

# تجزیه و تحلیل کارایی یک سیستم تولیدی به کمک مدل شبیه‌سازی

منصور مؤمنی<sup>\*۱</sup>، بهروز زارعی<sup>۲</sup>، مجید اسماعیلیان<sup>۳</sup>

۱- استادیار مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار مدیریت صنعتی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۸۴/۵/۹

پذیرش: ۸۴/۹/۲۸

## چکیده

هدف از این تحقیق نشان دادن توانمندی روش شبیه‌سازی کامپیوتری در ارتقای بهره‌وری و متوازن‌سازی سیستم تولیدی است. این تحقیق سعی دارد تا نخست با تبیین مدل‌های شبیه‌سازی و ابعاد کاربردی آن نگاه خاص خود را بر موضوع بهره‌وری انداخته و توانمندی این روش را در عرصه بهبود بهره‌وری نشان دهد. در این راه پاره‌ای از مطالعات به عمل آمده - که بر مدار بهره‌وری صورت گرفته - ارائه شده است که با تبیین آنها به دنبال تشریح و اثبات توانمندی خاص شبیه‌سازی کامپیوتری در حیطه بهبود و ارتقای بهره‌وری می‌باشد.

مطالعه موردی با شناسایی سیستم مطالعه شده و طراحی مدل سیستم موجود (مدل AS-IS) و تحلیل و بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل مذکور آغاز شد. در مرحله بعدی با مشخص کردن ضریب بهره‌برداري نیروی انسانی و وسایل، تجهیزات و شناسایی نقاط گلوگاهی سیستم - که موجب



کاهش کارایی و عملکرد آن می‌شود - اقدام به طراحی راهکارهای بهبود دهنده پیشنهادی (مدل TO-BE) شد.

در نهایت با انجام آزمایشهای شبیه‌سازی و مقایسه و تحلیل نتایج خروجی‌های به دست آمده از مدل AS-IS و مدل‌های TO-BE مشخص شد که یکی از سناریوهای پیشنهادی از میان راهکارهای بهبود دهنده، مناسبترین عملکرد را داشته است.

**کلید واژه‌ها:** شبیه‌سازی کامپیوتری، بهره‌وری، سیستم تولید، بهبود فرایند.

## ۱- مقدمه

امروزه انتظار می‌رود که مدیران همگی مدیران تغییر و تحول بوده و به‌طور دائم در جستجوی راههایی برای بهبود بخش مربوط به خود در سازمان باشند. در این راه فنون و ابزارهای گوناگونی برای بهبود فرایند استفاده می‌شود، از جمله آنها می‌توان به مدیریت کیفیت جامع<sup>۱</sup>، مهندسی مجدد فرایندهای کسب و کار<sup>۲</sup>، تولید به هنگام<sup>۳</sup>، سیستمهای مدیریت کیفیت<sup>۴</sup>، مانند ISO ها، نوآوری فرایند<sup>۵</sup>، طراحی مجدد فرایندها<sup>۶</sup>، بهینه‌سازی (الگوبرداری)<sup>۷</sup>، طراحی استقرار، جانمایی وسایل و تجهیزات، زمان‌بندی تولید و تعیین توالی کارها، سیستمهای مدیریت کیفیت و بهینه‌سازی مسیر گردش مواد اشاره کرد.

هدف اصلی از تمامی این فنون بهبود بخشیدن به فرایندهای کسب و کار، کاهش هزینه‌ها و ارائه محصولات و خدمات بهتر به مشتریان است و مدل‌های شبیه‌سازی می‌توانند برای اندازه‌گیری آثار این فنون بر عملکرد فرایندهای کسب و کار به کار گرفته شوند.

شبیه‌سازی را بنکس و کارسن تقلیدی از عملکرد فرایند سیستم واقعی با گذشت زمان تعریف کرده‌اند و شانون شبیه‌سازی را فرایند طراحی یک مدل از سیستم واقعی و انجام آزمایشها با این مدل، به منظور فهمیدن رفتار سیستم و یا ارزیابی استراتژیهای مختلف برای

- 
1. Tam: Total Quality Management
  2. BPR: Business Process Reengineering
  3. Jit: Just In Time
  4. QMS: Quality Management System
  5. Iso: Process Innovativeness
  6. PI: Process Redesign
  7. benchmarking

عملیات سیستم بیان کرده است و بعضی دیگر شبیه‌سازی را فرایندی از مدل‌سازی و اجرای مدل خوانده‌اند [۱، ص ۳؛ ۲، ص ۶؛ ۳، ص ۱۷]. پید معتقد است: شبیه‌سازی کامپیوتری آزمایشی روی مدل کامپیوتری سیستمها است [۳، ص ۵].

هیلیر و لیبرمن مثالهای متنوعی را برای بیان توانایی گسترده روش شبیه‌سازی مطرح می‌کنند [۴، ص ۶۴۹]. این مثالها شبیه‌سازی عملیات در فرودگاههای بزرگ، حرکت وسایل حمل و نقل، عملیات نگهداری و تعمیرات، عملیات فولادسازی، سیستم ارتباط تلفنی و خطوط تولید را شامل می‌شود. برای دانشمندان علوم مدیریت و پژوهشگران عملیاتی، شبیه‌سازی یکی از پر مصرف‌ترین ابزارها است. شبیه‌سازی با وجود ظرافت و نداشتن پیچیدگی ریاضی، یکی از معروفترین فنون کمی است که در مسائل مدیریت به کار می‌رود.

## ۲- مراحل انجام تحقیق

روش استفاده شده در این پژوهش نخست بر مبنای مرور ادبیات و کارهای انجام شده در این زمینه و سپس انجام مطالعه موردی در یک سیستم تولیدی با به‌کارگیری فنون صف و شبیه‌سازی است، به این صورت که نخست با شناسایی و بررسی سیستم تولیدی فعلی، مدل شبیه‌سازی آن طراحی شده و با اجراهای مختلف و ایجاد تغییر در مدل شبیه‌سازی کامپیوتری و تحلیل نتایج به دست آمده، مناسبترین سناریو تعیین می‌شود. مراحل انجام تحقیق به طور خلاصه و شماتیک در شکل ۱ آورده شده است.

## ۳- مروری بر تحقیقات کاربرد شبیه‌سازی در سیستمهای تولید

در سال ۱۹۹۸م. ، لا و مک کوماس در زمینه کاربرد شبیه‌سازی در سیستمهای تولیدی مقاله‌ای ارائه کرده و چگونگی استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در طراحی سیستمهای تولید جدید و بهبود عملکرد سیستمهای تولید فعلی را شرح دادند [۵]. آدامز و همکارانش نیز در سال ۱۹۹۹م. تحقیقی در ارتباط با کاربرد شبیه‌سازی در فرایند بهبود مستمر انجام دادند [۶].

در زمینه تلفیق هوش مصنوعی و شبیه‌سازی در بهینه‌سازی سیستمهای تولیدی کارهای فراوانی انجام شده است که می‌توان به مقاله ویهاروس و مونوستوری اشاره کرد [۷]. بیسلر و همکارانش نیز، کاربرد شبیه‌سازی و هوش مصنوعی را در بهبود بهره‌وری کارخانه تولید چوب بررسی کردند، نتایج تحقیقات آنها نشان داد استفاده از ترکیب بهینه و



شکل ۱ مراحل انجام تحقیق

مناسب منابع و امکانات سازمان موجب کاهش ۱۸ درصدی در متوسط زمان انتظار کل می‌شود و با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک ترکیب بهینه منابع و امکانات تنها با بررسی ۱/۶ درصد از کل ترکیبات ممکن به دست آمد [۸]. تودی و همکارانش تحقیقاتی در زمینه استفاده از فنون شبیه‌سازی در بهینه‌سازی عملیات شرکت تولیدکننده سیم و کابل انجام

دادند. در این تحقیق مطالعه شبیه‌سازی به منظور افزایش میزان تولید و هموارسازی جریان تولید به وسیله تعیین اندازه بهینه دسته‌های ورودی مواد اولیه انجام شد [۹]. در مطالعه دیگری به‌وسیله اترک و همکارانش، کاربرد شبیه‌سازی در تخمین و بهبود کیفیت و بهره‌وری کارخانه تولید سیم و کابل بررسی شد [۱۰].

ویلیامز علل پذیرش شبیه‌سازی به عنوان ابزار بهبود و ارتقای بهره‌وری در سازمانها را بررسی و روشهایی برای ارتقای میزان استفاده از شبیه‌سازی در وضعیتهای عادی و معمول سازمان ارائه کرد [۱۱]. میلر و پگدن به بررسی جنبه‌های مختلف شبیه‌سازی تولید پرداخته و کاربرد شبیه‌سازی را در طراحی سیستمهای تولیدی و زمانبندی عملیات بررسی کردند [۱۲]. برخی از محققان کاربرد شبیه‌سازی در مهندسی مجدد فرایندهای سازمان را مورد بررسی قرار دادند [۱۳؛ ۱۴]. پول و استافورد در مقاله‌ای به بررسی زمینه‌های مختلف کاربرد شبیه‌سازی در فرایندهای تولید پرداختند. آنها همچنین به رشد فزاینده شبیه‌سازی در مدلسازی، مهندسی، فروش و بازاریابی اشاره کرده و رشد و توسعه نرم‌افزارهای قدرتمند شبیه‌سازی را یکی از دلایل عمده این روند معرفی می‌کنند [۱۵]. فولدز و همکارانش کاربرد شبیه‌سازی را در بهبود بهره‌وری کارخانه تولید پلاستیک بررسی کردند. در این بررسی از شبیه‌سازی برای تعیین توالی بهینه انجام کارها روی ماشینها، نوع و تعداد بهینه سیستمهای صف در کارخانه استفاده شده است [۱۶]. در تحقیقات بسیاری از شبیه‌سازی در تحلیل مسائل عملیاتی پیچیده مانند طرح‌ریزی<sup>۱</sup>، زمان‌بندی<sup>۲</sup>، مدیریت مواد<sup>۳</sup> و تعیین طرح استقرار<sup>۴</sup> وسایل و تجهیزات استفاده شده است [۱۷؛ ۱۸؛ ۱۹]. در برخی از تحقیقات از شبیه‌سازی به عنوان ابزار طرح‌ریزی و زمان‌بندی روزانه فرایند تولید استفاده شده است [۲۰]. در مقاله ارائه شده به‌وسیله آزادی‌وار و شو، خط‌مشی بهینه نگهداری و تعمیرات در تعامل با سایر پارامترهای سیستم تولیدی مانند ذخیره کالای در جریان ساخت بررسی شده و در نهایت پارامترهای خط‌مشی بهینه نگهداری و تعمیرات در تعامل هم‌زمان با سایر پارامترهای سیستم تولید تعیین شده است [۲۱]. وانگ و هالپن یک روش تحلیلی مرکب از شبیه‌سازی،

---

1. scheduling  
2. sequencing  
3. material handling  
4. layout

طراحی آزمایشها، تجزیه و تحلیل رگرسیون و برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین طرح بهینه فرایند تولید و حمل بتون ارائه کردند [۲۲].

گاجاراتی و همکارانش از شبیه‌سازی برای تجزیه و تحلیل ظرفیت تولید خط مونتاژ ضربه‌گیر موتور سیکلت استفاده کردند. در این تحقیق با اعمال تغییرات لازم در مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی و طراحی مدل پیشنهادی ظرفیت تولید شرکت به میزان ۲۰۰ ضربه‌گیر در روز افزایش یافت. بعد از پیاده‌سازی مدل پیشنهادی، تولید روزانه با همان سطح نیروی کار قبلی به ۴۳۵ واحد در روز رسید و سود ناخالص ۳۲ درصد افزایش یافت [۲۳].

بیس‌لر و همکارانش از مدل شبیه‌سازی گسسته-پیشامد و طراحی آزمایشها برای بهبود بهره‌وری کارخانه تولید چوب و الوارسازی استفاده کردند. آنها از مدل شبیه‌سازی برای تحلیل نقاط گلوگاهی فرایند تولید استفاده کرده و توانستند تولید را ۲۵ درصد افزایش دهند [۲۴].

سانریچ و همکارانش از شبیه‌سازی برای تجزیه و تحلیل عملیات واحد اورژانس بیمارستان استفاده کرده و مبانی ایجاد و توسعه ابزارهای شبیه‌سازی انعطاف‌پذیر عمومی و ساده را که شامل پارامترهای پیش‌فرض برای اکثر سیستمهای بیمارستانی و اورژانسی باشند، ارائه کردند [۲۵].

در تحقیق انجام شده به وسیله ساوسر از شبیه‌سازی و مدل‌های تحلیلی برای بررسی تأثیر خط مشی‌های تعمیرات اصلاحی، پیشگیرانه و موقعیتی بر بهره‌وری سلولهای تولیدی و سیستم تولید انعطاف‌پذیر استفاده شد. در این مقاله بر اساس هر یک از خط مشی‌های تعمیرات، نگهداری و متوسط زمان بین خرابی‌ها، نرخ تولید در سلولهای تولید معین شد [۲۶، صص ۲۷۴-۲۸۲].

#### ۴- معرفی سیستم تولیدی

شرکت تولیدی قطعات پلاستیک خانی در منطقه صنعتی جی اصفهان واقع شده است. تعداد افراد مشغول به کار در شرکت ۸ نفر بوده و ساعتهای حضور کارکنان در شرکت از ساعت ۸ صبح الی ۶ عصر می‌باشد و ۱ ساعت برای صرف نهار ظهر و ۲ وقت ۲۰ دقیقه‌ای برای

استراحت در بین ساعتهای کاری وجود دارد. بنابراین در مدل شبیه‌سازی ۸ ساعت کاری برای کارگران در نظر گرفته شده است.

محصولات شرکت شامل انواع قطعات پلاستیکی خودروهای تویوتا و مزدا به شرح زیر است: آینه‌های جانبی خودروی وانت، لاستیک ضربه‌گیر سپر جلو و سپر عقب، شیشه چراغ خطر جلو، شیشه چراغ خطر عقب، داشبورد وانت تویوتا و مزدا، قاب فرمان خودروی وانت، جلوی پنجره سواری تویوتا (۲ مدل کرونا و کارینا) و جلوی پنجره وانت مزدا. شرکت دارای چهار قسمت اصلی به شرح زیر است:

۱- بخش تولید: در این بخش به کمک سه ماشین تزریق پلاستیک کلیه قطعات مورد نیاز برای مونتاژ محصولات نهایی شرکت تولید می‌شود. هر یک از ماشینها دارای یک متصدی خاص خود است که با تعویض قالب دستگاه و تنظیم آن، قطعه خاصی را به تعداد مشخصی تولید کرده و سپس قالب مربوط به قطعه بعدی روی دستگاه نصب می‌شود. متصدی دستگاهها در قسمت تولید وظیفه تعویض و تنظیم قالبهای هر دستگاه، تأمین مواد اولیه مورد نیاز ماشین تزریق، خارج کردن قطعه تولید شده از قالب و حذف پلیسه‌های قطعات را به عهده دارد. ماشینهای تزریق در فواصل زمانی خاصی احتیاج به تعمیرات مکانیکی و الکتریکی دارد که به‌وسیله متخصصان خارج از سازمان انجام می‌شود و در طول زمان تعمیر متصدی دستگاه بیکار می‌باشد.

۲- بخش رنگ‌آمیزی: برخی از قطعات تولید شده در قسمت تولید، نیاز به رنگ‌آمیزی داشته و به این بخش منتقل می‌شوند. یک کارگر در بخش رنگ‌آمیزی مشغول فعالیت است که وظیفه او انتقال قطعات از قسمت تولید به بخش رنگ‌آمیزی، تمیز کردن قطعات و رنگ‌آمیزی آنها می‌باشد.

۳- بخش مونتاژ و بسته‌بندی: در این قسمت محصولات نهایی شرکت مونتاژ و در نهایت بسته‌بندی می‌شوند. در این بخش دو کارگر مشغول فعالیت هستند که وظیفه آنها انتقال قطعات از بخش تولید و رنگ‌آمیزی به قسمت مونتاژ و بسته‌بندی، مونتاژ محصولات، بسته‌بندی و در نهایت بسته‌بندی و انتقال جعبه محصولات نهایی تکمیل شده به انبار محصول می‌باشد.



۴- بخش ضایعات: کلیه قطعات معیوب در مرحله تولید به این قسمت منتقل شده و در انتهای هر ماه ضایعات، به وسیله دستگاه آسیاب موجود در این بخش به تفکیک نوع قطعات آسیاب می‌شوند تا در قسمت تولید دوباره استفاده شوند.

مواد اولیه مصرفی شرکت شامل مواد اولیه پلاستیک، رنگهای فوری، رنگهای پلاستیک و رنگ تیتان می‌باشد. در پایان هر روز دستگاهها تمیز شده و مواد پلاستیک موجود در قالبها و پیستون دستگاه خارج می‌شود ولی بقیه قطعات تولید شده در بخشهای مونتاژ و رنگ آمیزی برای روز بعد باقی می‌ماند.

## ۵- طرح مسأله

در حجم تولید فعلی، شرکت محدودیتی برای میزان فروش محصولات خود ندارد. در این شرکت تولیدی بر اساس سفارش گرفته شده از مشتریان، اگر کالای مورد درخواست در انبار موجود باشد، به طور سریع تحویل مشتری می‌شود در غیر این صورت مشتری باید تا زمان آماده شدن محصول، منتظر بماند. در شرایط فعلی، مؤسسه در قسمت رنگ آمیزی دارای گلوگاه بوده و در صورت تولید قطعات به صورت عادی برای برخی از قطعات مانند پایه، قاب و واشر آینه با صفهای طولانی مواجه می‌شود و به همین دلیل در صورتی که تعداد این قطعات در قسمت رنگ آمیزی زیاد باشد، از تولید آن قطعات جلوگیری می‌شود. این در حالی است که آینه‌های جانبی خودرو یکی از پرفروشترین محصولات است. مدیریت شرکت به منظور افزایش رضایت مشتریان و کاهش زمان انتظار آنها قصد دارد تا سیستم تولید خود را بهبود ببخشد و با دستگاهها و تجهیزات موجود، حجم تولید خود را افزایش دهد، زیرا امکان ارتقای ظرفیت به وسیله افزایش ماشین‌آلات و تجهیزات به دو علت محدودیت فضا و منابع مالی، در کوتاه مدت برای مؤسسه امکانپذیر نمی‌باشد. مدیریت مؤسسه کارگر(کارگران) جدید را در صورت اطمینان از این امر که میزان افزایش در خروجی تولید دارای صرفه اقتصادی می‌باشد، استخدام می‌کند. بنابراین با توجه به نظر مدیریت و شرایط فعلی مؤسسه، اهداف ساخت و اجرای مدل شبیه‌سازی عبارت است از: ارتقای بهره‌وری سیستم تولید، افزایش میزان بهره‌برداری از منابع (ماشین‌آلات، تجهیزات و نیروی انسانی)، شناخت و رفع گلوگاههای فرایند تولید و متوازن‌سازی کارخانه، کاهش میزان کالای در



جریان ساخت، کاهش متوسط زمان انتظار محصولات در فرایند تولید (کاهش زمان تولید)، پشتیبانی از فرایند تصمیم گیری درباره استخدام و یا عدم استخدام کارگر(ان) جدید. با توجه به شرایط فعلی کارگاه و اهداف تعیین شده برای مدل شبیه سازی معیارهای عملکرد سیستم و فرایند تولید که به وسیله مدل شبیه سازی برآورد می شود، عبارتند از: کمیت و میزان دست یافت<sup>۱</sup> (خروجی) فرایندهای تولید، مدت زمان انتظار در سیستم (مدت زمان لازم برای تولید محصول)، مدت زمان انتظار در صف، طول صف انتظار، ضریب بهره برداری<sup>۲</sup> از وسایل، تجهیزات و نیروی انسانی.

به علت کوچک بودن شرکت و محدود بودن تعداد محصولات، مدل شبیه سازی کل سیستم و فرایندهای تولیدی تهیه شد. برای این منظور نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیزات به عنوان منابع<sup>۳</sup> و قطعات مورد نیاز برای مونتاژ و تولید هر یک از محصولات نهایی نیز به عنوان نهاد<sup>۴</sup> در نظر گرفته شده است.

## ۶- تعیین شرایط شروع و اولیه شبیه سازی

منظور از اجرای اکثر مدل های شبیه سازی مطالعه شرایط عمل در حالت پایا (تعادل) است. متأسفانه یک اریب اولیه یا حالت گذرا در اکثر مدل های تصادفی وجود دارد که از نوع شرایط تعادل و یا حالت پایا نیست و این موضوع ناشی از این حقیقت است که مدت زمانی طول می کشد تا مدل بر وضعیت غیرمعمول و یا ساختگی حاصل از شروع ناگهانی عملیات غلبه کند، راههای متعددی برای تخفیف اریب اولیه وجود دارد. روش نخست گردآوری داده ها در مورد سیستم و تعریف شرایط اولیه بر اساس آن است. روش دوم تقسیم هر اجرای شبیه سازی به دو مرحله است: مرحله اول، مرحله راه اندازی است که از لحظه صفر تا لحظه ای مانند  $T_0$  به درازا می کشد، مرحله دوم مرحله گردآوری داده است که از لحظه  $T_0$  تا لحظه پایان شبیه سازی، یعنی  $T_0 + T_E$  طول می کشد.

---

1. through put  
2. utilization  
3. resource  
4. entity(work item)



با توجه به اینکه مدل شبیه‌سازی بررسی شده در این تحقیق از نوع گسسته پیشامد با زمان پیوسته می‌باشد، برای این منظور با بررسی سه وضعیت زیر هر کدام که دارای زمان طولانی‌تری باشد، به عنوان زمان گرم‌شدن مدل در نظر گرفته و برای افزایش اطمینان این زمان را تا ۲۵ درصد افزایش می‌دهیم<sup>۱</sup>:

الف: طولانی‌ترین دوره زمانی مورد نیاز برای تعویض قالبها در هر سه دستگاه؛

ب: حداکثر زمان مورد نیاز برای تولید حداقل یک جعبه (۱۲ عدد) از تمامی محصولات

نهایی؛

ج: مدل برای پنج هفته اجرا می‌شود؛ زیرا انتظار می‌رود در این مدت زمان، از همه محصولات تعداد اندکی تولید شود و نتایج مربوط به میزان تولید هر یک از محصولات ثبت شود، سپس مدل را در همین حالت برای مدت زمان پنج هفته دیگر اجرا شده و این کار برای چندین نوبت تکرار می‌شود. نتایج به دست آمده اندازه معیارهای عملکرد (میزان تولید) را در فاصله‌های زمانی پنج هفته نشان می‌دهد. در نهایت داده‌های به دست آمده روی یک نمودار چند ضلعی نمایش داده شده و میزان تغییرات آن بررسی می‌شود. با بررسی نمودار کلیه محصولات مشاهده می‌شود، بعد از ۲۰ هفته معیار عملکرد سیستم (متوسط تعداد محصولات تولید شده در هر هفته) تقریباً هموارتر از زمانهای اولیه می‌باشد. با مقایسه نتایج به دست آمده از مراحل قبل، حداکثر زمان ۲۰ هفته (۹۶۰ ساعت) می‌باشد که برای افزایش اطمینان ۲۵ درصد به این زمان اضافه کرده و مدت زمان گرم‌شدن<sup>۲</sup> مدل ۲۵ هفته معادل با ۱۲۰۰ ساعت در نظر گرفته می‌شود و اطلاعات مربوط به این زمان جمع آوری نشده و از اطلاعات مربوط به زمان اصلی جمع آوری نتایج مستثنا می‌شود.

## ۷- تعیین اعتبار و بررسی صحت مدل

تعیین اعتبار مدل به منظور افزایش اطمینان به مدل تا سطح قابل قبولی که استنباط به دست آمده از آن در مورد سیستم واقعی صحیح باشد، به کار می‌رود. روشهای مختلفی برای

۱. افزایش ۲۵ درصدی در زمان گرم شدن مدل تنها برای افزایش اطمینان و پرهیز از خطا می‌باشد.

2. warm-up period

تعیین اعتبار<sup>۱</sup> و افزایش ضریب اطمینان مدل ارائه شده است. اغلب ترکیبی از تکنیکهای تعیین اعتبار مدل مورد استفاده قرار می گیرد [۱، صص ۵۱۵-۵۴۶؛ ۳، صص ۱۵۳-۱۶۶]. در این تحقیق از مجموعه روشهای زیر برای تعیین اعتبار مدل شبیه سازی استفاده شده است:

الف: اطلاعات به دست آمده از رفتار سیستم واقعی با اطلاعات مشابه به دست آمده از اجرای مدل مقایسه می شود. در این مرحله برای سه قطعه جلوی پنجره مزدا، قاب رادیو و پایه آینه، متوسط فاصله زمانی بین تولید قطعه تا بسته بندی آن در نایلون را در مدل و سیستم واقعی به وسیله دو نمونه پنجاه تایی مقایسه می شود. نتایج حاصل از اجرای آزمون آماری ناپارامتریک (من - ویتنی) برای مقایسه میانگین دو نمونه مستقل در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معناداری در میانگین داده های حاصل از مدل و سیستم واقعی نشان نمی دهد.

ب: اطلاعات خلاصه ای از تعداد عملیاتها و متوسط زمان فعالیتها در مدل تهیه شد و صحت تعداد عملیاتها و متوسط زمان فعالیتها در مدل شبیه سازی به وسیله سرپرست کارخانه و افرادی که تسلط کافی به فرایندها و عملیاتهای سازمان داشتند، مورد تأیید قرار گرفت.

ج: با توجه به اینکه از نرم افزار ۸ SIMUL برای ساخت مدل شبیه سازی استفاده شده و نرم افزار نمایش گرافیکی از وضعیت منابع و ایستگاههای کاری و حرکت نهادها در مدل را ارائه می کند، سرپرست کارخانه و افرادی که تسلط کافی به فرایندها و عملیاتهای سازمان داشتند با بررسی نمایش گرافیکی مدل تأیید کردند که نهادها و منابع به طور صحیح و منطقی و با توالی منظم در مدل حرکت می کنند. این روش به صورتی مؤثر در شناسایی و حذف اشتباهات مدل و اطمینان از صحت عملیات مدل به کار گرفته شده است. البته باید خاطرنشان کرد که دقت مدل در پیش بینی و تعیین مقادیر پارامترها و متغیرهای سیستم را در آینده و با گذشت زمان بهتر و دقیقتری می توان بررسی کرد.

## ۸- دقت نتایج و برآورد اندازه نمونه

در این تحقیق دقت و صحت نتایج به دو صورت مورد توجه قرار گرفته است:

---

1. validity



۱- مرحله اول از بین بردن اریب مربوط به شرایط اولیه مدل می‌باشد که با تعریف شرایط شروع و اولیه مدل شبیه‌سازی (زمان گرم شدن) میزان اریب مورد بحث تا حد امکان تخفیف داده شده است؛

۲- مرحله دوم تعیین تعداد دوباره‌سازیها و حجم نمونه مورد نیاز می‌باشد. برای برآورد حجم نمونه در سطح اطمینان ۹۵ درصد و میزان دقت ( $\epsilon = 0.25$ ) استفاده شده است. برای برآورد حجم نمونه مورد نیاز، سه تکرار شبیه‌سازی هر کدام به طول ۱۰۰ هفته اجرا و بر اساس روش میانگین گروهها<sup>۱</sup> هر تکرار به پنج گروه ۲۰ هفته‌ای تقسیم شد. بنابراین ۱۵ نمونه اولیه از متوسط تولید هر محصول در هفته به دست آمد. این نمونه اولیه مبنای تعیین حجم نمونه قرار گرفته است. با محاسبه حجم نمونه برای تمامی محصولات، حداکثر حجم نمونه لازم برابر با ۵۴ و متعلق به شیشه چراغ خطر جلو می‌باشد. برای دستیابی به این حجم نمونه از ترکیب روشهای میانگین گروهها و تکرار شبیه‌سازی استفاده شد. بنابراین یازده تکرار شبیه‌سازی هر یک به طول ۱۰۰ هفته انجام و هر تکرار شبیه‌سازی به ۵ گروه به طول ۲۰ هفته تقسیم شد.

## ۹- مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی و سناریوهای طراحی شده

با اجرای مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی سیستم (AS-IS)، نقاط گلوگاهی سیستم تولیدی، ضریب بهره‌برداری از نیروی انسانی و ماشین‌آلات و متوسط تولید محصولات نهایی برآورد و بر اساس آنها دو سناریو<sup>۲</sup> برای بهبود عملکرد سیستم طراحی شد. از آنجایی که خروجی‌های حاصل از یک شبیه‌سازی مبنای تصمیم‌گیری تحلیلی سیستم خواهد بود، می‌توان نتیجه گرفت که موفقیت بالای یک مطالعه شبیه‌سازی تا حد زیادی در گرو تحلیل مناسب و دقیق خروجی‌های آن می‌باشد. نتایج ضریب بهره‌برداری منابع مختلف در وضعیت فعلی سازمان و هر یک از سناریوها در جدول ۱، متوسط تولید هر یک از محصولات در هفته (کارتن) در وضعیت فعلی سازمان و هر یک از سناریوها در جدول ۲ و متوسط طول

1. batch means  
2. senario

صف قطعات مختلف در قسمت رنگ کاری در وضعیت فعلی سازمان و هر یک از سناریوها در جدول ۳ به تفکیک آورده شده است. با توجه به اینکه فرض نرمال بودن برای نمونه‌های به-دست آمده از برخی محصولات پذیرفته نشده است، از تجزیه و تحلیل واریانس ناپارامتریک کروسکال - والیس برای مقایسه متوسط تولید محصولات در وضعیت فعلی سازمان و هر یک از سناریوها استفاده شده است. نتایج آزمون کروسکال - والیس تفاوت معناداری بین متوسط تولید تمامی محصولات در وضعیت فعلی سازمان و سناریوهای ۱ و ۲ نشان می‌دهد. نتایج آزمون من-ویننی برای مقایسه سناریوها با یکدیگر تفاوت معناداری بین متوسط تولید برخی محصولات (لاستیک ضربه‌گیر سپر عقب، لاستیک ضربه‌گیر سپر جلو، چراغ خطر جلو و قاب فرمان) در دو سناریو نشان می‌دهد و برای سایر محصولات تفاوت معناداری بین متوسط تولید آنها وجود ندارد.

جدول ۱ مقایسه ضریب بهره‌برداری منابع مختلف در وضعیت فعلی سازمان و هر یک از سناریوها

سناریو ۲	سناریو ۱	وضعیت فعلی	معیارهای عملکرد
٪۶۰	٪۶۱	٪۵۸	ضریب بهره‌برداری دستگاه ۱
٪۶۱	٪۶۸	٪۶۱	ضریب بهره‌برداری دستگاه ۲
٪۴۸	٪۴۸	٪۴۸	ضریب بهره‌برداری دستگاه ۳
٪۶۰	٪۶۴	٪۶۱	ضریب بهره‌برداری متصدی دستگاه ۱
٪۶۶	٪۷۰	٪۶۵	ضریب بهره‌برداری متصدی دستگاه ۲
٪۷۰	٪۷۰	٪۷۰	ضریب بهره‌برداری متصدی دستگاه ۳
٪۹۸	٪۶۵	٪۱۰۰	ضریب بهره‌برداری کارگر ۴
٪۸۴	٪۸۲	٪۷۸	ضریب بهره‌برداری کارگر ۵
٪۷۳	٪۶۹	٪۶۶	ضریب بهره‌برداری کارگر ۶
-----	٪۵۷	-----	ضریب بهره‌برداری کارگر ۷

همچنان که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، در سناریو شماره ۱ ضریب بهره‌برداری کارگران شماره ۵ و ۶ افزایش پیدا کرده و از فشار کاری کارگر شماره ۴ در بخش رنگ-آمیزی نیز به میزان زیادی کاسته شده است. ضریب بهره‌برداری دستگاه‌های شماره ۱ و ۲

و متصدیان آنها نیز به دلیل حذف محدود بودن تولید قطعات با صف طولانی در قسمت رنگ آمیزی افزایش یافته است. در سناریو ۲ نیز ضریب بهره برداری کارگران شماره های ۵ و ۶ افزایش یافته و فشارکاری کارگر شماره ۴ در بخش رنگ آمیزی به میزان اندکی کاهش پیدا کرده است. ضریب بهره برداری دستگاه ۱ و متصدی آن نیز به دلیل حذف محدود بودن تولید قطعات با صف طولانی در قسمت رنگ آمیزی افزایش یافته است.

جدول ۲ مقایسه متوسط تولید محصولات در هفته (کارتن)<sup>۱</sup> در وضعیت فعلی و هر یک از سناریوها

سناریو ۲	سناریو ۱	وضعیت فعلی	معیارهای عملکرد
۳/۱۸	۳/۱۸	۲/۹۵	متوسط تولید جلوی پنجره کرونا
۳/۱۸	۳/۲۲	۲/۹۵	متوسط تولید جلوی پنجره کارینا
۷/۶۰	۷/۷	۷/۱	متوسط تولید جلوی پنجره مزدا
۱/۸۵	۴/۷	۳	متوسط تولید قاب فرمان
۳/۱	۳/۲۱	۳	متوسط تولید قاب رادیو
۱۱/۶۷	۱۲/۱	۸/۴۳	متوسط تولید چراغ خطر جلو
۳	۳/۱۲	۲/۸۸	متوسط تولید لاستیک ضربه گیر سپر عقب
۳	۳/۱۲	۲/۸۸	متوسط تولید لاستیک ضربه گیر سپر جلو
۴/۴۲	۴/۵	۳/۵۸	متوسط تولید آینه جانبی (چپ)
۴/۴۲	۴/۵	۳/۵۸	متوسط تولید آینه جانبی (راست)
۵/۵۷	۵/۶	۶/۵	متوسط تولید چراغ خطر عقب (چپ)
۵/۵۷	۵/۶	۶/۵	متوسط تولید چراغ خطر عقب (راست)

همچنان که نتایج جدول ۲ نشان می دهد، در سناریوهای ۱ و ۲، متوسط تولید قطعاتی که در وضعیت فعلی سیستم در قسمت رنگ آمیزی دارای گلوگاه بودند، افزایش پیدا کرده و این میزان افزایش برای برخی از محصولات در سناریو ۱ بیشتر از سناریو ۲ است. بر اساس نتایج جدول ۳ می توان نتیجه گرفت، سناریو ۱ دارای کوچکترین متوسط طول صف قطعات در قسمت رنگ کاری بوده و متوسط طول صف در سناریو ۲ نسبت به وضعیت فعلی سیستم به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

۱. هر کارتن شامل ۱۲ عدد محصول نهایی می باشد.

تصمیم‌گیری به منظور تعیین مناسبترین سناریو و انتخاب یکی از آنها بستگی به معیارهای مورد نظر تصمیم گیرنده و مدیریت سازمان دارد و برای تصمیم‌گیری مناسب توجه به جنبه‌های مالی و اقتصادی، روابط انسانی و پیش‌بینی شرایط آینده لازم و ضروری است. اگر فرض شود مهمترین معیار تصمیم‌گیری مدیریت سازمان، عوامل اقتصادی و میزان افزایش در سود خالص باشد، انتخاب مناسبترین سناریو منوط به تجزیه و تحلیل هزینه-فایده و تعیین میزان افزایش در سود سازمان در نتیجه اجرای هر یک از سناریوها است.

جدول ۳ مقایسه متوسط طول صف قطعات در قسمت رنگ‌کاری در وضعیت فعلی سازمان و سناریوها

سناریو ۲	سناریو ۱	وضعیت فعلی	معیارهای عملکرد
۴۱/۲	۰/۳۵	۳۴/۵	متوسط طول صف جلوی پنجره کرونا
۳۹/۵	۰/۱۷	۲۷	متوسط طول صف جلوی پنجره کارینا
۱/۴۵	۰/۳۴	۰/۵	متوسط طول صف جلوی پنجره مزدا
۶۴/۶	۱۴	۷۹/۵	متوسط طول صف دور فرمان
۳۴/۹۶	۰/۶۲	۱۲/۷	متوسط طول صف قاب رادیو
۷۰/۵	۱۴/۶	۳۴۲	متوسط طول صف قاب آینه
۳۲/۴	۲۴	۷۶۳	متوسط طول صف پایه آینه
۵۱/۴	۵/۲۷	۳۵۵	متوسط طول صف واشر آینه

در این راستا و به منظور انتخاب مناسبترین سناریو از قسمت حسابداری درخواست شد تا میزان افزایش در سود سازمان تحت هر یک از سناریوها را تعیین کند. با در نظر گرفتن تجزیه و تحلیل اقتصادی و نظر مدیریت سازمان در زمینه هزینه‌ها و مسائل ناشی از استخدام کارگر جدید، سناریوی ۲ به عنوان مناسبترین سناریو انتخاب شود. در جدول ۴ فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای متوسط تولید محصولات در هفته (کارتن) در مناسبترین سناریو (سناریو ۲) آورده شده است. برای این منظور با اجرای مدل شبیه‌سازی سناریوی ۲، از نمونه اولیه گرفته شده انحراف معیار میزان تولید محصولات محاسبه شد و در سطح اطمینان

۹۵ درصد و میزان دقت ( $\epsilon = 0/25$ ) حجم نمونه مورد نیاز برای تعیین فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای هر یک از محصولات تعیین شد. با محاسبه حجم نمونه برای تمامی محصولات، حداکثر حجم نمونه لازم برابر با ۲۷ هفته می‌باشد. برای دستیابی به این حجم نمونه از ترکیب روشهای میانگین گروه و تکرار شبیه‌سازی استفاده می‌شود. بنابراین ۹ تکرار شبیه‌سازی هر یک به طول ۹۰ هفته انجام شده و هر تکرار شبیه‌سازی به سه گروه به طول ۳۰ هفته تقسیم شد.

جدول ۴ فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای متوسط تولید محصولات در هفته (کارتن) در مناسبترین

سناریو (سناریو ۲)

ردیف	نام محصول	حد پایین	متوسط تولید	حد بالا
۱	جلوی پنجره سواری مدل کرونا	۳/۱۰۴۳	۳/۱۴۵۶	۳/۱۸۷۰
۲	جلوی پنجره سواری مدل کارینا	۳/۱۲۱۸	۳/۱۶۳۱	۳/۲۰۴۴
۳	جلوی پنجره مزدا	۷/۵۱۸۶	۷/۵۶۷۵	۷/۶۱۶۴
۴	قاب رادیو	۲/۹۴۰۴	۳/۰۵۵۰	۳/۱۶۹۶
۵	قاب فرمان	۱/۷۴۸۱	۱/۸۱۵۰	۱/۸۸۱۹
۶	چراغ خطر جلو	۱۱/۳۲۶۲	۱۱/۶۷۵۰	۱۲/۰۲۳۸
۷	چراغ خطر عقب	۵/۴۲۹۱	۵/۵۷۵۰	۵/۷۲۰۹
۸	آینه جانبی خودرو	۴/۲۸۹۴	۴/۳۸۲۵	۴/۴۷۵۶
۹	لاستیک ضربه گیر سپر جلو	۲/۸۲۷۱	۲/۹۴۵۰	۳/۰۶۲۹
۱۰	لاستیک ضربه گیر سپر عقب	۲/۹۱۵۸	۲/۹۷۶۳	۳/۰۳۶۷

## ۱۰- نتیجه‌گیری

روشهای به‌کارگیری منابع با هدف نهایی افزایش بهره‌وری صورت می‌گیرد. در نتیجه یکی از عوامل مؤثر در ایجاد نظامهایی که هدفشان افزایش بهره‌وری است، مطالعات شبیه‌سازی برای تغییر در روشهای کار و روشهای به‌کارگیری منابع است ولی آنچه که باید مورد توجه قرار گیرد این است که تغییر، تحول و بهبود، یک فرایند مستمر و پویا است.



بنابراین مدیران باید به طور مستمر در جستجوی روشهای نوین و مطلوب برای فرایندهای تولید و روشهای انجام کارها باشند. در این راستا شبیه‌سازی ابزار قدرتمندی است که فرایند جدید و یا فرایند فعلی را طراحی، ارزیابی و تصویرسازی کرده و خطرات ناشی از اجرای تغییرات در محیط واقعی را نیز به حداقل ممکن می‌رساند.

در سیستم تولیدی تحت بررسی با توجه به اینکه نقل و انتقال کالاهای در جریان ساخت بین قسمت‌ها و بخشهای مختلف کارگاه احتیاج به زمان زیادی از وقت کارگران دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود تا در تحقیقات آتی از مدل‌های شبیه‌سازی در تعیین تعداد و نوع طرح استقرار ماشین‌آلات برای کاهش میزان جابه‌جایی کالاهای در جریان ساخت بین بخشهای مختلف کارخانه استفاده شود. باید به این نکته توجه کرد که شبیه‌سازی یک فرایند بهینه‌سازی نیست، بلکه فقط پاسخ سیستم به شرایط اجرایی مختلف را به ما می‌دهد.

بنابراین بهبود سیستم تولیدی به کمک شبیه‌سازی منوط به طراحی سناریوها و تعیین نتایج آنها و در نهایت مقایسه سناریوها و انتخاب مناسبترین سناریو می‌باشد ولی با توجه به ارائه الگوریتمهایی چون الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی برای تحقیقات آینده توصیه می‌شود که از تلفیق شبیه‌سازی با الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی از تواناییهای شبیه‌سازی در بهینه‌سازی<sup>۱</sup> سیستمهای تولیدی در زمینه‌هایی که احتیاج به بررسی و ارزیابی سناریوهای فراوانی دارد، مانند تعیین مکان و حجم مناسب ذخیره‌های موقت موجودی کالا و ارزیابی تغییرات در حجم و ترکیب محصولات استفاده شود.

یکی از کاربردهای نوین و بسیار مؤثر شبیه‌سازی استفاده از آن در فرایند آموزش کارکنان می‌باشد و توصیه می‌شود که در تحقیقات آتی این قابلیت و توانایی شبیه‌سازی بررسی و ارزیابی شود. به طور کلی برای تحقیقات آتی توصیه می‌شود تا از مدل‌های شبیه‌سازی در زمینه‌های ارزیابی سرمایه‌گذاریها، تعیین تعداد شیفت‌های کاری، برنامه‌ریزی نیروی انسانی مورد نیاز، زمان‌بندی تولید، ارزیابی خط‌مشی‌ها و سیاستهای کنترل موجودی، استراتژیهای کنترل، بررسی خط‌مشی‌ها و سیاستهای کنترل موجودی، ارزیابی و تحلیل

قابلیت اطمینان سیستم تولید (بررسی تأثیر نگهداری پیشگیرانه بر قابلیت اطمینان) و تعیین و بررسی خط‌مشی‌های کنترل کیفیت استفاده شود.

## ۱۱- منابع

- [۱] بنکس ج، کارسن ج. « شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد»؛ ترجمه: هاشم محلوجی؛ دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، تهران، ۱۳۸۲.
- [۲] شانون ر.؛ «علم و هنر شبیه‌سازی سیستمها»؛ ترجمه: علی‌اکبر عرب مازار؛ مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۰.
- [3] Pidd M.; “Computer simulation in management science ”; John Wiley & Son, 1998.
- [4] Hillier F., Lieberman J.; “Introduction to operation research”; 2Ed, Holden-Day, San francisco, 1973.
- [5] Law A., Mccomas M.; “Simulation of manufacturing systems”; Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.
- [6] Adams M., Schroer B. ; “Simulation as a tools for continiuos process improvement”; Proceeding of the 1999 Winter Simulation Conference .
- [7] Viharos J., Monostori L.; “Optimization of production systems using simulation and artificial intelligence techniques” ;Proceeding of the 2003 Winter Simulation Conference.
- [8] Baesler F., Morgan M., Ramis. F.; “ Productivity improvement in the wood industry using simulation and artificial intelligence”; Proceeding of the 2002 Winter Simulation Conference.
- [9] Todi J., Jia T., Paranjip A.; “Optimization of operations in a steel wire manufacturing company”; Proceeding of the 2002 Winter Simulation Conference.

- [10] Ertek G., Turkseven H.; “Simulation modelling for quality and productivity in steel cord manufacturing”; Proceeding of the 2003 Winter Simulation Conference.
- [11] Williams E.; “How simulation gains acceptance as manufacturing productivity improvement tool”; Proceeding of the 2002 Winter Simulation Conference.
- [12] Miller S., Pegden D.; “Introduction to manufacturing simulation”; Proceeding of the 2000 Winter Simulation Conference.
- [13] Hunt K., Hansen G.; “Simulation success stores: Business process reengineering”; Proceeding of the 1997 Winter Simulation Conference.
- [14] Silva L. & etc ; “Using simulation for manufacturing process reengineering – a practical case study”; Proceeding of the 2000 Winter Simulation Conference .
- [15] Pool M., Stafford R.; “Optimization and analysis of performance in simulation”; Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference.
- [16] Foulds L. ,Asnet C.; “Simulation improves productivity in plastics manufacturing”; Department of Management System , Waikato – New Zealand, 1993.
- [17] Williams E., Narayanaswamy R.; “Application of simulation to scheduling, sequencing and material handling ”; Proceeding of the 1997 Winter Simulation Conference.
- [18] Weng M.; “Scheduling flow-shops with limited buffer spaces ”; Proceeding of The 2000 Winter Simulation Conference.
- [19] Eneyo E., Pannirselvam G.; “The use of simulation in facility layout design: A practical consulatng experience ”; Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference.
- [20] Miller D., Vaidyanathan B., Park Y. ; “Application of discrete event simulation in production scheduling” ; Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference.

- [21] Azadivar F., Shu J.; “Use of simulation in optimization of maintenance Policies”; Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference.
- [22] Wang S., Halpin D.; “Simulation experiment for improving construction processes” ; Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference.
- [23] N.S. G., R.M. O.,T. G. ; “Production capacity analysis of a shock absorber assembly line using simulation” ;Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference.
- [24] F.F. B., E. A.;“The use of simulation and design of experiments for productivity improvement in the sawmill industry”; Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.
- [25] D. S., Y.N.M.; “A simple and intuitive simulation tool for analyzing emergency department, operations”; Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference.
- [26] M. S.; “Effects of maintenance policies on the productivity of flexible manufacturing cells” ; Omega 34, 2006.
- [27] Khosknevis B.; “Discrete system simulation”; New York, McGraw Hill, 1994.