مدلسازی پویایی های سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید کارگاهی

محمد محمدزاده گنابادی[۱]
دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سمیه فدائی[۲]
دانشجوی دکتری،گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
علیرضا پویا[۳*]
استاد، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

برنامه ریزی و کنترل تولید در سیستم های تولید کارگاهی، رویه ای پیچیده است که دلیل اصلی آن، تغییرپذیری ذاتی فرآیند تولید و زمان های بین ورودی تصادفی سفارشات مشتری می باشد. این اختلالات تصادفی، عملکرد کارگاه را تحت تاثیر قرار می دهند. لذا مطالعه حاضر با هدف توصیف سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید و ارائه راه‌حل اختلال‌های سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید به منظور بهبود کارایی سیستم تولیدکارگاهی از منظر سفارشات تولید انباشت شده، موجودی کالای در جریان ساخت و کارهای تاخیری، انجام شده است. در این تحقیق با استفاده از پویایی شناسی سیستم وضعیت سیستم تولید کارگاهی مدل می‌شود. سپس حلقه‌های راه‌حل های اختلالات برای بهبود وضعیت ارائه می‌شود. پس از انتخاب رویکرد پویایی شناسی سیستم، با بررسی ادبیات و مصاحبه با خبرگان و شناسایی حلقه ها و ارتباطات علّی معلولی بین متغیرها، مدل طراحی گردید. مدل بر مبنای دو مکانیسم برآورد اندازه دسته و سفارش تولید با توجه به پویایی ظرفیت و تاثیر محصولات برگشتی و معیوب بر فرآیند تولید طراحی شده است.

واژگان کلیدی: سیستم تولیدی کارگاه، اندازه دسته، پویایی شناسی سیستم

[۱] آدرس پست الکترونیک: mohammadzadeh.mo@ut.ac.ir
[۲] آدرس پست الکترونیک: somayehfadaei@mail.um.ac.ir
[۳*] آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول: alirezapooya@um.ac.ir

۱- مقدمه

عوامل متعددی چون سطح تقاضای محصول، سطح تخصص نیروی انسانی، ماشین‌آلات و تجهیزات تولید و تنوع محصولات، منجر به پیدایش سیستم های تولیدی گوناگون شده است. سیستم های تولید کارگاهی در کنار مزایایی چون تنوع محصولات تولیدی، ماشین آلات و تجهیزات چند منظوره و نیروی کار متخصص و استفاده از این تخصص در راستای نوآوری در محصولات و ایجاد فرصت، معایبی همچون برنامه ریزی تولید پیچیده که متاثر از تنوع محصولات تولیدی، متغیر بودن اندازه سفارشات و زمان‌های سررسید در هر سفارش و انتظار محصولات در صف تولید را میتوان ذکرکرد. برنامه ریزی و کنترل تولید در سیستم های تولید کارگاهی، رویه ای پیچیده است که دلیل اصلی آن، تغییرپذیری ذاتی فرآیند تولید و زمانهای بین ورودی تصادفی سفارشات مشتری میباشد(استیونسون و دیگران، ۲۰۰۵). همچنین محیط تصادفی سیستم تولید کارگاهی که سبب اختلال در برنامه ریزی تولید پیش بینی شده می شود پیچیدگی را تشدید می نماید. عدم کنترل اختلالات ناشی از ملاحظات بلادرنگ در زمان واقعی، عملکرد کارگاه را تحت تاثیر قرارخواهدداد. کنسلی‌ها یا سفارشات جدید، تاخیرات پردازش و خطاهای ماشین، از جمله مثال‌های چنین رویدادهایی هستند که در ترکیب با ماهیت پویای سیستم های تولید کارگاهی، مستلزم مکانیسم های برنامه‌ریزی و کنترل تولید بلادرنگ موثری هستند تا تغییرات در برنامه‌های تولید را شناسایی کنند و اقدامات اصلاحی را فراهم نمایند. منظور از رویکرد بلادرنگ پایش و تطبیق مداوم حالت سیستم برای همراستاسازی با حالت مطلوب می باشد. تحقیق حاضر با هدف بررسی سیستم برنامه‌ریزی و کنترل تولید کارگاهی و ارائه راه‌حل هایی برای افزایش کارایی سیستم موجود انجام گرفته است. در این تحقیق برای توصیف اینکه این سیستم چگونه کار می‌کند و چطور می‌توان رفتار آن را در جهت بهبود کارایی تغییر داد، از نمودارهای علّی حلقوی استفاده می‌شود.

درسیستم کارگاهی، بهینه‌سازی سفارشات تولید و بهینه‌سازی اندازه دسته فرآیند، از جمله مسائل اساسی برنامه ریزی و کنترل تولید کارگاهی است (براون و دیگران، ۱۹۸۲). همچنین بهینه سازی استراتژی های میان مدت ظرفیت مانند اضافه کاری، برون سپاری یا ترکیبی از اضافه کاری و برون سپاری و همچنین، کنترل کیفیت محصولات تولیدی به جهت جلوگیری از برگشت محصولات پس از تحویل به مشتری و تاثیر آن بر عملکرد کارگاه دارای اهمیت می باشد. همانطور که اشاره شد سیستم تولید کارگاهی چند محصوله با سفارشات تصادفی مشتری یکی از پیچیده‌ترین سیستم-های تولید است. مدلسازی رفتار این گونه سیستم‌ها با استفاده از روش‌های ریاضی-آماری غیرممکن است چرا که این گونه سیستم‌ها از محدودیت‌های بسیار زیاد و خروجی و ورودی‌های متعدد تشکیل شده‌اند. مدل‌های شبیه‌سازی از قابلیت ایجاد مدل تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده‌ای که مدل‌های ریاضی جوابگوی آن نیستند، برخوردار هستند(آزاده و همکاران، ۱۳۸۷). روش پویایی شناسی سیستم‌ها که توسط فارستر (۱۹۶۱) معرفی شد، چارچوب مدل‌سازی و شبیه‌سازی ساده و منعطفی را برای تصمیم‌گیری در مسائل پویای مدیریت صنعتی، فراهم آورد (گروبلر و دیگران، ۲۰۰۸؛ جورجیادیس و آثاناسیو، ۲۰۱۰). این روش با تمرکز بر تعامل میان جریانات فیزیکی، جریانات اطلاعاتی، تاخیرات و سیاست‌هایی که پویایی‌های متغیرهای مورد نظر را ایجاد می‌کنند، و نتیجتا، جستجو برای سیاست‌هایی جهت بهبود عملکرد سیستم، درکی از تغییراتی را ارائه می‌دهد که درون محیط تولید رخ می دهند. به دلیل مناسب بودن این روش برای ثبت رفتار پویای سیستم‌های تولید پیچیده، در این تحقیق راه‌حل‌های بهبود کارایی سیستم کارگاهی، با استفاده

از مکانیسم‌های سفارش‌دهی تولید و کنترل اندازه دسته و همچنین به کارگیری راهکارهای میان مدت ظرفیت و بازرسی کیفیت محصولات تولیدی با استفاده از مدل علّی و حلقوی انجام می‌شود. با استفاده از نمودارهای علّی و حلقوی راه‌هایی شناسایی می‌شود که بتوان رفتار سیستم را در جهت افزایش کارایی تغییر داد. لذا هدف پژوهش حاضر، ارائه راه‌حل اختلالات سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید با در نظر گرفتن همزمان مکانیسم کنترل سفارش‌دهی تولید و اندازه دسته و استراتژی های میان مدت ظرفیت و بازرسی کیفیت محصولات در قالب یک مدل یکپارچه است. ارائه راه‌حل‌های بهبود کارایی در جهت کاهش متوسط سفارشات تولید انباشت شده، موجودی کالای درجریان ساخت (WIP) و کارهای تاخیری برای محیط تولیدی چندماشینی/ چندمحصولی تصادفی است.

ساختار مقاله بدین شرح است که بخش دوم به بررسی پیشینه مطالعاتی مرتبط در زمینه برنامه‌ریزی و کنترل تولید پرداخته شده است. در بخش سوم، روش‌شناسی تحقیق، ابتدا مدل توصیفی سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید موجود معرفی شده سپس حلقه‌های علّی راه‌حل‌ها ارائه شده‌اند. در بخش پایانی بحث و نتیجه‌گیری و مدل جامع ارائه شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مسائل و موضوعات برنامه ریزی و کنترل تولید (PPC) مطابق با مطالعه جیون و کیم (۲۰۱۶) به هشت حوزه طبقه بندی می شوند. در مطالعه آنها پنج حوزه کاربرد (برنامه ریزی منابع امکانات ، برنامه ریزی ظرفیت، برنامه ریزی شغلی، برنامه ریزی فرایند و زمانبندی کف کارگاه) به عنوان موضوعات برنامه ریزی تولید در نظر گرفته شده است. برای کنترل تولید، سه حوزه کاربرد، مدیریت موجودی، طراحی محصول و فرآیند، مدیریت خرید و عرضه در نظر گرفته شده‌است. در ادامه تحقیقات مرتبط با برنامه‌ریزی و کنترل تولید کارگاهی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کرم کار و دیگران (۱۹۹۲) روش ابتکاری دسته بندی چند آیتمی را ارائه کردند و رابطه اندازه دسته و زمان صف به پارامترهای سیستم مانند زمان راه اندازی، مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج به صورت عددی آزمایش شده و تاثیر مطلوبی بر بهبود تاخیرات صف داشته است. کرستن و دیگران (۲۰۰۵) مدل پشتیبان تصمیمی را برای سفارش تولید منعطف محور، توسعه دادند که سفارشات را تحت عدم قطعیت دسترسی ماشین منتشر می کرد. ژو و دیگران (۲۰۰۶) کنترل مبتنی بر انبار خط انتقال خودکار و سیستم کنترل تولید سفارش محور را ارائه کردند تا سفارشات تولید را در سیستم تولید و بازتولید ترکیبی که تحت شرایط تصادفی فعالیت دارد تعیین کنند. پتروویچ و دیگران (۲۰۰۸) سیستم قانون محور فازی را پیشنهاد کردند که اندازه دسته را تحت زمان های فرایند تصادفی و تاریخ های سررسید منعطف تعیین می کند. زوادی و همکاران (۲۰۱۳) به برنامه ریزی تولید و کنترل یک محصول واحد می پردازد که شامل عملیات ترکیبی و تولید مجدد می باشد. آنها فرض نمودند که کالاهای تولید شده و بازیافت شده (تعمیر شده یا ساخته شده مجدد) از همان کیفیت برخوردار هستند. التاف و همکاران (۲۰۱۸) از فناوری شناسایی فرکانس رادیویی[۱] داده-کاوی و بهینه سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای توسعه یک سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید برای یک مرکز تولید خانه پانلی استفاده نمودند. گیولای و همکاران (۲۰۱۷) یک روش بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی ارائه نمودند که از داده های سطح پایین کف کارگاه برای محاسبه برنامه های تولید استوار برای خطوط مونتاژ نهایی یک سیستم تولید

[۱] RFID

انعطاف پذیر و چند مرحله استفاده می کند. گودمیرا و سلیم (۲۰۱۷) برنامه ریزی و کنترل تولید مشتری محور را درکارگاه‌ها با رویکرد بهینه سازی شبیه سازی انجام دادند. آنها یک سیستم پشتیبانی از تصمیم گیری مبتنی بر بهینه سازی شبیه سازی که ادغام رویکردهای CRM و PPC را بکار بردند تا از توانایی های تولید به طور مؤثرتری در رضایت مشتری استفاده شود. یانگ و همکاران (۲۰۱۶) یک رویکرد جدید برای شبیه سازی سیستم های PPC با هدف تجسم فرایند تولید و مقایسه شاخص های کلیدی عملکرد (KPI) ارائه نمودند. زندیه و غلامی (۲۰۰۹) نحوه شبیه سازی الگوریتم ژنتیک را برای برنامه ریزی تولید یک کارگاه انعطاف پذیر با ماشین هایی که ریسک خرابی های تصادفی را تجربه می کنند، ارائه می کنند. در نتیجه عملکرد الگوریتم ژنتیک برای اهداف در نظر گرفته شده، سطح انتظار برای تولید وعقب افتادگی، با تغییر سطوح پارامترها با شکست مواجه می شود. جمروس و همکاران (۲۰۱۸) یک رویکرد ترکیبی که حاصل ادغام یک الگوریتم بهینه سازی ذرات با توزیع کوشی و عملگرهای ژنتیکی است را برای حل مساله زمان بندی کارگاهی منعطف ارائه نمودند. رویکرد پیشنهادی آنها ضمن در نظر گرفتن مسائل عدم قطعیت زمان پردازش، زمان و منابع را برای هر عملیات اختصاص می دهد تا زمان اتمام را به حداقل برساند. سوکرید و واتیپورپان (۲۰۱۶) یک الگوریتم بهبود ترکیبی جدید برای سیستم برنامه ریزی احتیاجات ظرفیت محدود[۱] در یک جریان انعطاف پذیر کارگاهی با عملیات مونتاژ ارائه نمودند. الگوریتم پیشنهادی ترکیبی از الگوریتم ژنتیکی و جستجوی تابو است.

جورجیادیس[۲] و مایکلودیس[۳] (۲۰۱۲) پاسخ سیستم را تحت الگوهای مختلف ورود به سفارشات مشتری و وجود انواع مختلف وقایع در زمان واقعی مربوط به سفارشات مشتری و خرابی دستگاه بررسی نمودند. آنها مقادیر تقریباً بهینه متغیرهای کنترل را تعیین نمودند، که عملکرد کارگاه را از نظر میانگین سفارشات عقب افتاده، کار در جریان و کارهای تاخیری بهبود می‌بخشد. جورجیادیس (۲۰۱۳) با ادغام شبیه سازی و نظریه کنترل بازخورد در بررسی پویای شبکه های بازیافت، یک مدل دینامیک سیستم برای برنامه ریزی ظرفیت استراتژیک در صنعت بازیافت ارائه داد. گویزی و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها را برای کنترل عملیاتی تولید با هدف تحقق ابزاری برای پشتیبانی تصمیم گیری انجام دادند، فریرا و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل سیستم دینامیک را برای ارزیابی اینکه آیا سازوکارهای یکپارچه برنامه ریزی تولید محصولات کشاورزی و صنعتی می تواند عملکرد رقابتی سیستم کشاورزی[۴] مرکبات در برزیل را بهبود بخشد را ارائه دادند. پاتل و تنکی (۲۰۱۳) روش پویایی سیستم در سیستم تولید کانبان تک مرحله‌ای و تک محصولی ارائه نمودند. مدلهای SD برای سیستم کانبان تک مرحله‌ای تک محصوله برای بررسی رفتار سیستم تولید در افق زمانی مختلف تهیه و شبیه سازی نمودند.

۱-۲- جمع‌بندی از پیشینه و سهم تحقیق حاضر

گرچه تحقیقات بسیاری در راستای توسعه کارگاهی انجام گرفته است، اما مطالعات کمی برای PPC بررسی مکانیزم سفارش دهی تولید و برآورد دسته و ظرفیت پویا تحت وجود رویدادهای بلادرنگ، صورت گرفته است. در این

---

[۱] finite capacity material requirement planning system (FCMRP)

[۲] Georgiadis

[۳] Michaloudis

[۴] agrisystem

راستا کرم کار و دیگران (۱۹۹۲)، پتروویچ و دیگران(۲۰۰۸)، زوادی و همکاران (۲۰۱۳)، اورتیز و همکاران(۲۰۱۶، هوانگ و یو (۲۰۱۷) به اندازه دسته توجه داشته‌اند. کرستن و دیگران (۲۰۰۵) و ژو و دیگران (۲۰۰۶)، فاندن و جین (۲۰۱۵)، کساکوو و همکاران(۲۰۱۶) مطالعات خود را با توجه به سفارش تولید انجام دادند. جورجیادیس (۲۰۱۳) به برنامه ریزی ظرفیت پرداخته است. جورجیادیس و مایکلوودیس (۲۰۱۲) تنها مکانیسم‌های کنترل سفارش‌دهی تولید و اندازه دسته را در پژوهش خود در نظر گرفته بودند، آنها ظرفیت را ثابت فرض کرده و در مورد محصولات معیوب و نرخ خرابی محصولات، در مدل اشاره ای نکرده اند. اما تحقیق حاضر در توصیف و ارائه راه‌حل بهبود کارایی، مکانیسم‌های سفارش‌دهی تولید و کنترل اندازه دسته با توجه به پویایی ظرفیت و بازرسی کیفیت محصولات تولیدی را در قالب یک مدل یکپارچه در نظرمی‌گیرد.

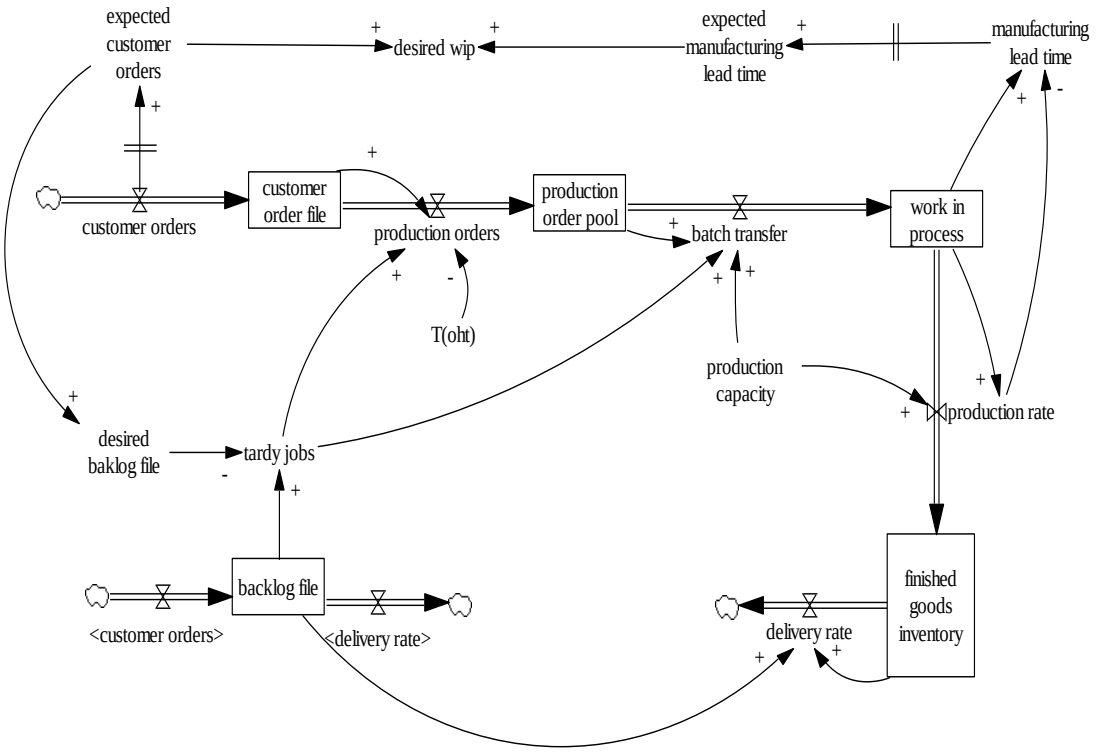
همچنین در تحقیقات مربوط به توسعه برنامه ریزی و کنترل تولید اکثر از تکنیک‌های بهینه سازی و الگوریتم ابتکاری استفاده شده‌است. با توجه به پیشینه مشاهده می‌شود که مطالعات گیولای و همکاران (۲۰۱۷)، هیس و رین هارت (۲۰۱۵) و زوادی و همکاران (۲۰۱۳)از مدلهای بهینه‌سازی استفاده نموده‌اند در حالیکه با توجه به آیتوگ و همکاران (۲۰۰۵) مدلهای بهینه‌سازی، تمایل تصمیمات سازمانی بسیار محلی دارند. محلی بودن بیش از حد، آنها را در معرض خطر بهینه‌سازی کمتر از حد قرار میدهد که به ضرر سیستم بزرگتر است. گرچه رویکردهای جستجوی سراسری، مانند الگوریتم ژنتیک (GA) دو جیووانی و پزلا، (۲۰۱۰) و زندیه و غلامی (۲۰۰۹) ، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (مصلحی و مهنام، ۲۰۱۱) هستند، اما اغلب سبب مسئله همگرایی زودرس و نتیجتا، فرآیند بهینه‌سازی با کارآیی کمتر میشود. متعاقبا، رویکردهای ابتکاری بهبود یافته‌اند و منجر به الگوریتم‌های ترکیبی مانند SA ترکیبی با بهینه-سازی ازدحام ذرات (ژیا و وو، ۲۰۰۶)، منطق فازی (پتروویچ و دیگران، ۲۰۰۸)، الگوریتم ترکیبی بهینه سازی ذرات و ژنتیک (جمروس و همکاران ۲۰۱۸) و الگوریتم ترکیبی از الگوریتم ژنتیکی و جستجوی تابو (سوکرید و واتیپورپان ۲۰۱۶) شده‌اند. برخلاف ظهور قدرت محاسباتی سریع و ارزان، اکثر رویکردهایی که در بالا مورد اشاره قرار گرفتند، مستلزم پیچیدگی الگوریتمی سنگینی هستند که کاربرد محاسباتی‌شان را مخصوصا برای کاربردهای بزرگ مقیاس دنیای واقعی، سخت می سازد. همانطور که قبلا اشاره شد رویکردهای بهینه‌سازی غالبا برمبنای شرایط حالت ثابت هستند، وجود فرآیندهای پیوسته را نادیده میگیرند (مهدوی و دیگران، ۲۰۱۰). در مطالعه حاضر بنا به محدودیت های روش های فوق، برای توصیف سیستم موجود و ارائه راهکارهای پیشنهادی از مدلهای علّی و حلقوی روش پویایی شناسی سیستم ها استفاده شده است و سهم تحقیق حاضر ارائه راه‌حل های رفع اختلالات سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید در یک مدل جامع است.

۳- روش شناسی تحقیق

در مطالعه حاضر از روش‌شناسی پویایی سیستم برای توصیف سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید و ارائه راهکارهای بهبود کارایی سیستم استفاده می‌شود. ارائه یک مدل مفهومی، بینش های زیادی را برای محقق، حتی پیش از اجرای شبیه سازی به وجود می آورد. این گام به محقق کمک می کند تا مفهوم های مبهم را تشخیص دهد و درک مناسبی از کل سیستم به دست آورد. این گام با ترسیم مدل های علّت و معلولی و نمودار جریان صورت میگیرد.

۱-۳- توصیف سیستم مدیریت برنامه ریزی و کنترل تولید[۱]

در سیستم تولید کارگاهی بر مبنای سفارشات مشتریان و زمان تولید مورد انتظار، میزان کار در جریان مطلوب[۲] تعیین می‌شود. در این سیستم سفارشات مشتریان مورد انتظار با حجم سفارشات عقب افتاده مطلوب[۳] ارتباط مستقیم دارد. در این سیستم، افزایش خطا در پیش بینی سفارشات مشتریان مورد انتظار و وجود اختلالات در فرایندهای تولید، از جمله خرابی های تجهیزات و اختلالات در ایستگاه های تولید، باعث افزایش سفارشات عقب افتاده بیش از حد مورد انتظار کارگاه خواهد شد. هر چقدر فایل سفارشات عقب افتاده بیشتر شود کارهای تاخیری افزایش می یابد. با توجه به شکل۱ در این سیستم، نرخ سفارشات تولید تحت تاثیر سفارشات مشتریان، زمان‌های تحویل سفارشات و کارهای تاخیری قرار می گیرد. با افزایش سفارشات تولید، دسته‌های انتقالی و کار در جریان افزایش می‌یابد. افزایش کار در جریان، زمان تولید را افزایش می دهد. با افزایش زمان تولید، همراه با تاخیر مدیریت، زمان تولید مورد انتظار افزایش می یابد. همچنین با افزایش کار در جریان، نرخ تولید افزایش یافته و در نتیجه موجودی کالای تمام شده افزایش خواهد یافت و در نهایت باعث افزایش نرخ تحویل می‌شود. با افزایش نرخ تحویل، سفارشات عقب افتاده کاهش خواهد یافت.



شکل۱. توصیف سیستم مدیریت برنامه ریزی و کنترل تولید

---

[۱] production planning and control

[۲] Desired wip

[۳] Backlog

در واقع در این سیستم اگر ما به التفاوت سفارش مشتریان در زمان واقعی با آنچه پیش بینی شده است، بیشتر از سفارشات مشتریان مورد انتظار باشد، موجب افزایش کارهای تاخیری خواهد شد. افزایش کارهای تاخیری موجب اختلال در روند سفارشات تولید کارگاه شده و با توجه به ظرفیت تولید و اولویت کارهای تاخیری در نرخ ورود دسته های انتقالی به فرایندهای تولید، نرخ کاردرجریان فرآیندهای تولید افزایش یافته، که موجب افزایش نرخ تولید و در نتیجه نرخ کالای تمام شده خواهد شد. اما با افزایش کار در فرآیندهای تولید امکان تولید کالاهای معیوب افزایش می یابد که نتیجتا نرخ کالای آماده شده کاهش خواهد یافت و بدین ترتیب باعث افزایش سفارشات عقب افتاده می شود.

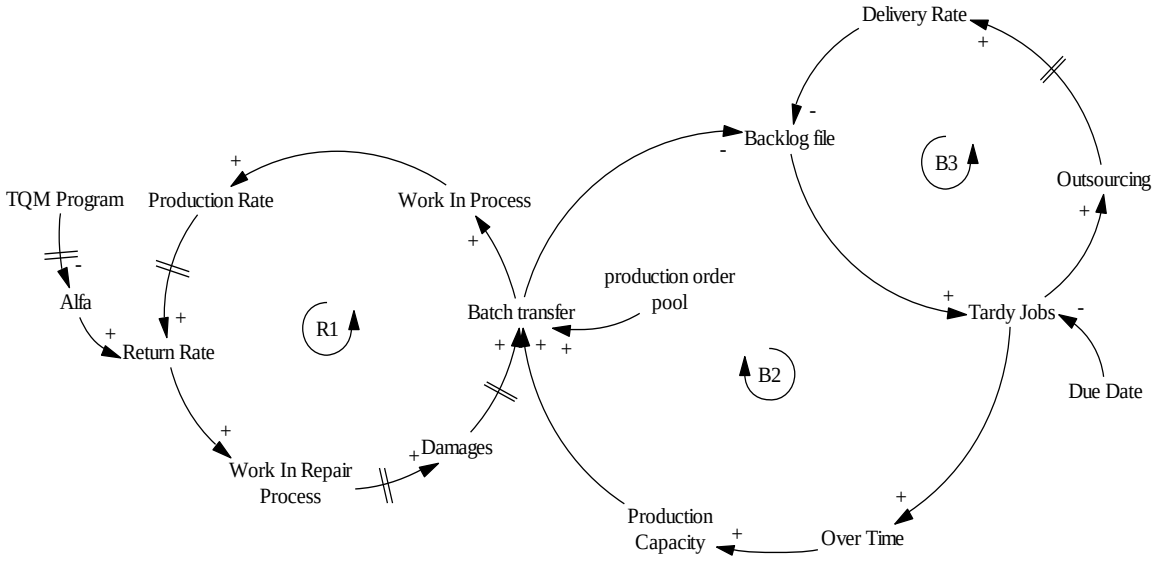
در این سیستم با افزایش خطا در پیش بینی سفارشات مشتریان، با تاخیر شاهد افزایش حجم سفارشات عقب افتاده مورد انتظار خواهیم بود. افزایش در سفارشات عقب افتاده مورد انتظار نشان دهنده عملکرد نامناسب سیستم بوده و به این معنی است که سفارشات بیشتری در این سیستم در فایل سفارشات عقب افتاده قرار خواهدگرفت که نارضایتی مشتریان را در پی خواهد داشت.

۲-۳- ارائه راه‌حل‌های اختلالات در سیستم برنامه‌ریزی تولید کارگاهی

در روش پویایی شناسی، حلقه های علّی به عنوان طرح های اولیه از فرضیات علّی بوده که ارائه یک مدل را ساده می سازند و بیانگر مکانیسم های اصلی بازخورد هستند (استرمن، ۲۰۰۰)، بنابراین برای ارائه راه‌حل‌های اختلالات در سیستم برنامه‌ریزی و کنترل تولید از حلقه‌های علّی استفاده می‌شود. این مکانیسم ها یا حلقه های بازخورد منفی (متعادل کننده) یا بازخورد مثبت (تقویت کننده) هستند. یک حلقه بازخورد منفی، رفتار هدف جویانه را نشان می دهد که سیستم پس از اختلال به دنبال بازگشت به وضعیت تعادل است. در حلقه بازخورد مثبت، اختلال اولیه منجر به تغییر بیشتر می شود که بیانگر حالت تعادل ناپایدار است.

۳-۳- راه‌حل بهینه سازی اندازه دسته های انتقالی

شکل۲ نمودار علّی حلقوی مربوط به مکانیسم کنترلی پیشنهادی، برای برآورد اندازه دسته همراه با پویایی ظرفیت و کنترل کیفیت را نشان می دهد. ساختار مکانیسم برآورد اندازه دسته برمبنای تعدیل کارهای تاخیری واقعی به مقادیر مطلوبشان که صفر در نظر گرفته شده می باشد.



شکل۲. نمودار علّی حلقوی مکانسیم کنترلی برآورد اندازه دسته

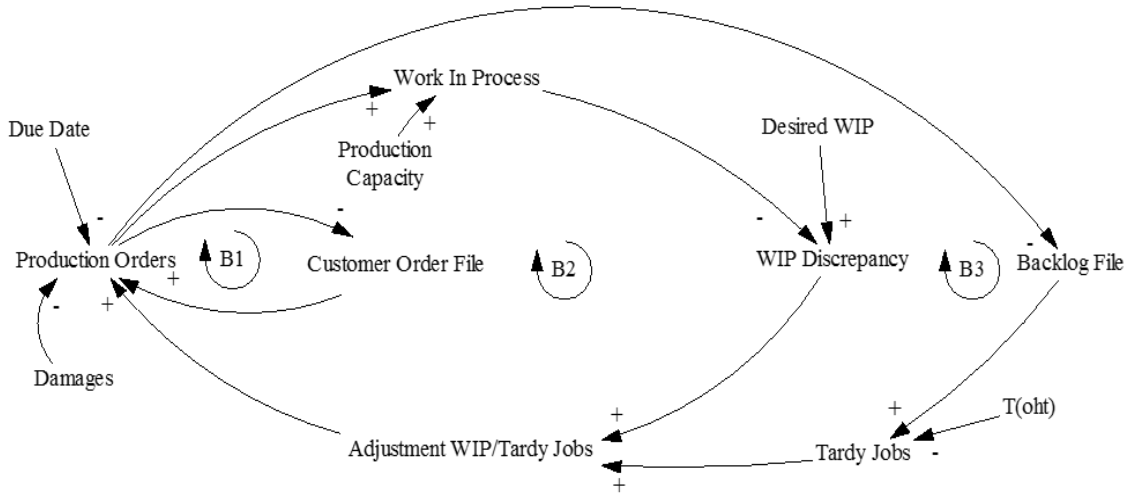
حلقه R۱ (کنترل کیفیت) : با افزایش اندازه دسته های انتقالی به فرآیندهای تولید، نرخ تولید افزایش می یابد. با گذشت از مرحله بازرسی کیفیت، نرخ کالاهای برگشتی متعاقبا افزایش یافته که موجب افزایش کار در فرآیندهای تعمیر خواهد شد. برای جبران آن دسته از محصولات ضایع شده در فرآیندهای تعمیر، سفارش تولید درون سازمانی (اختلال در سفارشات تولید) داده می شود،که موجب افزایش دسته های انتقالی (اختلال در اندازه دسته)خواهد شد.

حلقه B۲ (پویایی ظرفیت با اضافه کاری) : با کاهش اندازه دسته های انتقالی به فرآیندهای تولیدی،کارهای عقب افتاده کارگاه افزایش می یابد که به تبع آن کارهای تاخیری (مجموع سفارشاتی که از زمان پیش بینی شده کارگاه برای تحویل فراتر رفته اند) افزایش خواهدیافت، در صورتی که کارهای تاخیری ایجاد شده با اضافه کاری رفع شوند، ظرفیت تولید را افزایش می دهیم که سبب افزایش اندازه دسته های انتقالی به فرآیندهای تولید شده و موجب تعدیل کارهای عقب افتاده خواهدشد.

حلقه B۳ (مکانیسم برون سپاری) : در صورتی که کارهای تاخیری ایجاد شده در حلقه B۲ با اضافه کاری رفع نشوند، برون سپاری خواهند شد و پس از دریافت، تحویل مشتری خواهند گردید و کارهای عقب افتاده را کاهش خواهند داد.

٤-۳- راه‌حل بهینه سازی سفارشات تولید

شکل۳۳ نمودار علّی حلقوی مربوط به سفارشات تولید را نشان می دهد. ساختارمکانیسم سفارشات تولید برمبنای بهینه سازی سفارشات باتوجه به اختلالات محصولات ضایع شده و ظرفیت تولید می باشد.



شکل۳. نمودار علّی حلقوی سفارشات تولید

حلقه B۱ : نشان دهنده تعامل بین سفارشات تولید و فایل انباشت سفارشات مشتری می باشد بدین صورت که سفارشات تولید با توجه به زمان سررسید سفارشات مشتری داده میشود که هرچه این زمان کمتر باشد سفارشات تولید بیشتر خواهد شد و با افزایش سفارشات تولید، انباشت سفارشات مشتری کاهش پیدا میکند که به تبع آن سفارشات تولید تعدیل می یابد.

حلقه B۲ : افزایش در سفارشات تولید سبب افزایش کاردرفرآیندهای تولیدی میشود، که این افزایش سبب کاهش اختلاف کاردرفرآیندهای تولید با سطح مطلوبشان خواهد شد وکارهای تاخیری و نیاز به تنظیم کاردرفرآیندهای تولید را کاهش می دهد و موجب تعدیل سفارشات تولید میشود.

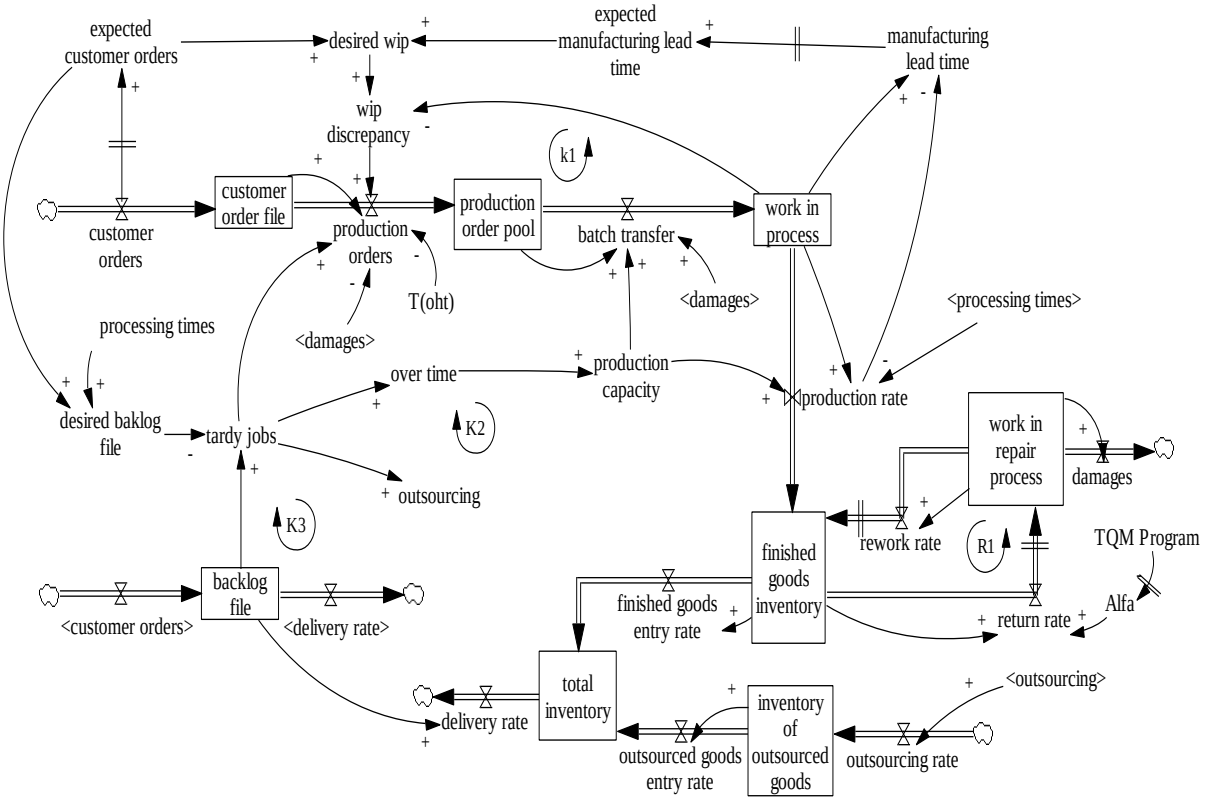
حلقه B۳ : افزایش در سفارشات تولید سبب کاهش سفارشات عقب افتاده می شود، این کاهش، کارهای تاخیری و نیاز به تنظیم کاردرفرآیندهای تولید را کاسته و موجب تعدیل سفارشات تولید میشود.

۴- بحث و نتیجه گیری

سیستم های تولید کارگاهی در کنار مزایایی چون تنوع محصولات تولیدی، ماشین آلات و تجهیزات چند منظوره و نیروی کار متخصص و استفاده از این تخصص در راستای نوآوری در محصولات و ایجاد فرصت، معایبی همچون برنامه ریزی تولید پیچیده که متاثر از تنوع محصولات تولیدی، متغیر بودن اندازه سفارشات و زمان‌های سررسید از هر محصول و انتظار محصولات در صف تولید هست را ذکرکرد. در این مقاله، راهکارهای بهبود کارایی کارگاه در سفارش دهی تولید و برآورد اندازه دسته با توجه به ظرفیت پویا و کنترل کیفیت محصولات ارائه شده که به دنبال بهبود عملکرد کارگاه از نظر متوسط سفارشات انباشت شده عقب افتاده، متوسط تعداد کارهای تاخیری و متوسط کاردرجریان تولید بوده است. با بررسی مدل در قالب نمودار علّی حلقوی این نتیجه حاصل شد که در واقعیت، سیستم‌های تولیدی با استفاده از استراتژی‌های میان مدت، قادر به افزایش ظرفیت موقت برای پاسخگویی به سفارشات هستند. لذا یکی از راه‌حل های افزایش کارایی بهینه کردن اندازه دسته با توجه ظرفیت پویا در مدل است. همچنین بررسی کارایی سیستم با توجه به کنترل کیفیت محصولات و نرخ خرابی‌ها، منجر به توصیف واقع‌بینانه‌تر از مدل و راه‌حل‌های پیشنهادی

منطقی‌تر می‌شود. توجه به کنترل کیفیت محصولات تولیدی درکارگاه موجب شده تا برگشت محصولات پس از تحویل به مشتری به حداقل برسد، چرا که در صورت برگشت محصولات پس از تحویل به مشتری کاردرفرآیندهای تولید کارگاه با اختلال مواجه خواهد شد و می تواند کارهای تاخیری و یا نیاز به تنظیم کاردرفرآیندهای تولیدی، با سطح مطلوبشان را در پی داشته باشد(حلقه B۲ مکانیسم سفارش دهی تولید). همچنین استفاده از استراتژی های میان مدت در راستای پویایی ظرفیت به کارگاه کمک می کند تا با کنترل اندازه دسته های انتقالی که متاثر از سطح اضافه کاری در کارگاه است متوسط انباشت سفارشات را در سطح مطلوب کنترل کند(حلقه B۲ برآورد اندازه دسته) و یا از طریق برون سپاری کارهای تاخیری خارج از ظرفیت کارگاه، سطح انباشت سفارشات را تعدیل نماید(حلقه B۳ برآورد اندازه دسته).

نمودار انباشت و جریان[۱] یکپارچه در نتیجه تلفیق حلقه‌های کنترل کیفیت، انداز دسته با توجه به ظرفیت پویا و حلقه‌های سفارش تولید به صورت شکل ۴ قابل ارائه می باشد. در حقیقت به علت عدم توانایی نمودارهای علّی حلقوی در نمایش ساختار انباشت و جریان سیستم، مدل جامع انباشت و جریان ترسیم شد.



شکل ۴ نمودار حالت_ جریان

[۱] Stock and Flow Diagram

مطابق با شکل۴ فایل سفارش مشتری، تجمیع سفارشات تولید،کاردرفرآیندهای تولید، موجودی کالای تکمیل شده، موجودی کالای برون سپاری شده، انبارکل،کاردرفرآیندهای تعمیر، فایل سفارشات عقب افتاده، متغیرهای حالت هستند. همچنین مدل شامل یازده متغیر جریان (سفارشات مشتریان، سفارشات تولید، دسته های انتقالی، نرخ تولید، نرخ برگشتی، نرخ دوباره کاری، نرخ ضایعات، نرخ ورودکالاهای تکمیل شده، نرخ ورودکالاهای برون سپاری شده، نرخ برون سپاری، نرخ تحویل) و متغیرهای کمکی شامل: پیش بینی سفارشات مشتری، مطلوب کاردرفرآیندها، اختلاف سطح مطلوب کاردرفرآیندها با وضع موجود، پیش بینی زمان تولید، زمان تولید واقعی، سطح مطلوب خطای در پیش بینی،کارهای تاخیری، اضافه کاری، برون سپاری، ظرفیت تولید و همچنین یک متغیرثابت (زمان پردازش) می باشد.

به عنوان پیشنهاد، مطالعه سیاست های هزینه و منفعت کارگاه برای تولید محصولات و یا برون سپاری، و تاثیر آن بر پویایی ظرفیت و کنترل اختلالات بلادرنگ، می‌تواند ارزشمند باشد. علاوه بر این تامین مواداولیه مورد نیاز در شرایط خطای در پیش بینی و تاثیر تاخیر تامین مواد اولیه بر سفارشات تولید و برآورد اندازه دسته، کارگاه را در دستیابی به نتایج عملکردی واقع بینانه تر کمک خواهد کرد. مدل ارائه شده مفهومی از سیستم تولید کارگاهی بوده و بنابراین در ارتباط با تنوع محصولات تولیدی و مراحل تولید بحث نشده است، در نتیجه مطالعات بیشتری در زمینه مدل مفهومی و شبیه سازی آن لازم می باشد، شبیه سازی به دلیل آن که مشکل را از ساختار به بررسی رفتار منتقل می کند و سبب پیش بینی رفتار متغیرها در یک دوره زمانی میشود ارزش افزوده ای را در تجزیه و تحلیل سیاست به همراه دارد.

منابع

آزاده، محمدعلی؛ عمل‌نیک، صادق؛ باطنی، آرش. (۱۳۸۷). برنامه ریزی و کنترل عملیات تولید سیستم های کارگاهی پیچیده ی چند محصولی به کمک شبیه سازی فراگیر. مجله علمی و پژوهشی شریف. شماره ۴۳.ص۱۱-۲۰.

هارن، جان ، شیونان، جیمز ؛ براون، جیمی.(۱۹۸۲) سیستم های مدیریت تولید (با نگرشی یکپارچه). (ترجمه: غضنفری، مهدی ؛ صغیری ، سروش . ناشر دانشگاه علم و صنعت ایران.

Altaf, M. S., Bouferguene, A., Liu, H., Al-Hussein, M., & Yu, H. (۲۰۱۸). Integrated production planning and control system for a panelized home prefabrication facility using simulation and RFID. *Automation in construction*, *85*, ۳٦۹-۳۸۳.

Aytug, H., Lawley, M.A., McKay, K., Mohan, S., Uzsoy, R., ۲۰۰۵. Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. European Journal of Operational Research ۱٦۱, ۸٦–۱۱۰.

Corsten, H., Gössinger, R., Wolf, N., ۲۰۰۵. Flexibility-driven order releases in jobshop production. Technovation ۲۵, ۸۱۵–۸۳۰

De Giovanni, L., Pezzella, F., ۲۰۱۰. An improved genetic algorithm for the distributed and flexible job-shop scheduling problem. European Journal of Operational Research ۲۰۰, ۳۹۵–٤۰۸.

Forrester, J.W., ۱۹٦۱. Industrial Dynamics. MIT Press, Cambridge (MA). Georgiadis, P., Athanasiou, E., ۲۰۱۰. The impact of two-product joint lifecycles on capacity planning of remanufacturing networks. European Journal of Operational Research ۲۰۲, ٤۲۰–٤۳۳.

Ferreira, J. O., Batalha, M. O., & Domingos, J. C. (۲۰۱٦). Integrated planning model for citrus agribusiness system using systems dynamics. *Computers and Electronics in Agriculture*, *126*, ۱-۱۱.

Größler, A., Thun, J.H., Milling, P.M., ۲۰۰۸. System dynamics as a structural theory in operations management. Production and Operations Management ۱۷, ۳۷۳–۳۸٤.

Georgiadis, P., Athanasiou, E., ۲۰۱۰. The impact of two-product joint lifecycles on capacity planning of remanufacturing networks. European Journal of Operational Research ۲۰۲, ٤۲۰–٤۳۳.

Gholami, M., Zandieh, M., ۲۰۰۹. Integrating simulation and genetic algorithm to schedule a dynamic flexible job shop. Journal of Intelligent Manufacturing ۲۰, ٤۸۱–٤۹۸.

Georgiadis, P., & Michaloudis, C. (۲۰۱۲). Real-time production planning and control system for job-shop manufacturing: A system dynamics analysis. *European Journal of Operational Research*, *216*(۱), ۹٤-۱۰٤.

Güçdemir, H., & Selim, H. (۲۰۱۷). Customer centric production planning and control in job shops: A simulation optimization approach. *Journal of Manufacturing Systems*, *43*, ۱۰۰-۱۱٦.

Georgiadis, P. (۲۰۱۳). An integrated System Dynamics model for strategic capacity planning in closed-loop recycling networks: A dynamic analysis for the paper industry. *Simulation Modelling Practice and Theory*, ۳۲, ۱۱٦-۱۳۷.

Guizzi, G., Miele, D., Santillo, L. C., & Romano, E. (۲۰۱۳, September). A System Dynamics approach for the operational control of production. In *2013 IEEE 12th International Conference on Intelligent Software Methodologies, Tools and Techniques (SoMeT)* (pp. ٦۹-۷٤). IEEE.

Gyulai, D., Pfeiffer, A., & Monostori, L. (۲۰۱۷). Robust production planning and control for multi-stage systems with flexible final assembly lines. *International Journal of Production Research*, *55*(۱۳), ۳٦٥۷-۳٦۷۳.

Huang, R. H., & Yu, T. H. (۲۰۱۷). An effective ant colony optimization algorithm for multi-objective job-shop scheduling with equal-size lot-splitting. *Applied Soft Computing*, *57*, ٦٤۲-٦٥٦.

Hees, A., & Reinhart, G. (۲۰۱٥). Approach for production planning in reconfigurable manufacturing systems. *Procedia CIRP*, *33*, ۷۰-۷٥.

Jamrus, T., Chien, C. F., Gen, M., & Sethanan, K. (۲۰۱۷). Hybrid particle swarm optimization combined with genetic operators for flexible job-shop scheduling under uncertain processing time for semiconductor manufacturing. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, *31*(۱), ۳۲-٤۱.

Jeon, S. M., & Kim, G. (۲۰۱٦). A survey of simulation modeling techniques in production planning and control (PPC). *Production Planning & Control*, *27*(٥), ۳٦۰-۳۷۷.

Kasakow, G., Menck, N., & Aurich, J. C. (۲۰۱٦). Event-driven production planning and control based on individual customer orders. *Procedia CIRP*, *57*, ٤۳٤-٤۳۸.

Karmarkar, U.S., Kekre, S., Kekre, S., ۱۹۹۲. Multi-item batching heuristics for minimization of queueing delays. European Journal of Operational Research ٥۸, ۹۹–۱۱۱.

Moslehi, G., Mahnam, M., ۲۰۱۱. A pareto approach to multi-objective flexible jobshop scheduling problem using particle swarm optimization and local search.International Journal of Production Economics ۱۲۹ (۱), ۱٤–۲۲.

Mahdavi, I., Shirazi, B., Solimanpur, M., ۲۰۱۰. Development of a simulation-based decision support system for controlling stochastic flexible job shop manufacturing systems. Simulation Modelling Practice and Theory ۱۸, ۷٦۸– ۷۸٦.

Ortiz, M., Neira, D., Jiménez, G., & Hernández, H. (۲۰۱٦, June). Solving flexible job-shop scheduling problem with transfer batches, setup times and multiple resources in apparel industry. In *International Conference on Swarm Intelligence* (pp. ٤۷-٥۸). Springer, Cham.

Phanden, R. K., & Jain, A. (۲۰۱٥). Assessing the impact of changing available multiple process plans of a job type on mean tardiness in job shop scheduling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *۸۰*(۹-۱۲), ۱٥۲۱-۱٥٤٥.

Petrovic, S., Fayad, C., Petrovic, D., Burke, E., Kendall, G., ۲۰۰۸. Fuzzy job shop scheduling with lot-sizing. Annals of Operations Research ۱٥۹, ۲۷٥–۲۹۲.

Patel, K. K., & Thanki, S. J. (۲۰۱۳). System dynamic modelling and analysis of a single stage single product kanban production system,'. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, *2*(٦).

Sterman, J.D., ۲۰۰۰. Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a Complex World. McGraw-Hill, New York (NY).

Stevenson, M., Hendry, L.C., Kingsman, B.G., ٢٠٠٥. A review of production planning and control: The applicability of key concepts to the make-to-order industry. International Journal of Production Research ٤٣, ٨٦٩–٨٩٨.

Sukkerd, W., & Wuttipornpun, T. (٢٠١٦). Hybrid genetic algorithm and tabu search for finite capacity material requirement planning system in flexible flow shop with assembly operations. *Computers & Industrial Engineering*, *97*, ١٥٧-١٦٩.

Yang, S., Arndt, T., & Lanza, G. (٢٠١٦). A flexible simulation support for production planning and control in small and medium enterprises. *Procedia CIRP*, *56*, ٣٨٩-٣٩٤.

Xia, W.-J., Wu, Z.-M., ٢٠٠٦. A hybrid particle swarm optimization approach for the job-shop scheduling problem. The International Journal of Advanced
Manufacturing Technology ٢٩, ٣٦٠–٣٦٦.

Zhou, L., Naim, M.M., Tang, O., Towill, D.R., ٢٠٠٦. Dynamic performance of a hybrid inventory system with a Kanban policy in remanufacturing process. Omega ٣٤,
٥٨٥–٥٩٨.

Zouadi, T., Yalaoui, A., Reghioui, M., & El Kadiri, K. E. (٢٠١٥). Lot-sizing for production planning in a recovery system with returns. *RAIRO-Operations Research*, *49*(١), ١٢٣-١٤٢.

Modeling the dynamics of workshop production planning and control system

Mohammad mohammadzadeh gonabadi[۱]
Masters student,Management Department, Faculty of Management, University of Tehran,Tehran,Iran
Somayeh fadaei[۲]
PHD Student, Management Department, Faculty of Economic and Administrative Sciences,Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Alireza Pooya[۳*]
Professor, Management Department,Faculty of Economic and Administrative Sciences, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract
Planning and controlling production in workshop production systems is a complex procedure that is mainly due to the inherent variability of the production process and the time between random inputs of customer orders. These random disturbances affect the performance of the workshop. Therefore, the present study aimed to describe production planning and control system and provide solutions to production planning and control system disturbances in order to improve the efficiency of workshop production system from the perspective of accumulated production orders, inventory of goods during construction and delayed works. Is. In this study, the system dynamics of the workshop production system is modeled using system dynamics. Then, circuits of disorders solutions to improve the situation are presented. After selecting the system dynamics approach, the model was designed by examining the literature and interviewing experts and identifying causal links and causal relationships between variables. The model was designed based on two mechanisms of estimating batch size and production order with respect to capacity dynamics and the impact of return and defective products on the production process.

Keywords: Workshop production system, batch size, system dynamics

[۱] Email of first author: mohammadzadeh.mo@ut.ac.ir
[۲] Email of first author: somayehfadaei@mail.um.ac.ir
[۳*] Corresponding author: alirezapooya@um.ac.ir