مقایسه‌ی عملکرد سیستم‌های تولید کارگاهی و تکنولوژی گروهی در یک مثال عددی از طریق شبیه‌سازی با ARENA

سیاوش خالدان[۱*]، هادی شیرویه‌زاد[۲]

تاریخ دریافت: ۲۶ آبان ۹۲ تاریخ پذیرش: ۳ دی ۹۲

چکیده

برنامه‌ریزی تولید، بسته به سیستم تولیدی انتخاب‌شده برای واحد تولیدی، روش‌های مختلفی را به خود اختصاص می‌دهد. یکی از اقدامات مهم که بایستی پیش از برنامه‌ریزی تولید صورت پذیرد، تعیین سیستم تولید و متعاقباً چیدمان مطلوب ماشین‌آلات آن واحد است. سیستم‌های تولید کارگاهی و تکنولوژی گروهی، هر یک دارای مزایا و معایب مخصوص به خود است. در این میان سنجش عملکرد واحد هم به‌لحاظ معیارهای بهره‌وری و هم از نظر معیارهای صفی، در قالب سیستم‌های متنوع، امری خطیر محسوب می‌شود. از این‌رو، روش‌های متعددی برای این سنجش عملکرد ارائه شده است. یکی از این روش‌ها، شبیه‌سازی واحد تولیدی در رایانه و اجرای فرضی آن در قالب سیستم مدنظر است. در این مقاله، با استفاده از نرم‌افزار ARENA، سیستم‌های تولید کارگاهی و تکنولوژی گروهی برای یک واحد تولیدی خاص، به طور مجزا، شبیه‌سازی، اجرا و مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل، حاکی از آن هستند که سیستم تکنولوژی گروهی در مثال مدنظر هم از نظر شاخص‌های بهره‌وری و هم از نظر شاخص‌های صفی، عملکرد بهتری نسبت به سیستم تولید کارگاهی از خود به جای گذاشته و تغییر سیستم کنونی کارگاه توصیه می‌شود.

کلید **واژگان**: طراحی سیستم تولید؛ تولید کارگاهی؛ تکنولوژی گروهی؛ شبیه‌سازی.

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی تولید یعنی بهترین استفاده از منابع برای ارضای اهداف تولید در طول یک دورهٔ زمانی مشخص به نام افق برنامه‌ریزی [۱]. طراحی یک سیستم تولیدی مناسب برای کارخانه یا کارگاه تولیدی، نه‌تنها می‌تواند شرایط تولید را از منظرهای تولید سریع‌تر و باکیفیت‌تر، گرایش به تولید ناب و چابک، کاهش ضایعات، تعالی سازمانی و ... بهبود بخشد، بلکه شرایط کسب و کار را به لحاظ اقتصادی نیز رو به بهینگی سوق می‌دهد. برای هر واحد تولیدی، از منظرهای گوناگون، سیستم‌های تولیدی مختلف و بر مبنای آن‌ها، چیدمان‌های متفاوتی، برتری دارند. مثلاً اگر توالی عملیات برای محصولات یک کارخانه یکسان باشد، با یک چیدمان خطی مبتنی بر محصول i بهترین نتایج کسب خواهد شد [۲]؛ در عین حال، این چیدمان، تولید در تیراژ بالا را میسر می‌سازد. چیدمان‌های متفاوتی، برتری دارند. مثلاً اگر توالی عملیات برای محصولات یک کارخانه یکسان باشد، با یک چیدمان خطی مبتنی بر محصول[i] بهترین نتایج کسب خواهد شد [۲]؛ در عین حال، این چیدمان، تولید در تیراژ بالا را میسر می‌سازد.

اما اگر فرآیندها، تخصصی و متنوع باشند، بهتر است تا ماشین‌های هم‌نوع را در کنار یکدیگر قرار دهیم تا رفت و آمد کارکنان متخصص در میان ماشین‌آلات کمتر

[۱]. کارشناس ارشد، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، siyavash.khaledan@gmail.com

[۲]. استادیار، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد.

شود [۲]. این نوع چیدمان که تولید کارگاهی[ii] نامیده می‌شود، به تولید در تیراژ بالا ضربه خواهد زد؛ چرا که تعداد تداخل‌ها و پیچیدگی مسیرهای گذر محصولات نیمه‌ساخته بسیار شدت می‌گیرد. با تکیه بر تکنولوژی گروهی[iii] و چیدمان سلولی[iv]، محصولاتی که توالی عملیات مشابه با همدیگر دارند در یک خانواده قرار گرفته و ماشین‌آلات مرتبط با آن‌ها در یک گروه (سلول مربوط به آن خانواده) چیدمان می‌شوند [۲] تا در عین امکان تولید متنوع و تخصصی، بتوان با کاهش تداخل‌ها و پیچیدگی مسیرهای حمل و نقل محصولات نیمه‌ساخته، تولید در تیراژ بالا را امکان‌پذیر ساخت. لذا ضرورت مقایسهٔ عملکرد دو سیستم تولیدی متفاوت یا دو چیدمان مبتنی بر آنان، جهت ارتقای بهره‌وری یک سازمان، این‌جا جلوه‌گر می‌شود.

نوآوری این پژوهش از منظر ساختار در این است که برای یک تشکیلات منحصر به‌فرد فرضی، دو سیستم تولیدی متفاوت را طراحی کنیم و بر روی آن آزمایش دقیق انجام دهیم؛ اما از منظر عملکرد در این نکته نوآوری دارد که هر کدام از سیستم‌های تولیدی با استفاده از نرم‌افزار پیشرفته‌ی ARENA 13.50.1414 تحت پایش[v] و بررسی دقیق کمّی قرار گرفته‌اند. در نگاه نخست شاید تفاوتی بین دو سیستم فرآیندی و تکنولوژی گروهی در واحد تولیدی بررسی شدهٔ این مقاله به نظر نرسد؛ اما شاخص‌هایی برای سنجش عملکرد آن‌ها انتخاب و اندازه‌گیری شده است که تفاوت آن‌ها را نمایان می‌سازد. این شاخص‌ها عبارتند از: (۱) مدت زمان انتظار در صف برای هر ماشین، (۲) متوسط مدت زمان حضور در سیستم برای هر محصول،(۳) تعداد محصول خروجی در یک پریود زمانی خاص (در این‌جا روزانه) و نهایتاً (۴) متوسط طول صف روزانه برای هر ماشین.

مبنای کار این پژوهش بر این حقیقت استوار است که شبیه‌سازی رایانه‌ای (با نرم‌افزار ARENA) قادر است جزئیات یک سیستم تولیدی را به‌صورت کمّی بسنجد و گزارش کند. واحد تولیدی مطالعه‌شده در این پژوهش، کارگاهی خیالی است که اتصال زیرین نوعی شیر آب را تولید می‌کند؛ به‌طوری‌که این نوع شیر آب در دو قطر متفاوت تولید خواهد شد؛ زیرا این تولیدی به دو نوع ماشین تراشکاری و سه نوع ماشین فرزکاری با دقت‌های متفاوت مجهز است. شرح دقیق‌تر این مطلب در ادامه آمده است.

در بخش‌های بعدی، این مقاله ابتدا به شبیه‌سازی سیستم عادی کارگاه یادشده مبادرت می‌ورزد (منظور سیستم کارگاهی است) و فاکتورهای مدنظر برای مقایسه را در اجرای این سیستم به مدت ۸۰ ساعت (معادل با ۱۰ روز کاری [یا ۴۸۰۰ دقیقه]) اندازه گرفته است. سپس برای تغییر این سیستم به تکنولوژی گروهی، گام‌های اولیه، نظیر تشکیل خانواده‌های محصول برداشته شده و گروه‌های ماشین‌آلات ایجاد می‌شوند. در ادامه، سیستم تازه‌تشکیل بر مبنای تکنولوژی گروهی، شبیه‌سازی شده و مجدداً همان فاکتورها، اندازه‌گیری می‌گردند. این مقاله، پس از آن، تفاوت موجود در دو سیستم اعمال‌شده بر تشکیلات تولیدی مدنظر را به لحاظ فاکتورهای اندازه‌گیری‌شده در بخش‌های پیشین، تحلیل می‌کند و نتیجه را برای اتخاذ تصمیم نهایی برای این تولیدی ارائه خواهد کرد.

۲. مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش

سیستم تولید کارگاهی عبارت است از طراحی سیستم تولیدی به نحوی که ماشین‌آلات با قابلیت‌های مشابه و عملکرد یکسان در کنار هم در قسمتی مجزا قرار بگیرند؛ چیدمان چنین سیستمی بر اساس نزدیکی فرآیندهای مشابه صورت می‌پذیرد؛ لذا به چیدمان این سیستم، فرآیندی یا عملیاتی می‌گویند. چیدمان مبتنی بر فرآیند با زمان توالی عملیات و کار در جریان[vi] بالا شناخته می‌شوند [۳]. سیستم تولیدی تکنولوژیِ گروهی عبارت است از گروه‌بندی قطعات مشابه با هم (به لحاظ فرآیند تولید) و چیدمان ماشین‌آلات به نحوی که برای تولید قطعات آن خانواده‌ی محصول مناسب باشند [۳]. مزیت عمدهٔ تکنولوژی گروهی در این است که با حفظ امکان تولید محصولات متنوع، امکان تولید در تیراژ نسبتاً بالا را هم برای سیستم به ارمغان می‌آورد. ویژگی‌های این دو سیستم تولیدی با هم تفاوت‌های بسیاری دارد که این مطلب موجب می‌شود تا هر کدام در شرایط گوناگون انتخاب‌شده توسط تولیدگر قرار گیرند. با مقایسهٔ این دو سیستم مشاهده می‌گردد که در مجموع در مکان‌هایی که هر دو سیستم قابل پیاده‌سازی است، سیستم تکنولوژی گروهی، وضعیت مطلوب‌تری در مقایسه با سیستم تولید کارگاهی فراهم می‌آورد. در جدول (۱) پیشینهٔ مطالعات در این زمینه خلاصه شده است.

در مقاله‌ای مروری، دسته‌بندی‌های بسیاری مناسبی از جوانب

مختلف، برای پژوهش‌های مربوط به تکنیک‌ها و مدل‌های برنامه‌ریزی توزیع و تولید یکپارچه آمده است که عبارتند از دسته‌بندی به لحاظ پیچیدگی روش، دسته‌بندی بر اساس نوع روش حل و نیز حتی دسته‌بندی بر اساس تأثیرگذاری بر پژوهش‌های آینده‌ی حوزهٔ توزیع و تولید یکپارچه [۱۳].

جدول (۱) بررسی پیشینهٔ مطالعات مشابه

نوآوری	معیارهای سنجش عملکرد	منبع
تغییر تصادفی زمان‌های پردازش برای تعیین سیاست تولید	متوسط زمان تولید / قابلیت پیش‌بینی زمان‌های تکمیل	[4]
مقایسه‌ی میزان رفت و آمدها	رضایت شغلی	[5]
مقایسه‌ی چیدمان‌های فرآیندی، سلولی و ترکیبی میان آن دو با تقاضاهای احتمالی و قطعی	۳ شاخص صفی[I] و ۳ شاخص جابه‌جایی[II]	[6,7]
تبدیل چیدمان فرآیندی به سلولی	کار در جریان / متوسط حضور در سیستم	[8]
استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی سیستم تولیدی فرآیندی با استفاده از نرم‌افزارهای Arena، SIMAN و ProModel.	متوسط زمان پردازش محصول به ازای هر ماشین / سهم هر محصول در حجم ورودی به کارخانه بر حسب درصد	[9]
اتخاذ روشی چند شاخصه برای حل مسأله‌ی بارگذاری و بارگیری در کارخانجات مجهز به وسایل حمل‌ونقل اتوماتیک (AGV)	زمان کمبود / زمان انتظار / متوسط فاصله‌ی طی شده	[10]
استفاده از الگوریتم‌های تکاملی در شبیه‌سازی برای یافتن پاسخ تقریبی زمان‌بندی توزیع چندمحصولی در صنعت چاپ	متوسط و حداکثر زمان حضور در سیستم / متوسط و حداکثر زمان تأخیر در ورود	[11]
مقایسه‌ی عملکرد یک سیستم با حالت مجهز شده‌ی آن به تکنولوژی سلولی در صنعت ساخت هارد دیسک	کارایی گروه‌بندی / جریان درون‌سلولی محصول / فاصله‌ی کار در جریان	[12]

[I] متوسط طول صف، متوسط زمان انتظار در صف، متوسط حضور در سیستم

[II] متوسط زمان جابه‌جایی، متوسط مسافت طی شده، متوسط زمان در جریان

۳. روش پژوهش

در این مقاله با شبیه‌سازی دو سیستم فرآیندی و تکنولوژی گروهی در یک واحد تولیدی مربوط به ساخت اتصالات شیرآلات ساختمانی از طریق نرم‌افزار ARENA به استخراج مقادیر شاخص‌های صفی و عملکردی از قبیل متوسط مدت زمان انتظار در صف برای ورود به هر ماشین، متوسط تعداد در صف برای ورود به هر ماشین، متوسط زمان تحت پردازش، متوسط زمان حضور در سیستم، کل تعداد خروجی (در یک پریود ۱۰ روزه)، تعداد محصول واردشده به سیستم (در یک پریود ۱۰ روزه)، متوسط زمان در حال انتقال و متوسط زمان انتظار در صف برای هر یک از محصولات مبادرت ورزیده شده است. پژوهشگران مقالهٔ حاضر با مقایسهٔ مقادیر شاخص‌های مربوط به هر سیستم تولیدی با یکدیگر به معیار صحیحی برای ارزیابی هر یک و انتخاب سیستم برتر نایل گشته‌اند که در قسمت بحث و نتیجه‌گیری به تفصیل مشروح آمده است.

۱.۳. مشخصات کارگاه تولیدی تحت پژوهش

در این کارگاه اتصالات مربوط به شیرآلات با دو قطر متفاوت ۶ و ۸ میلی‌متر تولید خواهد شد؛ اما در برخی از موارد به دلیل بروز خطای احتمالی در فرآیند تولید، ممکن است اتصال زیرین شیر آب دارای زایده‌ای ناخواسته باشد که مانع سوار شدن شیر اصلی بر روی آن خواهد گردید. لذا این دسته از قطعات به کارخانه عودت داده شده و مجدداً تحت فرآیند تراشکاری قرار می‌گیرد. البته این تراشکاری می‌باید با دقتی بسیار بالاتر از فرآیند عادی تراشکاری صورت پذیرد. ضمناً گاهی اوقات نیز احتمال دارد مشتری از کم‌بودن قطر داخلی شیر ناراضی باشد. این اتفاق می‌تواند به دلیل بروز خطا در اندازه‌گیری قطر در حین ساخت محصول رخ داده باشد، سفارش مربوطه به غلط ثبت شده باشد و یا ممکن است نظر مشتری پس از ثبت سفارش تغییر کرده باشد. در هر سه صورت برای تشکیلات تولیدی مطالعه‌شده در این پژوهش، تنها امکان

بزرگ‌تر کردن قطر داخلی اتصال زیرین شیر وجود دارد نه کوچک‌ترنمودن آن. در این مقاله، برای سهولت کار، از این پس به جای واژه‌ی «اتصال زیرین شیر آب»، به‌اختصار، واژهٔ «شیر» استفاده می‌گردد. با اوصافی که رفت، می‌توان چهار نوع محصول مختلف را برای این واحد تولیدی متصور بود که عبارتند از شیر عادی (قطر ۶ *mm*) تحت عنوان محصول A، شیر با قطر ۸ *mm* (محصول B)، شیر تعمیری (محصول C) و شیر افزایش قطر (محصول D). الگوی ورود هر یک از این محصولات به کارگاه، محاسبه‌شده از طریق فرآیندهای زمان‌سنجی، در جدول (۲) درج شده است (سلول‌های خالی بدین معنا هستند که آن محصول به پردازش با آن ماشین احتیاجی ندارد).

جدول (۲) الگوهای مربوط به زمان‌های پردازش و زمان ورود محصولات مختلف

صفت	زمان پردازش سمباده‌کاری		زمان پردازش فرزکاری		زمان پردازش تراشکاری		فاصله‌ی ورود به سیستم	
محصول	مشخصهٔ توزیع (*min*)	توزیع	مشخصهٔ توزیع (*min*)	توزیع	مشخصهٔ توزیع (*min*)	توزیع	مشخصهٔ توزیع (*min*)	توزیع
A	۱۶	ثابت	۶۰/۳۱۲۵	نمایی	۱۵/۶۱۲۵	نمایی	۹۵/۹۱	نمایی
B	۲۰	ثابت	۶۲/۷۸۴۲	نمایی	۲۲/۴۷۶۳	نمایی	۱۰۸/۷۷	نمایی
C	۳۵	ثابت	–	–	۱/۵۵۲۶	نمایی	۱۱۷/۲۳	نمایی
D	۴۴	ثابت	۱/۱۴۸۸	نمایی	–	–	۱۵۹/۱۴	نمایی

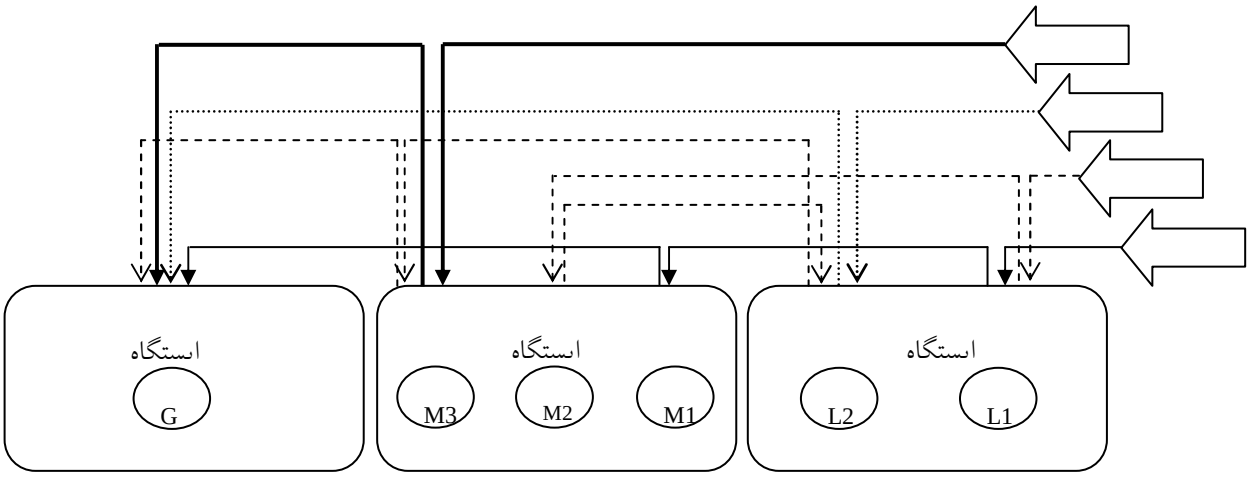
این کارگاه مجهز به شش ماشین به شرح زیر است: (۱) دو ماشین تراشکاری، L1 با دقت معمولی (۰/۱ میلی‌متر) و L2 با دقت بالا (۰/۰۰۱ میلی‌متر)؛ (۲) سه ماشین فرزکاری، M1 با دقت معمولی (۱ میلی‌متر) و استقامت بالا (برچسب مصرف انرژی A)، M2 با دقت معمولی (۱ میلی‌متر) و استقامت پایین (برچسب مصرف انرژی C) و M3 با دقت بالا (۰/۰۱ میلی‌متر) و استقامت پایین (برچسب مصرف انرژی C) و (۳) یک عدد ماشین سمباده‌کاری: G. توالی عملیات هر یک از چهار محصول تعیین شده تحت ماشین‌های در دسترس این کارگاه تولیدی، به شرح زیر می‌باشد: برای A: L1- M1- G، برای B: L1- M2- L2- M3- G، برای C: L2- G و برای D: M3- G. ضمناً برای هیچ از محصولات اولویتی قرار داده نشده است تا مدلسازی آن ساده‌تر انجام پذیرد.

۲.۳. شبیه‌سازی سیستم تولید کارگاهی در کارگاه تولید اتصال شیر

برای طراحی سیستم فرآیندی یا تولید کارگاهی، سوله‌ی مربوط به این تولیدی به سه ایستگاه زیر تقسیم می‌گردد: (۱) *فرآیند تراشکاری*: این کارگاه مجهز به ماشین‌های L1 و L2 می‌باشد. (۲) *فرآیند فرزکاری*: این کارگاه مجهز به ماشین‌های M1، M2 و M3 می‌باشد. (۳) *فرآیند سمباده‌کاری*: این کارگاه مجهز به ماشین G می‌باشد (شکل ۱).

البته فرآیندهای آماده‌سازی نهایی، رنگ، بسته‌بندی و انبار هم در این کارگاه موجود هستند، اما چون در هر دو سیستم تولیدی کاملاً مشابه با یکدیگر عمل می‌کنند، لزومی به وارد شدن به مسئله را ندارند. در شکل(۱) می‌توان به وضوح، پیچیدگی و ناکارآمدی این سیستم تولیدی را با چشم دید، اما برای یک سخن علمی، دلیل کافی و قانع‌کننده‌ای را فراهم نمی‌آورد. فواصل زمانی گذر یک محصول نیمه‌ساخته بین هر دو ماشین این سیستم بدین صورت تعیین شده است: تغییردادن ایستگاه و عبور از طول یک ایستگاه، هر یک ۵ دقیقه و عبور بین دو ماشین مجاور درون یک ایستگاه کمتر از یک دقیقه (که در این پژوهش به دلیل ناچیز بودن مقدار آن، صرف‌نظر شده است). سلول‌های خالی بدین معنا هستند که تبادل محصول میان آن زوج ماشین متناظر لازم نیست. در واقع تنها تفاوتی که در این مطالعه بین دو سیستم مورد طراحی مدّنظر قرار گرفته است، همین فواصل زمانی انتقال محصولات بین ماشین‌آلات است. مدل نهایی هر دو سیستم تولیدی تا حد زیادی با یکدیگر مشابه طراحی شده است. پس از اجرای برنامه‌ی شبیه‌سازی ARENA برای این مدل نتایج زیر کسب شده است. این نتایج را در دو دستهٔ کلی

شاخص‌های ماشین‌مبنا و محصول‌مبنا تقسیم‌بندی و به‌ترتیب، در جداول (۳) و (۴) نمایش داده شده‌اند.



شکل (۱) چیدمان مربوط به سیستم تولیدی فرآیندی یا کارگاهی[۲]

جدول (۳) نتایج ماشین‌مبنای حاصل از شبیه‌سازی مدل سیستم تولید کارگاهی[۲] با استفاده از نرم‌افزار ARENA

ماشین	میانگین	L1	L2	M1	M2	M3	G
متوسط مدت زمان انتظار در صف برای ورود به هر ماشین (*min*)	۱۰۰۸/۲۱۷	۹۹۴/۰۲	۱۰۷۴/۸۷	۹۰۲/۶۷	۸۹۲/۹۲	۱۰۸۶/۶۲	۱۰۹۳/۲۰
متوسط تعداد در صف برای ورود به هر ماشین	۱۰/۸۸۶	۱۸/۷۱۲۳	۱۰/۵۹۷۹	۷/۰۸۱۲	۵/۹۶۶۱	۷/۸۴۶۷	۱۵/۱۱۳۷

جدول (۴) نتایج محصول‌مبنای حاصل از شبیه‌سازی مدل سیستم تولید کارگاهی[۲] با استفاده از نرم‌افزار ARENA

شاخص (یکا)	کل	محصول A	محصول B	محصول C	محصول D
متوسط زمان تحت پردازش[۶] (*min*)	۱۶/۶۵۱	۲۲/۷۶۰۱	۱۹/۹۵۸۹	۱۲/۸۵۲۴	۱۱/۰۳۱۶
متوسط زمان حضور در سیستم (*min*)	۲۰۵۰/۷۰۳	۲۰۳۹/۸۴	۲۳۰۴/۲۶	۱۸۹۶/۶۵	۱۹۶۲/۰۶
کل تعداد خروجی (در ۱۰ روز)	۳۵	۱۲	۲	۱۳	۸
تعداد محصول وارد شده به سیستم (در ۱۰ روز)	۱۶۳	۵۳	۴۰	۳۹	۳۱
متوسط زمان در حال انتقال (*min*)	میانگین: ۱۷/۵	۲۰	۳۰	۱۵	۵
متوسط زمان انتظار در صف (*min*)	۱۹۳۹/۱۸۸	۱۹۳۰/۰۴	۲۰۷۱/۰۷	۱۸۴۳/۸۲	۱۹۱۱/۸۲

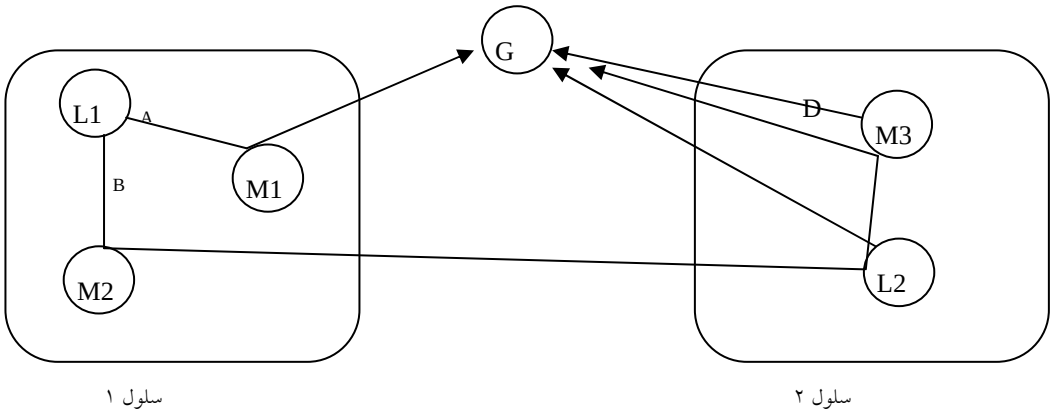
۳. ۳. شبیه‌سازی سیستم تولید تکنولوژی گروهی در کارگاه تولید اتصال شیر

این سیستم برای پیاده‌سازی مستلزم اقداماتی اولیه است که در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته می‌شود. نخستین گام برای طراحی یک سیستم تکنولوژی گروهی، تشکیل ماتریس ماشین قطعه و سپس استفاده از یکی از روش‌های موجود برای تشخیص خانواده‌های محصول و گروه‌های ماشین‌آلات مربوط به هر سلول است. این مقاله از روش دودویی [۱۴] برای این کار استفاده نموده است که با استفاده از تکنیک حذف موقت ماشین و قطعه‌ی بحرانی (یعنی ماشین G و قطعه‌ی B) و طی دو مرحله، به سادگی صورت پذیرفته است. برای ماشین G محلی خارج و مابین دو سلول تشکیل شدهٔ نهایی در نظر گرفته شده است. برای محصول B نیز یک برنامه‌ریزی تولید مجزا و خارج از برنامهٔ کلی انجام پذیرفته است. لازم به ذکر است که ماشین M2 به دلیل منحصربودن به محصول B از فهرست

ماشین‌آلات این روش موقتاً حذف گردیده و در نهایت کار به دلخواه، به یکی از دو سلول تخصیص داده شده است. سایر محصولات و ماشین‌آلات به‌نحو عادی دسته‌بندی شده‌اند. پژوهشگران این مقاله در نهایت، به نتایج مندرج در (۱) و (۲) دست یافته‌اند:

$$PF1 = \{A\}, PF2 = \{C, D\}$$
$$MG1 = \{L1, M1\}, MG2 = \{L2, M3\}$$

در شکل (۲) طراحی مبتنی بر تکنولوژی گروهی مربوط به این تشکیلات تولیدی را نشان می‌دهد. فواصل زمانی گذر محصولات نیمه‌ساخته در این سیستم به این شرح است: ماشین G جایی بین دو سلول قرار داده شده است تا میزان فاصله‌اش تا هر کدام از دو سلول برابر باشد (۴ دقیقه)؛ مبادلات درون سلولی برابر با یک دقیقه فرض شده‌اند؛ و فاصلهٔ بین دو سلول برای عبور محصول B برابر با ۱۰ دقیقه فرض شده است. پس از اجرای برنامه‌ی شبیه‌سازی ARENA برای این مدل نتایج زیر کسب شده است که مجدداً در دو دستهٔ ماشین‌مبنا و محصول‌مبنا تقسیم‌بندی شده و به‌ترتیب، در جداول (۵) و (۶) به نمایش درآمده‌اند.

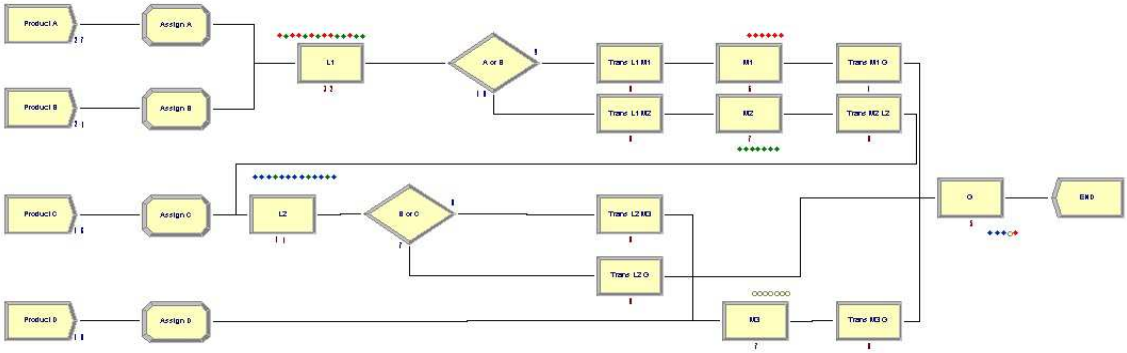


شکل (۲) طراحی سیستم تکنولوژی گروهی[۳] برای تولیدی بحث‌شده در این پژوهش

جدول (۵) نتایج ماشین‌مبنای حاصل از شبیه‌سازی مدل سیستم تولید تکنولوژی گروهی[۳] با استفاده از نرم‌افزار ARENA

ماشین	میانگین	L1	L2	M1	M2	M3	G
متوسط مدت زمان انتظار در صف برای ورود به هر ماشین (min)	۹۰۷/۹۵۲	۱۰۲۶/۴۹	۹۴۵/۶۶	۹۷۲/۲۱	۶۷۳/۹۶	۸۲۹/۸۳	۹۹۹/۵۶
متوسط تعداد در صف برای ورود به هر ماشین	۹/۵۳۵	۱۹/۶۷۶۱	۸/۵۰۱۸	۶/۶۰۸۷	۴/۹۲۴۷	۵/۵۴۷۳	۱۱/۹۴۸۹

شبیه‌سازی سیستم‌های تولیدی یاد شده در این مقاله در نرم‌افزار ARENA مطابق با شکل ۳ صورت پذیرفته است. همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌گردد، مشخص است که به‌ازای هر یک از محصولات یک ماژول ورودی، و به‌ازای هر یک از ماشین‌آلات یک ماژول پردازش تعریف گردیده است. فواصل زمانی بین ماشین‌آلات مطابق با هر یک از دو سیستم تولیدی متفاوت ولی نظام‌مند تعیین شده است. فواصل زمانی درون‌کارگاهی و برون‌کارگاهی در Jobshop و نیز فواصل درون‌سلولی و برون‌سلولی در GT متحد با یکدیگر تعیین گشته‌اند. تصویر زیر نشان می‌دهد که محصولات نیمه‌ساخته برای ورود به برخی از ماشین‌آلات با صف انتظار مواجه می‌گردند و لذا بر مدت زمان حضور در سیستم‌شان افزوده می‌گردد.



شکل (۳) تصویری از طراحی سیستم تولید در نرم‌افزار شبیه‌سازی در حالت فعال

جدول (۶) نتایج محصول‌مبنای حاصل از شبیه‌سازی مدل سیستم تولید تکنولوژی گروهی[۳] با استفاده از نرم‌افزار ARENA

شاخص	کل	محصول A	محصول B	محصول C	محصول D
متوسط زمان تحت پردازش[۶] (*min*)	۵۸/۳۰۷	۲۰/۱۶۲۶	۲۲/۲۷۳۴	۱۰/۳۵۴۵	۵/۵۱۶۵
متوسط زمان حضور در سیستم (*min*)	۱۹۸۷/۱۶	۱۸۹۰/۵۹	۳۱۵۶/۸۶	۱۳۶۶/۰۲	۱۵۳۵/۱۷
کل تعداد خروجی (در ۱۰ روز)	۳۴	۱۰	۵	۱۱	۸
تعداد محصول وارد شده به سیستم (در ۱۰ روز)	۱۴۹	۴۸	۴۸	۳۳	۲۰
متوسط زمان در حال انتقال (*min*)	میانگین: ۸/۵	۶	۱۸	۴	۴
متوسط زمان انتظار در صف (*min*)	۳۶۵/۹۳۲۹	۷۶/۷۲۲۶	۲۰۵/۴۱	۳۷/۹۲۴۳	۴۵/۸۷۶۰

۴. نتایج و بحث

همان‌طور که جدول (۴) نشان می‌دهد در سیستم تولید کارگاهی در طول مدت ۱۰ روز کاری، از میان ۱۶۳ محصول آغاز به ساخت شده، تنها ۳۵ محصول تمام‌شده از خط تولید خارج می‌گردد. این یعنی نسبت محصول تمام شده به کل محصولات در جریان ۰/۲۱۴۷۲ در یک پریود ده روزه است. البته مطابق با جدول (۷)، در طول مدت مشابه (۱۰ روز کاری) از میان ۱۴۹ محصول وارد شده به سیستم در چیدمان جدید ۳۴ محصول تمام شده از سیستم خارج گردیده است. یعنی نسبت تعداد محصولات تمام شده به کل محصولات در جریان در پریود ۱۰ روزه برابر با ۰/۲۲۸۱۹ است که از چیدمان سیستم فرآیندی کمی بیشتر است. مطابق با جدول (۳)، از منظر متوسط زمان انتظار در صف، ماشین G و از نقطه نظر متوسط تعداد قطعه‌ی منتظر در صف، ماشین L1 گلوگاه این سیستم تشخیص داده می‌شود. این در شکل (۱) هم به‌خوبی دیده می‌شود. نیز همان‌طور که جدول (۵) نشان می‌دهد ماشین G در سیستم تولیدی تکنولوژی گروهی دیگر گلوگاه سیستم به شمار نرفته و ماشین L1 (که در سیستم تولید کارگاهی رقیب G در این تشخیص بود) از هر دو منظر یاد شده، گلوگاه سیستم تشخیص داده می‌شود. ضمن آن که محصول B در هر دو سیستم، بیشترین زمان حضور در این سیستم را در مقایسه با سایر محصولات به خود اختصاص داده است (جداول (۵) و (۶)).

نتایج مندرج در بخش‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که با تغییر سیستم تولید، شاخص‌های صفی و انتقالی از نظیر متوسط طول صف ماشین‌ها، متوسط مدت زمان‌های انتظار در صف ماشین‌ها و محصولات و متوسط زمان انتقال محصولات و نیز شاخص‌های عملکردی نظیر نسبت تعداد محصول خروجی به کل تعداد محصول حاضر در سیستم (بازده‌ی سیستم)، متوسط زمان در حال پردازش و متوسط زمان حضور در سیستم محصولات بهبود یافته‌اند (دقت شود در مورد زمان در حال پردازش، افزایش، نمایانگر بهبود تلقی می‌گردد). همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، از محصول B که به لحاظ تعداد پردازش‌های مورد نیاز، استثناء و بحرانی تشخیص داده شده بود، تنها دو گزینهٔ تمام‌شده در طول مدت ۸۰ ساعت کاری متوالی از سیستم تولید کارگاهی خارج شده است؛ این در حالی است که در سیستم تولید تکنولوژی گروهی این تعداد به ۵ محصول در طول

همان مدت زمان افزایش یافته است. محصول A بیشترین زمان تحت پردازش را لازم دارد؛ ولی محصول B بیشترین حضور را در سیستم به خود اختصاص داده است. این یعنی محصول بحرانی و نیازمند به پردازش فراوانِ B، در رأس فهرست محصولات از نظر مدت زمان پردازش لازم قرار نگرفته است (یک نشانهٔ دیگر برای رضایت‌بخش‌بودن سیستم تولید تکنولوژی گروهی). نیز در تغییر چیدمان و سیستم تولیدی این کارگاه، تعداد محصولات نیمه‌ساخته‌ی روزانه از ۱۲۸ به ۱۱۵ محصول در ۱۰ روز کاری کاسته می‌شود. این رخداد حاکی از توفیق عمل تغییر سیستم جدید تولید و چیدمان ماشین‌آلات است. به‌طورکلی هم شاخص‌های صفی‌انتقالی و هم شاخص‌های عملکردی در سیستم تولید تکنولوژی گروهی، نسبت به سیستم تولید کارگاهی بهبود یافته‌اند. البته باید در نظر داشت که تنها تفاوت این دو سیستم در مثال مفروض این مطالعه، فواصل زمانی حمل محصولات بین ماشین‌آلات، در نظر گرفته شده است. یعنی با ارتقای ماشین‌آلات، افزایش تعداد ماشین‌های بحرانی و اقدامات دیگری از این دست، می‌توان بازده و بهره‌وری سیستم را به میزان درخور توجهی افزایش داد. در یک جملهٔ کلی می‌توان چنین اذعان نمود که نتایج این پژوهش در مجموع سیستم تولیدی تکتولوژی گروهی را نسبت به سیستم تولید کارگاهی ارجح نشان داده و تغییر سیستم و چیدمان ماشین‌آلات را به مدیریت پیشنهاد می‌نمایند.

۵. نتیجه‌گیری

پیش از برنامه‌ریزی تولید یک واحد تولیدی، دانستن مشخصات مربوط به چیدمان‌های مختلف، می‌تواند رهگشای بسیاری از مشکلات ممکن باشد. از این رو، مطالعه‌های پیش از تعیین و طراحی سیستم، امری مهم تلقی می‌گردد. در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای ARENA، دو سیستم تولید کارگاهی و تکنولوژی گروهی برای یک واحد تولید کنندهٔ اتصالات زیرین شیرآلات ساختمانی، به طور مجزا، شبیه‌سازی، اجرا و مقایسه شدند. نرم‌افزار مذکور به دلیل قدرت عمل بالایش در بی‌نیازی به تغییرات زیاد ماژول‌ها، در تغییر چیدمان‌ها، انتخاب گردیده است. نرم‌افزار ARENA ساخت‌یافته و شیءگرا بوده و تمامی قابلیت‌های نرم‌افزارهایی نظیر SIMAN را نیز در خود جای داده است.

به دنبال نتایج به‌دست‌آمده از اجرای دو مدل طراحی‌شدهٔ مختلف برای تشکیلات تولیدی پژوهش‌شده و با مقایسهٔ مقادیر حاصل، می‌توان چنین نتیجه گرفت که تغییر سیستم تولید این واحد تولیدی از سیستم تولید کارگاهی[۲] به تکنولوژی گروهی[۳] باعث ارتقاء کیفیت و بهره‌وری تولید آن شده و شاخص‌های صفی‌انتقالی و عملیاتی آن را بهبود می‌بخشد. به عنوان مثال تعداد محصول نیمه‌ساختهٔ روزانه به میزان ۰/۷ محصول (یا همان ۷ محصول در هر ۱۰ روز) و متوسط زمان انتظار در صف محصولات به میزان ۱۵۷۳/۲۵۵۱ دقیقه کاسته می‌شود؛ یعنی بهره‌وری تولید به طور محسوسی ارتقاء یافته است. لذا تصمیمی که به مدیران این واحد تولیدی پیشنهاد می‌گردد، اجرای سیستم تکنولوژی گروهی و تخصیص چیدمان ارائه شده در این پژوهش است.

نتایج برآمده از این تحقیق برای مدیران واحد تولیدی تحت بررسی روشن می‌سازد که با کدام یک از دو سیستم مطالعه شده، به نتایج بهتری دست می‌یابیم؛ سپس با انتخاب سیستم برتر GT، به چیدمان ماشین‌آلات خود پرداخته و با کمینه‌کردن هزینه‌های گوناگون و بیشینه‌کردن توأمان مزایای دست‌یافتنی، به فرآیندهایی مطلوب‌تر نایل گردند. انجام‌ندادن چنین مطالعه‌ای برای مدیران، سردرگمی ایجاد کرده و تصمیم آنان را برای تعیین سیستم اصلی واحد تولیدی در هاله‌ای از ابهام قرار می‌دهد. این پژوهش و پژوهش‌هایی از این دست، می‌توانند در صنایع تولیدی و خدماتی، پشتیبان مدیران و تصمیم‌گیران اصلی قرار گرفته و پیش‌زمینهٔ یک تصمیم‌گیری علمی و مستند برای بنیان‌نهادن ساختار یک بنگاه اقتصادی باشند. با استفاده از یک مطالعهٔ علمی و بررسی حالات مختلف یک تصمیم اساسی، احتمال بروز شکست یا متحمل‌شدن زیان اقتصادی به‌حداقل رسیده و شرایط برای بقا و سودآوری در بازار رقابتی بهبود می‌یابد.

این مقاله با محدودیت‌هایی نیز مواجه بود که در رأس آن‌ها می‌توان به اطمینان‌نداشتن کافی به الگوهای زمانی مسأله اشاره نمود. از این بابت، پژوهشگران این پژوهش مجبور بودند تا مقیاس کوچکی برای این واحد تولیدی برگزیده، هم الگوی زمانی ورود را تحت کنترل این نرم‌افزار تعیین و هم توالی‌های عملیاتی را کمی دست‌کاری کنند. استفاده از توزیع‌های پیچیده‌تر برخی محدودیت محاسباتی برای مسأله به‌وجود می‌آورد. حتی در سیستم تولید کارگاهی اصولاً می‌بایست سه ایستگاه تراشکاری، فرزکاری و سمباده‌کاری تشکیل داده می‌شد؛ اما به‌دلیل متفاوت‌بودن دقت‌های تولید، هر میزان از دقت که در ایستگاهی مجزا قرار داده شود، نتایج

بهتری برای سیستم تولید تلفیقی (چیزی میان دو سیستم تولید مورد استفاده) به‌دست می‌دهد. برای سهولت کار و بدون آسیب‌رسیدن به کلیت مسأله، هیچ اولویتی برای هیچ یک از محصول‌ها منظور گردیده نشد؛ درحالی‌که در جهان واقعیت معمولاً محصولات تعمیری به‌دلیل حوصلهٔ کمتر مشتریان یا ابقای سازمان در بازار رقابتی، از اولویت پردازش بالاتری نسبت به تولید محصولات جدید برخوردار هستند. البته در برخی از موارد هم ممکن است رساندن سفارش‌های جدید به دست مشتری، دارای اولویت بیشتری باشد. برخی از داده‌ها (مانند زمان پردازش سمباده‌کاری) دارای الگوی ثابت بودند که بدون عملیات برازندگی سایر توزیع‌ها، چنین فرض شده‌اند. یعنی فرض پژوهش بدون در نظرگرفتن منحنی رشد کارگران صورت پذیرفته است. دلیل این امر هم کوتاه‌بودن پریود مقایسه‌شده است؛ زیرا معمولاً در مدت ده روز، تغییر محسوسی در زمان انجام کار مشابه توسط یک فرد عادی تقریباً مشاهده نمی‌گردد. ضمن آن که این پژوهش، به‌طور کلی، از فاکتورهای انسانی صرفه‌نظر نموده است.

لذا در تحقیقات مشابه آتی پیشنهاد می‌گردد تا این کمبودها جبران گردند و حتی‌الامکان از سیستم پیچیده‌تری برای شبیه‌سازی، بهره جسته شود تا ارزش استفاده از شبیه‌سازی در پژوهش مربوطه نمایان‌تر گردد. اولویت‌های جهان واقعیت را به محصولات نسبت داده شده و سایر توزیع‌های آماری نیز به داده‌های واقعی برازش داده شوند. ضمناً توصیه می‌شود با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر لگزیکوگراف، به‌تعیین مناسب‌تر ایستگاه‌های سیستم تولید فرآیندی پرداخته شود تا بتوان نتایج بهتری از آن را با نتایج سیستم تکنولوژی گروهی مقایسه نمود. نویسندگان این پژوهش در کار بعدی خود با استفاده از تست‌های آماری نظیر تحلیل واریانس، آزمون t زوجی و تحلیل رگرسیونی، برای مقایسه‌ی هر چه دقیق‌تر نتایج دو شبیه‌سازی با یکدیگر، بهره جسته‌اند.

واژه‌نامه:

i Flow Shop
ii Job Shop
iii Group Technology (GT)
v Cellular Manufacturing
vi Monitoring

۶. مراجع

[۱] شیرنشان، ه. بیجاری، م. و مصلحی، ق. "تعیین اندازه‌ی دسته‌ی تولید با تقاضای احتمالی و در نظرگیری سطح خدمت". مدیریت تولید عملیات، پیاپی (۴)، شماره (۱)، بهار و تابستان ۱۳۹۱.

[۲] متقی، ه. و حسین‌زاده ا. مدیریت تولید و عملیات. تهران، انتشارات آوای شروین، چاپ نهم، ۱۳۸۹.

[۳] آریانژاد، م. برنامه‌ریزی سیستم‌های تولیدی. انتشارات ترمه، تهران، چاپ پنجم، ۱۳۹۰.

[4] Baker, C. T., & Dzielinski, B. P. "Simulation of a simplified job shop", Management Science, 6(3): 311-323, 1960.

[5] Ang, C. L., & Willey, P. C. T. "A comparative study of the performance of pure and hybrid group technology manufacturing systems using computer simulation techniques". The International Journal of Production Research, 22(2): 193-233, 1984.

[6] Flynn, B. B., & Jacobs, F. R. "A simulation comparison of group technology with traditional job shop manufacturing". International Journal of Production Research, 24(5): 1171-1192, 1986.

[7] Flynn, B. B., & Jacobs, F. R. "Applications and implementation: an experimental comparison of cellular (group technology) layout with process layout". Decision Sciences, 18(4): 562-581, 1987.

[8] Morris, J. S., & Tersine, R. J. "A simulation analysis of factors influencing the attractiveness of group technology cellular layouts". Management Science, 36(12): 1567-1578, 1990.

[9] Fonseca, D. J., & Navaresse, D. 2002. "Artificial neural networks for job shop simulation". Advanced Engineering Informatics, 16(4): 241-246, 2002.

[10] Ho, Y. C., Liu, H. C., & Yih, Y. "A multiple-attribute method for concurrently solving the pickup-dispatching problem and the load-selection problem of multiple-load AGVs". Journal of Manufacturing Systems, 31(3): 288-300, 2012.

[11] Korytkowski, P., Wiśniewski, T., & Rymaszewski, S. "An evolutionary simulation-based optimization approach for dispatching scheduling". Simulation Modelling Practice and Theory, 35: 69-85, 2013.

[12] Varanujit, A., & Peerapattana, P. "The Application of Cellular Manufacturing in Hard Disk Drive Industry". Procedia-Social and Behavioral Sciences, 88: 164-172, 2013.

[13] Fahimnia, B., Farahani, R. Z., Marian, R., & Luong, L. "A review and critique on integrated production–distribution

planning models and techniques". Journal of Manufacturing Systems, 2012.
[14] Gupta, T., & Seifoddini, H. I. "Production data based similarity coefficient for machine-component grouping decisions in the design of a cellular manufacturing system". THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH, 28(7), 1247-1269, 1990.