Archive of SID

مروری بر سیستم‌های تولید هوشمند و روندهای آینده

■ سید قاسم سلیمی زاویه*+
دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱ و تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۱۶
صفحات: ۲۴-۱۳

چکیده

تولید هوشمند، چهارمین انقلاب در صنعت تولید است. تولید هوشمند به‌دنبال ادغام روش‌های پیشرفته تولید، فناوری‌های عملیاتی(OT) و فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات(ICT) برای ایجاد سیستم‌های تولیدی با قابلیت‌های بیشتر در کنترل هزینه و عملکرد است. تمایز اساسی سیستم‌های تولید هوشمند در معماری آنها نهفته است که به‌عنوان شبکه‌هایی از مولفه‌های تولید مشترک برای کارکردهای مختلف سازماندهی شده‌اند. در حال حاضر، برخی از برنامه‌های سیستم‌های تولید هوشمند در زمینه‌های مختلف صنعتی وجود دارد. با این وجود، هنوز یک تعریف یکپارچه از سیستم‌های تولید هوشمند و تحلیل یکپارچه از الزامات وجود ندارد. هدف از این مقاله جمع‌آوری، ساختار و ویژگی‌های مختلف راجع به سیستم تولید هوشمند است. محققان در گذشته خصوصیات و فناوری‌های مختلف سیستم تولید هوشمند را شناسایی کرده‌اند. این مقاله برخی از این خصوصیات را جمع‌آوری و با توجه به فن‌آوری‌های موجود در دانش فعلی راجع به سیستم تولید هوشمند بحث و تبادل نظر می‌کند. انتظار می‌رود در آینده این مجموعه از خصوصیات و فناوری‌های سیستم تولید هوشمند به مقایسه و تمایز ابتکارات دیگر مانند صنعت ۴,۰، کارخانه هوشمند، تولید هوشمند، تولید، توزیع و غیره کمک کند. نویسنده امیدوار است که مبنایی برای یک بحث گسترده و بین رشته‌ای در سیستم تولید هوشمند در مورد فن‌آوری‌های تعریف شده و ویژگی‌های سیستم تولید هوشمند فراهم کند.

واژگان کلیدی: تولید هوشمند، ویژگی‌ها و فناوری‌های هوشمند، سیستم‌های تولید هوشمند، چشم‌اندازه آینده.

* عهده دار مکاتبات
+ آدرس پست الکترونیکی: Sg.salimi@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

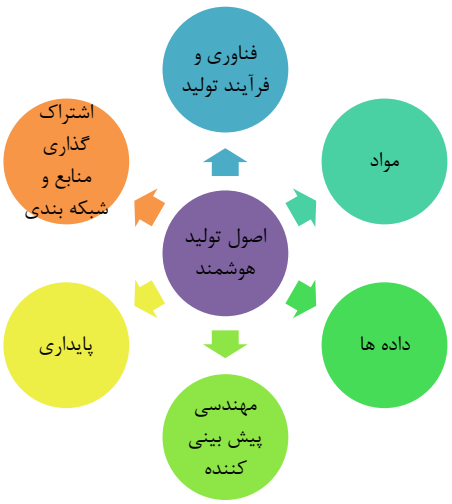
تولید هوشمند(SM) در سال‌های اخیر از پیشرفت چشمگیری در صنعت و دانشگاه برخوردار بوده است. تولید هوشمند مجموعه‌ای از شیوه‌هایی است که از داده‌های شبکه‌ای و فناوری اطلاعات[۱ و ۲] برای معماری سیستم‌های تولید آینده استفاده می‌کند. بسیاری از سیستم‌های تولیدی خود را به‌عنوان سیستم‌های تولید هوشمند معرفی می‌کنند. با این وجود، هنوز درک کاملی وجود ندارد که یک سیستم تولید "هوشمند" را توصیف کند. چه جنبه‌هایی باعث می‌شود که یک سیستم تولید هوشمند شود؟ ادبیات پیشنهاد می‌کند که این جنبه‌ها را در قالب ویژگی‌ها و فناوری‌های سیستم تولید هوشمند درنظربگیریم. تولید هوشمند شامل طیف گسترده‌ای از سیستم‌ها در یک سیستم تولیدی از جمله تولید، مدیریت، طراحی و عملکردهای مهندسی است. مجموعه اجزای سخت افزاری، مولفه‌های نرم‌افزاری مربوط به آنها و برنامه‌های حمایتی که یک شرکت تولیدی را تشکیل می‌دهد، همان چیزی است که ما آن را اکوسیستم تولید هوشمند می‌نامیم[۳ و ۴].

در حال حاضر، پیشرفت‌های فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات بارها و بارها در زمینه‌های مختلف از جمله سخت‌افزار و نرم‌افزار پیشرفت کرده و ممکن است یک رنسانس یا یک انقلاب جدید را برای صنعت تولید به ارمغان آورد. تولید هوشمند ممکن است نیروی محرکه این انقلاب جدید باشد. تولید هوشمند یک موتور رشد آینده است که با هدف مدیریت رشد و بهبود عوامل اصلی تولید از قبیل بهره‌وری، کیفیت، تحویل و انعطاف پذیری، رشد پایدار را براساس همگرایی فناوری و عناصر مختلف در جوامع، انسان‌ها و محیط زیست درنظردارد.

موسسه ملی استاندارد و فناوری(NIST)، که نمایندگی وزارت بازرگانی ایالات متحده است، تولید هوشمند را به‌عنوان "سیستم‌های تولید کاملا یکپارچه و مشارکتی" تعریف می‌کند که در زمان واقعی پاسخ می‌دهد تا پاسخگوی خواسته‌ها و شرایط درحال تغییر شبکه و نیازهای مشتری درکارخانه باشد. به‌عبارت‌دیگر، این بدان معنی است که فناوری‌ها و سیستم‌های مبتنی بر تولید که می‌تواند به‌موقع پیچیده و متنوع بودن در حوزه تولید را پاسخ دهد در زمان واقعی است. کشورهای پیشرفته تولیدی مانند آلمان و ایالات متحده آمریکا، در چند سال گذشته در زمینه‌های مختلف فناوری‌هایی را برای تحقق تولید هوشمند تولید کرده‌اند. فناوری‌های اصلی عبارتند از اینترنت اشیاء سیستم سایبری- فیزیکی، محاسبات و تولید ابری و غیره. این فناوری‌ها به‌عنوان فناوری‌های پیشرفته ICT توسعه داده شده است و در زمینه‌های مختلفی از قبیل تولید، بهداشت، مدیریت ساختمان و غیره کاربرد دارد. تولید هوشمند می‌تواند با موفقیت و از طریق توسعه متوازن و استفاده از آن فناوری‌های مهم کلیدی تحقق یابد[۵]. برای این منظور، باید با تجزیه و تحلیل وضعیت تحقیق و توسعه از مفهوم کل، سطح فعلی بررسی شود؛ درحالی‌که هر فناوری باید براساس چشم‌انداز تحقق موفقیت‌آمیز سیستم تولید هوشمند و همچنین جهت‌گیری‌های آینده در جنبه‌های توسعه فناوری و راهبردهای‌کاربردی پیشنهاد شود. در این مقاله با بررسی مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، فناوری‌ها و مقالات مرتبط با آن، سطح گذشته و حال سیستم‌های تولید هوشمند مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته و سپس جهت‌های توسعه فناوری آینده پیشنهاد شده است. مسیرهای تحقیق آینده در مورد فناوری‌های مرتبط با سیستم‌های تولید هوشمند پس از تحلیل روندهای فعلی پیشنهاد شده است. این مقاله متمرکز بر ویژگی‌ها و فناوری‌های مرتبط با سیستم تولید هوشمند است.

۲- سیستم های تولید هوشمند

انقلاب صنعتی چهارم مرحله جدیدی برای سیستم‌های تولیدی به‌ویژه سیستم‌های تولید هوشمند است که می‌تواند به سرعت به رقابت‌های جهانی و الزامات سفارشی‌سازی پاسخ دهد. در مطالعه‌ای راهبرد برخی از کشورها مانند کره که "نوآوری در تولید ۳,۰" ، آلمان "صنعت ۴,۰" و "تولید هوشمند" در ایالات متحده مدنظر قرار گرفته است[۵]. کوسیاک[1] شش اصل سیستم‌های تولید هوشمند را ارائه داد که در شکل شماره ۱ نشان داده شده است[۶].



شکل ۱: اصول تولید هوشمند[۶]

1 Kusiak

www.SID.ir

تلاش‌های گسترده‌ای برای ایجاد تولید هوشمند همچنان ادامه دارد.. شـواهد قوی ثابت کرده اسـت که سـیسـتم‌های تولید هوشـمند بسـیار خودمختار شـده است. این تغییرات به آرامی به واقعیت تبدیل می‌شود و به شرح زیر است[۷].

- فناوری اطلاعات و ارتباطات پیشـرفته مانند هوش شناختی، هوش swarm و محاسـبات ابری برای ادغام، سـازماندهی و تخصیص منابع استفاده می‌شود؛
- تـوجـه روزافزون بـه مفـاهیمی مـانـنـد خودتنظیمی در خودسـامانده‌ی چند عامل برای کنترل تولیدی سـازگار و هوشـمند و ظهور ارزش خودسـاماندهی در مدل زنجیره‌ای صنعت تولید هوشمند برای انتخاب یک راهبرد برتر؛
- اهمیت روزافزون بهبود مسـتمر، فرآیندهای خودبهینه‌سازی و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده؛
- آگاهی از وضـعیت پیش‌بینی‌کننده، نظارت بر فرایند آماری، مدیریت بهداشت، نگهداری و وضعیت پیش‌بینی تولید باعث افزایش قابلیت اطمینان و صـحت عملکرد سـیسـتم تولید هوشمند می‌شود[۷].

۳-تکامل سیستم‌های تولید هوشمند

با توجه به اهمیت مفاهیم اسـاسـی تولید هوشـمند، یک سیستم تولید هوشمند برای فراهم آوردن مبنای تحقیقات بیشتر در مورد الزامات، هدف، مولفه‌ها، چالش‌های تحقیق و چشـم‌انداز آینده حائز اهمیت اسـت. از طریق بررسی تحقیق گذشته، تعریف تولید هوشـمند از منظر مهندسی، اتصال هوشمند، اینترنت اشیا، سـیسـتم سـایبری - فیزیکی، کلان داده، هوش مصنوعی و تولید ابری بررسی شده است.

تعریف ۱: از دیدگاه مهندسـی، تولید هوشـمند یک کاربرد فشـرده از سـیسـتم‌های اطلاعاتی پیشـرفته است که امکان تولید سـریع محصـولات جدید، پاسـخ پویا به تقاضـای محصـول و بهینه‌سازی زمان واقعی شبکه‌های تولید و زنجیره تامین را فراهم می‌آورد. در همین حال، سـیسـتم تولید هوشـمند، سـیسـتم عامل‌های جدیدی اسـت که کارخانه‌ها، مراکز توزیع، شـرکت‌ها و کـل زنجیره‌هـای تامین در محیطهای اقتصـادی غنی از دانش، عملیات و سـیستم‌های تجاری کار می‌کند. در سیستم‌های تولید هوشـمند تمام جنبه‌های تولید به یکدیگر متصـل می‌شـود؛ لذا مواد اولیه را به محصـولات هوشـمند نهایی و به مشـتری متصل می‌کند[۸].

تعریف ۲: از نمای اتصـال و ارتباطات اینترنت اشـیا و سیستم فیزیکی سـایبری سـیسـتم تولید هوشمند مربوط به صنعت ۴,۰ توسـط ژنگ و همکاران ارائه شده است. با استفاده از سنسورها و فنـاوری‌هـای ارتبـاطی برای گرفتن داده در تمـام مراحـل تولید، سـیسـتم‌های تولید هوشـمند می‌شـود که میزان تولید افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که خطاها و ضایعات تولید کاهش پیدا می‌کند.

تعریف ۳: از دیـدگـاه تحلیـل پیش‌بینی و تصـمیم‌گیری، داده‌های قابل دسـترسـی و همه‌گیرتر، محیط داده‌های بزرگ را تشـکیـل می‌دهـد و بـه شـرکت‌های تولیدی کمک می‌کند تا پیش‌بینی بهتری داشـته باشـد، تولید را متعادل کند و کارایی و بهره‌وری آنها را بهبود ببخشـد. سـیستم تولید هوشمند مبتنی بر داده‌های بزرگ، برنامه‌ریزی و کنترل عملیات تولید از جمله منبع پیش‌بینی، تولید پیش‌بینی، تشـخیص خطا، اسـتفاده از دارایی و ارزیابی ریسک و غیره را بهینه می‌کند[۹].

تکامل سـیسـتم تولید هوشـمند نه تنها مربوط به توسـعه فناوری اسـت؛ بلکه به نیازهای پویای ذی‌نفعان و مدل کسب‌وکار نوآورانه نیز مربوط می‌شود. سیستم‌های تولید هوشمند داده‌هایی را در زمان واقعی دریافت می‌کند که صحت تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشـد، کارایی و عملکرد را افزایش می‌دهد و بهره‌وری کلی را افزایش می‌دهد. تکامل سـیسـتم تولید هوشمند در جدول شماره ۱ بیـان شـده اسـت. البتـه، بسـیاری از پارادایم‌های تولیدی دیگر(تولیـد دیجیتـال، تولیـد شـبکه، تولید ناب، تولید چابک و غیره) در نقشـه راه تکامل سیستم تولید وجود دارد. در این مقاله بیشـتر بر روی سـیسـتم تولید هوشـمند تمرکز شده است[۱۰ و ۱۱].

جدول ۱: تکامل سیستم‌های تولید هوشمند[۱۰ و ۱۱]

سال تکامل	مدل کسب-وکار	توانمند سازی فناوری	پارادایم‌های تولید
۱۹۷۰	سفارشی سازی انبوه	فناوری رایانه، فناوری اطلاعات	تولید یکپارچه رایانه ای
۱۹۷۰-۱۹۹۰	شخصی سازی	فناوری رایانه، تفکر ناب و هوش مصنوعی (۱)	سیستم تولید هوشمند
۱۹۹۰-۲۰۱۰	پایداری و مشارکت مشتری	سیستم سایبری فیزیکی، کلان داده، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی ۲، بلاک چین	سیستم تولید هوشمند

۴- فناوری‌های مرتبط با سیستم‌های تولید هوشمند

محققـان مختلف ویژگی‌هـا و فنـاوری‌هـای مختلف مرتبط با سیستم تولید هوشمند را شناسایی کرده‌اند. بسته به کاربرد تولید هوشـمنـد، ممکن اسـت بـه مجموعـه متفـاوتی از ویژگی‌ها و فناوری‌ها نیاز باشـد. بنابراین، کافی اسـت یک سـیسـتم تولید

www.SID.ir

Archive of SID

هوشـــمنـد را تعریف کنیـد. درجـدول شـــماره ۲ و ۳ به ترتیب مشـخصـات یک سـیسـتم تولید هوشمند و فناوری‌های مرتبط با سیستم‌های تولید هوشمند ذکر شده است.

جدول ۲: لیست مشخصات مرتبط با سیستم تولید هوشمند[۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰]

ردیف	ویژگی‌های مرتبط با تولید هوشمند	خوشه‌بندی
۱	حضور دیجیتال	آگاهی از متن
۲	مدولار بودن	مدولار بودن
۳	ناهنگن بودن	ناهمگن بودن
۴	مقیاس‌پذیر بودن	کنترل هوشمند
۵	آگاهی از متن	آگاهی از متن
۶	استقلال	کنترل هوشمند
۷	سازگاری	کنترل هوشمند
۸	استحکام	کنترل هوشمند
۹	انعطاف‌پذیری	کنترل هوشمند
۱۰	کاملا خودکار	کنترل هوشمند
۱۱	دارای خودآگاهی	آگاهی از متن
۱۲	قابلیت همکاری	قابلیت همکاری
۱۳	قابلیت شبکه	قابلیت همکاری
۱۴	مناسب بودن اطلاعات	قابلیت همکاری
۱۵	یکپارچکی	قابلیت همکاری
۱۶	پایداری	راندمان انرژی
۱۷	ترکیب	کنترل هوشمند
۱۸	عملی بودن	کنترل هوشمند
۱۹	چابکی	کنترل هوشمند
۲۰	پاسخ‌گوئی	کنترل هوشمند
۲۱	دقت	کنترل هوشمند
۲۲	قابلیت استفاده مجدد	کنترل هوشمند
۲۳	غیرمتمرکز بودن	قابلیت همکاری
۲۴	توزیع	قابلیت همکاری
۲۵	تاب آوری	کنترل هوشمند

ویژگی‌هـا و فنـاوری‌هـای ارائـه شـــده در ادبیـات فعلی سیستم‌های تولید هوشمند ذکر و توصیف شده است. با این حال، تعـاریف دقیق این ویژگی‌هـا و فناوری‌ها حاکی از آن اســت که برخی از آنها ممکن اســت مترادف یکدیگر باشـند و برخی از آنها ممکن اســت برای ارائه نتیجه متمرکزتر ادغام شـــوند. در ادامه فناوری‌هایی که در گذشـته مشخص شده (جدول شماره ۳) مورد بررســی قرار می‌گیرد و خوشــه‌بندی برای تهیه لیســت جامع‌تر و هدفمند ارائه شده است.

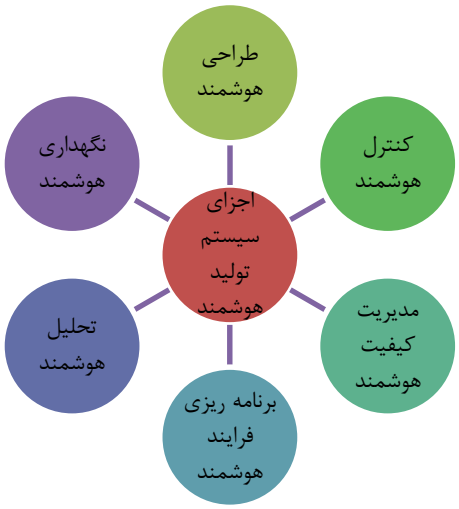
جدول ۳: لیست فناوری‌های مرتبط با سیستم تولید هوشمند[۱۵، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳]

ردیف	ویژگی‌های فناوری مرتبط با تولید هوشمند	خوشه‌ندی
۱	هوشمند بودن	کنترل هوشمند
۲	کنترل هوشمند	کنترل هوشمند
۳	راندمان انرژی و بهره‌وری انرژی	راندمان انرژی
۴	امنیت سایبری	امنیت سایبری
۵	هولوگرام داشتن	فناوری مجازی
۶	واقعیت مجازی	فناوری مجازی
۷	واقعیت افزوده	فناوری مجازی
۸	ارتباط در زمان واقعی داشتن	تولید ابری
۹	کلان داده	تجزیه و تحلیل داده‌ها
۱۰	زیرساخت فیزیکی سایبری	سیستم فیزیکی سایبری
۱۱	سیستم فیزیکی سایبری	سیستم فیزیکی سایبری
۱۲	اینترنت اشیا	اینترنت اشیا
۱۳	تولید پیشرفته	تولید هوشمند
۱۴	تولید ابری	تولید ابری
۱۵	چاپ سه بعدی	محصول هوشمند
۱۶	ردیابی	محصول هوشمند
۱۷	سنسورهای هوشمند	محصول هوشمند
۱۸	محصول هوشمند	محصول هوشمند
۱۹	تجزیه و تحلیل پیش‌بینی	تجزیه و تحلیل داده‌ها
۲۰	تجسم داده‌ها	تجزیه و تحلیل داده‌ها
۲۱	مدل‌سازی	تکنولوزی مجازی
۲۲	GIS	کنترل هوشمند
۲۳	شبیه سازی	کنترل هوشمند
۲۴	پیش بینی	تجزیه و تحلیل داده ها
۲۵	ERP	کنترل هوشمند
۲۶	RFID	کنترل هوشمند
۲۷	یادگیری ماشین	تولید هوشمند
۲۸	مدیریت زنجیره تامین	کنترل هوشمند
۲۹	MES	کنترل هوشمند
۳۰	PLM	کنترل هوشمند
۳۱	مواد هوشمند	محصول هوشمند
۳۲	روابط هوشمند	محصول هوشمند
۳۳	SCOR، DCOR	کنترل هوشمند
۳۴	CAM، CAD	کنترل هوشمند
۳۵	برنامه‌ریزی عملیات	تولید هوشمند
۳۶	مدیریت تولید مبتنی بر فناوری	تولید هوشمند
۳۷	تکنیک تصمیم‌گیری دانش	تولید هوشمند
۳۸	SPC	کنترل هوشمند

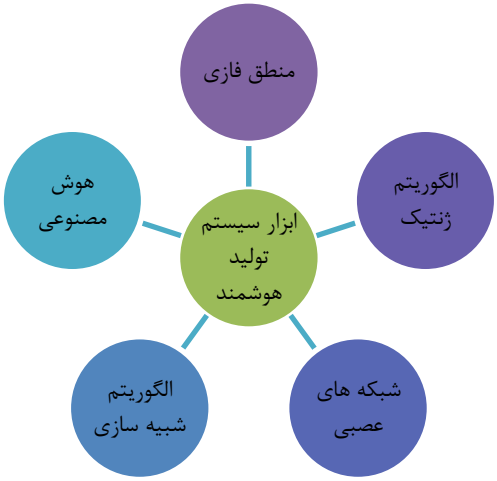
www.SID.ir

۵- اجزا و ابزارهای سیستم تولید هوشمند

با توجه به مطالعات انجام شده، اجزا و ابزارهای یک سیستم تولید هوشمند در شکل شماره ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲: اجزای یک سیستم تولید هوشمند[۳۴]



شکل ۳: ابزار سیستم تولید هوشمند[۳۴]

۶- آینده‌نگاری سیستم تولید هوشمند

تولید هوشمند فرصت‌ها و چالش‌های مختلفی را ایجاد می‌کند. بزرگترین چالش می‌تواند پذیرش واقعیت تولید و تغییر آن باشد. یک موج جدید از اتوماسیون یا خودکارسازی کارخانه‌ها در نسل‌های قبل با روبات‌های کم هزینه مطرح شد. تغییر و تحمل تولید در شرایط امروزی نشان‌دهنده پیشرفت‌های احتمالی آینده است. دیگر هیچ شرکتی به تنهایی نمی‌تواند در انجام همه تکالیف خود مستقل عمل کند، آن هم به دلیل عدم قطعیت در بازار و فناوری. اقدامات مختلفی که باید برای تولید هوشمند صورت بگیرد، به‌صورت موفقیت‌آمیز توسط کوسیاک (۲۰۱۷)مطرح شده است. تولید هوشمند در حال تکامل است و مولفه‌های آن هر ساله تغییر می‌کند. برخی ویژگی‌های تولید هوشمند درآینده که در واقع اساس آینده تولید هوشمند محسوب می‌شوند، در جدول شماره ۴ مطرح شده است. برخی از آنها ممکن است محتمل‌تر به‌نظر برسد یا حتی با گذشت زمان رد شود؛ درحالی‌که حدس و گمان‌های جدیدی ممکن است شکل بگیرد. اینها می‌توانند درک ما از مسائل محوری تولید نیز روندها و تغییرات موثر روی تولید هوشمند را تحت تاثیر قرار دهند[۳۵].

جدول ۴: آینده‌نگری برای تولید هوشمند[۳۵ و ۳۶]

ردیف	آینده‌نگری برای تولید هوشمند
۱	دیجیتالی‌سازی تولید
۲	افزایش اتکا به مدل‌سازی، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی
۳	پدیده‌های مواد محصول فرآیند
۴	جداسازی عمودی دارایی‌های فیزیکی و فضای سایبری
۵	دوگانگی ساختاری
۶	ارتباط‌پذیری و عملیاتی‌سازی درونی افقی‌تر
۷	اشتراک‌گذاری منبع
۸	کنترل، تشخیص و تامین خودکار تجهیزات
۹	استانداردسازی و همکاری
۱۰	امنیت و ایمنی فضای سایبری

۷- بازنمایی بصری سیستم تولید هوشمند

تولید هوشمند: ترکیب قابلیت‌های پیشرفته تولید و فناوری‌های دیجیتال برای تولید محصولات بسیار قابل تنظیم سریع‌تر، ارزان‌تر، بهتر و سبزتر است. هدف اصلی تولید هوشمند محرک‌های نوآوری و کاهش ریسک‌های انطباق‌پذیری فناوری‌های تولید هوشمند از طریق علم و معیارهای اندازه‌گیری است. در شکل شماره ۴ بازنمایی بصری از ویژگی‌ها و فناوری‌های سیستم تولید هوشمند نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۴: بازنمایی بصری سیستم تولید هوشمند[۳۷]

www.SID.ir

۸- فناوری‌های مرتبط با سیستم تولید هوشمند

تولیدی درحال تحول است که از پیشرفت در تولید و فناوری هوش مصنوعی پشتیبانی نماید. بیشتر بحث در مورد سیستم‌های تولیدی، حول اصطلاحاتی مانند داده‌های بزرگ و تولید دیجیتال متمرکز است. بخش عمده‌ای از پیشرفت‌های تولید هوشمند با داده‌ها شرطبندی شده است، بنابراین ارزیابی منابع اصلی و میزان استفاده از داده‌ها در بین فناوری‌های آن موردنیاز است. شکل شماره ۵ شش فناوری مهم برای سیستم‌های تولید هوشمند را نشان می‌دهد. جزئیات این فناوری‌ها در ادبیات مورد بحث قرار گرفته است. نمونه‌هایی از ماهیت داده‌ها، نوع داده‌ها و حجم داده‌ها در سراسر برنامه‌های کاربردی داده تحت پوشش شش فناوری درادامه آورده شده است[۳۸].

اتوماسیون و فناوری تولید

- ماهیت داده‌ها: وضعیت تجهیزات، وضعیت تولید
- نوع داده: عددی، نمادین
- حجم داده: متوسط

فناوری ذخیره اطلاعات

- ماهیت داده‌ها: وضعیت و تاریخ تجهیزات تولید
- نوع داده: عددی، نمادین، سری زمانی، متن
- حجم داده: بسیار بزرگ

فناوری دیجیتال سازی

- ماهیت داده‌ها: ویژگی‌های مصنوع، وضعیت
- نوع داده: عددی، نمادین، متن
- حجم داده: بزرگ

فناوری محاسبات ابر

- ماهیت داده: داده‌های as-is، داده‌های تبدیل شده، داده‌های یکپارچه، مدل‌ها، الگوریتم‌ها
- نوع داده: داده بالقوه از انواع مشخص توسط طراحی ابر
- حجم داده: بسیار بزرگ

فناوری عامل

- ماهیت داده‌ها: برنامه خاص
- نوع داده: برنامه خاص
- حجم داده: کم است

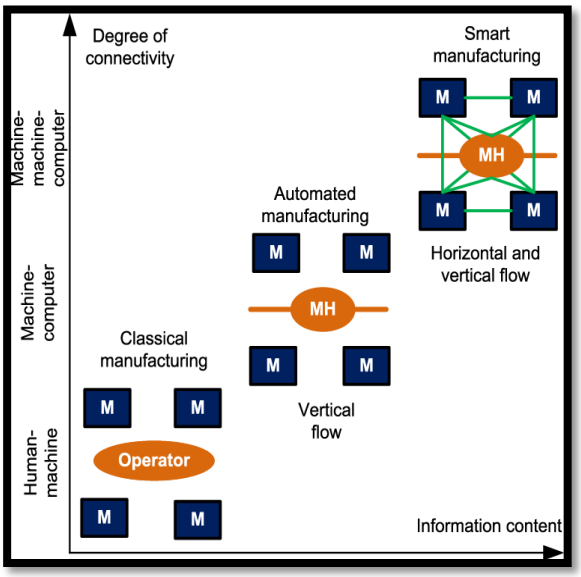
فناوری پیش بینی

- ماهیت داده‌ها: برنامه خاص
- نوع داده‌ها: سریال‌های عددی ، دسته‌ای
- حجم داده: متوسط

درشکل شماره ۵ این شش فناوری نشان داده شده است

شکل ۵: فناوری مرتبط با سیستم تولید هوشمند[۳۸]

در شکل شماره ۶ تکامل تولید نشان داده شده است که سیستم تولید هوشمند نیز جزئی از شبکه تکامل است[۳۸ و ۳۹].



شکل ۶: تکامل سیستم تولید[۳۸ و ۳۹]

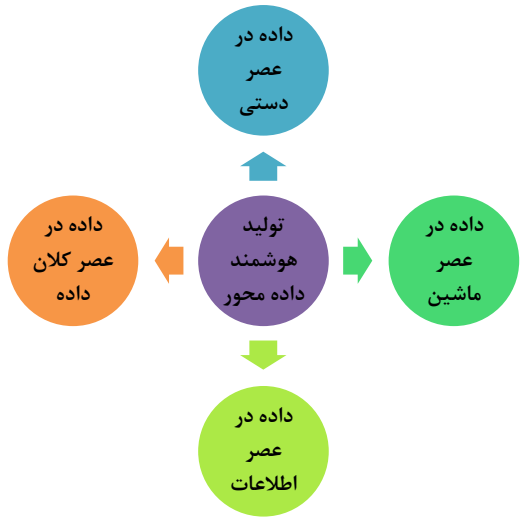
۹- تولید هوشمند داده‌محور

پیشرفت‌های فناوری اینترنت، اینترنت اشیاء، رایانش ابری، داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی تاثیر بسیاری بر تولید گذاشته است. حجم داده‌های جمع‌آوری شده در تولیدات در حال رشد است. داده‌های بزرگ فرصتی خارق‌العاده را برای تبدیل پارادایم تولید امروز به تولید هوشمند فراهم می‌کند. داده‌های بزرگ

www.SID.ir

Archive of SID

شـــرکت‌ها را قادر می‌ســـازد راهبردهای مبتنی بر داده‌ها را برای رقابت بیشـتر رقم بزنند. داده‌ها در سیستم تولید هوشمند مبتنی بر داده محور چهار مرحله تکامل مهم را طی می‌کند که در شکل شماره ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: تولید هوشمند داده محور[۴۰]

۱۰- مدل‌های معماری مرجع در تولید هوشمند

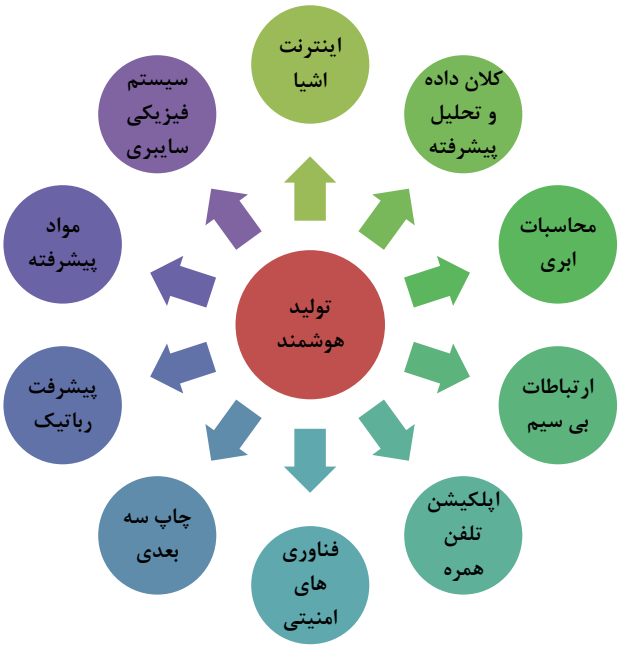
برای درنظرگرفتن مـدل یکپارچه که می‌تواند الزامات مربوط به تولید هوشـــمند را برآورده ســـازد، منابع و مقالات مرتبط در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: مدل‌های معماری مرجع تولید هوشمند[۴۱]

ردیف	سازمان که مدل مرجع را برای تولید هوشمند به‌کار برده است	نام مدل مرجع
۱	Industrie4.0	مدل معماری مرجع انقلاب صنعتی ۴
۲	NIST	اکوسیستم تولید هوشمند
۳	Industrial Internet Consortium	معماری مرجع اینترنت صنعتی
۴	National Intelligent Standardization Manufacturing Administration Group of Chin	معماری سیستم تولید هوشمند
۵	ISO/IEC JTC1/WG10	معماری مرجع
۶	IEEE P2413	مدل مرجع
۷	ITU-T SG20	مدل مرجع اینترنت اشیا
۸	oneM2M	مدل مرجع معماری
۹	ISO TC184	نمودار تصویری سه بعدی بزرگ
۱۰	Alliance Industrie du Futur	چارچوبی برای چشم انداز استانداردهای تولید هوشمند
۱۱	Industrial Value Chain Initiative	معماری مرجع زنجیره ارزش صنعتی

۱۱- تقسیم‌بندی دیگری سیستم تولید هوشمند

درتقســیم‌بندی دیگری از ســیســتم تولید هوشــمند اجزا و فناوری‌های مرتبط با سیستم تولید هوشمند ارائه شده است.



شکل ۸: سیستم تولید هوشمند[۴۰]

۱۲- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

درواقع، در تولید هوشمند این قابلیت وجود خواهد داشت تا محصـولات هوشـمند قادر به خوداتصـالی و برقراری ارتباط با کمک اینترنت و ســنســورها در فرایند تولید باشــند. یکی از مهم‌ترین مزایای تولید هوشـــمند و اســـتفاده از فناوری‌های دیجیتالی و ارتباطی در فرایند تولید، قابلیت تصمیم‌گیری پویا و بهنگام هم در ســطوح عالی ســازمانی و هم در ســطوح عملیاتی کف کارگاه اســت و تحلیل بلادرنگ داده‌های تولید، موجودی، حمل و نقل، فروش، ماشـین‌آلات، پرسـنل و ... نقشی کلیدی در تصـمیم‌گیری‌ها ایفا می‌نماید. درواقع، با تولید هوشـــمند قدم بزرگی در تحقق تولید پایدار و در نهایت زنجیره تامینی پایدار برداشـته خواهد شـد. کارخانه هوشمند صنعت ۴,۰ با بهره‌گیری از فناوری‌های نوظهور قابلیت اجرایی شـدن دارد و تاثیر بسیاری بر صـنعت تولید داشـته و همچنین زنجیره‌های تامین را از نظر پایداری توسعه خواهد داد. اما هم‌اکنون به‌نظر می‌رسد، صنعت با اســتفاده از فناوری‌های موجود و ارتقای پیشـــرفت‌ها و نیز به پشـــتوانـه فنـاوری‌هـای نوین فنی در مســـیـر درســـتی قدم بگذارد.کارخانه هوشـــمند و انقلاب صـــنعتی چهارم ارتباطی و کامپیوتری با روش پیشرفته‌ای همراه با پیشرفت‌های فنی، بدون توقف به اجرا درآید.

www.SID.ir

پیشرفت اصلی در فناوری در عرصه یکپارچگی کامل فناوری ارتباطات و اطلاعات با سیستم‌های تولید هوشمند مدرن است. درنتیجه، فناوری‌های پیشرفته اینترنت اشیا و سیستم فیزیکی سایبری، همراه با رایانش ابری و داده‌های بزرگ نقش قابل تاملی را در چرخش به سمت الگوواره تولید هوشمند جدید ایفا می‌کند. پلتفورم‌های صنعتی در اجرای اکوسیستم تولید هوشمند جدید در حال توسعه است. منافع انقلاب صنعتی چهارم با این پیشرفت‌ها در ساخت، صورت خارجی به خود می‌گیرد و اثبات می‌شود. انقلاب صنعتی جدیدی درحال وقوع است که به پیشرفت‌ها و احیای تولید منجر می‌شود. بخش‌های خصوصی و دولتی در بسیاری از کشورها برای ارتقای پایگاه تولید و بهبود سهام بازار همراه هم کار می‌کنند. تولید در حال تحول است که از پیشرفت در تولید و فناوری هوش مصنوعی پشتیبانی کند. بیشتر بحث در مورد سیستم‌های تولیدی حول اصطلاحاتی مانند داده‌های بزرگ و تولید دیجیتال متمرکز است. صنعت ۴,۰ یا تولید هوشمند همان چهارمین انقلاب صنعتی است. این یک الگوی جدید و همگرایی فناوری‌های پیشرفته ICT و فناوری تولید است. این امر زمینه تصمیم‌گیری‌های موثر و بهینه را از طریق فرآیندهای تصمیم‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تر فراهم می‌کند. برای تحقق تولید هوشمند، فناوری‌های پیشرفته در زمینه‌های مختلف، اعم از سیستم فیزیکی سایبری، تولید ابری، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، اینترنت اشیا و سنسورهای هوشمند گرفته تا تولید افزودنی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هولوگرام، توسعه داده می‌شود. مزایای تولید هوشمند شامل بهبود بهره‌وری، صرفه‌جویی در هزینه، سفارشی‌سازی محصولات به بازارها، بهره‌وری منابع و کاهش اثرات منفی محیط زیست تولید است. تحقق تولید هوشمند که نه تنها در برخی فرآیندها و کارخانه‌ها بلکه در کل شرکت یا زنجیره تامین اعمال می‌شود و تایید تاثیرات مختلف آن در آینده امکان پذیر خواهد بود.

در این مقاله، فناوری‌های گذشته و حال مرتبط با تولید هوشمند شناسایی شده است؛ درحالی‌که آینده تولید هوشمند با جهات توسعه آن پیشنهاد شده است. این مقاله به‌طور خلاصه تکامل سیستم‌های تولید هوشمند، تعریف سیستم تولید هوشمند، اجزا و ابزارهای سیستم تولید هوشمند مولفه‌های فناوری سیستم‌های تولید هوشمند و تولید هوشمند داده محور را ارائه می‌دهد.

از طریق بررسی این مقاله، می‌توان مرجع تحول بیشتر بنگاه‌های تولیدی را از مشاغل سنتی به روشنفکران ارائه داد. پیشنهاد می‌شود از آنجا که آموزش مهندسی با پیشرفت‌های فناوری در تولید هوشمند همگام نیست، برنامه درسی به‌روز شود تا به مهندسان با دانش و مهارت‌های مرتبط برای پیاده‌سازی سیستم تولید هوشمند آموزش داده شود. برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود چالش‌های اجرایی شدن کارخانه هوشمند در داخل کشور با توجه به فناوری‌هایی که هم‌کنون در دسترس است، مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. همچنین اثرات بلندمدت سیستم تولید هوشمند در اقتصاد و محیط زیست ایران نیز می‌تواند حوزه‌های پژوهشی مفیدی برای جامعه علمی کشور باشد و بررسی شود که با استفاده از مفاهیم هوشمندی در صنعت، اثرات پایداری تا چه حدودی قابل گسترش‌خواهد بود. درراستای تحقیقات آتی می‌توان موضوعات ذیل را برای تحقیقات بیشتر استفاده نمود:

- بررسی سیستم تولید هوشمند بر پایه سیستم فیزیکی سایبری؛
- بررسی امنیت سیستم تولید هوشمند؛
- بررسی نقش یادگیری عمیق در سیستم تولید هوشمند؛
- بررسی موانع و محرک‌های سیستم تولید هوشمند؛
- بررسی نقش تولید دیجیتال در سیستم تولید هوشمند؛
- بررسی استانداردهای سیستم تولید هوشمند؛
- بررسی کلان داده در سیستم تولید هوشمند؛
- بررسی پلتفورم‌هایی برای بهبود برنامه‌ریزی در سیستم‌های تولید هوشمند؛
- توسعه تولید ابری و اینترنت اشیا در سیستم‌های تولید هوشمند؛
- طراحی اکوسیستم باز برای سیستم‌های تولید هوشمند.

www.SID.ir

فهرست منابع

[1] Davis, J.; Edgar, T.; Graybill, R.; Korambath, P.; Schott, B.; Swink, D.; Wang, J.; Wetzel, J.; "*Smart manufacturing*", Ann. Rev. Chem. Biomol. Eng., Vol. 6, pp. 141–160, 2015.

[2] Smart Manufacturing Leadership Coalition, https://smartmanufacturingcoalition.org/. Accessed 30 May, 2016.

[3] Lu, Y.; Morris, K.C.; Frechette, S.P.; "*Standards landscape and directions for smart manufacturing systems*", IEEE Conference on Automation Science and Engineering, Gothenburg, 2015.

[4] Lu, Y.; Morris, K. C.; Frechette, S. P.; "*Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems*", NISTIR 8107, 2016.

[5] Kang, H. S.; Lee, J. Y.; Choi, S.; et al.; "*Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions*", Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech., Vol. 3, pp. 111–128, 2016. https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5.

[6] Kusiak, A.; "*Smart manufacturing*", Int J Prod Res, Vol. 56, Issue 1-2, pp. 508–517, 2018.

[7] Qu, Y. J.; Ming, X. G.; Liu, Z. W.; et al.; "*Smart manufacturing systems: state of the art and future trends*", Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 103, pp. 3751–3768, 2019. https://doi.org/10.1007/s00170-019-03754-7.

[8] Coalition SML Implementing; 21st century smart manufacturing report, SMLC, 2011.

[9] Lee, J.; Lapira, E.; Bagheri, B.; Kao, H. A.; "*Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment*", Manuf. Lett., Vol. 1, Issue 1, pp. 38–41, 2013.

[10] Delaram, J.; Fatahi, V.; "*An architectural view to computer integrated manufacturing systems based on Axiomatic Design Theory*", Comput. Ind., Vol. 100, pp. 96–114, 2018.

[11] Choi, S.; Kim, B. H.; "*Do Noh S A diagnosis and evaluation method for strategic planning and systematic design of a virtual factory in smart manufacturing systems*, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 16, Issue 6, pp. 1107–1115, 2015.

[12] Rachuri, S.; *Smart manufacturing systems design and analysis*, National Institute of Standards and Technology, 2015.

[13] Kühnle, H.; Bitsch, G.; *Smart manufacturing units*, Kühnle, H., Bitsch, G.(eds.), Foundations and Principles of Distributed Manufacturing, pp. 55–70.

[14] Smart Process Manufacturing Engineering Virtual Organization Steering Committee; *Smart Process Manufacturing: An Operations and Technology Roadmap*, 2009.

[15] Park, J.; Lee, J.; "*Presentation on Korea smart factory program*", 12th International Conference on Advances in Production Management Systems, Accessed 8 Sept 2015.

[16] Teramoto, K.; Wu, D.; Ota, K.; et al.; "A framework of accuracy assured machining for smart manufacturing", Mem. Muroran. Inst. Tech., Vol. 65, pp. 35–39, 2016.

[17] Jung, K.; Morris, K.; Lyons, KW.; et al.; *Performance challenges identification method for smart manufacturing systems*, Report No. 8108, 27 November, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2015.

[18] Park, HS; Tran, NH; "*Autonomy for smart manufacturing*", J Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 31, pp. 287–295, 2014.

[19] Rathinasabapathy, R.; Elsass, M. J.; Josephson, JR; et al.; "*A smart manufacturing methodology for real time chemical process diagnosis using causal link assessment*", AlChe journal, Vol. 62, pp. 3420–3431, 2016.

[20] Kibira, D.; Morris, K.; Kumaraguru, S.; "*Methods and tools for performance assurance of smart manufacturing systems*", J. Nat. Inst. Stand. Technol., 2015.

[21] Kang, H. S.; Lee, J. Y.; Choi, S.; Kim, H.; Park, J. H.; Son, J. Y.; Do Noh, S.; "*Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions*", Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol., Vol. 3, pp. 111–128, 2016.

[22] Shin, S. J.; Woo, J.; Rachuri, S.; "*Predictive analytics model for power consumption in manufacturing*", Procedia, Vol. 15, pp. 153–158, CIRP2014.

[23] Shao, G.; Shin, S. J.; Jain, S.; "*Data analytics using simulation for smart manufacturing*", Proceedings of the winter simulation conference, Savannah, GA, pp. 2192–2203. New York: IEEE, 7 December 2014.

[24] Schabus, S.; Scholz, J.; "*Geographic Information Science and technology as key approach to unveil the potential of Industry 4.0: how location and time can support smart manufacturing*", Proceedings of the 12th international conference on informatics in control, automation and robotics, Colmar, pp.463–470, New York: IEEE, 21 July 2015.

[25] Kusiak, A.; "*Smart manufacturing*", Int. J. Prod. Res., Vol. 14, pp. 1–10, 2017.

[26] Choi, S.; Kim, B. H.; Do Noh, S.; "*A diagnosis and evaluation method for strategic planning and systematic design of a virtual factory in smart manufacturing systems*", Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 16, pp. 1107–1115, 2015.

www.SID.ir

[27] Lee, I.; Lee, K.; "*The Internet of Things (IoT): applications, investments, and challenges for enterprises*", Bus Horizons, Vol. 58, pp. 431–440, 2015.
[28] Sinha, S.; "*Advanced/smart manufacturing: from nanoscale to megascale*", IEEE Potentials, Vol. 35, pp. 7–8, 2016.
[29] Lu, Y.; Morris, K. C.; Frechette, S.; "*Standards landscape and directions for smart manufacturing systems*", Proceedings of the IEEE international conference on automation science and engineering, Gothenburg, pp. 998–1005, New York: IEEE, 24 August 2015.
[30] Park, J.; Lee, J.; "*Presentation on Korea smart factory program*", Proceedings of the international conference on advances in production management systems, Tokyo, Japan, 5–9 September 2015.
[31] Bostelman R, Falco J, Shah M, et al. Dynamic metrology performance measurement of a six degrees-of-freedom tracking system used in smart manufacturing. In: Proceedings of the Autonomous industrial vehicles: from the laboratory to the factory floor, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016. https://www.astm.org/DIGI TAL_LIBRARY/STP/PAGES/STP159420150056.htm. DOI: 10.1520/STP159420150056.
[32] Shafiq, S. I.; Sanin, C.; Szczerbicki, E.; et al.; "Decisional DNA based conceptual framework for smart manufacturing", Proceedings of the international conference on information systems architecture and technology, Karpacz, pp. 79–88, 20–22 September 2015.
[33] Esmaeilian, B.; Behdad, S.; Wang, B.; "*The evolution and future of manufacturing: a review*", J Manuf Syst, Vol.39, pp. 79–100, 2016,
[34] "Intelligent Manufacturing Systems", B.I.T. Mesra, by Dr. Surender Kumar.
[35] Kusiak, A.; "*Put Innovation Science at the Heart of Discovery*", Nature, Vol. 530, Issue 7590, pp. 255–255, 2016a.
[36] Kusiak, A.; "*Smart Manufacturing Must Embrace Big Data*", Nature, Vol. 544, Issue 7648, pp. 23–25, 2017b.
[37] M., Sameer; K., Ahmad; R., David; W., Thorsten; "*Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors*", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, January 2019, DOI: 10.1177/0954405417736547.
[38] Kusiak, A.; "*Fundamentals of smart manufacturing: A multi-thread perspective*", Annual Reviews in Control, Vol. 47, pp. 214-220, 2019. https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.02.001.
[39] NIST; Smart Manufacturing, https://www.nist.gov/topics/smart-manufacturing. Radhakrishnan, S.; Harris, B.; Kamarthi, S.; Supply chain resiliency: A re-view. In Y. Khojasteh (Ed.), Supply chain risk management, pp. 215–235, 2018,
[40] F., Tao; Q, Qi; A., Liu; A., Kusiak; "Data-driven smart manufacturing", Journal of *Manufacturing* Systems, Vol. 48, Part C, pp. 157-169, July 2018. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006.
[41] K., Takahashi; Y., Ogata; Y., Nonaka; "*A Proposal of Unified Reference Model for Smart Manufacturing*", 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering(CASE) Xi'an, China, August 20-23, 2017.

www.SID.ir