‌کننده، محور تحولات و تغییر: صنعت نسل چهار دیگر یک «روند برای آینده» نیست، بلکه برای بسیاری از شرکت‌ها اکنون در قلب دستور کار راهبردی و تحقیقاتی آنها قرار دارد. شرکت‌ها اتصالات و خودکارسازی پیشرفته، رایانش ابری، حسگرها، چاپگرهای سه‌بعدی، قابلیت‌های متصل، فرآیندهای متکی به رایانه، الگوریتم‌های هوشمند، و خدمات اینترنت اشیاء را برای تغییر کسب‌وکار خود ترکیب کرده‌اند تا از مسیرهای مختلف به مشتریان خود نزدیک‌تر شوند [6]:

- طراحی و تولید محصول یا خدمات مطابق با ویژگی‌های فردی مشتری
 - نوآوری در خدمات مشتری
 - استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها برای پاسخگویی به نیازها، تصمیم‌گیری هوشمند، و ارتقاء عملیاتی
 - سفارشی کردن محصولات تا حد یک واحد
 - مدیریت زنجیره تامین مشتری مدار
- از نگاه برخی صاحب نظران، جذب فناوری‌ها بزرگ‌ترین چالش برای مدیران صنعتی نیست، بلکه شناخت و تامین نیازهای فرد به فرد مصرف‌کننده‌ها در اولویت قرار دارد. برای حل این موضوع، و اختلالات و مشکلات ناشی از مسائل مرتبط با آن، ضرورت توجه به مدیریت تغییر بیش از پیش برای سازمان‌ها جنبه حیاتی پیدا می‌کند. از جمله محورهای مؤثر در مدیریت تغییر، توجه به ظرفیت‌های دیجیتالی از یک سو، و آمادگی‌های دیجیتالی از سوی دیگر به شرح زیر است [6]:

- در حالی که فناوری‌های دیجیتالی، خود به سرعت در حال تبدیل شدن به یک کالا هستند، موفقیت تا حد زیادی به **ظرفیت‌های دیجیتالی** در شرکت‌ها بستگی دارد، تا مدیران بتوانند تحول دیجیتالی را به خوبی تعریف، راهبری، و برقرار کنند.
- جذب فناوری‌های مرتبط با تحول دیجیتالی، به مهارت‌ها و **آمادگی‌های دیجیتالی** کارکنان، گسترش فرآیندها و خدمات دیجیتالی، و قابلیت‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها به عنوان یک نیاز اصلی، بستگی دارد.

ارتقاء مهارت‌ها: ضمن توجه به موارد اشاره شده، شیوه کار منابع انسانی هم باید تغییر کند تا با مهارت‌های مورد نیاز برای همراهی و موفقیت راه کارهای صنعت نسل چهار مطابقت داشته باشند. علاوه بر این، استفاده از فناوری‌های جدید مانند حسگرهای هوشمند، دستیاران هوشمند،

روبات‌ها و خودکارسازی خودران نیازمند تغییر در انواع مهارت‌ها و همچنین چشم‌انداز کارها است. این مهم به نحوی است که تقاضا برای مشاغل با مهارت پایین به تقاضا برای مشاغل با مهارت بالا تغییر خواهد کرد. به منظور تشریح واضح الزامات مهارتی برای صنعت نسل چهارم، مهارت‌های مورد نیاز را می‌توان در دو گروه عمده شناسایی کرد [7]:

- مهارت‌های فنی برای کارهای بسیار فنی یک ضرورت است. این نیاز خود به مهارت‌های نظری و تخصصی، مهارت‌های سخت‌افزاری، و مهارت‌های نرم‌افزاری و آشنایی با الگوریتم‌ها یا مهارت‌های دیجیتال تقسیم می‌شوند.
- مهارت‌های فردی که عمدتاً برای کار گروهی در محیط کار و برقراری انواع ارتباطات شبکه‌ای مورد نیاز است.

برای آموزش مهارت‌های مناسب در نیروی کار مطابق با شرایط صنعت نسل چهارم به شناسایی و توسعه رشته‌ها و توانایی‌های از دست رفته نیاز است. بنابراین برای آماده‌سازی نیروی کار در آینده باید به طور جدی به منابع و مراکز آموزشی و آماده‌سازی منابع انسانی توجه شود [7].

دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی، نقش مهمی در انتقال جامعه به انقلاب‌های صنعتی به خصوص انقلاب صنعتی نسل چهارم دارند. آموزش عالی امروزی در چارچوب انقلاب‌های صنعتی قبلی و پارادایم‌های ناشی از آنها شکل گرفته و مهارت‌های لازم برای ورود به صنعت نسل چهارم و زندگی در پارادایم‌های آن را ارائه نمی‌کنند. آموزش عالی به ویژه دانشگاه‌ها باید جوانان را به نحوی آماده کنند تا ظرفیت دانشی آنها برای ضرورت‌های زندگی مولد در راستای چشم‌اندازهای دائماً در حال تغییر محیط کار آماده شود.

یکی دیگر از الزامات مهارتی برای صنعت نسل چهارم، تنوع بخشیدن به نظام‌های آموزشی و اعتبارسنجی آنها به روش‌های زیر است:

- توانمندسازی و تشویق به استفاده از روش‌های جدید و مؤثر از جمله دوره‌های برخط گسترده و باز^۱ به منظور تداوم دانش افزایی و تلاش‌های مهارت آموزی؛
 - الزام مدیران به آموزش و بازآموزی نیروی کار موجود، و تشویق تلاش‌های خودآموزی در بین کارکنان؛
 - تفهیم این اصل در بین کارکنان و منابع انسانی که برای بقا در بازار کار امروزی به مهارت‌هایی نیاز است که هوش مصنوعی و روبات‌ها قادر به انجام آن نیستند.
- مهارت‌های مورد نیاز برای صنعت نسل چهارم را می‌توان با در نظر گرفتن موضوعات جدید و ضروری به ویژه در رشته‌هایی مانند مهندسی صنایع و مکانیک با ترکیب آنها در زیرساخت‌های

¹ Massive Open Online Courses (MOOCs)

انقلاب صنعتی جدید تقویت نمود. درج این مطالب در برنامه‌های درسی تنها از طریق تحقیقات گسترده امکان پذیر است. در سال‌های اخیر، تحقیقات اندکی در زمینه توسعه برنامه درسی با زمینه صنعت نسل چهار صورت گرفته است. در حالیکه به تحقیقات بیشتری نیاز است تا اطمینان حاصل شود که تغییر برنامه‌های درسی به تمام زمینه‌های تحصیلی فناوری و مهندسی تعمیم داده می‌شود. با این حال، توسعه برنامه‌های درسی متناسب با فضای انقلاب صنعتی نسل چهارم نه تنها در رشته‌های فنی، بلکه باید به دیگر رشته‌های غیر فنی مانند تجارت، اقتصاد و مدیریت هم گسترش یابد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: برای موفقیت، شرکت‌ها باید از داده‌ها به روش‌های آینده‌نگری و پیش‌بینی استفاده کنند تا تحولات بازار و رفتار مشتری را برای بهبود محصولات و توسعه محصولات و خدمات جدید معنا کند. برخی شرکت‌ها بیشتر روی موارد زیر تمرکز می‌کنند [6]:

- استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها برای کنترل و گسترش برنامه‌ریزی کسب‌وکار و عملیات تولید با هدف دستیابی به قابلیت‌های بیشتر ناشی از تجزیه و تحلیل داده‌ها،
- بکارگیری افراد بسیار تخصصی از جمله دانشمندان داده و معماران الگوریتم به صورت استخدام، یا برون سپاری برخی کارهای تخصصی در شرکت‌ها بیش از پیش لازم شده است. شرکت‌ها ضمناً به تخصص‌هایی از قبیل کار با الگوریتم‌های پیشرفته و یکپارچه‌سازی جریان کار برای پشتیبانی از تصمیم‌ها نیاز دارند.

رویکردهای راهبردی برای انتقال به صنعت نسل چهارم

اتخاذ رویکردهای راهبردی برای تغییر به عنوان یکی از مهمترین پیش نیازهای تحول دیجیتال انقلاب صنعتی نسل چهارم شناخته شده است. توجه عمیق شرکت‌ها به چهار رویکرد زیر حائز اهمیت فوق العاده است: 325

- یکپارچگی عمودی: یکپارچگی در زنجیره ارزش داخلی شرکت‌ها، با چشم‌انداز انعطاف‌پذیری بالا در تولید انبوه با توان قبول سفارش متنوع تا حد یک واحد؛
- یکپارچگی افقی: ادغام در شبکه‌های ارزش جهانی از سطح فرآیندها و سامانه‌های داخلی تا تحویل محصول به مشتری؛
- مهندسی صفر تا صد: دیجیتالی سازی مراحل مختلف تولید از طراحی تا توزیع محصول، خدمات پس از فروش، و در نهایت دفع در پایان چرخه عمر محصول؛
- هم‌افزایی انسان و فناوری: از طریق ارتقاء مهارت‌ها و شایستگی‌های جدید در منابع انسانی، جذابیت و مولدتر کردن شرایط کار، و حفاظت از محیط کار.

فرآیند راهبردی برای تحول دیجیتال شرکتها

شرکتها در فرآیندهای داخلی خود و همچنین با شرکای خود در طول زنجیره ارزش و زنجیره های تامین، عملکردهای اصلی را دیجیتالی می کنند. علاوه بر این، آنها سبد محصولات خود را با قابلیت های دیجیتالی افزایش می دهند و خدمات مبتکرانه و مبتنی بر داده را به بازار معرفی می کنند. این تغییرات، یک مهاجرت تدریجی به سمت تحول کامل زنجیره ارزش است. در پایان این راه، شرکت هایی به دیجیتالی سازی واقعی دست می یابند که حتی ممکن است محصولات آنها فیزیکی باشد اما با واسط های دیجیتالی و خدمات نوآورانه تقویت می شوند. در یک چشم انداز آینده نگر، شرکت های دیجیتالی با مشتریان و تامین کنندگان در زیست بوم های دیجیتالی صنعتی همکاری برخط و مؤثری خواهند داشت.

اما در این مهاجرت موفق، داشتن نقشه راه تحول یک الزام اجتناب ناپذیر است. در عین حال این یکی از چالش های اصلی شرکتها است. تهیه نقشه راه تحول خود یک فرآیند راهبردی است که به مشارکت ذی نفعان از جمله مدیران سطوح اجرایی، و مشاورین نیاز دارد. یک نقشه راه معتبر برای تحول دیجیتالی مستلزم اقداماتی از جمله مراحل زیر است:

- آمادگی دیجیتالی و شناخت فرصت ها: شرکت های تولیدی باید یک ارزیابی جامع از بلوغ دیجیتالی خود را انجام دهند تا شناخت درستی از سطح آمادگی فعلی دیجیتالی شرکت و همچنین فرصت هایی که به واسطه فناوری های دیجیتالی برای آنها ایجاد می شود را داشته باشند. شناخت وضعیت فعلی برای دیجیتالی شدن، اولین گام در مسیر تحول دیجیتالی موفق است. در آخر همین فصل به موضوع ارزیابی و سنجش آمادگی دیجیتالی اشاره شده است.
- تهیه نقشه راه تحول دیجیتالی: با توجه به فرصت های شناسایی شده در مراحل قبل، شرکتها اقدام به تهیه نقشه راه تحول دیجیتالی خاص محیط خود می کنند. نقشه راه باید توسط همه مدیران ارشد در شرکت به اشتراک گذاشته و پذیرفته شود. تهیه نقشه راه یکی دیگر از موضوعات مهمی است که در فصل بعد به آن پرداخته می شود.
- پیاده سازی: پس از مراحل ذکر شده می توان انتظار داشت که سرمایه گذاری برای اجرای راهکارها، فناوری ها، و مهاجرت به دنیای دیجیتالی در شرکتها عملیاتی می شود [8]. این موضوع نیز در بخش آخر کتاب به طور جامع پوشش داده شده است.

فصل ۲: نقشه راه تحول دیجیتال

به منظور پشتیبانی شرکت‌ها در تعریف نقشه راه تحول دیجیتال صنعت نسل چهارم، یک روش‌شناسی جامع مشتمل بر چهار گام ارزیابی بلوغ، شناسایی نقاط قوت و ضعف، شناسایی فرصت‌ها، و نهایتاً تهیه نقشه راه تحول دیجیتال ارائه شده است. در اینجا گام‌های مورد اشاره به تفصیل توضیح داده می‌شود:

گام اول: ارزیابی آمادگی دیجیتال و شایستگی‌ها

تحول دیجیتال در صنعت نسل چهارم جایگزین کارهای تکراری کارکنان در شرکت‌ها می‌شود. ضمناً محیط کار را از نظر مهارت و شایستگی‌های منابع انسانی دچار تغییرات زیادی خواهد کرد. پس این سوال مهم پیش می‌آید که آیا کارکنان فعلی شایستگی‌های مناسبی برای انجام کار در محیط جدید را دارند؟

محیط کسب‌وکار جدید تحت تاثیر تغییرات ناشی از صنعت نسل چهارم، به محیطی چند فرهنگی، چند رشته‌ای، کاملاً مبتنی بر مشارکت بین دستگاه‌ها و انسان، توأم با کار تیمی و غیره تبدیل خواهد شد. شایستگی‌های حرفه‌ای جدید، کارکنان را همچنان قادر به تلاش‌های سازمانی جدید برای ارزش آفرینی خواهد نمود.

تغییرات زیاد در شایستگی‌های مورد نیاز انسانی در حوزه‌های اصلی، موجب تمرکز بر استفاده و توسعه شایستگی‌های کلیدی شده و همین تغییرات، شرکت‌ها را ملزم به ارزیابی آمادگی و شایستگی‌های سازمان برای ورود به صنعت نسل چهارم می‌کند. بر اساس اهمیت نقش شایستگی‌های کارکنان در اجرای موفقیت‌آمیز انقلاب صنعتی نسل چهارم، و تغییر برخی شایستگی‌های فعلی، و ضمناً برای ارزیابی آمادگی‌ها، به یک مدل مفهومی جدید برای ارزیابی آمادگی سازمان‌ها متناسب با شرایط محیط کار در صنعت نسل چهارم و شایستگی‌های کلیدی تحت پوشش آن نیاز است.

در حال حاضر، مدل‌های تجربه شده‌ای برای تعیین و ارزیابی آمادگی و شایستگی کارکنان برای ورود به صنعت نسل چهار وجود ندارد. اما در مدل‌های توصیه شده گرچه به جنبه‌های نرم تا حدی توجه شده اما روی جنبه‌های سخت سازمانی، مانند فناوری اطلاعات و زیرساخت، فناوری تولید، حسگرها، زنجیره تامین هوشمند و غیره تاکید بیشتری شده است.

در مدل‌های یاد شده، به جنبه‌های نرم مانند مدل‌های کسب و کار، منابع انسانی، فرهنگ سازمانی و غیره اشاره شده، اما اینها اولویت یکسانی نسبت به جنبه‌های سخت ندارند. برای در نظر گرفتن جامع‌تر آمادگی سازمان‌ها برای ورود به صنعت نسل چهار، باید در میان جنبه‌های نرم برای ارزیابی، روی استفاده و توسعه شایستگی‌های کلیدی کارکنان نیز تمرکز بیشتری شود. به بیان عملی، شایستگی‌ها را می‌توان به عنوان توانایی‌های یک فرد برای به کارگیری عملی دانش، مهارت‌ها و استعدادهایش در موقعیت‌هایی شناخت که در آن امکان دستیابی به نتیجه یا اهداف کاری مطلوب تر وجود دارد [9].

گرچه شایستگی‌ها اغلب به شایستگی‌های عمومی، مدیریتی، و غیره شناخته می‌شوند. اما بر اساس استانداردهای انجمن جهانی مدیریت پروژه^۱ شایستگی‌های فردی در به کارگیری دانش، مهارت‌ها و توانایی به منظور دستیابی به نتایج مطلوب به شرح زیر تعریف می‌شود [10]:

- مهارت‌ها: بیشتر به جنبه‌های فنی انجام یک کار معین مربوط است؛
 - دانش: مجموعه انباشت شده خصوصی و شخصی از اطلاعات و تجربیات یک فرد است؛
 - توانایی: به کاربرد کارآمد و مؤثر دانش و مهارت در یک زمینه عملی معین اشاره دارد.
- در اینجا به دلیل اهمیت موضوع و قبل از معرفی مدل‌های ارزیابی و بلوغ، به مفاهیم و تعاریف آمادگی دیجیتالی و شایستگی‌ها و ضمناً الزامات آن می‌پردازیم.

مفاهیم آمادگی دیجیتالی

قبل از طراحی نقشه راه تحول دیجیتالی به مدلی برای تحلیل وضعیت موجود نیاز است. برای این هدف، مدل ارزیابی آمادگی دیجیتالی شرکت‌ها بر اساس چارچوب و اصول الهام بخش مدل یکپارچه بلوغ قابلیت‌ها^۲ با بیشترین تجربه و کاربرد در سطح جهانی، پیشنهاد شده است. اما بدون

¹ International Project Management Association (IPMA)

چشم‌انداز این انجمن ترویج شایستگی‌ها در سراسر جامعه برای ایجاد جهانی که در آن همه پروژه‌ها و طرح‌ها موفق هستند، می‌باشد. بنابراین، این انجمن یک استاندارد جهانی برای شایستگی‌ها در حوزه‌های مدیریت برنامه، طرح، و سبد محصول ارائه نموده است.

² CMMI

در نظر گرفتن مدلی خاص، سه هدف اصلی برای استفاده از مدل‌های ارزیابی بلوغ یا آمادگی دیجیتالی در نظر گرفته می‌شود [8]:

- اهداف توصیفی: این دسته از مدل‌های ارزیابی بلوغ وضعیت آمادگی سازمان یا فرآیندها را همانطور که هست ارزیابی می‌کنند. یک مدل در اولین مرحله آن توصیفی است که منجر به درک عمیق تری از وضعیت موجود می‌شود. شرکت‌ها می‌توانند با استفاده از برخی ابزارهای نوع توصیفی در اینترنت، آمادگی خود را برای تحول دیجیتالی به صورت بخط ارزیابی کنند.
- اهداف تجویزی: مدل‌های ارزیابی از نوع تجویزی بر روابط فرآیندها و عملکرد آنها متمرکز هستند و نحوه نزدیک شدن به سطوح بلوغ را به منظور تأثیر مثبت بر ارزش کسب‌وکار نشان می‌دهند.
- اهداف مقایسه‌ای: این مدل‌ها امکان مقایسه عملکردهای مشابه بین شرکت‌ها را ممکن می‌سازند. با این مدل‌ها، روش‌ها و وضعیت موجود در شرکت‌ها به منظور اندازه‌گیری میزان آمادگی دیجیتالی و بلوغ آنها مقایسه می‌شود. البته از مدل‌های مقایسه‌ای باید در طیف وسیعی از شرکت‌ها استفاده شود تا داده کافی برای یک مقایسه معتبر در اختیار باشد [11].

مفاهیم شایستگی

امروزه شایستگی‌ها را می‌توان بیشتر به عنوان ابزاری برای حل و فصل موقعیت‌های خاص مرتبط با کار در نظر گرفت. برخی محققین بر جنبه‌های حرفه‌ای شایستگی‌ها، مانند ارتباط با مشتری، طوفان فکری غیررسمی، تعیین هدف، ارائه ایده‌ها و غیره تأکید می‌کنند. برخی دیگر، بر موارد کلی و عمومی، یعنی آنهایی که به تغییرات پیش رو در محیط، تغییرات کار، تغییرات جامعه و روابط بین فردی مرتبط هستند، تأکید دارند [9].

هنگام بررسی مفهوم صنعت نسل چهارم، با دو دسته اصلی از شایستگی‌ها در ابعاد شخصی و حرفه‌ای روبرو می‌شویم که البته برخی از این شایستگی‌ها هم‌پوشانی دارند.

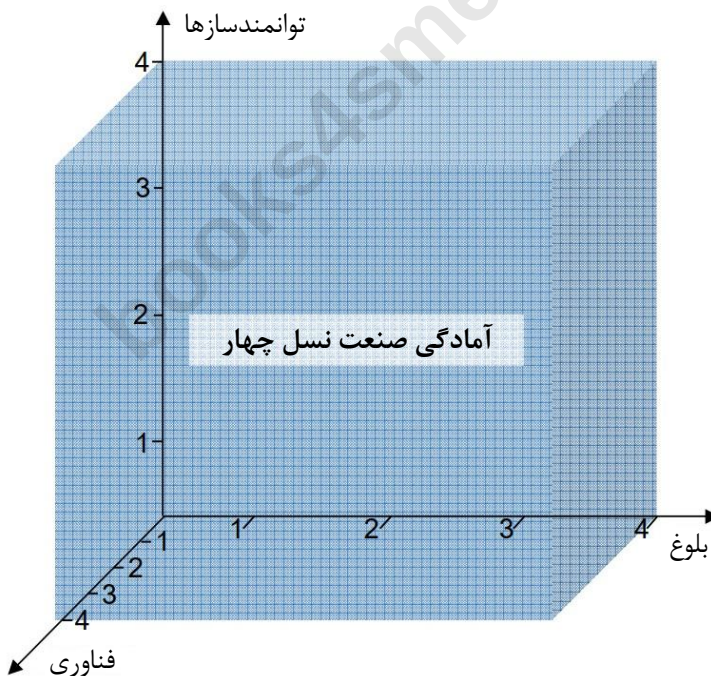
مفاهیم بلوغ با تأکید بر صنعت نسل چهارم

برای ورود به عصر انقلاب صنعتی نسل چهارم و بر اساس یک درک مشترک بین متخصصین، مدل ارزیابی آمادگی و سطوح بلوغ شرکت‌ها در دو بعد شناسایی می‌شود: توانمندسازها و فناوری.

سطح آمادگی مرتبط با صنعت نسل چهار، بر اساس خصوصیات توانمندسازها و فناوری ارزیابی می‌شود و سطح بلوغ در بُعد سوم به عنوان نتیجه در نظر گرفته می‌شود.

لازم به توضیح است که برخی شرکت‌ها ممکن است از توانمندسازها و فناوری‌های لازم برخوردار باشند، اما از سطح بلوغ مناسب برخوردار نباشند. چرا که بر اساس مدل بلوغ قابلیت‌ها، بلوغ مسیری ضروری برای بهبود فرآیندهای سازمانی، در مجموعه‌ای از حوزه‌های خاص است. در نتیجه آمادگی شرکت‌ها برای ورود به صنعت نسل چهار، شامل سه بُعد توانمندسازها، فناوری و همچنین سطح بلوغ است. برای هر یک از این ابعاد، از مفاهیم چهار سطحی متفاوتی استفاده می‌شود. پایین‌ترین سطح نشان‌دهنده عدم آمادگی شرکت برای ورود به دنیای صنعت نسل چهار است. در مقابل، شرکت با بالاترین سطح در ابعاد اشاره شده، کاملاً آماده برای جذب فناوری‌های صنعت نسل چهار است [12].

در این صورت، ابعاد توانمندسازها، فناوری و بلوغ یک فضای سه بعدی برای آمادگی صنعت نسل چهار ایجاد می‌کنند و شرکت‌ها در این مدل سه بُعدی طبقه‌بندی می‌شوند.



شکل ۲ مدل سه بُعدی آمادگی صنعت نسل چهار [12]

متغیر یا شاخص‌های ابعاد آمادگی صنعت نسل چهار بر اساس مدل یکپارچه بلوغ قابلیت‌ها:

• **توانمندسازها:** توانمندسازها برای آمادگی، به سه متغیر زیر سطح بندی می‌شوند:

○ فرهنگ سازمانی: برای مفروضات اساسی مشترک افراد در مورد تحول در تمام سطوح شرکت،

○ مدل کسب‌وکار: برای راهبرد، چشم‌انداز بازار و زنجیره ارزش،

○ منابع انسانی: برای سواد دیجیتالی و داده کارکنان، و توسعه راهبردی آنها.

• **فناوری:** بُعد فناوری از اهمیت زیادی برخوردار است و در مرکز بحث جامعه علمی

قرار دارد. این بُعد نیز شامل متغیرهای زیر است:

○ اتصال داخلی: به ارتباط همه اشیاء، افراد، و سامانه‌های یک سازمان در عصر انقلاب صنعتی نسل چهارم اشاره دارد.

○ شفافیت اطلاعات: به جمع‌آوری داده‌ها از اشیاء و افراد متصل در زمان

واقعی اشاره دارد. پیوند دادن این داده‌ها به مدل‌های دیجیتالی، یک نسخه

مجازی از دنیای فیزیکی را ممکن می‌سازد. از این رو، همه اشیاء و افراد

به تمام داده‌های مرتبط دسترسی دارند.

○ تصمیمات غیرمتمرکز: به این مفهوم که سامانه‌ها می‌توانند تصمیمات

غیرمتمرکز آگاهانه را به تنهایی، با توجه به اهداف کلان شرکت، و تا حد

امکان مستقل اتخاذ کنند.

○ کمک فنی: به موضوع حمایت از کارکنان در حین انجام کارهای پیچیده

اشاره دارد.

○ تولید مبتنی بر شبکه: شامل فناوری‌هایی مانند تولید به روش افزودنی

(چاپگرهای سه بعدی) با اضافه سایر فناوری‌های خطوط تولید است که

شرکت را قادر می‌سازد کل محصول یا بخش‌هایی از آن را در محل خود

تولید کند.

• **بلوغ:** سطوح بلوغ به طور مفهومی مراحل کمی یا کیفی قابلیت یک بخش یا فرآیند

در مسیر بلوغ را در حوزه‌های تعریف شده نشان می‌دهد. قابلیت یک فرآیند یا بخش،

شامل شایستگی‌های کارکنان، و مجموعه‌ای از مهارت‌ها و دانش فعال، که تابع

همه‌انگهی‌های سازمانی است و از منابع شرکت استفاده می‌کنند، می‌باشد. البته

تعاریف و مفاهیم ارائه شده برای بلوغ هنوز محدودیتهایی به شرح زیر دارند و ممکن

است پاسخگوی شرایط امروزی نباشند:

○ **اول**، علیرغم این واقعیت که ممکن است متغیرها و سطوح بلوغ یک شرکت به دقت انتخاب شده باشند، اما این احتمال وجود دارد که آنها بیش از حد عمومی باشند، یا برای شرکت عملیاتی نباشند. اگر یک متغیر بیش از حد عمومی باشد، ارزیابی دقیق آن غیر ممکن است. از سوی دیگر عمومی بودن سطوح بلوغ نیز تمایزی واضح از ابعاد آمادگی شرکت را نشان نمی‌دهد. از این رو، ارزیابی معتبر و قابل اعتمادی از آمادگی یک شرکت به تصویر کشیده نمی‌شود.

بنابراین، متغیرها باید از نظر عملیاتی بودن و سطح جزئیات، مورد آزمایش قرار گیرند و بر اساس نتایج آن انتخاب شوند. به همین منظور لازم است گروهی از کارشناسان، ابعاد و متغیرهای ارزیابی بلوغ را مدام مورد بحث، ارزیابی و به روز رسانی قرار دهند.

○ **دوم**، برای عملیاتی کردن مفاهیم بلوغ، باید به بررسی موقعیتی آنها نیز همت گماشت تا برای هر متغیر یک توصیف موقعیتی دیده شود. این توصیفات موقعیتی باید در گروه‌های کارشناسی مورد بحث و بررسی قرار گیرند.

○ **سوم**، مفاهیم رایج برای بلوغ، بر اساس ادبیات موجود است و عمدتاً ماهیت نظری دارند. از آنجا که مدل‌های بلوغ اهداف عملی و علمی را با هم در بر دارند، لازم است اهداف عملی آنها بررسی و اعتبارسنجی شود. [12]

برای آشنایی بیشتر، در ادامه همین فصل به معرفی دو مدل رایج برای ارزیابی و بلوغ دیجیتالی شرکت‌ها پرداخته شده است.

گام دوم: شناسایی نقاط قوت و ضعف

با تکمیل پرسش‌نامه‌های طراحی شده در یک مدل بلوغ^۱، نقاط قوت و ضعف شرکت از نظر میزان بلوغ در هر حوزه فرآیندی، به دست می‌آید. اگر پاسخ ارائه شده کمتر سطح ۲ باشد، فرآیند مرتبط به عنوان یک فرآیند ضعیف شناخته می‌شود. در حالی که پاسخ نشان‌دهنده سطح بالاتر از ۴ باشد، این فرآیند به عنوان یک نقطه قوت شناخته می‌شود. پاسخ سطح ۳ بسته به زمینه، به عنوان نقطه قوت یا ضعف ارزیابی می‌شود. در طول مصاحبه و به منظور غنی نمودن فهرست نقاط

^۱ برای مثال، مدل DREAMY

قوت و ضعف شناسایی شده، ممکن است از اطلاعات بیشتری که توسط پاسخ‌دهنده‌ها ارائه می‌شود استفاده گردد. به این ترتیب، در این مرحله، فهرستی از نقاط قوت و ضعف برای هر فرآیند و تحلیل آن به دست می‌آید.

تجزیه و تحلیل ناشی از این مرحله، به این درک کمک می‌کند که شرکت بر روی کدام فرآیندها برای بهبود و پیشرفت باید تمرکز کند و فرصت‌های شرکت برای بهبود بلوغ فرآیندها چیست.

گام سوم: شناسایی فرصت‌ها

بر اساس نقاط قوت و ضعف، فرصت‌ها شناسایی می‌شوند و به این ترتیب، شرکت یک نمای کلی از اقدامات پیشنهادی با هدف ارتقای بلوغ فرآیندها به دست می‌آورد. در این گام، از مدل بلوغ با هدف تجویزی با تمرکز بر بهبود و توسعه عملکردهای شرکت به منظور تأثیر مثبت بر ارزش کسب‌وکار استفاده می‌شود. یعنی امکان تهیه یک نقشه راه دقیق برای تحول دیجیتال به سمت انقلاب صنعتی نسل چهارم فراهم می‌شود.

گام چهارم: تهیه نقشه راه تحول دیجیتال

در این گام، روی تجزیه و تحلیل فرصت‌های شناسایی شده تمرکز می‌شود. برای این مهم لازم است جلسات مشورتی و تبادل نظر در سطح شرکت و احتمالاً با حضور مشاورین و صاحب نظران برگزار گردد تا دلایل موفقیت یا عدم موفقیت در دستیابی به هر یک از این فرصت‌ها روشن گردد.

برخی از دلایل عدم دستیابی به فرصت‌ها ممکن است به کمبود منابع از بُعد نیروی متخصص یا بودجه یا حتی عدم علاقه واقعی شرکت به تحول دیجیتال در آن خصوص مربوط باشد. با فیلتر نمودن فرصت‌ها بر اساس امکان‌پذیر بودن یا غیر قابل دستیابی بودن آن‌ها، شرکت فرصت‌های امکان‌پذیر را با توجه به مزایایی که به همراه دارند، رتبه‌بندی می‌کند. در این مرحله، لازم است منطق و مستندات رتبه‌بندی فرصت‌ها تهیه و در دسترس باشد تا هرگاه در مراحل بعدی، زمینه امکان‌پذیر شدن فرصت‌های غیر قابل دستیابی فراهم شد، در برنامه و نقشه راه مرتبط با آن فرصت‌ها تجدید نظر شود.

مراحل نقشه راه تحول دیجیتال

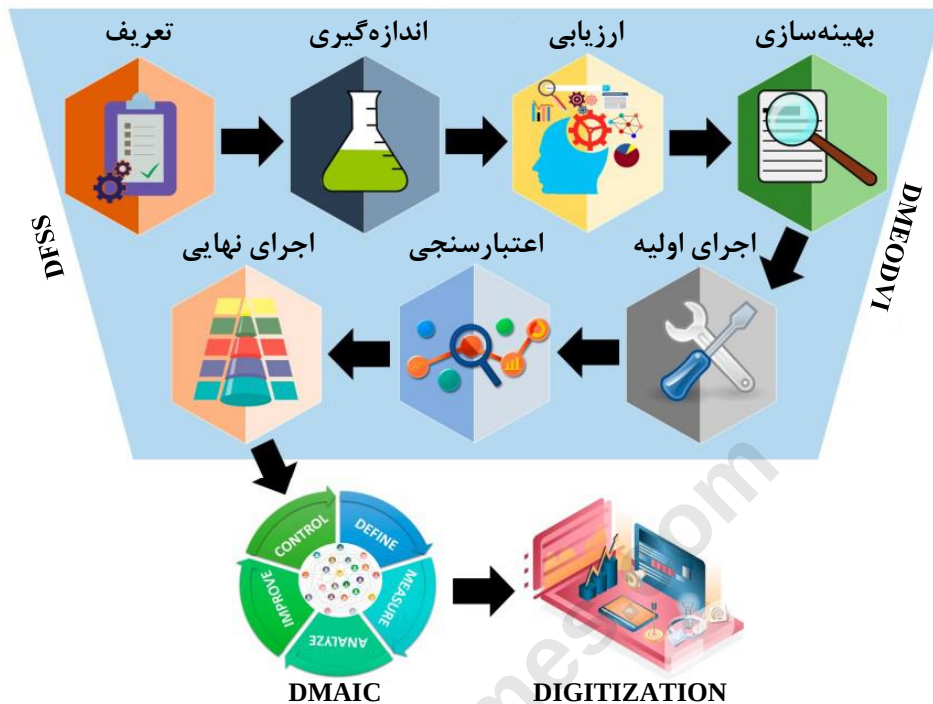
یک ضرورت حتمی برای انتقال به تحول دیجیتال، تهیه نقشه راه راهبردی است. این نقشه راه یک چارچوب منسجم و هدایت کننده برای انتقال از وضعیت موجود و معمولی به پیاده‌سازی صنعت نسل چهارم است.

حرکت از وضعیت فعلی به وضعیت مطلوب نیازمند گام‌های دقیق با اولویت بندی مشخص است. شرکت‌هایی که تبدیل به یک قهرمان دیجیتال شدند، سفری را آغاز کردند که از ابعاد کوچک شروع شد، اما در نهایت به دگرگونی و تحول سازنده در کسب‌وکار اصلی آنها ختم گردیده است.

نقشه راه می‌تواند از شیوه‌های تجربه شده در مدیریت راهبردی، بازاریابی، سامانه اطلاعات مدیریت، مدیریت زنجیره تامین و سوابق مدیریت فناوری تولید گرفته شود و عمیقاً در اصول شش سیگما ناب ریشه داشته باشد. در منابع معتبر، مراحل طراحی شش سیگما^۱ با ترکیب زیر توصیه شده است [2]:

- تعریف، اندازه‌گیری، ارزیابی، بهینه‌سازی، اجرای موازی با روش‌های قبلی، اعتبارسنجی، اجرای نهایی، در یک رویکرد ساختاریافته و جامع که به اختصار لاتین DMEODVI نام گرفته است.
- یا با تعریف، اندازه‌گیری، تجزیه و تحلیل، بهبود، و کنترل دنبال می‌شود تا بهبود مستمر پس از انتقال انجام شود. این شیوه نیز به اختصار لاتین DMAIC نام گرفته است.

¹ Design For Six Sigma (DFSS)



شکل ۳ مراحل نقشه راه راهبردی برای تحول دیجیتال [2]

در حالی که مراحل طراحی شش سیگما با خدمات و طراحی های محصول جدید مرتبط است، اما فرآیند DMAIC روی محصول یا فرآیندی استفاده می‌شود که از قبل وجود دارد. دلیل انتخاب شش سیگما و ترکیب آن با مدل تعالی ناب^۱ به عنوان مبنای این نقشه راه این است که بسیاری از مدیران شرکت‌ها با این مفاهیم به خوبی آشنا هستند و طی چند دهه گذشته بسیاری از سازمان‌ها آنرا اجرا کرده‌اند.

استفاده از این مدل در نقشه راه راهبردی، باعث واکنش مطلوب تری از سوی منابع انسانی شاغل در شرکت‌ها خواهد شد. روش‌های تولید ناب^۲ از دهه ۱۹۹۰ عمیقاً در فرهنگ اکثر شرکت‌های صنعتی وارد شده و به طور معمول، برای تطبیق با نیازهای منحصر به فرد مدل کسب‌وکار و فرآیندهای یک شرکت، با تغییرات اندکی اجرا می‌شود.

امروزه، تقریباً تمام تولیدکننده‌های بزرگ و متوسط در سراسر جهان یک برنامه بهبود کسب‌وکار با پایه شش سیگما دارند. به همین دلیل توصیه می‌شود، برای پذیرش و پیاده‌سازی

^۱ Lean

^۲ Lean Manufacturing

پایدار فناوری‌های صنعت نسل چهار، به گونه ای عمل شود که با فرهنگ ترکیب شش سیگما و ناب همسو باشد. نقشه راه تعریف شده در شکل بالا عمیقاً ریشه در توسعه کیفیت و سامانه‌های مدیریتی دارد و به طور گسترده توسط اکثر شرکت‌ها استفاده می‌شود.

بر اساس این عقیده و به پشتوانه تجربیات مشاهده شده در جامعه صنعتی، مشکلات پیاده‌سازی صنعت نسل چهار زمانی رخ می‌دهد که شرکت‌ها مجبورند با پارادایم کاملاً جدیدی روبرو شوند و کنترل سامانه‌های موجود خود را از دست بدهند. به همین دلیل، برای پیاده‌سازی موفق صنعت نسل چهار و کاهش مشکلات و مخاطرات شکست از نوع فرهنگی، سازمانی، و راهبردی، استفاده از رویکردهای ترکیب شش سیگما و ناب توصیه شده است.

این نقشه راه یکپارچه که در زیر به جزئیات آن اشاره می‌شود مبنایی است برای سازمان‌های تولیدی که اجرای طرح‌های انتقال به تحول دیجیتال انقلاب صنعتی چهارم را مد نظر دارند. چرا که به دلیل آشنایی با مفاهیم زیربنایی در پذیرش آن تسریع و مقاومت در برابر تغییرات نیز محدودتر می‌شود.

مرحله ۱: تعاریف

در مرحله اول روی تعریف مشکلات کسب‌وکار و شناسایی محدودیت‌ها، تعریف طرح‌های اولیه و آزمایشی، تعریف و توسعه راهبرد تجزیه و تحلیل داده‌ها با تمرکز بر موارد زیر تاکید شده است [2]:

- تحلیل‌های پیش‌بینی کننده
 - تجزیه و تحلیل تجویزی
 - تصمیم‌گیری با محور کسب‌وکار
 - بازخورد خودکار به سازمان و شبکه کارکنان
- طبق نقشه راه با رویکرد ترکیب شش سیگما و ناب، مرحله اول، تعریف مشکل کسب‌وکار، شناسایی محدودیت‌ها در منابع موجود و توسعه دامنه طرح برای اجرای فناوری‌های صنعت نسل چهار است. در این مرحله به مشارکت ذی‌نفعان داخلی و خارجی، یعنی کارکنان، مدیران، سهامداران، تامین کنندگان و مشتریان نیاز است.

بکارگیری یک تیم تحول دیجیتال متناسب با راه کارهای صنعت نسل چهار متشکل از افراد از همه بخش‌های شرکت، چشم‌انداز و پایداری عملیاتی را تضمین می‌کند. خود شرکت و تیم انتقال به صنعت نسل چهار باید روند انتقال را در قالب یک طرح دقیق رمزگشایی کرده و ویژگی‌های کار در هر مرحله از انتقال را مشخص کنند. این به شناسایی نیازها و اولویت‌های

عملیاتی و همچنین تغییرات درون سازمانی و برون سازمانی مرتبط با هر مرحله انتقال کمک خواهد کرد. با این توصیف، در مرحله اول به موضوعات زیر پرداخته و مستند سازی می‌شود [2]:

- راهبردهای کوتاه‌مدت، میان مدت و بلند مدت برای صنعت نسل چهار: این تعاریف باید قابل اندازه‌گیری، دست یافتنی، واقع‌بینانه، و محدود به زمان باشند؛
- ارزیابی موقعیت فعلی سازمان: یعنی کدام فناوری‌های مرتبط با صنعت نسل چهار را می‌توان متناسب با نیازهای فعلی کسب‌وکار، پیاده‌سازی کرد؛
- ارزیابی مجموعه مهارت‌های نیروی کار موجود و نیازهای آموزشی و مهارت‌های مورد نیاز در آینده؛
- تدوین راهبرد مدیریت تغییر به منظور انتقال با ثبات از وضعیت فعلی یا سنتی، به شرایط و کارآمدی دیجیتالی.

بسیاری از بازیگران صنعتی قبلاً دیجیتالی کردن کسب‌وکار خود را آغاز کرده‌اند، اما اغلب در سیلوهای سازمانی محدود شده و بدون رویکرد جامع بوده است. همانطور که اشاره شد، ارزیابی سطح بلوغ در همه زمینه‌های صنعت نسل چهار ضرورتی است که نشان می‌دهد چه نقاط قوتی در حال حاضر وجود دارد، و چه سامانه‌ها یا فرآیندهایی بهتر است در راه‌حل‌های آینده ادغام شوند.

آینده و هدف تحول دیجیتال، در گرو همکاری با مشتریان، تامین‌کننده‌ها، شرکای کسب‌وکار، و حتی رقبا است.

در این حرکت نباید چشم‌انداز شرکت را به دلیل محدودیت‌های فعلی تغییر داد. بلکه باید فکر کرد چه چیزهایی را می‌توان به دست آورد. فراتر از جزئیات فنی، برنامه‌های کاربردی جدید چه تأثیری بر زنجیره ارزش و روابط شرکت‌ها با آنها و دسترسی به مشتریان دارند. در این مرحله تغییرات آتی در رفتار مشتری و چگونگی تغییر رابطه شرکت با آنها نیز در نظر گرفته می‌شود [6].

علاوه بر تعریف مشکلات کسب‌وکار و شناسایی محدودیت‌ها، تعریف **طرح‌های اولیه و آزمایشی** نیز از خروجی‌های مهم در مرحله اول نقشه راه شرکت‌ها است. طرح‌های اولیه نمونه‌هایی هستند که در بخشی از سازمان اجرا شده و پس از اثبات نتایج قابل قبول به دیگر بخش‌ها تعمیم داده می‌شوند. با مشاهده نتایج طرح‌های اولیه، مسیر تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری‌های اصلی هموار می‌گردد.

گرچه برنامه تحول از یک حوزه محدود شروع می‌شود، اما توصیه می‌شود از همان ابتدا به مفهوم کامل و جامع تحول صنعتی نسل چهارم دقت و آن را برای کل شرکت برجسته نمود. در اینجا به عنوان نمونه، به برخی طرح‌های اولیه در پیاده‌سازی صنعت نسل چهار اشاره می‌شود:

- یکپارچه‌سازی عمودی: یک یا دو مرحله مرتبط با تولید از قبیل مهندسی تولید و برنامه‌ریزی که آمادگی بیشتری نسبت به سایر حوزه‌ها دارند، انتخاب و با یکپارچه‌سازی داده‌ها در زمان واقعی آنها را می‌توان به مهندسی دیجیتالی و برنامه‌ریزی تولید یکپارچه تبدیل نمود.
 - یکپارچه‌سازی افقی: برخی تامین‌کننده‌های کلیدی که آمادگی لازم را دارند برای اتصال و یکپارچه‌سازی اطلاعات فی مابین انتخاب می‌شوند. برای مثال، با نصب تجهیزات پیشرفته ردیابی و ره‌گیری بر روی محموله‌ها، از ابتدا تا انتهای جریان آن کالاها یا قطعات را می‌توان رصد کرد.
 - تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه و تحلیل داده‌ها اغلب به عنوان بخشی از یک طرح آزمایشی یا به عنوان یک طرح مستقل اجرا می‌شود. به عنوان مثال، با نصب حسگرهای هوشمند بر روی تجهیزات و دستگاه‌های مهم خط تولید و استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به کارکرد آنها، می‌توان راه‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و هوشمند را عملیاتی نمود.
- برای سرعت بخشی به نوآوری‌های دیجیتالی و اجرای طرح‌های آزمایشی، همکاری و هماهنگی با شرکت‌های دانش بنیان و نوپا، دانشگاه‌ها، سازمان‌ها و مراکز صنعتی، و یا دیگر شرکت‌های مرتبط (حتی رقیب) نیز توصیه شده است [6].

جدول ۱ برخی اهداف طرح‌های آزمایشی و فرصت‌ها و تجربیات ناشی از آنها

هدف طرح آزمایشی	فرصت‌ها
مدل‌های جدید کسب‌وکار	• بهینه‌سازی استقرار طرح‌های دیجیتالی و تضمین آثار مثبت آنها
دیجیتالی	• استقرار مدیریت جامع سکوی دیجیتالی
	• تجربه تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و مدیریت عملکردها
مهندسی دیجیتالی	• همکاری و هم‌افزایی در طرح‌های تحقیق و توسعه
	• تجربیات مدل سازی دیجیتالی،
	• تجربیات پیاده‌سازی مدل‌های آزمایشی و شبیه سازی

هدف طرح آزمایشی	فرصت‌ها
یکپارچه‌سازی عملیاتی عمودی	- کنترل و هماهنگی تولید بعد از تحول دیجیتال - مدیریت ارتباطات داخلی در چرخه عمر محصول - تجربه استقرار کارخانه دیجیتال - تجربه و بهینه‌سازی در خودکارسازی ماشین‌آلات خط تولید - تجربه استقرار سامانه‌های اجرایی ساخت (MES) - تجربه استقرار مدیریت دارایی پیشرفته
یکپارچه‌سازی افقی	- برنامه‌ریزی برای یکپارچه‌سازی ارتباط شرکت با شرکت‌ها و گردش داده‌ها در زمان واقعی - استقرار سامانه‌های نظارت بر لجستیک - تجربه استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها در زنجیره تامین - تجربه استقرار راه حل منبع یابی یکپارچه دیجیتال - تجربه استقرار انبارداری و لجستیک هوشمند - تجربه استقرار مدیریت هوشمند قطعات یدکی
تعمیرات و خدمات هوشمند	- تجربه طراحی و استقرار تعمیرات براساس پیش‌بینی - تجربه استقرار راه‌حل‌های مهندسی یکپارچه دیجیتال - تجربه استفاده از راه‌حل‌های واقعیت افزوده
محیط کار دیجیتال	- تجربه استقرار مدیریت مالی و کنترل‌های هوشمند - تجربه استقرار مدیریت منابع انسانی یکپارچه و هوشمند - تجربه به اشتراک گذاری دانش کسب شده - تجربه فناوری اطلاعات با رویکرد چابک
بازاریابی و فروش دیجیتال	- مدیریت ارتباط برخط با مشتری - تجربه همه جانبه در بازاریابی، لجستیک، تولید، و فروش - استفاده از درگاه‌های خدمات خودکار با ساختار غیرمتمرکز - استقرار سامانه قیمت گذاری پویا - اجرای سامانه فروش فردی و خدمات بازاریابی مناسب با آن - استقرار پرداخت‌های الکترونیکی هوشمند

همگام با تعریف و نهایی سازی طرح‌های اولیه و محدود، اتخاذ مدل‌های جدید کسب‌وکار نیز ممکن است ارزش‌های بیشتری برای شرکت در پی داشته باشند. شناسایی قابلیت‌ها برای اجرای موفق طرح‌های آزمایشی و در نتیجه مدل‌های جدید کسب‌وکار دیجیتالی یا دیجیتالی سازی داخلی گام دیگری است که باید برداشته شود [6].

فناوری‌های صنعت نسل چهار فرصت‌های جدیدی برای یکپارچه‌سازی دیجیتالی و خدمات مبتنی بر داده ایجاد می‌کنند. مدل‌های جدید کسب‌وکار بر بستر برنامه‌های ارزشی ناشی از تحول دیجیتالی، که همگی به شدت ناشی از تجهیزات جدید برای جمع‌آوری، استفاده و اشتراک داده‌ها هستند، پدید می‌آیند. مدل‌های جدید کسب‌وکار را می‌توان با اتکا بر راه‌حل‌های یکپارچه‌سازی و خدمات جدید ایجاد کرد تا شرکت‌ها به ارزش‌های جدیدی دست یابند.

جدول ۲ چهار مدل جدید کسب‌وکار بر بستر برنامه‌های ارزشی ناشی از تحول دیجیتالی^۱ [13]

۱. مدل‌های کسب‌وکار به عنوان یک خدمت

- مدل‌های مبتنی بر استفاده یا پرداخت به ازای کار و بهره‌برداری:
- شیوه‌های پرداخت جدید، هزینه‌های سرمایه‌ای^۲ را برای تولید کننده‌ها به هزینه‌های عملیاتی^۳ تبدیل می‌کند.
 - استمرار جریان درآمد برای تامین کننده‌ها، به جای فروش یکباره محصول.

۲. مدل‌های کسب‌وکار مبتنی بر سکوه‌های دیجیتالی

- ارائه‌های سکوه‌های دیجیتالی زیر:
- سکوه‌های فناوری: زیست بوم‌های متکی بر سامانه‌های باز برای توسعه دهنده‌ها؛
 - سکوه‌های کارگزاری: بازارهایی که در آنها ظرفیت‌های مازاد به اشخاص ثالث معرفی می‌شود.

۳. مدل‌های کسب‌وکار مبتنی بر حقوق مالکیت معنوی^۴

- مدل‌های درآمدی تکرارشونده (مانند هزینه‌های صدور مجوز برای استانداردهای داده و یا استفاده از نرم‌افزار).

¹ SOURCE: McKinsey

² Capex

³ Opex

⁴ Intellectual property rights

- خدمات تکمیلی برای محصولات اصلی (به عنوان مثال، مشاوره در خصوص روش‌های استفاده از محصولات).

۴. مدل‌های کسب‌وکار مبتنی بر داده^۱

- کسب درآمد مستقیم از داده‌های جمع‌آوری شده به جای محصول اصلی (مانند گوگل)
- کسب درآمد غیرمستقیم از اطلاعات جمع‌آوری شده (به عنوان مثال، جزئیات برای قیمت‌گذاری یا شخصی سازی).

در این زمینه‌ها، داده باید به عنوان دارایی مورد استفاده قرار گیرد تا به ارزش تبدیل شود. نکته مهم این است که شرکت‌ها باید بدانند چگونه روی داده‌های موجود سرمایه‌گذاری کنند و چگونه داده‌های مربوط به ارزش‌های جدید را تجمع و پردازش نمایند [13].

مرحله ۲: اندازه‌گیری

پس از تعریف طرح در مرحله اول، نوبت به جمع‌آوری داده‌ها می‌رسد. هدف از این مرحله درک واضح نیازهای مشتری (داخلی و بیرونی شرکت) و ایجاد ویژگی‌های حیاتی کیفیت و فرآیند، برای پاسخگویی به نیازهای اشاره شده است. این امر با تقسیم بازار به بخش‌های مختلف، و سپس توسعه ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری حیاتی برای فرآیند و کیفیت برای هر بخش با استفاده از ابزارهای استقرار کیفیت به دست می‌آید [14].

در این ابزارها، ویژگی‌های کیفیت متناسب با نیازهای مشتری تعریف و آنها را با محصولات یا خدمات تطبیق می‌دهند. سپس برای هر یک از ویژگی‌های تعریف شده در قالب فرآیند و کیفیت محصول، معیارها و سامانه‌های اندازه‌گیری مشخص می‌شود.

در این مرحله، تحلیل سامانه اندازه‌گیری^۲ برای اطمینان از ثبت تصویر واقعی از کیفیت محصول یا خدمت، بسیار مهم است.

در این بین، استفاده از نقشه جریان ارزش و اطلاعات، که یک روش از تولید ناب است، برای تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی و طراحی وضعیت آینده در حوزه مجموعه فعالیت‌های فرآیند تولید یک محصول یا خدمت از ابتدا تا رسیدن به مشتری، توصیه می‌شود. البته به منظور تایید استفاده

¹ Data-driven business models

² Measurement Systems Analysis (MSA)

از ابزارهای مختلف در این مرحله، تجزیه و تحلیل هزینه - فایده و وابستگی های متقابل جنبه های مهم کیفیت حائز اهمیت است [2].

مرحله ۳: ارزیابی

در این مرحله از ابزارهای ارزیابی آمادگی یا بلوغ دیجیتالی برای ورود به صنعت نسل چهار می‌توان استفاده کرد. این ابزارها به گونه ای طراحی شده‌اند که فراتر از فناوری‌ها را هم ارزیابی می‌کنند. ضمناً به مستندسازی و مقایسه سطح فعلی آمادگی سازمان با شرایط و الزامات صنعت نسل چهار کمک می‌کنند. علاوه بر مقایسه‌های اشاره شده، از ویژگی‌های حیاتی فرآیندها و کیفیت برای مقایسه با پیشگامان بازار نیز استفاده می‌شود. پس از این ارزیابی ها، تیم اجرایی طرح انتقال، طرح‌های مفهومی جایگزین یا جدید برای تطبیق با ویژگی‌های حیاتی فرآیندها و کیفیت را تهیه می‌کند. طرح‌های مفهومی باید دامنه کاملی از تغییرات برای اطمینان از تحول واقعی دیجیتالی در پایان طرح را پوشش دهند.

برای تسهیل فرآیند طراحی در این مرحله از روش‌های طوفان فکری و تحلیل‌های خاص آن، یا از نمودارهای علت و معلول برای کمک به نوآوری و خلق روش‌های خاص نیز استفاده می‌شود.

مرحله ۴: بهینه‌سازی

نتایج مرحله قبل، مبنای این مرحله در تهیه نقشه راه راهبردی است. طرح مورد اشاره در اینجا مورد تجزیه و تحلیل عددی و آماری قرار می‌گیرد تا جزئیات آن بهینه شود. در این مرحله از بسته‌های نرم‌افزاری و علاوه بر اینها، از ابزارهای مخصوص برای اصلاح پارامترهای طراحی استفاده می‌شود. به عنوان نمونه به نرم‌افزارهای زیر می‌توان اشاره نمود [2]:

- نرم‌افزار Autodesk Inventor برای طراحی؛
- نرم‌افزار AnyLogic برای جریان فرآیند؛
- نرم‌افزار ANSYS برای تجزیه و تحلیل محصول.

مرحله ۵: اجرای اولیه

بر اساس اطلاعات شناسایی شده در مرحله قبل، طرح دقیق برای اجرای اولیه و نمونه آماده می‌شود. مشارکت افراد بیشتری در این مرحله، به ویژه از بخش‌های مدیریت تجهیزات و فناوری اطلاعات، ضروری است تا اطمینان حاصل شود که هر دو خواسته‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌توانند به شیوه‌ای معقول برآورده شوند. پس از کسب تمامی منابع لازم و نیروهای ماهر، قدم

بعدی شناسایی اقتصادی ترین روش است. در نهایت، جریان فرآیند تولید اولیه باید با توجه به شبیه سازهای رایانه‌ای هدایت شود تا به اعتبار سنجی آن در مراحل بعدی اطمینان حاصل گردد. جریان فرآیند تولید که بر اساس فناوری‌های جدید و مطابق با مراحل ذکر شده طراحی و راه اندازی می‌گردد باید به **طور موازی با فرآیندهای موجود** اجرا شود. به این معنی که خط تولید آزمایشی با ماشین آلات و تجهیزات جدید و به روش جدید، و بقیه ماشین آلات و دیگر تجهیزات مطابق روال قبل به طور موازی کار خواهند کرد. نکته مهم این است که پیاده‌سازی روش‌ها و فناوری‌های صنعت نسل چهار نباید روال عادی ساختار تولید شرکت‌ها را مختل کند. توصیه اکید این است که خطوط تولید جدید در مرحله آزمایشی با فناوری‌های جدید باید به موازات فعالیت‌ها و روش‌های عادی باشد تا شرکت از جریان فرآیند تولید جدید کاملاً اطمینان حاصل کند و بعد اقدام به جایگزینی کامل خطوط نماید.

بسیاری از شرکت‌های صنعتی برای انتقال به یک شرکت دیجیتالی به **توسعه مجموعه مهارت‌های دیجیتالی** پیرامون طراحی خلاقانه، معماری و طراحی استقرار فناوری‌ها، طراحی تجربه کاربر یا قابلیت‌های نمونه سازی سریع نیاز دارند. بدون فرهنگ دیجیتالی مناسب، به طور معمول افراد با استعداد در شرکت‌ها نمی‌مانند. فرهنگ دیجیتالی واقعی در شرکت‌ها، مشارکتی است و فراتر از مرزهای شرکت، به شرکاء و مشتریان توسعه می‌یابد.

این مهم بدون یک راهبری منسجم و سازمانی برای تحول دیجیتالی امکان‌پذیر نیست. **راهبری تحول دیجیتالی** در برخی سازمان‌ها به عهده مدیر ارشد اطلاعات، و در برخی دیگر به عهده مدیر تخصصی با عنوان مدیر ارشد دیجیتالی است. اما برخی شرکت‌ها یک شورای دیجیتال ایجاد می‌کنند که به طور فعال پیشرفت‌های دیجیتالی، در حوزه محصولات و خدمات، از مرحله ایده تا عرضه در واحدهای عملیاتی را مدیریت می‌کند.

نکته دیگر اینکه تحول دیجیتالی تنها در صورتی اتفاق می‌افتد که تمام مدیران ارشد شرکت، برنامه‌ها و اجرای آن را از اولویت‌های شرکت بدانند و آنرا در دستور کار روزانه خود قرار داده باشند.

نکته آخر، تحول دیجیتالی ممکن است مبتنی بر **سکوهای دیجیتالی** باشد. این سکوها اساساً تمام حوزه‌های توسعه محصول و راه‌حل‌های خدمات کامل به مشتریان شرکت را پوشش می‌دهند. شرکت‌ها اصولاً در سکوهای دیجیتالی خود، باید تمام مراحل انتقال از یک محصول سنتی و پایه فیزیکی به یک تحول جامع دیجیتالی را در یک زیست بوم دیجیتالی طراحی کنند. اما در مراحل اولیه، اگر شرکت‌ها نمی‌توانند طرح جامع و کامل سکوی دیجیتالی خود را در قالب

یک زیست بوم دیجیتال موفق به طور اختصاصی اجرا کنند، باید با دیگر شرکت‌ها همکاری کنند و یا استفاده از سکوها دیجیتال موجود را در دستور کار خود قرار دهند.

ارزش یک زیست بوم موفق دیجیتال، با تعداد شرکای درگیر و شدت روابط آنها تعیین می‌شود. بزرگترین چالش در یک زیست بوم، ایجاد انگیزه و یافتن مدل‌های اشتراک منافع منطقی است که سهم هر شرکت درگیر به طور عادلانه دیده شود. ابتدایی‌ترین مدل کسب‌وکار در یک زیست بوم تحول دیجیتال، بازاری است که چندین فروشنده و خریدار گرد هم می‌آیند و به نسبت ارزش ایجاد شده در تعاملات، سود می‌برند [2].

مرحله ۶: اعتبارسنجی

در این مرحله، طرح آزمایشی و جریان خط تولید به روش جدید، اعتبارسنجی می‌شود. تا از درستی و نتایج خروجی استفاده از سامانه‌های رایانه‌ای پیشرفته و همچنین تجهیزات جدید به طور کامل اطمینان حاصل شود. البته بسته به سطح پیچیدگی مراحل و فناوری‌ها، ممکن است از چندین طرح آزمایشی برای اطمینان از ادغام یکپارچه راهبردهای تعریف شده در مراحل اولیه استفاده شود. طرح‌های آزمایشی ممکن است به دلایل زیر اجرا شوند:

- مخاطرات کمتر برای جلوگیری از شکست طرح،
- ارزیابی عملکرد در آزمایش‌های کنترل‌شده اما واقعی،
- بررسی نتایج و خروجی‌های مورد انتظار،
- آزمایش و اعتبارسنجی مزایا و منافع راه‌حل‌های پیشنهادی قبل از اجرای کامل،
- اطمینان از یکپارچگی در تمام سامانه‌ها و فناوری‌ها،
- پیش‌بینی منافع و مزایای اجرای طرح در مقیاس بزرگتر و واقعی،
- اطمینان از پشتیبانی ذی‌نفعان.

طرح آزمایشی باید برگشت پذیر و همراه با جزئیات کاملی از اجرای واقعی برنامه‌ها باشد. طرح آزمایشی باید شامل اهداف روشن، محدوده طرح، جدول زمانی، فهرست فعالیت‌ها، افراد درگیر و نیازهای آموزشی آنها، بودجه و منابع، برنامه نظارت، و تعاریف عملیاتی با امکان اندازه‌گیری، روش‌های اندازه‌گیری، و سامانه جمع‌آوری داده‌ها باشد. ضمناً این طرح در طول اجرا، باید در معرض طیف وسیعی از ورودی‌ها و شرایط واقعی باشد.

پس از اجرای آزمایشی، تیم اجرایی باید تفاوت‌های عملکرد پیش‌بینی‌شده و عملکرد واقعی را تجزیه و تحلیل کنند. آنها باید دلایل اصلی تفاوت‌ها را شناسایی کنند و تغییرات و اصلاحات

احتمالی را نیز مشخص نمایند. بر اساس تجربیات و گزارش ها، همیشه تفاوت‌هایی بین نتایج آزمایشی یا شبیه سازی شده با اهداف تعیین شده وجود دارد. در صورت مطلوب بودن نتایج، اجرا در مقیاس واقعی (در مرحله هفتم) در دستور کار قرار می‌گیرد. این امر مستلزم اجرای مجدد مراحل سه، چهار، و پنج برای اطمینان از مطلوب بودن راه حل بهینه می‌باشد. تیم اجرایی همچنین باید یک برنامه اجرایی انتقال تهیه و رویه‌های اجرای آزمایشی را مستند کند [2].

مرحله ۷: اجرای نهایی

با اعتبارسنجی موفقیت‌آمیز فرآیند تولید آزمایشی، طرح باید به مقیاس واقعی تبدیل شود. این طرح با هدف استقرار دائمی است و شامل برنامه‌های دقیق کنترلی در فرآیند جدید برای نظارت بر فعالیت‌ها می‌باشد. باید دقت کرد، این مرحله نیز به همان شیوه اجرای آزمایشی، اما برای تطبیق با نتایج آرمانی هدایت می‌شود. ضمناً صرفه‌جویی در هزینه به عنوان یکی از ویژگی‌های رویکرد شش سیگما مد نظر مدیران خواهد بود. در این مرحله، افراد بیشتری از مدیران ارشد شرکت برای استفاده از تجربیات آنها، در طرح حضور خواهند داشت. به این ترتیب، می‌توان یک کمیته راهبری تشکیل و اعضای تیم اصلی طرح برای تبدیل شدن به قهرمانان دیجیتالی را آموزش و توجیه نمود تا ابتکارات و تغییرات را به خوبی و اشتیاق پیش ببرند و حس مالکیت را بین تمام کارکنان شرکت ایجاد کنند [2].

نقشه راه صنعت نسل چهار برای شرکت‌های کوچک و متوسط

بیش از ۹۹ درصد از تمام شرکت‌ها در شبکه جهانی تولید از نوع کوچک و متوسط هستند. این شرکت‌ها نقش مهمی در افزایش تعداد کاربران فناوری‌های صنعت نسل چهار دارند و تاثیر به سزایی در تحقق ظرفیت‌های صنعت نسل چهار برای همه شرکت‌ها در شبکه جهانی تولید خواهند داشت. با این حال، شرکت‌های کوچک و متوسط هنوز گام‌های اساسی به سمت تحول دیجیتال صنعت نسل چهار را برداشته‌اند [15].

تمام راه‌حل‌هایی که به نقشه راه می‌پردازند تمایزی بین شرکت‌های بزرگ و شرکت‌های کوچک و متوسط قائل نیستند، اما عمدتاً به ساختار، منابع انسانی، و تخصص‌های موجود در شرکت‌های بزرگ متکی هستند. برای مثال، به بخش‌هایی از جمله مدیریت راهبردی، تدارکات، منابع انسانی، تیم‌های انتقال صنعت نسل چهار، و تولید اشاره می‌کنند. در حالیکه شرکت‌های کوچک و متوسط فارغ از چنین منابعی، دارای ساختار تک لایه هستند.

اگر چه شرکت‌های کوچک و متوسط از اهمیت و ارتباط فناوری‌ها به خوبی آگاه هستند، اما نسبت به شرکت‌های بزرگ، از توان اجرایی بسیار پایین تری برخوردارند. انگیزه اصلی آنها برای اجرای فناوری‌های صنعت نسل چهارم، حداقل کاهش هزینه‌ها و بهبود زمان عرضه به بازار است. اما با موانع مهمی از جمله کمبود دانش، تمرکز بیشتر بر عملیات اجرایی تا توسعه شرکت، عدم درک اهمیت راهبردی تحول دیجیتال به سمت صنعت نسل چهارم، منابع انسانی بسیار کم و نیاز آموزشی مداوم کارکنان خود روبرو هستند.

به عنوان مثال، هر کدام از کارکنان شرکت‌های کوچک و متوسط، در مهاجرت به صنعت نسل چهارم، و در نقشه راه بحث شده در بخش‌های قبلی باید به جای یک تیم اجرای تحول، فعالیت کند. به منظور اجرای برنامه‌های ورود به دنیای صنعت نسل چهارم در شرکت‌های کوچک و متوسط، لازم است در تهیه نقشه راه به موارد زیر دقت شود:

- دسترسی به فناوری‌های صنعت نسل چهارم ساده شود؛
 - در نحوه سرمایه‌گذاری دقت کافی شده باشد؛
 - اهداف انتخاب فناوری‌ها بسیار دقیق و همراه با جزئیات کافی باشد.
- فناوری‌های کلیدی صنعت نسل چهارم برای شرکت‌های کوچک و متوسط که تجربیات پیاده‌سازی فراوانی دارند و ضمناً با کمترین سرمایه‌گذاری قابل دستیابی هستند، به موارد زیر محدود می‌شود:

- اینترنت اشیاء که در چند سال گذشته باعث کاهش هزینه‌های فوق‌العاده شده است؛
- دوقلوی دیجیتال (DT) که بسیار عمومی شده و شامل فناوری‌ها و اجزای بسیار زیادی است؛
- رایانش ابری که اکنون یک فناوری رایج و هزینه آن به ازای استفاده محاسبه می‌شود؛
- واقعیت مجازی (VR) که یک فناوری بسیار انعطاف‌پذیر است و می‌تواند در چند حوزه تولید پیاده‌سازی شود.

برای آشنایی بیشتر با این فناوری‌ها و دیگر فناوری‌های مرتبط، به کتابهای انقلاب صنعتی چهارم در تولید و انقلاب صنعتی چهارم در لجستیک از همین مولف مراجعه شود.

با توجه به مباحث و دلایل اشاره شده، راه‌های جدیدی باید پیدا کرد تا شرکت‌های کوچک و متوسط برای برداشتن گامهای اولیه به سوی صنعت نسل چهارم آماده شوند. مراکز علمی باید بیشتر به تجربیات موفق که در مقیاس شرکت‌های کوچک و متوسط است بپردازند و توصیه شده تا کشورها ویتیرینی از طرح‌های موافق و قابل اجرا در این شرکت‌ها همراه با تسهیلات مناسب را در دسترس عموم قرار دهند.

ارائه منابع آموزشی جامع و در عین حال کاربردی، اولین راه حل توجه به شرکت‌های خرد، کوچک، و متوسط برای پیوستن به کاروان تحول دیجیتالی صنعت نسل چهارم می‌باشد. علاوه بر این، ارائه راه‌حل‌ها و چارچوب‌های قابل اجرا در شرکت‌های کوچک و متوسط نیز توصیه شده است.

در اینجا دستورالعمل‌های پیشنهادی مؤسسه تولید^۱ دانشگاه کمبریج [16] به عنوان نمونه‌ای جامع و قابل اجرا برای شرکت‌های کوچک و متوسط ارائه شده است. این دستورالعمل به شش گام ابتدایی تا عملیاتی کردن فناوری‌های صنعت نسل چهارم به شرح زیر می‌پردازد. برای آشنایی با جزئیات این دستورالعمل، می‌توان به منبع اشاره شده مراجعه کرد. البته استفاده از نکات، توصیه‌ها، و راه‌حل‌هایی که قبلاً اشاره شده را نیز باید در دستور کار قرار داد تا به جزئیات بیشتری دست یافت و دستیابی به نتایج موفق را پشتیبانی نمود.

گام صفر: شناسایی گلوگاه‌ها

نقشه راه ویژه شرکت‌های کوچک و متوسط با شناسایی حوزه‌هایی از تولید که کارایی ضعیفی دارند آغاز می‌شود. شناسایی گلوگاه‌ها باید شامل ارزیابی شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI) در خط تولید، و پاسخگویی به این سؤالات باشد: چرا باید اقدام کنیم؟ اکنون کجا هستیم؟

گام یک: تدوین راهبرد

این یک گام حیاتی برای تهیه نقشه راه است. در طول این مرحله، فرد مسئول در شرکت باید تدابیر دقیق بلند مدت با استفاده از فناوری‌های تجربه شده از صنعت نسل چهارم در دیگر شرکت‌ها را برای مقابله با این تنگناها، همراه با جزئیات سرمایه‌گذاری در نظر بگیرد. در این گام به این سؤالات پاسخ داده می‌شود: کجا می‌خواهیم برویم؟ چگونه؟ با چه منابع و زمانی؟

¹ Institute for Manufacturing (IfM)

گام دو: ایده‌ها و نمونه‌ها

در این گام تجهیزات انتخاب شده به صورت آزمایشی در خط تولید راه اندازی می‌شوند. باید دقت کرد در این مرحله تمام خط تولید درگیر نمی‌شود. موفقیت خروجی نمونه‌های اولیه باید در یک بازه زمانی مشخص ارزیابی شود. چنانچه راه حل آزمایشی نتایج امیدوارکننده و قابل قبولی نداشته باشد، بایستی به گام اول بازگشت و راه‌حل‌های دیگری انتخاب شود. ممکن است آزمایش برخی راه‌حل‌ها مستلزم هزینه و منابع هنگفت و خارج از توان شرکت باشد. در این مواقع، بررسی دقیق تر تجربیات دیگر شرکت‌ها نیز توصیه می‌شود. ضمناً برخی راه‌حل‌ها را می‌توان از طریق شبیه سازی آزمایش کرد. یا اینکه در این مواقع از ظرفیت شرکت‌های دانش بنیان برای یافتن راه‌حل‌های مطمئن استفاده نمود.

گام سه: اتصال دستگاه‌ها

اگر نتایج در گام دوم رضایت بخش باشد، فرآیند با استقرار راه‌حل در کل خط تولید ادامه می‌یابد. این مرحله با آموزش اپراتورها در خط تولید در مورد نحوه استفاده از ابزارها و تجهیزات جدید، و طی چند دوره تمرینی آغاز می‌شود. در این مرحله پذیرش فناوری‌ها و راه‌حل‌های انتخاب شده در بین کارکنان به دلیل تجربه آزمایشی و نتایج به دست آمده، بهبود یافته است.

گام چهار: تجزیه و تحلیل

از آنجا که ممکن است شاخص‌های کلیدی عملکرد شناسایی شده در گام اول، و نحوه اندازه‌گیری آنها در این مرحله جوابگو نباشد، در این گام شاخص‌های بیشتری انتخاب می‌شود. استفاده از رایانش ابری برای ذخیره سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از فناوری‌های پیاده‌سازی شده مناسب ترین و به صرفه ترین روش خواهد بود.

گام پنج: عملیاتی شدن

گام نهایی در این پیشنهادات، اجرای رسمی فناوری و تجهیزات انتخاب شده در تمام خط تولید است. در این مرحله علاوه بر در نظر گرفتن شاخص‌های کلیدی عملکرد، پایداری هم کنترل می‌شود.

مدل‌های ارزیابی بلوغ دیجیتال

شرکت‌ها با استفاده از برخی ابزارهای ارائه شده در اینترنت، می‌توانند میزان آمادگی خود را برای اجرای تحولات دیجیتالی از نوع انقلاب صنعتی چهارم ارزیابی کنند. اما این ارزیابی‌ها بر اساس شاخص‌های بلوغ، تنها سطح آمادگی دیجیتالی وضع موجود را نشان می‌دهند و نحوه روبرو شدن با طرح‌ها و برنامه‌های تحول دیجیتالی را ارائه نمی‌کنند.

از میان تعداد زیاد مدل‌های ارزیابی بلوغ، در جدول زیر به تعداد ۱۱ مدل تنها از نظر ابعاد و سطوح ارزیابی اکتفا شده است. سپس از میان آن‌ها، مدل ارزیابی بلوغ و آمادگی دیجیتالی (موسوم به DREAMY) به جهت نزدیکی به مفاهیم و فضای شرکت‌ها، و در دسترس بودن ابزارهای آن، و مدل ارزیابی بلوغ PwC به جهت انطباق آن با مفاهیم و فرصت‌های صنعت نسل چهار توضیح داده می‌شود.

جدول ۳ معرفی مدل‌های ارزیابی بلوغ شرکت‌ها [12]

نام محقق	سال	نام مدل	ابعاد	سطوح بلوغ
Parkinson, B; Rockwell Automation, Inc.	2014	Rockwell Automation		پنج سطح: ارزیابی، شبکه ایمن و بهنگام شده، داده‌های دارای ساختار و در دسترس، تجزیه و تحلیل، و همکاری
VDMA, RWTH Aachen, IW Consult	2015	IMPULS	شش بعد: راهبرد و سازمان، کارخانه هوشمند، عملیات هوشمند، محصولات هوشمند، داده خدمت محور، و کارکنان	شش سطح: ساده، مبتدی، متوسط، با تجربه، متخصص، و متخصص با کارایی بالا
Geissbauer, R.; Vedso, J.; Schrauf, S.	2016	PwC	هفت بعد: کسب‌وکار، تولیدات و خدمات،	چهار سطح: ابتدایی، یکپارچگی عمودی،

نام محقق	سال	نام مدل	ابعاد	سطوح بلوغ
			یکپارچگی زنجیره ارزش، تجزیه و تحلیل داده، معماری چابک فناوری اطلاعات، سازگاری و ایمنی، سازمان و فرهنگ	همکاری افقی، متخصص دیجیتال
Schumacher, A.; Erol, S.; Sihn, W.	2016		نه بعد: راهبرد، راهبری، مشتریان، محصولات، عملیات، فرهنگ، مردم، حکمرانی، و فناوری	سطوح یک تا پنج: سطح یک برابر با اجرا نشده سطح پنج برابر با کامل و اجرا شده
Ganzarain, J.; Errasti, N.;	2016		سه مرحله: تجسم، ممکن سازی، تصویب.	پنج سطح: ابتدایی، مدیریت شده، تعریف شده، متحول، مدل کسب و کار دقیق
Leyh, C.; Schäffer, T.; Bley, K.; Forstenhäusler. S.;	2016	CMMI 4.0	چهار بعد: یکپارچگی عمودی، افقی، توسعه دیجیتال، ترکیب فناوری‌ها ^۱	پنج سطح دیجیتال: پایه، حد وسط، افقی، عمودی، و جامع
Schuh, G.; Anderl, R.; Gausemeier, J.; Hompel, M.; Wahlster, W.	2017	ACATECH	چهار بعد: منابع، سامانه‌های اطلاعات، فرهنگ، و ساختار سازمانی	شش سطح: رایانه‌ای، اتصال، دیده شدن، شفافیت، قابلیت پیش‌بینی، سازگاری

¹ Technology Crossing

نام محقق	سال	نام مدل	ابعاد	سطوح بلوغ
De Carolis, A.; Macchi, M., Zegri, E.; Terzi, S.;	2017	DREAMY	چهار بعد: فرآیندها، کنترل و نظارت، فناوری، سازمان	پنج سطح: ابتدایی، مدیریت شده، تعریف شده، یکپارچه و متقابل، دیجیتالی محور
Gökalp, E., Şener, U., Eren, P.E.	2017		پنج بعد: مدیریت دارایی، حکمرانی داده، مدیریت برنامه کاربردی، تحول فرآیندی، همسویی سازمانی	شش سطح: ناقص، تحقق یافته، مدیریت شده، تثبیت شده، قابل پیش‌بینی، بهینه شده
Canetta, L; Barni, A; Montini, E.	2018		پنج بعد: راهبرد، فرآیندها، محصولات و خدمات، فناوری، و منابع انسانی	چهار سطح: فقدان، ابتدایی، متوسط، با تجربه
Sjodin, DR; Parida, V.; Leksell, M.; Petrovic, A.	2018		سه بعد: کارکنان، فرآیندها، و فناوری	چهار سطح: فناوری‌های متصل، جمع‌آوری و نشر داده‌های ساخت یافته، تجزیه و تحلیل فرآیند و بهینه‌سازی، تولید هوشیار و قابل پیش‌بینی

مدل ارزیابی بلوغ و آمادگی دیجیتالی شرکت‌های تولیدی^۱

از میان تعداد زیاد مدل‌های ارزیابی بلوغ، شاید بتوان گفت مدل ارزیابی بلوغ و آمادگی دیجیتال که بر اساس اصول الهام‌بخش چارچوب مدل بلوغ یکپارچه قابلیت‌ها (موسوم به CMMI) تهیه شده از همه به مفاهیم رایج در شرکت‌ها نزدیک تر است.

^۱ Digital REadiness Assessment MaturitY model (DREAMY)

در این مدل، ابتدا حوزه فرآیندهای راهبردی سازمان شرکت‌های تولیدی برای تحول دیجیتال شناسایی و بر اساس یک معماری ماژولار و مقیاس پذیر سازماندهی می‌شود. تمرکز مدل مورد اشاره روی زنجیره فعالیت‌هایی است که از طریق مدیریت چرخه محصول، فرآیند، و سازمان ایجاد ارزش می‌کنند. برای آشنایی با این مدل، فرآیندهای یک شرکت تولیدی در پنج حوزه اصلی گروه بندی می‌شوند:

- طراحی و مهندسی
- مدیریت تولید
- مدیریت کیفیت
- مدیریت نگهداری و تعمیرات
- مدیریت تدارکات

هر حوزه شامل تعدادی فرآیند اصلی است که به نوبه خود توسط فرآیندهای داخلی تعریف می‌شوند. از این فرآیندها برای تجزیه و تحلیل عملکردها و قابلیت‌های شرکت استفاده می‌شود. هر حوزه فرآیندی را می‌توان به عنوان یک واحد مستقل در نظر گرفت که بسته به ویژگی‌های شرکت ممکن است برای تعریف فرآیندهای مربوطه در نظر گرفته شود. البته در صورت نیاز و بدون تاثیر بر چارچوب کلان مدل، حوزه‌های جدید فرآیندی را می‌توان اضافه نمود.

جدول ۴ سطوح مدل ارزیابی بلوغ و آمادگی دیجیتالی شرکت‌های تولیدی [4]

سطوح بلوغ	توضیح
سطح یک: ابتدایی	کنترل فرآیند ضعیف است، یا فرآیند اصلاً کنترل نمی‌شود. مدیریت فرآیند واکنشی است و از ابزارهای سازمانی و فناوری‌های مناسب زیرساختی که امکان تکرار، قابلیت استفاده، یا توسعه راه‌حل‌ها را فراهم می‌کنند، بهره نمی‌برد.
سطح دو: مدیریت شده	این فرآیند تا حدی بر اساس برنامه‌ریزی اجرا می‌شود. مدیریت فرآیندها در این سطح از بلوغ، به دلیل ضعف سازمانی یا کمبود فناوری‌های توانمندساز ضعیف است. در این سطح از بلوغ، فرآیندها بر اساس اهداف خاص و به طور مستقل، یکپارچه‌سازی شده و با تجربه کارکنان هدایت می‌شوند، که نشان‌دهنده بلوغ نسبی در مدیریت توسعه زیرساختی است.

سطوح بلوغ	توضیح
سطح سه: تعریف شده	فرآیندها در این سطح از بلوغ، به کمک برنامه‌ریزی و اجرای شیوه‌های مناسب و رویه‌های مدیریتی تعریف می‌شوند. فرآیندها با برخی محدودیت‌ها در ساختار سازمانی یا فناوری‌های توانمندساز محدود شده‌اند. بنابراین، نحوه برنامه‌ریزی و اجرای فرآیندها در این سطح از بلوغ، موجب برجسته کردن برخی شکاف‌ها یا عدم یکپارچگی و تعامل پذیری در برنامه‌ها و تبادل اطلاعات می‌شود.
سطح چهار: یکپارچه و قابل تعامل	فرآیندها در این سطح از بلوغ، بر اساس یکپارچگی و تعامل پذیری برخی از برنامه‌ها و تبادل اطلاعات مدیریت ساخته شده و به طور کامل با برنامه‌ریزی اجرا می‌شوند. یکپارچگی و قابلیت تعامل مبتنی بر استانداردهای مشترک و پذیرش شده در داخل شرکت، که برگرفته از استانداردهای معتبر رایج در صنعت می‌باشند، با توجه به بهترین شیوه‌ها در هر دو حوزه سازمان و فناوری‌های توانمندساز، برقرار شده است.
سطح پنج: دیجیتال محور	فرآیندها در این سطح از بلوغ، دیجیتالی شده و مبتنی بر یک زیرساخت فناوری محکم، و بر اساس یک سازمان رشد یافته بالقوه هستند که در تبادل اطلاعات، در همکاری بین کارکردهای شرکت، و در تصمیم‌گیری‌ها، از سرعت، استحکام، و امنیت پشتیبانی می‌کنند.

در ارزیابی قابلیت‌های دیجیتالی یک شرکت، فناوری‌های نوظهور برای پشتیبانی از فرآیندها باید در نظر گرفته شوند. ضمناً بدون فرآیندهای ساخت یافته و ساختارهای سازمانی تعریف شده، شرکت‌ها نمی‌توانند از فرصت‌هایی که این فناوری‌ها ارائه می‌دهند، بهره‌برداری کنند. به همین دلیل، ارزیابی آمادگی دیجیتالی شرکت‌ها در چهار بُعد زیر تحلیل می‌شود [4]:

- بُعد فرآیند: به طور خاص نحوه انجام فرآیندها در شرکت را پوشش می‌دهد؛
- بُعد نظارت و کنترل: نحوه نظارت و کنترل یک فرآیند را شامل می‌شود؛
- بُعد فناوری: سامانه‌ها، سخت‌افزارها، و نرم‌افزارهای مورد استفاده برای پشتیبانی از اجرای فرآیندها را شامل می‌شود؛
- بُعد سازمان: جنبه‌های سازمانی فرآیندها در شرکت را پوشش می‌دهد.

در مدل ارزیابی بلوغ و آمادگی دیجیتالی، به منظور جمع‌آوری اطلاعات مفید، از یک ابزار ارزیابی به صورت پرسشنامه استفاده می‌شود. این پرسشنامه از حدود ۲۰۰ سوال تشکیل شده و

بر اساس حوزه‌های فرآیندی، سازماندهی شده است. هدف این ابزار ارزیابی، شناسایی قابلیت‌های شرکت با توجه به ابعاد تحلیلی چهارگانه یاد شده است. سوالات این پرسش‌نامه برای سنجش سطوح بلوغ آمادگی دیجیتالی به مقیاس عددی طراحی شده است. عدد یک، بیان‌کننده پایین‌ترین سطح بلوغ، و عدد پنج، بالاترین سطح بلوغ را نشان می‌دهد. به این ترتیب از یک روش امتیازدهی استاندارد استفاده شده است.

مدل ارزیابی بلوغ PwC

ایجاد قابلیت‌ها، تطبیق فرآیندها و فناوری اطلاعات، و مدیریت تغییرات فرهنگی شرکت‌ها سالها طول خواهد کشید. به همین دلیل، برای حرکت بهتر و مؤثرتر به سمت تحولات دیجیتالی صنعت نسل چهارم، راهبری این انتقال بایستی به عهده مدیریت ارشد سازمان باشد. اما به همان مهمی، متقاعد کردن ذی‌نفعان اصلی است که باید آستین‌ها را بالا بزنند و تغییرات مورد نظر را اجرا کنند. یکی از راه‌های به صف کردن قهرمانان در سرتاسر سازمان، آموزش ذی‌نفعان از همان ابتدا از طریق برگزاری نمایشگاه یا حضور در نمایشگاه‌های فناوری و بازدید از مراکز نوآوری است.

بسیاری از شرکت‌های صنعتی قبلاً دیجیتالی کردن کسب‌وکار خود را آغاز کرده‌اند، اما اغلب این تحولات در سیلوهای سازمانی حبس شده و از یک رویکرد جامع برخوردار نیستند. صاحب‌نظران در مدل‌های ارزیابی بلوغ، شرکت‌ها را به ارزیابی سطوح بلوغ خود در همه زمینه‌های صنعت نسل چهارم توصیه می‌کنند تا نقاط قوت خود را شناسایی و نیاز به سامانه‌ها و فناوری‌های جدید را مشخص کنند. مدل ارزیابی بلوغ PwC یکی از ابزارهایی است که می‌تواند به سرعت بخشیدن به این فرآیند تحول کمک کند.

در مدل بلوغ PwC، قابلیت‌های صنعت نسل چهارم در هفت بُعد و چهار مرحله به شرح جدول زیر توسعه می‌یابد.

جدول ۵ قابلیت‌های صنعت نسل چهارم در مدل بلوغ PwC [6]

مرحله یک: مبتدی دیجیتالی	
بُعد اول: مدل‌های	راه‌حل‌های دیجیتالی و برنامه‌های کاربردی، مستقل از
کسب‌وکار دیجیتالی و	یکدیگر هستند.
دسترسی مشتری	

فعالیت در کانال های بر خط از مسیرهای فیزیکی جدا است. تمرکز بر محصول به جای تمرکز بر مشتری است.	بُعد دوم: دیجیتالی سازی ارائه محصولات و خدمات
بیشتر فرآیندهای فرعی دیجیتالی و خودکار شده اند یکپارچه سازی تولید با شرکای داخلی و بیرونی به صورت جزئی است. برخی فرآیندها برای تعامل با یکدیگر استاندارد شده اند.	بُعد سوم: دیجیتالی سازی و یکپارچه سازی زنجیره های ارزش افقی و عمودی
قابلیت های تحلیلی عمدتاً بر اساس داده هایی است که به صورت نیمه دستی جمع آوری شده، نظارت و پردازش داده ها به صورت انتخابی است، و مدیریت رویداد وجود ندارد.	بُعد چهارم: داده همراه با تجزیه و تحلیل به عنوان قابلیت اصلی
معماری داخلی فناوری اطلاعات غیر یکپارچه است.	بُعد پنجم: معماری چابک فناوری اطلاعات
دارای ساختار سنتی، و بدون تمرکز بر دیجیتالی سازی است.	بُعد ششم: انطباق، امنیت، حقوق، و مالیات
تمرکز عملیاتی تماماً در سیلوها حبس شده است.	بُعد هفتم: سازمان، کارکنان و فرهنگ دیجیتالی
مرحله دو: یکپارچه سازی عمودی	
دارای سبد محصولات و خدمات دیجیتالی، دارای شبکه ارتباط ماشین به ماشین، داده به عنوان تمایز کننده کلیدی است.	بُعد اول: مدل های کسب و کار دیجیتالی و دسترسی مشتری
توزیع کالا از طریق کانال های برخط و غیر برخط به صورت یکپارچه است؛ از تجزیه و تحلیل داده ها (برای مثال برای شخصی سازی) استفاده می شود.	بُعد دوم: دیجیتالی سازی ارائه محصولات و خدمات
دیجیتالی سازی عمودی و فرآیندهای داخلی و جریان های داده در شرکت استاندارد و هماهنگ شده است؛	بُعد سوم: دیجیتالی سازی و یکپارچه سازی

زنجیره های ارزش افقی	تا حدی با شرکای بیرون شرکت یکپارچه‌سازی شده است.
و عمودی	
بعد چهارم: داده همراه	تحلیل داده‌ها با استفاده از سامانه‌های مستقل هوش تجاری متمرکز پشتیبانی می‌شوند. اما از سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری استاندارد استفاده نمی‌شود.
عنوان قابلیت اصلی	
بعد پنجم: معماری	معماری داخلی فناوری اطلاعات همگن و یکپارچه است، اتصال بین داده‌های چند بعدی تا حدی برقرار شده است.
چابک فناوری اطلاعات	
بعد ششم: انطباق، امنیت، حقوق، و مالیات	چالش‌های دیجیتالی شناسایی شده، اما به طور جامع به آن پرداخته نمی‌شود.
بعد هفتم: سازمان، کارکنان و فرهنگ دیجیتالی	همکاری متقابل کارکردی وجود دارد اما ساخت یافته و پایدار نیست.
مرحله سه: تعامل و همکاری افقی	
بعد اول: مدل‌های کسب و کار دیجیتالی و دسترسی مشتری	راه‌حل‌های یکپارچه ارتباط با مشتری در تمام زنجیره تامین مستقر است. همکاری با شرکای بیرونی وجود دارد.
بعد دوم: دیجیتالی سازی ارائه محصولات و خدمات	رویکرد مشتری و تعامل شخصی سازی با همکاری اعضای زنجیره ارزش بر اساس واسطه‌های مشترک و یکپارچه مستقر است.
بعد سوم: دیجیتالی سازی و یکپارچه‌سازی زنجیره های ارزش افقی و عمودی	یکپارچگی افقی فرآیندها و جریان داده‌ها با مشتریان و شرکای بیرونی مستقر است. داده‌ها با یکپارچگی کامل در سرتاسر شبکه زنجیره ارزش بکار گرفته می‌شوند.
بعد چهارم: داده همراه	سامانه هوشمند کسب و کار متمرکز، تمام منابع اطلاعات داخلی و بیرونی مرتبط را جمع‌آوری می‌کند؛ تا حدی از تحلیل‌های پیش‌بینی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های
عنوان قابلیت اصلی	

خاص استفاده می‌شود. از سامانه مدیریت رویدادها هم استفاده می‌شود.	
از معماری فناوری اطلاعات در سرتاسر شبکه شرکای کسب‌وکار به صورت منابع داده به هم پیوسته ^۱ و با کارایی بالا استفاده شده است.	بعد پنجم: معماری چابک فناوری اطلاعات
مخاطرات حقوقی به طور مداوم با شرکای کسب‌وکار مورد بررسی قرار می‌گیرند.	بعد ششم: انطباق، امنیت، حقوق، و مالیات
همکاری در سرتاسر مرزهای شرکت وجود دارد. فرهنگ به اشتراک گذاری تجربیات و اطلاعات نیز وجود دارد.	بعد هفتم: سازمان، کارکنان و فرهنگ دیجیتالی
مرحله چهار: قهرمان دیجیتالی	
مدل‌های توسعه یافته کسب‌وکار جدید با مجموعه محصولات و خدمات نوآورانه، تا حد یک واحد سفارش هم پشتیبانی می‌شود.	بعد اول: مدل‌های کسب‌وکار دیجیتالی و دسترسی مشتری
مدیریت سفر مشتری ^۲ در تمام کانال‌های بازاریابی و فروش دیجیتالی، با کمک به تصمیم‌گیری مشتری و سامانه مدیریت ارتباط مشتری یکپارچه شده است.	بعد دوم: دیجیتالی سازی ارائه محصولات و خدمات
زیست بوم شرکای کسب‌وکار با فرآیندهای مجازی و خود بهینه شده، با تمرکز بر شایستگی‌های اصلی و خودمختاری غیر متمرکز کاملاً دیجیتالی و یکپارچه است؛ دسترسی به	بعد سوم: دیجیتال سازی و یکپارچه‌سازی

¹ Interconnected single data lake

توضیح: منابع با اصطلاح دریاچه داده یک سامانه ذخیره سازی داده است که تمام داده‌های تولید شده توسط یک سازمان را ذخیره می‌کند. دریاچه داده معمولاً مجموعه‌ای از پایگاه‌های اطلاعاتی است، اما فرمت‌های مختلف داده‌ها مانند تصاویر، ویدئو، و انواع دیگر را هم شامل می‌شود. از دریاچه داده علاوه بر ذخیره تمام داده‌ها، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی روندهای آینده نیز استفاده می‌شود.

² Customer Journey Management

مدیریت سفر یا خرید مشتری، فرآیند تعیین اطلاعاتی است که مشتریان در هر مرحله از خرید خود برای انتقال آنها به مرحله بعدی نیاز دارند. به عنوان مثال، اگر مشتری در حال بررسی یک نام تجاری است، شرکت باید بداند که چگونه او را متقاعد کند که خرید را انجام دهد.

زنجیره های ارزش افقی و عمودی	مجموعه گسترده ای از اطلاعات اجرایی در زمان‌های نزدیک به واقعی وجود دارد.
بعد چهارم: داده همراه با تجزیه و تحلیل به عنوان قابلیت اصلی	استفاده متمرکز از تجزیه و تحلیل پیش‌بینی، برای بهینه‌سازی بلادرنگ و مدیریت خودکار رویدادها، همراه با پایگاه داده هوشمند و الگوریتم یادگیری ماشینی وجود دارد؛ ضمناً امکان تجزیه و تحلیل تأثیر و پشتیبانی از تصمیمات فراهم شده است.
بعد پنجم: معماری جابک فناوری اطلاعات	دریاچه داده داخلی با داده‌های بیرونی همراه با سازماندهی انعطاف‌پذیر یکپارچه شده است.
بعد ششم: انطباق، امنیت، حقوق، و مالیات	شبکه زنجیره ارزش برای انطباق، امنیت، حقوقی و مالیاتی بهینه‌سازی شده است.
بعد هفتم: سازمان، کارکنان و فرهنگ دیجیتال	همکاری و تعامل به عنوان یک فاکتور کلیدی ایجاد ارزش شناخته شده است.

بخش دوم: مدل‌های سازمانی

books4smes.com

بعد از تنظیم راهبردها، تهیه نقشه راه، و ارزیابی بلوغ که همگی در بخش اول توضیح داده شد، در این بخش به مدل‌های فرآیندی و کسب‌وکار، و ضمناً مدل‌های معماری مرجع پرداخته می‌شود. مدل‌های سازمانی باید در ارتباط با شرح تفصیلی فرآیندهای اصلی ایجاد شوند. در این گام از هر دو رویکرد یکپارچه‌سازی از سطح بالا به پایین برای همگام سازی اهداف مدیریتی، و از سطح پایین به بالا برای به‌کارگیری ایده‌ها و مهارت‌ها در سطح عملیاتی شرکت، و بر اساس یک مدل معماری متناسب با شرایط و توانمندی‌های شرکت استفاده می‌شود.

کمیته راهبری به منظور کنترل و همگام سازی تمام فعالیت‌های پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت نسل چهارم در داخل شرکت شکل می‌گیرد. این کمیته به عنوان یک واحد مستقل و دارای اختیارات لازم، با تجزیه و تحلیل وضعیت جاری در واحدهای مختلف شرکت، و در نظر گرفتن راهبردها و اهداف شرکت، برنامه‌های عملیاتی تحول دیجیتال را بر اساس یک مدل معماری، کنترل و هدایت می‌نماید.

از آنجا که تحول دیجیتال از نوع انقلاب صنعتی نسل چهارم یک تلاش سیستماتیک و کارکردهای متقابل است باید توسط کل شرکت مدیریت و پشتیبانی شود. ایجاد ذهنیت‌های جدید در بین کارکنان و استقبال از تغییرات ناشی از این فناوری‌ها، به عنوان بستر ادغام و یکپارچه‌سازی فناوری‌های جدید با عملکردها و سامانه‌های موجود، کلید موفقیت یک برنامه تحول دیجیتال است. این عوامل، شرکت را به گام بعدی انتقال، یعنی مدیریت تغییر هدایت می‌کنند.

در این بخش به سه موضوع اساسی یعنی مدل فرآیندی، مدل کسب‌وکار، و مدل معماری متناسب با تحول دیجیتال و ظرفیت‌های آنها به تفصیل و با هدف شناخت بیشتر از اقدامات و الزامات ورود به دنیای صنعت نسل چهارم پرداخته می‌شود.

فصل ۳: مدل فرآیندی و کسب و کار در تحول دیجیتال صنعت نسل

چهار

مدل فرآیندی

اجرای منظم مراحل مدل فرآیندی، شرکت‌ها را به چشم‌انداز و نقشه راه خاص، اهداف روشن، برنامه اجرایی مشخص هدایت می‌کند. مدل فرآیندی عمدتاً بر سه رویکرد نوآوری مشترک، نقشه راه راهبردی، و اجرای طرح تاکید می‌کند. در ادامه مراحل مدل فرآیندی تحول دیجیتال با مبنای صنعت نسل چهار به تفصیل توضیح داده شده است.

جدول ۶ سه رویکرد مرحله ای در مدل فرآیندی با هدف تحول دیجیتال [17]

رویکرد	هدف	توضیح
رویکرد نوآوری مشترک	تصویر سازی یا تحول انقلابی ^۱	شناخت عمومی از صنعت نسل چهار درک افقی روشن از صنعت نسل چهار خاص هر شرکت
رویکرد نقشه راه	ممکن سازی ^۲	تهیه نقشه راه راهبردی ویژه صنعت نسل چهار شناسایی عوامل موفقیت داخلی و خارجی
رویکرد طرح	تصویب کردن ^۳	آماده سازی طرح‌های تحول دیجیتال پیشنهاد اجرای طرح‌های انتقال به صنعت نسل چهار

¹ Envision

² Enable

³ Enact

مرحله یک: رویکرد نوآوری مشترک یا تصویرسازی صنعت نسل چهار

در مرحله رویکرد نوآوری مشترک، شرکت‌ها با مفاهیم کلی چشم‌انداز صنعت نسل چهار آشنا شده، درک شان را بیشتر می‌کنند، و ایده‌های کلی این تحول دیجیتال را با اهداف شرکت و نیازهای مشتری همسو می‌کنند. در رویکرد نوآوری مشترک شرکت‌ها به بازاندیشی در مدل‌های کسب‌وکار با مشارکت چند ذی‌نفع برای درک متقابل از تحولات داخلی و بیرونی می‌پردازند. این رویکرد منجر به گسترش دامنه بکارگیری صنعت نسل چهار با اهمیت راهبردی برای بخش‌های تولید و ضمناً کل شرکت می‌شود. مرحله رویکرد نوآوری مشترک با دو بُعد متقابل به شرح زیر ارزیابی می‌شود:

- بُعد ورودی گرا: با درک یک تصویر کلی از صنعت نسل چهار و چشم‌انداز شرکت، ارکان اصلی در این تحول دیجیتال تشریح می‌شود. در پی این شناخت، توصیه می‌شود دیگر ذی‌نفعان یا شرکت‌های همکار هم با روشی مشابه، چشم‌انداز صنعت نسل چهار خاص خود را تهیه کنند.
- بُعد خروجی گرا: به ترکیب مفاهیم و ایده‌های نو برای درک تصویر کلی و ملموس از آینده شرکت می‌پردازد.

مرحله دو: رویکرد نقشه راه

رویکرد نقشه راه با هدف ممکن سازی، به تجزیه چشم‌انداز بلند مدت صنعت نسل چهار به یک مدل کسب‌وکار ملموس و تدوین راهبردهای اصلی شرکت برای اجرای موفقیت‌آمیز آن اختصاص دارد. راهبردهای مورد اشاره عمدتاً پاسخگوی این سوال هستند که برای رسیدن به نتیجه مطلوب چه کاری باید انجام شود.

در نقشه راه از چهار لایه راهبردی شامل بازار، محصول، فرآیند و شبکه ارزش، استفاده می‌شود. این لایه‌ها، بُعدهای عمودی و افقی نقشه راه را تشکیل می‌دهند. در هر لایه اساساً توسعه مورد انتظار بر اساس یک دیدگاه طراحی می‌شود:

- لایه راهبردی بازار شامل بخش‌های مشتری است؛
- لایه راهبردی محصول شامل ارزش‌های پیشنهادی است؛
- لایه راهبردی فرآیند شامل منابع کلیدی، فناوری و فعالیت‌ها است؛
- لایه راهبردی شبکه ارزش نیز شامل شرکای کسب‌وکار برای تحقق ارزش پیشنهادی است.

مرحله سه: رویکرد طرح و تصویب آن

در این مرحله راهبردها به طرح‌های اجرایی تبدیل می‌شوند. بنابراین، اهداف طرح، تیم‌های اجرایی و راهبری و نقاط عطف اصلی باید در این مرحله تعریف شوند. طرح‌ها متعاقباً با توجه به منابع موجود، مخاطرات بالقوه، و تأثیر آنها بر مأموریت کلی، ارزیابی و اولویت بندی می‌شوند. ذی‌نفعان بیرونی شرکت فقط تا جایی که لازم باشد همکاری می‌کنند.

مدل کسب‌وکار

در اینجا ابتدا مدل‌های کسب‌وکار با رویکردهای مختلف سنتی، تا مدرن و متکی به پارادایم تحول دیجیتال صنعت نسل چهار به تفکیک ارائه می‌گردد. سپس در گام بعدی، به طراحی مدل‌های کسب‌وکار با الزامات و نوآوری‌های جدید در روش‌های تولید پرداخته می‌شود.

گام اول: رویکردهای مدل کسب‌وکار

مدل کسب‌وکار با تأکید بر مفاهیم موجود یا سنتی: تعاریف و ویژگی‌های بسیاری از مدل‌های کسب‌وکار تاکنون بیان شده است. اما پاسخ به سوالات اساسی که برای همه کسب‌وکارها یکسان است یکی از ویژگی‌های یک مدل کسب‌وکار استاندارد است: چه چیزی به مشتریان ارائه می‌گردد، مشتریان چه گروهی هستند، و چگونه برای ایجاد ارزش به روشی سودآور و پایدار عمل می‌شود [18].

در یکی از تعاریف رایج، مدل کسب‌وکار در بر دارنده معماری محصول، جریان اطلاعات و خدمات است و شامل تمامی بازیگران درگیر، نقش آنها، کسب ارزش و منبع درآمد نیز می‌شود. در تعریف دیگری، مدل کسب‌وکار با مجموعه‌ای از فعالیت‌های سازمانی وابسته به هم نشان داده می‌شود که از طریق آن منابع انسانی، فیزیکی، و سرمایه‌ای برای دستیابی به اهداف شرکت گرد هم می‌آیند.

در بیشتر تعاریف ارائه شده به منابع یا عناصر سایبری اشاره نمی‌شود و مدل کسب‌وکار را ساده می‌بینند. در این تعاریف، مدل کسب‌وکار به عنوان توصیفی از فرآیند ایجاد ارزش، یا صرفاً کسب درآمد دیده می‌شود.

اما با جمع بندی تمام تعاریف ارائه شده، مدل کسب‌وکار می‌تواند دو شکل یا رویکرد متفاوت داشته باشد. مدل ارزش و مدل فرآیند [18]:

- مدل ارزش بر چگونگی ایجاد ارزش، توسط چه کسی و برای چه کسی تمرکز دارد. این عمدتاً نگاهی راهبردی است که به شرکت کمک می‌کند تا موقعیت خود را برای دستیابی به حداکثر سود از فرصت‌های فعلی، جدید یا در حال ظهور تعریف کند.
- از سوی دیگر، مدل فرآیند یک نمای کلی و معماری از فرآیندها با توجه به راهبرد کسب‌وکار است. در این رویکرد، تمرکز روی این موضوع است که چگونه کارها در یک کسب‌وکار خاص برای دستیابی به اهداف خاص باید انجام شوند.

مدل کسب‌وکار با تاکید بر بستر اینترنت اشیاء: در طول سال‌های گذشته، تقریباً در همه بخش‌ها با پیشرفت‌های شگفت‌انگیز فناوری جدید و تحول دیجیتالی روبرو بودیم و برنامه‌های کاربردی جدید در فرآیندهای کسب‌وکار به لطف فناوری‌های جدید فعال شدند. نوآوری‌های جدیدی برای جمع‌آوری و مدیریت داده‌های مجازی و فیزیکی از تجهیزات، کاربران، حسگرها و غیره خلق شده است. شبکه‌های جهانی اینترنت اشیاء از آن دسته ابتکاراتی است که قادر به برقراری ارتباط و کار از طریق انواع دستورالعمل‌های معتبر و استانداردهای ارتباطی است. هدف زیرساخت اینترنت اشیاء اشتراک‌گذاری اطلاعات در شبکه‌های خاص، به صورتی انعطاف‌پذیر، مطابق با نیازها و مستقل است.

برای شناخت بهتر اینترنت اشیاء و تاثیر آن بر مدل‌های جدید کسب‌وکار، به این شبکه به عنوان بخشی یکپارچه از اینترنت آینده می‌نگریم که می‌تواند یک زیرساخت شبکه جهانی پویا با قابلیت‌های خود پیکربندی مبتنی بر پروتکل‌های ارتباطی استاندارد و متقابل باشد و در آن اشیاء فیزیکی و مجازی دارای هویت مستقلی هستند، و با اتکا بر ویژگی‌ها و موجودیت‌های مجازی از واسط‌های هوشمند استفاده می‌کنند و به طور یکپارچه در شبکه اطلاعات تعریف شده و به طور هدفمند ادغام می‌شوند. این پیوستگی و ادغام توانایی اشیاء را برای شناسایی، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل فرآیندها و محیط‌های اطراف به خوبی فراهم می‌کند.

مدل کسب‌وکار با تاکید بر مفهوم سفارشی سازی انبوه^۱: با فراگیر شدن شبکه‌های جهانی تولید و تحولات گسترده دیجیتالی در بستر انقلاب صنعتی نسل چهارم، شرکت‌ها باید به دنبال ساختارهای کسب‌وکار و سازمانی انعطاف‌پذیر و جدید باشند. چرا که چشم‌انداز کلاسیک کسب‌وکار و فعالیت‌های آن دیگر با این واقعیت‌های اقتصادی مطابقت ندارد. کسب‌وکارهای امروزی باید شناخت تخصصی قابل قبولی از سامانه‌های تولید انعطاف‌پذیر داشته باشند تا به

¹ Mass Customization

صورت برخط و زنده به نیازهای مشتری گوش داده و با آن سازگار شوند. این شناخت اکنون به سفارشی سازی انبوه شهرت یافته است.

در مفهوم سفارشی سازی انبوه، شبکه عملیاتی^۱ انعطاف پذیر و پویا است و هدف اصلی آن، انطباق زنده و برخط با نیازهای شخصی مشتری است. در سفارشی سازی انبوه، این فرصت به مشتریان داده می شود تا محصولات خاص خود را فراتر از صرفاً انتخاب، بلکه به دلخواه خود طراحی و سپس سفارش دهند.

تاکنون رویکردهای مختلفی برای سازگاری سفارشی سازی انبوه با نیازهای شخصی مشتری مشاهده شده است [18]:

- طراحی با مشارکت مشتری: در این رویکرد مشتری ها می توانند مطابق با نیازشان در طراحی محصول شامل ابعاد، رنگ، و عملکرد و حتی بسته بندی شرکت کنند.
- تغییر در برخی اجزای محصول: در این رویکرد نیز مشتری ضمن سفارش یک محصول استاندارد، می تواند آن را بر اساس نیازهای خود برای مثال در نوع نرم افزار یا زبان برنامه نویسی، تغییر دهد.
- در این رویکرد مزایای متعددی توصیف شده که از میان آنها به برخی از مؤثرترین آنها اشاره می گردد:

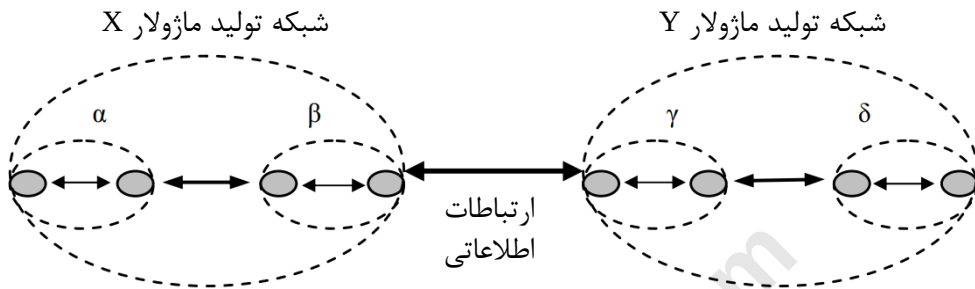
- موقعیت و سهم بازار بهتر ناشی از رضایت مشتری و مراجعه بیشتر؛
- هزینه کمتر ضایعات مواد و موجودی، که در آن شرکت به انبار قطعات، محصولات میانی و نهایی نیازی ندارد؛
- جریان نقدینگی سریعتر ناشی از سرعت تولید بالاتر و توزیع سریعتر؛
- کاهش زمان تحویل که موجب تضمین تولید انعطاف پذیر و جریان اطلاعات می شود و تولیدکننده قادر است به سرعت با نیازهای مشتری سازگار شود؛
- بهبود توانایی تولید کننده برای ارائه طیف گسترده ای از محصولات با هزینه های تولید پایین. در این رویکرد انواع محصولات با اجزای اصلی یکسان اما طراحی نهایی متفاوت پیشنهاد می شود تا طیف وسیعی از محصولات برای رضایت هر مشتری ارائه شود.

مدل کسب و کار با تاکید بر مفهوم تولید ماژولار: شبکه تولید به روش ماژولار^۲ مبتنی بر روشی برای ساده سازی سامانه های تولید پیچیده است. تولید ماژولار ابتدا در صنعت ماشین آلات برای کاهش پیچیدگی سامانه تولید ایجاد شد و سپس به طور گسترده در صنعت فناوری اطلاعات

^۱ Operating Network

^۲ Modular Production Network

و سایر صنایع تولیدی استفاده شد. حاکمیت اطلاعات در شبکه تولید ماژولار شامل فشرده کردن اطلاعات اختصاصی و ضمناً شبیه سازی اطلاعات سامانه است. این قابلیت نوآورانه، توانایی رفع مخاطرات در شبکه‌های تولید ماژولار را افزایش می‌دهد.



شکل ۴ ساختار سامانه ماژولار [19]

در تولید به روش ماژولار، محصول در فرآیندهای متعدد طراحی و تولید می‌شود تا از بسته‌ها و قطعات مختلف برای انواع محصول استفاده کرد. بر اساس تولید ماژولار، شرکت‌ها قادر خواهند بود سفارشات، مهندسی و تولید را ساده کنند. برای مثال، شرکت بوئینگ هزاران قطعه برای هواپیمای استاندارد خود تهیه می‌کند که برای انواع مختلف هواپیماهای سفارشی، پیکربندی می‌شوند. طراحی محصولات در تولید ماژولار را می‌توان در مدل‌های کسب‌وکار تولید کارگاهی یا دیگر محیط‌های تولید، با ظرفیت عملیاتی مورد نیاز انجام داد.

در رویکرد تولید ماژولار، الزاماتی دیده شده که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود [19]:

- اجزای استاندارد ورودی باید کافی و از منابع قابل اعتماد باشند؛
- به کارکنان ماهر و تحصیلات عالی با شایستگی‌های فنی عالی نیاز است؛
- ساختار سازمانی باید بتواند هماهنگی بین ماژول‌ها را بهبود ببخشد.
- در نهایت از مزایای تولید ماژولار می‌توان به موارد زیر به اختصار اشاره نمود:
- توانایی استفاده از اجزای استاندارد برای انواع سفارش محصول؛
- کوتاه کردن زمان تولید، به دلیل اینکه ماژول‌ها را می‌توان به طور همزمان اجرا کرد؛
- تشخیص ساده مشکل به دلیل امکان تفکیک خطاهای فردی، مشکلات کیفیت، و کنترل آسان تر فرآیندها.

مدل کسب‌وکار با تاکید بر مفهوم صنعت نسل چهارم: با در نظر گرفتن اجزای شبکه

اینترنت اشیاء به عنوان یکی از اساسی ترین پیش نیازها، محیط صنعت نسل چهارم به معنای

ادغام دنیای فیزیکی و سایبری در قالب سامانه‌های فیزیکی سایبری، سامانه‌های هوشمند و هوشیار، و دیگر فناوری‌های مرتبط، تعامل کامل و پیشرفته‌ای بین انسان و ماشین و ماشین با ماشین را به نمایش می‌گذارد. بر اساس تجربیات و گزارشات در خصوص پیاده‌سازی صنعت نسل چهار در برخی شرکت‌ها، و ضمناً با اتکا بر نظریه‌های علمی و دانشگاهی و همچنین انتظارات از صنعت نسل چهار، این تحول دیجیتال به تغییرات اساسی در مدل‌های کسب‌وکار جدید دامن زده است. بنابراین هر موجودیت در صنعت نسل چهار و در جریان ارزش‌ها، قادر است به راحتی دیگر اجزای مرتبط را شناسایی و با آنها ارتباط برقرار کند و سفرهای سازی انبوه در تولید را تسهیل نماید و با توجه به کارایی بالا با تمرکز بر صرفه‌جویی در هزینه‌ها و کاهش پیچیدگی‌ها، ضمناً تأثیرات بالایی بر مدل کسب‌وکار به جای می‌گذارد. [18]

گام دوم: طراحی مدل‌های کسب‌وکار

بعد از آشنایی با مفاهیم و تعاریف مدل‌های کسب‌وکار متناسب با تحولات جدید در شرکت‌ها، پرداختن به مبانی طراحی این مدل‌ها مطابق با الزامات و قابلیت‌های صنعت نسل چهار یک ضرورت است.

امروزه طراحی مدل‌های کسب‌وکار با رویکرد نوآوری (ترکیبی از رویکردهای سنتی و الزامات صنعت نسل چهار)، در مراحل اولیه پیاده‌سازی تحول دیجیتال در شرکت‌های کوچک و متوسط، یک ضرورت است. برای این منظور شناخت مدل‌های معماری مرجع با زمینه کارکرد آنها در شرکت‌های کوچک و متوسط نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل در فصل بعد به موضوع مدل‌های معماری مرجع پرداخته شده است.

ضمناً شرکت‌ها علاوه بر پیروی از استانداردها، و استفاده از مدل‌های مرجع کسب‌وکار، به سرمایه‌گذاری اولیه بالقوه زیادی در زمینه نرم‌افزارهای استاندارد و سخت‌افزارهای مرتبط با کارایی بالا هم نیاز دارند.

برای نمایش بهتر مدل‌های کسب‌وکار، و با توجه به ابعاد مختلف صنعت نسل چهار، سکوی زیست بوم صنعت نسل چهار، با شش سطح مفهومی از یک مدل کسب‌وکار هوشمند (مطابق شکل زیر) معرفی می‌شود:

- تعامل‌پذیری به ارتباط مشترک بین ماشین‌ها و افراد اشاره دارد.
- مجازی‌سازی به مدل مجازی و استقرار کسب‌وکار هوشمند اشاره دارد.

- عملیات و رخدادهای، به جمع‌آوری داده‌ها و گردش اطلاعات، تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری‌ها در زمان واقعی اشاره دارد.
- ماژولار بودن تولید هوشمند تحت شرایط صنعت نسل چهارم، برای پاسخگویی سریع به نیازها و سازگاری با تغییرات است.
- تمرکز زدایی در فرآیندهای کسب‌وکار با هدف بیشینه نمودن بهره‌وری و بهینه‌سازی ظرفیت‌های تولید و خدمات است.
- عرضه محصول و خدمات از کانال‌های مختلف و پیوسته، به استفاده از ظرفیت‌های یکپارچه در بخش‌های مختلف تولید و لجستیک شرکت اشاره دارد.



شکل ۵ شش سطح مفهومی در سکوی صنعت نسل چهارم [18]

اقدامات مهمی که شرکت‌ها در پیوستن به یک پلتفرم صنعت نسل چهارم باید انجام دهند، به طور خلاصه شامل تجهیزات جمع‌آوری داده‌ها، زیر ساخت ارتباطی، و تجزیه و تحلیل داده‌ها به شرح زیر است:

- تجهیز شرکت‌ها به دستگاه‌ها و حسگرهای شناسایی برای جمع‌آوری خودکار داده‌ها از ماشین آلات و تجهیزات، خطوط تولید، انبارها و سایر بخش‌ها.
- زیرساخت ارتباطی مناسب برای ارتباط بر خط بین کلیه عوامل و عناصر فعال اعم از انسانی و غیر انسانی در شرکت به نحوی که تمام این ارتباطات باید با سامانه‌های فناوری اطلاعات و اجرایی شرکت یکپارچه باشند.

- استفاده از یک سامانه نرم‌افزاری برای تجمیع و نگهداری داده‌ها، تجزیه و تحلیل‌ها، و ارائه نتایج به دیگر سامانه‌ها و کاربران مرتبط. [18]

طراحی مدل کسب‌وکار با تاکید بر انقلاب صنعتی نسل چهار

در مدل کسب‌وکار با رویکرد صنعت نسل چهار، پرداخت پول توسط مشتری به عنوان جریان اصلی درآمد است، و تامین کننده به عنوان شریک کلیدی دیده می‌شود. یکی دیگر از الزامات و ویژگی‌های این مدل کسب‌وکار، مطابقت آن با شرایط سکوی صنعت نسل چهار است. بر اساس جدول زیر، در مدل کسب‌وکار در صنعت نسل چهار به سه عنصر مهم ارزش پیشنهادی، ایجاد ارزش، و کسب ارزش همراه با ویژگی‌های آن اشاره شده و ضمناً ارتباط متقابل تمام ویژگی‌های اشاره شده به صورت نمودار در شکل ۶ نمایش داده می‌شود.

جدول ۷ ویژگی‌های مدل کسب‌وکار با تاکید بر صنعت نسل چهار^۱ [18]

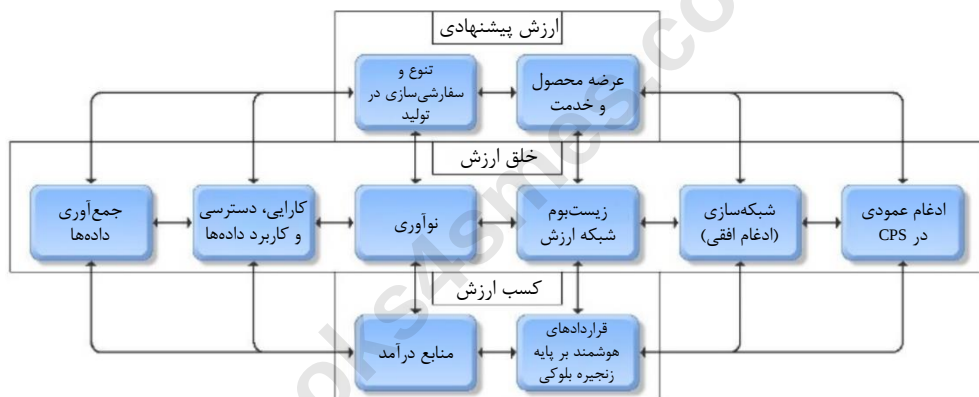
ارزش پیشنهادی ^۲	
ویژگی‌ها	پیاده‌سازی در صنعت نسل چهار
۱. تنوع و سفارشی سازی در تولید	سفارشی سازی مطابق با نیاز مصرف کننده نهایی
۲. ارائه خدمت - محصول	تولید کننده تجهیزات اصلی به عنوان ارائه کننده قابل تحویل به مصرف کننده نهایی
ایجاد ارزش	
ویژگی‌ها	پیاده‌سازی در صنعت نسل چهار
۳. جمع‌آوری داده	شبکه هوشمند حسگرها، شناسایی از طریق امواج رادیویی ^۳ ، رایانش ابری و یکپارچه‌سازی سامانه اجرایی تولید.
۴. بهره‌وری داده، در دسترس بودن	تجهیزات خودران و پیش‌بینی‌ها با امکانات خود و کاربرد
۵. نوآوری	نوآوری و مدیریت چرخه حیات محصول با استفاده از داده

¹ Source: own elaboration according to Montanus (2016)

² Value Proposition

³ RFID

۶. زیست‌بوم شبکه ارزش	ابداع و طراحی، به اشتراک گذاری اهداف و مسئولیت‌ها
۷. شبکه‌سازی (یکپارچه‌سازی افقی)	شبکه همکاری بر مبنای وظایف
۸. یکپارچه‌سازی عمودی تا سامانه	مدیریت یکپارچه تولید و کنترل، خطوط تولید، فیزیکی سایبری
	برنامه‌ریزی و سامانه‌های سازمانی
کسب ارزش	
ویژگی‌ها	پیاده‌سازی در صنعت نسل چهار
۹. منابع درآمد	مدل درآمد به عنوان یک خدمت
۱۰. قراردادهای هوشمند با استفاده	استفاده از زنجیره بلوکی برای هم افزایی مجموعه داده‌ها، و جریان‌های فیزیکی و پولی



شکل ۶ ویژگی‌های مدل کسب‌وکار با تاکید بر صنعت نسل چهار [18]

استفاده از ظرفیت‌های رایانش ابری، یا تجهیزات ذخیره سازی داده‌ها در شرکت‌ها، اولین گام در پیاده‌سازی سکوی صنعت نسل چهار است. به همین دلیل داشتن دستگاه‌هایی با توانایی ارتباط مستقیم با یکدیگر و مدیریت این ارتباطات از راه‌های مختلف، مراحل پیاده‌سازی مدل کسب‌وکار سازگار با صنعت نسل چهار را کمی هموارتر خواهد کرد. گرچه در واقعیت دستگاه‌های موجود در بسیاری از شرکت‌های کوچک و متوسط توانایی کنترل دیجیتالی و ارائه اطلاعات دیجیتالی را ندارند، اما به هر حال این یک ضرورت برای پیاده‌سازی سکوی صنعت نسل چهار است.

در نتیجه، هر شیء فیزیکی باید تحت پوشش یک نرم افزار با قابلیت جمع آوری، یکسان سازی، و ارسال داده به اشیاء دیگر، بر اساس استانداردها یا الزامات ذی نفعان داخلی و بیرونی و بر اساس تصمیم مدیریتی باشد.

فصل ۴: مدل‌های معماری

با توجه به توسعه مداوم فناوری‌ها، آنچه بیش از همه به چشم می‌خورد جهانی شدن شبکه تولید، افزایش رقابت‌های پویا، تقاضای بیشتر، چالش‌های پیچیدگی در حوزه‌های محصول و فرآیند، قابلیت‌های تحویل انعطاف‌پذیر و سریع، سفارشی‌سازی انبوه، کارایی و سازگاری است. این روند نیازمند رویکردهای کاملاً جدید برای سازماندهی سامانه‌های تولید در آینده خواهد بود. در این رویکردها از تمام مزایای روش‌های تولید سنتی استفاده و آن را با جدیدترین فناوری‌های پیشرفته ترکیب می‌کنند. جدیدترین فناوری‌ها که اغلب، از آنها به عنوان پیشرفت یاد می‌شود، تغییرات اساسی در تولید را ممکن می‌سازند.

در سامانه‌های تولیدی آینده محصولاتی تولید می‌شود که دقیقاً مطابق با نیازهای فرد مشتری‌ها طراحی می‌شوند. انتظار این است که محصولات آینده دقیقاً متناسب با نیازهای یک مشتری خاص، ضمناً بسیار پیچیده و جامع، و با امکان عملکردهای جدید طراحی و تولید شوند. بنابراین در صنایع مختلف به محیط تولید کاملاً جدیدی نیاز خواهد بود. محیط‌های جدید مستلزم استفاده از معماری ویژه مدل‌های کسب‌وکار خواهند بود.

برای دستیابی به یک درک مشترک از نیاز محیط‌های جدید تولید به استانداردها و موارد استفاده آنها در صنعت نسل چهارم، به مدل‌های معماری ویژه و شناخت روابط متقابل و جزئیات آنها نیاز است [20].

در بستر صنعت نسل چهارم، به استانداردها و مدل‌های معماری متعددی اشاره می‌شود که برای اتصال ماشین‌ها و قطعات بسیار ضروری هستند. اما برخی از آنها هنوز در حال پیشرفت می‌باشند [21].

از سوی دیگر، صنعت نسل چهارم یک تحول بین رشته‌ای است، و در آن از ترکیب استانداردهای مهندسی مکانیک، الکترونیک، برق، و ارتباطات و فناوری اطلاعات با فناوری‌های مربوطه استفاده می‌شود. بنابراین، مفاهیم آن نیز در دستیابی به یکپارچگی کامل خودکارسازی،

اطلاعات کسب‌وکار، و اجرای تولید جهت بهبود همه جنبه‌های کسب‌وکار در زنجیره‌های ارزش، و بهره‌وری بیشتر، نقش دارد.

با این توضیحات، اکنون ضرورت مدل معماری جامعی که این تنوع استانداردها در رشته‌های مختلف را پوشش دهد روشن می‌شود. به همین دلیل معماری‌ها از مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها و قوانین تشکیل شده‌اند که دامنه ساختار، سازمان‌دهی و طبقه‌بندی محتوای فنی را نشان می‌دهند. با تاکید بر این ویژگی‌ها مدل‌های معماری صنعت نسل چهارم در تلاش برای استانداردسازی و توسعه بیشتر سامانه‌های تولید هوشمند پدید آمده‌اند و آنچه در اینجا معرفی خواهد شد در بر دارنده تمام جنبه‌های حیاتی برای تولید هوشمند است [20].

بیشتر مدل‌های معماری مرجع متناسب با صنعت نسل چهارم، که در اینجا هم به آنها اشاره می‌شود، بر اساس «هرم خودکارسازی» بنا شده‌اند و سطوح مختلف فناوری اطلاعات در تولید را نشان می‌دهند [21]:

- در سطح اول، شرکت‌ها با سامانه‌های برنامه‌ریزی منابع سازمانی^۱، فرآیندهای اساسی در خرید، تولید و فروش را برنامه‌ریزی و کنترل می‌کنند.
 - در سطح مدیریت عملیات، شرکت‌ها با استفاده از سامانه‌های اجرایی ساخت^۲، منابع اساسی از قبیل کارکنان، ماشین‌آلات و مواد را مدیریت می‌کنند.
 - در سطح کنترل فرآیندها، شرکت‌ها ماشین‌آلات را نظارت و کنترل می‌کنند.
- قبل از ورود به بحث مدل‌های معماری مرجع ویژه طراحی صنعت نسل چهارم، اشاره به این نکته لازم است که صنعت نسل چهارم در تعامل بین چهار بُعد زیر شناخته شده است. شناخت این تعاملات، تصویر واقعی و گسترده‌ای از صنعت نسل چهارم و در نتیجه مدل معماری متناسب با آن را ارائه می‌کند [22]:

- یکپارچه‌سازی افقی از طریق شبکه‌های ارزش؛
 - یکپارچه‌سازی عمودی، در سطح یک کارخانه یا خط تولید؛
 - مدیریت چرخه حیات محصول، و مهندسی صفر تا صد؛
 - انسان به عنوان هماهنگ‌کننده جریان ارزش؛
- در بیشتر موارد برای طراحی و توسعه سامانه‌های مهندسی در صنعت نسل چهارم از دو مدل مرجع به عنوان مناسب‌ترین مدل‌های معماری یاد می‌شود:

¹ ERP

² Manufacturing Execution Systems (MES)

- مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار^۱
- مدل مؤلفه‌های صنعت نسل چهار

علاوه بر این دو مدل، از مدل معماری اینترنت اشیاء هم به عنوان یکی از رایج‌ترین مدل‌های معماری در صنعت نسل چهار یاد می‌شود. گرچه این مدل مختص یکی از فناوری‌های صنعت نسل چهار است اما به دلیل اهمیت زیر ساختی و گسترش استقرار آن به عنوان مهمترین گام در استقرار صنعت نسل چهار معرفی شده است.

مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار^۲

این مدل توسط اعضای سکوی صنعت نسل چهار آلمان توسعه و در سطح ملی از طریق مؤسسه استاندارد آلمان (DIN)^۳ و در سطح بین‌المللی از طریق کمیسیون بین‌المللی الکترونیک^۴ تقویت و منتشر شده است. این یک مدل مرجع برای معماری اجزای فنی یا دارایی‌ها است که در آن توصیف و چرخه عمر دارایی‌ها و همچنین انتصاب آنها به سلسله مراتب فنی و سازمانی تعریف می‌شود. بنابراین، هر دارایی که در یک شرکت به عنوان بخشی از فرآیند تولید از آن استفاده می‌شود، می‌تواند در این مدل معماری طبقه بندی شود.

طبقه‌بندی همه دارایی‌های مرتبط در مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار، امکان نمایش مجازی این دارایی‌ها و توصیف یکنواخت، مجازی، و کارآمد از کلیه فرآیندها و استانداردهای مربوطه را نیز فراهم می‌کند. بنابراین مدل یاد شده می‌تواند مبنای مناسبی برای معماری و طراحی استقرار صنعت نسل چهار باشد.

با استفاده از این مدل معماری، شرایط برای توصیف و اجرای مفاهیم صنعت نسل چهار، انعطاف‌پذیرتر خواهد بود. در این زمینه، این مدل امکان مهاجرت گام به گام از دنیای امروزی به انقلاب صنعتی نسل چهار، و تعریف دامنه‌های کاربردی با شرایط و الزامات خاص را فراهم می‌کند. مدل مورد اشاره دارای اهداف استانداردسازی است که این اهداف را می‌توان به طور خلاصه به شرح زیر دسته بندی نمود [21]:

- مدل معماری ساده و قابل مدیریت به عنوان مرجع؛
- شناسایی استانداردهای موجود؛

¹ RAMI 4.0

² Reference Architecture Industry 4.0 (RAMI 4.0)

³ DIN SPEC 91345:2016

⁴ IEC/PAS 63088:2017

- شناسایی و رفع شکاف‌ها و خلأ‌های موجود در استانداردها؛
- شناسایی همپوشانی‌ها و شرایط راه‌حل‌های ترجیحی؛
- به حداقل رساندن تعداد استانداردهای درگیر؛
- شناسایی زیرمجموعه‌های استاندارد برای اجرای سریع اجزای آن‌ها در صنعت نسل چهار؛
- شناسایی محتویات موضوعات کاربردی؛
- شناسایی روابط؛
- تعریف مقررات در سطوح بالاتر.

خصوصیات مهم

مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار، بر تولید صنعتی هوشمند (گسسته یا پیوسته) به عنوان حوزه اصلی کاربرد، متمرکز است.

هدف اصلی آن نیز ایجاد یک چارچوب مشترک برای همه عوامل فعال در صنعت نسل چهار است. در چارچوب مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار، ضرورت اصلاح یا شناسایی استانداردهای جدید روشن می‌شود.

این مدل از یک معماری مبتنی بر خدمت پیروی می‌کند که در آن اجزای کاربردی از طریق یک دستورالعمل ارتباطی در بستر شبکه، به سایر اجزاء، خدمت ارائه می‌کنند. هدف از این خدمات تقسیم فرآیندهای پیچیده به بسته‌های قابل درک، از جمله حریم خصوصی داده‌ها و امنیت فناوری اطلاعات است.

در این مدل برای نمایش درست فضای صنعت نسل چهار، از یک مدل سه بعدی استفاده شده که ویژگی‌های اساسی آن، به خوبی منعکس کننده ویژگی‌های مدل معماری شبکه هوشمند^۱ است [20].

مدل معماری شبکه هوشمند موسوم به SGAM یک رویکرد اولیه مناسب برای نمایش شرایطی است که باید توصیف شود. این مدل با شبکه برق، از تولید تا انتقال و توزیع تا مصرف سر و کار دارد. این در حالی است که صنعت نسل چهار بر توسعه محصول و سناریوهای تولید

^۱ CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, SG-CG Methodologies, Version 3.0, Annex SGAM User Manual, (2014),

این مدل توسط گروه هماهنگی شبکه هوشمند اروپا (SG-CG) تعریف و در سرتاسر جهان پذیرفته شد و توسعه سازگاری آن پاسخگوی الزامات صنعت نسل چهار سازگار است.

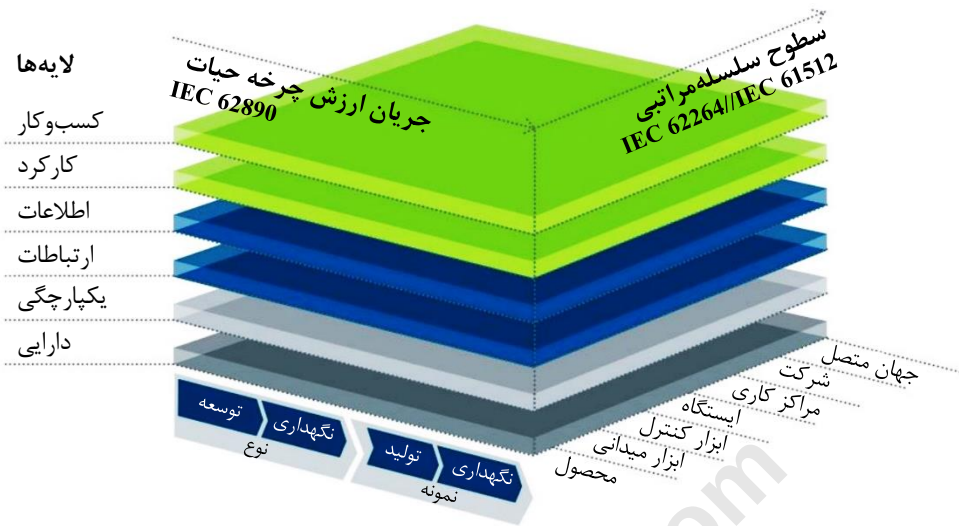
تمرکز دارد. در نتیجه، لازم است نحوه پیکربندی فرآیندهای توسعه، خطوط تولید، ماشین‌آلات تولیدی، تجهیزات کارگاهی و محصولات و وظایف آنها توضیح داده شود.

برای همه عوامل، اعم از ماشین یا محصول، تنها عملکرد، و ارتباطات است که مورد توجه قرار گرفته و اطلاعات آنها باید به عنوان یک «نمایش مجازی» در دسترس باشد. برای توصیف بهتر ماشین‌ها، قطعات و کارخانه‌ها در مقایسه با SGAM، لایه اجزاء با یک لایه دارایی در پایین مدل از طریق لایه یکپارچه‌سازی جدید جایگزین شده است. این تغییرات، دیجیتالی شدن دارایی‌ها را برای نمایش مجازی تسهیل می‌کنند.

لایه ارتباطی با دستورالعمل‌ها و انتقال داده‌ها و مستندات دیجیتالی سر و کار دارد. لایه اطلاعات حاوی داده‌های مربوطه، لایه عملکردی تمام وظایف تعریف شده و لایه کسب‌وکار فرآیندهای مربوطه را ترسیم می‌کنند [20].

از ویژگی‌های خاص مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار، ترکیب چرخه حیات و جریان ارزش با یک رویکرد سلسله مراتبی برای تعریف مؤلفه‌های صنعت نسل چهار است که حداکثر انعطاف‌پذیری برای توصیف محیط صنعت نسل چهار را از این طریق فراهم می‌کند. این رویکرد همچنین در صورت لزوم امکان فشرده‌سازی (یا کپسوله کردن) عملکردها را هم فراهم می‌کند. همانطور که قبلاً اشاره شد، مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار سه بُعدی است و تمام جنبه‌های حیاتی صنعت نسل چهار را توصیف می‌کند. به این ترتیب، روابط متقابل پیچیده به دسته‌های کوچک‌تر و ساده‌تر تقسیم می‌شوند.

سطوح سلسله مراتبی از هفت سطح مجزا تشکیل شده‌اند که نشان‌دهنده ویژگی‌های عملکردی اجزا است. معماری لایه‌ها هم در این مدل شامل شش لایه است که به فناوری اطلاعات اشاره می‌کند. هر لایه به طور مشخص با لایه‌های دیگر متفاوت است، اما عناصر درون یک لایه ظاهراً از نظر ویژگی‌ها همگن می‌باشند. ضمناً محوری که چرخه عمر و زنجیره ارزش صنعت نسل چهار را توصیف می‌کند، بر اساس یک تقسیم بندی اساسی، نوع و نمونه محصول را در نظر می‌گیرد [23].

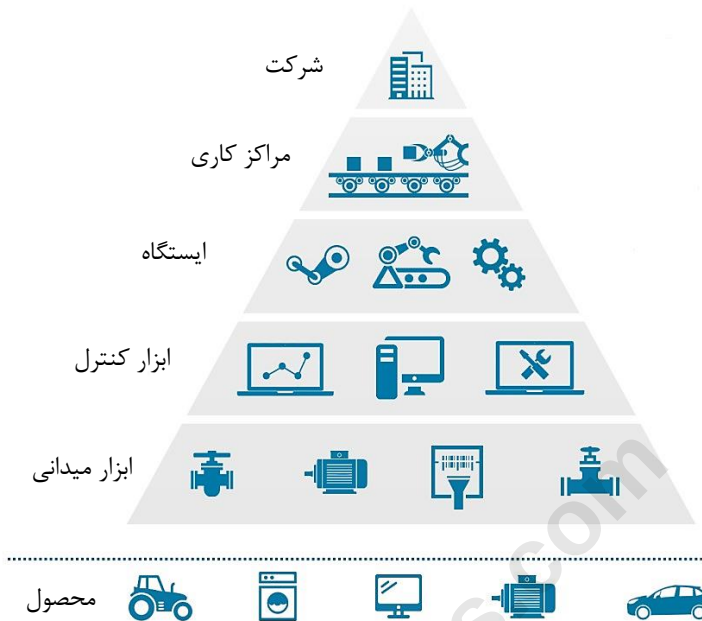


شکل ۷ مدل معماری مرجع برای صنعت نسل چهار [24]

محور اول: سطوح سلسله مراتبی

در محور افقی سمت راست، سطوح سلسله مراتبی برگرفته از استانداردهای بین‌المللی برای سامانه‌های فناوری اطلاعات و کنترل سازمانی قرار دارند. این سطوح سلسله مراتبی عملکردهای مختلف در کارخانه‌ها یا تأسیسات را نشان می‌دهند. این قابلیت‌ها برای نشان دادن محیط صنعت نسل چهار، و برای پوشش قطعات کاری با برچسب «محصول» و اتصال به اینترنت اشیاء و خدمات با شبکه «دنیای متصل» گسترش یافته‌اند [24].

از آنجا که صنعت نسل چهار بر مبنای هرم معماری جدید، تغییراتی را در معماری هرم کنترل کلاسیک سازمان‌های تولیدی و همچنین فرآیندهای مبتنی بر فناوری‌های جدید ایجاد می‌کند، سطوح بالاتر و پایین‌تر از طریق استانداردهای IEC نشان‌دهنده گام‌های بیشتر برای همکاری بین شرکت‌های مهندسی، تامین‌کننده‌های قطعات، و مشتریان است [22].



شکل ۸ سلسله مراتب کارخانه‌ها در دنیای قدیم = صنعت نسل سه [24]

- سخت‌افزار ساختار را تعریف می‌کند؛
- عملکردها به سخت‌افزار مرتبط هستند؛
- ارتباط یک سطح به سطح دیگر؛
- ایزوله بودن محصول.



شکل ۹ سلسله مراتب کارخانه‌ها در دنیای جدید = صنعت نسل چهار [24]

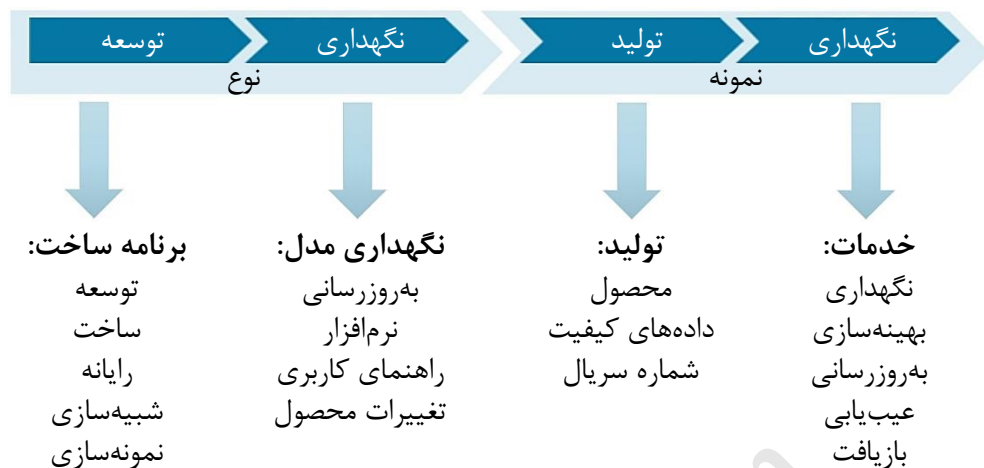
- سامانه‌ها و ماشین‌ها انعطاف‌پذیر هستند؛
- عملکردها از طریق شبکه توزیع می‌شوند؛
- شبکه از مرزهای شرکت عبور می‌کند؛
- اجزای سامانه (شرکت‌کننده‌ها) در سطوح سلسله مراتبی تعامل دارند؛
- همه اجزای سامانه (شرکت‌کننده‌ها) قادر به برقراری ارتباط با یکدیگر هستند؛
- محصولات، بخشی از شبکه هستند.

محور دوم: جریان ارزش چرخه حیات

محور افقی سمت چپ نشان‌دهنده چرخه عمر محصول با جریان ارزشی است که در آن وجود دارد و این معیار بسیار مهم در مهندسی پیشرفته است. اساس این محور استاندارد IEC 62890 است که در اندازه‌گیری، کنترل، و خودکارسازی فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار گرفته و ضمناً بین «انواع» و «نمونه‌ها» تمایز قائل شده است. با تکمیل طراحی و نمونه‌سازی، و تولید محصول واقعی، یک عنصر «نوع» به «نمونه» تبدیل می‌شود. این مدل ضمناً تمام عناصر و اجزای فناوری اطلاعات را در سطوح لایه‌ها و چرخه حیات ترکیب می‌کند.

عنصر نوع، از هر محصول، ماشین، سخت‌افزار، یا نرم‌افزار نشان‌دهنده ایده اولیه است. این شامل قرار دادن سفارشات طراحی، توسعه و آزمایش تا نمونه اولیه برای تولید است. پس از اتمام آزمایشات و اعتبارسنجی، عنصر نوع برای تولید انبوه آماده می‌شود. هر محصول تولید شده با یک شماره سریال منحصر به فرد، یک عنصر نمونه از نوع اولیه خود را نشان می‌دهد. نمونه‌ها فروخته شده و به مصرف‌کننده تحویل داده می‌شوند. محصولات برای مشتری‌ها، ابتدا یک بار دیگر فقط عنصر نوع هستند. اما وقتی این عناصر نوع، به یک سامانه ملحق می‌شوند، به عنصر نمونه تبدیل می‌شوند.

تغییر از نوع به نمونه در چرخه عمر یک محصول، ممکن است بارها تکرار شود. ساختار ظریف چرخه عمر و نگاه جریان ارزش در مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار (محور افقی سمت چپ)، روندی از نوع، به توسعه، و نگهداری یا مصرف را نشان می‌دهد [24].



شکل ۱۰ چرخه حیات محصول: از ایده اولیه تا از رده خارج شدن آن [24]

محور سوم: لایه‌ها

محور عمودی در این معماری، لایه به لایه، تجزیه یک دستگاه فیزیکی یا دارایی را به ویژگی‌های آن، ساختار بندی نموده است. این نوعی نقشه‌برداری مجازی از یک دارایی است. این ساختار بندی از مفهوم فناوری اطلاعات و ارتباطات که ویژگی‌های سامانه‌های پیچیده را به لایه‌ها تقسیم می‌کند سرچشمه گرفته است.

لایه دارایی: این لایه نشان‌دهنده واقعیت در دنیای فیزیکی است. عناصر فیزیکی مانند ایده‌ها، طراحی، اسناد، قطعات، ماشین آلات، و امثال اینها در این لایه دیده می‌شوند. کارکنان نیز بخشی از لایه دارایی هستند. دارایی‌ها از طریق لایه یکپارچگی با دنیای واقعیت مجازی، با هم مرتبط هستند. اتصال غیر فعال^۱ دارایی‌ها به لایه یکپارچگی ممکن است با استفاده از کدهای QR انجام شود.

لایه یکپارچگی: این لایه اطلاعات مربوط به دارایی‌ها، اعم از سخت‌افزار، نرم‌افزار، یا دیگر عناصر را به شکلی فراهم می‌کند که برای پردازش رایانه ای در دسترس باشند. کنترل رایانه‌ای فرآیند، تولید، و رویدادهای مربوط به فعالیت عناصر دارایی‌ها نیز در این لایه انجام می‌شود. این لایه حاوی عناصری است که به واسطه فناوری‌های شناسایی (از طریق امواج، حسگرها، واسط

¹ Passive connection

انسان با ماشین^۱، محرک‌ها، و غیره) مرتبط هستند. یکپارچگی کارکنان نیز بخشی از وظیفه این لایه از طریق واسط انسان با ماشین است.

لایه ارتباط: این لایه، استانداردسازی ارتباطات را با استفاده از قالب های یکنواخت داده، برای لایه اطلاعات فراهم می‌کند. ضمناً خدمات کنترلی لایه یکپارچگی در این لایه ارائه می‌شود. این لایه همچنین مبنایی برای ارتباطات استاندارد بین غلاف یا پوسته های مدیریتی است.

لایه اطلاعات: لایه اطلاعات، زمان اجرا برای پیش پردازش رویدادها، و اجرای قواعد مربوط به رویدادها را فراهم می‌کند. تعریف رسمی قواعد و پیش پردازش رویدادها در اینجا رخ می‌دهد. عملکردهای بعدی در لایه اطلاعات در بر دارنده تضمین و تداوم یکپارچگی داده‌های مختلف، جمع‌آوری داده‌های جدید، و با کیفیت بالاتر (داده‌ها، اطلاعات، دانش)، و ارائه داده‌های ساخت یافته است. در این لایه، رویدادها دریافت شده و برای مطابقت با داده‌های موجود برای لایه بالاتر، تبدیل می‌شوند.

لایه کارکرد: لایه کارکرد توصیف رسمی قواعد را امکان پذیر و بستر ادغام افقی کارکردهای مختلف را ایجاد می‌کند. این لایه شامل زمان اجرا و محیط مدل سازی برای خدمات پشتیبانی از فرآیندهای کسب‌وکار، و یک محیط اجرایی برای برنامه‌ها و کارکردهای فنی است. قواعد و منطق تصمیم‌گیری ها در لایه کارکرد ایجاد می‌شوند. البته برخی از موارد اشاره شده را می‌توان در لایه‌های پایین تر نیز اجرا نمود. اما دسترسی از راه دور و یکپارچگی افقی به دلیل ضرورت یکپارچگی داده‌ها، ممکن است صرفاً در لایه کارکرد رخ دهد.

لایه کسب‌وکار: این لایه یکپارچگی عملکردها در جریان ارزش را تضمین، و نگاشت مدل‌های کسب‌وکار و در نتیجه فرآیند کلی را امکان پذیر می‌کند. این لایه شامل شرایط چارچوب حقوقی و نظارتی است و امکان مدل سازی قواعدی که سامانه باید از آنها پیروی کند را فراهم می‌کند. پیوند بین فرآیندهای مختلف کسب‌وکار در این لایه ایجاد می‌شود [22].

¹ Human Machine Interface (HMI)

مدل مؤلفه‌های صنعت نسل چهار^۱

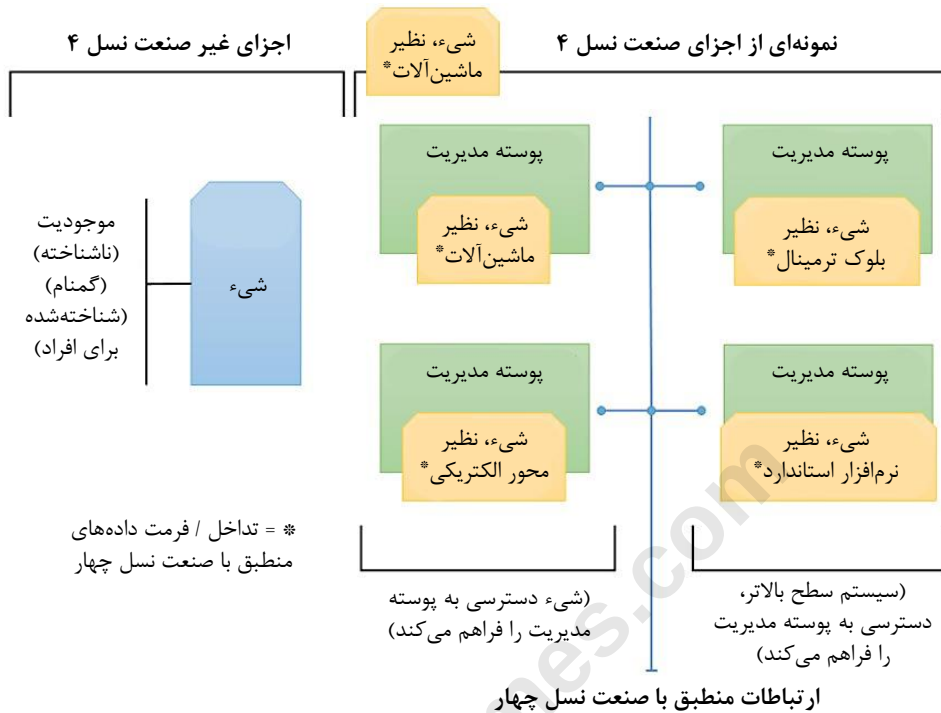
شرط اولیه در بستر صنعت نسل چهار، این است که اشیاء مختلف با توانایی‌های ارتباطی متفاوت به عنوان مؤلفه‌های این تحول دیجیتالی شناخته شوند. مدل مؤلفه‌های صنعت نسل چهار، امکان توصیف بهتر ویژگی‌های فیزیکی سایبری، و ارتباط بین اشیاء و فرآیندهای فیزیکی و سایبری را نیز فراهم می‌کند.

عناصر مختلف سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در تولید آینده، قادر خواهند بود وظایف مورد نیاز را با استفاده از ویژگی‌های پیاده‌سازی شده از آنها در مدل مؤلفه‌های صنعت نسل چهار انجام دهند. این مدل به تولیدکننده‌ها و یکپارچه‌کننده‌های سامانه‌های صنعت نسل چهار کمک می‌کند تا اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری را برای استقرار صنعت نسل چهار به خوبی مشخص کنند [22]. مهمترین ویژگی در ارتباط بین اشیاء واقعی و فرآیندهای مجازی، و فرآیندهای تولید، در این مدل مشخص می‌شوند. تحقق فیزیکی این ارتباط، به گونه‌ای است که هر مؤلفه از سامانه صنعت نسل چهار، یک پوسته الکترونیکی موسوم به پوسته مدیریتی^۲ داده‌های ایمن را در طول چرخه حیات در بر می‌گیرد. سپس داده‌ها در همه عناصر زنجیره فنی تولید در دسترس خواهند بود. پوسته مدیریتی خود از یک عنوان فایل و متن^۳ تشکیل شده است. ناگفته نماند که استانداردسازی پوسته مدیریتی توسط اعضای سکوی صنعت نسل چهار در آلمان هدایت می‌شود. بنابراین مدل مؤلفه‌های صنعت نسل چهار یک ارتباط استاندارد، ایمن و بی‌درنگ بین تمام اجزای تولید را به نمایش می‌گذارد [21].

¹ Industry 4.0 Component Model

² Administration Shells

³ Header and body



شکل ۱۱ مدل مؤلفه‌های صنعت نسل چهار [22]

یک شیء (یا چیز) فناورانه استاندارد (مانند ماشین، قطعات، نرم‌افزار، و غیره) زمانی ممکن است دارای ویژگی‌های مؤلفه صنعت نسل چهار باشد که توسط یک پوسته مدیریتی (غلاف داده) احاطه و توصیف شده باشد. پوسته مدیریتی، هم نمایش مجازی و هم عملکرد فنی اشیاء را پوشش می‌دهد. چهار نوع شیء با ویژگی مؤلفه صنعت نسل چهار به قرار زیر شناخته شده است [22]:

- یک دستگاه به واسطه سامانه کنترلی آن (به عنوان مثال PLC) می‌تواند به یک جزء از صنعت نسل چهار تبدیل شود. این تبدیل ممکن است توسط سازنده دستگاه و یکپارچه ساز PLC انجام شود.
- یک مجموعه مهم و راهبردی از یک تامین کننده می‌تواند به عنوان یک جزء از صنعت نسل چهار شناخته شده و به طور مستقل ثبت شود. اما سامانه مدیریت دارایی و تعمیر و نگهداری آن ممکن است توسط سازنده مجموعه انجام شود.

- یک ترمینال برقی به دلیل اهمیت آن و سیم کشی و سیگنال‌های مستقل، و به روز نگه داشتن آن در طول چرخه عمر را می‌توان به عنوان یک جزء از صنعت نسل چهار در نظر گرفت. این توصیف ممکن است توسط مهندس برق اجرا شود.
- یک سامانه نرم‌افزاری می‌تواند یک دارایی مهم در یک دستگاه تولیدی را نشان دهد. این نرم‌افزار ممکن است یک استاندارد مهم برای مجموعه بزرگ ماشین آلات باشد. یا ممکن است عرضه کننده یک دستگاه بخواند کتابخانه‌ای از عملکردهای گسترده را برای محصولات خود، به طور جداگانه ارائه دهد.

مفاهیم مدل مؤلفه‌های صنعت نسل چهار

- شبکه مؤلفه‌های صنعت نسل چهار باید به گونه‌ای ساختار دهی شده باشد که اتصال بین هر نقطه پایانی در آن امکان پذیر باشد. اجزای صنعت نسل چهار و محتویات آنها باید از یک مدل معنایی مشترک پیروی کنند.
- مفهوم یک مؤلفه در صنعت نسل چهار باید به گونه‌ای تعریف شود که الزامات مربوط به حوزه‌های مختلف هر شرکت اعم از بخش‌های اداری و کارگاهی و فنی را برآورده کند.
- ارتباط در شبکه صنعت نسل چهار باید به گونه‌ای باشد که داده‌های مجازی از یک مؤلفه صنعت نسل چهار را بتوان در خود اشیاء یا در یک سامانه سطح بالاتر جمع‌آوری کرد.
- نمایش مجازی یک شیء باید ساخت یافته باشد و پوسته مدیریتی آن حاوی اطلاعات خاصی از آن شیء باشد. از نقطه نظر منطقی یک پوسته مدیریتی به هر شیء تعلق دارد. اما هر مؤلفه یا جزء از صنعت نسل چهار ممکن است برای مقاصد مختلف بیش از یک پوسته مدیریتی داشته باشد. البته از نقطه نظر استقرار، پوسته مدیریتی می‌تواند به یک سامانه سطح بالاتر منتقل شود [22].

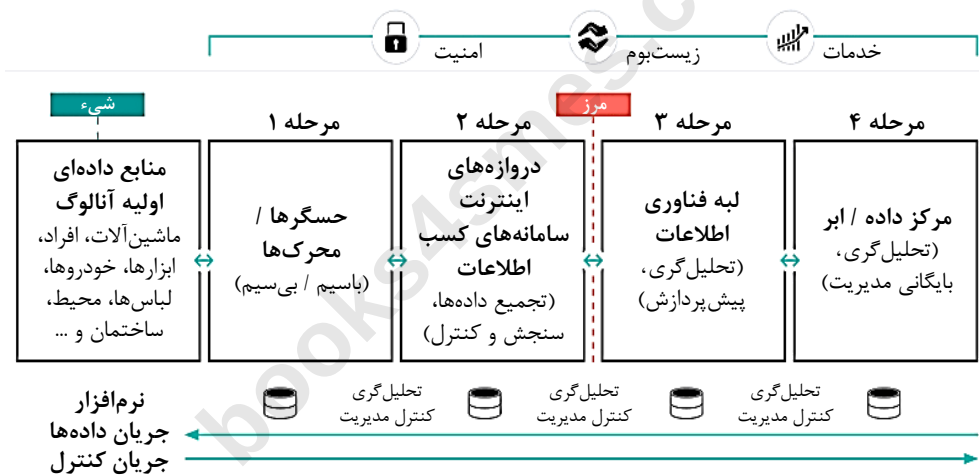
مدل معماری اینترنت اشیاء

بسیاری از صاحب نظران، شبکه اینترنت اشیاء را یک زیرساخت برای تحقق تحول دیجیتالی صنعت نسل چهار می‌دانند. این اعتقاد حتی در سطح ملی در برخی کشورها هم طرفدار دارد و راهبرد ملی برای پشتیبانی از صنعت نسل چهار را به شبکه اینترنت اشیاء صنعتی معطوف

کرده‌اند. اینترنت اشیاء با ترکیب رایانش ابری، تنها شبکه‌ای از فناوری‌های صنعت نسل چهارم است که با رویکرد فراتر از شرکت‌ها دیده شده به طوری که بسیاری از خدمات این شبکه، در سطح جهان و یا کاملاً تخصصی در شبکه‌های گسترده در حال ارائه می‌باشد.

با همین رویکرد، مدل معماری اینترنت اشیاء به عنوان یک مدل رایج در استقرار صنعت نسل چهارم شناخته شده و در اینجا به اختصار به آن پرداخته می‌شود. البته تاکنون هیچ معماری واحد و مورد توافقی برای اینترنت اشیاء ارائه نشده، چرا که پیچیدگی و تعداد لایه‌های آن بسته به کاربردها و محیط‌های خاص کسب‌وکار متفاوت است.

قبل از ورود به موضوع معماری اینترنت اشیاء، اشاره به مراحل معماری راه‌حل‌های این شبکه ضروری و مفید است. در بسیاری از مآخذ، چهار مرحله برای معماری یک شبکه اینترنت اشیاء معرفی شده است.



شکل ۱۲ مراحل معماری شبکه اینترنت اشیاء [25]

- مرحله یک: شامل حسگرها و محرک‌ها (یا عملگرها) برای جمع‌آوری داده از اشیاء متصل به شبکه، از طریق اتصالات با سیم یا بی‌سیم است. ترکیب اشیاء با حسگرها و محرک‌ها را با هم اشیاء هوشمند می‌گویند که یک مؤلفه اصلی را تشکیل می‌دهد؛
- مرحله دو: دروازه اتصال به شبکه اینترنت اشیاء برای جمع‌آوری داده‌ها از حسگرها و محرک‌ها با هدف تجمع آنها، اندازه‌گیری و کنترل اشیاء؛

¹ Gateway

- مرحله سه: در برخی سامانه‌ها از پیش پردازش‌ها برای تجزیه و تحلیل اولیه داده‌های جمع‌آوری شده استفاده می‌شود؛
 - مرحله چهار: مراکز داده، رایانش ابری، و برنامه‌های کاربردی برای نگهداری و مدیریت داده‌ها، باضافه تجزیه و تحلیل‌های پیشرفته و کاربردی آنها [25].
- نکته: مراحل سه و چهار ممکن است با هم شامل میان‌افزارها یا سکوه‌های اینترنت اشیا برای ذخیره‌سازی داده‌ها و موتورهای محاسباتی پیشرفته باشند. در برخی متون، چهار مرحله فوق معرف چهار مؤلفه اصلی^۱ برای یک سامانه اینترنت اشیا هستند.
- مدل معماری اینترنت اشیا که توسط شرکت‌های سیسکو، آی بی ام، و اینتل در انجمن جهانی اینترنت اشیا^۲ در سال ۲۰۱۴ معرفی شد، دارای هفت لایه است که به خوبی چهار مرحله اشاره شده در بالا را پوشش می‌دهند. بر اساس بیانیه رسمی این انجمن، هدف معماری معرفی شده کمک به آموزش مدیران، بخش‌های فناوری اطلاعات و توسعه‌دهنده‌ها در زمینه استقرار پروژه‌های اینترنت اشیا و همچنین تسریع در پذیرش اینترنت اشیا بوده است.

ستون فقرات^۳ یا لایه‌های معماری سامانه اینترنت اشیا

- علاوه بر تقسیم بندی بالا، اجزای ستون فقرات سامانه اینترنت اشیا که بر اساس آن معماری مؤثر و چند لایه را می‌توان توسعه داد، مشتمل بر چهار لایه اصلی و سه لایه اختیاری است که لایه‌های اخیر متناسب با نیازهای کسب‌وکارهای نوین توصیه می‌شوند. به این ترتیب لایه‌های مدل معماری شبکه اینترنت اشیا صنعتی به شرح زیر معرفی می‌شوند [25]:
- لایه ادراک در اشیا هوشمند؛
 - لایه اتصال یا انتقال داده از لایه فیزیکی به رایانش ابری و بالعکس، که از طریق دروازه متصل به اینترنت منتقل می‌شود.
 - لایه پردازش که از سکوه‌های اینترنت اشیا برای جمع‌آوری و مدیریت تمام جریان‌های داده استفاده می‌کند.
 - لایه کاربرد که مسئولیت تجزیه و تحلیل، گزارش گیری و کنترل دستگاه‌ها را به کاربران نهایی ارائه می‌کند.

¹ Building Blocks

² IoT World Forum Reference Model

³ Backbone

- لایه پیش پردازش^۱ جایی است که اینترنت اشیاء اطلاعات جدید را جمع‌آوری و در صورت لزوم قبل از اتصال به اینترنت، عملیات پیش پردازش ضروری را انجام می‌دهد.
- لایه کسب‌وکار که در آن کسب‌وکارها بر اساس داده‌های موجود تصمیم‌گیری و بهره‌برداری می‌کنند.
- لایه امنیت که امنیت و حفاظت از دیگر لایه‌ها را به عهده دارد.

مدل مرجع اینترنت اشیاء



شکل ۱۳ مدل معماری اینترنت اشیاء صنعتی [25]

با شناخت هر یک از این لایه‌ها تصویر بهتری از یک سامانه اینترنت اشیاء به دست می‌آید. یکی از اهداف مدل معماری، ارائه تصویر فنی و کاربردی روشن و واضح از ابعاد یک سامانه است که در اینجا به این مهم پرداخته شده و به خواننده کمک می‌کند تا در شناخت عمیق‌تر و پیگیری منابع لازم برای پیاده‌سازی شبکه اینترنت اشیاء، مفید باشد.

لایه ادراک: تبدیل علائم آنالوگ به داده‌های دیجیتالی و بالعکس

مرحله اولیه هر سامانه اینترنت اشیاء شامل طیف وسیعی از «اشیاء» یا دستگاه‌های نقطه پایانی است که به عنوان پلی بین دنیای واقعی و دیجیتال عمل می‌کنند. این اشیاء از نظر شکل

¹ Edge computing

در این فناوری هر دستگاه با قابلیت هوش مصنوعی و قدرت پردازش وسیعی که دارد به یک مرکز داده تبدیل می‌شود.

و اندازه متفاوت هستند، و از تراشه‌های سیلیکونی کوچک گرفته تا وسایل نقلیه بزرگ را در بر می‌گیرند. با توجه به عملکرد این اشیاء، آنها را به سه گروه زیر تقسیم می‌کنند.

گروه حسگرها که شبیه میله یا سنبل^۱، برای اندازه‌گیری، خواندن ارقام و غیره، یا شبیه برچسب‌هایی می‌باشند که وظیفه آنها ارسال داده‌های معرف دستگاه یا شیء است. اینها اطلاعات شیء یا ویژگی‌های فیزیکی مانند دما یا رطوبت را جمع‌آوری می‌کنند و به صورت علائم الکتریکی به سامانه اینترنت اشیاء ارسال می‌کنند. حسگرهای اینترنت اشیاء معمولاً از نظر اندازه کوچک و انرژی بسیار اندکی مصرف می‌کنند.

گروه عملگرها^۲، علائم الکتریکی را از سامانه اینترنت اشیاء به اقدامات فیزیکی ترجمه می‌کنند. عملگرها یا محرک‌ها در کنترل موتور، لیزر، بازوهای رباتیک، و امثال اینها استفاده می‌شوند.

گروه ماشین‌ها و دستگاه‌ها که به حسگرها و محرک‌ها متصل هستند، یا حسگرها و محرک‌ها را به عنوان جزئی از خود به همراه دارند.

اشاره به این نکته مهم است که معماری اینترنت اشیاء هیچ محدودیتی در تعداد و مکان برای اجزای خود قائل نیست. لایه ادراک می‌تواند در بردارنده تنها چند شیء باشد که به صورت فیزیکی در یک اتاق قرار گرفته‌اند، یا شامل تعداد بی‌شماری حسگر و دستگاه مستقر در فاصله‌های دور از هم یا حتی سرتاسر جهان باشد.

لایه اتصال: برای انتقال داده‌ها در یک شبکه اینترنت اشیاء

سطح دوم مسئولیت ارتباطات بین حسگرها، دستگاه‌ها، شبکه‌ها و خدمات رایانش ابری را به عهده دارد و زیرساخت ارتباطی در یک شبکه اینترنت اشیاء را تشکیل می‌دهد. اتصال بین لایه فیزیکی و رایانش ابری ممکن است از دو طریق به دست آید:

- طریق اول: مستقیم، با استفاده از UDP/IP یا TCP
- طریق دوم: به واسطه دروازه‌ها، مژول‌های سخت‌افزاری یا نرم‌افزاری که ترجمه بین دستورالعمل‌های (پروتکل) مختلف و همچنین رمزگذاری و رمزگشایی داده‌های اینترنت اشیاء را انجام می‌دهند.

ارتباط بین دستگاه‌ها و خدمات رایانش ابری، یا دروازه‌ها دربردارنده فناوری‌های مختلف شبکه به شرح زیر است:

¹ Probe

² Actuators

اترنت که دستگاه‌های ثابت مانند انواع دوربین‌ها، تجهیزات صنعتی نصب شده دائمی و دستگاه‌های بازی رایانه‌ای را به هم متصل می‌کند.

وای‌فای، محبوب‌ترین فناوری شبکه بی‌سیم، برای راه‌حل‌های اینترنت اشیاء با داده فشرده که به راحتی تغذیه می‌شوند و می‌توانند در یک فضای کوچک و نزدیک به هم کار کنند. یک مثال ملموس از کاربرد وای‌فای، شبکه لوازم خانگی هوشمند و ساختمان‌های هوشمند است. **ارتباطات میدان نزدیک^۱** که به اشتراک گذاری داده‌های ساده و ایمن بین دو دستگاه با فاصله حداکثر ۱۰ سانتی متر را ممکن می‌سازند.

بلوتوث که به طور گسترده توسط اشیاء پوشیدنی و برای ارتباطات دامنه کوتاه استفاده می‌شود. استاندارد بلوتوث کم انرژی^۲ نیز برای رفع نیاز دستگاه‌های کم مصرف در اینترنت اشیاء، طراحی شده است. این فناوری برای انتقال داده‌ها در حجم کوچک است و برای فایل‌های بزرگ کارایی ندارد.

شبکه وسیع کم مصرف^۳ به طور خاص برای شبکه اینترنت اشیاء طراحی شده است. این نوع اتصال بی‌سیم، دور برد، با مصرف انرژی کم، و عمر باتری بیش از ۱۰ سال است. این فناوری با ارسال داده‌ها به صورت دوره‌ای و در حجم کوچک، بخشی از نیاز شهر هوشمند، ساختمان هوشمند، و نظارت هوشمند در کشاورزی را برآورده می‌کند.

ZigBee یک شبکه بی‌سیم کم مصرف برای انتقال بسته‌های کوچک در فواصل کوتاه است. اما نکته برجسته در این فناوری، امکان مدیریت تا ۶۵۰۰۰ گره در یک شبکه است. این شبکه به طور خاص برای طرح‌های خودکارسازی خانگی ایجاد شده، و ضمناً برای اتصال تجهیزات کم مصرف در مکان‌های صنعتی، علمی، و پزشکی طراحی شده است.

شبکه‌های سلولی که برای انتقال داده مطمئن در پوشش جهانی است. دو استاندارد سلولی وجود دارد که به طور خاص برای اینترنت اشیاء توسعه یافته‌اند:

- سامانه با تکامل دراز مدت برای ماشین‌ها^۴: که دستگاه‌ها را قادر می‌سازد تا به طور مستقیم با رایانش ابری ارتباط برقرار کنند و حجم بالایی از داده‌ها را مبادله کنند.
- پهنای باند باریک اینترنت اشیاء^۵ که برای ارسال بسته‌های کوچک داده استفاده می‌شود.

^۱ Near Field Communication (NFC)

^۲ Bluetooth Low Energy (BLE)

^۳ Low-power Wide-area Network (LPWAN)

^۴ Long Term Evolution for Machines (LTE-M)

^۵ Narrowband IoT (NB-IoT)

وقتی بخش‌هایی از یک شبکه اینترنت اشیاء به شبکه اینترنت جهانی متصل می‌شود، همچنان به دستورالعمل‌های (پروتکل) پیام‌رسانی برای اشتراک داده‌ها در دستگاه‌ها و با رایانش ابری نیاز است. رایج‌ترین دستورالعمل‌های مورد استفاده در زیست بوم‌های اینترنت اشیاء عبارتند از:

- خدمات توزیع داده^۱ مستقیماً اشیاء در یک شبکه اینترنت اشیاء را به یکدیگر و به برنامه‌هایی که به سامانه‌های بلادرنگ پاسخگو هستند، متصل می‌کند.
- دستورالعمل پیشرفته صف بندی پیام^۲ که با هدف تبادل داده همتا به همتا بین سرورها طراحی شده است.
- دستورالعمل برنامه‌های کاربردی محدود شده^۳، که یک دستورالعمل نرم‌افزاری برای دستگاه‌ها یا گره‌های انتهایی با محدودیت حافظه و قدرت است. برای مثال، حسگرهای بی‌سیم از این دستورالعمل استفاده می‌کنند. این دستورالعمل بسیار شبیه HTTP است اما از منابع کمتری استفاده می‌کند.
- انتقال دورسنجی صف پیام^۴، یک دستورالعمل پیام‌رسان سبک، برای جمع‌آوری متمرکز داده‌ها از دستگاه‌های کم مصرف و متکی به پشته TCP/IP است. [25]

لایه پیش پردازش: کاهش تاخیرهای سامانه

این لایه برای ارتقاء سامانه‌های اینترنت اشیاء در سرعت، امنیت، و مقیاس مورد نیاز برای شبکه تلفن همراه نسل پنجم ضروری است. استاندارد جدید در شبکه‌های بی‌سیم، سرعت بیشتر، تأخیر کمتر، و توانایی بهتر دستگاه‌های متصل را نسبت به استاندارد فعلی تلفن همراه نسل چهار، نوید می‌دهد.

ایده پیش پردازش موسوم به لبه^۵ این است که داده‌ها را در اسرع وقت و تا حد امکان نزدیک به منابع آن پردازش و ذخیره می‌کند. این فناوری امکان تجزیه و تحلیل و تبدیل حجم بالای داده‌های بلادرنگ را به صورت محلی، و در مرز شبکه‌ها فراهم می‌کند. بنابراین، در ارسال داده‌های خام به رایانش ابری در زمان و منابع صرفه‌جویی می‌شود. نتیجه این صرفه‌جویی، کاهش تأخیر سامانه و بهبود عملکرد در پاسخ‌های بلادرنگ است.

رایانش یا پیش پردازش لبه در دروازه‌ها، سرورهای محلی یا سایر گره‌های انتهایی پراکنده در شبکه رخ می‌دهد. در این فناوری به موضوعات زیر پرداخته می‌شود:

¹ Data Distribution Service (DDS)

² Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)

³ Constrained Application Protocol (CoAP)

⁴ Message Queue Telemetry Transport (MQTT)

⁵ Edge Computing

- ارزیابی برای تعیین اینکه آیا به پردازش بیشتر در سطوح بالاتر نیاز است؛
- فرمت کردن داده‌ها برای پردازش بیشتر؛
- رمزگشایی؛
- فیلتر کردن؛
- هدایت به مقصد دیگر.

از بررسی لایه‌های اشاره شده چنین به نظر می‌رسد که داده‌ها در سه لایه اول در حال حرکت و تغییر هستند. اما با رسیدن به لایه‌های بعدی، داده‌ها به حالت سکون دیده می‌شوند و برای استفاده توسط برنامه‌های کاربردی و مصرف، در دسترس قرار می‌گیرند.

لایه پردازش: مفید کردن داده‌های خام

لایه پردازش داده‌هایی را که از لایه قبلی می‌آیند جمع‌آوری، ذخیره و پردازش می‌کند. همه این وظایف معمولاً از طریق سکوهای اینترنت اشیاء انجام می‌شود و دو مرحله اصلی دارد:

پردازش در مرحله انباشت داده‌ها: داده‌های بلادرنگ از طریق یک واسط برنامه‌نویسی^۱ گرفته می‌شوند و در حالت استراحت قرار می‌گیرند تا نیازهای برنامه‌های کاربردی را برآورده کنند. مؤلفه انباشت داده به عنوان یک میزبان واسط برای تولید داده مبتنی بر رویداد، و مصرف داده مبتنی بر پرس و جو عمل می‌کند.

از وظایف دیگر این لایه، تشخیص اینکه آیا داده‌ها به الزامات کسب‌وکار مرتبط هستند و در کجا باید قرار بگیرند. داده‌ها در این لایه از طریق راه‌حل‌های مختلف ذخیره‌سازی می‌شوند. برای نمونه دریاچه داده، که قادر به نگهداری داده‌های بدون ساختار مانند تصاویر و جریان‌های ویدئویی تا انباشت رویدادها و پایگاه‌های داده‌های دورسنجی است. هدف کلی در این لایه مرتب‌سازی و ذخیره حجم زیادی از داده‌های متنوع است.

پردازش در مرحله انتزاع داده‌ها^۲: آماده‌سازی داده‌ها در اینجا نهایی می‌شود تا در اختیار

برنامه‌های کاربردی کسب‌وکارها قرار گیرند. در این لایه مراحل زیر انجام می‌شود:

- ترکیب داده‌ها از منابع مختلف، اعم از داده‌های اینترنت اشیاء و غیر اینترنت اشیاء، از جمله سامانه‌های ERM، ERP و CRM؛
- تطبیق و سازگاری فرمت‌های داده؛
- گردآوری داده‌ها در یک مکان و دسترسی به آن‌ها، بدون توجه به فاصله مکانی.

^۱ API

^۲ Data abstraction stage

در مراحل انباشت و انتزاع داده‌ها، جزئیات سخت افزارهای تولید کننده ها پنهان می ماند و به این ترتیب قابلیت همکاری و یکپارچگی دستگاه‌های هوشمند افزایش می‌یابد. این ویژگی، موجب می‌شود ارائه‌کننده‌های نرم‌افزارهای کاربردی، به جای بررسی مشخصات دستگاه‌ها از منابع مختلف، بر روی راه‌حل‌های خاص کسب‌وکارها متمرکز شوند.

لایه کاربرد: پرداختن به نیازهای کسب‌وکار

در این لایه، اطلاعات توسط نرم‌افزارها تجزیه و تحلیل می‌شود تا به سوالات کلیدی کسب‌وکارها پاسخ دهند. صدها برنامه کاربردی اینترنت اشیاء که از نظر پیچیدگی و عملکرد متفاوت، و از فناوری‌ها و سیستم عامل‌های مختلف استفاده می‌کنند وجود دارد که به این لایه متصل می‌شوند. در اینجا به چند نمونه از این برنامه‌های کاربردی اشاره می‌شود:

- نظارت و کنترل دستگاه‌ها،
- برنامه‌های تلفن همراه برای تعاملات ساده،
- خدمات هوش تجاری،
- راه‌حل‌های تحلیلی با استفاده از یادگیری ماشین.

در حال حاضر، برنامه‌های کاربردی را متناسب با سکوه‌های شبکه اینترنت اشیاء که زیرساخت توسعه نرم‌افزار را با ابزارهای آماده برای داده کاوی، تجزیه و تحلیل پیشرفته، و تجسم داده ارائه می‌دهند، طراحی می‌کنند. در غیر این صورت، برنامه‌های کاربردی در این شبکه باید از واسطه‌های برنامه‌نویسی برای ادغام با میان افزارها استفاده کنند.

لایه کسب‌وکار: پیاده‌سازی راه‌حل‌های متکی به داده

اطلاعاتی که در لایه‌های قبلی تولید می‌شوند، تنها در صورتی ارزش دارند که به حل مشکل و دستیابی به اهداف کسب‌وکار منجر شوند. اطلاعات حاصل شده باید آغازگر همکاری بین ذی‌نفعان باشد که به نوبه خود فرآیندهای جدیدی را برای افزایش بهره‌وری معرفی می‌کنند. از آنجا که معمولاً تصمیم‌گیری‌ها توسط بیش از یک نفر که با بیش از یک راه حل نرم‌افزاری کار می‌کنند اتخاذ می‌شوند، لایه کسب‌وکار به عنوان یک مرحله مجزا و بالاتر از لایه کاربردها تعریف می‌شود.

لایه امنیت: جلوگیری از نفوذ غیر مسئولانه در اطلاعات

لایه امنیت، یک لایه ضروری برای پوشش حفاظت از داده‌ها در تمام سامانه است. امنیت در اینترنت اشیاء موضوع گسترده‌ای است که ارزش یک مقاله جداگانه را دارد. در اینجا فقط به برخی ویژگی‌های اساسی معماری امن در سطوح مختلف اشاره می‌شود:

امنیت در دستگاه‌ها: سازنده‌ها دستگاه‌های جدید اینترنت اشیاء معمولاً ویژگی‌های امنیتی را هم در سخت افزار و هم در میان افزار نصب شده روی آن‌ها ادغام می‌کنند. این شامل موارد زیر است:

- **تراشه‌های جاسازی شده^۱** با کلیدهای رمزنگاری برای احراز هویت و محافظت از دستگاه‌های نقاط پایانی؛
- **فرآیند راه‌اندازی امن** که از اجرای کدهای غیرمجاز بر روی یک دستگاه فعال جلوگیری می‌کند.
- **به روز رسانی** برای به هنگام سازی منظم بخش‌های امنیت در نرم‌افزارها؛
- **محافظت فیزیکی** مانند پوشش فلزی برای جلوگیری از دسترسی فیزیکی به دستگاه‌ها.

امنیت در اتصال: داده‌ها که از طریق دستگاه‌ها و شبکه‌ها، یا از طریق برنامه‌ها ارسال می‌شوند، باید رمزگذاری شوند. در غیر این صورت، هر فردی که اطلاعات در حال انتقال را رهگیری می‌کند، می‌تواند اطلاعات حساس را بخواند. دستورالعمل‌های پیام رسان مبتنی بر اینترنت اشیاء مانند MQTT، AMQP و DDS ممکن است از شیوه رمزنگاری لایه انتقال استاندارد^۲ برای اطمینان از حفاظت از داده‌ها استفاده کنند.

امنیت در رایانش ابری: داده‌هایی که در حالت استراحت در ابر ذخیره می‌شوند نیز باید رمزگذاری شوند تا از خطرات قرار گرفتن اطلاعات حساس در معرض نفوذ متجاوزان کاهش یابد. امنیت در فضای ابری همچنین شامل مراحل احراز هویت و مجوز برای محدود کردن دسترسی به برنامه‌های اینترنت اشیاء است. یکی دیگر از روش‌های امنیتی مهم، مدیریت هویت دستگاه برای تأیید اعتبار دستگاه قبل از اجازه دادن به آن برای اتصال به رایانش ابری است.

نکته مهم برای کاربران و سرمایه‌گذاران در اینترنت اشیاء، توجه به راه حل‌های امنیتی توسط ارائه‌دهنده‌ها تجهیزات و سازنده‌های آنها در رعایت ابعاد مختلف امنیتی از جمله رمزگذاری

^۱ Trusted Platform Module (TPM)

^۲ Transport Layer Security (TSL)

داده‌ها، احراز هویت دستگاه‌ها، و کنترل دسترسی‌ها است. با این حال، گرچه اطمینان از اینکه امنیت در همه سطوح، از کوچک‌ترین دستگاه‌ها تا سامانه‌های پیچیده تحلیلی، سخت است، اما رعایت آن همیشه سودمند می‌باشد [25].

سایر مدل‌های معماری برای صنعت نسل چهار

علاوه بر مدل‌های معماری اشاره شده، لازم است به دیگر مدل‌های معرفی شده هم به اختصار اشاره می‌شود. برخی از این مدل‌ها توسط کشورها و در راستای طرح‌های ملی توسعه و پشتیبانی از زیر ساخت‌های تحول دیجیتال در انقلاب صنعتی نسل چهار آنها ارائه شده‌اند. برخی دیگر نیز توسط سازمان‌های مرتبط بین‌المللی تدوین و پشتیبانی می‌شوند.

معماری‌های مرجع موسسه ملی استاندارد و فناوری^۱

مؤسسه ملی استاندارد و فناوری، یک موسسه دولتی در آمریکا است که معماری‌های مرجع در طیف گسترده‌ای از موضوعات فناوری اطلاعات، شامل رایانش ابری تا داده‌های عظیم را تدوین و منتشر کرده است. این موسسه در سال ۲۰۱۵، یک زیست بوم تولید هوشمند برای نمایش چند بُعدی از صنعت نسل چهار منتشر نموده که تفاوت‌های زیادی با مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار موسوم به RAMI 4.0 و دیگر مدل‌های سه بُعدی دارد. در مدل موسسه ملی استاندارد و فناوری برای هر کدام از ابعاد سه گانه محصول، تولید، و کسب‌وکار، یک چرخه حیات مستقل دیده شده است. در مدل زیست بوم تولید هوشمند، علاوه بر لایه سه بُعدی، سطوح بیشتری از یکپارچگی، ارتباطات، و غیره نیز به چشم می‌خورد [21].

معماری سامانه صنعتی هوشمند چین^۲

این معماری از برنامه راهبردی توسعه چین موسوم به «ساخت چین ۲۰۲۵» پیروی می‌کند. این مدل در سال ۲۰۱۵ منتشر شد و شامل لایه‌های سه بُعدی است و چرخه حیات، سلسله مراتب سامانه، و ابعاد وظایف هوشمند را در بر می‌گیرد. معماری سامانه صنعتی هوشمند چین به شدت با مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار موسوم به RAMI 4.0 منطبق است. با این تفاوت که در مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار، محور چرخه حیات به توسعه و تولید تقسیم

¹ The National Institute of Standards and Technology (NIST)

² China Intelligent Manufacturing System Architecture (IMSA)

و مستقل از یکدیگر در نظر گرفته شده‌اند. با وجود تفاوت‌ها، این دو مدل را با یکدیگر می‌توان ترکیب نمود [21].

تصویر بزرگ استانداردها

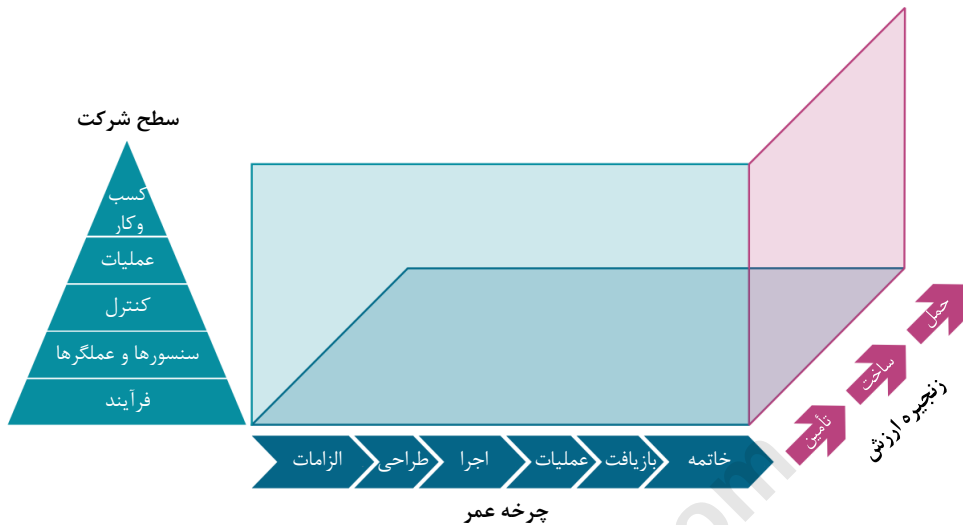
در گزارش فنی TR 23087 سازمان بین‌المللی استاندارد (ایزو) یک نمای کلی از استانداردها (یا تصویر بزرگ استانداردها) ویژه سامانه‌های خودکارسازی و یکپارچه‌سازی سامانه‌ها ارائه شده است. سازمان استاندارد فرانسه به نام AFNOR و شرکت برق آن کشور در تهیه این گزارش فنی و تهیه تصویر اشاره شده مشارکت فعالی داشتند. این سند اساساً استانداردهایی را طبقه بندی می‌کند که توسط کمیته فنی 184 (مربوط به سامانه‌های خودکارسازی و یکپارچه‌سازی سامانه‌های ایزو) و کمیته فنی 65 (فعال در فناوری کنترل فرآیندهای صنعتی) و کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC) تهیه شده‌اند [21].

مدل تصویر بزرگ استانداردها، یک مدل لایه ای سه بُعدی است که شامل سطوح سازمانی، زنجیره ارزش، و چرخه حیات محصول است (شکل ۱۴):

- بُعد چرخه حیات با مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار قابل مقایسه است.
- بُعد سطح سازمانی آن مشابه محور لایه‌ها و محور سلسله مراتبی در مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار است. این بدان معنی است که نه تنها یک سطح سازمانی برای کسب‌وکار، بلکه یک سطح سازمانی برای حسگرها و محرک‌ها هم در آن به چشم می‌خورد.
- بُعد زنجیره ارزش شامل منابع (زنجیره تامین)، ساخت (تولید)، و حمل (فروش) است. این ارزش‌ها نیز مشابه لایه‌های مجزا در محور سلسله مراتبی در مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار هستند.

بنابراین، محورهای سطح سازمانی و زنجیره ارزش در مدل تصویر بزرگ را می‌توان با محورهای لایه‌ها و سلسله مراتب در مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار با هم ترکیب کرد. از آنجایی که محور چرخه حیات برای هر دو مدل مشابه است، این دو مدل را می‌توان به طور کامل با یکدیگر ترکیب کرد. این رویکرد به ویژه هنگام استفاده از یک فرا مدل^۱ در مدل‌های معماری مرجع، برای تولید صنعتی هوشمند، ممکن است مفید باشد.

¹ Meta-Model



شکل ۱۴ محورها و مؤلفه‌ها در تصویر بزرگ استانداردهای ایزو (ISO/TR 23087) [21]

مدل معماری مرجع زنجیره ارزش صنعتی^۱

این مدل در سال ۲۰۱۶ توسط گروه زنجیره ارزش صنعتی ژاپن، متشکل از شرکت‌های بزرگ ژاپنی مانند میتسوبیشی الکتریک، فوجیتسو، نیسان موتور و پاناسونیک منتشر شد. این یک مدل معماری مرجع سه بُعدی برای واحدهای صنعتی هوشمند است و شامل محورهای نمای فعالیت، نمای مدیریت و نمای دارایی است. این طبقه بندی نشان می‌دهد که اطلاعات در مدل معماری مرجع زنجیره ارزش صنعتی با مدل معماری مرجع صنعت نسل چهار کاملاً متفاوت است [21].

فرا مدل ISO و IEC

از سال ۲۰۱۷، یک کار گروه مشترک از سازمان ایزو و IEC (به نام JWG 21) با هدف هماهنگ سازی مدل‌های مرجع موجود برای صنعت نسل چهار یا تولید صنعتی هوشمند تشکیل شد. نماینده کشورهای مختلف از جمله کشورهای بزرگ صنعتی مانند آمریکا، چین، ژاپن، آلمان و فرانسه در این کار گروه حضور دارند. با توجه به دوره‌های زمانی در انتشار استانداردهای بین‌المللی، اولین پیش‌نویس یافته‌های این کارگروه قرار بود در سال ۲۰۲۰ منتشر شود اما تا زمان نگارش این کتاب اطلاع رسمی از آن به دست نیامد [21].

¹ The Industrial Value Chain Reference Architecture (IVRA)

بخش سوم: پیاده‌سازی

books4smes.com

همانطور که در بخش یک در خصوص نقشه راه صنعت نسل چهار اشاره شد، تحول دیجیتال انقلاب صنعتی نسل چهار را با رویکردهای مختلفی می‌توان پیاده‌سازی نمود. البته در عمل هیچ یک از این رویکردها به تنهایی و یا به طور مطلق برای تمام شرکت‌ها در شرایط مختلف قابل پیگیری نیست.

در این بخش به انواع تجربیات پیاده‌سازی صنعت نسل چهار با رویکردهایی از قبیل مدیریت تغییر، تولید ناب، خودکارسازی یا هوشمندسازی، و برخی تجربیات محدود اشاره می‌شود. البته به مواردی اشاره می‌شود که بهترین نقشه راه برای استقرار صنعت نسل چهار در صنایع مختلف باشند.

اما در تجربیات مورد اشاره، اهداف مختلفی فرای اهداف اصلی یعنی پیاده‌سازی و بهره‌مندی از مزایای انقلاب صنعتی نسل چهار مشاهده شده است که مهمترین آنها آموزش، تحقیقات، و انتقال دانش است. به طور کلی، و بر اساس مدل تغییر لوین، چارچوب پیاده‌سازی را می‌توان در سه مرحله زیر عملیاتی کرد [1]:

- **ارتباط:** در طول اجرای طرح‌های تحول دیجیتال، کارکنان باید فشار رقابتی ایجاد شده در بازار و تحولات ناشی از قدرت‌های اقتصادی را از یک طرف، و ظرفیت‌های قابل دستیابی ناشی از پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت نسل چهار را از سوی دیگر به خوبی درک کنند. کارکنان باید بدانند که برای رقابتی ماندن و استمرار فعالیت‌های شرکت، چاره‌ای جز تغییر و سازگاری با شرایط پیش رو نیست و به طور مشخص باید از قابلیت‌های راه‌حل‌های صنعت نسل چهار که می‌تواند برای شرکت به ارمغان آورده شود، استفاده کرد.
- **اجرا:** کارکنان باید برای ارائه ایده‌های خود به کمیته راهبری آمادگی کامل داشته باشند. برای رسیدن به این هدف، برگزاری کارگاه‌های ایده پردازی نه تنها برای تشویق و ترویج ایده‌ها، بلکه برای مشارکت بیشتر کارکنان در فرآیندهای جدید ضروری است.
- **عملیاتی سازی:** در طول مرحله عملیاتی برنامه‌های تحول دیجیتال صنعت نسل چهارم، کارکنان بیشتری درگیر خواهند شد. برای حمایت از آنها، کمیته راهبری و مدیران طرح تحول، به عنوان یک ساختار با رویه‌های ثابت معرفی می‌شوند. آنها از اجرای فن‌آوری‌های جدید و موارد استفاده آنها پشتیبانی می‌کنند. در بررسی عملکرد کارکنان، ارائه ایده‌ها، کمک به پیاده‌سازی و پیوند همزمان با راه‌حل‌های صنعت نسل چهار، و از عهده فناوری‌های جدید برآمدن به طور دقیق ارزیابی می‌شود. اگرچه اجرای طرح‌های مرتبط با صنعت نسل چهار در شرکت‌ها، در حال تبدیل شدن به یک فعالیت

روزانه است، اما تصویر اهداف، فرآیندها، و ساختارها باید به طور مدام برای انطباق با این فناوری‌ها و بهبودهای بیشتر بررسی شود.

اگرچه پذیرش فناوری‌های صنعت نسل چهار به عنوان یک راهبرد برای افزایش کیفیت محصول و افزایش کارایی فرآیندها تلقی می‌شود، اما بزرگترین چالش در این مسیر، ادغام فناوری‌های جدید با سامانه‌ها و فرآیندهای تولیدی موجود است. در بسیاری موارد، این مشکلات از ترکیب رشته‌های مختلف مانند تولید، فناوری اطلاعات، مدیریت، و لجستیک برای اجرای راهکارهای جدید ناشی می‌شود. به خصوص ساختارهای فناوری اطلاعات و منابع فیزیکی در شرکت‌ها اغلب هماهنگ نیستند و منجر به ناکارآمدی‌های مختلف می‌شود [1].

برای غلبه بر مشکلات و چالش‌های یاد شده، تاکنون مفاهیم نظری و عملی متعددی ارائه شده است. در برخی تجربیات به رویکردهای تولید ناب^۱ به دلیل اصول اولیه یکسان در آنها، به عنوان چارچوبی امیدوارکننده برای اجرای صنعت نسل چهار در شرکت‌ها، اشاره می‌شود. البته با توجه به همگام سازی و هماهنگی مورد نیاز در استقرار راه‌حل‌های صنعت نسل چهار، و برای تعامل متقابل آنها، این پیشنهاد به طور کامل پشتیبانی نمی‌شود.

در کنار طرفداران رویکردهای ناب، برخی دیگر به پیاده‌سازی راه‌حل‌های خودکار سازی به عنوان چارچوب تحول دیجیتال انقلاب صنعتی نسل چهار تاکید دارند. بنا به تجربیات گزارش شده، تاکنون دو رویکرد تولید ناب و خودکار سازی، بیشترین کاربرد در استقرار صنعت نسل چهار را دارند. در ادامه به جزئیات پیاده‌سازی این دو رویکرد بیشتر پرداخته می‌شود.

اما صرف نظر از رویکردهای فنی قابل اتخاذ، برخی‌ها به سازمان دهی شرکت‌ها در این تحولات از بالا به پایین یا بالعکس تاکید می‌کنند. در سازماندهی از بالا به پایین، به روش نردبانی به ویژه برای بکارگیری فناوری‌های جدید از منظر مدیریت و پذیرش آنها تاکید دارند. اما در سازماندهی از پایین به بالا، بیشتر به پذیرش و تغییرات از کف کارخانه و کارکنان شرکت تاکید شده است. البته منتقدین به راهبرد اخیر، الزامات مشارکت و دانش کارکنان خطوط تولید را از مشکلات این روش می‌دانند و به اعتقاد آنها این روش پیاده‌سازی منجر به اجرای پایدار و هماهنگ فناوری‌های صنعت نسل چهار نخواهد شد.

صرف نظر از جنبه‌های نظری که در اینجا اشاره شد، برخی شرکت‌های بزرگ شروع به راه‌اندازی سکوه‌های دیجیتالی آزمایشی و آزمایشگاهی برای اجرای هماهنگ و اولیه فناوری‌های صنعت نسل چهار کرده‌اند. برای مثال، طرح برگزیده شرکت ایرباس به نام Space Proto می‌تواند

¹ Lean Manufacturing

برای تقویت نوآوری و چابکی کارکنان در اجرای تحولات دیجیتالی صنعت نسل چهار که بسیار پیچیده و در هم تنیده هستند، بسیار مفید باشد.

در این آزمایشگاه از فناوری‌های جدید مانند چاپگرهای سه بعدی و تجهیزات واقعیت مجازی در ترکیب با وظایف کارکنان ماهر به صورتی نوآورانه استفاده شده و از فرآیندهای ایده‌پردازی و پیاده‌سازی پشتیبانی می‌کند. دیگر شرکت‌های بزرگ صنعتی جهان نیز از رویکردهای مشابه شرکت ایرباس پیروی کرده‌اند. به عنوان مثال، شرکت پورشه با استفاده از آزمایشگاه دیجیتال خود و شرکت دایملر از طریق چارچوب فناوری خود از رویکرد آزمایشگاهی استفاده کرده‌اند. این رویکردهای نوآورانه و متکی بر روش‌های آزمایشگاهی معمولاً ذهنیت راه‌اندازی و ساختارهای راه‌اندازی را نشان می‌دهند و منفک از سلسله مراتب کلاسیک شرکت‌ها عمل می‌کنند [1].

فارغ از رویکردهای اشاره شده در اجرای راه‌حل‌های صنعت نسل چهار، شرکت‌ها باید اهداف مختلفی را دنبال کنند تا به موفقیت بلند مدت و پایدار در این تحولات جدید دیجیتالی دست یابند. به طور کلی، یک نهاد فراگیر برای کنترل و اجرای متمرکز و حتی غیرمتمرکز راه‌حل‌های صنعت نسل چهار نیاز است. این نهاد باید فعالیت‌های زیر را پوشش دهد [1]:

- کنترل متمرکز و همگام نمودن کلیه فعالیت‌های پیاده‌سازی تحول دیجیتالی صنعت نسل چهار در داخل شرکت؛
- شناسایی ظرفیت‌های صنعت نسل چهار و گسترش کارآمد راه‌حل‌های ویژه برای پیاده‌سازی و بلوغ در ظرفیت‌های تولید؛
- کسب دانش فنی برای توسعه راه‌حل‌های فناوری برای حل مشکلات خاص؛
- ترویج تعاملات و همکاری درون سازمانی و بین سازمانی؛
- ارائه و اجرای روش‌های نوآورانه.

برای ادامه بحث، در فصل بعدی ابتدا به موضوع مدیریت تغییر به عنوان مهمترین اقدام در هدایت طرح‌های اجرایی و پیاده‌سازی صنعت نسل چهار پرداخته می‌شود. بعد از آن در فصل‌های انتهایی کتاب، به رویکردهای ناب و هوشمندسازی در پیاده‌سازی صنعت نسل چهار پرداخته خواهد شد.

فصل ۵: مدیریت تغییر

پیاده‌سازی صنعت نسل چهار، نیازمند یک رویکرد پیچیده برای مدیریت تغییر همراه با ضروریات زیر است [26]. شناخت این ضروریات و توصیه‌ها، شناخت چالش‌ها، و سپس معرفی اصول مدیریت تغییر با هدف پیاده‌سازی صنعت نسل چهار و استقرار کارخانه‌های هوشمند از اهداف این فصل است که در ادامه ارائه خواهند شد.

ضروریات و توصیه‌های تغییر

صنعت نسل چهار به عنوان یک راهبرد کسب‌وکار، نه یک طرح بزرگ فناوری اطلاعات: اگرچه کارکردهای فناوری اطلاعات نقشی محوری دارند، اما نباید اجرای تحولات صنعت نسل چهار در سایه آن قرار گیرد.

مدیریت و هماهنگی دقیق فعالیت‌ها: شرکت‌های پیشگام برای پذیرش و مدیریت تحولات صنعت نسل چهار یک کمیته راهبری در بخش تعالی عملیاتی یا نوآوری، یا دفتر مدیریت پروژه^۱ تشکیل می‌دهند.

ایجاد تعادل مناسب بین کنترل‌های متمرکز و غیر متمرکز: این امر به ویژه هنگام اجرای طرح‌های آزمایشی، ارزیابی نتایج، و تصمیم‌گیری‌ها برای استفاده از فناوری‌ها اهمیت بسیار دارد. کنترل‌های متمرکز منجر به استانداردسازی و کنترل هزینه‌ها می‌شود، در حالی که کنترل‌های غیر متمرکز، نوآوری و تعهد اجرایی بخش‌های یک سازمان را افزایش می‌دهد.

شناسایی مناسب‌ترین روش تامین منابع: شرکت‌ها برای سرمایه‌گذاری در استقرار صنعت نسل چهار از روش تامین منابع متمرکز یا غیر متمرکز، و یا رویکرد ترکیبی استفاده می‌کنند. بودجه ریزی متمرکز موجب هماهنگی بیشتر و رویکرد دراز مدت در برگشت سرمایه می‌گردد،

¹ PMO

در حالی که تامین بودجه به روش غیر متمرکز معمولاً به بازده کوتاه‌مدت و ترویج اجرای طرح‌های محلی مؤثرتر منجر می‌شود. برخی شرکت‌ها از رویکرد ترکیبی برای پیگیری همه اهداف مرتبط استفاده می‌کنند.

کسب اطلاع از نوآوری‌ها: برخی شرکت‌ها به منظور آگاهی و استفاده از فناوری‌های جدید، به مشارکت با مراکز تحقیقاتی، تامین مالی شرکت‌های نوپا و دانش بنیان، حضور در زیست بوم‌های باز نوآوری روی می‌آورند.

چالش‌های تغییر

اجرای هر نوآوری در فرآیندها ممکن است منجر به چالش‌های پیش‌بینی نشده در فناوری، ظهور وظایف و مهارت‌های جدید برای بخش‌های عملیاتی، و تغییرات مهم و مؤثر در فرآیندهای تولید در تمام خطوط تولید شود.

بر اساس برخی بررسی‌های میدانی، اکثر شرکت‌ها فاقد بینش کافی نسبت به چالش‌های کلیدی، طرح‌ها، یا قابلیت‌های مورد نیاز برای تغییر وضعیت فعلی و پشتیبانی از اجرای موفق کارخانه هوشمند هستند.

با یک رویکرد ساخت یافته و سازمان متمرکز می‌توان چالش‌های پیاده‌سازی صنعت نسل چهار را به حوزه‌های کارکنان، فناوری‌ها، و فرآیندها به شرح زیر تقسیم نمود [27]:

چالش‌های حوزه کارکنان: کارکنان اغلب فاقد دیدگاه و درک مشترک از اجرای هوشمند کارخانه می‌باشند. علاوه بر این، کارکنان با عبارات، مفاهیم، و انتظارات مختلف نسبت به تحولات دیجیتالی کارخانه هوشمند و نیازهای کارخانه به توسعه قابلیت‌ها ارتباط برقرار می‌کنند. این یکی از مهمترین چالش‌هایی است که در طرح‌های توسعه به مفهوم سازی شناخته شده است.

چالش‌های حوزه فناوری: ماهیت بسیار پیچیده فناوری‌ها و سامانه‌های انقلاب صنعتی نسل چهار، سنجش مزایای بالقوه این تحول دیجیتالی را دشوار می‌سازد. در واقع، ماهیت منسجم و یکپارچه کارخانه هوشمند، ممکن است موجب عدم اطمینان از سازگاری‌های فناوری‌ها، فرآیندها، و قابلیت‌های کارکنان باشد. برخی چالش‌های فن آوری ناشی از پیچیدگی‌های پیوستن فناوری‌های جدید به نسل قبلی فناوری‌های تولید است.

از سوی دیگر، هزینه بسیار بالای اجرای کارخانه‌های هوشمند، به ویژه در سال‌های اولیه سرمایه‌گذاری، عدم اطمینان از برگشت سرمایه‌گذاری در آینده نزدیک را تشدید می‌کند.

چالش‌های حوزه فرآیند: شرکت‌ها در تغییر رویه‌های و عملیات سنتی و فرآیندهای موجود به آنچه در تحول دیجیتال نیاز است با مشکلاتی روبرو می‌شوند. اغلب اینگونه چالش‌ها ناشی از عدم وجود یک رویکرد منسجم، یکپارچه، و نظام‌مند برای اجرای طرح‌های نوظهور که نتایج چابک‌تر و انعطاف‌پذیرتر و زمان سریع‌تری را برای بازار فراهم می‌کنند، می‌باشد.

از آنجا که فرآیندهای فعلی تولید برای مدت طولانی به یک شیوه ثابت اجرا و به عنوان روشی سنتی نزد کارکنان و مدیران به یک فرهنگ تبدیل شده، تغییر آن می‌تواند سخت و بسیار دشوار باشد. در این مواقع، به مدل‌های کسب‌وکار جدید برای ایجاد و مدیریت تحول نیاز است و ضمناً باید به جذب افراد با شایستگی‌های قابل قبول اقدام نمود.

به اذعان بسیاری از خبرگان، اجرای نوآوری در فرآیندها، به ویژه نوآوری به مقیاس یک کارخانه هوشمند، اغلب بسیار مشکل و مستلزم هزینه‌های قابل توجهی است. به همین دلیل، برای اجرای موفقیت‌آمیز تحولات دیجیتال، شناسایی و درک چالش‌های با تأثیر بالا در فرآیندها بسیار مهم است. بر اساس یک دستورالعمل تجربه شده، برای شناسایی چالش‌های کلیدی و ارزیابی اهمیت آنها، می‌توان از نقشه برداری خاص، بر اساس داده‌های کارگاهی و مصاحبه با مدیران و کارکنان مطلع استفاده کرد. در این دستورالعمل، از هر مصاحبه شونده خواسته می‌شود تا برجسته‌ترین چالش‌هایی که شرکت ممکن است در اجرای مفهوم کارخانه هوشمند با آن مواجه شود را توضیح دهد. سپس روایت‌های فردی از چالش‌ها، با روش همکاری و مباحثه، منجر به شناسایی چالش‌های مؤثرتر می‌گردد.

بسیاری از صاحب نظران، و در تأیید فرآیند شناسایی چالش‌ها به روش اشاره شده، اتخاذ رویکردهای گام به گام نظام‌مند برای مدیریت تحول سازمانی در کارکنان، فرآیندها، و فناوری تاکید شده است.

بر اساس یک تجربه میدانی و مصاحبه با مدیران و کارکنان مطلع در یک شرکت که در میانه راه اجرای کارخانه هوشمند بود، برخی مهمترین چالش‌ها از زبان آنها به شرح زیر گزارش شده است [27]:

- مهندس طرح: نبود درک و مفهوم مشترک از کارخانه هوشمند بین کارکنان تأثیر به سزایی در موفقیت و اجرای به موقع طرح‌های تحول دیجیتال دارند. متأسفانه در بیشتر مواقع، به نقشه‌های راه و تعاریف کلی از الزامات و مزایای کارخانه هوشمند بسنده می‌شود.
- مدیر تولید دیجیتال: عدم اطمینان بین مزایای بالقوه و هزینه‌های اجرای کارخانه هوشمند، به ویژه برخی سامانه‌های اساسی باید قبل از سامانه‌های سودمند پیاده‌سازی

شوند. این چالش باعث سرخوردگی و تردید در سرمایه‌گذاری‌های زیربنایی برای فناوری‌های جدید می‌شود. چرا که پیاده‌سازی برخی فناوری‌ها در کوتاه‌مدت ممکن است سودی به همراه نداشته باشند.

- هماهنگ کننده فناوری اطلاعات: سطح اتصال بین بخش‌های تولید هماهنگ نیست. برخی از فناوری‌ها هنوز متصل نیستند و برخی سامانه‌ها به‌روز نشده‌اند. این ناهماهنگی‌ها منجر به عدم همراهی همه عوامل با توسعه پیر شتاب می‌شوند.
- یک مدیر اجرایی: با طولانی شدن اجرای طرح کارخانه هوشمند، لزوم تخصیص منابع مالی زیاد به آن، جابجایی و گردش کار در منابع انسانی، و برخی تغییرات محیطی و قانونی، شرکت را در اجرای دقیق طرح‌ها با مشکلات و تغییرات جبران‌ناپذیری روبرو می‌کند.

اصول تغییر

برای پیاده‌سازی مفهوم کارخانه هوشمند، شرکت‌ها علاوه بر شناسایی چالش‌های مهم و تاثیرگذار، قابلیت‌های داخلی را هم باید توسعه دهند. تجزیه و تحلیل‌ها، حاکی از سه اصل اساسی برای اجرای موفق کارخانه هوشمند است [27]:

پروژه شناخت و مهارت‌های دیجیتال کارکنان برای هدایت طرح تحول دیجیتالی

کارخانه هوشمند: شایستگی و مهارت‌های کارکنان باید همگام با تغییرات محیطی توسعه یابد تا آنها بتوانند با پیشرفت‌های سریع فناوری کنار بیایند و بر سکون و ایستایی سازمانی غلبه کنند. بنابراین، مدیران مسئول پیاده‌سازی کارخانه هوشمند باید بر جذب و توانمندسازی افراد دارای شایستگی‌های دیجیتالی تمرکز کنند و همزمان مهارت‌های دیجیتالی را در نیروی کار موجود افزایش دهند.

استفاده از فرآیندهای چابک به عنوان اهرم توسعه سریع فناوری: مدل‌های سنتی

اجرای طرح، از قبیل مرحله‌ای - دروازه‌ای^۱ یا مشابه در شرکت‌های بزرگ با سرعت تغییر فناوری‌ها هماهنگ نیست. فرآیندهای چابک، به دلیل پشتیبانی از استقلال و انعطاف‌پذیری در پیاده‌سازی کارخانه هوشمند، و ماهیت آنها هم در شرکت‌های بزرگ و هم در شرکت‌های کوچک و متوسط،

¹ Stage-Gate

بازنگری در پایان هر مرحله از یک طرح بزرگ، که در آن تصمیم برای ادامه به مرحله بعدی، بر اساس یکی از تصمیمات ادامه و اصلاح، یا پایان دادن به طرح یا برنامه اتخاذ می‌گردد.

با تجربه موفق تری روبرو بوده‌اند. ایجاد چرخه ارزیابی مستمر در فرآیندهای چابک، فرصت‌هایی را برای بهبود مستمر فرآیندهای تولید در مواجهه با تقاضاهای در حال تغییر فراهم می‌کند. بنابراین، بهبود مستمر فرآیندها برای هدایت مجدد تلاش‌ها هماهنگ با ظهور فناوری‌ها و فرصت‌های جدید، انعطاف‌پذیری لازم را فراهم می‌کند.

پیکربندی فناوری به روش ماژولار برای مدیریت پیچیدگی سامانه‌های دیجیتالی:

گرچه فناوری کارخانه‌های هوشمند فرصت‌های عظیمی را ایجاد می‌کند، اما در عین حال، به دلیل تعداد و پیچیدگی انتخاب‌ها، موجب ناامیدی و یاس در ادامه فرآیند اجرایی طرح‌های تحول دیجیتالی می‌شود. تقسیم راه‌حل‌های فناوری به ماژول‌ها و ارائه هر راه‌حل به صورت گام به گام، همزمان با اجرای آموزش‌های ضروری، منجر به پذیرش و به حداقل رساندن فشار در حین استقرار پایه‌ها و زیرساخت‌ها می‌شود.

نکته مهم این است که بسیاری از قابلیت‌ها و شایستگی‌های مورد نیاز برای پشتیبانی از اجرای طرح‌های کارخانه هوشمند را می‌توان در طول زمان به دست آورد و تیم‌های همکار با استقلال بیشتری می‌توانند برای پیشبرد و موفقیت طرح‌ها اقدام کنند. این روند، علاوه بر توانمندسازی تیم‌های اجرایی، فرصت‌هایی را برای نوآوری‌های پی در پی فراهم می‌کند و در نتیجه محدودیت فناوری‌های خاص را نیز کاهش می‌دهد.

در جمع بندی مطالب فوق، و بر اساس سه اصلی اساسی معرفی شده یعنی پرورش کارکنان با شناخت و مهارت دیجیتالی، معرفی فرآیندهای چابک، و پیکربندی فناوری‌ها به روش ماژولار منطبق با سه حوزه چالش خیز یعنی کارکنان، فرآیند، و فناوری، یک مدل راهنمای بلوغ کارخانه هوشمند استخراج که به طور خلاصه در جدول و شکل نموداری زیر ارائه می‌گردد.

جدول ۸ راهنمای بلوغ کارخانه هوشمند [27]

سطح یک: فناوری‌های متصل	
کارکنان؛	ایجاد یک فرهنگ فراگیر، با مشارکت کارکنان
پرورش کارکنان با شناخت و مهارت	در توسعه چشم‌انداز؛
دیجیتالی	جذب افراد با شایستگی‌های دیجیتالی؛
فرآیند؛	رسمیت دادن به فرآیندهای ترکیبی
معرفی فرآیندهای چابک	پیاده‌سازی کارخانه هوشمند؛

تعریف سکوی یکپارچه و فرآیند همکاری با
مشارکت بازیگران بیرونی شرکت؛

استفاده از یک رویکرد دیجیتالی برای نقشه
برداری از فناوری‌های موجود و جدید؛
اتصال فناوری‌های جدید به سامانه‌های
موجود، برای استقرار جریان داده قوی و
معتبر؛

فناوری؛

پیکربندی ماژولار فناوری

سطح دو: جمع‌آوری و به اشتراک گذاری داده‌های ساخت یافته

آموزش افراد برای افزایش توانایی بهره برداری
از سامانه‌های متصل؛
بازبینی نقش کارکنان تولید در هماهنگی
فعالانه تولید اطلاعات دیجیتالی و به اشتراک
گذاری دانش کسب شده؛

کارکنان؛

پرورش کارکنان با شناخت و مهارت

دیجیتالی

ایجاد فرآیندهای تخصصی درون کاوی برای
پشتیبانی از جمع‌آوری اطلاعات در بخش‌های
مختلف تولید؛
استقرار شبکه‌های مجازی چند جانبه، برای
تسهیل اشتراک دانش؛

فرآیند؛

معرفی فرآیندهای چابک

افزایش دقت در جمع‌آوری داده‌ها؛
ایجاد فرآیندهای خودکار برای داده کاوی و
به اشتراک گذاری چند جانبه؛

فناوری؛

پیکربندی ماژولار فناوری

سطح سه: تجزیه و تحلیل، و بهینه‌سازی فرآیند در زمان واقعی

سازماندهی جلسات مفهوم سازی با
تامین‌کننده‌ها، کاربران و سایر ذی‌نفعان؛
استخدام تحلیلگران و دانشمندان داده برای
بهینه‌سازی تولید؛

کارکنان؛

پرورش کارکنان با شناخت و مهارت

دیجیتالی

استفاده از تجزیه و تحلیل شناخت، و تفسیر
داده‌ها برای استفاده در فرآیندهای عملیاتی؛

فرآیند؛

معرفی فرآیندهای چابک

اجرای فرآیندهای ارزیابی برای فرصت‌های
بهینه‌سازی؛

پیاده‌سازی سامانه‌های تجزیه و تحلیل
عملکردها در زمان واقعی؛
پیاده‌سازی سامانه‌های شبیه سازی برای
آزمایش، نمونه سازی، و بهینه‌سازی کارخانه
هوشمند؛

فناوری؛

پیکربندی ماژولار فناوری

سطح چهار: تولید قابل پیش‌بینی، هوشمند

ایجاد فرهنگ نوآوری مستمر در کارخانه
هوشمند؛
تعریف نقش‌ها و مسئولیت‌های تخصصی با
هدف تولید قابل پیش‌بینی؛

کارکنان؛

پرورش کارکنان با شناخت و مهارت

دیجیتالی

طراحی فرآیندهایی برای یکپارچه‌سازی
داده‌ها در تصمیم‌گیری؛
تعریف فرآیندهای پیش‌بینی و برنامه‌ریزی
تولید آینده؛

فرآیند؛

معرفی فرآیندهای چابک

ایجاد سامانه‌هایی برای نظارت و انعکاس
تجزیه و تحلیل‌های مهم عملیاتی؛
یکپارچه‌سازی اطلاعات با سامانه‌های شرکای
بیرونی برای فعال کردن قابلیت پیش‌بینی
زنجیره تامین.

فناوری؛

پیکربندی ماژولار فناوری



شکل ۱۵ راهنمای بلوغ کارخانه هوشمند [27]

فصل ۶: پیاده‌سازی با رویکردهای ناب

در ادبیات مدیریت، راه‌حل‌ها یا ابزارهای خاص مدیریتی معاصر مانند شش سیگما، تولید ناب، مدیریت دانش، شبکه‌های اجتماعی، سازگارترین مفاهیم با صنعت نسل چهار هستند. این موارد و بسیاری ابزارهای مدیریتی دیگر را نیز می‌توان به عنوان ستون فقرات و چارچوبی مناسب برای توسعه سازمان‌ها با رویکردهای ناب در نظر گرفت که از آن‌ها برای حمایت و حفظ اثربخشی، انعطاف‌پذیری و سودآوری در انقلاب صنعتی مدرن استفاده می‌کنند. در ادامه به ترکیب مدیریت ناب با صنعت نسل چهارم به تفصیل پرداخته می‌شود و سپس به برخی دیگر از این مفاهیم که بیشترین سازگاری با موفقیت انقلاب صنعتی چهارم داشته‌اند در حد اختصار اشاره خواهد شد.

مدیریت ناب^۱

خودکارسازی و مدیریت ناب می‌توانند برای تحقق منافع بیشتر شرکت‌ها ترکیب شوند. صنعت نسل چهارم را می‌توان به عنوان یک تحول منطقی از اصول ناب در نظر گرفت که به تحقق کامل اهداف آن کمک می‌کند. بنابراین، مفاهیم ناب و ابزارهای آن را می‌توان به طور قطعی در مدل کسب‌وکار استفاده کرد تا بتوان به موفقیت در انقلاب صنعتی نسل چهارم دست یافت [28].

تفاوت اصلی بین مدیریت ناب و انقلاب صنعتی نسل چهارم در رویکرد راهبردی آن‌ها نهفته است. مدیریت ناب، راه‌حل‌های ساده با ابزارهای ساده را برای کاهش پیچیدگی‌های محیطی توصیه می‌کند. در حالی که صنعت نسل چهارم با کنترل غیرمتمرکز و دستیاری هوشمند محیط، پیچیدگی‌ها را از نظر کاربر ساده می‌کند. به هر حال موضوع به این سادگی نیست و برخی از سوالات به شرح زیر در ذهن‌ها باقی می‌ماند:

کدام روش‌های ناب صنعت نسل چهارم را پشتیبانی می‌کنند؟

¹ Lean Management

کدام ابزارهای مدیریت ناب با فناوری‌های صنعت نسل چهار ترکیب می‌شوند؟
 آیا اصولی برای تطبیق این دو مفهوم راهبردی وجود دارد؟
 کدام ابزار مدیریت ناب، با دیجیتالی شدن تولید منسوخ خواهد شد؟

تولید ناب^۱

تولید ناب به عنوان زیر شاخه مدیریت ناب مجموعه ای از اصول، روش‌ها و اقداماتی است که در صورت اجرا باعث حذف ضایعات و در مقابل دستیابی به یک مزیت رقابتی می‌شود. اصول تولید ناب در اوایل دهه ۱۹۹۰ به طور گسترده توسط بسیاری از شرکت‌ها پذیرفته شد [28]. هدف اصلی تولید ناب، بهبود مستمر و کاهش هزینه از طریق حذف ضایعات یا کاهش فعالیت‌های بدون ارزش افزوده از یک سو، و افزایش کارایی در فرآیندها از سوی دیگر است. در راه حل ناب از ابزارهای مختلفی به شرح جدول زیر استفاده می‌شود. تولید ناب یک مزیت رقابتی است و به عنوان یکی از روش‌های کلیدی در افزایش سودآوری محسوب می‌شود. اشاره به ارزش مشتری در تولید ناب یعنی دستیابی به عملکرد بالا با منابع کمتر یا بیشترین تلاش با کمترین منابع است.

¹ Lean manufacturing

جدول ۹ ابزارهای تولید ناب [29]

بر اساس مفهوم کایزن ^۱	بر اساس مفهوم زمان تاکت ^۲
Total Productive Maintenance (TPM).	Value Stream Mapping (VSM)
Standardization.	Heijunka (Production Smoothing)
Forms of wastes (Muda).	Autonomation
5S (sort, set in order, shine, standardize, sustain)	Andon (Visual Control)
Total Quality Management (TQM).	Poke Yoke
Kanban (JIT/Pull)	Single Minute Exchange of Dies (SMED)

- در برخی منابع، ضایعات اصلی مورد اشاره در تولید ناب به شرح زیر معرفی شده است:
- موجودی: مواد اولیه و کار در جریان ساخت بخش قابل توجهی از منابع و فضای شرکت را اشغال کرده است،
 - انتظار: زمانی است که کارکنان در یک فرآیند پیوسته نمی‌توانند به کار بعدی بپردازند. به این معنی که هیچ کاری را انجام نمی‌دهند یا به آرامی عمل می‌کنند و منتظر مرحله قبلی در خط تولید هستند،
 - اشکالات محصول: کیفیت یا ویژگی‌های محصول مطابق خواسته مشتری نیست،
 - تولید بیش از درخواست: تولید بیش از نیاز واقعی، که بدترین نوع ضایعات است،
 - حرکت اضافی: حرکت غیر ضروری در طول فرآیند تولید، یا حمل و جابجایی‌های مواد و محصولات در طول فرآیند تولید و بین بخش‌های مختلف کارخانه،
 - فعالیت‌های اضافی: هر اقدامی که ارزشی برای مشتری ایجاد نمی‌کند،
 - استعدادها و مهارت‌های استفاده نشده کارکنان.

¹ Kaizen

کایزن، یا فرآیندهای بهبود سریع، اغلب به عنوان بخش سازنده همه روش‌های تولید ناب در نظر گرفته می‌شود. کایزن بر حذف ضایعات، بهبود بهره‌وری و دستیابی به بهبود مستمر پایدار در فعالیت‌ها و فرآیندهای هدفمند یک سازمان تمرکز دارد. تولید ناب بر اساس ایده کایزن یا بهبود مستمر، بنا شده است. این فلسفه دلالت بر این دارد که تغییرات کوچک و تدریجی که به طور معمول اعمال می‌شوند و در یک دوره طولانی پایدار می‌مانند، منجر به پیشرفت‌های قابل توجهی می‌شوند.

² Takt time

زمان تاکت به مدت زمانی اشاره دارد که تولیدکننده در هر واحد برای تولید کالا، جهت برآوردن تقاضای واقعی مشتری در اختیار دارد. زمان تاکت که اغلب در تولید ناب استفاده می‌شود، ابزاری است ضروری برای اطمینان از اینکه کالاها از طریق هر ایستگاه در خطوط تولید، به کارآمدترین شکل جریان دارند.

ارتباط صنعت نسل چهار و تولید ناب، یکی از مهمترین موضوعات برای تقویت موفقیت در اجرای صنعت نسل چهار می‌باشد. در این خصوص کارشناسان و صاحب نظران جهانی مطالعات و نظریات متعددی داشته‌اند. به نحوی که بسیاری از آنها موفقیت در پیاده‌سازی انقلاب صنعتی نسل چهار را منوط به تجربه موفق در پیاده‌سازی ابزارهای تولید ناب دانسته‌اند. برخی از این نظریات به همبستگی مثبت بین این دو مفهوم یعنی صنعت نسل چهار و تولید ناب اشاره داشته‌اند. برخی دیگر، این دو را مکمل یکدیگر می‌دانند. برای آشنایی و ارائه نشانی مقالات و نظریات، در اینجا به اختصار به چهار رابطه بین تولید ناب و صنعت نسل چهار به شرح زیر اشاره می‌شود:

- تولید ناب به عنوان اساس و پایه ای برای صنعت نسل چهار،
- تعامل بین صنعت نسل چهار و تولید ناب،
- صنعت نسل چهار مکمل تولید ناب،
- همبستگی بین تولید ناب و صنعت نسل چهار.

جدول ۱۰ تولید ناب به عنوان اساس و پایه‌ای برای صنعت نسل چهار [29]

مرجع		Tortorella & Fettermann (2017) [30]	
هدف تحقیق		تأثیر اجرای صنعت نسل چهار بر تولید ناب با توجه به بهبود عملکرد عملیاتی و اندازه شرکت.	
عوامل مورد بررسی		زمان اجرای تولید ناب، فراوانی، باقیمانده تعدیل شده ^۱	
نتیجه		شرکت‌های تولیدی با تجربه اجرای ناب شانس بیشتری در پیاده‌سازی صنعت نسل چهار در اقتصادهای نوظهور دارند. ترکیب تولید ناب با صنعت نسل چهار باعث افزایش بهره‌وری می‌شود. تجربه شرکت‌ها در اجرای تولید ناب بسیار مهم است.	
مرجع		Leyh et al. (2017) [31]	
هدف تحقیق		رابطه بین تولید ناب و مدل‌های طبقه بندی شده صنعت نسل چهار	

¹ Adjusted Residual

ارتباط انسان با انسان، ماشین با انسان، ماشین با ماشین	عوامل مورد بررسی
فناوری اطلاعات و ارتباطات از عوامل حیاتی در ادغام محیط های تولید ناب و صنعت نسل چهار است. اصول مدیریت و تولید ناب پایه صنعت نسل چهار است.	نتیجه
Rossini et al. (2019) [32]	
بررسی رابطه بین صنعت نسل چهار و تولید ناب در ۱۰۸ شرکت ناب اروپایی که در آغاز پذیرش صنعت نسل چهار بودند.	هدف تحقیق
فناوری‌های واقعیت افزوده (VR)، رایانش ابری، سامانه یکپارچه مهندسی	عوامل مورد بررسی
جذب روش‌های نوظهور در شرکت‌هایی که تولید ناب و بهبود مستمر در آنها ایجاد نشده یا ضعیف بودند، کمتر است. صنعت نسل چهار و تولید ناب با هم ارتباط قوی دارند.	نتیجه
Dombrowski & Richter (2018) [33]	
ترکیب صنعت نسل چهار و سامانه‌های تولید ناب ^۱ منجر به سامانه‌های تولید ناب نسل چهار می‌شود.	هدف تحقیق
سامانه تولید ناب نسل چهار، انتقال داده یا اطلاعات در بستر مدیریت داده	عوامل مورد بررسی
پیاده‌سازی تولید ناب موجب گرایش بیشتر به پذیرش صنعت نسل چهار می‌شود. صنعت نسل چهار باید با سامانه‌های تولید ناب ادغام شود تا آن را تقویت کند. سامانه‌های تولید ناب، پیش نیاز صنعت نسل چهار است.	نتیجه

تعامل بین صنعت نسل چهار و تولید ناب باعث هم افزایی می‌شود و کمک می‌کند تا به طور عمیق جذب شوند. صنعت نسل چهار و تولید ناب متقابل نیستند بلکه در هم ادغام می‌شوند. صنعت نسل چهار مشکلات اجرای تولید ناب را حل می‌کند.

¹ Lean Production Systems (LPS)

جدول ۱۱ تعامل بین صنعت نسل چهار و تولید ناب [29]

مرجع	
Dombrowski et al. (2017) [34]	
هدف تحقیق	سازماندهی عناصر مختلف صنعت نسل چهار بر اساس فناوری‌ها، سامانه‌ها، و ویژگی‌های مرتبط با فرآیند
عوامل مورد بررسی	رایانش ابری و داده‌های عظیم، یکپارچگی های افقی و عمودی
نتیجه	وابستگی بالا بین رایانش ابری و اجتناب از ضایعات و اصول سامانه‌های تولید ناب وابستگی مثبت بین حذف عیوب در محصولات و داده‌های عظیم
مرجع	
Mayr et al. (2018) [35]	
هدف تحقیق	چگونه صنعت نسل چهار روش‌های تولید ناب را پشتیبانی می‌کند.
عوامل مورد بررسی	ابزارهای تولید ناب نسل چهار: دقیقاً به ترتیب ^۱ ، یکنواختی تولید ^۲ ، کانبان ^۳ ، نگاشت جریان ارزش ^۴ ، دقیقاً به موقع ^۵
نتیجه	تولید ناب و صنعت نسل چهار یکدیگر را پشتیبانی می‌کنند. ابزارهای صنعت نسل چهار می‌توانند روش‌های تولید ناب پیاده‌سازی شده را به صورت فشرده پشتیبانی کنند.
مرجع	
Varela et al. (2019) [36]	

¹ Just in sequence² Heijunka^۳ اقسام کاری به صورت بصری بر روی تابلویی نمایش داده می‌شوند و به اعضای تیم اجازه می‌دهد تا وضعیت هر قطعه کار را در هر زمان مشاهده کنند.⁴ Value stream mapping (VSM)

نگاشت جریان ارزش به عنوان یک ابزار ناب تعریف می‌شود که از یک نمودار جریانی که هر مرحله از فرآیند را مستند می‌کند، استفاده می‌کند. بسیاری از متخصصان آن را ابزاری اساسی برای شناسایی ضایعات، کاهش زمان چرخه فرآیند و اجرای بهبود فرآیند می‌دانند.

⁵ JIT

یک روش مدیریت موجودی است که در آن کالاها فقط در صورت نیاز از تامین‌کننده‌ها دریافت می‌شود. هدف اصلی در این روش کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی و سرعت گردش موجودی است.

هدف تحقیق	تأثیر متقابل صنعت نسل چهار و تولید ناب بر پایداری از نظر کیفی
عوامل مورد بررسی	پایداری محیط زیست، اجتماعی و اقتصادی
نتیجه	بین صنعت نسل چهار و پایداری محیطی، اجتماعی و اقتصادی همبستگی وجود دارد. بین تولید ناب و پایداری رابطه ای مشاهده نشد.
مرجع	Satoglu et al. (2018) [37]
هدف تحقیق	چگونه صنعت نسل چهار و فناوری‌های نوآورانه خودکارسازی، از اجرای تولید ناب پشتیبانی می‌کنند.
عوامل مورد بررسی	تولید به روش افزودنی، واقعیت افزوده، شبیه سازی و مجازی سازی، تولید و موجودی بیش از حد نیاز
نتیجه	تولید ناب و صنعت نسل چهار متقابل و ناسازگار نیستند، باید یکپارچه شوند. ابزار صنعت نسل چهار می‌توانند راه‌حلهایی برای مشکلات مربوط به تولید ناب مانند سوء مدیریت و سامانه‌های ضعیف تولید ناب باشند. پیاده‌سازی تولید ناب و صنعت نسل چهار منجر به ذخیره صحیح داده‌ها می‌شوند.
مرجع	Sanders et al. (2017) [28]
هدف تحقیق	تعامل بین مدیریت ناب و صنعت نسل چهار
عوامل مورد بررسی	تعمیر و نگهداری با بهره‌وری جامع ^۱ ، زمان تاکت ^۲ ، تعویض ابزار به دقیقه ^۳
نتیجه	بیشترین پشتیبانی از ابزارهای ناب در زمان واقعی، به روش غیرمتمرکز، با قابلیت تعامل پذیری تایید شد.

^۱ Total Productive Maintenance (TPM)

^۲ Takt Time

^۳ Single Minute Exchange of Dies (SMED)

یک رویکرد ناب که زمان تغییر یا راه‌اندازی را در فرآیندهای تولید به حداقل می‌رساند به نحوی که به دقیقه انجام می‌شود.

هم افزایی متعدد بین ابزارهای مدیریت ناب و اصول صنعت نسل چهارم،
ابزارهای مدیریت ناب پیش نیاز صنعت نسل چهارم هستند.

صنعت نسل چهارم مکمل تولید ناب

با بررسی تأثیر محصولات و ماشین‌های هوشمند بر بهبود مستمر (یا کایزن به عنوان یک ابزار تولید ناب) مشخص شد که زمان بین وقوع خرابی دستگاه‌ها و اعلان خرابی از طریق عملیات هوشمند کاهش می‌یابد و در همین حال، محرک‌ها فرآیند را برای حل مشکل به طور خودکار فعال می‌کنند. همچنین، محصولات هوشمند، زمان بهبود مستمر را کوتاه‌تر و دقیق‌تر می‌کنند، زیرا داده‌ها برای هر محصول به صورت جداگانه برای نگاشت جریان ارزش جمع‌آوری می‌شود. ترکیب سامانه فیزیکی سایبری و JIT (دقیقاً به موقع) تأثیر مثبتی بر شفافیت دارد و فضای کاری در صنعت را به حداقل می‌رساند. اجرای صنعت نسل چهارم به شرکت‌ها کمک می‌کند تا بر چالش‌های موجود در مسیر تولید ناب غلبه کنند، چرا که صنعت نسل چهارم کیفیت را از طریق کاهش ضایعات و بهبود ارتباطات و هماهنگی ارتقاء می‌بخشد.

جدول ۱۲ صنعت نسل چهارم مکمل تولید ناب [29]

Kolberg & Zühlke (2015) [38]	مرجع
بررسی تأثیر اصول صنعت نسل چهارم بر خودکارسازی در تولید ناب	هدف تحقیق
بهبود مستمر (کایزن)، اپراتور، محصول، دستگاه‌ها، و طراحی هوشمند	عوامل مورد بررسی
صنعت نسل چهارم، تولید ناب را تکمیل و پشتیبانی می‌کند. صنعت نسل چهارم تولید ناب را بهبود می‌بخشد. تولید ناب موجب شتاب در پیاده‌سازی صنعت نسل چهارم می‌شود. محصولات هوشمند نیاز اجرای بهبود مستمر به نیروی انسانی را کاهش می‌دهند.	نتیجه
Sanders et al. (2016) [39]	مرجع

هدف تحقیق	شکاف بین قلمروهای تولید ناب و صنعت نسل چهار تحلیل موانع اجرای ناب به دلیل کمبود منابع
عوامل مورد بررسی	کارخانه هوشمند، فعالیت‌های فاقد ارزش افزوده، چالش پیاده‌سازی تولید ناب، ابعاد تولید ناب
نتیجه	صنعت نسل چهار علاوه بر هوشمندسازی کارخانه، موجب تولید ناب می‌شود. همبستگی مثبت بین تولید ناب و صنعت نسل چهار شرکت‌ها با استقرار صنعت نسل چهار، بر چالش‌های پیاده‌سازی تولید ناب هم غلبه می‌کنند.
مرجع	Jayaram (2016) [40]
هدف تحقیق	جهانی کردن زنجیره تامین از طریق ترکیب و ارتباط بین اجزای یک صنعت
عوامل مورد بررسی	زنجیره تامین جهانی، نظارت بر تولید، اینترنت اشیاء صنعتی شش سیگما ناب فرآیندهای غیرضروری و عیوب را از بین می‌برد. صنعت نسل چهار و اینترنت اشیاء صنعتی مدیریت یکپارچه زنجیره تامین را کارآمدتر و سریعتر می‌کنند.
مرجع	Rüttimann & Stöckli (2016) [41]
هدف تحقیق	چگونه تولید ناب در بستر صنعت نسل چهار دیده می‌شود.
عوامل مورد بررسی	کارخانه هوشمند، داده‌های عظیم و اینترنت اشیاء، واقعیت مجازی
نتیجه	صنعت نسل چهار تولید ناب را پایدارتر، دقیق تر، سریع تر و در خود حل می‌کند. صنعت نسل چهار در تولید ناب ادغام می‌شود، در این صورت، به عنوان یک انقلاب صنعتی نخواهد بود.
مرجع	Mrugalska & Wyrwicka (2017) [42]
هدف تحقیق	آیا محصولات و ماشین‌های هوشمند بر بهبود مستمر (کایزن) تأثیر می‌گذارند.

تأثیر اپراتور تقویت شده با ابزارهای مجازی، بر روش جیدوکا ^۱ (خودگردان) از طریق تشخیص خودکار خطاها.	
عوامل مورد بررسی	بهبود سریع (کایزن)، رویت همزمان وضعیت قطعات (کانبان)، خودکارسازی (جیدوکا)
نتیجه	هموار کردن مسیر تولید ناب به روش بهبود سریع (کایزن) مشاهده هوشیاری بهتر در عملیات کاهش زمان بین اعلام خرابی و وقوع خرابی
مرجع	Wagner et al. (2017) [43]
هدف تحقیق	تأثیر سامانه فیزیکی سایبری بر فرآیند مواد دقیقاً به موقع (JIT)
عوامل مورد بررسی	سامانه فیزیکی سایبری، تجزیه و تحلیل داده‌های عظیم، روش کانبان ^۲
نتیجه	افزایش شفافیت و پایداری تولید ناب، حذف کارگاه تعمیرات، حداقل نمودن نیاز به انبار.
مرجع	Duarte & Cruz-Machado (2017) [44]
هدف تحقیق	چگونه صنعت نسل چهار با تولید ناب و زنجیره تامین سبز ترکیب می‌شود
عوامل مورد بررسی	تأثیر صنعت نسل چهار بر تولید ناب و زنجیره تامین سبز اینترنت اشیاء، داده هوشمند، تامین کننده هوشمند، لجستیک هوشمند
نتیجه	صنعت نسل چهار زنجیره تامین را با قابلیت بیشتر دیدن، انعطاف‌پذیرتر می‌کند.

^۱ Jidoka

یکی از روش‌های تولید ناب، موسوم به خودگردان به معنای «خودکارسازی با دخالت انسان» یا «خودکارسازی به طور مستقل» است.

^۲ اقلام کاری به صورت بصری بر روی تابلویی نمایش داده می‌شوند و به اعضای تیم اجازه می‌دهد تا وضعیت هر قطعه کار را در هر زمان مشاهده کنند.

صنعت نسل چهار موجب تکامل تولید ناب و زنجیره تامین می‌شود.

بهبود زنجیره تامین به واسطه اینترنت اشیاء.

صنعت نسل چهار همکاری نزدیک با تامین کنندگان را بهبود می‌بخشد.

مرجع	Axelsson et al. (2018) [45]
هدف تحقیق	بهبود بهره‌وری در طرح‌های عمرانی از طریق تولید ناب و صنعت نسل چهار
عوامل مورد بررسی	مدل معماری مرجع برای صنعت نسل چهار (RAMI 4.0) تجزیه سلسله مراتبی ^۱
نتیجه	بهبود هماهنگی بین ماشین آلات بهبود کیفیت از طریق کاهش ضایعات و بهبود ارتباطات و هماهنگی.
مرجع	D'antonio & Chiabert (2018) [46]
هدف تحقیق	تأثیر صنعت نسل چهار بر استعدادهای استفاده نشده کارکنان ناشی از جدایی بین مدیریت و عملیات فرآیندی در سازمان‌های ناب
عوامل مورد بررسی	اپراتور نسل چهار، سامانه فیزیکی سایبری انسان، دستیاران شخصی هوشیار، شبکه‌های اجتماعی
نتیجه	کاهش تعداد کارکنان در بخش تعمیرات، جایجایی مشاغل به کارهای غیر تکراری، افزایش توانایی اپراتور از طریق تعامل فیزیکی و شناختی با دستگاه‌ها.
مرجع	Butollo et al. (2019) [47]
هدف تحقیق	تجزیه و تحلیل استقلال در فرآیندهای سازمان‌هایی که تولید ناب و صنعت نسل چهار با هم ترکیب شده است.

¹ Hierarchical decomposition

عوامل مورد بررسی	استقلال و خودگردانی، وابستگی‌های متقابل، چرخش وظایف، کارکنان محوری
نتیجه	زنجیره ارزش و ساختارهای صنعتی، پیش نیاز کیفیت بالاتر هستند.
	صنعت نسل چهار و تولید ناب تأثیر مثبتی بر چرخش بیشتر وظایف دارند.
	روش‌های جدید، قدرت چانه زنی کارکنان را کاهش می‌دهند.

اجرای فناوری‌های صنعت نسل چهار، موانع مربوط به تامین کننده، مشتری، فرآیند، کنترل، و عوامل انسانی را برطرف می‌کند. بنا به برخی تجربیات، با پذیرش صنعت نسل چهار، شرکت‌ها بدون نیاز به تلاش‌های آگاهانه و مداوم برای ناب شدن، در مسیر تولید ناب قرار می‌گیرند. در مقابل، با استفاده از سامانه‌های اطلاعاتی و ارتباطی پیشرفته، همراه با ساختار عملیاتی تولید ناب، شرکت‌ها قابلیت توسعه با افق‌های جدید از جمله تحول دیجیتال صنعت نسل چهار را خواهند داشت [39].

در جدول زیر خلاصه ای از چالش‌های پیاده‌سازی ناب با منابع موجود در شرکت‌ها، و راه‌حل‌های غلبه بر آنها از طریق صنعت نسل چهار، در ابعاد مختلف تولید ناب، ارائه شده است.

جدول ۱۳ چالش‌های تولید ناب از منظر یکپارچگی و راه حل صنعت نسل چهار [39]

بازخورد تامین کننده	
چالش اجرای ناب	راه حل صنعت نسل چهار
محدودیت تجربه و منابع	تولید مشارکتی
تفاوت در مدل‌های کسب و کار، شیوه‌های	روش‌های ارتباطی بهتر
نگهداری داده و عملیات	همزمانی داده‌ها
تحویل دقیقاً به موقع توسط تامین کننده	
چالش اجرای ناب	راه حل صنعت نسل چهار
وضعیت ناقص ارسال کالا	برچسب زدن روی اقلام کالا
عدم رعایت مقدار کالاهای حمل شده	ردیابی کالا بدون ارتباط سیمی

تاخیرهای غیرمنتظره در حمل و نقل		تخصیص مجدد سفارش به صورت هوشمند	
توسعه تامین کننده			
چالش اجرای ناب		راه حل صنعت نسل چهار	
منابع و تخصص ناکافی		استفاده از واسطه‌های استاندارد شده	
سازگاری تجهیزات بین سازمان‌ها		سازمان‌های مجازی و هم افزایی در همکاری	
مشارکت مشتری			
چالش اجرای ناب		راه حل صنعت نسل چهار	
انعطاف‌پذیری کم برای تغییر محصول		اجرای مهندسی هوشمند صفر تا صد	
رابطه بین نیازها و وظایف		استقرار عملکرد کیفیت ^۱ با حجم زیاد	
به دست آوردن نیازهای دقیق مشتری		تجزیه و تحلیل مصرف مشتری	
تولید کششی ^۲			
چالش اجرای ناب		راه حل صنعت نسل چهار	
پیگیری نامناسب مقدار عرضه شده		نظارت بر تکمیل موجودی مواد	
تغییرات در زمانبندی تولید		برنامه‌ریزی ردیابی و به روز رسانی به روش کانبان	
جریان پیوسته ^۳			
چالش اجرای ناب		راه حل صنعت نسل چهار	
خطا در شمارش انبار		ردیابی خودکار انبار در زمان واقعی	
کمبود ظرفیت		برون سپاری	
سامانه‌های کنترل متمرکز		تصمیم‌گیری‌های غیر متمرکز	

^۱ Quality function deployment (QFD)

استقرار عملکرد کیفیت یک فرآیند ساختاریافته است که از یک زبان بصری و مجموعه‌ای از نمودارهای مهندسی و مدیریتی به هم پیوسته برای تبدیل نیازهای مشتری به ویژگی‌های فرآیند طراحی، تولید و ساخت استفاده می‌کند.

^۲ Pull Production

روشی برای کنترل تولید که در آن فعالیت‌های پایین دستی نیازهای خود را به فعالیت‌های بالادستی اعلام می‌کنند. در روش تولید کششی از تولید بیش از حد نیاز پیشگیری می‌شود. این روش یکی از سه جزء اصلی سامانه تولید کامل دقیقاً به موقع است.

^۳ Continuous Flow

کاهش زمان تنظیم مجدد	
چالش اجرای ناب	راه حل صنعت نسل چهار
انطباق فرآیند مبتنی بر تجربه انسانی	خود بهینه‌سازی و آموزش ماشینی
	ارتباط قطعه کار و ماشین
نگهداری مولد و پیشگیرانه جامع ^۱	
چالش اجرای ناب	راه حل صنعت نسل چهار
عدم کنترل توقف دستگاه‌ها	ارتباط ماشین با انسان و ماشین با ماشین
زمان نامشخص برای حل مشکل	ارزیابی خود مراقبتی
	سامانه کنترل تعمیر و نگهداری بر اساس پیش‌بینی
کنترل فرآیند آماری	
چالش اجرای ناب	راه حل صنعت نسل چهار
بی اطلاعی اپراتورها	ارتباط قطعات با ماشین
ناتوانی در ردیابی تغییرات فرآیند	رابط بهبود یافته انسان با ماشین
	ردیابی، یکپارچه‌سازی، و مدیریت فرآیند
مشارکت کارکنان	
چالش اجرای ناب	راه حل صنعت نسل چهار
روش‌های نامناسب بازخورد	تجهیزات هوشمند بازخورد
شیوه‌های ارزیابی عملکرد	سامانه‌های پشتیبانی کارکنان
یکنواختی در کار	رابط بهبود یافته انسان با ماشین

سایر ابزارهای مدیریتی

شش سیگما^۲

شش سیگما رویکردی برای تضمین بهبود مستمر، استانداردسازی، و کاهش تنوع فرآیندهای تولید است. شش سیگما در ترکیب با تولید ناب، با صنعت نسل چهار سازگارتر است. نسخه جدید

^۱ Total Productive/Preventive Maintenance

^۲ Six Sigma

این روش، شش سیگما ناب به معنای تسریع فرآیندهای استخراج داده و در نتیجه بهبود نوآوری و دانش سازمانی است و سازگاری بیشتری با موضوع داده‌های عظیم دارد. چرا که داده‌های عظیم، یک عامل کلیدی در ایمن‌سازی و ارتقای دانش عمیق در خصوص حل مشکلات سازمانی است [48].

مدیریت دانش^۱

امروزه مدیریت دانش در بستر صنعت نسل چهارم در حال تبدیل شدن به یک منبع کلیدی برای پر کردن شکاف در حوزه‌های مهارت‌های جدید مورد نیاز کارکنان و مدیریت است. ابزارهای نوظهور از قبیل Web 3.0 یا Wikis و SharePoint به عنوان راه‌حل‌های جدید مدیریت دانش، در حال شکل‌گیری و رشد هستند. خوشبختانه این ابزارها با اینترنت اشیاء و سایر فناوری‌های دیجیتالی مرتبط با صنعت نسل چهارم سازگاری خوبی دارند [48].

شبکه‌های اجتماعی

افزایش خارق‌العاده استفاده از شبکه‌های اجتماعی در دهه گذشته، سازمان‌ها و شرکت‌ها را ترغیب نمود تا در این شبکه‌ها حضور فعال‌تری داشته باشند. شبکه‌های اجتماعی امروزه به کانال‌های کلیدی ارتباطات تبدیل شده و منبع مهمی برای داده‌های عظیم هستند. شبکه‌های اجتماعی در استقرار صنعت نسل چهارم که مبتنی بر اطلاعات بلادرنگ است، به عنوان ابزار مدیریت، به خوبی عمل می‌کنند [49].

¹ Knowledge Management

فصل ۷: پیاده‌سازی با رویکرد هوشمندسازی

کارخانه هوشمند در صنعت نسل چهار، یک سامانه یکپارچه تولیدی است که فرآیندهای آن انعطاف‌پذیر و منطبق با شرایط می‌باشند. این سامانه مشکلات ناشی از فرآیندها یا تجهیزات تولید را با شرایط مرزی^۱ در وضعیت پویا، به سرعت در حال تغییر، و با پیچیدگی‌های فزاینده، حل می‌کند. کارخانه هوشمند از دو مشخصه رایج بهره‌برداری می‌کند [50]:

- خودکارسازی: ترکیب نرم‌افزارها، سخت‌افزار رایانه‌ای و غیر رایانه‌ای منجر به بهینه‌سازی و پایداری وضعیت تولید و در نتیجه حذف نیروی کار غیر ضروری و کاهش اتلاف منابع می‌شود.
- همکاری و هماهنگی: سامانه کارخانه هوشمند چشم‌اندازی از همکاری بین ذینفعان مختلف درگیر در تولید و پشتیبانی است که هوشمندی آن ناشی از یک سازمان پویا می‌باشد.

در کارخانه هوشمند از فناوری‌های پیشرفته و هوشمند اطلاعات و ارتباطات برای توسعه محصول، مهندسی سامانه‌های تولید، خطوط تولید، تدارکات و هماهنگی واسطه‌ها برای رسیدگی فوری به نیازهای مشتری استفاده می‌شود. سامانه کارخانه‌های هوشمند با تسلط بر فرآیندهای پیچیده و کمتر مستعد اختلال، بهره‌وری تولید را افزایش می‌دهد. کارکنان، ماشین‌ها و منابع در یک کارخانه هوشمند، شبیه یک شبکه اجتماعی با هم ارتباط برقرار می‌کنند.

تولیدکننده‌های پیشگام در آغاز سفر به سوی اجرای مفهوم کامل کارخانه هوشمند هستند. برای مثال، شرکت خودروسازی تسلا یک کارخانه هوشمند تأسیس کرده است که در آن شبکه ای از دستگاه‌ها، حسگرها، و روبات‌ها در یک سامانه یکپارچه با هم کار می‌کنند تا خودروها و باتری‌ها را با کارایی بیشتری تولید کنند. تولیدکننده کامیون سوئدی اسکانیا، که به طور سنتی رقابت خود را با نوآوری در فرآیندهای تولید از قبیل ادغام فناوری‌های روبات‌های صنعتی، کنترل

¹ Boundary Conditions

کننده های قابل برنامه‌ریزی^۱، طراحی و تولید به کمک رایانه^۲ و ابزارهای مدیریت ناب آغاز نمود، اکنون به دنبال تغییر عملیات خطوط تولید خود از طریق فناوری‌های کارخانه هوشمند است [27].

به عبارت دیگر کارخانه هوشمند یک نوآوری در فرآیند اجرای روش‌های جدید یا بهبود یافته تولید و توزیع است. از آنجا که ماهیت اصلی کارخانه‌های هوشمند ناشی از ویژگی‌های منسجم و یکپارچه آن است، تغییر در یک بخش از سامانه تولید بر سایر زیر مجموعه ها و فرآیندها تأثیر می‌گذارد.

در مجموع، تاکنون سه دسته تجربه موفق در استقرار صنعت نسل چهارم با رویکرد هوشمندسازی یا خودکارسازی به شرح زیر گزارش شده است. البته لازم است در تشریح تجربیات هر کدام، به دست آوردها و توصیه‌های قابل استناد نیز دقت شود و به دست آوردهایی توجه شود که به خوبی قابل بهره‌برداری و الگوبرداری هستند:

- خط تولید هوشمند
- کارخانه کوچک هوشمند یا آزمایشگاه های آموزشی
- همکاری انسان و روبات

خط تولید هوشمند^۳

خط تولید هوشمند یک خط تولید مبتنی بر داده است که می‌تواند با درک هم‌زمان از موضوعات زیر و با پشتیبانی فناوری‌های پیشرفته (به عنوان مثال، اینترنت اشیاء، رایانش ابری، داده‌های عظیم، و غیره) به یکپارچگی عمیق‌تر دست یابد:

- اقلام مرتبط با تولید (مانند تجهیزات تولید، سامانه‌ها، موقعیت و غیره)،
- پردازش (استخراج و شناخت دانش)،
- شناخت استدلالی و کنترل دقیق.

روش بکارگرفته شده در این تجربه می‌تواند تولید انعطاف‌پذیر با مدل سازی در فضای سایبری را هدایت کند و دخالت انسان را به حداقل برساند [50].

خط تولید هوشمند در انتقال از وضعیت و فعالیت‌های منابع فیزیکی به فضای سایبری، در مقایسه با خط تولید سنتی، هوشمندتر است. هدایت فعالیت‌ها در فضای سایبری برای بهینه‌سازی

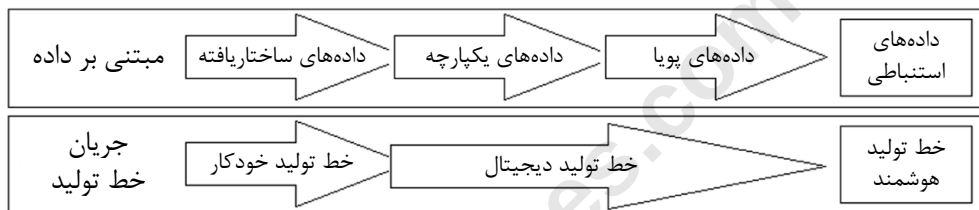
¹ programmable logic controllers (PLC)

² CAD/CAM

³ Smart production line (SPL)

یا ارزیابی رفتارهای خط تولید و فرآیندهای آن انجام می‌شود. مدیریت و کنترل دقیق خط تولید هوشمند در نهایت بر اساس درک و تجزیه و تحلیل وضعیت تولید در فضای سایبری محقق می‌شود.

امروزه خط تولید هوشمند با اتکا به فناوری‌های اطلاعاتی جدید (مانند رایانش ابری، داده‌های عظیم، شبکه تلفن همراه، و غیره) و دستگاه‌های هوشمند (مانند روبات‌های صنعتی، ماشین‌ابزارهای هوشمند، وسایل خودکار و خودران، و غیره) به خوبی قابل پیاده‌سازی است. به همین دلیل، روند توسعه خط تولید هوشمند نیز در صنایع مختلف، با دو جریان مبتنی بر داده و دیجیتالی شدن شناسایی شده است [50].



شکل ۱۶ روند توسعه خط تولید هوشمند

ویژگی‌های عمومی و مشترک در خطوط تولید هوشمند

خط تولید مجموعه‌ای از عملیات متوالی است که در یک کارخانه انجام می‌شوند. خطوط تولید به روش‌های مختلف، از قبیل خط تولید برای فرآوری، خط مونتاژ، خطوط ساخت قطعات، و غیره، اما در کل به دو شیوه پیوسته و غیر پیوسته، شناخته می‌شوند. با وجود تنوع بسیار زیاد انواع خط تولید و تجهیزات و سامانه‌های مرتبط با آنها، برخی عوامل رایج در آنها، عمومی و بین آنها مشترک است [50]:

• یکپارچگی خطوط تولید در دو بُعد:

- یکپارچگی تجهیزات در خط تولید فیزیکی: این یکپارچگی به تغییر وضعیت مستقل بین ماشین‌ها، منابع، انسان و سایر موارد بستگی دارد. تغییر وضعیت اقلام فیزیکی در شرکت‌ها، یعنی از دنیای فیزیکی تا یکپارچگی و تحول دیجیتالی، بر سه مرحله اتصال، تعامل، و شناخت داده متکی است.
- یکپارچگی در دنیای مجازی: بعد از اتصال، تعامل، و شناخت داده‌ها از منابع فیزیکی، و نگاشت فرآیند عملیات در دنیای واقعی به فضای مجازی، زمینه مدیریت و کنترل تمامی عوامل تولید به صورت یکپارچه فراهم می‌شود.

• ساماندهی و مدیریت داده:

در سال‌های اخیر، که کاربرد حسگرها و فناوری شناسایی با امواج رادیویی^۱ و در نهایت استقرار شبکه‌های اینترنت اشیاء از نظر اقتصادی امکان‌پذیر شده است، حجم زیادی از داده‌های صنعتی مانند شاخص‌های تولید، وضعیت تجهیزات، و غیره را می‌توان به راحتی و از طریق شبکه‌های فراگیر و یکپارچه از دو بُعد زیر دریافت کرد:

- بُعد زمان، داده‌ها از سوابق و یا در زمان واقعی هستند.
- بُعد یکپارچه‌سازی، که دربر دارنده رویدادهای فیزیکی، شبیه‌سازی، و تعامل هستند.

بنابراین داده‌ها دارای ویژگی‌های چند بُعدی، ناهمگن، جفت شدن و اثربخشی زمانی هستند. در خطوط تولید هوشمند، داده‌ها به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند و یکپارچه‌سازی در عمق و دامنه، تجزیه و تحلیل می‌شود. این روند و کاربرد داده‌ها، توانایی استخراج اطلاعات مفید را تقویت کرده و دامنه استخراج اطلاعات را به طور همزمان، گسترش می‌دهد. در نتیجه داده‌های استنباط شده ارزشمند می‌شوند و تکرار این فرآیند به ارزش افزوده برای کسب‌وکار ختم می‌شود.

• تصمیم‌گیری به عنوان یک خدمت:

یکی از خدمات بسیار مفید در خط تولید هوشمند، تصمیم‌گیری آگاهانه و به موقع است. بر اساس اطلاعات دقیق و جامع از وضعیت، و استخراج مشکلات بالقوه، تصمیم‌گیری به طور خودکار و به موقع اتخاذ می‌گردد. فرآیند تصمیم‌گیری نیز یکی از خدمات خط تولید هوشمند است که برنامه‌ریزی، ارزیابی، بهینه‌سازی، و پیش‌بینی در فرآیند عملیاتی را به عهده دارد. این خدمت با تکیه بر وضعیت و مشکلات آن، نه تنها تصمیمات لحظه‌ای و گذرا اتخاذ می‌کند بلکه ممکن است از طریق ردیابی وضعیت، و با حفظ بهینه‌سازی راه‌حل‌ها، فعالیت تصمیم‌گیری را به یک اثر بلندمدت تبدیل کند.

• ابتکار عمل‌های کنش‌گرایانه^۲:

یکی دیگر از ویژگی‌های خطوط تولید هوشمند، ابتکار عمل فعال و مناسب بر اساس داده‌های استنباط شده است. برخلاف خطوط تولید سنتی، که عملیات در آنها غیر فعال و عکس‌العملی است، خط تولید هوشمند بر اساس نیازهای پیدا و پنهان، (از قبیل فرسودگی تجهیزات، و تخصیص غیر منطقی منابع)، و از طریق تجزیه و تحلیل داده‌ها،

^۱ RFID

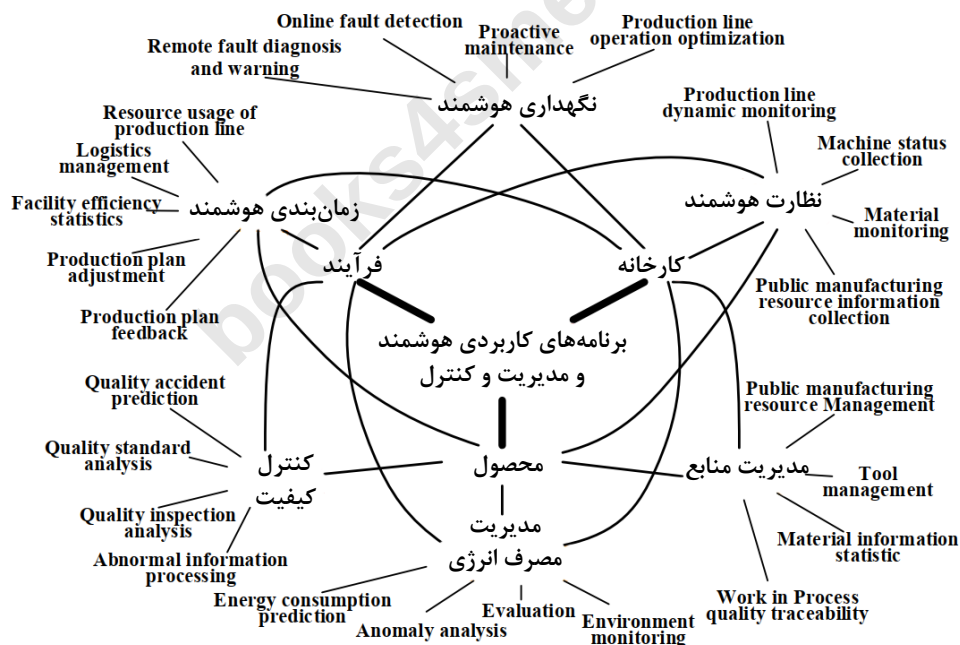
^۲ Proactive

صرف نظر از اینکه مربوط به منابع، تجهیزات، یا انسان باشد، ابتکار عمل‌های کنش‌گرایانه و کارآمد، اتخاذ می‌کند.

برنامه‌های کاربردی در خط تولید هوشمند

برای اجرای روان و هوشمند برنامه‌های عملیاتی و جاری در خطوط تولید، از جمله برنامه‌ریزی، مدیریت منابع، مدیریت مصرف انرژی، کنترل کیفیت، نظارت، و تعمیر و نگهداری، به یک سازماندهی و تجزیه و تحلیل مناسب از طریق برنامه‌های کاربردی در خطوط تولید هوشمند نیاز است.

تجزیه و تحلیل برنامه‌های کاربردی در خطوط تولید هوشمند، در راستای عملیات اشاره شده و ضمناً حل مشکلات فرعی آنها که حداقل به یکی از عوامل محصول، فرآیند، و تجهیزات مربوط می‌شوند، از طریق ارتباطات و مدیریت دقیق و به موقع، محقق می‌شود.



شکل ۱۷ دسته بندی برنامه‌های کاربردی در خط تولید هوشمند [50]

جدول ۱۴ مفاهیم مرتبط با خط تولید هوشمند [50]

مفاهیم مرتبط	تعریف
سامانه تولید هوشمند	سامانه خطوط تولید، از طریق اطلاعات بلادرنگ و حصول اطمینان از اقدامات لازم برای نظارت و کنترل عملکردها، به طور هوشیارانه خود را با موقعیت‌های جدید و احتمالاً غیرمنتظره سازگار می‌کند. این یکی از ویژگی‌های کلی در سامانه‌های تولید هوشمند است.
تجهیزات هوشیار	تجهیزات هوشیار در خطوط تولید هوشمند، با قابلیت ادراک، تجزیه و تحلیل، استدلال، تصمیم‌گیری، و کنترل از طریق فناوری‌های پیشرفته تولید و فناوری اطلاعات، به صورت هوشیار یکپارچه شده است.
سامانه تولید انعطاف‌پذیر ^۱	سامانه تولید انعطاف‌پذیر مجموعه‌ای از ماشین‌های مجهز به ابزار هوشمند است که با سامانه‌های مختلف کنترل، توانایی انجام عملکردهای متعدد و تولید محصولات متنوع را دارد.
سلول‌های تولید انعطاف‌پذیر ^۲	سامانه سلول‌های تولید انعطاف‌پذیر، از یک یا چند ماشین انعطاف‌پذیر، یک ربات، و یک سامانه کنترل خودکار تشکیل شده است.
خط مونتاژ انعطاف‌پذیر ^۳	سامانه خط مونتاژ انعطاف‌پذیر، امکان تخصیص عملیات را به صورت هوشمند و انعطاف‌پذیر فراهم می‌کند. در این سامانه، ممکن است یک عملیات به چند ایستگاه کاری یا چندین عملیات به یک ایستگاه کاری اختصاص یابند.
سامانه فیزیکی سایبری تولید ^۴	این سامانه متشکل از عناصر و زیر سامانه‌های مستقل و همکار است که بنا به موقعیت، در تمام سطوح تولید (ماشین‌ها، فرآیندها، تا شبکه‌های تولید و لجستیک) با یکدیگر در ارتباط هستند. مدل‌سازی عملکرد، و پیش‌بینی رفتار نوظهور آن‌ها، از ویژگی‌های اساسی و کاربردی در این سامانه‌ها است.

¹ Flexible manufacturing system (FMS)² Flexible manufacturing cells (FMC)³ Flexible assembly line (FAL)⁴ Cyber-physical production systems (CPPS)

کارخانه کوچک هوشمند^۱

کارخانه کوچک هوشمند یک آزمایشگاه ابتکاری چند منظوره است که به تحقیق و آموزش کاربردی اختصاص دارد. هدف اصلی آن مطالعه و شبیه‌سازی فناوری‌ها و روش‌های مدرن و پیشرفته سامانه‌های تولید مرتبط با صنعت نسل چهارم است. کارخانه کوچک هوشمند بیشتر به الزامات شرکت‌های کوچک و متوسط در خصوص سامانه‌های روبات همکار انسان برای تولید، مونتاژ، و همچنین آشنایی عملی با روبات‌ها و شبیه‌سازی ترکیب عناصر الکترونیکی، مکانیکی، و هیدرولیکی^۲ برای خودکارسازی صنعتی می‌پردازد.

کارخانه کوچک هوشمند به عنوان یک کارخانه یادگیری، مدل‌های واقعی در مقیاس کوچک هستند که برنامه‌های کاربردی دنیای واقعی را برای آزمایش و بهبود دانش مربوط به تولید و صنعت نسل چهارم ادغام می‌کنند.

هدف اصلی این کارخانه‌ها، ایجاد یک سکوی مشترک برای تحقق هر سه محور تحقیق، یادگیری و کاربرد دانش است تا امکان تولید و انتقال دانش مرتبط با تحول دیجیتال صنعت نسل چهارم عملاً برای شرکت‌ها فراهم شود.

تولید دانش از طریق تحقیق، انتشار دانش از طریق آموزش و یادگیری، استفاده و کاربرد دانش از طریق نوآوری (موسوم به مثلث دانش)، تنها در صورتی می‌تواند محقق شود که محیط‌های یادگیری مناسبی در اختیار باشد و به درخواست امروزی واکنش نشان دهند. کارخانه کوچک هوشمند زیر ساختی است که برای تحقق اهداف مثلث دانش طراحی می‌شود. بنابراین کارخانه کوچک هوشمند به مثابه یک آزمایشگاه واقعی، برای خدمت به سه هدف به شرح زیر احداث می‌شود [27]:

- تحقیق: نیازهای صنعتی به طرح‌های تحقیقاتی با رویکرد کاربردی تبدیل، سپس نتایج تحقیقات و دانش فنی کسب شده در قالب کسب‌وکارهای جدید و طرح‌های علمی در اختیار صنایع و دانشجویان به عنوان مهندسان آینده قرار می‌گیرد؛
- آموزش: کارخانه کوچک هوشمند یک مکان آموزش عملی برای دانشجویانی است که درگیر تمرینات آزمایشگاهی و شبیه‌سازی هستند. دانشجویان و دانش‌پژوهان می‌توانند طرح‌های مطالعاتی خود و همچنین پایان‌نامه‌های خود را در این مکان اجرا کنند. در نتیجه با استفاده از پیشرفته‌ترین سامانه‌های صنعت نسل چهارم و تجهیزات خودکارسازی، تجربیات ارزشمندی کسب خواهد شد؛

¹ Smart Mini Factory (SMF)

² Mechatronics

- کاربرد: کارخانه کوچک هوشمند می‌تواند پلی بین صنعت و تحقیقات باشد تا برای پشتیبانی از شرکت‌ها، در طول اجرای مفاهیم صنعت نسل چهارم و از طریق همکاری مشترک در طرح‌ها استفاده شود. شرکت‌ها می‌توانند با حضور در همایش‌های تخصصی مرتبط با صنعت، برای حل چالش‌های اجرای صنعت نسل چهارم، در بخش تحقیقات و همچنین بهبود شناخت و مهارت‌های کارکنان خود، مشارکت کنند.
- از مفهوم آزمایشگاهی کارخانه کوچک هوشمند برای ارائه پیشرفته‌ترین فناوری‌های توانمندساز کلیدی در صنعت نسل چهارم و همچنین فناوری‌های خودکارسازی پیشرفته استفاده می‌شود. علاوه بر این، کارخانه کوچک هوشمند عملاً یک کارخانه یادگیری است و نتایج تحقیقات در آن می‌تواند از طریق آزمایشگاه در قالب کارگاه، همایش، و طرح‌های صنعتی به شرکت‌های کوچک و متوسط منتقل شود. با در نظر گرفتن اهداف اشاره شده، موضوعات متمرکز در یک آزمایشگاه کارخانه کوچک هوشمند ممکن است به شرح زیر باشد:
- خودکارسازی و روبات شناسی؛
- تجهیزات شبیه سازی با ترکیب الکترونیک، مکانیک، و هیدرولیک؛
- همکاری انسان با ماشین؛
- سامانه ترکیبی مونتاژ؛
- سامانه‌های پشتیبان تولید؛
- واقعیت های مجازی و افزوده؛
- آموزش صنعت نسل چهارم؛

کارخانه کوچک هوشمند و سامانه‌های فیزیکی سایبری^۱

از مفهوم کارخانه کوچک هوشمند برای طراحی موفق سامانه‌های فیزیکی سایبری نیز استفاده می‌شود. چرا که با وجود بسترهای فناوری در این آزمایشگاه‌ها، زمینه برای طراحی و آزمایش یک سامانه واقعی فیزیکی سایبری به خوبی فراهم شده تا بتوان آن را بررسی و آزمایش کرد و دانش ارزشمندی در مورد نحوه طراحی این سامانه‌ها به دست آورد [51].

در کارخانه‌های آینده، افراد باید به گونه‌ای در ساختارهای فیزیکی سایبری ادغام شوند که مهارت‌ها و استعداد‌های فردی آنها به طور کامل مورد استفاده قرار گیرد. کارخانه‌های کوچک

¹ Cyber-Physical Systems (CPS)

هوشمند به عنوان مراکز یادگیری طیف گسترده‌ای از امکانات را برای توسعه روش‌های جدید و راه‌حل‌های فنی نوآورانه در یک محیط کارخانه، بدون ریسک اما نزدیک به واقعیت فراهم می‌کنند. در کارخانه کوچک هوشمند، به عنوان یک کارخانه آموزشی، تجهیزات و سامانه‌ها برای اجرای سه مرحله از تولید به شرح زیر مستقر می‌شوند:

- طراحی محصول: استفاده از نرم‌افزار طراحی به کمک کامپیوتر برای ساخت نمونه و شبیه‌سازی محصولات؛
- ساخت: شبیه‌سازی طراحی فرآیندهای تولید برای تشخیص عیوب در تولید واقعی؛
- مونتاژ: تولید محصول نهایی.

دامنه کاربردی برای طراحی سامانه‌های فیزیکی سایبری در کارخانه کوچک هوشمند ممکن است شامل حلقه بسته کنترل، عملیات، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل دقیق اطلاعات، و فرآیندهای کسب‌وکار از قبیل تصمیم‌گیری در سطوح مختلف باشد.

از آنجا که توسعه صنعت نسل چهار با تغییرات مهم و تاثیرگذاری در وظایف و تقاضای نیروی کار در کارخانه‌ها همراه خواهد بود، دانشگاه‌ها در سالهای اخیر، کارخانه‌های کوچک هوشمند زیادی را به عنوان مراکز آزمایشگاهی ویژه صنعت نسل چهار برپا کرده‌اند تا آموزش عملی را ترویج دهند و از انتقال مستقیم دانش ناشی از تحقیقات متناسب با نیازهای صنعتی پشتیبانی کنند.

دانشگاه بولزانو ایتالیا در حال حاضر همکار اصلی در طرح تحقیقاتی بین‌المللی صنعت نسل چهار برای شرکت‌های کوچک و متوسط است. این طرح به بررسی روش‌ها و مفاهیم صنعت چهار به ویژه برای استفاده در شرکت‌های کوچک و متوسط می‌پردازد. از سوی دیگر، در آن به فرصت‌هایی برای شرکت‌های کوچک و متوسط پرداخته می‌شود تا به سمت صنعت نسل چهار هدایت شوند و کارکنان خود را آماده کنند.

علاوه بر دانشگاه بولزانو ایتالیا، دانشگاه‌های متعددی کارخانه‌های یادگیری هوشمند مختص صنعت نسل چهار برپا کرده‌اند. از جمله موارد زیر گزارش شده است [51]:

- آزمایشگاه FAST در دانشگاه Tampere در فنلاند،
- لجستیک برای تولید در دانشگاه Politecnico di Milano در ایتالیا،
- آزمایشگاه Manulab در دانشگاه Norges teknisk-naturvitenskapelige،
- طرح Die Lernfabrik در دانشگاه فنی Braunschweig در آلمان،

کارخانه کوچک هوشمند و سامانه‌های فیزیکی سایبری تولید^۱

در کارخانجات یادگیری آزمایشگاهی، علاوه بر امکان مطالعه مزایای استفاده از واحدهای تولید بسیار انعطاف‌پذیر و هوشمند، و سامانه‌های تولیدی توزیع‌شده با مفاهیم مدل کسب‌وکار جدید و نوآورانه، بر طراحی و آموزش سامانه‌های فیزیکی سایبری تولید نیز تاکید شده است. گروه تحقیقات مهندسی صنایع و خودکارسازی در دانشگاه بولزانو در سال ۲۰۱۲ یک کارخانه بسیار کوچک یادگیری^۲ با تمرکز ویژه بر تولید ناب و سامانه‌های تولید هوشمند و مونتاژ انعطاف‌پذیر و قابل تغییر برای شرکت‌های کوچک و متوسط تاسیس کرد. در این کارخانه هوشمند آزمایشگاهی، دانشجویان، مدیران و مهندسی شرکت‌ها می‌توانند به راحتی و بدون مخاطرات یک محیط حرفه‌ای، با سامانه‌های فیزیکی سایبری تولید در یک محیط آزمایشگاهی آشنا شوند.

طراحی و اجرای روش‌ها و سامانه‌های برنامه‌ریزی، کنترل و نظارت غیرمتمرکز، همکاری انسان و ماشین، و همچنین سامانه‌های پشتیبان فنی برای سامانه‌های تولید با قابلیت تغییر، بخشی از فناوری‌های صنعت نسل چهارم در سامانه فیزیکی سایبری تولید در این کارخانه‌های کوچک و هوشمند دانشگاهی است که به صورت عملی به نمایش گذاشته می‌شود.

یکی از چالش‌های اصلی در آینده تحول دیجیتال انقلاب صنعتی نسل چهارم چگونگی تعامل انسان و ماشین است که پرداختن به ابعاد مختلف آن از نظر امنیت، کارایی، و فناوری‌ها در دنیای حرفه‌ای بسیار سخت و تا حدودی غیر ممکن است. ترکیب شناخت و تجربه واقعی این موضوعات در ابعاد آزمایشگاهی شاید تنها راه حل ورود به فناوری‌های پیچیده و پیاده‌سازی حرفه‌ای آنها در محیط واقعی صنعت باشد.

برای این منظور، یک ایستگاه کاری ترکیبی در آزمایشگاه‌های دانشگاهی برپا شد تا انسان و روبات به صورت واقعی دست در دست هم روی مراحل مختلف آن کار کنند. در یکی از این آزمایشگاه‌ها، تعداد زیادی سیلندر پنوماتیکی مونتاژ می‌شود. سپس ادغام یک روبات سبک وزن از نوع UR3 با عملکردهای ایمنی آن و همچنین ایستگاه مونتاژ ترکیبی انسان و روبات توسعه یافته را تشریح می‌کنند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل مخاطرات در همین ایستگاه انجام می‌شود تا هر گونه خطر ناامنی برای کارکنان را تحلیل و به حداقل برسانند [52].

¹ Cyber-Physical Production Systems (CPPS)

² Mini Factory

همکاری انسان و روبات

صنعت نسل چهار انواع جدیدی از تعاملات بین انسان و ماشین را امکان‌پذیر می‌کند، تعاملاتی که جایگاه منابع انسانی فعال در صنعت را ارتقاء و پیامدهای قابل توجهی به منظور سازگاری با تنوع فزاینده تولید، برای ماهیت کار خواهد داشت.

بخش مهمی از این تحول، تأکید بر انسان محوری کارخانه‌های آینده است، که امکان تغییر پارادایم از فعالیت‌های خودکار و بدون دست انسان را به سمت همزیستی هوشمندانه انسان و خودکارسازی موسوم به سامانه‌های فیزیکی سایبری انسانی، فراهم می‌کند. یکی از فناوری‌هایی که اخیراً در محیط‌های کاری توانسته به خوبی با انسان همکاری کند، روبات‌های موسوم به همه کاره^۱ است.

یکی از ویژگی‌های روبات همه کاره در مونتاژ ترکیبی این است که طراحی آن برای تعامل فیزیکی و ایمن انسان و روبات مطابق با استانداردهای زیر طراحی شده است [52]:

- استاندارد ایزو ۱۰۲۱۸ به مخاطراتی می‌پردازد که در روبات‌های صنعتی سنتی دیده شده است.

- استاندارد ایزو ۱۵۰۶۶ به مشخصات فنی برای عملکرد روبات‌های همه کاره که در آن انسان و روبات در فضای مشترک کار می‌کنند، می‌پردازد.

در واقع، روبات همه کاره دارای طراحی ارگونومیک و سبک است و سامانه کنترل آن به دلیل قابلیت شناسایی داخلی، برخورد و واکنش، به علاوه ویژگی‌های دینامیکی محدود، آن را به یک روبات همه کاره با نیروی محدود تبدیل کرده است. کاربر می‌تواند مرزهایی را برای حرکات دینامیکی و هندسه محیطی در روبات، خودش تعریف کند تا روبات با نزدیک شدن به آن‌ها و برای به حداقل رساندن احتمال آسیب و مخاطرات در عملیات، تغییر یا توقف را انتخاب کند. این آستانه‌ها و مرزها در چهار سطح دینامیکی عمومی، دینامیکی پایانه، اتصالات، و سطح هندسی پیکربندی می‌شوند.

تمام این ابعاد در پیکربندی و همکاری ایمن انسان و روبات مستلزم مهارت و تجربیات بسیاری است که تنها در یک محیط آزمایشگاهی آنها را می‌توان کسب و سپس با اطمینان در محیط حرفه ای بکار گرفت. کارخانه‌های کوچک هوشمند بهترین امکان برای این نوع مهارت آموزی‌ها و آماده نمودن تمام شرایط واقعی برای استقرار حرفه ای فناوری‌ها و سامانه‌های همکار با انسان در یک محیط حرفه‌ای و پر سرعت است. برای این منظور، اقدامات آزمایشگاهی از قبیل تحقیق،

¹ Universal Robot UR3

آزمایش، پیکربندی، و طراحی، دقیقاً بر اساس شبیه سازی محیط کار و نوع تولید واقعی در محیط آزمایشگاه انجام می‌گیرد. سپس نتیجه نهایی به صنعت متقاضی منعکس می‌گردد.

نه تنها کارکنان در وظایف مشترک با روبات‌ها، و برای تضمین ایمنی خود، باید از سامانه‌های فیزیکی سایبری آگاهی داشته باشند، سامانه فیزیکی سایبری هم باید اهداف انسان را در چنین سناریوهایی شناسایی و درک کند تا به سرعت با شرایط عملیاتی مورد انتظار و غیرمنتظره به شیوه‌ای ایمن واکنش نشان دهد و خود را تطبیق دهد.

در ترکیب انسان و ماشین در قالب سامانه‌های فیزیکی سایبری انسانی مزایای زیر دنبال می‌شود. آزمایشگاه‌های کارخانه کوچک هوشمند با همین اهداف و به یاری استقرار سامانه‌های مورد اشاره، برپا شده و بهبود توانایی‌های انسانی در کار مشترک با روبات‌ها را پیگیری می‌کنند [53]:

- بهبود توانایی‌های انسان برای تعامل پویا با ماشین در دنیای سایبری و فیزیکی با استفاده از واسط‌های هوشیار انسان و ماشین، و همچنین استفاده از فنون تعامل انسان با رایانه که متناسب با نیازهای شناختی و فیزیکی اپراتورها طراحی شده‌اند.
- بهبود توانایی‌های فیزیکی، حسی و شناختی انسان با استفاده از فناوری‌های مختلف و پیشرفته از قبیل استفاده از حسگرها و تجهیزات پوشیدنی.

منابع مورد استفاده

- [1] G. Schuh, C. Kelzenberg, J. Wiese and F. Stracke, "Industry 4.0 Implementation Framework for the Producing Industry," *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, vol. 4, no. 2, pp. 79-90, 2018.
- [2] J. Butt, "A Strategic Roadmap for the Manufacturing Industry to Implement Industry 4.0," *Designs*, vol. 4, no. 11, pp. 1-30, 2020.
- [3] S. Peukert, S. Treber, S. Balz, B. Haefner and G. Lanza, "Process Model for the Successful Implementation and Demonstration of SME-based Industry 4.0 Showcases in Global Production Networks," *Production Engineering*, no. 14, p. 275–288, 2020.
- [4] A. De Carolis, M. Macchi, E. Negri and S. Terzi, "Guiding Manufacturing Companies Towards Digitalization: A Methodology for Supporting Manufacturing Companies in Defining Their Digitalization Roadmap," in *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 2018.
- [5] Regional Council of Kainuu, "Industry 4.0 & SMEs in Traditional Industries: Contribution to the 2nd Thematic Component of the INNO PROVEMENT Project," INNO PROVEMENT, 2019.
- [6] PWC, "2016 Global Industry 4.0 Survey: Industry 4.0: Building the Digital Enterprise," PWC, 2016.
- [7] O. Bongomin, G. Gilibrays Ocen, E. Oyondi Nganyi, A. Musinguzi and T. Omara, "Exponential Disruptive Technologies and the Required Skills of Industry 4.0," *Journal of Engineering*, vol. 2020, pp. 1-17, 2020.
- [8] A. De Carolis, M. Macchi, E. Negri and S. Terzi, "A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies," in *APMS 2017: Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing*, 2017.
- [9] R. Cresnar and Z. Nedelko, "Competencies as a Criterion for Assessing the Readiness of Organizations for Industry 4.0 - A Missing Dimension," in *Proceedings of the 17th International Conference on Management, Enterprise, Benchmarking*, Budapest, 2019.
- [10] IPMA, "Individual Competence Baseline for Project Management," International Project Management Association, Postfach, Switzerland, 2015.

- [11] T. De Bruin, M. Rosemann, R. Freeze and U. Kaulkarni, "Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model," in *Australasian Conference on Information Systems (ACIS)*, 2005.
- [12] I. A. da Silva, S. C. M. Barbalho, T. Adam, I. Heine and R. Schmitt, "Industry 4.0 Maturity Models: A bibliometric study of scientific articles from 2001 to 2018," in *Proceedings of the 26th EurOMA Conference Operations Adding Value to Society*, 2019.
- [13] McKinsey Digital, "Industry 4.0: How to Navigate Digitisation of the Manufacturing Sector," McKinsey&Company, New York, 2015.
- [14] S. W. Kelley and L. W. Turley, "Consumer Perceptions of Service Quality Attributes at Sporting Events," *Journal of business research*, vol. 54, no. 2, pp. 161-166, 2001.
- [15] A. Cotrino, M. A. Sebastián and C. González-Gaya, "Industry 4.0 Roadmap: Implementation for Small and Medium-Sized Enterprises," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 23, 2020.
- [16] Institute for Manufacturing, University of Cambridge, "Roadmap Templates;," University of Cambridge, Cambridge, UK, 2020.
- [17] S. Erol, A. Schumacher and W. Sihn, "Strategic Guidance Towards Industry 4.0 – A Three-Stage Process Model," *International Conference on Competitive Manufacturing*, vol. 9, no. 1, pp. 495-501, 2016.
- [18] L. Safar, J. Sopko, S. Bednar and R. Poklemba, "Concept of SME Business Model for Industry 4.0 Environment," *TEM Journal*, vol. 7, no. 3, pp. 626-637, 2018.
- [19] H. Cao, H. Zhang and M. Liu, "Global Modular Production Network: From System Perspective," *Procedia engineering*, no. 23, pp. 786-791, 2011.
- [20] VDI, "Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0)," VDI/VDE-Gesellschaft, Berlin, 2015.
- [21] PAiCE, "Reference Architecture Model for Industry 4.0, Smart Manufacturing and IOT: An Introduction," Begleitforschung PAiCE, Berlin, 2020.
- [22] F. Zezulka, P. Marcon, I. Vesely and O. Sajdl, "Industry 4.0—An Introduction in the Phenomenon," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 25, pp. 8-12, 2016.
- [23] H.-S. Park and R. A. Febriani, "Modelling a Platform for Smart Manufacturing System," in *29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2019)*, Limerick, Ireland, 2019.
- [24] K. Schweichhart, "Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)," Industrie 4.0 Platform, 2016.
- [25] V. Thoutam, "An Overview On The Reference Model And Stages Of Iot Architecture," *International Journal of Information Technology & Computer Engineering (IJITC)*, vol. 1, no. 1, pp. 7-14, 2021.
- [26] J. Brunelli, V. Lukic, T. Milon and M. Tantardini, "Five Lessons from the Frontlines of Industry 4.0," The Boston Consulting Group (BCG), Boston, 2017.
- [27] D. R. Sjödin, V. Parida, M. Leksell and A. Petrovic, "Smart Factory Implementation and Process Innovation," *Research-Technology Management*, vol. 61, no. 5, pp. 22-31, 2018.

- [28] A. Sanders, K. R. Subramanian, T. Redlich and J. P. Wulfsberg, "Industry 4.0 and Lean Management—Synergy or Contradiction?," in *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, Cham, 2017.
- [29] V. Taghavi and Y. Beauregard, "The Relationship Between Lean and Industry 4.0: Literature Review," in *Proceedings of the 5th North American Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Detroit, MI, USA, 2020.
- [30] G. Tortorella and D. Fettermann, "Implementation of Industry 4.0 and Lean Production in Brazilian Manufacturing Companies," *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 8, pp. 2975-2987, 2017.
- [31] C. Leyh, S. Martin and T. Schäffer, "Industry 4.0 and Lean Production – A Matching Relationship? An Analysis of Selected Industry 4.0 Models," in *Proceedings of the 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, 2017.
- [32] M. Rossini, F. Costa, G. Tortorella and A. Portioli-Staudacher, "The Interrelation Between Industry 4.0 and Lean Production: An Empirical Study on European Manufacturers," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 102, no. 9-12, pp. 3963-3976, 2019.
- [33] U. Dombrowski and T. Richter, "The Lean Production System 4.0 Framework—Enhancing Lean Methods by Industrie 4.0," in *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 2018.
- [34] U. Dombrowski, T. Richter and P. Krenkel, "Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis," *Procedia Manufacturing*, no. 11, pp. 1061-1068, 2017.
- [35] A. Mayr, M. Weigelt, A. Kühn, S. Grimm, A. Erll, M. Potzel and J. Franke, "Lean 4.0 - A Conceptual Conjunction of Lean Management and Industry 4.0," *Procedia Cirp*, no. 72, pp. 622-628, 2018.
- [36] L. Varela, A. Araújo, P. Ávila, H. Castro and G. Putnik, "Evaluation of the Relation Between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability," *Sustainability*, vol. 11, no. 5, 2019.
- [37] S. Satoglu, A. Ustundag, E. Cevikcan and M. Durmusoglu, "Lean Production Systems for Industry 4.0," in *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, Springer, 2018, pp. 43-59.
- [38] D. Kolberg and D. Zühlke, "Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 1870-1875, 2015.
- [39] A. Sanders, C. Elangeswaran and J. Wulfsberg, "Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 9, no. 3, 2016.
- [40] A. Jayaram, "Lean Six Sigma Approach for Global Supply Chain Management Using Industry 4.0 and IIOT," in *2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, Detroit, MI, USA, 2016.
- [41] B. Rüttimann and M. Stöckli, "Lean and Industry 4.0—Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems," *Journal of Service Science and Management*, vol. 9, no. 6, pp. 485-500, 2016.
- [42] B. Mrugalska and M. Wyrwicka, "Towards Lean Production in Industry 4.0," *Procedia Engineering*, no. 182, pp. 466-473, 2017.

- [43] T. Wagner, C. Herrmann and S. Thiede, "Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems," *Procedia Cirp*, no. 63, pp. 125-131, 2017.
- [44] S. Duarte and V. Cruz-Machado, "Exploring Linkages Between Lean and Green Supply Chain and the Industry 4.0," in *International Conference on Management Science and Engineering Management*, 2017.
- [45] J. Axelsson, J. Fröberg and P. Eriksson, "Towards a System-of-Systems for Improved Road Construction Efficiency Using Lean and Industry 4.0," in *13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, 2018.
- [46] G. D'antonio and P. Chiabert, "How to Manage People Underutilization in an Industry 4.0 Environment?," in *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, 2018.
- [47] F. Butollo, U. Jürgens and M. Krzywdzinski, "From Lean Production to Industrie 4.0: More Autonomy for Employees?," in *Digitalization in Industry*, Springer, 2019, pp. 61-80.
- [48] R. Črešnar, V. Potočan and Z. Nedelko, "Management Tools for Supporting Transition of Manufacturing Organizations to Industry 4.0: The Case of Slovenia," in *Proceedings of the IACSS*, Prague, Czech, 2018.
- [49] W. Bauer, M. Hämmerle, S. Schlund and C. Vocke, "Transforming to a Hyper-Connected Hyper-Connected Society and Economy—Towards an Industry 4.0," *Procedia Manufacturing*, vol. 3, pp. 417-424, 2015.
- [50] Y. Zhang, Y. Cheng and F. Tao, "Smart Production Line: Common Factors and Data-Driven Implementation Method," in *International Manufacturing Science and Engineering Conference*, 2017.
- [51] C. V. Lozano and K. K. Vijayan, "Literature Review on Cyber Physical Systems Design," *Procedia manufacturing*, no. 45, pp. 295-300, 2020.
- [52] R. Rojas, E. Rauch, P. Dallasaga and D. Matt, "Safe Human-Machine Centered Design of An Assembly Station In A Learning Factory Environment," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Bandung, Indonesia, 2018.
- [53] D. Romero, P. Bernus, O. Noran, J. Stahre and Å. Fast-Berglund, "The Operator 4.0: Human Cyber-Physical Systems & Adaptive Automation Towards Human-Automation Symbiosis Work Systems," in *IFIP International Conference on Advances In Production Management Systems*, Cham, 2016.