مجله‌ی علمی و پژوهشی شریف
شهریور ۱۳۸۷، شماره‌ی چهل و سوم، ص. ۱۱-۲۰

برنامه‌ریزی و کنترل عملیات تولید سیستم‌های کارگاهی پیچیده‌ی چندمحصولی به‌کمک شبیه‌سازی فراگیر

محمدعلی آزاده (دانشیار)
صادق عمل‌نیک (استادیار)
پردیس دانشکده‌های فنی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه تهران
آرش باطنی (دکتری)
دانشکده‌ی مهندسی مکانیک و صنایع، دانشگاه تورنتو

در این نوشتار، برای کمک به تصمیم‌گیری‌های مدیریت در زمینه‌ی برنامه‌ریزی و کنترل تولید، سیستم‌های کارگاهی پیچیده‌ی چندمحصوله، مدلی فراگیر و انحصاری مبتنی بر شبیه‌سازی، ارائه شده است. این مدل فراگیر با در نظر گرفتن ۸ مدول، به‌صورت عملی در یک واحد تولیدی پیاده‌سازی شده و صحت ساختار آن براساس روش‌های معتبر آماری مورد سنجش قرارگرفته است. همچنین اعتبار و عملکرد آن توسط مدیریت آن واحد مورد تأیید قرارگرفته است. مدل پیشنهادی برای واحدهای تولیدی، ماهیت تولید کارگاهی دارد و دارای طیف گسترده‌یی از تقاضای سفارشی برای محصولات ارائه شده است. این خصوصیات، به‌طور معمول، مدیریت را در تصمیم‌گیری‌های تولید با مشکلات زیادی مواجه می‌کند. در چنین شرایطی، به‌کارگیری مدل‌های یک‌پارچه (مانند مدل پیشنهادی این مطالعه)، عملیات برنامه‌ریزی و کنترل تولید را تا حد زیادی تسهیل می‌کند. از ویژگی‌های انحصاری این نوشتار ارائه‌ی یک رویکرد فراگیر شبیه‌سازی برای سیستم‌های کارگاهی چندمحصوله با تقاضای سفارشی زیاد است. ثانیاً، مدل رویکرد شبیه‌سازی یک مدل بهینه‌ساز است که راهکارهای بهینه‌سازی سیستم مورد مطالعه را به مدیریت ارائه می‌دهد. ثالثاً مدل ارائه‌شده نه‌تنها می‌تواند برنامه‌ریزی توالی عملیات در ایستگاه‌ها را انجام دهد بلکه می‌تواند درمورد: ۱. تخصیص اولویت به سفارش؛ ۲. مقایسه‌ی وضعیت فعلی کارخانه با برنامه‌ی پیش‌بینی شده؛ ۳. تخصیص نیروی انسانی به ایستگاه‌ها؛ ۴. پذیرش سفارشات جدید؛ ۵. تعیین زمان ورود قطعات یک سفارش به کارگاه؛ ۶. اضافه‌کاری ایستگاه‌های کاری؛ ۷. تعیین توالی عملیات در ایستگاه‌ها؛ ۸. و قراردادهای جانبی، تصمیم‌گیری و مدیریت را هدایت کند.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی فراگیر، برنامه‌ریزی تولید، کنترل تولید، تولید سفارشی تولید کارگاهی، تصمیم‌گیری فراگیر.

aazadeh@ut.ac.ir
amalnick@ut.ac.ir

۱. مقدمه

شبیه‌سازی در لغت به‌معنای وانمودکردن یا تقلیدکردن است. تحلیل‌گران سیستم برای کاربرد عملی این واژه تعریف‌های مختلفی ارائه داده‌اند که همگی به ایجاد یک مدل از روی سیستم واقعی اشاره می‌کنند. به‌علاوه شبیه‌سازی می‌تواند در فاز طراحی سیستم برای آن دسته از سیستم‌هایی که موجودیت نیافته‌اند به‌منظور پیش‌بینی عملکرد آنها مورد استفاده قرارگیرد. درواقع شبیه‌سازی رایانه‌یی ابزاری برای طراحی، پیش‌بینی، تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی است. طبق تعاریف پریتسکر[۱] و شانون[۲] که از پدران علم شبیه‌سازی محسوب می‌شوند، شبیه‌سازی عبارت است از فرایند طراحی مدلی از یک سیستم واقعی و انجام آزمایش‌هایی با این مدل که با هدف پی‌بردن به رفتار سیستم، یا ارزیابی راهکارهای گوناگون برای عملیات سیستم صورت می‌گیرد. بنابراین با استفاده از شبیه‌سازی می‌توان اهداف زیر را شناسایی کرد:[۳]

۱. توصیف سیستم مورد نظر؛
۲. ارائه‌ی نظریه‌ها یا فرضیه‌هایی که رفتار سیستم را توجیه می‌کند؛
۳. پیش‌بینی رفتار آینده‌ی سیستم؛
۴. بهینه‌سازی سیستم مورد نظر؛

یکی از پیچیده‌ترین سیستم‌های تولیدی، سیستم‌های تولیدی کارگاهی چندمحصوله با تقاضای سفارش بالا است. مدل‌سازی رفتار این‌گونه سیستم‌ها با استفاده از روش‌های ریاضی-آماری غیرممکن است چراکه این‌گونه سیستم‌ها از محدودیت‌های بسیار زیاد، و خروجی و ورودی‌های متعدد تشکیل شده‌اند. شبیه‌سازی رایانه‌یی از قابلیت ایجاد مدل تصمیم‌گیری برای شرایط پیچیده‌یی که مدل‌های ریاضی یا آماری جواب‌گوی

Archive of SID
www.SID.ir

آن نیستند، برخوردار است. مدل شبیه‌سازی برای طراحی، برنامه‌ریزی، پیش‌بینی، بهینه‌سازی و بهبود تصمیم‌گیری به‌کار می‌رود.[۴-۷] مطالعات زیادی در زمینه‌ی شبیه‌سازی سیستم‌های تولیدی انجام شده است که هریک از آنها مبین انعطاف‌پذیری و اهمیت بالای رویکرد شبیه‌سازی رایانه‌یی است.[۸-۲۵] حتی مطالعاتی در زمینه‌ی سیستم‌های تولیدی کارگاهی چندمحصوله‌ی سفارشی با استفاده از شبیه‌سازی انجام شده است، اما آنها بخشی از کل سیستم را در قالب یک یا چند هدف ویژه در نظر گرفته‌اند و سیستم به‌صورت فراگیر مدل‌سازی نشده است.[۲۶-۳۳] درواقع برخی از آنها بر شبیه‌سازی زمان‌بندی تولید ایستگاه‌ها، و برخی دیگر بر شبیه‌سازی عوامل اثرگذار بر زمان جریان و عملکرد خروجی ایستگاه‌ها تمرکز دارند. کامل‌ترین آنها که مورد شناسایی قرارگرفته است اثر انعطاف‌پذیری، سازوکار سفارش و قوانین زمان‌بندی را با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌یی به دست می‌آورد.[۲۱] هدف از انجام این مطالعه ارائه‌ی راهکاری فراگیر به‌منظور مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌های کارگاهی پیچیده‌ی چندمحصولی با تقاضای سفارشی بالا است. فوائد حاصل از این‌گونه مدل‌سازی عبارت‌اند از:

۱. مقایسه‌ی وضعیت فعلی کارخانه با برنامه‌ی پیش‌بینی شده؛

۲. تصمیم‌گیری درمورد تخصیص نیروی انسانی به ایستگاه‌های کاری؛

۳. تصمیم‌گیری درمورد تعیین توالی عملیات در ایستگاه‌ها؛

۴. تصمیم‌گیری درمورد تخصیص اولویت به سفارشات؛

۵. تصمیم‌گیری درمورد تعیین زمان ورود قطعات پیک سفارش به کارگاه؛

۶. تصمیم‌گیری درمورد اضافه‌کاری ایستگاه‌ها؛

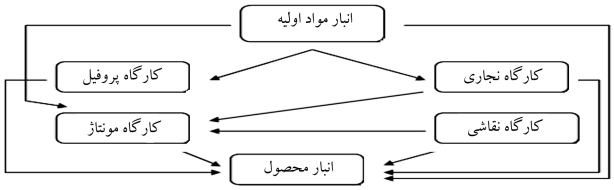
۷. تصمیم‌گیری درمورد قراردادهای جانبی؛

۸. تصمیم‌گیری درمورد پذیرش سفارشات جدید.

بنابراین یکی از ویژگی‌های انحصاری این مطالعه، شبیه‌سازی فراگیر سیستم کارگاهی چندمحصوله با تقاضای سفارش بالا به‌ترتیبی است که اهداف فوق محقق شوند. به‌عبارت دیگر، مطالعات شبیه‌سازی انجام شده در این زمینه با پی‌بردن به یک یا برخی از اهداف بالا، و نیز فراگیر درنظرگرفتن سیستم مورد مطالعه (با کلیه‌ی پارامترها و محدودیت‌ها) صورت گرفته است. درصورت برآورده‌ساختن ۸ هدف ذکر شده در این مطالعه به‌وسیله‌ی یک مدل شبیه‌سازی، می‌توان ادعا کرد که مدل شبیه‌سازی درواقع مدل بهینه‌سازی نیز هست که می‌تواند پاسخ‌گوی ابهامات مدیریت در زمینه‌های مختلف باشد. این امر مخصوصاً درکشور ما از اهمیت فوق‌العاده‌یی برخوردار است، زیرا به نظر می‌رسد مدیران بسیاری از واحدهای تولیدی به ابزارهایی نیازمندند تا آنها را در جهت مرتفع ساختن گلوگاه‌های تولید، سفارشات، مواد اولیه، نیروی انسانی و برنامه‌ریزی هدایت کند. شبیه‌سازی رایانه‌یی چنانچه اولاً صحیح مدل‌سازی شده باشد و ثانیاً مانند مدل این تحقیق به‌صورت فراگیر با در نظرگرفتن ۸ هدف یادشده طراحی شده باشد، این مسیر را هموار می‌سازد.[۳۴-۳۸] درواقع مدل شبیه‌سازی رایانه‌یی فراگیر این مطالعه می‌تواند به‌عنوان الگوی مناسب برای سیستم‌های کارگاهی چند محصوله با تقاضای سفارش بسیار سودمند باشد.

۲. شمای کلی کارخانه

کارخانه‌یی که در این پروژه شبیه‌سازی می‌شود، یک واحد تولیدی با چیدمان کارگاهی[۱] است که محصولات متنوعی از قبیل میز، صندلی، جداساز (پارتیشن)، کمد و فایل



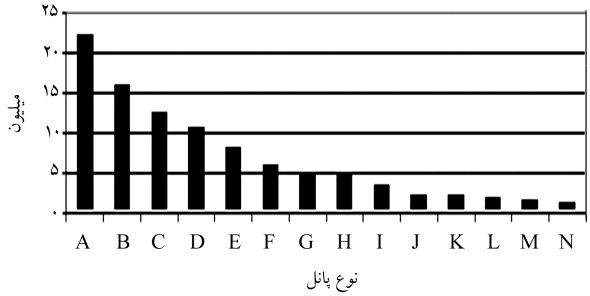
شکل ۱. نمای کلی گردش موارد در کارخانه.

بایگانی تولید می‌کند. این کارخانه از ۴ کارگاه جداگانه تشکیل شده است: کارگاه پروفیل، کارگاه نجاری، کارگاه نقاشی و کارگاه مونتاژ. محصولات این کارخانه اغلب به‌صورت قطعات پیش‌ساخته تولید شده و به بازار عرضه می‌شود. این قطعات طوری طراحی شده‌اند که به‌راحتی در محل مصرف و توسط مشتری مونتاژ شده و شکل محصول نهایی را به خود می‌گیرند. برخی از محصولات نیز درکارخانه و در کارگاه مونتاژ به هم متصل شده، و به‌صورت محصول ساخته شده به بازار عرضه می‌شوند. در ادامه، این محصولات و فرایند تولید آنها با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرند. شکل ۱ نمای کلی گردش مواد درکارخانه را نشان می‌دهد.

۳. بررسی محصولات و تحلیل میزان تولید

در این کارخانه محصولات بسیار متنوعی تولید می‌شود که عبارت‌اند از: انواع میز، صندلی، جداساز (پارتیشن)، کمد و فایل بایگانی. همان‌طور که اشاره شد، اغلب محصولات این کارخانه به‌صورت قطعات پیش ساخته عرضه می‌شوند که می‌توانند در محل مصرف و توسط مشتری به هم متصل شده و شکل محصول مورد نظر را به خود بگیرند. قطعات این کارخانه را می‌توان به دو دسته‌ی کلی تقسیم کرد: پروفیل‌ها که اسکلت و چارچوب اصلی محصولات را تشکیل می‌دهند، و پانل‌های چوبی که نقش پرکننده دارند و در داخل این اسکلت جای می‌گیرند. از دید تقاضا نیز می‌توان محصولات این کارخانه را به دو گروه کلی تقسیم کرد: محصولاتی که از تقاضای زیادی برخوردارند و بنابراین توسط کارخانه تولید شده و در بازار فروخته می‌شوند، و محصولات سفارشی که بنا به درخواست مشتریان با مشخصات خاص تولید می‌شوند.

تنوع زیاد محصولات تولیدی در این کارخانه باعث شده است که امکان بررسی همه‌ی آنها به‌صورت جداگانه وجود نداشته باشد. بنابراین محصولات اصلی کارخانه به‌کمک تجزیه و تحلیل پارتو شناسایی شده و مورد تأکید بیشتر قرارگرفته‌اند. به‌عنوان نمونه نمودار پارتو مربوط به پانل‌های مهم که با کد A الی N مشخص شده‌اند در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نمودار پارتو مربوط به پروفیل‌های تولیدی.

Archive of SID
www.SID.ir

۴. تحلیل فرایند تولید

عملیات تولید در این کارخانه در ۴ کارگاه نجاری، پروفیل، نقاشی و مونتاژ انجام می‌گیرد. کلیه‌ی عملیات تولید پروفیل‌ها ــ که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از برش اولیه، سوراخ‌کاری، قفل‌زنی، پرداخت و بسته‌بندی ــ در کارگاه پروفیل انجام می‌شود. در کارگاه نجاری پانل‌ها شکل کلی خود را به دست می‌آورند؛ مهم‌ترین عملیاتی که در این کارگاه صورت می‌گیرد عبارت‌اند از: برش اولیه، پرس، درزکردن، دورکردن، ابزارزدن، زاویه‌بری، و شیارزنی. درکارگاه نقاشی نیز پوشش لازم بر روی پانل‌ها کشیده می‌شود؛ عملیات اصلی این کارگاه عبارت‌اند از: سمباده‌زنی، بتونه‌کاری، نقاشی و کوره. بیشتر محصولات این کارخانه به‌صورت مجموعه‌ی قطعات عرضه می‌شوند و در محل مصرف به‌راحتی مونتاژ می‌شوند. تعداد کمی از محصولات که عملیات مونتاژ پیچیده‌تری دارند نیز در داخل کارخانه و درکارگاه مونتاژ به هم متصل شده و به‌صورت محصول آماده به مشتری عرضه می‌شوند.

براساس تحلیل میزان تولید انجام شده، نمودار جریان عملیات[۲] برای فرایندهای اصلی این کارخانه تهیه شده است. جدول ۱ یک نمونه از نمودارهای جریان عملیات تهیه شده را نشان می‌دهد.

۵. تجزیه و تحلیل زمان عملیات

پس از مشخص‌شدن فرایند تولید قطعات اصلی کارخانه، نوبت تجزیه‌و تحلیل زمان عملیات در ایستگاه‌های تولید است. در این مرحله زمان انجام عملیات تولید بر روی یک دسته از قطعات[۳] برآورد می‌شود.[۳۹-۴۰] علاوه بر ایستگاه مورد بررسی، عوامل دیگری نیز در مقدار زمان عملیات تولید یک دسته قطعه موثر است. این عوامل عبارت‌اند از:

۱. نوع قطعه‌ی تولیدشونده. مقدار عملیاتی که یک قطعه در یک ایستگاه خاص نیاز دارد، به مشخصات فنی قطعه بستگی دارد که باید در زمان عملیات آن منظور شود.

۲. تعداد نیروی انسانی. بسیاری از ایستگاه‌های تولید ماهیت انسان‌گرا دارند، بنابراین زمان عملیات در این ایستگاه‌ها به تعداد نیروی انسانی تخصیص داده شده به آنها بستگی دارد.

۳. مشخصات دسته قطعات. عملیات تولید در این کارخانه بر روی دسته‌های قطعات انجام می‌شود. بنابراین هنگام برآورد زمان عملیات بر روی یک دسته باید مشخصات آن دسته را نیز در نظر گرفت. زمان عملیات در برخی ایستگاه‌ها به تعداد قطعه‌ی موجود در دسته بستگی دارد، در حالی که در سایر ایستگاه‌ها این زمان به جمع مساحت یا محیط قطعات موجود در دسته بستگی دارد. به این ترتیب هنگام برآورد زمان عملیات باید مشخصات دسته‌ی تولیدی را نیز در نظر گرفت.

به‌منظور در نظر گرفتن عوامل ذکر شده در زمان عملیات تولید، ابتدا برای هر ایستگاه یک قطعه به‌عنوان قطعه‌ی مبنا در نظر گرفته شده است. معمولاً قطعه‌یی به‌عنوان مبنا انتخاب می‌شود که در ایستگاه مورد نظر به میزان زیاد تولید شده و دارای مشخصات فنی ساده‌یی باشد. سپس توزیع احتمال زمان عملیات برای قطعه‌ی مبنا برآورد شده است. این کار براساس نمونه‌گیری‌های انجام شده در سطح کارگاه و با استفاده از نرم افزارآماری Arena Input Analyzer انجام شده است. توزیع‌های احتمال به دست آمده با این روش، «توزیع زمان استاندارد» نامیده شده‌اند.

میزان تأثیر هریک از عوامل بالا در زمان عملیات تولید به‌صورت ضرایبی تخمین زده شده‌اند. به‌عنوان مثال میزان کاهش زمان عملیات هریک از ایستگاه‌ها هنگام افزایش تعداد اپراتورها برآورد می‌شوند. در ضمن تعیین می‌شود که زمان عملیات در هر ایستگاه به کدام یک از مشخصه‌های دسته‌ی تولید (تعداد، مساحت یا محیط) بستگی دارد. به این ترتیب می‌توان زمان انجام عملیات در هر ایستگاه را چنین برآورد کرد:

Tij: برآورد زمان انجام عملیات در ایستگاه j بر روی دستهٔ قطعات i؛

Sj: یک مقدار تصادفی که از تابع توزیع زمان استاندارد ایستگاه j پیروی می‌کند؛

Mij: ضریبی که نشان‌گر مقدار عملیاتی است که هر قطعه از نوع i در ایستگاه j نیاز دارد؛

Oj: ضریب مربوط به تعداد اپراتور تخصیص داده شده به ایستگاه j؛

Ni: تعداد قطعات موجود در دسته‌ی تولیدی i؛

Ai: جمع مساحت قطعات موجود در دسته‌ی تولیدی i؛

Pi: جمع محیط قطعات موجود در دسته‌ی تولیدی i؛

FNj: ضریبی که مشخص می‌کند آیا زمان عملیات ایستگاه j به تعداد قطعات دسته بستگی دارد یا خیر؛

Faj: ضریبی که مشخص می‌کند آیا زمان عملیات ایستگاه j به مساحت قطعات دسته بستگی دارد یا خیر؛

FPj: ضریبی که مشخص می‌کند آیا زمان عملیات ایستگاه j به محیط قطعات دسته بستگی دارد یا خیر؛

$$Ti,j = [Mi,j^*Oj^*(FNj^*Ni)^*(Faj^*Ai)^*(FPj^*Pi)] * Sj$$

جدول ۱. یک نمونه از نمودارهای جریان عملیات.

نام محصول: صفحه ساده- روکشی		نمادها				
ردیف	شرح عملیات	○	⇒	D	□	▽
۱	دریافت و جاگذاری مواد اولیه در محل اولیه		□			
۲	حمل مواد اولیه به دستگاه برش		□			
۳	برش اولیه	□				
۴	حمل قطعات زوارخورده به قسمت پرداخت		□			
۵	زوارکوبی	□				
۶	حمل قطعات زوار خورده به قسمت پرداخت		□			
۷	پرداخت	□				
۸	حمل قطعات پرداخت‌شده‌به‌انبار پرس‌شدنی‌ها		□			
۹	حمل روکش و قطعات روی میز چسب		□			
۱۰	چسب زدن قطعات و چسباندن روکش‌ها	□				
۱۱	حمل قطعات زیردستگاه پرس		□			
۱۲	پرس	□				
۱۳	حمل قطعات پرس شده به‌محل کارهای آماده		□			
۱۴	تأخیر برای خنک شدن قطعات پرس شده			□		
۱۵	حمل قطعات خنک شده به دستگاه درزکن		□			
۱۶	درزکردن و دورکردن	□				
۱۷	حمل قطعات دورشده به دستگاه ابزار		□			
۱۸	ابزارزدن	□				
۱۹	حمل قطعات ابزارخورده‌به‌قسمت‌گوشه‌درآری		□			
۲۰	گوشه درآری	□				
۲۱	حمل و قطعات به انبار تحویل		□			

Archive of SID

www.SID.ir

۶. مدل‌سازی

پس از تعیین فرایندهای تولید و زمان عملیات ایستگاه‌ها نوبت به ساخت مدل رایانه‌یی می‌رسد. مدل این کارخانه توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی Arena (نسخه‌ی ۳٫۵) ساخته شده است. به‌منظور برقراری ارتباط بین اطلاعات موجود در کارخانه و مدل شبیه‌سازی یک برنامه‌ی واسط تهیه شده است. این برنامه که «مبدل» نام دارد و به‌زبان برنامه‌نویسی C^{++} تهیه شده است، اطلاعات رایانه‌یی موجود در کارخانه درباره‌ی سفارشات ورودی را پس از خواندن، به‌صورتی که توسط نرم‌افزار Arena قابل استفاده باشد ذخیره می‌کند. به این ترتیب برای اجرای مدل می‌توان از اطلاعات واقعی موجود در کارخانه استفاده کرد.

برنامه‌ی مبدل به یک پایگاه داده‌ها مجهز است که به‌کمک آن می‌تواند قطعات سفارش را تشخیص داده و مسیر تولید مناسب را به آن تخصیص دهد. پایگاه اطلاعاتی مشابهی نیز در اختیار مدل شبیه‌سازی قرار دارد که در آن تمام مسیرهای تولید تعریف شده‌اند. به این ترتیب مدل شبیه‌سازی قابلیت تعیین توالی ایستگاه‌هایی را که هر قطعه باید از آنها عبور کند دارد. داده‌های مربوط به زمان عملیات نیز به همراه قوانین لازم برای محاسبه‌ی زمان تولید در هر ایستگاه به‌صورت یک پایگاه اطلاعاتی در اختیار مدل شبیه‌سازی قرار گرفته است. به‌این ترتیب ساختار اجرای مدل شبیه‌سازی مطابق شکل ۳ خواهد بود.

۷. اجرای مدل شبیه‌سازی

اجرای مدل شبیه‌سازی طی مراحل زیر انجام می‌شود:

۱. سفارشاتی را که می‌خواهیم مدل براساس آنها اجرا شود تعیین می‌کنیم.

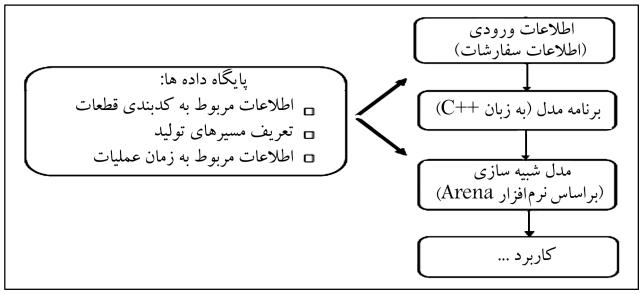
۲. برگه‌های مجوز تولید این سفارشات به‌عنوان ورودی در اختیار برنامه‌ی مبدل قرار می‌گیرد.

۳. برنامه‌ی مبدل دسته‌های قطعات را تشکیل می‌دهد.

۴. برنامه‌ی مبدل فرایند تولید مناسب را برای هریک از دسته‌ها تعیین کرده و به آنها تخصیص می‌دهد.

۵. برنامه‌ی مبدل مشخصات مربوط به هریک از دسته‌ها را تهیه کرده و به آنها تخصیص می‌دهد. این مشخصات عمدتاً در تعیین زمان انجام عملیات دسته مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

۶. برنامه‌ی مبدل اطلاعات مربوط به سفارشات را به‌ترتیب زمان ورود سفارش، و با ساختار قابل استفاده برای نرم‌افزار شبیه‌سازی بر روی یک پرونده به‌نام «پرونده‌ی اطلاعات ورودی سفارشات» ذخیره می‌کند.



شکل ۳. ساختار اجرای مدل شبیه‌سازی.

۷. پس از آماده شدن «پرونده‌ی اطلاعات ورودی سفارشات» که در واقع خوراک اصلی مدل شبیه‌ساز است، می‌توان مدل را اجرا کرد.

۸. با اجرای مدل، هر سفارش در زمان تعیین شده وارد کارخانه می‌شود.

۹. پس از ورود سفارش به کارخانه، هریک از قطعات براساس مسیرهای از پیش تعیین شده بین ایستگاه‌ها حرکت می‌کنند و عملیات تولید بر روی آنها انجام می‌شود.

۱۰. پس از آن‌که تمام قطعات یک سفارش آماده شدند، سفارش تکمیل شده‌محسوب شده و کارخانه را ترک می‌کند.

۱۱. کلیه‌ی اطلاعات لازم از قبیل زمان ورود سفارش، زمان تکمیل سفارش، و زمان انتظار هر قطعه در هر ایستگاه هنگام اجرای مدل ثبت می‌شوند.

۸. انتخاب معیار مناسب برای تأیید اعتبار مدل

برای تعیین اعتبار یک مدل باید ضمن تعیین یک یا چند معیار، عملکرد مدل را در خصوص این معیارها با سیستم واقعی مقایسه کرد.[۴۱-۴۳] معیاری که برای بررسی اعتبار این مدل انتخاب شده است عبارت است از «مقایسه‌ی زمان تولید سفارشات[۴] در مدل شبیه‌سازی و سیستم واقعی». دلایل انتخاب این معیار برای تأیید اعتبار مدل عبارت‌اند از:

۱. اندازه‌گیری آن در مدل شبیه‌سازی بسیار ساده است و مقادیر متناظر آن در کارخانه موجود است. به این ترتیب به‌سادگی می‌توان ضمن مقایسه‌ی این مقدارها، برابری آنها را سنجید.

۲. طول زمان تولید یک سفارش یکی از مهم‌ترین عوامل مورد نظر مدیریت کارخانه است. نگاهی به اهداف نظام کنترل عملیات (که در ادامه تشریح شده است) نشان می‌دهد که پیش‌بینی صحیح زمان تکمیل سفارش یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیریت کارخانه است.

۳. طول زمان تولید یک سفارش به تمام اجزا و شبکه‌های مدل بستگی دارد، و عملکرد نامناسب هریک از این اجزا موجب بروز خطا در مقادیر این معیار خواهد شد. تخصیص فرایند تولید قطعات، و برآورد زمان عملیات ایستگاه‌ها ازجمله دشوارترین مراحل این شبیه‌سازی هستند که کوچک‌ترین اشکالی در آنها در زمان تولید سفارشات نمایان خواهد شد.

۹. انتخاب آزمون مناسب برای تأیید اعتبار مدل

همان‌طورکه اشاره شد، بررسی اعتبار مدل براساس مقایسه‌ی زمان تولید سفارشات در مدل شبیه‌سازی و سیستم واقعی انجام خواهد شد. به‌طورکلی با توجه به نامعلوم‌بودن واریانس نمونه‌ها (و با فرض برابری آنها)، دو نوع آزمون آماری می‌توان برای انجام چنین مقایسه‌یی در نظرگرفت. در ادامه به تشریح این آزمون‌ها می‌پردازیم.

آزمون t مبتنی بر نمونه‌گیری تصادفی[۶]

در این آزمون تعداد n مشاهده از هریک از متغیرها به‌طور تصادفی تهیه شده و سپس با مقایسه‌ی این دو دسته مشاهدات نسبت به برابری میانگین آنها تصمیم‌گیری می‌شود. به‌عبارت دیگر زمان تکمیل n سفارش در سیستم واقعی با زمان تکمیل n سفارش در مدل شبیه‌سازی که هریک به‌طور تصادفی تهیه شده‌اند مقایسه شده و

Archive of SID
www.SID.ir

نسبت به برابری زمان تکمیل سفارشات تصمیم‌گیری می‌شود. این آزمون در حالت کلی در مواقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقایسه‌ی میانگین دو نوع رفتار مورد نظر باشد و انحراف معیار رفتارها نامعلوم و برابر باشند.

آزمون t زوجی[8]

در این آزمون، نمونه‌ها به‌صورت جفتی و متناظر با هم تهیه می‌شوند و به این ترتیب n جفت مشاهده به دست می‌آید. هنگام تهیه‌ی هر جفت مشاهده تلاش می‌شود تا شرایط یکسان برای مشاهدات فراهم شود. این روش معمولاً در شرایطی به کار گرفته می‌شود که علاوه بر عامل مورد بررسی، عوامل دیگری نیز موجب ایجاد تفاوت در مشاهدات شود. به‌عبارت دیگر این آزمون در مواقعی به کار می‌رود که شرایط تهیه‌ی نمونه‌ها ثابت نباشند.[۴۴]

در بررسی اعتبار مدل شبیه‌سازی، رفتارهایی که مورد مقایسه قرار می‌گیرند عبارت‌اند از: زمان تولید سفارش در مدل شبیه‌سازی و زمان تولید سفارش در سیستم واقعی. در این بررسی عاملی که می‌تواند موجب بروز اختلاف در نتایج شود نوع سفارشی است که زمان تولید آن اندازه‌گیری می‌شود. بدیهی است که سفارشات بزرگ زمان تولید بیشتری نیز خواهند داشت. بنابراین، این عامل به‌شدت بر نتایج مشاهدات تأثیرگذار است و اثر اختلاف رفتارها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دلایل مرجح دانستن آزمون دوم (یعنی آزمون t زوجی) عبارت‌اند از:

۱. **دقت نتایج**. مونت گامری در کتاب طراحی آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در صورتی که تأثیر عامل دوم بر مشاهدات شدید باشد، دسته‌بندی مشاهدات و استفاده از آزمون t زوجی، دقت بیشتر و فاصله‌ی اطمینان کوچک‌تر را به دنبال خواهد داشت. با توجه به این که تعداد درجات آزادی در آزمون t زوجی کم‌تر است، قاعدتاً انتظار می‌رود که این آزمون از قدرت کم‌تری نسبت به آزمون t معمولی برخوردار باشد. ولی مونت گامری در کتاب خود نشان می‌دهد که کاهش واریانس ناشی از دسته‌بندی مشاهدات نه‌تنها اثر درجه آزادی کم‌تر را جبران می‌کند، بلکه موجب دقت بیشتر این آزمون نیز خواهد شد.

با توجه به این که نوع سفارشات تأثیر زیادی در زمان تولید آنها دارد، استفاده از آزمون t معمولی و عدم دسته‌بندی مشاهدات موجب افزایش پراکندگی آنها و درنتیجه افزایش خطای تصادفی آزمایش[9] خواهد شد. اما در روش t زوجی با توجه به دسته‌بندی مشاهدات می‌توان تأثیر نوع سفارشات را از بین برد و به نتایج دقیق‌تری دست یافت.

۲. **اعتبار آماری آزمون**. لیبرمن و باوکر در کتاب آمار مهندسی خود اعتبار آزمون t مبتنی بر نمونه‌گیری تصادفی را در شرایطی که عامل دوم بر نتایج مشاهدات تأثیر می‌گذارد مورد تردید قرار داده‌اند. بنا به استدلال این دو محقق در شرایطی که یک عامل خارجی بر نتایج مشاهدات تأثیر می‌گذارد، مخرج آماره‌ی آزمون دیگر برآوردکننده‌ی نااریب انحراف معیار تفاوت میانگین رفتارها نخواهد بود. به‌این ترتیب در شرایطی مانند شرایط این پروژه که تأثیر عامل خارجی در آن به‌هیچ وجه قابل اغماض نیست، استفاده از آزمون t معمولی چندان معتبر نخواهد بود.

۳. **استدلال منطقی**. صرف نظر از نکات آماری مهمی که در بالا به آنها اشاره شد، می‌توان براساس روش‌های منطقی و مفهومی نیز آزمون مناسب را تعیین کرد. در آزمون t معمولی به‌صورت تصادفی تعدادی مشاهده از رفتارهای مورد بررسی تهیه می‌شود، و براساس این مشاهدات آماره‌ی آزمون تشکیل می‌شود. در این آزمون به نوع سفارشات و مشخصات آنها هیچ توجهی نمی‌شود. اما در آزمون t زوجی می‌توان مشاهدات مربوط به هر سفارش را در مدل شبیه‌سازی و سیستم واقعی در یک دسته قرار داده و براساس اختلاف آنها آماره‌ی آزمون را تشکیل دهیم. به این ترتیب زمان تولید هر سفارش در سیستم واقعی با زمان مربوط به همان سفارش در مدل شبیه‌سازی با هم مقایسه می‌شوند. نوع سفارش نمی‌تواند تأثیری در نتایج آزمون داشته باشد. با توجه به نکات فوق آزمون t زوجی برای ارزیابی اعتبار مدل شبیه‌سازی انتخاب شده است.

۱۰. اجرای مدل شبیه‌سازی و انجام آزمون اعتبار

برای انجام آزمون، باید نمونه‌هایی از زمان تولید سفارش در مدل شبیه‌سازی و سیستم واقعی تهیه شده، و براساس آنها محاسبات آماری مورد نظر انجام شود. کلیه‌ی اطلاعات مربوط به سفارشاتی که درگذشته در کارخانه تولید شده‌اند، به‌صورت رایانه‌یی موجود است. همان‌طور که گفته شد، با داشتن این اطلاعات به‌راحتی می‌توان سفارشات مورد نظر را شبیه‌سازی کرد. به‌عبارت دیگر می‌توان فعالیت‌های گذشته‌ی سیستم را مجدداً شبیه‌سازی، و زمان تولید هر سفارش را در مدل و سیستم واقعی با هم مقایسه کرد.

به این ترتیب، برای تهیه‌ی نمونه‌های مورد نظر از سفارشات کارخانه در ۶ ماه گذشته استفاده شده است. در این مدت تعداد ۱۵۱ سفارش به سیستم وارد شده است. این سفارشات در زمان‌های مشابه به مدل شبیه‌سازی نیز وارد شده و به این ترتیب برای هر سفارش دو نوع مشاهده به دست آمده است: یکی زمان تولید سفارش در سیستم واقعی و دیگری زمان تولید سفارش در مدل شبیه‌سازی. با توجه به نتایج آزمون t زوجی ادعا می‌شود که مدل شبیه‌سازی در برآورد زمان تولید سفارشات مطابق سیستم واقعی عمل می‌کند (جدول ۲).

جدول ۲. محاسبات آزمون t زوجی و تأیید اعتبار مدل.

شرح	نماد / فرمول	مقدار
خطای نوع اول	α	۰/۰۵
تعداد زوج مشاهدات	n	۱۵۱
میانگین اختلاف مشاهدات زوجی	$\overline{d} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i$	−۱/۱۰
انحراف معیار اختلاف مشاهدات زوجی	$S_d = [\sum_{i=1}^{n}(d_i - \overline{d})^2 \mid (n-1)]^{1/2}$	۱۰/۸۹
آماره‌ی آزمون	$t_0 = \frac{d}{s_d/\sqrt{n}}$	-۱/۲۴
مقدار خوانده شده از جدول	$t_{\alpha/2,n-1}$	۱/۹۶۰
بازه‌ی قابل قبول برای آماره	$\pm t_{\alpha/2,n-1}$	[−۱/۹۶۰, +۱/۹۶۰]
نتیجه‌ی آزمون	براساس خطای ۵٪ نمی‌توان فرض برابری میانگین‌های دو جامعه را رد کرد.	
تعبیر آزمون	مدل شبیه‌سازی در برآورد زمان تولید سفارشات مطابق سیستم واقعی عمل می‌کند.	

Archive of SID
www.SID.ir

۱۱. برنامه‌ریزی و کنترل عملیات تولید

در استفاده از شبیه‌سازی برای کنترل عملیات تولید نیز، از ایده‌ی تعیین وضعیت آغاز به‌کار مدل شبیه‌سازی استفاده شده است. به‌این منظور ابتدا وضعیت فعلی سیستم مورد بررسی تعیین می‌شود. این کار شبیه نوعی عکس‌برداری از وضعیت کارخانه است که در آن اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی منظور می‌شود. براساس این اطلاعات شرایط اولیه‌ی مدل شبیه‌سازی تنظیم می‌شود، به‌طوری که این مدل حتی در ابتدای اجرا تفاوتی با سیستم واقعی ندارد و نیازی به دوره‌ی گذار و دورریز اطلاعات نخواهد داشت. به این ترتیب می‌توان اساس مدل مورد نظر را چنین خلاصه کرد:

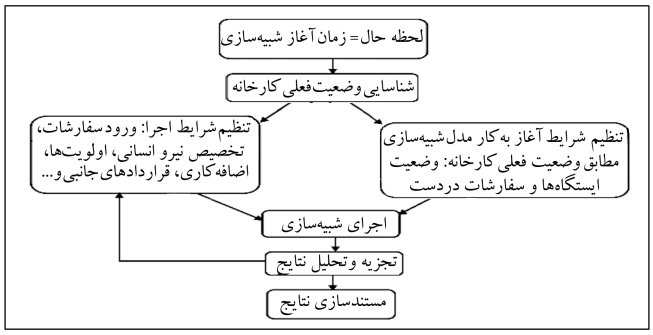
- لحظه‌ی «حال» به‌عنوان لحظه‌ی آغاز شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شود.
- وضعیت فعلی کارخانه شناسایی می‌شود.
- وضعیت فعلی کارخانه به‌عنوان شرایط آغاز به کار مدل شبیه‌سازی در نظر گرفته شده، و در مدل اعمال می‌شود.
- مدل شبیه‌سازی به‌مدت مورد نظر اجرا می‌شود. برای دست‌یابی به برآوردهای دقیق‌تر می‌توان تعداد دوباره‌سازی‌ها را افزایش داد.
- در طول اجرای شبیه‌سازی مواد و سفارشات جدید در زمان‌های مورد نظر وارد مدل می‌شوند.
- هنگام اجرای مدل شبیه‌سازی و در پایان آن می‌توان از وضعیت کارخانه در آینده برآورد مناسبی به دست آورد.
- درصورت لزوم می‌توان تغییرات مورد نظر را در مدل اعمال، و مجدداً شبیه‌سازی را تکرار کرد. ازجمله‌ی این تغییرات می‌توان به تغییر در زمان ورود سفارشات، در نظر گرفتن اضافه‌کاری برای یک یا چند کارگاه، یا تغییر در نحوه‌ی تخصیص نیروی انسانی به ایستگاه‌ها اشاره کرد. به‌منظور روشن‌شدن این مطالب، چگونگی استفاده از این ابزار در شکل ۴ نشان داده شده است.

۱۲. مزایای استفاده از مدل شبیه‌سازی

مدیریت می‌تواند با ارزیابی وضعیت کارخانه در شرایط مختلف به‌کمک مدل شبیه‌سازی، ضمن تشخیص حالت مطلوب درمورد آن تصمیم‌گیری کند. به این نوع بررسی «تحلیل چه شود اگر[۱۰]» گفته می‌شود. در این نوع تحلیل با اعمال تغییراتی در مدل، شبیه‌سازی اجرا، و نتایج تغییرات ارزیابی می‌شود. به این ترتیب اطلاعاتی که مدیریت می‌تواند به‌کمک این ابزار به دست آورد عبارت‌اند از:

۱. آیا سفارش رسیده پذیرفته شود یا خیر؟ با واردکردن سفارش به مدل و بررسی تأثیر آن بر وضعیت کارخانه و سایر سفارشات، می‌توان درمورد پذیرش یا عدم‌پذیرش آن تصمیم‌گیری کرد. نکته‌یی که باید به آن توجه داشت این است که ورود یک سفارش جدید بارکاری ایستگاه‌ها را افزایش داده و بر زمان تحویل سایر سفارشات نیز تأثیر می‌گذارد. به‌همین دلیل هنگام پذیرش سفارش جدید باید تأثیر آن بر سایر سفارشات و عواقب آن پیش‌بینی شود.

۲. آیا کارخانه قادر است سفارش رسیده را در زمان مورد نظر مشتری تحویل دهد؟ با واردکردن سفارش مورد نظر به مدل و اجرای آن می‌توان زمان تکمیل سفارش را تخمین زد، و آن را با زمان مورد نظر مقایسه کرد.



شکل ۴. اجرای مدل شبیه‌سازی به‌منظور برنامه‌ریزی و کنترل عملیات تولید.

۳. زمان تکمیل هریک از سفارشات در دست چه موقعی است؟ با اجرای مدل شبیه‌سازی و واردکردن سفارشات جدید در زمان‌های پیش‌بینی شده می‌توان زمان تکمیل هریک از سفارشات فعلی را پیش‌بینی کرد.

۴. وضعیت فعلی کارخانه نسبت به برنامه‌ی پیش‌بینی شده چگونه است؟ با اجرای این مدل مشخص می‌شود که آیا کارخانه قادر خواهد بود به تعهدات خود در زمان‌های مورد نظر پاسخ‌گو باشد یا خیر. در صورتی که کارخانه نسبت به برنامه‌ی پیش‌بینی شده عقب باشد می‌توان مدل را مجدداً با اضافه‌کاری، اعمال اولویت یا تخصیص نیروی کار بیشتر، اجرا و راهکار مناسب را تعیین کرد (این راهکارها در ادامه تشریح شده‌اند).

۵. بهترین نحوه‌ی تخصیص نیروی انسانی به ایستگاه‌ها با توجه به وضعیت فعلی سفارشات چگونه است؟ در بسیاری از ایستگاه‌های این کارخانه تعداد نیروی انسانی تخصیص داده شده می‌تواند در زمان انجام عملیات تأثیر بگذارد. به‌همین دلیل چگونگی تخصیص افراد به ایستگاه‌ها به‌عنوان یکی از روش‌های تعدیل عملیات تولید مورد توجه مدیریت قرار گرفته است. با استفاده از این مدل شبیه‌سازی، می‌توان اثرات تخصیص نیروی کار به ایستگاه‌ها را پیش‌بینی کرد و بهترین روش تخصیص را با توجه به وضعیت کارخانه انتخاب کرد.

۶. در روزهای آینده چه مقدار و در کدام ایستگاه‌ها به اضافه‌کاری نیاز است؟ با اجرای این مدل شبیه‌سازی، مدیریت می‌تواند پیش‌بینی کند که آیا با عملکرد عادی کارخانه قادر است سفارشات را در زمان‌های مورد نظر آماده کند یا خیر. در صورت پیش‌بینی تأخیر، می‌توان با اعمال اضافه‌کاری‌های به‌موقع از دیرکرد سفارشات جلوگیری کرد. میزان اضافه‌کاری و ایستگاه‌هایی که به اضافه‌کاری نیاز دارند را نیز می‌توان به‌کمک همین نرم‌افزار تعیین کرد.

۷. توالی عملیات تولید چگونه طراحی شود؟ تعیین توالی عملیات روی ماشین‌آلات مدت‌هاست که مورد توجه محققین و دانشمندان قرارگرفته ولی برای حالت‌های عمومی آن هیچ روش تحلیلی مناسب و قابل اجرایی ارائه نشده است. در اینجا به‌کمک شبیه‌سازی می‌توان توالی مناسب عملیات را با توجه به اهداف کوتاه‌مدت و میان‌مدت مدیریت تعیین کرد. این اهداف می‌توانند به‌صورت کمینه‌کردن زمان تولید یک سفارش خاص، کمینه‌کردن جمع زمان دیرکرد سفارشات، کمینه‌کردن بیشترین زمان دیرکرد سفارشات، یا هر معیار دیگری که مورد نظر مدیریت است تعریف شوند.

۸. درصورتی که به قطعات یک سفارش اولویت ویژه داده شود چه مقدار در زمان تکمیل آن صرفه‌جویی خواهد شد؟ گاهی برخی از سفارشات از اهمیت بیشتری برخوردارند و یا باید با فوریت بیشتر تحویل داده شوند. در چنین شرایطی می‌توان

Archive of SID
www.SID.ir

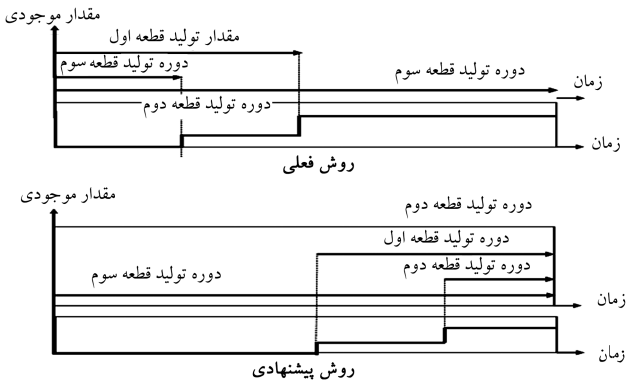
برای قطعات این سفارش اولویت بیشتری در نظر گرفت که به‌موجب آن این قطعات در صف‌های جداگانه قرارگرفته و سریع‌تر از سایر قطعات از ایستگاه‌های تولید عبور می‌کنند. هنگامی که مدیریت می‌خواهد درمورد تخصیص اولویت بالا به یک سفارش تصمیم‌گیری کند، باید بتواند پیش‌بینی کند که این عمل تا چه حد می‌تواند زمان آماده شدن آن سفارش راکاهش دهد. دراین مدل شبیه‌سازی، کاربر می‌تواند اولویت‌های مورد نظر را برای برخی قطعات یا سفارشات در نظر بگیرد و پس از اجرا به بررسی نتایج آن بپردازد.

۹. اولویت دادن به یک سفارش چه تأثیری بر زمان تحویل سایر سفارشات خواهد داشت؟ تخصیص اولویت بیشتر به یک سفارش موجب عقب‌افتادن زمان تحویل سایر سفارشات می‌شود. بنابراین مدیریت قبل از تخصیص چنین اولویتی باید از میزان تأثیر آن بر سایر سفارشات اطلاع داشته باشد. با توجه به این که در مدل شبیه‌سازی مورد نظر امکان در نظر گرفتن اولویت‌ها برای قطعات و سفارشات لحاظ شده است، انجام چنین تحلیل‌هایی میسر است.

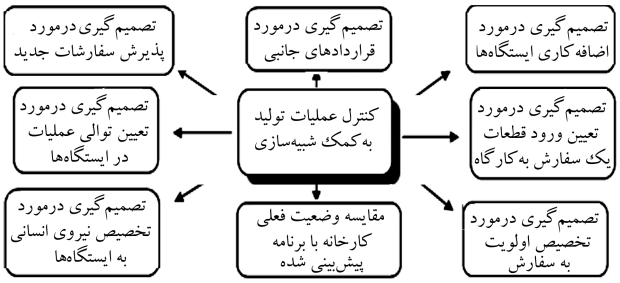
۱۰. درصورتی که تخصیص اولویت به یک سفارش ضروری باشد، کدام‌یک از قطعات آن باید از اولویت برخوردار شوند؟ با توجه به این که قطعات مربوط به یک سفارش با فرایندهای مختلف و حتی در کارگاه‌های مختلف تولید می‌شوند، طبیعی است که در حالت عادی برخی از این قطعات زودتر از بقیه آماده می‌شوند و در انبار نهایی تا آماده‌شدن همه‌ی قطعات سفارش منتظر باقی می‌مانند. در چنین شرایطی تخصیص اولویت بالا به قطعاتی که نقش گلوگاهی ندارند نه‌تنها تأثیری در زمان آماده شدن سفارش نخواهد گذاشت، بلکه موجب تأخیر بی‌مورد در زمان تحویل سایر سفارشات نیز می‌شود. بنابراین تشخیص قطعات بحرانی و گلوگاهی و در نظر گرفتن اولویت ویژه برای آنها می‌تواند ضمن کاهش زمان تحویل سفارش مورد نظر، کم‌ترین تأثیر منفی را بر سایر سفارشات بگذارد.

۱۱. هریک از قطعات در چه زمانی وارد کارگاه تولید شوند؟ در حال حاضر پس از تصمیم‌گیری درمورد تولید یک سفارش، همه‌ی مواد اولیه‌ی مربوط به آن تقریباً به‌طور همزمان وارد کارخانه می‌شوند و پس از تکمیل در انبار نهایی نگه‌داری می‌شوند تا تمام قطعات مربوط به سفارش تولید شده و سفارش آماده‌ی تحویل شود. با توجه به این که پیش‌بینی وضعیت آینده‌ی کارخانه در حال حاضر نادقیق، تقریبی و مبتنی بر شم کارکنان است،امکان تشخیص زمان مناسب برای ورود هریک از قطعات وجود ندارد. اما به‌کمک این نرم‌افزار می‌توان قطعات بحرانی را شناسایی، و مطابق این راهکار عمل کرد: تولید قطعات بحرانی را در اولین فرصت آغاز کنید. تولید سایر قطعات را زمانی آغاز کنید که یا ایستگاه‌ها و کارگاه‌های مربوطه از فشار کاری کم‌تری برخوردار باشند، یا زمان آماده‌شدن آنها به زمان آماده‌شدن قطعات گلوگاهی نزدیک شود. لازم به یادآوری است که مطابق اصول کنترل موجودی نگه‌داری مواد به‌صورت قطعات آماده به‌مراتب بیشتر از نگه‌داری مواد خام هزینه‌بر است، و تولید زودهنگام و بی‌دلیل برخی محصولات علاوه بر ایجاد فشار کاری در مواقع خاص، موجب افزایش هزینه‌های نگه‌داری نیز خواهد شد. در شکل ۵ مقدار موجودی محصولات آماده در دو روش تولید فعلی و پیشنهادی مقایسه شده است. در این نمودار فرایند تولید یک سفارش فرضی که از سه نوع قطعه تشکیل شده نشان داده شده است. در قسمت پائین هر نمودار نیز حجم موجودی محصولات آماده به‌صورت هاشورخورده نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که مقدار این موجودی در روش پیشنهادی کم‌تر از روش فعلی است.

۱۲. در صورتی که انجام برخی عملیات به‌صورت قرارداد جانبی به سایر کارگاه‌ها



شکل ۵. مقایسه موجودی محصولات در روش‌های فعلی و پیشنهادی.



شکل ۶. کاربردهای کنترل عملیات تولید در تصمیم‌گیری‌های مدیریت.

داده شود، چه مقدار در زمان تحویل سفارشات صرفه‌جویی خواهد شد؟ سپردن بخشی از عملیات تولید به واحدهای تولیدی خارج از شرکت یکی از راه‌هایی است که معمولاً مدیران برای کاهش فشار کاری و تحویل سریع‌تر سفارشات انتخاب می‌کنند. این نوع واگذاری می‌تواند به‌صورت دائم یا موقت مورد توجه مدیریت قرارگیرد. به‌عنوان مثال این امکان برای کارخانه وجود دارد که به‌سادگی برخی از عملیات کارگاه نقاشی را به کارگاه‌های خارج از شرکت واگذار کند. در این‌صورت تشخیص عملیاتی که باید به‌طور قرارداد جانبی واگذار شود و تأثیر آن بر وضعیت کارخانه از اهمیت زیادی برخوردار است. این نوع قراردادها به دو طریق در وضعیت سفارشات تأثیر خواهند گذاشت. اولین تأثیر این است که زمان انجام عملیات در داخل کارخانه با زمان انجام همان عملیات در سایر کارگاه‌ها متفاوت خواهد بود. این تفاوت با در نظرگرفتن زمان لازم برای ارسال و دریافت قطعات می‌تواند به‌صورت افزایش یا کاهش نسبت به وضعیت عادی منظور شود. دومین تأثیری که قراردادهای جانبی بر وضعیت کارخانه می‌گذارند این است که با حذف برخی از عملیات، ضمن کاهش بارکاری کارگاه‌ها در آماده‌شدن سایر قطعات تسریع خواهد شد. پیش‌بینی نتایج این عوامل بدون استفاده از چنین ابزاری بسیار نادقیق و شاید ناممکن است. به‌کمک این مدل شبیه‌سازی می‌توان تأثیر این نوع قراردادها را پیش‌بینی، و درمورد آنها تصمیم‌گیری کرد.

به این منظور کافی است که برخی از عملیات تولید را از مسیر تولید قطعات مورد نظر حذف کنیم و به جای آن زمان انجام عملیات توسط کارگاه‌های جانبی را به‌صورت یک تأخیر منظور کنیم. همان‌طور که ملاحظه می‌شود استفاده از شبیه‌سازی به‌عنوان یک ابزارکمکی در برنامه‌ریزی و کنترل عملیات تولید، می‌تواند نقش بسیار مفیدی در تصمیم‌های مدیریت ایفا کند. کاربردهای این ابزار در شکل ۶ نشان داده شده است. در ادامه نیز روش تهیه‌ی مدلی که بتواند این اهداف را برآورده کند نشان داده می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. تأثیر نوع قطعات بر زمان عملیات ایستگاه‌ها درکارگاه پروفیل.

ضرایب افزایش زمان عملیات با توجه به نوع قطعه									
نام ایستگاه	کد قطعات								
	SA	SE	WZ	WA	WD	EE	ZZ	ZR	ZA
برش اولیه	۱/۵	۱/۵	۱	۱	۱	۱/۲	۱	۱	۱
سوراخ‌کاری	—	—	—	—	—	—	—	—	۱
پولیش و نایلون	۱	۱	۱	۱	۱	۱/۵	۱	۱	۱
قفل‌زنی	—	—	—	—	—	—	—	—	۱
کنترل و بسته‌بندی	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱	۱	۱	۱	۱/۵
زاویه‌بری	—	—	۱	۱	۱	۱/۵	—	—	—
خم‌کاری	—	—	—	—	—	—	—	۱	—

جدول ۴. تأثیر تعداد نیروی انسانی در زمان عملیات ایستگاه‌ها درکارگاه پروفیل.

نام ایستگاه	ضریب کاهش زمان عملیات			
	یک (۱) اپراتور	دو (۲) اپراتور	سه (۳) اپراتور	چهار (۴) اپراتور
برش اولیه	—	۱	۱/۲۵	۱/۵
سوراخ‌کاری	۱	—	—	—
پولیش و نایلون	۱	۱/۹	۲/۸	۳/۷
قفل‌زنی	۱	۱/۵	۱/۸	—
کنترل و بسته‌بندی	۱	۱/۹	۲/۸	۳/۷
برش زاویه‌بر	۱	—	—	—
خم‌کاری	۱	۱/۵	۱/۸	—

بهینه‌سازی سیستم موجود

به‌منظور به دست آوردن مقادیر بهینه در سیستم موجود، محدودیت واحدها اعم از جایابی، ظرفیت و غیره بایستی در نظر گرفته شود. به‌منظور نشان‌دادن نحوه‌ی بهینه‌سازی دو مثال از سیستم کارگاه پروفیل نشان داده می‌شود. برای این‌منظور تأثیر نوع قطعات و تأثیر تعداد نیروی انسانی بر زمان عملیات ایستگاه‌ها بررسی می‌شود. جداول ۳ و ۴ به‌ترتیب تأثیر نوع قطعات و تأثیر نیروی انسانی را بر زمان عملیات نشان می‌دهند.

۱۳. نتیجه‌گیری

از ویژگی‌های انحصاری این مطالعه ارائه‌ی یک رویکرد فراگیر شبیه‌سازی برای سیستم‌های کارگاهی چندمحصوله با تقاضای سفارشی زیاد است. ثانیاً، مدل رویکرد فراگیر شبیه‌سازی یک مدل بهینه‌ساز است که راهکارهای بهینه‌سازی سیستم مورد مطالعه را به مدیریت ارائه می‌دهد.

در این نوشتار مدلی برای تهیه‌ی یک ابزارکمکی در تصمیم‌گیری‌های مدیریت، در زمینه‌ی برنامه‌ریزی و کنترل عملیات تولید ارائه شد. این مدل مبتنی بر شبیه‌سازی بوده و به‌طور عملی نیز در یک واحد تولیدی پیاده‌سازی شده است.

در این نوشتار نشان داده شد که برای دست‌یابی به چنین مدل فراگیری ابتدا باید کلیه‌ی مراحل شبیه‌سازی (ازجمله شناخت سیستم، تحلیل زمان عملیات، ساخت مدل رایانه‌یی و تأیید اعتبار مدل) طی شوند. بنابراین به‌طورگام به گام مراحل عملی پیاده‌سازی چنین سیستمی،مطابق آنچه درواحد تولیدی مورد مطالعه انجام شده است تشریح شد. ماهیت کارگاهی تولید، تقاضای سفارشی، و تنوع زیاد محصولات تولیدی درکارخانه‌ی مورد بررسی، شرایط خاصی را به وجود آورده بود که تصمیم‌گیری‌های مدیریت را با مشکلات زیادی مواجه می‌کرد.

روش ارائه‌شده دراین نوشتار توانسته است به‌عنوان یک ابزارکمکی در تصمیم‌گیری (DSS) امکان پیش‌بینی آینده را برای مدیریت فراهم آورد و به این ترتیب نقش بسیار مؤثری در تسهیل برنامه‌ریزی وکنترل عملیات تولید درکارخانه‌ی مورد بررسی به‌طور خاص، و نیز در کلیه‌ی سیستم‌های کارگاهی پیچیده‌ی چندمحصولی ایفا کند.

پانوشت

1. functional layout
2. flow process chart
3. batch
4. flow time
6. complete randomized design
8. randomized block design
9. random experimental error
10. what if analysis

منابع

1. Pritsker, A.A.B. "Introduction to simulation & SLAMII", New York: John Wiley (1986).
2. Shanon, R.E. "System simulation: the art & science", Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, (1995).
3. Khoshnevis, B. "Discrete systems simulation", and New York: McGraw Hill (1994).
4. Bank, J. and Carson, J.S. Discrete Event Simulation, New Jersey: Prentice Hall (1990).
5. Fishwick, P.A.; Kim, G. and Lee, J.J. Improved Decision-Making through Simulation-Based Planning, Simulation (1996).
6. Bui, R.T. and Ouellet, R. Optimal Process Control Through Computer Simulation, *Simulation,* (1993).
7. Grant, F.H. Simulation in Designing and Scheduling Manufacturing Systems, Design and Analysis of Integrated Manufacturing Systems. National Academy Press (1988).
8. Prakash, S. and Shannon, R.E. Development of a Goal Directed Simulation Environment for Part Manufacturing Systems, *Simulation,* **61**(2), pp. 103-115 (1993).
9. Scharf, P. "Simulation in manufacturing: optimization methods reduce duration of simulation studies", *Computers in Engineering, ASME, Petroleum Division,* pp. 25-32 (1992).

Archive of SID
www.SID.ir

10. Benjaafar, S. "Intelligent simulation for flexible manufacturing systems: an integrated approach", *Computers and Industrial Engineering,* **22**(3), pp. 297-311 (1992).

11. Law, A.M. and McComas, M.G. "How simulation pays off", *Manufacturing Engineering,* pp. 37-39, February (1988).

12. Azadeh, M.A. and Khoshnevis, B. "Simulation of the final assembly line of an advanced flexible manufacturing system", Unpublished Manuscript, Department of Industrial and Systems Engineering, University of Southern California (1989).

13. Marmon, G. "Teledyne applies simulation to the design and justification of new facility", *Industrial Engineering,* pp. 29-32 (March 1991).

14. Boblitz, G. "Simulation eliminates needs for $80,000 machine and conveyor investment", *Industrial Engineering,* pp. 26-28 (June 1988).

15. Lewis, J. "Simulation combined with the principle CAN boost productivity in small business", *Industrial Engineering,* pp.46-50 (July 1991).

16. Mcleod, J. "Computer modeling and simulation: the changing challenge", *Simulation,* **46**(3), pp.114-118 (1991).

17. Azadeh, M.A. & Asgari-Rad, K. Optimization of a Large Complex Casting System by Computer Simulation, *Faculty of Engineering Journal,* University of Tehran, Iran (2001).

18. Bidokhti, B.; Azadeh, M.A. and Tavakoli, R. JIT Simulation of an Assembly Shop in a Large Automotive Industry, *Sanaye (Industrial Engineering) Journal,* Sharif University of Technology (2001).

19. Azadeh, M.A.; Karimizand, K. and Shakeri, S. Modeling, Simulation and Optimization of a Heavy Electricmotors Assembly Shop, *Faculty of Engineering Journal,* **35**(4), University of Tehran, Iran(2000).

20. Azadeh, M.A. & Dashtabadi, M. Production Planning through Computer Simulation in a Complex Job Shop. *Ravesh (Method) Journal* (52), Iran (1999).

21. Azadeh, M.A. Design of an Intelligent Simulation Environment for Manufacturing Systems, *Proceedings of the Third International ICSC Congress on World Manufacturing Congress, Symposium on Manufacturing Systems (ISMS'2001),* 24-27 September, 2001 at the Center for Integrated Manufacturing Studies, Rochester, New York (2001).

22. Azadeh, M.A. Integrated Simulation and Optimization of an Automated Heavy Milling System, *Proceedings of the International Natural & Artificial Intelligence System Organization (NAISO) Congress on Information Science Innovations (ISI'2001),* March 17-21, the American University in Dubai, U.A.E (2001).

23. Azadeh, M.A. Optimization of a Heavy Continuous Rolling Mill System via Simulation, Proceedings of the[7]th *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM'2000),* November 28-30, Guangzhou, China (2000).

24. Azadeh, M.A. An Intelligent Computer Simulation Framework for Modeling Assembly Shops. *Proceedings of the 26th International Conference on Computers and Industrial Engineering,* December, Melbourne, Australia (1999).

25. Azadeh, M.A. Simulation of Consolidated Performance of Man-Machine Systems. *Proceedings of European Ergonomics Society and Belgium Society of Mechanical Engineering,* Brussels, Belgium (1998).

26. Newman, W.R. and Maffei, M.J. "Managing the job shop: simulating the effects of flexibility, order release mechanisms and sequencing rules", *Integrated Manufacturing Systems,* **10**(5), pp. 266-275 (1999).

27. Hug, F.; Hensler, D.A. and Zubair, M.M. "A simulation analysis of factors influencing the flow time and throughput performance and cellular layouts", *Integrated Manufacturing Systems,* **12**(4), pp. 285-295, (2001).

28. HockSoon, T. And de Souza School, R. "Intelligent simulation-based scheduling of workcells: an approach", *Integrated Manufacturing Systems,* **8**(1), pp. 6-23 (1997).

29. Jacobs, L.W. and Lauer, J. "DSS for job shop scheduling", *Industrial Management and Data Systems,* **94**(4), (1994).

30. Abdollah, M. H. "A knowledge-based simulation model for job shop scheduling", *International Journal of Operations and Production Management,* **15**(10), (1995).

31. Selladuraj, V. & et al. "Dynamic simulation of job shop scheduling for optimal performance", *International Journal of Operations and Production Management,* **15**(7), (1995).

32. Kasiti, M.N.; Cruz, B.J. and Mulligan, J.H. "Simulation studies of multilevel dynamic job shop scheduling using heuristic dispatching rules", *Journal of Manufacturing Systems,* **11**(5), (1992).

33. Economides, S. and Cunningham, F. "Microcomputer simulation improves production scheduling for microelectronics manufacturers", *Journal of Manufacturing Systems,* **6**(4), pp.267-274 (1990).

34. Azadeh, M.A. and Jalali Farahani, K. "Successful implementation of computer simulation in industrial plants", *Foolad (Steel) Journal,* **46**, Iran (1998).

35. Anshof, H.I. "The role of models in corporate decision making", New York: John Wiley (1972).

36. Yucesan, E. and Jacobson, S.H. "Building correct simulation is difficult", *Proceedings of 1992 Winter Simulation Conference,* pp. 783-790 (1992).

37. Azadeh, M.A. "An algorithm for accomplishment of simulation projects in developing countries: the case of an assembly shop", *Proceedings of the Fourth International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS'99),* Shanghai, China (1999).

38. Pritsker, A.A.B. "Decision support systems for engineers and scientists", *International Computer Graphics User Show,* London England (1985).

Archive of SID

www.SID.ir

39. Law, A.M. "Confidence intervals in discrete event simulations: a comparison of replication and batch means", *Naval Research Logistics Quarterly,* **24**(4), (1977).

40. Law, A.M. and Kelton, W.D. "Simulation modeling and analysis", New York: McGraw Hill (1982).

41. Azadeh, M.A.; Jalali Farahani, K.; and Sakaki, M.R. Verification, Validation and Accreditation of Simulation Projects: A Case Study. *Sanaye (Industrial) Journal,* **4**(3), Sharif University of Technology, Iran (1999).

42. Gaughlin, D. "Verification, validation and accreditation of models and simulation through reduced order metamodels", *Proceedings of 1995 Winter Simulation Conference,* pp. 1405-1412 (1995).

43. Vanhorn, R.L. "Validations of simulations results", *Management Science,* **17**, pp. 247-258 (1971).

44. Montgomery, D.C. "Design and analysis of experiments", New York: John Wiley, (1985).

Archive of SID

www.SID.ir