

بررسی قابلیت تعامل پذیری برنامه ریزی تولید هوشمند در صنایع تولیدی مبتنی بر انقلاب صنعتی چهارم

احسان اعیان

دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع

چکیده

صنایع تولیدی که بخش مهمی از اقتصاد یک کشور محسوب می گردد در سالهای اخیر با تحولات فناورانه و نوآوریهای پیاپی در فرایندهای ساخت و تولید، تغییرات عمیقی را در چشم انداز صنعتی جهان ایجاد کرده اند. در این میان، شاهد ظهور مفهوم صنعت ۴.۰ نیز بوده ایم و پژوهشگران نیز توجه فزاینده ای به این موضوع نشان داده اند. انقلاب صنعتی چهارم به صنایع تولیدی فرصت های جدید برای بهبود رقابت پذیری از طریق دیجیتال سازی را ارائه می دهد، اما مخاطرات و ریسک های بالا نیز ایجاد می کند که یکی از آنها اجرایی و عملیاتی کردن برنامه ریزی تولید با در نظر گرفتن عوامل متعدد خارجی و درونی سازمان میباشد. در این مقاله قصد داریم که چگونگی تعامل پذیری برنامه ریزی تولید هوشمند در صنایع تولیدی در محیط واقعی را بررسی و تحلیل کنیم. که این فرآیند تحول به عنوان برنامه ریزی تولید هوشمند شناخته می شود.

واژگان کلیدی: انقلاب صنعتی چهارم، برنامه ریزی تولید هوشمند ، فناوری دوقلوی دیجیتال (DT) ، مدیریت تولید بدون نقص (ZDM).

مقدمه

مفهوم برنامه‌ریزی و کنترل تولید (PPC) به طور اساسی با وظیفه سازماندهی بهینه شبکه‌های تأمین و منابع تولید برای پاسخگویی به تقاضای بازار مواجه است. این وظیفه که به خودی خود دشوار است، با ادغام عوامل گذرا ناشی از پویایی و عدم قطعیت محیط دشوارترین می‌شود و این عوامل بر سیستم‌های برنامه‌ریزی تولید تأثیر می‌گذارند و به طور نابرابر از طریق فرآیندها در سطوح تصمیم‌گیری راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی آنها گسترش می‌یابند، در هر صورت این عوامل تأثیرگذار به منشأ آنها، ویژگی‌های سیستم و ویژگی‌های خاص فرآیند برنامه‌ریزی و کنترل تولید بستگی دارد.

با این حال، در سطح تصمیم‌گیری عملیاتی، برنامه‌ریزی تولید نه تنها از اختلالات سایر حوزه‌های زنجیره تأمین مانند کیفیت کالاهای در تأمین، تغییر در تاریخ‌های تحویل، ورود سفارش‌های جدید و/یا لغو سفارش‌های موجود تأثیر می‌پذیرد؛ بلکه همچنین از عواملی که در خود سازمان و در سطوح تصمیم‌گیری بالاتر ایجاد می‌شوند، مانند تغییر درمیزان سفارش، لغو سفارش‌های موجود مانند تغییر در اندازه دسته‌ها یا اولویت سفارش، و همچنین عواملی که در کارخانه تولیدی ناشی از رویدادهای محلی مانند وقفه در فرآیند، کمبود موجودی، خرابی ماشین‌آلات، آسیب ابزار و شناسایی قطعات یا محصولات معیوب هستند، تأثیر می‌پذیرد (Qiu et al., 2019). همچنین نباید تأثیر عدم قطعیت در محیط کارخانه را به عنوان منبع اختلال دست کم گرفت؛ مانند عوامل پیش‌بینی نشده در حین تولید، نگهداری و تعمیرات و یا زمان‌های تحویل و غیره (Camposeco-Negrete, 2013). همه این موارد با شتاب گرفتن سرعت تحول که افق برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت را مشخص می‌کند، فرآیند برنامه‌ریزی تولید را برای استفاده از فناوری‌های دیجیتال و مدل‌های مدیریتی صنعت ۴.۰ ایده‌آل می‌سازد. به ویژه آنهایی که قصد دارند سطوح بالاتری از اتوماسیون (Dreyfus & Kyritsis, 2018; Psarommatitis & Kiritsis, 2022)، استقلال و توانایی (Feldt et al., 2020; Villalonga et al., 2021) اقدام در زمان به موقع (Negri et al., 2021) را در این فرآیند ارتقا دهند تا آن را در برابر تغییرات شرایط در کوتاه‌مدت و میان‌مدت مقاوم و هماهنگ کنند. این رویکرد تحول برنامه‌ریزی تولید که با ارائه سطوح بالاتری از هوشمندی، دقت و واکنش به موقع به فرآیند مشخص می‌شود، در ادبیات به عنوان برنامه‌ریزی تولید هوشمند (SMS) شناخته می‌شود (J. C. Serrano-Ruiz et al., 2021). پیاده‌سازی آن عمدتاً بر دو ابزار متکی است: فناوری دوقلوی دیجیتال (DT) و مدل مدیریت تولید بدون نقص (ZDM).

استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال به طور منحصربه‌فردی محیط‌های تابع خود را شکل می‌دهد. نیازمندی اصلی در مجازی‌سازی منابع هماهنگی و به هم پیوستگی آنها است، یکی از اصول صنعت ۴.۰ نحوه اتصال ماشین‌آلات، دستگاه‌ها، حسگرها یا افراد به یکدیگر از طریق فناوری ارتباطات و اطلاعات میباشد (Hermann et al., 2016). به عنوان مثال، از هرم کلاسیک ارتباطات صنعتی با پروتکل شبکه AS-I, Profibus و Ethernet برای ماشین‌آلات و دستگاه‌ها، فرایندها و سطوح سلسله‌مراتبی مدیریت، تا اینترنت اشیا (IoT)، ارتباطات بی‌سیم، خدمات ابری، ماشین به ماشین (M2M)، ارتباطات سیار از جمله جریان ارتباطات اصلی در این رویکرد از دارایی‌ها و فرآیندهای تقریباً تکراری شده و به شدت به هم متصل است (J. Serrano-Ruiz et al., 2021).

جایی که اصل دیگر طراحی صنعت ۴.۰، یعنی تعامل‌پذیری، نقش مهمی ایفا می‌کند. تعامل‌پذیری به یک سیستم علی‌رغم تفاوت‌ها در زبان، رابط‌ها یا پلتفرم‌های اجرا امکان دسترسی به منابع سیستم دیگر را با تبادل کارآمد داده‌ها و اطلاعات می‌دهد (Wegner, 1996).

از منظر فرا مدیریتی، تعامل‌پذیری بین شرکت‌ها یا سازمان‌ها هنگامی حاصل می‌شود که تعامل در سطح داده‌ها و برنامه‌ها انجام می‌شود. همچنین فراتر از این نیز پیشرفته و در سطوح کسب‌وکار، فرآیندها و خدمات نیز انجام می‌شود (Chen & Daclin, 2006). این تاکتیک به مدل ZDM معرفی شده است تا از خطاها یا نقص‌های تبادل اطلاعات جلوگیری کند. از این دیدگاه یکپارچه، تعامل‌پذیری، همراه با اتوماسیون، استقلال یا عملکرد به موقع (که همه اصول طراحی صنعت ۴.۰ هستند) به عنوان مبنای مفهومی SMS در نظر گرفته می‌شوند (J. C. Serrano-Ruiz et al., 2021). فناوری DT و مدل مدیریت ZDM ابزارهایی هستند که امکان‌پذیری SMS را فراهم می‌کنند. بنابراین به طور جمعی یک مجموعه از عوامل هم‌افزا را تشکیل می‌دهند که به اجرای دقیق برنامه ریزی تولید و در نتیجه به یک عملکرد بهتر در برابر عوامل محیطی کمک می‌کنند.

این مقاله به طور مفهومی پتانسیل تعامل‌پذیری را در پشتیبانی از هوشمندسازی برنامه ریزی تولید و پیامدهای آن را تحلیل می‌کند تا به سؤالات تحقیقی زیر پاسخ دهد:

آیا هوشمندسازی برنامه ریزی تولید و سایر عوامل موثر در تولید میتوانند با یکدیگر هم‌افزا باشند؟

چه پیامدهایی را می‌توان از هم‌افزایی بین این دو انتظار داشت؟

در چه زمینه‌هایی هم‌افزایی ممکن است؟

بقیه مقاله به شرح زیر نگارش شده است:

بخش ۲ مفاهیم اصلی را معرفی کرده و وضعیت موجود را بررسی می‌کند.

بخش ۳ پیامدهای اصلی را مورد تحلیل و بحث قرار میدهد

بخش ۴ نتیجه‌گیری و ایده جهت تحقیقات آینده را ارائه می‌دهد.

۲- مبانی نظری و مرور پژوهش

پیشینه پژوهش بر اساس اصطلاحات "تعامل‌پذیری"، "دوقلوی دیجیتال"، "برنامه ریزی تولید"، "فرآیندها و عوامل تولید" و "خطای صفر" انجام شده است. روش تحقیق این پژوهش روش آمیخته کیفی و کمی است که در ابتدا پایگاه‌های معتبر علمی و مقالات معتبر جستجو با بررسی موارد ذکر شده در فیلدهای "عنوان"، "کلیدواژه" و "چکیده" و قابلیت اجرای آن در محیط‌های عملیاتی واقعی به عنوان یک معیار مشترک در حوزه‌های موضوعی سازگار با این پژوهش انجام شد. این حوزه‌ها شامل مهندسی، علوم کامپیوتر، علوم تصمیم‌گیری، کسب‌وکار، مدیریت و حسابداری و چندرشته‌ای بودند.

اصطلاح "تعامل‌پذیری" در ادبیات به طور گسترده استفاده می‌شود، اما عمدتاً در حوزه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، در سازمان‌های نظامی و بهداشت و درمان کاربرد خود را نشان میدهد. جستجو در حدود 62,237 عنوان مقاله نشان از اولین داده‌ها در این زمینه به سال ۱۹۵۹ باز می‌گردد، اما پس از آن تا سال ۱۹۹۱ تحقیق در این زمینه از ۱۰۰ مورد بیشتر نشد.

حضور "دوقلوی دیجیتال" (DT) در موضوعات مقالات تعداد نتایج قابل توجهی کمتر را دارا می‌باشد اما از سال ۲۰۱۷ به بعد با بیش از ۱۰۰ تحقیق در سال شروع به رشد کرده است و به طور تصاعدی تا امروز افزایش یافته است، به طوری که در سال ۲۰۲۱ تنها بیش از ۲۰۰۰ عنوان تحقیق داشته است که بیش از یک سوم مجموع آن است. اولین نتیجه آن به سال ۱۹۷۳ باز می‌گردد، البته با مفهومی متفاوت با آنچه در اینجا ذکر شده است. تنها در سال ۱۹۹۱ بود که اصطلاح "DT" به همین مفهوم استفاده شد و در ابتدا عمدتاً در بخش های هوانوردی و هوافضا ظاهر شد.

از پنج مفاهیم ذکر شده، "برنامه ریزی و زمانبندی تولید" پرتعدادترین و قدیمی‌ترین است: ۲۷۶,۶۵۲ کاربرد از سال ۱۹۰۰، با صدها عنوان در سال از ۱۹۲۰. که ابتدا عمدتاً در فضای صنعت و تولید ظاهر شد و سپس سایر حوزه‌ها مانند بهداشت و درمان و فناوری اطلاعات و ارتباطات در پایان قرن گذشته به آن‌ها افزوده شدند.

"تولید کارگاهی" از سال ۱۹۵۳ به عنوان یک مفهوم مورد پژوهش بوده است. چهل سال بعد در سال ۱۹۹۳، علاقه مندی دانشگاهی به آن منجر به بیش از ۱۰۰ عنوان مقاله در سال شد. در حال حاضر ۱۱,۴۸۰ مقاله در مورد آن وجود دارد.

در نهایت، اولین کاربرد مفهوم "خطای صفر" به سال ۱۹۶۱ باز می‌گردد، اما علاقه دانشگاهی کمتری نسبت به همه مفاهیم قبلی برانگیخته است. در سال ۲۰۱۹ به ۹۳ کاربرد تجاوز نکرد و از زمان ظهور آن تاکنون ۱۳۷۸ نتیجه داشته است که کمترین رقم در میان همه آنهاست

پس از انجام جستجوهای ذکر شده از نتایج به دست آمده که به طور همزمان شامل هر پنج مفهوم باشد. نتایج حاصل از ترکیب چهار و سه مفهوم نیز با یک محدودیت تایید شد که یکی از آن‌ها همیشه باید قابلیت تعامل داشته باشد. با وجود بسیاری از نتایج، هیچ مقاله واحدی در ادبیات به طور همزمان تمامی پنج مفهوم را ترکیب نمی‌کند. از ترکیب احتمالی مفهوم تعامل پذیری با دو مفهوم دیگر، تنها سه گروه با نتیجه مثبت ظاهر می‌شوند، و آن‌ها را با "زمان‌بندی" و "تولید کارگاهی" ترکیب می‌کنند. جدای از این گروه‌های مقالات، برخی از مقالات در پژوهش‌ها "تعامل پذیری" را تنها به "تولید کارگاهی" ربط می‌دهند، و برخی دیگر "تعامل پذیری" را با "دوقلوی دیجیتال" پیوند می‌دهند.

اگرچه این گروه‌ها کاملاً از رویکرد مشترک ارائه شده در اینجا دور هستند، هفت مقاله اضافی از آن‌ها برای ارتباط با یکدیگر انتخاب شدند.

ارتباط تعامل پذیری با فرآیند برنامه ریزی زمانبندی - تولید کارگاهی موضوع یک مطالعه توسط Chou et al (۲۰۱۳) است. این نویسندگان یک سیستم یکپارچه سیار برای زمانبندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر ارائه می‌کنند. سیستم پیشنهادی بر اساس انطباق با استاندارد IEEE FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) است (می‌باشد تا بتواند بین عامل‌های سیستم و عوامل بسیاری از پلتفرم‌های سازگار با FIPA فعال تضمین شود. سه مقاله قابلیت انطباق با تکنولوژی DT و مدل ZDM را ترکیب می‌کنند.

Gramegna et al (۲۰۲۰) در تحقیق خود استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال در شرکت‌های کوچک و متوسط (SME) و بخش‌های پیچیده تولید را با ادغام فرآیند نظارت با روش‌های پیشرفته داده‌کاوی و شناختی برای پیش‌بینی کیفیت و کارایی در مقابل هزینه‌ها نشان می‌دهند. برای این نویسندگان، قابلیت انطباق عنصری ضروری است که فناوری دوقلوی دیجیتال را همراه با ارتباط، ردیابی، داده‌کاوی و مدل‌سازی شناختی مشخص می‌کند. در

این حالت، قابلیت انطباق از استاندارد پروتکل ارتباطات آزاد (OPC) و معماری یکپارچه پروتکل ارتباطات آزاد (OPC ua) حاصل می‌شود. مدل اولیه برای ZDM که توسط Lindström et al. (۲۰۲۰) از دیدگاه صنعت ۴۰ پیشنهاد شده است، توسعه بیشتر این مدل مدیریتی است. در موارد واقعی با یک پایه ریاضی محکم به سمت اجرای آن پیش می‌رود. به گفته نویسندگان، این مدل در ایجاد فرآیندهای تولید هوشمند تر و سازگارتر مشارکت دارد. همچنین امکان گزارش مراحل بعدی یا قبلی در یک فرآیند تولید یا یک زنجیره ارزش را فراهم می‌کند که براساس آن ادغام و قابلیت انطباق پذیری بین سیستم‌های مختلف می‌تواند ساخته شود. کار انجام‌شده توسط Groen et al. (۲۰۲۰) یک روش استانداردسازی انعطاف‌پذیر به نام FlexMM برای فرآیندهای تولیدی با مواد تحت تحولات میکرو مکانیکی پیچیده پیشنهاد می‌کند. این روش شامل یک ساختار قاعده کلی برای توصیف رفتار ساختاری و واکنش آن با زیر برنامه‌ای است که توسط اجزاء حل‌کننده محدود استفاده می‌شود. برای این نویسندگان، قابلیت انطباق پذیری موثر بین مدل‌ها و فرآیندهای حل‌کننده برای دستیابی به یک تابع DT کلیدی است. هدف ارائه راهکاری برای مساله قابلیت انطباق پذیری بین داده‌های مادی و رفتار ساختاری آن‌ها است که بیانگر یک رویکرد اصلی است.

مقاله Ameri et al. (2022) ترکیبی از انطباق پذیری با فرآیند زمانبندی و مدل مدیریت ZDM را بیان می‌کند. این نویسندگان به ویژه به مساله انطباق پذیری در صنعت می‌پردازند که همان طور که می‌بینند یک مساله حل‌نشده است. بنابراین آن‌ها پذیرش و اجرای گسترده هستی‌شناسی را پیشنهاد می‌کنند، که نیازمند تلاش‌های سیستماتیک و هماهنگ با مشارکت مشترک صنعت، دانشگاه، و ادارات عمومی بین‌المللی است. آن‌ها فرض می‌کنند که یک تلاش توسعه هستی‌شناسی هماهنگ سیستماتیک به تدریج منجر به ایجاد اکوسیستم برنامه‌های نرم‌افزاری سازگار برای پشتیبانی از دسترسی و استدلال سازگار در طول چرخه عمر محصول می‌شود. چندین مقاله مرتبط تنها قابلیت انطباق پذیری را به DT مرتبط می‌کنند. Leng et al. (2019) یک سیستم فیزیکی - سایبری مبتنی بر DT را برای کنترل موازی کارگاه‌های هوشمند در راستای فرد سازی انبوه ارائه کردند. این نویسندگان که دستیابی به قابلیت انطباق پذیری بین دنیای فیزیکی و دیجیتال سیستم‌های تولیدی یک گلوگاه است. بنابراین آن‌ها MCPS را به گونه‌ای مدل می‌کنند که ارتباط متقابل و قابلیت انطباق پذیری را فراهم می‌کند که فراتر از تعاملات M2M و یا اینترنت اشیاء باشد. برای Nilsson et al. (۲۰۱۹)، پیشرفت‌هایی مانند OPC ua در شرایط M2M در معماری‌های سرویس‌گرا (soa)، از چشم‌انداز قابلیت انطباق پذیری در صنعت ۴۰ و اینترنت اشیاء پشتیبانی میکنند. در مقاله Ding et al. (۲۰۱۹)

در نظر بگیرید مدل MCPS مبتنی بر DT، که قابلیت انطباق پذیری مستقیم از طریق ایجاد همزمان سازی داده‌های زمان واقعی و کانال‌های قابلیت انطباق پذیری برای بهبود تعامل در فضای مجازی - فیزیکی با برنامه‌های پایتون برای تولید خودکار در طبقات فروشگاه‌های هوشمند تهیه شده است. Vogt et al. (2021) قابلیت انطباق پذیری لازم در یک سیستم تولید هوشمند را در یک سیستم DT حلقوی بدست می‌آورند که در واقع هر دو سیستم تولید و محصول را به صورت جداگانه تکرار و هماهنگ می‌کند. این فن‌آوری برای صنایع خاص مانند صنعت خودرو برای ردیابی بخشی یا کنترل تولید در سیستم‌های تولید هوشمند انعطاف‌پذیر کاربرد دارد. Piroumian (۲۰۲۱) بر این باور است که تا به امروز، انگیزه واقعی برای ایجاد یک استاندارد DT در صنعت تنها نیاز به سازگاری در روشی است که اشیاء یا فرایندها مدل‌سازی و شبیه‌سازی می‌شوند. با این حال در حال حاضر، اطلاعات به طور معمول مختص صنعت و اختصاصی بوده است و استانداردسازی مطلقاً فاقد آن است. این امر منجر به جداسازی جزایر اطلاعاتی می‌شود که نمی‌توانند به راحتی به اشتراک گذاشته شوند و هیچ قابلیت

هم‌کاری بین ابزارها و کاربردها را نمی‌گذارند. در رویکرد دیگر، Szejka et al. (2019) موانعی را برای انطباق پذیری اطلاعات نامتوازن رایج در بسیاری از دیدگاه‌ها و روابط آن‌ها در فازهای تولید محصولات مختلف شناسایی کردند. کار آن‌ها یک روش اولیه برای مدل‌های تولید محصول برای پشتیبانی از قابلیت انطباق پذیری در سراسر سیستم تولید ارائه می‌دهد. آن براساس مدل‌سازی هستی‌شناسی های مرجع، هستی‌شناسی های کاربردی و قوانین معنایی است.

در نهایت Bloomfield et al. (۲۰۱۲) با ارائه یک مدل استاندارد اطلاعات، به قابلیت انطباق پذیری و تولید کارگاهی می‌پردازد. هدف از آن بهبود و استانداردسازی تبادل داده‌ها بین برنامه‌های تولیدی در طول چرخه عمر یک محصول با استفاده از استاندارد شبیه‌سازی تولید هسته (CMSD) و توسط سازمان استانداردهای انطباق پذیر شبیه‌سازی (SISO) ایجاد شده است.

لازم به ذکر است که پیشینه تحقیقات مرتبط جنبه‌های خاص را شناسایی می‌کند: (i) هیچ مقاله‌ای به طور خاص به نقش انطباق پذیری در فرآیند زمانبندی و تولید کارگاهی در زمینه خطای صفر نمی‌پردازد؛ (ii) فقط یک مقاله در ارتباط با قابلیت انطباق پذیری در یک تولید کارگاهی می‌پردازد. تنها سه مقاله مرتبط به طور همزمان این ترکیب را در نظر می‌گیرند: دو مقاله در مورد تأثیر یک مدل سازگار فکر می‌کنند؛ یک سوم درک می‌کند که مدل ZDM می‌تواند از قابلیت انطباق پذیری بیشتر پشتیبانی کند؛ اتوماسیون، استقلال، و عملکرد به موقع اغلب از ویژگی‌های مرتبط هستند. با این حال، به طور کلی پذیرفته می‌شود که DT و قابلیت انطباق پذیری مفاهیم تقریباً ناگسستنی هستند، زیرا اولی دربرگیرنده دومی است و یا برعکس.

بحث و نتیجه‌گیری

پیشینه پژوهشی در موضوع مورد نظر زیاد نیست و رویکردهای مختلفی ارائه می‌دهد. هیچ مقاله‌ای رویکردی را در مورد نقشی که قابلیت انطباق پذیری به عنوان اصل طراحی صنعت ۴.۰ و در زمینه خطای صفر برای فرآیند زمانبندی تولید کارگاهی بازی می‌کند و کاملاً منطبق با آنچه در این تحقیق مطرح شده است ارائه نمی‌دهد.

با این حال، برخی از مقالات اطلاعات جزئی را فراهم می‌کنند تا به این نتیجه برسند که sms و قابلیت انطباق پذیری به طور همزمان قابلیت‌های اضافه می‌کنند. بارزترین مثال، هم‌افزایی بین قابلیت هم‌کاری و DT است. Gramegna و همکاران قابلیت انطباق پذیری را به عنوان یکی از عناصر ضروری برای توصیف یک dt در نظر می‌گیرند طراحی پلتفرم پیشنهادی براساس معماری RAMI4.0 و استفاده از پروتکل ارتباطات OPC UA قابلیت انطباق پذیری در اتوماسیون را تضمین می‌کند که تحقیقات آن‌ها ایجاد و نگهداری ویژگی‌هایی که ارتباطات داده‌های فرآیند اکتسابی، نمودارهای هشدار و رویداد، داده‌های تاریخی و دسته‌ای ارسالی به کسب‌وکار را استاندارد سازی می‌کنند پیشنهاد می‌دهد و تمام این موارد در یک زمینه استراتژیک محور به سمت هدف خطای صفر است که در این مورد اولین اولویت برای نویسندگان است. این دیدگاه محققان دیگر نیز هست. Leng et al. (2019) بر انتقال داده‌های یکپارچه از MCPS به DT تکیه می‌کنند. Nilsson et al. (2019) بر این باور هستند که توسعه‌های مبتنی بر OPC ua و چارچوب Arrowhead، و معادل‌های آن، از قابلیت انطباق پذیری محیط‌های M2M و هر محیط دیگری که برای تنظیم روابط زیر نمادین مناسب باشد، پشتیبانی می‌کنند؛ به عنوان مثال شبیه‌سازی‌های با dt از عوامل کاهش زمان استقرار و کاهش احتمال خطا با استخراج از ZDM نیز هستند. برای Ding et al. (۲۰۱۹)، DT

آن‌ها ضامن مستقیم هماهنگ‌سازی داده‌ها و قابلیت انطباق بین طرح‌های فیزیکی و مجازی با تسهیل نه تنها اتوماسیون، بلکه استقلال و توانایی اجرای به موقع برای سیستم‌های تولید است. پژوهش‌ها شامل مثال‌هایی از سودمندی و هم‌افزایی قابلیت انطباق پذیری در زمینه فرآیند زمانبندی است. Ameri et al. (۲۰۲۲) محل تلاقی مناطق، پرسنل و برنامه‌های کاربردی اطراف این فرآیند را نشان می‌دهند که در سطوح مختلف نیاز به داده‌های ایستا و پویا را در منابع و دسترسی به مشاوره و تحلیل فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده، و همچنین در زمان واقعی به اشتراک می‌گذارند. با تمام این پیچیدگی، برای این نویسندگان یک چارچوب مشترک قابلیت هم‌کاری هستی‌شناختی معتبر برای رسیدن به هدف ایجاد محصولات رقابتی برای بازارها با زمان به بازار فشرده ضروری است. مثال دیگر این است که Chou et al. (۲۰۱۳) که برای آن‌ها قابلیت انطباق پذیری بین عوامل در زمانبندی انعطاف‌پذیر تولید کارگاهی آن‌ها ضروری است، که به پیاده‌سازی استاندارد FIPA برای رسیدن به موفقیت در این زمینه تکیه دارد.

شایان ذکر است که قابلیت انطباق پذیری و ZDM نیز توانایی آن را به صورت هم‌افزایی در sms در مقالات Gramegna et al. (۲۰۲۰) یا Nilsson et al. (۲۰۱۹) نشان می‌دهد. با این حال، Ameri et al. (2022) یک گام جلوتر می‌روند و یک مورد استفاده خاص ارائه می‌دهند که بر چالش‌های قابلیت انطباق پذیری در چارچوب ZDM تمرکز دارد. آن‌ها همچنین توضیح می‌دهند که چگونه این استراتژی می‌تواند از هماهنگ‌سازی ضمنی و یکپارچگی در چارچوب قابلیت انطباق پذیری هستی‌شناختی بهره‌برند. این امر به طور ایده‌آل و تدریجی منجر به به ایجاد یک اکوسیستم با نرم‌افزارهای سازگار می‌شود که دسترسی و استدلال داده‌های سازگار را در طول چرخه عمر محصول ممکن می‌سازد.

از آنجا که تاکنون بحث شد، می‌توان نتیجه گرفت که تحقیقات اساساً سه عامل را برای ارتقای قابلیت انطباق پذیری در زمینه sms شناسایی می‌کند: عامل اول: فناوری دوقلوی دیجیتال عامل دوم: پروتکل‌های ارتباطات استاندارد، و عامل سوم: هستی‌شناسی

در نهایت، در فضاهای کاربردی، پژوهش حاضر به استفاده از مفهوم قابلیت انطباق پذیری همراه با عناصر تعریف sms در صنایعی می‌پردازد که برای متمرکز شدن در منابع تولید و / یا تکنولوژی‌های حاشیه مانند صنایع خودروسازی یا هوانوردی برجسته هستند. با این حال، برخی نویسندگان مانند Gramegna et al. (۲۰۲۰) نتایج تحقیقاتی آن‌ها را محدود به بخش‌های تولیدی پیچیده نمی‌کند، بلکه آن‌ها را به شرکت‌های کوچک و متوسط گسترش می‌دهد. در نهایت، اغلب به سادگی محدودیت اندازه یا مقیاس پیچیدگی سیستم‌های تولیدی را تعیین نمی‌کنند که استفاده از این روش دشوار یا آسان است.

۴ - نتیجه‌گیری

این مقاله پتانسیل قابلیت انطباق پذیری به عنوان یک اصل طراحی صنعت ۴.۰ را برای پشتیبانی از sms با پاسخ به پرسش‌هایی مانند: اینکه آیا sms و قابلیت انطباق پذیری مفاهیم مشترکی هستند یا خیر بررسی می‌کند. در واقع، به ترتیب پاسخ می‌دهیم: ۱- استخراج چند مقاله از پژوهش‌ها که اطلاعات کافی برای نتیجه‌گیری فراهم می‌کنند، sms و قابلیت انطباق پذیری به صورت هم‌افزایی قابلیت‌های اضافه می‌کنند؛ ۲- با استفاده از پروتکل‌های ارتباطی استاندارد و هستی‌شناسی (که آخرین آن‌ها به ویژه توسط یک چارچوب هستی‌شناسی مشترک فرض شده است) قابلیت هم‌کاری را ارتقا می‌دهد. به نوبه خود، قابلیت انطباق پذیری از اتوماسیون، استقلال، اجرای به موقع، اجتناب از نقص یا کاهش آن پشتیبانی می‌کند و بنابراین، sms را تقویت می‌کند؛ ۳- نه اندازه نه مقیاس

پیچیدگی سیستم‌های تولید، کاربرد پیشین سامانه را محدود می‌کند. مزیت اصلی این پژوهش، تحکیم چارچوب نظری SMS با یک بخش جدید از تحقیق است که بینش جدیدی را به چنین قابلیت حیاتی برای موفقیت ارتباطات بین سیستم‌های تولید کارگاهی به طور کلی و فرآیندهای برنامه‌ریزی در سطح عملیاتی می‌افزاید. قابلیت انطباق پذیری به لطف ارتباط فردی و مشترک خود با فرآیند زمانبندی، تکنولوژی DT، و مدل ZDM، و همچنین در طیف وسیعی از محیط‌های هدف، جایگاه ویژه‌ای دارد. تحقیق حاضر همچنین دو خط تحقیقاتی دیگر را برای رفع برخی از شکاف‌های تحقیقاتی شناسایی می‌کند. در ابتدا و مهم‌تر از همه، نیاز به پیشبرد تحقیقات در قابلیت انطباق پذیری به عنوان یک اصل طراحی و تاثیر آن بر سامانه از چارچوب مفهومی فعلی به سمت اعتبار عملی آن را برجسته می‌کنیم. این کار را می‌توان ابتدا با استفاده از مدل‌سازی مفهومی و ریاضی و سپس تکمیل اعتبارسنجی از طریق نمونه‌سازی یا پیاده‌سازی در یک مورد استفاده انجام داد. علاوه بر این، با وجود رابطه بین DT و قابلیت انطباق پذیری که از چندین دیدگاه در پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است، تحقیقات بسیار کمی در رابطه با مدل ZDM و عملکرد داخلی صورت گرفته و این کار را با رویکردهای بسیار محدود انجام می‌دهد.

منابع

- Ameri, F., Sormaz, D., Psarommatas, F., & Kiritsis, D. (2022). Industrial ontologies for interoperability in agile and resilient manufacturing. *International Journal of Production Research*, 60(2), 420-441.
- Bloomfield, R., Mazhari, E., Hawkins, J., & Son, Y.-J. (2012). Interoperability of manufacturing applications using the Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) standard information model. *Computers & Industrial Engineering*, 62(4), 1065-1079.
- Camposeco-Negrete, C. (2013). Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA. *Journal of cleaner production*, 53, 195-203.
- Chen, D., & Daclin, N. (2006). Framework for enterprise interoperability. Interoperability for Enterprise Software and Applications: Proceedings of the Workshops and the Doctorial Symposium of the Second IFAC/IFIP I-ESA International Conference: EI2N, WSI, IS-TSPQ 2006.
- Chou, Y.-C., Cao, H., & Cheng, H. H. (2013). A bio-inspired mobile agent-based integrated system for flexible autonomic job shop scheduling. *Journal of Manufacturing Systems*, 32(4), 752-763.
- Ding, K., Chan, F. T., Zhang, X., Zhou, G., & Zhang, F. (2019). Defining a digital twin-based cyber-physical production system for autonomous manufacturing in smart shop floors. *International Journal of Production Research*, 57(20), 6315-6334.
- Dreyfus, P.-A., & Kyritsis, D. (2018). A framework based on predictive maintenance, zero-defect manufacturing and scheduling under uncertainty tools, to optimize production capacities of high-end quality products. *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2018, Seoul, Korea, August 26-30, 2018, Proceedings, Part II*.
- Feldt, J., Kourouklis, T., Kontny, H., & Wagenitz, A. (2020). Digital twin: Revealing potentials of real-time autonomous decisions at a manufacturing company. *Procedia CIRP*, 88, 185-190.
- Gramegna, N., Greggio, F., & Bonollo, F. (2020). Smart factory competitiveness based on real time monitoring and quality predictive model applied to multi-stages production lines. *Advances*



- in Production Management Systems. Towards Smart and Digital Manufacturing: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2020, Novi Sad, Serbia, August 30–September 3, 2020, Proceedings, Part II,
- Groen, M., Solhjoo, S., Voncken, R., Post, J., & Vakis, A. I. (2020). FlexMM: A standard method for material descriptions in FEM. *Advances in Engineering Software*, 148, 102876.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS),
- Leng, J., Zhang, H., Yan, D., Liu, Q., Chen, X., & Zhang, D. (2019). Digital twin-driven manufacturing cyber-physical system for parallel controlling of smart workshop. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, 10, 1155-1166.
- Lindström, J., Kyösti, P., Birk, W., & Lejon, E. (2020). An initial model for zero defect manufacturing. *Applied Sciences*, 10(13), 4570.
- Negri, E., Pandhare, V., Cattaneo, L., Singh, J., Macchi, M., & Lee, J. (2021). Field-synchronized Digital Twin framework for production scheduling with uncertainty. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(4), 1207-1228.
- Nilsson, J., Sandin, F., & Delsing, J. (2019). Interoperability and machine-to-machine translation model with mappings to machine learning tasks. 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN),
- Piroumian, V. (2021). Digital twins: Universal interoperability for the digital age. *Computer*, 54(1), 61-69.
- Psarommatis, F., & Kiritsis, D. (2022). A hybrid Decision Support System for automating decision making in the event of defects in the era of Zero Defect Manufacturing. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100263.
- Qiu, Y., Sawhney, R., Zhang, C., Chen, S., Zhang, T., Lisar, V. G., Jiang, K., & Ji, W. (2019). Data mining-based disturbances prediction for job shop scheduling. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(3), 1687814019838178.
- Serrano-Ruiz, J., Mula, J., & Poler Escoto, R. (2021). A metamodel for digital planning in the supply chain 4.0. *J. Ind. Inf. Integr. Under review*.
- Serrano-Ruiz, J. C., Mula, J., & Poler, R. (2021). Smart manufacturing scheduling: A literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 265-287.
- Szejka, A. L., Canciglieri, O., & Mas, F. (2019). A Preliminary Method to Support the Semantic Interoperability in Models of Manufacturing (MfM) Based on an Ontological Approach. Product Lifecycle Management in the Digital Twin Era: 16th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2019, Moscow, Russia, July 8–12, 2019, Revised Selected Papers 16,
- Villalonga, A., Negri, E., Biscardo, G., Castano, F., Haber, R. E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2021). A decision-making framework for dynamic scheduling of cyber-physical production systems based on digital twins. *Annual Reviews in Control*, 51, 357-373.
- Vogt, A., Schmidt, P. H., Mayer, S., & Stark, R. (2021). Production in the loop—the interoperability of digital twins of the product and the production system. *Procedia CIRP*, 99, 561-566.
- Wegner, P. (1996). Interoperability. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 28(1), 285-287.



Abstract

The job shop is a production environment that is frequently analyzed and modeled as an isolated cell with little or no interaction with other areas of the production system or the supply chain of which it forms part. For decades, the abstraction on which this endogenous approach is based has provided a profound understanding of the job-shop scheduling problem and the static aspects characterizing it. Nowadays, it is worth highlighting the dynamic and interconnected nature of the contemporary job shop, a space where the design principles and enabling technologies of Industry 4.0 acquire a significant role. This paradigm provides the job shop with new opportunities to improve competitiveness through its digital transformation, but also poses a challenge with risks and barriers. From this interconnected digital job-shop perspective, the efficiency of its operations, including that of the job scheduling process, is critically conditioned by the interoperability between its own production resources and those of the entities in its intra- and supra company environment that make up the value chain. This article studies the support that interoperability can specifically provide in the job-shop scheduling itinerary toward higher levels of automation, autonomy, and capacity for real-time action. This transformation process is known in the literature as smart manufacturing scheduling.

Keywords : Industry 4.0 · Job shop · Interoperability · Scheduling · Smart manufacturing scheduling · Digital twin · Zero-Defect Manufacturing