New opportunities and challenges of the 5.0 generation maintenance strategy (Maintenance 5.0)

Iman Bavarsad Salehpour[1] *
Ph.D. student of industrial engineering-Kurdistan University, Iran

Seyedah Nusrat Hashemi
Master of Financial Management - Islamic Azad University, Science and Research, Tehran, Iran

Seyyed Hossein Hashemi
Master's student in Executive Management - Department of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, Isfahan University, Isfahan, Iran

Abstract
In the last decade, Maintenance 4.0 has achieved best practices due to the emergence of emerging technologies that improve maintenance productivity and asset management. However, some social trends, such as Society 5.0 and even Industry 5.0 seek to explore the interaction of artificial intelligence with humans to solve subsequent problems. Hence, the question arises whether a human-based maintenance framework can improve the resilience of physical assets or not. The 5.0 generation of industry makes industries more resistant to social and environmental disturbances such as Covid-19, global warming, etc. The 5th generation industrial revolution and 5th generation repairs have four main characteristics: 1) adopting a human-centered approach to digital technologies, including artificial intelligence, (2) improving and reskilling human resources, especially digital skills, 3) modern industries, with efficient and sustainable resources and transition to a circular economy, 4) globally competitive and leading industry, accelerating investment in research and innovation. That is why Maintenance 5.0 is defined as "a maintenance system that increases the flexibility of physical assets by increasing human physical asset interaction." is defined. The findings of this article proved that this generation of repairs seeks to identify and reduce the factors that cause uncertainty and increase flexibility, and compared to the previous industrial revolutions, it seeks to support technologies and innovations for humanity while maintaining the flexibility and strength of industries.

Keywords: Maintenance 5.0, Artificial Intelligence, Covid-19

[1] IMAN.BSSP@gmail.com,+989163815168- ORCID Code: 0000-0003-3312-3704

فرصت های جدید و چالش های استراتژی نگهداری و تعمیرات نسل ۵.۰ (Maintenance 5.0)

ایمان باورصاد صالحپور[1]*

دانشجوی دکتری مهندس صنایع-دانشگاه کردستان، ایران

سیده نصرت هاشمی[2]

کارشناسی ارشد مدیریت مالی- دانشگاه آزاد اسلامی، علوم و تحقیقات تهران، ایران

سید حسین هاشمی[3]

دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت اجرایی-گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

در دهه اخیر، Maintenance 4.0 به دلیل پیدایش فناوری های نوظهور که بهره وری را درنگهداشت ومدیریت دارائی ها بهبود می بخشد، به بهترین شیوه ها دست یافته است. با این حال، برخی از روندهای اجتماعی مانند Society 5.0 و حتی Industry 5.0 به دنبال کشف تعامل هوش مصنوعی با انسان برای حل مشکلات متعاقب آن هستند. از این رو این سوال مطرح می شود که آیا یک چارچوب تعمیر و نگهداری مبتنی بر انسان می تواند انعطاف پذیری دارایی های فیزیکی را بهبود بخشد یا خیر؟ نسل ۵.۰ صنعت، صنایع را در برابر اختلالات اجتماعی و زیست محیطی همچون کووید-۱۹، گرم شدن کره زمین و... مقاوم تر می کند. انقلاب صنعتی نسل ۵ و تعمیرات نسل ۵ دارای چهار شاخصه اصلی ۱) اتخاذ یک رویکرد انسان محور برای فناوری های دیجیتال از جمله هوش مصنوعی، (۲) ارتقاء مهارت و مهارت مجدد منابع انسانی، به ویژه مهارت های دیجیتال،۳) صنایع مدرن، با منابع کارآمد و پایدار و گذار به اقتصاد دایره ای،۴) صنعت رقابتی و پیشرو در سطح جهانی، سرعت بخشیدن به سرمایه گذاری در تحقیق و نوآوری می باشد. از آنجاست که Maintenance 5.0 به عنوان"یک سیستم تعمیر و نگهداری که با افزایش تعامل دارایی فیزیکی انسان، انعطاف پذیری دارایی های فیزیکی را افزایش می دهد." تعریف می گردد. یافته های این مقاله ثابت کرد که این نسل از تعمیرات به دنبال شناسایی و کاهش عوامل ایجاد کننده عدم اطمینان و افزایش انعطاف پذیری می باشد و در مقایسه با انقلاب های صنعتی پیشین، بدنبال پشتیبانی فناوری ها و نوآوری ها از بشریت در عین انعطاف پذیری و استحکام صنایع است.

لغات کلیدی: نگهداری و تعمیرات ۴.۰، هوش مصنوعی، کووید-۱۹

۱-مقدمه

دستیابی به قابلیتی جهت تشخیص سریع تهدیدها و کاهش عدم قطعیت در فرآیندهای تولید، به نحوی که برای توسعه دارایی های انعطاف پذیر مناسب باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است. به گفته مجمع جهانی اقتصاد، آینده تجارت جهانی مستلزم انعطاف پذیری در زمان واقعی (بلادرنگ) است (بوتیرایت و همکاران[4]، ۲۰۲۲). تاب آوری، توانایی آماده شدن و انطباق با شرایط در حال تغییر و مقاومت و بهبودی سریع از اختلالات است (ایوب، ۲۰۱۵). در یک کسب‌وکار، انعطاف‌پذیری را می‌توان به عنوان توانایی پیش‌بینی و بازیابی در مدت کوتاهی از اختلالات عملیاتی که برخی از عناصر زنجیره ارزش شرکت را با حداقل تأثیر اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تهدید می‌کند، در نظر گرفت. زنجیره ارزش کسب و کار مجموعه ای از فعالیت های یک شرکت را برای ایجاد یک محصول یا خدمات سودآور

[1] IMAN.BSSP@gmail.com,+989163815168- ORCID Code: 0000-0003-3312-3704
[2] En.hashemi67@gmail.com,+989337476199
[3] Atomic.hashemi@gmail.com,+989166068540
[4] Botwright

برای تأثیر بازار نشان می دهد (هوگارت[1]، ۲۰۱۸). برای حل این مشکلات، در سال‌های اخیر ابتکاراتی پدید آمده است که نه تنها بر پیشرفت‌های فناوری، بلکه بر روی انسان‌ها برای تقویت صنعت و جامعه و انعطاف‌پذیری بیشتر آنها تاکید دارد. اول، Society 5.0 در تلاش برای دستیابی به یک جامعه مردم محور فوق هوشمند است که مشکلات اجتماعی را با استفاده از فناوری های هوشمند حل می کند (هیتاچی[2]، ۲۰۲۰). Society 5.0 به دنبال آن است تا:

الف) همگرایی در سطح بالا بین فضای مجازی و فضای فیزیکی

ب) ایجاد توازن در توسعه اقتصادی با حل مشکلات اجتماعی که مستلزم وجود این جامعه است

ج) انسان محوری

را ایجاد نماید.Society 5.0 از سیستم هایی تشکیل خواهد شد که در سراسر جامعه به صورت یکپارچه عمل نمایند تا سلامتی، نوآوری و راحتی را تضمین کنند (دفلیس[3]، ۲۰۲۱). کارکرد آن فراتر از ارگونومی و ارائه راحتی در تمام جنبه های زندگی، مانند حمل و نقل، انرژی، مراقبت های پزشکی، خرید، آموزش، کار، صنعت، اوقات فراغت و غیره می باشد (فوکویاما[4]، ۲۰۱۸). ابتکار دیگر Industry 5.0 است که به دنبال شخصی سازی عملیات شرکت از طریق همکاری شناختی بین انسان ها و فناوری های نوآورانه است. سه ویژگی اصلی Industry 5.0 عبارتند از (بریگو و همکاران[5]، ۲۰۲۱):

الف) به دنبال بهبود رفاه انسان‌ها است،

ب) به دنبال حل مشکلات اجتماعی است،

ج) مکانیسم هایی را برای انعطاف پذیرتر کردن فرآیندهای صنعتی ترویج می کند.

صنعت و جامعه، اکوسیستم کاری آینده را تعریف می کنند. کار از کاغذی به دیجیتال، از تاریخی به زمان واقعی، و همچنین از تولیدی به شخصی تبدیل می شود.

کارگران تعمیر و نگهداری یک فرآیند تاریخی در عملیات صنعتی داشته اند. بر طبق گفته P. N. Stearns ، اولین انقلاب صنعتی شامل تغییراتی است که از زمان اختراع ماشین بخار در دهه ۱۷۶۰ رخ داده است و با اختراع ماشین بافندگی مکانیکی افزایش یافته است (استرنز[6]، ۲۰۲۰). از سویی Maintenance Worker 1.0 در دستگاهی که روی آن کار می کرد متخصص بود، و او کسی بود که بهترین و کارآمدترین راه تعمیر را می دانست . انقلاب صنعتی دوم در سال ۱۸۸۰ آغاز شد، زمانی که فرآیندهای صنعتی موتورهای الکتریکی را برای حرکت ماشین‌ها به کار گرفتند. بر طبق دسته بندی کار توسط تیلور Worker 2.0 اکنون می‌تواند مدیری باشد که سایر کارگران را هدایت کرده و خواستار نتیجه کار از آنان شود. از دهه ۱۹۵۰ و تا چند سال پیش، فناوری‌های مختلفی توسعه یافتند که انقلاب صنعتی سوم را هدایت کردند، جایی که کاهش هزینه و بهره‌وری عناصر ضروری هستند.Worker 3.0 از رایانه‌ها، ربات‌ها، سیستم‌های اطلاعاتی و فناوری‌های مختلف برای خودکارسازی فرآیندها و انجام فعالیت‌های روزانه خود استفاده می‌کرد، فردی که دارای مدرک و گواهینامه بود و حلال بهتر مشکلات شرکت بود. پس از سال ۲۰۱۱، با ادغام فناوری‌های فعال‌کننده صنعت ۴.۰ و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌توان فرآیندهای مختلفی را به منظور افزایش بهره‌وری، خودکار کرد و ربات‌ها را جایگزین انسان کرد. بنابراین هوش مصنوعی و یادگیری ماشین (ML) نیروی محرکه انقلاب کارخانه هوشمند در نظر گرفته می شوند (کویفی و همکاران[7]، ۲۰۲۰).

طبق برآورد فری و آزبورن[8] (۲۰۱۷) ۴۷ درصد از کل مشاغل ایالات متحده در معرض خطر بالای خودکار شدن در دو دهه آینده است. مدل آنها پیش بینی می کند که اکثر کارگران در مشاغل حمل و نقل، تدارکات و تولید و اکثر کارکنان اداری و پشتیبانی اداری در معرض این خطر خودکار سازی هستند. برای رویارویی با این روند، پیشنهاداتی مانند worker 4.0 ارائه شده است (تریونو-الیزندو و

[1] Hogarth
[2] Hitachi
[3] De Felice
[4] Fukuyama
[5] Bregue
[6] Strearns
[7] Cioffi
[8] Frey and Osborn

ریز[1]،۲۰۲۱؛ کاولتی و همکاران[2]، ۲۰۲۰). Worker 4.0 کارمندی است که به فن آوری تطبیقی و مهارت های فنی مجهز است (http://www.labourbeat.org/future-worker-4-0). هدف کمک به کارگر برای بهره وری بیشتر و افزودن ارزش به شرکت ها است.بنابراین کارگر صنعت نسل ۵.۰ باید تعریف، مشخص شود و مهارت‌ها، ابزارها و فناوری‌های دیجیتالی خاصی برای کمک به ماشین‌ها و دارایی‌های فیزیکی در حفظ انعطاف‌پذیری در زمان واقعی داشته باشد. از یک سو، اندازه بازار هوش مصنوعی (AI) پوشیدنی (wearable) با تقاضای بیش از ۱۵۰ میلیون واحد در سال ۲۰۱۸ از ۳۵ میلیارد دلار فراتر رفت و قرار است نرخ رشد سالانه مرکب (CAGR[3]) حدود ۳۰ درصد را از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵ ثبت کند (Wearable AI Market Trends-Industry Statistics Report 2025).

هدف اصلی تعمیر و نگهداری حفظ و ارتقای قابلیت اطمینان تجهیزات در سطح بهینه اولیه است (منصور و همکاران، ۲۰۱۲). تولید هوشمند می‌تواند انعطاف‌پذیرتر شود اگر بر حفاظت و نگهداری از دارایی‌های خود بر روی تعامل انسان و دارایی‌های هوشمند متمرکز شود. با رعایت این موارد، می توان در مورد Industry 5.0 صحبت کرد زیرا علاوه بر افزایش بهره وری، به دنبال شخصی سازی ساخت نیز می باشد. طبق انجمن بین المللی اتوماسیون (ISA[4]) ، انسان در حلقه (human-in-the-loop) را می توان دارایی انسانی دانست که دارای دانش و مهارت های مرتبط با فعالیت های تولیدی است (International Society of Automation).

۲- پیشینه تحقیق

سیستم های تعمیر و نگهداری و توسعه آینده آنها در صنعت توسط J. Bokrantz مورد مطالعه قرار گرفته است (بوکرانتز[5]، ۲۰۱۹) ، که از نظر تئوری پیشنهاد کرد که چگونه تعمیر و نگهداری می تواند در چارچوب تولید دیجیتال، مفهوم سازی و عملیاتی شود و موارد غالب را تشخیص دهد. موارد دیجیتالی سازی موضوعاتی مانند آموزش و آموزش تعمیر و نگهداری، برنامه ریزی تعمیر و نگهداری مبتنی بر واقعیت، رویه های کاری هوشمند، برنامه ریزی تعمیر و نگهداری از دیدگاه سیستم و موارد دیگر را شامل می شود. از سوی دیگر، H Algabroun ، یک چارچوب نظری مرجع برای تعمیر و نگهداری برای کارخانه های آینده در محیط Industry 4.0 پیشنهاد کرد (الگابرم[6]، ۲۰۱۷). اما پیشنهاد او در دنیای واقعی آزمایش نشده و انسان را در نظر نمی گیرد. رستگاری، یک استراتژی تعمیر و نگهداری را برای تصمیم گیری از طریق اجرای پایش مبتنی بر شرایط (CBM[7]) در صنعت تولید، از جمله تجزیه و تحلیل هزینه و فایده پیشنهاد می کند (رستگاری، ۲۰۱۷). در حال حاضر در کشورهای توسعه‌یافته، سیستم‌های تعمیر و نگهداری با مدل‌های تجاری جدید اعمال می‌شوند و طبق گفته مجمع جهانی اقتصاد (لیورنت[8]، ۲۰۱۹)، اقدامات تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده مزایای مختلفی مانند کاهش ۱۲ درصدی زمان تعمیر، کاهش تا ۷۰ درصدی خرابی‌ها برخی از ماشین‌ها و کاهش ۳۰ درصدی هزینه‌های نگهداری گردیده که از مزیت های سرمایه‌گذاری در تحقیقات کاربردی سیستم‌های تولید هوشمند است. با توجه به (اکوه[9]، ۲۰۱۵) پتانسیل تعمیر و نگهداری برای بهبود استحکام و انعطاف پذیری سازمان هنوز نیاز به بررسی دارد و نیاز به جستجو برای شکاف های تحقیقاتی اصلی در سیستم های تعمیر و نگهداری صنعتی دارد. مانند هر ماشین صنعتی، تکنولوژی مدرن نیاز به یک روش تعمیر و نگهداری دارد که به آن کمک می کند عمر مفید خود را بهینه کند.

[1] Treviño-Elizondo and García-Reyes
[2] Calvetti
[3] Compound Annual Growth Rate
[4] International Society of Automation
[5] Bokrants
[6] Algabroum
[7] condition-based monitoring
[8] Leurent
[9] Okoh

۳-انقلاب های صنعتی با رویکردی بر انقلاب صنعتی ۵.۰ (Industry 5.0)

جهان تاکنون سه انقلاب صنعتی را در گذشته شاهد بوده است. نخستین انقلاب، در سال ۱۷۸۴ روی داد؛ زمانی که بشر توانست نیروی مکانیکی را رام سازد و به صورت نظام وار از جانوران دوری جوید. توسعهٔ ماشین بخار، نقشی اساسی در این انقلاب ایفاء نمود. دومین انقلاب، در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، با ظهور اشکال نوینی از تولید محصولات صنعتی، خود را نشان داد. سامانه های دیجیتالی، ارتباطات مدرن و توسعهٔ رایانه های مدرن، طلیعه دار انقلاب صنعتی سوم بودند که برای ما محصولاتی مانند تلفنه ای هوشمند و رسانه های اجتماعی را به ارمغان آورند. درخشش این انقلاب، توأمان با اوج یافتن فناوری اطلاعات بود. انقلاب صنعتی چهارم را میتوان با گستره ای از فناوری های نوین تعریف نمود. این انقلاب، جهان های فیزیکی، دیجیتالی و زیستی را به یکدیگر همجوش داده و بر همهٔ رشته ها، اقتصاد و صنایع، اثر خود را فرود می آورد. پایهٔ انقلاب صنعتی چهارم، انقلاب دیجیتالی است که بر آن اساس شیوه های نوینی تدوین گردیده که فناوری ها می توانند در جوامع نفوذ یافته، لانه گزیده و حتی در بدن انسان، کاشته شوند (مارتین-گالان و همکاران[1]، ۲۰۱۹).

انقلاب صنعتی چهارم[2] (۲۰۱۱) بر مبنای ۹ پلکان تکنولوژیکی استوار است. بیشترین تکنولوژی مرتبط باسیستم های فیزیکی-سایبری (سیستم‌های جاسازی شده با قابلیت اتصال به اینترنت هستند. سیستم‌های سایبری-فیزیکی بخشی از ماشین آلات، سیستم‌های حمل و نقل، تجهیزات تولید، تدارکات، هماهنگی و مدیریت فرآیندها در کارخانه‌ها هستند. در نتیجه، آینده تولید به این سمت خواهد رفت که نیروی انسانی، ماشین آلات، واحدهای تولیدی، تدارکات و محصولات به طور مستقیم با همدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و همکاری می‌کنند) واینترنت اشیا است که شرکت ها را از وضع سنتی به هوشمند تبدیل می کند. این تبدیل وضعیت نتایجی از قبیل تغییر در سیاست های نگهداشت را می طلبد. ۹ پلکان عبارتند از: اینترنت اشیا-داده های حجیم-ادغام افقی وعمودی-شبیه سازی-ابرها(رایانش ابری)-واقعیت افزوده-رباط های خودران-چاپگر سه بعدی-امنیت سایبری (اسچواب[3]، ۲۰۱۱).

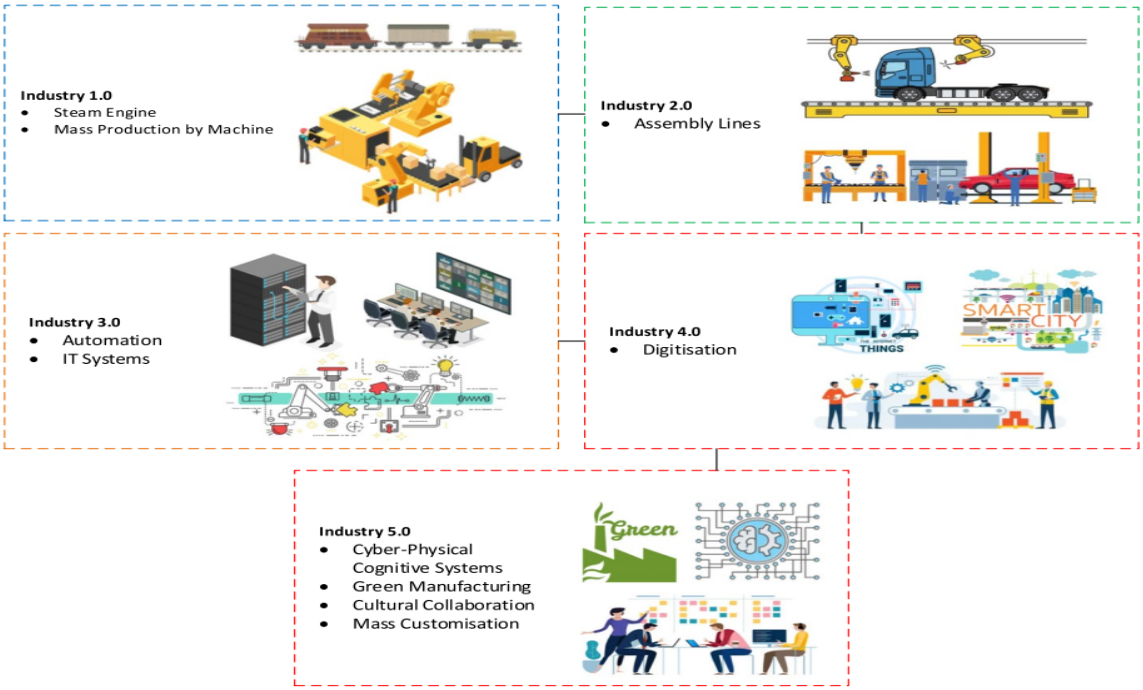
انقلاب صنعتی پنجم[4] (۲۰۲۱) در مفهوم « صنعت نسل چهارم » ریشه دارد که در آلمان در سال ۲۰۱۱ برای اولین بار به عنوان یک پروژه شاخص و بخشی از راهبرد فناوری پیشرفته کشور مطرح شد و مقرر شد که به طور مشترک در حوزه کسب وکار، علم و تصمیم گیری اتخاذ شود. این مفهوم اساسا در ارتباط با این مسأله است که کشور چگونه و تا چه حدی طی اولین دهه قرن ۲۱ پیشرفت داشته است و چگونه می تواند در دهه های آتی مؤثرتر واقع شود تا بتواند عمدتا تعداد کارکنان در بخش تولید را تثبیت نماید. این مفهوم علاوه بر رفع نیازهای اقتصادی، به رفع نیازهای بوم شناختی خاص «تولید سبز » برای تحقق صنعت کربن خنثی و کارآمد از نظر انرژی نیز تأکید دارد. صنعت نسل چهارم طی دوره ده ساله خود کمتر بر اصول اصلی انصاف و پایداری اجتماعی متمرکز بوده و بیشتر بر دیجیتال سازی و فناوری های مبتنی بر هوش مصنوعی به منظور افزایش بازده و انعطاف پذیری تولید متمرکز بوده است. صنعت نسل پنجم بر موضوع متفاوتی متمرکز است و درواقع، اهمیت تحقیق و نوآوری جهت حمایت از صنعت در خدمات بلندمدت آن به بشریت در مرزهای سیاره ای مورد تأکید قرار دارد (براکیو و همکاران[5]، ۲۰۲۱).

جامعه پنجم درصدد ایجاد تعادل بین توسعه اقتصادی و حل مشکلات اجتماعی وزیست محیطی است. جامعه پنجم محدود به بخش تولید نیست، بلکه به چالش های اجتماعی بزرگتر براساس ادغام فضای فیزیکی و مجازی می پردازد. جامعه پنجم جامعه ای است که در آن فناوری های اطلاعات پیشرفته، اینترنت اشیاء، ربات ها، هوش مصنوعی و واقعیت افزوده در راستای منافع اقتصادی و منافع و رفاه شهروندان به طور فعالانه در زندگی روزمره، صنعت، مراقبت بهداشتی و سایر حوزه ها به کار برده می شوند. عقیده بر این است که صنعت نسل پنجم باید با توجه به اهداف گسترده ای تعریف شود که فراتر از تولید کالاها و خدمات سودآور هستند. این اهداف گسترده تر شامل سه عنصر اصلی هستند: محوریت انسان، پایداری و تاب آوری. براساس **رویکرد انسان محور**، به جای این که فناوری های نوظهور به عنوان نقطه مبدأ در نظر گرفته شوند و پتانسیل آن ها برای افزایش بهره وری مورد بررسی قرار گیرد، نیازها ومزایای اصلی انسان ها در فرآیند تولید باید مورد تأکید اصلی قرار گیرند.

---

[1] Martinez-Galan
[2] The Fourth Industrial Revolution :Industry 4.0
[3] Schwab
[4] The Fifth Industrial Revolution: Industry 5.0
[5] Braque

صنعت باید **پایدار** باشد تا بتواند برای مرزهای سیاره ای احترام قائل شود. صنعت باید فرآیندهای چرخشی را توسعه دهد که امکان استفاده مجدد، تغییر کاربری و بازیافت منابع طبیعی و همچنین کاهش ضایعات و تأثیرات زیست محیطی را فراهم می آورند. **تاب آوری** به ضرورت توسعه بیشتر ظرفیت تولید صنعتی اشاره دارد که امکان تجهیز بهتر تولید صنعتی در برابر تحولات را فراهم آورده و تضمین می کند که تولید صنعتی قادر به تأمین و حمایت از زیرساخت کلیدی در دوران بحران است. تغییرات ژئوپلیتیکی وبحران های طبیعی مانند بیماری همه گیر کوید ۱۹ بر تضعیف رویکرد فعلی نسبت به تولید جهانی شده دلالت دارند. به طور کلی، با توسعه زنجیره های ارزش راهبردی ای که به اندازه کافی تاب آور هستند و همچنین با ایجاد ظرفیت تولید تطبیق پذیر و فرآیندهای کسب وکار انعطاف پذیر به ویژه در مواردی که زنجیره های ارزش نیازهای اساسی نظیر مراقبت های بهداشتی یا امنیت را برطرف می سازند، می توان این مسأله را تعدیل کرد. در شکل (۱) روند تکاملی انقلاب های صنعتی نشان داده شده است.



شکل (۱). سیر تحول صنعت از صنعت نسل ۱ تا صنعت نسل ۵ (ادل[1]،۲۰۲۲)

۴-بررسی راهکارهای موجود صنعت نسل ۵.۰

۴-۱-زیرساخت های فناوری اطلاعات در پشتیبانی از صنعت نسل ۵.۰

از مهمترین زیرساخت های فناوری اطلاعات در صنعت ۵.۰ می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. اطلاعات دیجیتالی شده و نظارت بر داده های خطوط تولید، ادغام جنبه های انفورماتیک با الکترونیک را سبب شده است.

۲. راه‌حل‌های سخت‌افزاری با راه‌حل‌های نرم‌افزاری ترکیب شده‌اند که امکان تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، امکانات واقعیت افزوده (AR) و نگهداری پیش‌بینی‌کننده ماشین‌های تولید را فراهم می‌کنند.

۳. راه حل های مختلف حسگرها ، سناریوهای متفاوتی را در فرآیندهای ساخت و تولید دنبال می کنند. ابزارها و رویکردهایی طراحی فرآیندهای تولید با یکپارچه‌سازی منطق حسگرها و محرک ها ارائه شده اند.

٤. مدل‌سازی فرآیند کسب‌وکار (BPM) و زبان مدل‌سازی یکپارچه (UML) برای توصیف جریان داده‌ها و پردازش داده‌ها با استفاده از مثال‌های مختلف معرفی و اتخاذ شده‌اند.

[1] Adel

۵. طبق امکانات جدید Industry 5.0، جزئیاتی در مورد عناصر الکترونیکی مفید برای طراحی زیرساخت‌های فناوری اطلاعات پیشرفته (IT) ارائه نموده، از جمله پیاده‌سازی مدار که منطق‌های بازخورد را برای اعمال بهبود سیستم‌های تولید هوشمند توصیف می‌کند.
٦. اقدام به نظارت بر تولید با تدوین نقشه ها و جداول ردیابی مراحل تولید، نقص و ارائه چارچوبی از ابزارهایی که می تواند برای ارتقاء تولید استفاده شود، کمک شایانی نماید.
۷. استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی نشان دهنده پیشرفت های جدید در عصر صنعت ۵.۰ است که می تواند کیفیت تولید یا کیفیت خدمات را بهینه کند.
۸. فناوری اطلاعات نوآورانه در ادغام زنجیره تامین و فرآیندهای تصمیم گیری برای تولید پیشرفته مورد توجه قرار گرفت.

۴-۲-رابط انسان و ماشین (hmi[1])

طراحی و توسعه رابط های انسان و ماشین (HMI) برای پیشرفت های تکنولوژیکی در صنعت ۵.۰ اساسی است.با استفاده از رابط انسان و ماشین یکپارچه‌سازی مورد نیاز سیستم حسگر صورت می پذیر، و راه‌حل‌های متفاوتی را با استفاده از هوش مصنوعی (AI) ارائه خواهد نمود که موضوعی از پیشرفت‌ها در گذر از صنعت ۴.۰ به ۵.۰ را نشان می‌دهد. از مهمترین اقدامات رابط انسان و ماشین در صنعت ۵.۰ می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. سیستم‌های بازخورد و اجرای شبکه‌های عصبی با استفاده از پورت‌های منطقی متمرکز شده است. علی الخصوص برخی راه‌حل‌ها برای تنظیم پارامتر و طبقه‌بندی متغیر تولید مورد بحث قرار می‌گیرند.
۲. رابط های مکاترونیک به تحقیق در مورد اتوماسیون هایی کمک می کند. از این رو فرآیندهای تولید خود انطباقی با استفاده از رابط های انسان و ماشین که سیستم های بازخورد هوشمند را پیاده سازی می کنند و امکانات ماشین به ماشین (M2M) مبتنی بر هوش مصنوعی کمک می کند.
۳. رابط های انسان و ماشین از کنترل‌های بازخورد پیشرفته توسط شبکه‌های عصبی که واحدهای (PLC) را مدیریت می‌کنند و از طبقه‌بندی نقص محصول، پیش‌بینی خرابی ماشین ، کنترل و فعال‌سازی سیستم ، پشتیبانی می‌کنند.
٤. زیرساخت اطلاعاتی که امکان کنترل ارتقا یافته را فراهم می کند، شامل سطوح مختلف، عناصر شبکه و پروتکل های مناسب برای اجرای رابط های انسان و ماشین پیشرفته می باشد.
۵. حسگرهای دیجیتال داده ها و اطلاعات را به بردهای رابط ارائه می دهند، بنابراین امکان آموزش مدل های هوش مصنوعی مورد استفاده برای بهبود کیفیت تولید را فراهم می شود.
٦. توسعه رابط انسان و ماشین توسط رابط‌های کاربر گرافیکی (GUI) که در جریان‌های کاری عملیاتی ساختار یافته‌اند، تسهیل می‌شود.
۷. یکی دیگر از جنبه های مهم و نوآورانه رابط های انسان و ماشین ، امنیت سایبری است. امنیت داده‌ها توسط رابط‌هایی که اولویت‌ها، حملات و تهدیدات شبکه را کنترل می‌کنند و همچنین از طریق پرس‌وجوها (query) و گزارش‌های ماشینی حاوی قابلیت ردیابی اقدام به و مدیریت شرایط دسترسی غیرعادی یا طبقه‌بندی حملات احتمالی و شرایط خطرناک شبکه مدیریت می نمایند.طبقه بندی شرایط خطرناک با استفاده از هوش مصنوعی صورت خواهد گرفت. شبکه‌های مدیریت کانال‌های ارتباطی مختلف، توسط الگوریتم‌های هوش مصنوعی و سیستم‌های کلان داده بهبود یافته‌اند و اقدام به آدرس دهی شبکه به یک سیستم امنیتی-ارتباطی مناسب برای بازیابی خسارت ها می نمایند. این امر با ایجاد رابط های میان افزاری هوشمند قابل استفاده برای سوئیچینگ کانال ارتباطی و تشخیص حمله شبکه امکان پذیر است.

[1] human–machine interface

۴-۳-راه حل اینترنت اشیا (IoT[1]) در صنعت

طراحی سیستم های اینترنت اشیاء (IoT) تابعی از فعالیت های صنعت است.اهم اقدامات و راه حل های اینترنت اشیاء در صنعت ۵.۰ به شرح زیر است:

۱. حسگرها برای محاسبات داده‌ای که توسط موتورهای هوش مصنوعی (AI[2]) انجام می‌شود، با ابر تعامل می‌کنند که از اتوماسیون‌های کامل تولید پشتیبانی می‌کنند که مشخصه تکامل صنعت ۴.۰ به صنعت ۵.۰ است.
۲. اتوماسیون توسط واحدهای هوشمند، کنترل‌کننده‌ها، عوامل یا به طور کلی پردازنده‌هایی که الگوریتم‌های هوش مصنوعی را اجرا می‌کنند، مدیریت می‌شود.
۳. تمام فناوری‌ها اینترنت اشیاء به گونه‌ای طراحی شده‌اند که جریان داده‌ای مناسب برای تنظیم خودکار ماشین تطبیقی فراهم کنند، بنابراین کیفیت تولید را بهبود می‌بخشند.
۴. تنظیمات پایه ای حسگر قابل استفاده در کاربردهای صنعتی برای کنترل و فعال سازی بلادرنگ (Real-time). همچنین مکانیسمی که امکان کنترل بازخورد بهبود یافته توسط هوش مصنوعی را فراهم می کند، معرفی شده است.
۵. همچنین استفاده از معماری های مختلفی به منظور ادغام فناوری های پیشرفته مانند داده های بزرگ، واقعیت افزوده (AR) و بلاک چین .
۶. کنترل حسگر با تأخیرهای زمانی متفاوت به دلیل فناوری اتخاذ شده و پردازش داده ها در یک سیستم تشخیص و فعال سازی "شبه" زمان واقعی مشخص می شود. این امر در کاربردهای روباتیک صنعتی که نیاز به پاسخ سریع با توجه به سرعت تولید دارد مهم است زیرا تأخیر زمانی محدودیتی درکاربردهای تطبیقی خودکار آن ها به حساب می آید.
۷. توجه ویژه بر پایش انرژی توسط DSS متمرکز شده است، جایی که شبکه های عصبی برای پیش بینی مصرف انرژی مناسب هستند.
۸. افزایش عملکرد محاسباتی موتورهای هوش مصنوعی با استفاده از واحدهای پردازش گرافیکی (GPU) یا رویکردهای محاسبات ابری به عنوان مسئله واقعی در Industry 5.0 مطرح می‌گردد.
۹. از جنبه‌های مفید برای تولید نوآورانه، اجرای فناوری‌های ردیابی است که تخصیص محصول انبار، بررسی نقاط کیفیت و عملیات درون لجستیکی را بهبود می‌بخشد. کل تولید، سیستم اطلاعات شرکت و فرآیندهای خودکار را می توان با پیکربندی آنلاین DSS مدیریت کرد.
۱۰. برنامه های کاربردی مختلف در خدمات مهندسی توسط IoT و DSS با امکان پیکربندی پارامترهای ماشین آنلاین فعال می شوند. به طور خاص، خدمات بهبود یافته توسط DSS برای پل‌ها، تشخیص غیرتهاجمی راه‌آهن و جاده، تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده ماشین، سکوهای کنترل‌کننده پردازش ماشین، تولید سکوی کنترل‌کننده معدن، و پزشکی از راه دور توسط IoT در صنعت ۵.۰ قابل پیاده سازی است.

۴-۴-استفاده از رباتیک پیشرفته

اصول اولیه مکاترونیک با بهبود طراحی هوش مصنوعی (AI) در امر سنجش ، احساس پذیری و تحریک گسترش قابل توجهی یافته است. فرآیندهای کاری مختلف را می توان توسط روبات های صنعتی و ربات های مشارکتی[3] (CoBots) به دست آورد. اقدامات ربات با استفاده از پروتکل‌های خاص و سیستم‌های کنترل خودکار تطبیقی که توسط کنترل‌کننده‌های هوش مصنوعی ارتقا یافته‌اند، اجرا

[1] Internet of Things
[2] artificial intelligence
[3] Collaborative Robot

می‌شوند. ربات ها و پوشش‌های بیرونی (ساختارهای بیرونی[1]) مبتنی بر هوش مصنوعی نشان دهنده پیشرفت های جدید Industry 4.0 هستند که به تولید صنعت در عصر Industry 5.0 می پردازند. به طور کلی پیشرفت‌ها در کنترل سیستم‌های رباتیک نشان‌دهنده یک موضوع تحقیقاتی جدید برای ارتقای تولید صنعتی در عصر صنعت ۵.۰ است. اهم یافته ها و اقدامات صورت گرفته برای استفاده از رباتیک پیشرفته در عصر صنعت ۵.۰ به شرح زیر است:

۱. تجزیه و تحلیل کنترل موتور توسط پردازش سیگنال، مطالعه اساسی برای طراحی یک کنترل کننده پیشرفته است که قادر به تطبیق خودکار یک محرک رباتیک، و کاهش اثرات اختلال در حین فعال سازی است.
۲. کنترل هوش مصنوعی را می توان در بسیاری از فرآیندهای صنعتی از جمله ساخت پیشرفته و ساخت افزودنی (AM[2]) پیاده سازی کرد.
۳. درک توابع برنامه‌نویسی مرتبط با PLC، همراه با یکپارچه‌سازی حسگر و پروتکل، درک مکانیسم‌هایی را تسهیل می‌کند که منجر به ارتقای حرکت روباتیک خود-تطبیقی با استفاده از کنترل‌کننده‌های هوش مصنوعی می گردد.
٤. درک اصول محرک‌ها و محرک‌های موتور است که مبنایی برای بهبود کنترل هوشمند روبات ها و به طور کلی ماشین های تولیدی است.
٥. یکپارچه سازی طرح‌های مختلفی هوش مصنوعی برای کنترل موتور ، امکان تأثیر مستقیم بر ولتاژ یا سیگنال‌های الکتریکی را افزایش می‌دهند.
٦. امکان کنترل خودکار بهینه شده توسط هوش مصنوعی، سبب مدیریت سیگنال‌های الکتریکی متغیری که در مدار موتور حرکت می‌کنند، به منظور امکان تطبیق فرآیند تحریکی با حرکات یا مقررات تطبیقی می گردد.
۷. هوش مصنوعی با توجه به اندازه گیری های ارائه شده توسط حسگرهای تخصیص یافته در خط تولید، برای فرآیند خودآموزی داده ها مناسب بوده و سبب هدایت تولید به سمت کنترل کامل و تطبیقی می گردد.
۸. امکان کنترل مستقیم سیگنال ها در مدارهای اینورتر با فراهم کردن امکان بهینه سازی کنترل، سبب عمل مستقیم در حوزه زمانی سیگنال منبع می گردد.
۹. الگوریتم‌های هوش مصنوعی نظارت‌شده و بدون نظارت امکان بیشتری را برای بهینه‌سازی سیستم‌های بازخورد سنتی برای روباتیک و AM کنترل‌شده مشترک فراهم می‌کنند.

۴-۵-اپتوالکترونیک و میکرو/نانوحسگرهای پیشرفته

تنظیمات آزمایشی احتمالی مفید برای آزمایش حسگر نانوکامپوزیت و مفاهیم فیزیکی اساسی‌تری را برای نمونه‌سازی میکرو و نانوحسگر در نسل پنجم صنعت مورد بررسی دقیق تر قرار می گیرد. هدف اصلی تجزیه و تحلیل برخی روش‌ها برای توصیف نظری، طراحی و ساخت حسگرهای نوری پیشرفته و میکرو/نانو در صنعت و تحقیق و توسعه (R&D) است. امکان ساخت نانوکاوشگرها، تشدیدگرهای پلاسمونیک و مواد نانوکامپوزیتی (NMs) پژوهش را به سمت تولید دسته جدیدی از حسگرهای با حساسیت بالا هدایت می‌کند که می‌توانند در محیط‌های داخلی و خارجی استفاده شوند.

۱. روش‌های اندازه‌گیری برای توصیف مورفولوژیکی(ریخت شناسی) لایه‌های نازک و نانوذرات (NPs)
۲. پروب های دارای نوک نانوکامپوزیت برای بهبود نوری
۳. تشدید پلاسمونیک لبه به منظور تشخیص مایعات یا کنتراست دی الکتریک شناسایی مواد
٤. ستون‌های نانوکامپوزیتی برای تشخیص مایعات و تلفات در یکپارچه‌سازی انگشت (Finger) روباتیک

[1] exoskeletons
[2] additive manufacturing

۵. حسگرهای فشار لمسی نانوکامپوزیتی با حساسیت بالا که پروفایل‌های شکل جسم، بریدگی‌های کوچک و نیروهای فشار را به طور کلی تشخیص می‌دهند.
٦. مواد لایه نازک که توانایی سنجش در حسگرهای فشاری گیگاهرتزی را داشته و آنتن‌های زیست پزشکی نوری بر اساس دیافراگم‌های میکرو مستطیلی شکل.
۷. مدل‌سازی و سنتز نانوکره‌های سیلیکا که به‌عنوان نانوکاوشگر برای تصویربرداری زیست‌پزشکی

۴-۶-بینایی تصویر (Image Vision)

تکنیک‌های بینایی تصویر عمدتاً برای تشخیص عیوب در فرآیندهای کیفیت ساخت استفاده می‌شوند. راه‌حل‌های مختلف حسگرها و پیاده‌سازی‌ها با سناریوهای مختلف در تولید، و به طور کلی در فرآیندهای تولید، که در آن تشخیص خودکار عیوب به منظور تنظیم خود تطبیقی تولید، مورد استفاده قرار می گیرند، مطابقت دارند. رویکردهای بینایی تصویر در بخش‌های مختلف صنعت و همچنین بازرسی و نظارت مورد استفاده قرار می گیرند. اهم یافته ها و اقدامات صورت گرفته برای استفاده از بینایی تصویر در صنعت و عصر صنعت ۵.۰ به شرح زیر است:

۱. اتخاذ راه‌حل‌های هوش مصنوعی (AI) برای بهبود تشخیص نقص محصول متمرکز است. برای این منظور، استفاده ترکیبی از تبدیل فوریه گسسته، K-Means و الگوریتم های شبکه عصبی بلند مدت حافظه کوتاه مدت (LSTM) عملکرد تکنیک های پردازش تصویر را در تشخیص نقص افزایش می دهد.
۲. روش‌های تقسیم‌بندی تصویر یک رویکرد جایگزین برای استخراج اطلاعات نقص برای ترکیب با نتایج طبقه‌بندی هوش مصنوعی است. بخش‌بندی تصویر حوضه و تکنیک‌های مدل کانتور فعال (معروف به مدل مار) برای استخراج خطوط و اندازه‌گیری تغییرات احتمالی شکل اشیاء دارای نقص، قابل استفاده است.
۳. علاوه بر این، شبکه‌های LSTM برای بررسی و بهبود عیوب برآورد شده توسط سایر روش‌های پردازش تصویر مانند ترموگرافی مادون قرمز (IRT)، K-means و تقسیم‌بندی مورفولوژیکی تصویر اعمال می‌شوند.
٤. الگوریتم‌های هوش مصنوعی همچنین برای پیش‌بینی خرابی‌های ماشین مناسب هستند، بنابراین به عنوان یک ابزار پیش‌بینی خطر برای رویه‌های تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده ، عمل می نمایند.
۵. چالش واقعی در دوره بعدی Industry 5.0 ادغام پردازش داده های هوش مصنوعی در خط تولید یک صنعت با شبکه تولید آن صنعت است که امکان پیش بینی ریسک در زمان واقعی و اقدامات اصلاحی خود انطباقی در سیستم های جایگذاری قطعات (pick and place systems) را فراهم می کند.
٦. در مورد نظارت بر تولید، تکنیک‌های بینایی تصویر برای پیاده‌سازی در سیستم‌های واقعیت افزوده (AR) مناسب هستند و به بهینه‌سازی طرح‌بندی‌های تولید و نقاط بازرسی کیفیت بر اساس اطلاعات افزوده‌شده کمک می‌کنند.

لازم به ذکر است ترکیب تکنیک‌های مختلف بینایی تصویر، روشی نوآورانه برای طبقه‌بندی عیوب، با خودکار کردن بررسی کیفیت فرآیند تولید و بهبود دقت بررسی کیفیت است.

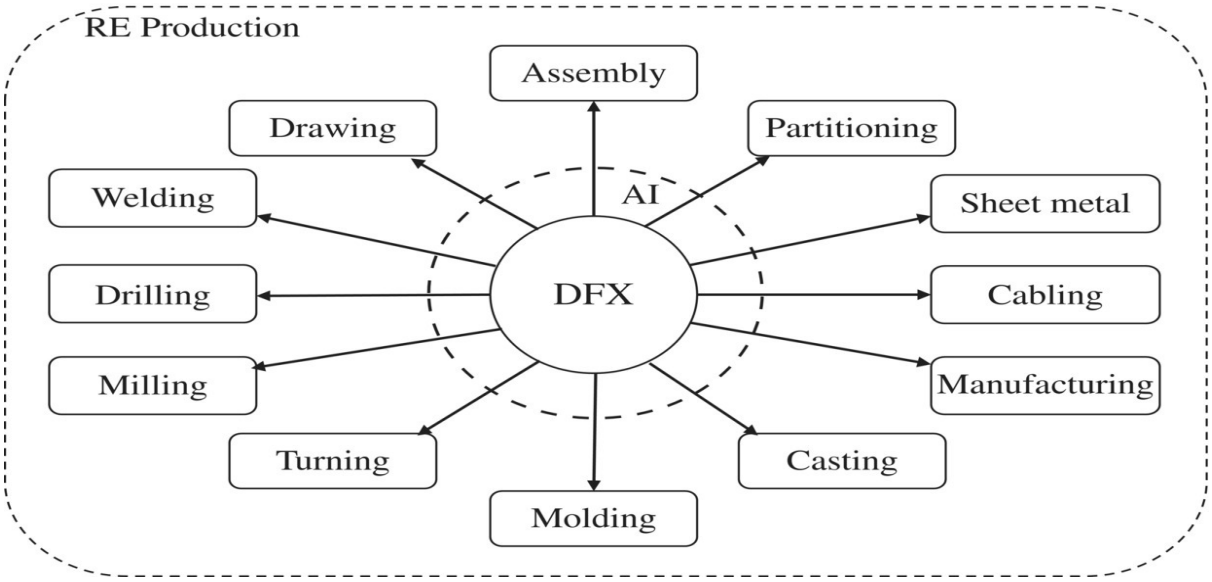
۴-۷-مهندسی الکترونیک و مهندسی معکوس

رویکردهای مهندسی معکوس (RE) یک موضوع مهم برای صنایع تولیدی است که به سمت ارتقاء تولید و تسهیلات صنعت ۵.۰ گرایش دارند. رویکردهای RE عمدتاً به فرآیندهای بهینه سازی شامل نمونه های اولیه و تولید سریع می پردازد. عبور از Industry 4.0 به Industry 5.0 شامل معرفی مهندسی مجدد خود تطبیقی دستگاه، با در نظر گرفتن شبیه‌سازی‌ها، اندازه‌گیری‌ها و پردازش داده‌ها با پشتیبانی از الگوریتم‌های AI است. بهینه سازی خود تطبیقی توسط اتوماسیون های پیاده سازی شده برای تولید یک جزء یا دستگاه خاص ارائه می شود. برای این منظور، یک جنبه جدید برای تولید بهینه، آزمایش خودکار به عنوان یک مفهوم جدید از طراحی مجدد

خودکار و مهندسی مجدد یک محصول است. این بحث عمدتاً بر روی RE در تولید پیشرفته متمرکز است و رویکردهای بهینه‌سازی احتمالی دستگاه‌های تشکیل‌شده توسط ساختارهای میکرومتری، لایه‌های نازک و مواد نانوکامپوزیت (NMs) را توصیف می‌کند.

۱. رویکردهای پیشرفته RE در فرآیندهای ساخت حسگرهای نانوکامپوزیت، اتصال منبع آنتن‌ها و به طور کلی برای ساخت بردهای الکترونیکی استفاده می‌شوند.
۲. دیگر جنبه‌های مهم روش‌های RE، رویکردهای اندازه‌گیری برای توصیف الکتریکی دستگاه‌های چند لایه لایه نازک است.
۳. توجه ویژه ای به تجزیه و تحلیل ابزارهای RE به عنوان شبیه سازهای روش المان محدود (FEM[1]) در طراحی و مدل سازی دستگاه های نوری میکرومتریک شده است.
۴. روش‌های RE همچنین به بهینه‌سازی فرآیند فن‌آوری سیستم میکروالکترومکانیکی (MEMS[2]) از جمله مشخصه‌بندی حد، کنترل طرح‌بندی و آزمایش می‌پردازند.
۵. سنسورهای نوری نانوکامپوزیت و فناوری‌های مهندسی مرتبط، آنتن‌های فشرده، کریستال‌های فوتونی (PC).

مهندسی معکوس RE مفهومی است که به بهینه سازی مواد، فناوری، رویکردهای اندازه گیری، تنظیمات ماشین تولید و مشخصات دستگاه برای ساخت بسط داده می شود. از پیشرفته ترین رویکردRE ، روشبی موسوم به طراحی برای "X" است (ماسارو[3]، ۲۰۱۰). طراحی برایX (DFX) اساساً از چهار پارامتر طراحی تشکیل شده است (شکل شماره.۲) که برای اجرای صحیح کار باید در نظر گرفته شود: طراحی برای ساخت (DFM)، طراحی برای مونتاژ (DFA)، طراحی برای جداسازی (DFD) و طراحی برای محیط (DFE).



شکل (۲). مدل DFX در تولید پیشرفته RE

نمونه سازی سریع و RE ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند و با هم به صنعتی شدن محصول کمک می کنند. ارتقاء و خودکارسازی روش‌های RE موضوعات مورد علاقه در سناریوی Industry 5.0 است.

[1] Finite element method
[2] Microelectromechanical systems
[3] Massaro

۴-۸-نمونه سازی سریع (Rapid Prototyping)

جنبه‌های مربوط به مدل‌سازی، طراحی و ساخت نمونه اولیه، با تقویت رویه‌هایی که باید برای یک فرآیند پیش صنعتی‌سازی که با اجرای مواد شروع می‌شود، دنبال می شود. نمونه اولیه سریع یک گام اساسی برای مفهوم جدید تولید انعطاف پذیر است.اهم یافته ها و فعالیت های صورت گرفته در بحث نمونه سازی سریع در نسل پنجم صنعت به شرح زیر است:

۱. بحث نمونه‌سازی سریع برای امکان ادغام فناوری‌های مختلف به منظور بهبود فرآیندهای بازرسی‌های زیرزمینی همچون نشت آب یا گاز و بر اساس استفاده از فناوری‌های مختلف مانند رادار زمین نفوذ (GPR[1])، ترموگرافی مادون قرمز (IR) و وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (پهپادها) مورد توجه قرار گرفته است.
۲. نمونه سازی سریع آنتن با برجسته کردن تمام جنبه های مربوط به طراحی، فن آوری های پیشرفته، مشخصات الکترومغناطیسی و کاربردهای احتمالی در صنعت ۵.۰ مورد توجه ویژه قرار گرفته است.
۳. یک موضوع مهم در تحقیقات صنعت نسل پنجم طراحی مواد نوآورانه به عنوان مواد نانوکامپوزیتی (NM s) است که می تواند خواص فیزیکی یا حسی را بهبود بخشد.

۵-جمع بندی

به طور کلی تحولات صنعت از منظر نگهداری و تعمیر (نت) و کارگر است. همانطور که مشاهده می شود، پیشرفت های تکنولوژیکی همیشه نیاز به ایجاد روش های جدید نگهداری و تعمیر داشته و وظیفه آموزش کارگران در روش های جدید ضروری است. معیارهای عملکرد اجازه می دهد تا داده های کافی برای مقایسه با سطح مطلوب هر یک از سیگنال ها را داشته باشید. از طریق الگوریتم های تشخیص و کاهش، و توصیه Worker 5.0 ، می توان یک راه حل بهینه به دست آورد. عملیات های نت روی دارایی های فیزیکی انجام می‌شود، و در آن زمان است که می‌توان زمان، میزان تأثیر حادثه و انعطاف‌پذیری را اندازه‌گیری کرد. در این شرایط است که شرکت ها می توانند زیرساخت های خود را در راه رسیدن به توازن ریسک-هزینه-عملکرد دارائی ها در طی چرخه عمر هماهنگ کنند. علاوه بر این، این انعطاف پذیری بر عنصری از زنجیره ارزش شرکت تأثیر می گذارد که در آن دارایی فیزیکی خدمات خود را ارائه می دهد. آخرین ستون در جدول (۱)، مشارکت های کیفی جدیدی را در مورد چگونگی تطبیق هر عنصر با صنعت نسل ۵.۰ ارائه می دهد (مبخت و همکاران[2]، ۲۰۲۱؛ تران و همکاران[3]، ۲۰۲۲؛ سمینی و همکاران[4]، ۲۰۲۰؛ منزس و همکاران[5]، ۲۰۱۹؛ ولستاند و همکاران[6]، ۲۰۲۱؛ چنگ و همکاران[7]، ۲۰۲۱؛ ننتویچ و همکاران[8]، ۲۰۲۰).

[1] Ground Penetrating Radar
[2] Mabkhot
[3] Tran
[4] Cimini
[5] Menezes
[6] Wellsandt
[7] Cheng
[8] Nentwich

جدول (۱). توسعه نگهدری و تعمیر، کارگر و معیارها.

ویژگی های کار نگهداری و تعمیر					
انقلاب صنعتی	First (1.0)	Second (2.0)	Third (3.0)	Fourth (4.0)	Fifth (۵.۰)
زمان	دهه ۱۷۶۰ میلادی	دهه ۱۸۸۰ میلادی	بعد از جنگ جهانی دوم	S. XXI	پس از سال ۲۰۲۱
فعال سازهای تکنولوژی	نیروی انسانی و حلقه مکانیکی	موتورهای الکتریکی	اتوماسیون	سیستم‌های فیزیکی- سایبری، اینترنت اشیا، داده‌های بزرگ، محاسبات ابری، چاپ‌های سه بعدی و غیره	پوشیدنی ها، سیستم های انسانی سایبری فیزیکی، یادگیری متقابل انسان و ماشین، شبکه های تن پوش، هوش مصنوعی
تعمیرات	اقدامات اصلاحی فوری: "وقتی خراب شد آن را برطرف کنید"	اقدامات اصلاحی معوق: "من عمل می کنم، شما درست می کنید"	پیشگیرانه (مبتنی بر شرایط): "اتوماسیون کار می کند، شما تعمیر می کنید"	پیشگیرانه (تحلیل پیش بینی کننده)	تجزیه و تحلیل پیشرفته و مقاوم سازی بوسیله انسان در حلقه
شاخص ها	تعداد خسارت ها	در دسترس بودن، طول عمر، هزینه	قابلیت اطمینان، در دسترس بودن، قابلیت نگهداری، امنیت	بهره وری، برون سپاری فرامرزی	تاب آوری، پایداری، تأثیر بر زنجیره ارزش
کارگر	مهارت های دستی و شناختی کارگر	مدیر کارگر به اپراتورها کمک می کند	کارگران با کمک کامپیوترها و روبات ها	تقویت شده توسط فناوری ها: پوشش های بیرونی، دستیار شخصی، ابزارهای پوشیدنی و غیره	اتصال ماشین هوشمند با کمک یک انسان

۵-تعمیرات نسل ۵.۰ (Maintenance 5.0)

چارچوب جدید Maintenance 5.0 سهم کارگران در زنجیره ارزش شرکت و همچنین مهارت های دیجیتالی آنها را در نظر می گیرد که تأثیر مثبتی بر انعطاف پذیری دارایی های فیزیکی منطبق با فرآیند صنعتی دارد و اهداف صنعت نسل ۵.۰ را برآورده می کند. طبق تعریف ISA، دارایی فیزیکی هر جزء فیزیکی یا گروهی از اجزای متعلق به یک سازمان هستند. بنابراین یک راه حل انسان محور برای تعمیر و نگهداری است (نهاوندی، ۲۰۱۹). پیشنهاد نظری که در آن انسان نقش بیشتری در تعمیر و نگهداری و ساخت هوشمند خواهد داشت در زیر ارائه شده است. بر اساس اهداف Industry 5.0 و Socity 5.0 و به دنبال درک متقابل بین ماشین ها و انسان ها (سویتی و همکاران[1]، ۲۰۱۸)، می توان Maintenance 5.0 را به صورت زیر تعریف نمود:

"یک سیستم تعمیر و نگهداری که با افزایش تعامل دارایی فیزیکی – انسان، انعطاف پذیری دارایی های فیزیکی را افزایش می دهد."

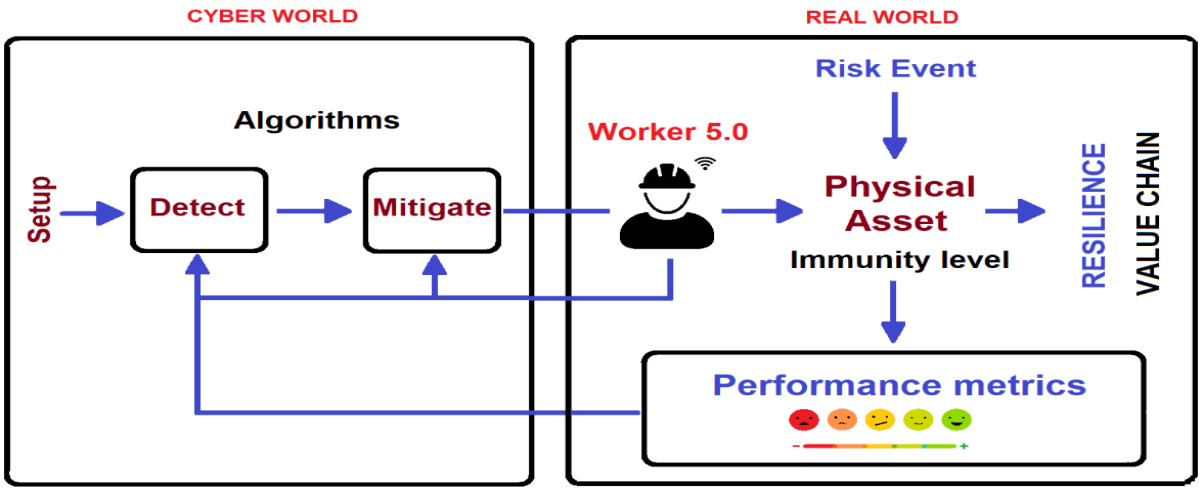
جدول (۲) تعریف عناصر Maintenance 5.0 را بیان می کند (گریگیو و همکاران[2]، ۲۰۲۱؛ انجلوپولوس[3]، ۲۰۱۹).

[1] Sciutti
[2] Giogio
[3] Angelopoilos

جدول (۲). تعریف عناصر Maintenance 5.0.

جهان	عنصر	تعاریف و توضیحات
مجازی	راه اندازی	پیکربندی اولیه را به یک دارایی می دهد و سیگنال آن را در اختیار سیستم قرار می دهد تا کنترل شود.
	الگوریتم های تشخیص	الگوریتم های عمومی. سرویسی که رویدادهای سیستم را برای یافتن و ارائه اخطار بلادرنگ یا نزدیک به زمان واقعی در هنگام تلاش برای دسترسی به منابع سیستم به روشی غیرمجاز ، نظارت و تجزیه و تحلیل می کند.
	الگوریتم های کاهش دهنده	یادگیری تقویتی و سایر الگوریتم های هوش مصنوعی خطر را کاهش می دهند. کنترل های کاهشی ترکیبی از اقدامات متقابل و طرح های تداوم کسب و کار است
واقعی	Worker 5.0	انسان در حلقه یا "کارگر در حلقه" را می توان به عنوان دارایی انسانی (افراد و دانش و مهارت هایی که آنها در ارتباط با فعالیت های تولیدی خود دارند) در نظر گرفت
	رخداد ریسک	انتظار از دست دادن به عنوان احتمال اینکه یک تهدید خاص از یک آسیب پذیری خاص با پیامد خاصی سوء استفاده کند بیان می شود. ریسک = احتمال * تاثیر
	دارایی فیزیکی	مهم ترین دارایی های فیزیکی آنهایی هستند که تجهیزاتی را تشکیل می دهند که تحت کنترل سیستم اتوماسیون هستند.
	تاب آوری	اغتشاشات(اختلالات) می توانند انواعی از حمله عمدی، حوادث، تهدیدها یا حوادث طبیعی باشند
	زنجیره ارزش	زنجیره ارزش کسب و کار مجموعه ای از فعالیت هایی را نشان می دهد که یک شرکت برای ایجاد یک محصول یا خدمات سودآور برای افزایش تأثیر در بازار انجام می دهد
	شاخص های کارآیی	سیگنال‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم صنعتی و ابزارهای پوشیدنی

ویژگی های اصلی Maintenance 5.0 این است که کارگر در حلقه است و به دنبال شناسایی و کاهش عواملی است که خطر و عدم اطمینان را ایجاد می کنند، بنابراین انعطاف پذیری را افزایش می دهد. (مطابق با شکل ...) در طول عمر مفید باقیمانده یک دارایی فیزیکی، و در داخل وضعیت فضای نگهداری، اقدامات مختلفی انجام می شود که آن را در معرض خطر رسیدن به منطقه شکست فاجعه بار قرار می دهد. سطح مصونیت (immunity level) نشات گرفته از طراحی محصول است و به چگونگی پیکربندی دارایی یا ماشین آلاتی که قبلاً از کارخانه دریافت شده و از آن در برابر خطرات احتمالی خارجی یا داخلی محافظت می شود، اشاره دارد. در شکل (۳) چارچوب کنترل عمومی انسان در حلقه برای نشان داده شده است.



شکل (۳). چارچوب کنترل عمومی انسان در حلقه برای Maintenance 5.0

ورودی اصلی در چرخه کنترل Maintenance 5.0 را می توان Worker 5.0 دانست. به طور دقیق تر Worker 5.0 را می توان به عنوان کارمندی معرفی نمود که از طریق مهارت‌های شناختی و رهبری اجتماعی خود، از ابزارهای هوشمند برای حفظ رفاه سازمانی و ارزشی که به شرکت می‌افزاید، توانمند شده و انعطاف‌پذیری کسب‌وکار را در شرایط عدم اطمینان تضمین نموده و مسئولیت اجتماعی اش را به نحو احسن انجام خواهد داد.

شکل (۴). هرم Worker 5.0

با نگاهی به هرم از بالا، می توانید یک نمای کلی از اینکه کارگران نسل ۵.۰ چگونه می توانند محیط کار خود را بر اساس شناخت خود انعطاف پذیرتر کنند و از طریق فناوری هایی مانند هوش مصنوعی توانمندتر کنند، دریافت کنید.

شکل (۵). اکوسیستم Worker 5.0

به طور کلی عناصر تشکیل دهنده چارچوب Worker 5.0 به اجرای اهداف تاب آوری و حس اجتماعی که Industry 5.0 و Socity 5.0 ترویج می کنند کمک می کند.

۶-نتیجه گیری

Industry 5.0 بر اساس ایده ادغام اهداف توسعه پایدار و مفاد دیجیتالی شدن از انقلاب صنعتی چهارم از طریق راه حل های انسان محور، فناوری های الهام گرفته از زیست انسانی و انتقال داده های ایمن سایبری است. ماموریت Industry 5.0 اطمینان از پشتیبانی فناوری ها و نوآوری ها از بشریت است. به دنبال تجربه اخیر همه‌گیری کووید-۱۹، استفاده از Industry 5.0 برای تمرکز بر انعطاف‌پذیری و پایداری صنعت و فناوری ، ظهور کرد. بحران اقتصادی جهانی نشان می دهد که صنعت، نوآوری و فناوری هنوز آسیب پذیر هستند. صنایع هنوز مهمترین محرک توسعه یکپارچه و پایدار (اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی) در طراحی، ساخت، بهره برداری از محصولات و خدمات هستند. انتظار می رود که راه حل های Industry 5.0 انعطاف پذیری و استحکام صنایع و فناوری ها را برای رفع این ضعف بهبود بخشیده و سازمان ها بتوانند در کسب وکار خود به موفقیت لازم در ایجاد توازن بین ریسک-هزینه-عملکرد دارائی ها در طی چرخه عمر دست یابند.

Maintenance 5.0 یک پیشنهاد جدید است که باید در هر یک از عناصر آن عمیق تر شویم. این رهیافت امکان افزایش قابلیت اطمینان، در دسترس بودن، قابلیت نگهداری و امنیت دارایی‌های فیزیکی در کارخانه‌های هوشمند، حفظ معیارهای عملکرد آنها در سطوح قابل قبول و افزایش انعطاف‌پذیری را فراهم می‌کند. پذیرش فناوری و اعتماد به فناوری ها بسیار مهم است. انطباق فناوری با انسان همزمان با آموزش افرادی است که از فناوری های جدید استفاده می کنند. صنعت نسل ۵ از چالش هایی همچون امنیت، حریم خصوصی، کمبود کارگران ماهر، فرآیند زمان‌بر و بودجه زیاد رنج می برد. پذیرش صنعت ۵.۰ برای پیروی از قوانین و مقررات صنعتی که می‌تواند به همکاری با ماشین‌های هوشمند و ربات های تعاملی (co-bots) کمک کند، الزامی است.

از سویی مسیرهای آینده صنعت نسل ۵.۰ عبارتند از محاسبات شناختی، تعامل انسان و ماشین و محاسبات کوانتومی که نیاز به تحقیق بیشتری دارند. هدف برنامه محاسبات شناختی، تحریک افکار انسان در فرآیندها و تبدیل آن به یک مدل کامپیوتری است. الگوریتم های خودآموز از داده کاوی، تشخیص الگوها، زبان طبیعی و ... استفاده خواهد تا کامپیوترها بتوانند فعالیت مغزی انسان را بخوانند. تعامل انسان و ماشین به ارتباط با تعامل بین انسان و ماشین از طریق رابط کاربری اشاره دارد. رابط های کاربری ماشین ها را از طریق رفتارهای شهودی و طبیعی کنترل می کنند. یکی دیگر از مسیرهای آینده صنعت نسل ۵.۰ و تعمیرات نسل ۵.۰ به منظور حفظ انسان در مرکز سیستم و فناوری‌ها ، بحث محاسبات کوانتومی است. محاسبات کوانتومی نوعی محاسبات است که می‌تواند از ویژگی‌های جمعی حالت‌های کوانتومی، مانند درهم‌تنیدگی تداخلی، برای انجام محاسبات استفاده کند. این کامپیوترها محاسباتی را انجام می دهد که بر روی احتمال وضعیت جسم ،قبل از اندازه گیری یا تعمیرات متمرکز خواهند شد.

منابع

Botwright, K.; Bezamat, F. Predictions (2022). Here’s How Supply Chains Might Change According to Business Leaders, Supply Chains 2022 Business Leaders Davos Agenda. 13 January 2022. Available online: https://www.weforum.org/agenda/2022/01/supply-chains-2022-business-leaders-davos-agenda/

Ayyub, B.M. Practical Resilience Metrics for Planning, Design, and Decision Making. *ASCE-ASME J. Risk Uncertain. Eng. Syst.Part A Civ. Eng.* 2015, *1*, 04015008.

Hogarth, T. (2018). Economy, Employment and Skills: European, Regional and Global Perspectives in an Age of Uncertainty; Fondazione Giacomo Brodolini: Roma, Italy.

Hitachi-UTokyo Laboratory (H-UTokyo Lab.). (2020). *Society 5.0: A People-Centric Super-Smart Society*; Springer: Singapore.

De Felice, F.; Travaglioni, M.; Petrillo, A. (2021). Innovation Trajectories for a Society 5.0, *6*, 115.

Fukuyama, M. (2018). Society 5.0: Aiming for a new human-centered society. *Jpn. Spotlight*, *1*, 47–50

Breque, M.; de Nul, L.; Petridis, A. (2021), Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry; European Commission, Directorate-General for Research and Innovation: Luxembourg.

Stearns, P.N. (2020), The Industrial Revolution in World History; Routledge: London, UK.

Cioffi, R.; Travaglioni, M.; Piscitelli, G.; Petrillo, A.; De Felice, F. (2020). Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Smart Production: Progress, Trends, and Directions. *Sustainability*, *12*, 492.

Frey, C.B.; Osborne, M.A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technol. Forecast. Soc. Chang. 114*, 254–280.

Treviño-Elizondo, B.L.; García-Reyes, H. (2021). The challenge of Becoming a Worker 4.0–A Human-centered Maturity Model for Industry 4.0 Adoption. In Proceedings of the IIE Annual Conference. Proceedings Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), 584–589.

Calvetti, D.; Mêda, P.; Gonçalves, M.C.; Sousa, H. (2020). Worker 4.0: The Future of Sensored Construction Sites. *Buildings*, *10*, 169.

Into the Future with Worker 4. LabourBeat. Available online: http://www.labourbeat.org/future-worker-4-0/ (accessed on 14 April 2022).

Wearable AI Market Trends-Industry Statistics Report 2025. Global Market Insights Inc. [En línea]. Available online: https://www.gminsights.com/industry-analysis/wearable-ai-market (accessed on 2 July 2022).

Mansor, M.A.; Ohsato, A.; Sulaiman, S. (2012). Knowledge Management for Maintenance Activities in the Manufacturing Sector. *Int. J. Automot. Mech. Eng*, *5*, 612–621.

International Society of Automation. Using the ISA/IEC 62443 Standards to Secure Your Control Systems (IC32M). Available online: https://www.isa.org/training-and-certification/isa-training/instructor-led/course-descriptions/using-the-isa-iec-62443-standards-to-secure-your-c (accessed on 10 September 2022)

Bokrantz, J. Smart Maintenance: Maintenance in Digitalised Manufacturing. Ph.D. Thesis, Chalmers University of Technolog, Göteborg, Sweden, 2019.

Algabroun, H. (2017). On the Development of a Maintenance Approach for Factory of the Future Implementing Industry 4.0. Ph.D. Thesis, Linnaeus University, Växjö, Sweden.

Rastegari, A. (2017). Condition Based Maintenance in the Manufacturing Industry: From Strategy to Implementation. Ph.D. Thesis, Mälardalen University, Västerås, Sweden,
Leurent, H.; Boer, E. *Fourth Industrial Revolution Beacons of Technology, and Innovation in Manufacturing*; World Economy Forum: Geneva, Switzerland, 2019.

Okoh, P.; Haugen, S. (2015), Improving the robustness and resilience properties of maintenance. *Process Saf. Environ. Prot. 94*, 212–226.

Martinez-Galan P, Condon E, De la Fuente A, Gonzalez-Prida V, Crespo Marquez A, Gomez J, Sola A, Macchi M. (2019). Implementation of Industry 4.0 technology: new opportunities and challenges for maintenance strategy-Procedia Computer Science 180- 2488–2493.

Klaus Schwab.(2011). The Fourth Industrial Revolution. 978-1524758868.

Maija Braque, Lars De Nul, Athanasios Petridis. (2021). Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry.

Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. Journal of Cloud Computing, 11(1), 1-15.

Massaro, A. (2010). Theory, Modeling, Technology and Applications of Micro/Nano Quantum Electronic and Photonic Devices, 1e. Transworld Research Network.

Mabkhot, M.M.; Ferreira, P.; Maffei, A.; Podržaj, P.; M ˛adziel, M.; Antonelli, D.; Lanzetta, M.; Barata, J.; Boffa, E.; Finžgar, M.. (2021), Mapping Industry 4.0 Enabling Technologies into United Nations Sustainability Development Goals. *Sustainability*, *13*, 2560.

Tran, T.-A.; Ruppert, T.; Eigner, G.; Abonyi, J. (2022). Retrofitting-Based Development of Brownfield Industry 4.0 and Industry 5.0 Solutions. *IEEE Access.10*, 64348–64374.

Cimini, C.; Pirola, F.; Pinto, R.; Cavalieri, S. (2020), A human-in-the-loop manufacturing control architecture for the next generation of production systems. *J. Manuf. Syst*, *54*, 258–271.

Menezes, B.C.; Kelly, J.D.; Leal, A.G.; le Roux, G.C. (2019). Predictive, prescriptive and detective analytics for smart manufacturing in the information age. *IFAC-PapersOnLine*, *52*, 568–573.

Wellsandt, S.; Klein, K.; Hribernik, K.; Lewandowski, M.; Bousdekis, A.; Mentzas, G.; Thoben, K.-D. (2021). Towards Using Digital Intelligent Assistants to Put Humans in the Loop of Predictive Maintenance Systems. *IFAC-PapersOnLine*, *54*, 49–54.

Cheng, Y.; Elsayed, E.A.; Huang, Z. (2021). Systems resilience assessments: A review, framework and metrics. *Int. J. Prod. Res*, *60*, 595–622.

Nentwich, C.; Benker, M.; Ellinger, J.; Zhai, S.; Kleinwort, R.; Reinhart, G.; Zäh, M. (2020). Predictive maintenance within the industrial value chain [Einblicke entlang der wertschöpfungskette predictive maintenance in der produktion. In *WT Werkstattstechnik*; Scopus: Amsterdam, The Netherlands, 110. 98–102.

Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-Centric Solution. *Sustainability*, *11*, 4371.

Sciutti, A.; Mara, M.; Tagliasco, V.; Sandini, G. Humanizing Human-Robot Interaction: On the Importance of Mutual Understanding. *IEEE Technol. Soc. Mag.* 2018, *37*, 22–29.

Giorgio, L.; Nicola, M.; Stefania, M.; Onofrio, S. (2022). A Comparison of Machine Learning Algorithms and Tools in Prognostic Predictive Maintenance: A Focus on Siamese Neural Network Models, CEUR Workshop Proceedings, Volume 3102. Available online:

Angelopoulos, A.; Michailidis, E.T.; Nomikos, N.; Trakadas, P.; Hatziefremidis, A.; Voliotis, S.; Zahariadis, T. (2019). Tackling Faults in the Industry 4.0 Era—A Survey of Machine-Learning Solutions and Key Aspects. *Sensors*, *20*, 109.