مدیریت صنعتی
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۶، شمارهٔ ۴
زمستان ۱۳۹۳
ص. ۶۶۴ - ۶۳۵

رویکرد شبیه‌سازی برای بهبود خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران

حسنعلی آقاجانی[۱]، حمزه صمدی میارکلائی[۲]، حسین صمدی میارکلائی[۳]، حسین لطفی[۴]

چکیده: هدف از اجرای این پژوهش، بررسی امکان بهبود خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران (دِسا) با استفاده از روش شبیه‌سازی است. براین‌اساس، ضمن مرور ادبیات موضوعی مربوط به سیستم، مدل، شبیه‌سازی، خطوط مونتاژ و راه‌های بهبود آن، و پس از بررسی سابقهٔ پژوهش‌های مشابه، با استفاده از ابزارهای جمع‌آوری داده‌های مستندات و مشاهده، مدل اولیهٔ خط مونتاژ شرکت، طراحی شد و با استفاده از داده‌های آماری توصیفی و تحلیل واریانس، اعتبار مدل تأیید شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای ARENA و SPSS تحلیل شدند. در مرحلهٔ بعد، پس از مصاحبه با ۴۸ نفر از دست‌اندرکاران خط مونتاژ، نقطهٔ قابل بهبود خط مونتاژ، یعنی اتاق تست شناسایی شد. آن‌گاه، پس از تشریح علت امر، برای دستیابی به بهبود در این قسمت، استفاده از فناوری جدید پیشنهاد شد. نتایج آزمون این پیشنهاد، به‌وسیلهٔ مدل شبیه‌سازی نشان داد که اگر چنین سیستمی در خط مونتاژ پیاده‌سازی شود، زمان سیکل، سی‌وسه درصد بهبود می‌یابد و زمان صف در ایستگاه تست، شصت‌ودو درصد کاهش پیدا می‌کند. در پایان مقاله، بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: خط مونتاژ، دیزل سنگین ایران، شبیه‌سازی.

۱. دانشیار مدیریت صنعتی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
۲. دانشجوی دکتری مدیریت دولتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۳. کارشناس ارشد مدیریت دولتی، باشگاه پژوهشگران جوان، قائمشهر، ایران
۴. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، بابلسر، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۰۷/۰۷
نویسندهٔ مسئول مقاله: حسنعلی آقاجانی
Email: aghajani@umz.ac.ir

مقدمه

انسان‌ها طی تاریخ برای رفع نیازهای خویش، سیستم‌های متنوعی اعم از تولیدی و خدماتی را به‌وجود آورده‌اند. در ابتدا این سیستم‌ها ساده بودند، اما رفته‌رفته با رشد جمعیت و متنوع‌شدن نیازهای بشری، این سیستم‌ها نیز دچار تغییر شدند و رشد و توسعهٔ فراوان یافتند. بزرگ‌شدن سیستم‌ها و افزایش اجزا و روابط متقابل بین آنها، بیش از پیش بر پیچیدگیشان افزود؛ تا حدی که فرایند تصمیم‌گیری، هدایت و کنترل را بسیار حساس و مشکل ساخت. به‌همین‌دلیل، از مدت‌ها قبل، برای شناخت و بهبود عملکرد سیستم‌ها و تصمیم‌گیری در مورد آنها، روش‌ها و تکنیک‌های سنتی متفاوتی نظیر تجزیه و تحلیل‌های ریاضی، مشاهدهٔ عینی و تجربی و فنون مختلف پژوهش عملیاتی ابداع شده‌اند؛ علاوه‌براین، با ظهور رایانه‌ها و بهبود توانایی‌های محاسباتی سریع و ارزان، روش شبیه‌سازی نیز به روش‌های فوق اضافه شد. در شبیه‌سازی، ابتدا یک الگو از پدیدهٔ مورد بررسی طراحی می‌شود و سپس برای تجزیه و تحلیل آن، به مطالعهٔ شبیه‌سازی تکیه می‌شود (شلدون، ۱۳۷۴).

در سال‌های اخیر، بخش تولید با سطوح بی‌نظیری از تغییر روبه‌روست و با پیچیدگی‌ها نیز در چالش است. شرکت‌های تولیدی در یک محیط پویای روبه‌رشد در رقابت هستند. این موارد موجب می‌شود تا تولیدکننده‌ها، روش‌های جدیدی را برای برنامه‌ریزی و کنترل سیستم‌های تولیدشان کسب کنند (فانتینوپیتا و وانگ، ۲۰۱۰). امروزه فرایندهای کسب‌وکار، مانند زنجیرهٔ تأمین، خدمات مشتری و توسعهٔ محصول، بسیار پویا و پیچیده‌اند؛ تا حدی که با استفاده از برگه‌های گسترده یا فنون نمودار گردش کار، درک و تحلیل آنها دشوار است. فعل و انفعال‌های میان منابع و فرایندها، محصول‌ها و خدمات، به ایجاد تعداد بسیاری از سناریوها و پیامدها منجر می‌شود که بدون کمک‌گرفتن از مدل شبیه‌سازی رایانه‌ای، فهم و ارزیابی آنها غیر ممکن است. روش‌های قدیمی برای پاسخ به سؤال «چه چیزی» مناسب بوده‌اند؛ نه برای پاسخ به سؤال‌های «چگونه»، «چه هنگام» و «آنچه اگر» (گبوس وهمکاران، ۲۰۰۴).

بنابراین، باید از شیوه‌ای بهره جست که به‌موجب آن، سیستم واقعی و درحال کار، دچار توقف و اختلال نشود و هزینه‌های گزافی را بر سیستم واقعی وارد نکند؛ موجب صرفه‌جویی در زمان شود و فرصت را هدر ندهد؛ سیستم واقعی، فرصتی را برای تجربه فراهم نمی‌کند؛ چرا که فرصت تجربه، هزینه‌زاست و به‌قیمت ازدست‌رفتن سایر فرصت‌ها ایجاد می‌شود؛ باید از روشی استفاده کرد که اجازهٔ دخل و تصرف و ایجاد تغییرهایی که در اذهان وجود دارد را بدهد تا رفتار فعلی سیستم را مطالعه و بررسی و رفتار آیندهٔ آن را نیز پیش‌بینی کند؛ تأمین همهٔ این خواسته‌ها، مستلزم به‌کاربردن روش شبیه‌سازی است.

مبانی نظری پژوهش

شبیه‌سازی

شبیه‌سازی نوعی مدل‌سازی سیستم است. سیستم، مجموعه‌ای است که اجزای آن، بر هم تأثیر متقابل دارند و برای رسیدن به هدفی مشترک، با یکدیگر در تعاملند (مدهوشی، ۱۳۷۹). درواقع، شبیه‌سازی عبارت است از ایجاد ساختگی تاریخچهٔ یک سیستم واقعی و بررسی آن برای دستیابی به نتایج، در مورد ویژگی‌های عملکرد آن سیستم در شرایط واقعی (آذر و همکاران، ۱۳۹۱). مهم‌ترین هدف شبیه‌سازی، رویکرد احتمال‌گرایانه برای تشریح و توصیف نبود اطمینان دنیای واقعی است. یک محیط شبیه‌سازی هوشمند رایانه‌ای، به طراحان سیستم‌های تولید اجازه می‌دهد تا ابزارهایی را برای کنترل اختلال‌های مربوط به یک درجهٔ قابل پذیرش از تکامل را پیش‌بینی و ارائه کنند. به‌طور خودکار ما را قادر می‌سازد تا رفتار چنین سیستم‌هایی را در وضعیت‌های عادی و اضافی تولید پیش‌بینی کنیم (آزاده و همکاران، ۲۰۱۲).

مدل‌های شبیه‌سازی

مدل شبیه‌سازی لاگونا و مارک‌لاند

با الهام از چارچوب ارائه‌شدهٔ چیز و ژانگ (۱۹۹۸)، یکی از چارچوب‌های شبیه‌سازی برای پروژه‌های طراحی فرایند کسب‌وکار به‌وسیلهٔ لاگونا و مارک‌لاند توسعه یافت (لاگونا و مارک‌لند، ۲۰۰۴؛ چیز و ژانگ، ۱۹۹۸). این چارچوب، مرکب از هشت گام است (لاگونا و مارک‌لند، ۲۰۰۴) که عبارتند از:

۱. موردی برای بیانیهٔ اقدام و بیانیهٔ چشم‌انداز: مایکل همر و جیمز چمپی معتقدند که این گام، دومرحله‌ای است. بیانیهٔ اقدام نشان‌دهندهٔ این است که چرا یک شرکت به‌عنوان سازمان نمی‌تواند در جایی که قرار دارد، بماند و بیانیهٔ چشم‌انداز، بیان‌کنندهٔ جایی است که سازمان، قصد رفتن به آن نقطه را دارد و اینکه چه هدف‌هایی برای دستیابی به آن باید تأمین شوند (همر و چمپی، ۱۹۹۳).

۲. شناسایی و انتخاب فرایند: برای موفقیت پروژهٔ طراحی، انتخاب فرایند، بسیار مهم و حیاتی است. نخست، باید به همهٔ فرایندها توجه شود؛ به‌ویژه آنهایی که محور و هستهٔ اصلی سازمان هستند. به‌محض بروز محدودیت‌ها در بودجه و منابع، فرایندها را باید با استفاده از سؤال‌های زیر اولویت‌بندی کرد: کدام فرایند در حال حاضر مسئله‌ساز است؟ کدام فرایند برای دستیابی به استراتژی‌های کسب‌وکار مؤسسه، حیاتی‌تر است و تأثیر بیشتری

بر مشتریان دارد؟ کدام فرایند به‌احتمال بسیار، با موفقیت، طراحی و پیاده‌سازی خواهد شد؟

۳. دستیابی به تعهد مدیریت: بدون تعهد مدیریت عالی برای تغییر و پیاده‌سازی فرایند، تلاش‌ها برای بهبود، با شکست مواجه خواهند شد (لاگونا و مارک‌لند، ۲۰۰۴).

۴. ارزیابی توانمندسازان طراحی: مایکل همر و جیمز چمپی معتقدند که معمولاً پیشرفت‌های میان‌بر، تنها از طریق خودکار یا اتوماسیون انجام‌پذیر نیستند. کارهای اشتباهی که به‌سرعت انجام می‌شوند، راه حل به‌شمار نمی‌روند. تیم باید به دو سؤال پاسخ دهد: ۱. برای کارایی، بهبود یا ارتقای آنچه فعلاً انجام می‌شود، چگونه از فناوری استفاده می‌شود؟ ۲. چگونه فناوری به ما این امکان را می‌دهد که کارهای جدیدی را که اکنون انجام نمی‌دهیم، انجام دهیم؟ (هَمِر و چَمپی، ۱۹۹۳).

۵. دستیابی به درک و فهم فرایند: درک و فهم فرایند، عنصر کلیدی هرگونه تلاش برای طراحی فرایند است. برای رسیدن به چنین درکی، باید به پرسش‌های زیر پاسخ گفت: فرایند جاری چه کاری را انجام می‌دهد؟ چگونه فرایند جاری به‌خوبی (یا با ضعف) کارها را انجام می‌دهد؟ موضوع‌های حیاتی که عملکرد فرایند را کنترل می‌کنند، کدامند؟

۶. طرح فرایند خلاق: ایجاد یک طرح خلاق عبارت است از ترکیب علم و هنر خلاق. برای طراحی یک پروژهٔ جدید، یک راه حل و روش کلی و عمومی وجود ندارد. طراحان فرایند باید ارزش‌ها، قوانین و دستورالعمل‌ها را در کنار هم قرار دهند تا روش‌های جدیدی را برای طراحی فرایند پیدا کنند.

۷. مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایند: شبیه‌سازی، قدرتمندترین ابزار مدل‌سازی فرایند است. چهار گام برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایند وجود دارد: ۱. ایجاد مدلی شبیه‌سازی‌شده از فرایند؛ ۲. راه‌اندازی مدل شبیه‌سازی‌شده؛ ۳. تحلیل مقیاس‌های عملکرد و ۴. ارزیابی سناریوهای جایگزین.

۸. پیاده‌سازی طرح فرایند جدید: معیارهای مورد توجه برای پیاده‌سازی طرح عبارتند از: زمان، هزینه، نزدیکی به موفقیت و پتانسیل بهبود. استراتژی پیاده‌سازی ممکن است به‌عنوان یک استراتژی پیاده‌سازی انقلابی، تکاملی یا گاهی میان این دو دیده شود. استراتژی پیاده‌سازی انقلابی مستلزم تغییر سریع و هزینهٔ بالا و نیز نیازمند تعهد بالای مدیریت است. استراتژی پیاده‌سازی تکاملی، نیازمند زمان طولانی‌تری است و تغییرها به بهبودهای سریع منجر نمی‌شوند. هزینه‌ها، به‌ویژه هزینه‌های داخلی، کاسته می‌شوند (لاگونا و مارک‌لند، ۲۰۰۴).

مدل شبیه‌سازی بانکس

مدل بانکس، رویکردی دیگر به شبیه‌سازی برای پژوهش‌های شبیه‌سازی رویدادهای گسسته است. مدل ارائه‌شدهٔ بانکس، دربرگیرندهٔ ۱۲ گام و گذرگاه‌های متعددی است که برای اجرای پژوهش باید از آنها پیروی کرد. این گام‌ها عبارتند از: ۱. تدوین مسئله (شبیه‌سازی با یک بیان مسئله آغاز می‌شود)؛ ۲. تدوین هدف‌ها (شامل پرسش‌هایی که باید از طریق بررسی شبیه‌سازی مطرح شود) و برنامهٔ کلی پروژه (دربرگیرندهٔ سناریوهای مختلفی است که باید بررسی شوند)؛ ۳. مفهوم‌سازی مدل (سیستم دنیای واقعی مورد بررسی، در یک مدل مفهومی، پیکربندی می‌شود. واقعیت از طریق مجموعه‌ای از روابط ریاضی و منطقی مرتبط با بخش‌های مختلف سیستم، تشریح می‌شود. مدل‌سازی باید با یک مدل ساده آغاز شود و سپس رشد یابد تا به یک سطح مناسب از پیچیدگی مدل دست یابد)؛ ۴. جمع‌آوری اطلاعات؛ ۵. تفسیر مدل (مدلی مفهومی که در گام سوم ایجاد شده است، در مدل رایانه‌ای به رمز درمی‌آید)؛ ۶. بازبینی (آیا مدل به‌طور مناسب و مطلوب عمل می‌کند؟)؛ ۷. تأیید (تعیین اینکه آیا مدل مفهومی ارائه‌شده از سیستم واقعی در مسیر درستی قرار دارد؟)؛ ۸. طرح تجربی (باید در مورد زمان و دفعه‌های شبیه‌سازی هر سناریو تصمیم‌هایی گرفته شود)؛ ۹. ادامهٔ تولید و تجزیه و تحلیل آن؛ ۱۰. ادامهٔ بیشتر تولید (بنا بر تحلیل‌های انجام‌شده در گام هشت، ممکن است نیاز بیشتری به ادامهٔ تولید باشد یا بعضی از سناریوها شبیه‌سازی شوند)؛ ۱۱. مستندسازی و گزارش‌دهی و ۱۲. پیاده‌سازی (در جریان مرحلهٔ پیاده‌سازی، تحلیلگران شبیه‌سازی به‌جای طرفداری، به‌عنوان یک گزارشگر عمل می‌کنند). اگر مشتریان در سراسر پروژه درگیر شوند و تحلیلگران شبیه‌سازی از همهٔ این گام‌ها پیروی کنند، احتمال پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز افزایش می‌یابد (بانکس، ۱۹۹۹).

مزایای روش شبیه‌سازی

شبیه‌سازی مزایای متعددی دارد که در اینجا به بعضی از آنها اشاره می‌شود:

۱. توسعهٔ الگوها برای درک رفتار سیستم؛ ۲. میسرکردن آموزش و ایجاد امکان یادگیری؛ ۳. اهمیت شبیه‌سازی به‌عنوان ابزاری مهم برای بررسی، درصورتی‌که راه حل‌های تحلیلی پیشنهادی، به‌وسیلهٔ تحلیل الگوهای ریاضی به اجرا درآیند؛ ۴. پاسخ به پرسش‌هایی در مورد چگونگی یا چرایی وقوع پدیده یا آگاهی از اینکه چگونه یک تغییر کوچک در بخشی از یک سیستم، بر کل سیستم تولید اثر می‌گذارد؛ ۵. بررسی احتمال‌ها برای ارزیابی رفتار سیستم، از طریق تغییرهای درونی و بیرونی؛ ۶. پشتیبانی از ارتقای کارایی فرایند و سازمان؛ ۷. تغییر در محیط‌های موجود؛ ۸. جلوگیری از صرف هزینه‌های غیر ضروری؛ ۹. ارتقای اثربخشی تولید؛

۱۰. ارائهٔ ایده‌هایی برای اثربخشی ممکن سیستم‌ها؛ ۱۱. تجزیه و تحلیل فرایندهای تولیدی، بدون ایجاد اختلال در سیستم واقعی (گبوس و همکاران، ۲۰۰۴؛ فانتینوپیتا و وانگ، ۲۰۱۰)؛ ۱۲. کاهش هزینه‌های تعمیر و جبران اشتباه‌ها به‌دلیل کشف و ردیابی خطاها در چرخهٔ تولید؛ ۱۳. ایجاد فرصتی برای مقایسهٔ مفاهیم، تجهیزات و سناریوها قبل از خریداری (گبوس و همکاران، ۲۰۰۴)؛ ۱۴. ایجاد بینشی برای رفتار سیستم‌های تولیدی تحت انواع گوناگون سیاست‌های کنترل (مانند قوانین متفاوت توزیع امکانات)؛ ۱۵. تعیین صحت الگوهای تحلیلی و ۱۶. اجتناب از صرف هزینهٔ بالا در پیاده‌سازی سیستم (گاهاگان، ۲۰۰۸).

شبیه‌سازی یکی از پرقدرت‌ترین و مفیدترین ابزارهای تحلیل سیستم‌های پیچیده به‌شمار می‌رود؛ زیرا در تمام مراحل تحلیل، به کلیت یک سیستم توجه می‌کند. به‌طور معمول، در بیشتر صنایع، امکان تغییر کلی و حتی جزئی در خطوط تولیدی وجود ندارد؛ چرا که تغییر قسمتی از یک سیستم ممکن است در قسمت‌های دیگر سیستم نیز تغییرهای زیادی را به‌وجود آورد یا نیاز به تغییر را در آنها ایجاد کند (آزاده و همکاران، ۱۳۷۹).

هر سیستمی با داده، بازداده و پردازش سروکار دارد. داده‌ها، به‌صورت‌های مختلف مانند مواد خام، انرژی، داده‌های خام یا نیروی انسانی وارد سیستم می‌شوند. در شرکت دسا بارزترین آنها، قطعه‌های اولیه هستند که برای مونتاژ وارد خط تولید کارخانه می‌شوند. پردازش، فرایند تبدیل درون‌داده‌هاست که در شرکت دسا به‌صورت مونتاژ نمود می‌یابد. برون‌داده‌ها به‌صورت خروجی، یعنی موتور دیزل در سیستم دسا خود را نشان می‌دهند. مدل عبارت است از الگویی که از واقعیت گرفته شده و روابط بین متغیرها را نشان می‌دهد و می‌توان از آن برای پیش‌بینی در تصمیم‌گیری استفاده کرد (الوانی، ۱۳۷۴). مدل‌سازی یک سیستم، چیزی غیر از شبیه‌سازی نیست. شبیه‌سازی، فرایند طراحی مدلی از سیستم واقعی و انجام آزمایش‌هایی با آن، با هدف پی‌بردن به رفتار سیستم یا ارزیابی استراتژی‌های گوناگون برای عملیات سیستم است. فرایند شبیه سازی، هم شامل ساختن مدل و هم شامل استفادهٔ تحلیلی از آن، برای مطالعهٔ یک سیستم است (شانون، ۱۳۷۱).

خط مونتاژ، فرایندی تولیدی دارد که در آن، قطعه‌ها به‌ترتیب مشخصی، برای رسیدن به یک محصول نهایی به هم وصل می‌شوند. شناخته‌شده‌ترین فرم خط مونتاژ، خط مونتاژ متحرک است که برای اولین‌بار به‌وسیلهٔ کمپانی فورد، بین سال‌های ۱۹۰۸ تا ۱۹۱۵ راه‌اندازی شد. کمپانی فورد برای پاسخگویی به نیازهای بازار، مفهوم تولید انبوه با استفاده از خط مونتاژ را سرلوحهٔ کار خود قرار داد تا بدین‌وسیله کالاهای تولیدی خود را با هزینهٔ پایین عرضه کند.

محققان، روش‌هایی را برای بهبود خطوط مونتاژ و رفع مشکل‌های آن پیشنهاد می‌کنند: ۱. تغییر چیدمان؛ به‌عنوان مثال، برای حل مشکل، خط لی‌اوت جدیدی ارائه می‌شود؛ ۲. تغییر در چگونگی جریان مواد: ممکن است با تحلیل‌های انجام‌شده، چیدمان خط، مطلوب ارزیابی شود، اما چگونگی ورود مواد یا ترتیب ورود آنها، به‌عنوان سرچشمهٔ مشکل معرفی شود؛ ۳. تغییر در سطح منابع؛ تحلیلگر در بررسی خود به این نتیجه می‌رسد که برای حل مشکل‌های تولیدی، باید تجهیزات جدیدی خریداری یا افراد جدیدی استخدام شوند یا اینکه ساعت کاری (یا شیفت کاری) افراد، افزایش یا حتی کاهش یابد. ۴. برنامه‌ریزی و سیاست‌ها؛ به‌عنوان مثال ممکن است سیاست کنترل موجودی یا سیاست کنترل کیفیت برای بهبود خط مونتاژ، دستخوش تغییر شود. تغییر در انواع زمان‌بندی‌ها نیز در این دسته قرار می‌گیرند.

موازنهٔ خط مونتاژ عبارت است از قراردادن واحدهای کاری قابل تعریف (که اشاره به وظایف دارد) در گروه‌های منسجم (که اشاره به مراکز کاری دارد) مطابق با بعضی از هدف‌ها. معمولاً این هدف‌ها به یکی از دو شکل زیرند: نخستین هدف عبارت است از کمینه‌سازی کارکنان مورد نیاز و هدف دوم عبارت است از کمینه‌سازی میزان زمان مقتضی، میان اتمام و تکمیل کارهای متوالی (چرخهٔ زمانی) (مَک‌مالِن و فریزِر، ۱۹۹۸). تولید خط مونتاژ، یکی از رایج‌ترین اصول بنیادی است که در سیستم تولید استفاده می‌شود. مسئلهٔ توازن خط مونتاژ، با توزیع فعالیت‌ها در میان ایستگاه‌های کاری در ارتباط است؛ تا اندازه‌ای که بدون مختل‌کردن ترتیب کار، استفاده از منابع انسانی و امکانات، بیشینه شود. کارهای پژوهشی گزارش‌شده در ادبیات، عمدتاً با کمینه‌سازی زمان بی‌فایده سروکار دارند؛ یعنی موازنه با هدف محدودیت‌هایی که در اولویت قرار دارند. نبود یگانگی و وحدت در راهکارهای بهینه‌سازی پژوهش‌های پیشین، به انجام کار تحقیقی حاضر منجر شد که هم کمینه‌سازی اتلاف موازنه و هم اتلاف سیستم تحت محدودیت‌های معمولی را که در اولویت قرار دارند، در ذهن مجسم می‌کند. برای طراحی یک خط مونتاژ با تعداد مشخصی از ایستگاه‌های کاری، محققان رویکرد خاصی را پیشنهاد می‌کنند که راه حل‌های مطلوبی را به‌صورتی کارآمد، با روش‌های مختلف پژوهشی از قبیل شبیه‌سازی، اکتشافی- ابتکاری و... ارائه می‌کند؛ بنابراین، هدف عمدهٔ پژوهش حاضر، تعریف مجدد واقعیت مسئلهٔ موازنهٔ خط مونتاژ و به‌دنبال آن، مهار اتلاف موازنه و اتلاف سیستم است. هنگامی که رویکرد محققان با روش‌های موازنهٔ خط استاندارد- که تاکنون در ادبیات تحقیق در دسترس بود- مقایسه شد، برای تشریح ماهیت کلی رویکرد محققان و بهبود مجموعهٔ راهکارها، یک الگوی عددی به آن اضافه شد.

در پژوهش حاضر، پس از طراحی مدلی مجازی از مراحل مختلف خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران (دسا)، ضمن حفظ کلیت عملکردی این خط، برای شناسایی نقاط مستعد بهبود، روش‌ها و سناریوهای مختلفی آزموده خواهند شد تا معلوم شود که برای بهبود خط مونتاژ این شرکت، باید به چه نقاط و سناریوهایی توجه شود؟

پیشینهٔ تجربی پژوهش

پژوهش‌های انجام‌شده در داخل کشور

سید اصفهانی، حیدری و جابری (۱۳۹۲)، در پژوهشی با عنوان ارائهٔ الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، برای بهینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم‌های سری- موازی، k- از n- جانشینی با پارامترهای فازی، با ارائهٔ یک مدل ریاضی برای تخصیص بهینهٔ تعداد اجزای مازاد هر محله از یک سیستم چندمرحله‌ای با ساختارهای سری- موازی، k- از n- جانشینی با هدف حداکثرسازی قابلیت اطمینان سیستم دریافتند که ساختار جانشینی ارائه‌شده در مدل پژوهش، قابلیت اطمینان بیشتری را برای سیستم به‌وجود می‌آورد. شکوهی و شهریاری (۱۳۸۹) با هدف توسعهٔ یک مدل چندهدفی برای بهینه‌سازی مدت ساخت در یک سیستم مونتاژ چندمرحله‌ای، یک مدل کنترل بهینهٔ سه‌هدفی ناسازگار، شامل کمینه‌کردن هزینهٔ عملیات دوره‌ای، کمینه‌کردن میانگین مدت ساخت و واریانس مدت ساخت را پیشنهاد کرده‌اند که نتایج شایان توجهی در شرایط نبود قطعیت پارامترها داشته است. آذر و همکاران (۱۳۸۷)، در پژوهشی با عنوان مدل‌سازی و بهینه‌سازی کاهش بار و جابه‌جایی میزان تولید نیروگاه‌ها در شرایط اضطراری شبکهٔ انتقال برق و با هدف محاسبهٔ کمترین میزان بارزدایی یا جابه‌جایی تولید، برای خروج شبکهٔ انتقال برق از شرایط اضطراری، یک شبکهٔ تولید انرژی الکتریکی (شامل هشت ایستگاه تولید انرژی) را آزمایش و شبیه‌سازی کردند. نتایج مدل‌های شبیه‌سازی، بیانگر برتری و مزیت روش این پژوهش، نسبت به روش‌های دیگر با حذف بار، در شبکه بوده است. حسینی و همکاران (۲۰۱۲) به شبیه‌سازی بهینه‌سازی خط کنترل کیفیت تولید انبوه یک شرکت خودروسازی پرداختند و از روش سیمفونی استفاده کردند. یافته‌های تحقیق نشان داد که زمان انتظار در یکی از بخش‌ها بالا بوده است که دلیل نارضایتی از بهره‌وری خط تولید بود. از طرف دیگر، استفاده از منابع، در این بخش از سایر بخش‌ها بیشتر بود؛ بنابراین، در این بخش، کارکنان ناخشنود بودند. همچنین یافته‌ها نشان داد که از طریق کاهش زمان یا طول مدت انتظار، رضایت ایجاد شده بود. هم کارکنان و هم مالک از کاهش استفاده از منابع و افزایش نتایج خط تولید خرسند بودند.

سلیمان‌پور و زینال‌زاده (۱۳۸۸) با هدف متعادل‌سازی خط مونتـاژ تولیـد در راسـتای افـزایش کارایی و کاستن از هزینهٔ سیستم‌ها، با درنظرداشتن استانداردهای بهینه و محدودیت‌های موجود، مدلی را طراحی و اجرا کرده‌اند. سپس با اجرای مدل و مقایسهٔ نتایج آن با شرایط واقعی موجـود، پیشنهادهایی را برای بهبود عملکرد سیستم ارائه کرده‌اند. بـرای نخسـتین‌بـار، آزاده و همکـاران (۲۰۱۲) در پژوهشـی، بهبـود عملکـرد یـک کارگـاه مونتـاژ چندمحصـولی را از طریـق رویکـرد شبیه‌سازی یکپارچهٔ فازی بررسی کردند. یافته‌های پژوهش نشان داد که نرخ محاسبه‌شدهٔ تولیـد، با استفاده از شبیه‌سازی فازی نسبت به روش شبیه‌سازی مرسوم، بسیار نزدیک‌تر بـه نـرخ تولیـد واقعی است؛ بنـابراین، روش فـازی، صـحت شـبیه‌سـازی را افـزایش مـی‌دهـد و راه حـل‌هـای درست‌تری را نسبت به شبیه‌سازی مرسوم ارائه می‌کند. شبیه‌سازی فازی نبود اطمینان را بهتـر از شبیه‌سازی‌های مرسوم به نمایش می‌گذارد؛ عـلاوه‌بـراین، محققـان بـا توجـه بـه موانـع تولیـد، محدودیت‌های سیستم و هدف‌های خود، برای بهبود عملکرد کارگاه مونتاژ، از شبیه‌سـازی فـازی استفاده کردند. نویسندگان با توجه به عوامل مدیریتی و اقتصادی، راهکارها و اسـتراتژی‌هـایی را برای بهبود عملکرد سیستم ارائه کرده‌اند.

پژوهش‌های انجام‌شده در خارج از کشور

راید و ساندبلاد (۲۰۱۳) در پژوهشی با استفاده از روش شبیه‌سازی، به بهبود فرایند تولید، افزایش پردازش و انعطاف فرایند تولیـد در شـرکت‌هـای ارتباطـات راه دور کشـورهای اسـتونی و چـین پرداختند که به نتیجه‌گیری‌های متعددی از طرح‌بندی تولید بهینـه انجامیـد. یکـی از مهـم‌تـرین بهبودهایی که دیده شد، ارائهٔ یک وسیلهٔ جدید تست برای کاهش زمان سـوارکردن اُپراتـور بـود. افزایش انعطاف، از طریق تسهیم و به‌اشتراک‌گذاری گلوگاه‌ها برای کاربرد بیشتر در هر متر مربع میسر است که این کار، موجب راه‌اندازی منعطف‌تر تولید می‌شود و نیاز به خطوط اضافی تولید را کاهش می‌دهد. فاندینو پیتا و وانگ (۲۰۱۰) فرایند تولیدی و خط تولید را در یک کارخانـهٔ تولیـد بطری شیشه‌ای، با استفاده از شبیه‌سازی و برای تسهیل سیستم تولید بررسی کردند. تأیید الگوی شبیه‌سازی، نشان‌دهندهٔ قابلیت الگو برای بازآفرینی سیسـتم واقعـی، همـراه بـا دقـت و صـحت، رضایت‌بخش و کافی بوده است. آنها نشان دادند که با موفقیت به هدف خود در خط تولید دسـت یافته‌اند. فانتینوپیتا و وانگ متعتقدند کـه بـرای بهبـود خـط تولیـد بایـد تغییرهـایی ضـروری در ماشین‌آلات و در توزیع منابع ایجاد شود. ویلیامز و گیورت (۱۹۹۷) با هدف بهینـه‌سـازی سـکوی بارگیری و تخمین نرخ خروجی با استفاده از شبیه‌سازی، به تحلیل سیستم تولیـدی یـک شـرکت تأمین قطعه‌های یدکی خودرو پرداختند و دریافتند که باید پروسهٔ کاری و نیـز چیـدمان جدیـدی

طراحی شود تا تخمین دقیق‌تری از نرخ خروجی و راه‌های کم‌هزینه برای بهبود طراحی مشخص شود. این امر موجب بهبود عملکرد کاری شد و تعداد کارگران مورد نیاز خط نیز تعدیل شد. شِیدی و همکاران (۱۹۹۷) با هدف ارائهٔ یک سلول کاری پیشنهادی برای تولید یک محصول جدید با استفاده از شبیه‌سازی، طرح سلول کاری جدید را برای تولید محصول در سطح مورد نیاز پیشنهاد کردند؛ به‌گونه‌ای که زمان سیکل تولیدی، بیش از پیش کاهش یافت و اطلاعات حیاتی بسیاری برای طراحان سلول کاری و فرایند فراهم شد.

ویارئال و آلانیس (۲۰۱۱) در پژوهشی با استفاده از یک رویکرد شبیه‌سازی، به‌دنبال بهبود عملکرد خط تولید در یک شرکت مکزیکی بودند. نتایج شبیه‌سازی محققان، به‌شکلی مثبت بر عملیات شرکت اثر گذاشت: کاهش ۳۵ درصدی در کمیت عملیات‌ها؛ افزایش ۴۰ درصدی در کاربرد منابع مولد؛ کاهش ۲۷ درصدی در فضای مورد نیاز؛ انعطاف بیشتر کاربران پس از یک آموزش پرشور و فعال؛ بهبود زمان واکنش در ظرف ۱۶ درصد و کاهش ۲۸ درصدی در هزینهٔ واحد تولید. کانگ و همکاران (۱۹۹۸) با هدف کاهش زمان سیکل در تعمیرگاه هواپیماها در نیروی دریایی، با بررسی پروسهٔ تعمیر هواپیماها، دو مدل شبیه‌سازی جداگانه، ارائه و ضمن طراحی مجدد پروسه‌های موجود، پیشنهاد کرده‌اند که قطعه‌های ارزان‌قیمت بیشتری به سیستم تزریق شود.

مک‌مالن و فریزر (۱۹۹۸) در پژوهشی از روش شبیه‌سازی‌شده برای حل مسئلهٔ موازنه میان هدف‌های چندگانهٔ خط مونتاژ با ایستگاه‌های کاری موازی استفاده کردند. در این پژوهش، محققان به دو هدف عملکردی هزینهٔ کل و زمان مطلوب چرخه پرداختند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش شبیه‌سازی‌شده، راه حل‌های بهتری را برای عملکرد زمانی چرخه ارائه می‌کند، اما برای عملکرد هزینه‌ای، راه حل‌های متوسطی را ارائه می‌دهد. اسپرینگفیلد و همکاران (۱۹۹۹) با هدف تحلیل عملیات مونتاژ الکترونیکی تأمین قدرت موشک دوربرد هل‌فایر، با استفاده از شبیه‌سازی و طراحی مبتنی بر تجربه‌ها پیشنهاد کرده‌اند که باید کارگران جدیدی به سیستم، اضافه و بعضی تجهیزات از اتاق‌های تست کم شوند. لی و همکاران (۲۰۰۰) با هدف بهینه‌سازی یک خط مونتاژ کمپرسور و با استفاده از شبیه‌سازی و الگوریتم ژنتیک دریافتند که گلوگاه عمده‌ای در خط وجود ندارد و بالانس خط در حد مطلوب است، ولی می‌توان با کم‌کردن سرعت تعدادی از ماشین‌آلات، به نرخ خروجی مورد انتظار دست یافت.

هاوسر (۲۰۰۲) با هدف بهینه‌سازی و شبیه‌سازی عملیات خط تولید، به بررسی، مقایسه و تحلیل چیدمان جاری خط تولید شرکت تویوتا با سه چیدمان پرداخته و با استفاده از شبیه‌سازی، چیدمان مطلوب را ارائه کرده است. کی‌جاکیک (۲۰۰۲) با هدف کاربرد دیدگاه شبیه‌سازی برای

طراحی چیدمان یک خط مونتاژ اتوبوس، به بررسی و بهینه‌سازی خط پرداخته است. وی با راهکار کلی تغییر چیدمان، در مرحلهٔ نخست، خط مونتاژ جاری را شناسایی و تحلیل کرده و با درنظرگرفتن مشکل‌های موجود، نظیر گلوگاه‌ها و محصول‌های نیمه‌ساخته و کار در جریان، سه چیدمان جدید ارائه کرده که یکی از آنها به‌عنوان چیدمان مطلوب انتخاب شده است.

تانتیوانیچ و سوباسنا–نا–آیادتیا (۲۰۰۲) پژوهشی را با هدف توسعهٔ یک مدل شبیه‌سازی، برای شناسایی راهکارهای بهبود بهره‌وری خط مونتاژ در کارخانهٔ نیمه‌رسانای مستقر در صنعت‌های‌تِک در آیاتایا به انجام رساندند. پیشنهادهایی را که محققان برای بهبود بهره‌وری و زمان چرخهٔ خط مونتاژ ارائه کردند، عبارتند از: اضافه‌کردن یک ماشین DTF؛ اضافه‌کردن یک ماشین برجسته‌کار؛ افزودن یک ماشین شکل‌دهنده؛ کاهش زمان نصب و راه‌اندازی و کاهش زمان تعمیر. گبوس و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی رویداد گسسته، به بهینه‌سازی محصول در خطوط مونتاژ تولیدهای الکترونیکی پرداختند و برای انجام تست‌ها، مدل را ۴۰ مرتبه اجرا کردند تا از ارتباط و فواصل خوب، اطمینان حاصل کنند. یافته‌ها نشان داد که استراتژی زمان‌بندی، ضعیف‌ترین عملکردها را داشته است؛ چرا که هیچ معیار بهینه‌ای انتخاب نشده است. انتخاب دومین استراتژی، به ذخیرهٔ ۶۰ درصد از زمان تولید منجر شد. دربارهٔ استراتژی سوم، این نتیجه حاصل نشد. همچنین محققان نشان دادند که افزودن کاربران یا سرپرستان، هیچ اثر قابل درکی بر عملکرد کلی خط تولید نداشته است.

پرسش‌های پژوهش

با توجه به ادبیات و موارد فوق، در پژوهش حاضر به این سؤال‌ها پاسخ داده خواهد شد:

۱. مدل شبیه‌سازی‌شدهٔ خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران چیست؟

۲. نقاط قابل بهبود خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران کدام است؟

۳. چه سناریو یا سناریوهایی برای بهبود خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران وجود دارد؟

۴. کدام سناریو، به بهبود بیشتر در خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران منجر خواهد شد؟

روش‌شناسی تحقیق

جامعه و نمونه: جامعهٔ آماری این پژوهش برای انجام مطالعه‌های میدانی، شامل تمامی کارکنان فنی،کارشناسان، مدیران و خبرگانی خواهد بود که بتوانند در کار جمع‌آوری داده‌های مرتبط با خط تولید شرکت همکاری کنند. با توجه به موضوع پژوهش، با ۴۸ نفر از کارشناسان و خبرگان امر مصاحبه شد. این افراد از نظر تحصیلی، ۳۵ درصد زیر دیپلم و دیپلم، ۳۸ درصد فوق دیپلم،

۱۷ درصد لیسانس و ۱۰ درصد فوق لیسانس و بالاتر از آن، از نظر تجربهٔ کاری ۱۹ درصد زیر پنج سال، ۳۵ درصد ۵- ۱۰ سال، ۲۹ درصد ۱۰- ۱۵ سال و ۱۷ درصد بالای ۱۵ سال سابقهٔ کار داشتند و از نظر نوع وظیفه، ۵۴ درصد کارگر فنی، ۱۵ درصد ناظر خط مونتاژ، ۱۳ درصد پرسنل کنترل کیفیت، ۱۰ درصد پرسنل کنترل تولید و ۸ درصد پرسنل برنامه‌ریز بوده‌اند.

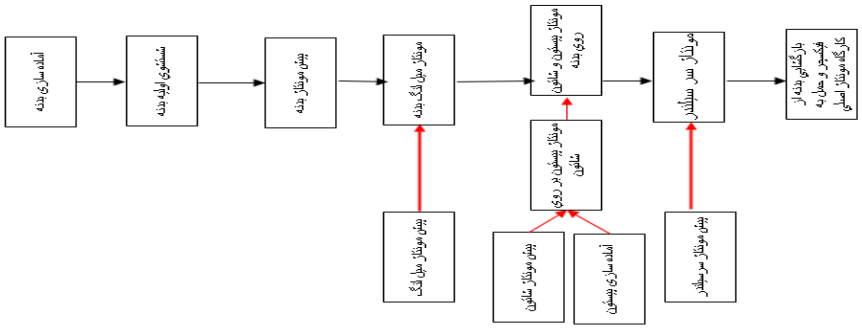
داده‌ها و روش اجرا: ابزار جمع‌آوری داده‌ها در پژوهش حاضر، مراجعه به اسناد و مدارک، مشاهده و مصاحبه بوده است. برای شروع کار، ابتدا به مشاهده و مطالعهٔ جانمایی کارخانه و مراحل کلی مونتاژ محصول پرداختیم. سپس با استفاده از ماژول‌های موجود، جانمایی موجود در نرم‌افزار را مدل‌سازی و اطلاعات زمان‌های صرف‌شده برای انجام هرکار را در نرم‌افزار وارد کردیم. منبع اولیه برای جمع‌آوری اطلاعات زمان‌بندی، اسناد داخلی شرکت بوده است. آن‌گاه، مدل نهایی را آماده و اجرا و نتایج اجرای آن را با داده‌های واقعی مقایسه کردیم تا اشکال‌های احتمالی، شناسایی و مرتفع شوند. سپس، صحت و اعتبار مدل را با استفاده از تحلیل واریانس، تعیین و درنهایت، با کارکنان، مدیران و دست‌اندرکاران مرتبط با خط مونتاژ، مصاحبه کردیم. در پایان، ایده‌ها و سناریوهای کلی برای بهبود خط جمع‌آوری در مدل، اعمال و اثر آنها ثبت شد تا نقاط بهبود خط مونتاژ و اثر آنها تعیین شود.

برای شناسایی گلوگاه‌های خط تولید در سیستم‌های تولید، از روش‌های متعددی مانند ۱. روش دورهٔ فعال، ۲. روش نقطهٔ تحول، ۳. روش پیکان‌محور و ۴. روش مبتنی بر شاخص‌های بسیار مهم استفاده می‌شود و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزارهایی از قبیل WITNESS انجام می‌شود. اصطلاح «گلوگاه» به‌معنای تشریح نقطهٔ تراکم در هر سیستم از شبکه‌های کامپیوتری برای خط مونتاژ یک کارخانه است. شناسایی گلوگاه‌های خط مونتاژ یا یک سیستم تولید، فرصتی را فراهم می‌کند تا به‌جای بهبود در همهٔ بخش‌های سیستم، تنها از طریق بهبود در یک فرایند آن، جریان تولید را بهبود بخشیم (لپوریس و کرالووا، ۲۰۱۰). یکی دیگر از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، نرم‌افزار ARENA است که بیش از دو دهه است که در سطح جهانی در شبیه‌سازی پیشتاز شده است. این نرم‌افزار، تعامل با سایر ابزارهای رایانه‌ای، از قبیل ویژوال بیسیک، اکسل و... را مقدور می‌سازد؛ بسیار همبسته با محیط ویندوز و قابل اتصال با سایر برنامه‌های این محیط است. با استفاده از نرم‌افزار ARENA می‌توان سطح پیچیدگی را با استفاده از «ویژگی‌های اساسی» یا ویژگی‌هایی که بسیار خاصند، انتخاب کرد. این نرم‌افزار حتی امکان ایجاد ابزارهای سفارشی در برنامه را نیز دارد (گبوس و همکاران، ۲۰۰۴)؛ بنابراین، در پژوهش حاضر، برای تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزارهای ARENA و SPSS استفاده شده است.

چیدمان خط و جریان مواد

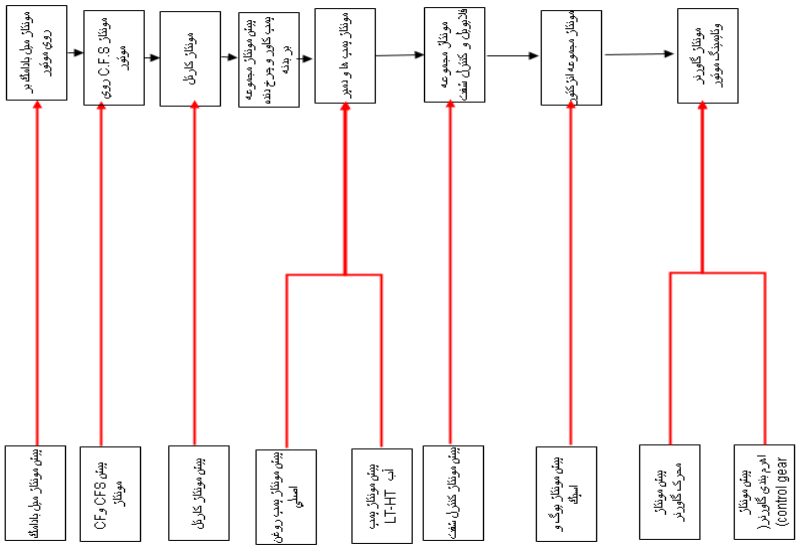
خط مونتاژ شرکت دسا از نوع سفارشی است. سفارشی‌بودن سبب می‌شود تا برای هر نوع موتور، در نحوهٔ مونتاژ تغییرهایی به‌وجود آید. این امر خود مستلزم داشتن خطوط مونتاژی متعددی می‌شود، ولی به‌طور کلی پروسهٔ مونتاژ انواع موتورها، اعم از دور بالا، دور متوسط و دور پایین، تقریباً مشابه هم است و تفاوت عمده، به چگونگی نصب قطعه‌های موتور بستگی دارد که به صورت‌های مختلف، مونتاژ یا به اصطلاح سوار می‌شوند. با توجه به موارد فوق و با بررسی‌های انجام‌شده، خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران، ۷ کارگاه، ۳۷ ایستگاه و ۱۲۶ مورد عملیات داشته است. البته تعداد عملیات خط مونتاژ، ۱۲۴ مورد است، اما دو عملیات دیگر هم وجود دارند که به‌صورت تک‌عملیاتی و جداگانه، بعد از اتمام مونتاژ صورت می‌گیرند که عبارتند از: کارهای تکمیلی قبل از بسته‌بندی و بسته‌بندی نهایی. بعد از اینکه شناسایی اجزا و فعالیت‌های خط مونتاژ به پایان رسید، چگونگی جریان مواد و مراحل مونتاژ و کار خط، به‌دقت بررسی شد که در نتیجهٔ این کار، چگونگی جریان مواد در خط مونتاژ شناسایی شد. برای ساده‌سازی نمایش، چگونگی جریان مواد به سه قسمت تقسیم شده است:

۱. مرحلهٔ اول، آماده‌سازی: این مرحله، فاز اولیهٔ کار است. بعد از بازگشایی اولیه و انجام چند عملیات بر آن، در آخر این مرحله، بدنه از فیکسچر باز می‌شود و به کارگاه اصلی (کارگاه مونتاژ اصلی ۱) منتقل می‌شود تا میل بادامک، روی بدنه مونتاژ شود.



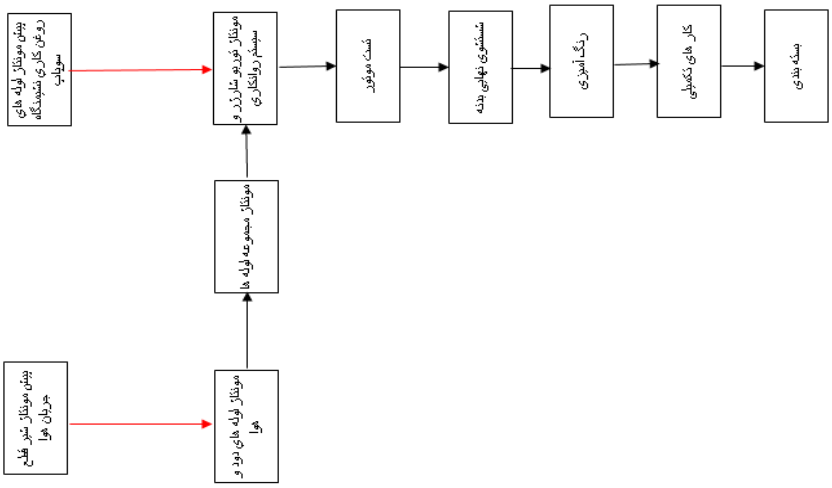
شکل ۱. مرحلهٔ اول جریان مواد

۲. مرحلهٔ دوم، مونتاژ و پیش‌مونتاژ: در این مرحله، قسمت عمده‌ای از مراحل پیش‌مونتاژ و مونتاژ اتفاق می‌افتد. در قسمت آخر این مرحله، مونتاژ گاورنر در ایستگاه سوم کارگاه مونتاژ اصلی ۲ رخ می‌دهد.



شکل ۲. مرحلهٔ دوم جریان مواد

۳. مرحلهٔ سوم، مونتاژ نهایی و تست: در این مرحله، کار مونتاژ به پایان می‌رسد و تست انجام می‌گیرد. درنهایت هم محصول نهایی بسته‌بندی می‌شود. پس از بسته‌بندی ممکن است کالا به انبار انتقال یابد یا اینکه به‌طور مستقیم برای سفارش‌دهنده ارسال شود.



شکل ۳. مرحلهٔ سوم جریان مواد

محصول مورد بررسی

اگرچه مراحل تولید موتورهای مختلف در بیش از ۸۵ درصد مواقع شبیه به هم است، اما به‌طور خاص، این پژوهش به دو دلیل، بر موتور ۱۶ سیلندر سری روستون- که در اصطلاح فنی به آن16 RK 215 گفته می‌شود، متمرکز شده است:

۱. بیشتر داده‌ها ازجمله داده‌های زمان‌سنجی در مورد موتور روستون، در واحد تولید موجود است.

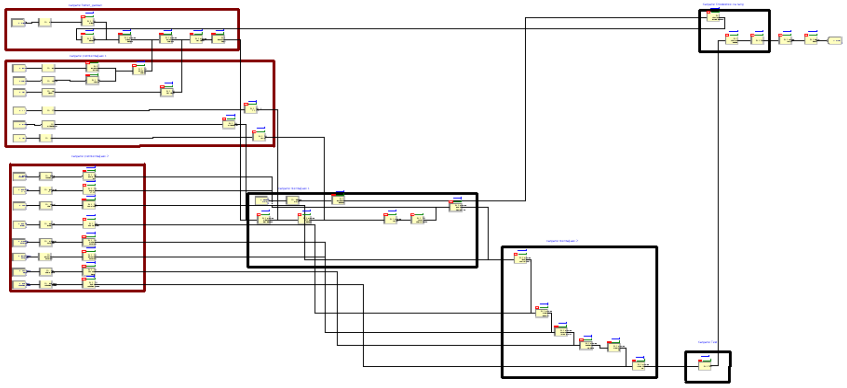
۲. سری روستون بیشتر از هر مدل دیگری در کارخانه تولید شده است. بدیهی است با توجه به شباهت‌های بسیار زیاد مراحل ساخت موتورهای مختلف، نتایج این پژوهش، به‌راحتی در مورد موتورهای دیگر قابل استفاده است.

شکل ۴. نمایی از موتور روستون، سری 16 RK 215.

یافته‌های پژوهش

مدل شبیه‌سازی‌شدهٔ خط مونتاژ شرکت دسا چیست؟

بعد از ورود داده‌های به‌دست‌آمده از خط و ایجاد ارتباط بین ماژول‌ها، شکل زیر در نرم‌افزار به‌دست آمده است.



شکل ۵. مدل ایجادشده در نرم‌افزار

پس از آماده‌شدن مدل، بـه تعیـین اعتبـار آن بـه‌عنـوان آخـرین مرحلـهٔ تشـکیل و تکمیـل شبیه‌سازی اقدام شد. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد کـه تحلیـل واریـانس، یکـی از معمول‌ترین آنهاست (آزاده و همکاران، ۱۳۷۹: ۸). بدین‌منظور، اطلاعات مربوط به حداکثر زمـان صرف‌شده بـرای تولیـد یـک موتـور در سیسـتم واقعـی، براسـاس مسـتندات موجـود در بخـش برنامه‌ریزی شرکت، به تعداد ۸ بار متوالی در سیستم، در جدول زیر آمده‌اند.

جدول ۱. تولید یک موتور به تعداد ۸ بار در سیستم واقعی- واحد ساعت

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمان سیکل	۴۲/۹۸۴۱	۴۱/۹۲۳۷	۴۳/۰۴۹۲	۴۳/۲۲۱۲	۴۳/۸۸۱۲	۴۳/۸۹۵۱	۴۳/۱۵۲۳	۴۳/۵۸۹۵

حال باید حداکثر زمان صرف‌شده برای تولید تعداد خاصی موتور، با استفاده از نرم‌افـزار تهیـه شود. برای تعیین دفعه‌های تکرار در مدل، قاعدهٔ خاصی وجـود نـدارد. بـا ایـن‌حـال، بـرای ایـن پژوهش، از سه‌برابر تعداد واقعی، یعنی ۲۵ استفاده شده است. برای سنجش معتبربودن این عـدد، از آزمون ANOVA در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. چنانچه نتیجهٔ آزمون، بیانگر نبود اعتبار باشد، این مقدار، افزایش می‌یابد و آزمون با مقدار جدید انجام می‌شود. این رویه تا به‌دست‌آمـدن مقدار معتبر ادامه پیدا می‌کند. برای استفاده از این آزمون، مدل به تعداد ۲۵ مرتبه اجـرا شـد.[۱] بـا

۱. پروژهٔ ایجادشده برای این رانش، DESA-arena-REAL-1_25 نام دارد.

استناد به این خروجی‌ها، حداکثر زمان صرف‌شده برای ۲۵ بار تولید یک موتور، با استفاده از شبیه‌سازی، به‌طور خلاصه در جدول پایین ذکر شده است.

جدول ۲. نتیجهٔ رانش مدل برای تولید یک موتور به تعداد ۲۵ بار- واحد ساعت

دفعه	زمان سیکل	دفعه	زمان سیکل	دفعه	زمان سیکل
۱	۴۳/۳۳۸۳	۱۱	۴۱/۳۱۵۳	۲۱	۴۳/۵۹۲۵
۲	۴۳/۶۵۷۸	۱۲	۴۵/۵۶۹۲	۲۲	۴۴/۳۷۶۱
۳	۴۱/۳۷۴۷	۱۳	۴۲/۷۳۰۸	۲۳	۴۳/۳۸۰۳
۴	۴۲/۰۹۷۸	۱۴	۴۴/۴۱۴۴	۲۴	۴۲/۸۸۸۳
۵	۴۲/۰۶۸۶	۱۵	۴۲/۶۰۵۸	۲۵	۴۴/۱۳۳۹
۶	۴۲/۶۰۸۳	۱۶	۴۱/۷۱۵۸		
۷	۴۳/۷۰۸۱	۱۷	۴۳/۴۷۴۴		
۸	۴۳/۱۸۶۹	۱۸	۴۳/۲۱۵۰		
۹	۴۳/۶۸۶۷	۱۹	۴۲/۶۲۱۷		
۱۰	۴۱/۰۱۲۸	۲۰	۴۱/۸۶۴۷		

زمان‌های به دست آمده از اجرا، به پنج گروه پنج‌تایی تقسیم شدند. درواقع، علت انتخاب عدد ۵ این بوده است که در شرایط واقعی، زمان تولید یک موتور بعد از پنج بار تکرار، تقریباً به مرز اشباع می‌رسد و میانگین زمانی یکسانی را نشان می‌دهد. سپس فرضیه‌ها به‌صورت زیر تعیین شدند:

H_0: میانگین‌های این ۵ گروه با هم برابرند.	$H_0: \mu_1= \mu_2= \mu_3= \mu_4= \mu_5$
H_1: حداقل دو میانگین، نابرابرند.	$H_1: \approx \mu_x \neq \mu_y$

بعد از واردکردن داده‌ها در نرم‌افزار SPSS و بررسی خروجی، عدد ستون Sig- که نمایانگر سطح معنی‌داربودن تحلیل واریانس است- برابر با ۰/۴ است. با توجه به اینکه این میزان، از مقدار پیش‌فرض برای سطح آزمون (۰/۵) بیشتر است، H_0 پذیرفته می‌شود؛ بنابراین، ۲۵ نمونه معتبر است. با فراهم‌شدن این اطلاعات، به بررسی وجود یا نبود اختلاف معنی‌دار میان مدل و سیستم واقعی، با سطح اطمینان ۹۵ درصد پرداخته می‌شود. برای حل این مسأله، تعداد نمونه، میانگین و واریانس دو نمونهٔ ذکرشده لازم است.

جدول ۳. اطلاعات آماری نمونهٔ واقعی و شبیه‌ساز

	تعداد	میانگین	واریانس
سیستم واقعی (۱)	۸	۴۳/۰۹	۰/۳۳
مدل (۲)	۲۶	۴۲/۹۸	۱/۱۹

در این مرحله باید به تعیین این امر پرداخت که آیا دو جامعه، واریانس برابر دارند یا خیر؟ بـراین‌اساس، فرضیه‌ها به‌صورت زیر تعیین شدند:

H_0: واریانس دو جامعه، با هم برابر است.	$H_0: \delta_R = \delta_M$
H_1: واریانس جامعهٔ واقعی، بزرگ‌تر از جامعهٔ مدل است.	$H_1: \delta_R > \delta_M$
آمارهٔ F برابر با ۳/۶ = ۰/۳۳ ÷ ۱/۱۹ = F شده است.	

با یافتن مقدار بحرانی F در جـدول اسـتاندارد F بـرای ۰/۰۵ $=\alpha$ و بـا ۱–۸ و ۱–۲۵ درجـهٔ آزادی، مقادیر زیر به‌دست می‌آید: F محاسبه‌شده = ۳/۶، F جدول = ۳/۴۱. چون F محاسبه‌شده از F جدول بزرگ‌تر است، H_0 یعنی برابری واریانس دو جامعه، با هم رد می‌شود؛ بنابراین، باید از آزمون t موزون استفاده شود (شانون، ۱۳۷۱).

$$t_{\text{محاسبه‌شده}} = \frac{۰/۱۱}{۰/۳۲} = \frac{۴۳/۰۹ - ۴۲/۹۸}{\sqrt{۰/۰۵ + ۰/۰۵}} = ۰/۳۴$$

$$t_{\text{بحرانی}} = \frac{۰/۰۴ \times ۲/۳۶ + ۰/۰۵ \times ۲/۰۶}{۰/۰۴ + ۰/۰۵} = \frac{۰/۲}{۰/۰۹} = ۲/۲۲$$

چون t محاسبه‌شده کمتر از t بحرانی است، H_0 مبنـی بـر برابـری میـانگین‌هـای دو نمونـهٔ پذیرفته‌شده است؛ بنابراین، با ۹۵ درصد اطمینـان مـی‌تـوان ادعـا کـرد کـه نتـایج شـبیه‌سـازی کامپیوتری، با سیستم واقعی مونتاژ یکسان است؛ بنابراین، اکنون می‌تـوان ادعـا کـرد کـه مـدل شبیه‌سازی، مدلی معتبر و نتایج آن با سیستم واقعی، یکسان است. براین‌اساس می‌تـوان شـرایط آزمایش را تغییر داد و خروجی‌های مدل را بررسی کرد. از این مرحله به بعد، فرض بر ایـن اسـت که خروجی‌های شبیه‌سازی، خروجی‌های سیستم واقعی به‌ازای شـرایط جدیـد آزمـایش هسـتند. اکنون می‌توان به بررسی و اعمال نظر افراد در نرم‌افزار پرداخت.

نقاط بهبود خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران کدام است؟

برای شناسایی نقاط قابل بهبود خط مونتاژ، با کارکنان خط مصاحبه شد. استدلال محققان این است که افراد دست‌اندرکار و در ارتباط با خط مونتاژ، بهتر از هرکس دیگری به نقاط ضعف و یا قابلیت بهبود خط واقفند. مصاحبه با کارکنان دربارهٔ خط مونتاژ، بیانگر این موضوع بود که افزایش سرعت خروجی، یکی از نکات شایان توجه آنهاست. به‌همین‌سبب، تقریباً تمامی افراد، برای بهبود خط و افزایش سرعت خروجی، بالانس خط و رفع گلوگاه‌های عمده، ازجمله کارگاه تست را پیشنهاد کردند. در این قسمت، برای فهم اینکه چرا توجه بیشتری به کارگاه تست شده است، نتایج رانش مدل برای تولید سه موتور بررسی شد. زمان بین ورود هر سری از قطعه‌ها، براساس استاندارد شرکت، ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده است.

جدول ۴. گزارش سیکل زمانی تولید سه موتور

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Production Lot	3.3418	(Insufficient)	0.06583333	45.2464
NVA Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	0	(Insufficient)	0	0
Wait Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	3.5657	(Insufficient)	0	34.2931
Transfer Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	0	(Insufficient)	0	0
Other Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	0	(Insufficient)	0	0
Total Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	6.9076	(Insufficient)	0.1247	76.5150

همان‌طور که مشاهده می‌شود، حداکثر زمان صرف‌شده برای تولید سه دستگاه موتور، ۷۶/۵۱۵۰ ساعت است. اکنون وضعیت صف بررسی می‌شود.

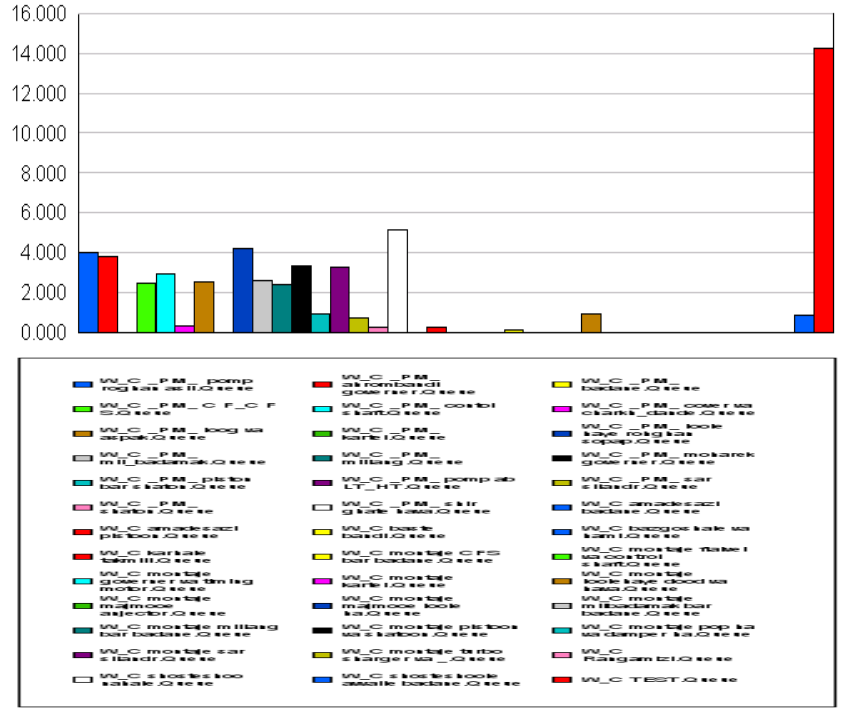
جدول ۵. گزارش صف

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
W_C _PM_ pomp roghan asli.Queue	3.9769	(Insufficient)	1.5761	6.3886
W_C _PM_ ahrombandi governer.Queue	3.7772	(Insufficient)	1.3797	6.2008
W_C _PM_ badane.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C _PM_ C F _C F S.Queue	2.4500	(Insufficient)	0.00	4.6864
W_C _PM_ contol shaft.Queue	2.9281	(Insufficient)	0.5425	5.3425
W_C _PM_ cover va charkh_dande.Queue	0.3062	(Insufficient)	0.00	0.5967
W_C _PM_ ioog va aspak.Queue	2.5167	(Insufficient)	0.1247	4.9222
W_C _PM_ kartel.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C _PM_ loole haye rohghan sopap.Queue	4.1887	(Insufficient)	1.7750	6.5972
W_C _PM_ mil_badamak.Queue	2.5628	(Insufficient)	1.7581	3.9800
W_C _PM_ millang.Queue	2.3956	(Insufficient)	0.00	4.8017
W_C _PM_ moharek governer.Queue	3.3573	(Insufficient)	0.9717	5.7819
W_C _PM_ piston bar shaton.Queue	0.9046	(Insufficient)	0.00	1.7761
W_C _PM_ pomp ab LT_HT.Queue	3.2900	(Insufficient)	0.9025	5.7150
W_C _PM_ sar silandr.Queue	0.7005	(Insufficient)	0.00	1.4881
W_C _PM_ sar silandr.Queue	0.7005	(Insufficient)	0.00	1.4881
W_C _PM_ shaton.Queue	0.2380	(Insufficient)	0.00	0.4800
W_C _PM_ shir ghate hava.Queue	5.1517	(Insufficient)	2.7453	7.5542
W_C amadesazi badane.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C amadesazi pistoon.Queue	0.2172	(Insufficient)	0.00	0.4414
W_C baste bandi.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C bazgoshaie va haml.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C karhaie takmili.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje CFS bar badane.Queue	0.0934	(Insufficient)	0.00	0.5603
W_C montaje flaivel va control shaft.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje governer va timing motor.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje kartel.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje loolehaye dood va hava.Queue	0.9431	(Insufficient)	0.00	3.8358
W_C montaje majmooe anjector.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje majmooe loole ha.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje milbadamak bar badane.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje millang bar badane.Queue	0.00199074	(Insufficient)	0.00	0.01194444
W_C montaje pistoon va shatoon.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje pop ha va damper ha.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje sar silandr.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C montaje turbo sharger va _.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C Rangamizi.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C shosteshoo nahaie.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
W_C shosteshooie avvalie badane.Queue	0.8371	(Insufficient)	0.00	1.6833
W_C TEST.Queue	14.2717	(Insufficient)	0.00	28.1772

از ۷۶/۵۱۵۰ ساعت، بیش از ۲۸ ساعت در اتاق تست صرف شده است. شکل زیر این واقعیت را بهتر نشان می‌دهد.



شکل ۶. وضعیت صف سیستم موجود

قسمت عمودی نمودار فوق، نشانگر زمان صرف‌شده و قسمت افقی، نشان‌دهندهٔ ایستگاه‌های کاری است. هریک از ایستگاه‌ها، با رنگ خاصی نمایش داده شده‌اند. نمودار بالا گویای آن است که نقاط بهبود خط مونتاژ شرکت دسا، به قرار زیرند: ۱. اتاق تست (رنگ قرمز)؛ ۲. ایستگاه پیش‌مونتاژ شیر قطع هوا (رنگ سفید)؛ ۳. ایستگاه پیش‌مونتاژ پمپ روغن اصلی (آبی کمرنگ) و ۴. ایستگاه پیش‌مونتاژ لوله‌های روغن سوپاپ (آبی پررنگ). همان‌طور که به‌وضوح مشاهده می‌شود، بالاترین سلول در نمودار بالا به رنگ قرمز و مربوط به اتاق تست است.

در مصاحبه‌های صورت‌گرفته، بیشترین تأکید بر ایستگاه تست بود، اما نمودار گویای آن است که صف‌های دیگری نیز در سیستم وجود دارند. با این‌حال، بیشترین زمان، مربوط به ایستگاه تست (۲۸/۱۷۷۲ ساعت) است که نسبت به ایستگاه پیش‌مونتاژ شیر قطع هوا، بیش از ۴ برابر زمان، در آن صرف می‌شود. با توجه به اینکه از ۴۸ فرد مصاحبه‌شونده، ۴۶ نفر نقطهٔ بهبود خط مونتاژ را اتاق تست اعلام کردند و با توجه به نقش بسیار زیاد این قسمت بر کاهش سرعت

خروجی، بیش از هر عامل دیگر، نقطهٔ بهبود خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین، اتاق تست درنظر گرفته شده است.

چه سناریوهایی برای بهبود خط مونتاژ شرکت دسا وجود دارد؟

با توجه به زمان زیادی که قطعه‌ها در ایستگاه تست سپری می‌کنند، باید به رفع این مشکل پرداخت. بازدید از اتاق تست، نشان‌دهندهٔ این موضوع بوده است که در قسمت عمده‌ای از زمان، موتور در این ایستگاه زیر فشارهای گوناگون قرار می‌گیرد. درواقع، در این ایستگاه، موتور در حالت شبیه‌سازی‌شده‌ای از محیط واقعی قرار می‌گیرد. سناریوهای مختلفی برای بهبود شرایط در اتاق تست پیشنهاد شد؛ ازجمله: ۱. تعویض بعضی قطعه‌ها؛ ۲. حذف بعضی از تست‌ها؛ ۳. افزایش نیروها در اتاق تست و ۴. تعویض کامل تجهیزات اتاق تست.

بررسی‌ها نشان می‌دهد هیچ‌یک از موارد فوق به‌اندازهٔ مورد چهارم، در کاهش زمان صرف‌شده در این ایستگاه نقش ندارد؛ به‌طوری‌که بنا بر برآورد کارشناسان، دستگاه‌های جدید، زمان تست را تا نیمه کاهش می‌دهند؛ بنابراین، این راه حل، به عنوان راه حل برتر انتخاب شده است.

جدول ۶. تفاوت فناوری موجود و جدید

توضیحات	کمترین زمان	زمان محتمل	بیشترین زمان
فناوری موجود	۸۳۰	۹۶۶/۱	۱۱۲۵
فناوری جدید	۴۱۵	۴۸۳/۰۵	۵۶۲/۵

کدام سناریو به بهبود بیشتر در خط مونتاژ شرکت دسا منجر خواهد شد؟

همان‌طور که اشاره شد، تنها یک سناریو «شایان پیگیری و مطلوب» برای بهبود در بزرگ‌ترین گلوگاه خط مونتاژ، یعنی اتاق تست وجود دارد: «استفاده از فناوری جدید با قابلیت کاهش زمان کار ایستگاه تا نیمه».

برای تست میزان تغییرهای ایجادشده، باید زمان‌های جدید را در ماژول بخش و در قسمت ایستگاه‌های تست وارد کرد. پس از ایجاد این تغییر، مدل باید دوباره اجرا شود تا بتوان نتیجهٔ تغییرها را بررسی کرد. همان‌طور که انتظار می‌رود زمان مربوط به تولید این سه دستگاه و زمان صف سپری‌شده در کارگاه تست کاهش می‌یابد.

جدول ۷. گزارش تغییر در زمان تولید

Replication 1	Start Time:	0.00	Stop Time:	720.00	Time Units:	Hours

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Production Lot	2.8144	(Insufficient)	0.06583333	36.1383
NVA Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	0	(Insufficient)	0	0
Wait Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	3.0107	(Insufficient)	0	16.7608
Transfer Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	0	(Insufficient)	0	0
Other Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	0	(Insufficient)	0	0
Total Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum**	**Maximum**
Production Lot	5.8251	(Insufficient)	0.1247	51.1994

مشاهده می‌شود که زمان تولید سه دستگاه موتور، از ۷۶/۵۱۵۰ بـه ۵۱/۱۹۹۴ کـاهش یافتـه است. یعنی زمان صرف‌شده برای تولید، ۳۳ درصد کاهش یافته است و این بـه معنـای افـزایش سرعت خروجی است.

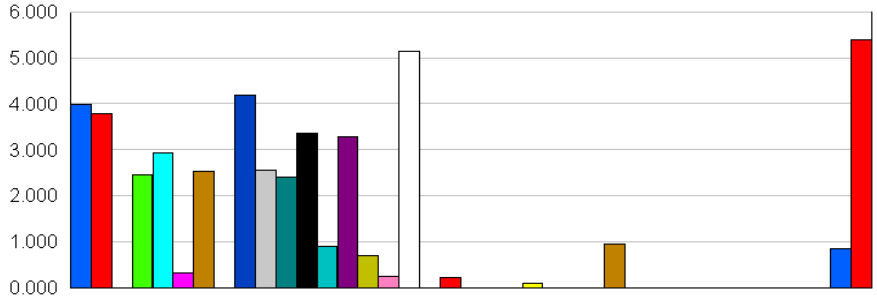
جدول ۸. گزارش تغییر در زمان صف

W_C shosteshooie avvalie badane.Queue	0.8371	(Insufficient)	0	1.6833
W_C TEST.Queue	5.3916	(Insufficient)	0	10.6450

همچنین زمان صرف‌شده در صف ایستگاه تست، از ۲۸/۱۷۷۲ به ۱۰/۶۴۵۰ رسیده است. به بیان دیگر، زمان صف ایستگاه تست، ۶۲ درصد کاهش می‌یابد.

جدول ۹. گزارش بهبود

توضیحات	زمان صرف‌شده برای تولید	زمان صرف‌شده در ایستگاه تست
فناوری موجود	۷۶/۵۱۵۰	۲۸/۱۷۷۲
فناوری جدید	۵۱/۱۹۹۴	۱۰/۶۴۵۰
درصد کاهش	۳۳	۶۲



شکل ۷. وضعیت صف سیستم پیشنهادی

مشاهده می‌شود که بعد از به‌کارگیری اتاق تست جدید، زمان‌های صرف‌شده به‌صورت متوازن‌تری توزیع شده‌اند و دیگر چیزی به‌عنوان گلوگاه عمده در خط وجود ندارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

درواقع، هدف از اجرای تحقیق حاضر، بررسی امکان بهبود خط مونتاژ شرکت دیزل سنگین ایران (دِسا) با استفاده از روش شبیه‌سازی بوده است. در این پژوهش، برای تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده، از نرم‌افزارهای ARENA و SPPS استفاده شده است. نتایج آزمون، به‌وسیلهٔ مدل شبیه‌سازی نشان داد که اگر چنین سیستمی در خط مونتاژ پیاده‌سازی شود، زمان سیکل سی‌وسه درصد بهبود می‌یابد و زمان صف در ایستگاه تست، شصت‌ودو درصد کاهش پیدا می‌کند.

مقایسهٔ یافته‌های این پژوهش با پژوهش هاوسر (۲۰۰۲) نشان می‌دهد که پرداختن به مبحث بهبود، وجه تشابه این دو است، اما مبحث کاری و نتیجهٔ پیشنهادی آنها با هم فرق می‌کند. هاوسر از ابتدا به ارائهٔ چیدمان جدید علاقه داشته است و در پایان هم، یک چیدمان را از میان سه چیدمان مورد بررسی ارائه می‌کند، اما در این پژوهش، بر تغییر در یکی از قسمت‌های پروسهٔ کاری که زمان‌بر بوده، تأکید شده است.

مقایسهٔ یافته‌های این پژوهش با تحقیق ویلیامز وگیورت (۱۹۹۷) نشان می‌دهد که هردو به‌دنبال بهبود بوده‌اند. در پژوهش این محققان، برای بهبود، پروسهٔ کاری جدیدی پیشنهاد شد و درواقع، با استفاده از شبیه‌سازی، یک پروسهٔ کاری قبل از پیاده‌سازی تست شد. تطبیق یافته‌های این پژوهش با تحقیق شِیدی، اسپیک و آرمسترانگ (۱۹۹۷) نشان می‌دهد که پژوهش این افراد، تا حدی شبیه به تحقیق ویلیامز و گیورت است؛ چرا که در این تحقیق نیز یک ایدهٔ جدید یعنی

یک سلول کاری، قبل از پیاده‌سازی، ارزیابی شد. همچنین این تحقیق نیز مانند پـژوهش حاضـر به کاهش سیکل کاری توجه نشان داده است.

مقایسهٔ یافته‌های پژوهش حاضر با تحقیق مک‌مـالن و فریـزر (۱۹۹۸) نشـان مـی‌دهـد کـه پژوهش آنها به این تحقیق، بسیار شباهت دارد و در هردوی آنها، از روش شبیه‌سازی بـرای حـل مسئلهٔ موازنهٔ خط مونتاژ و ایستگاه‌های کاری استفاده شده است. در هر دو تحقیق، محققـان بـه هدف زمان مطلوب چرخه پرداختند. یافته‌هـای پـژوهش نشـان مـی‌دهـد کـه اسـتفاده از روش شبیه‌سازی، راه حل‌های بهتری را برای عملکرد زمانی ارائه می‌کند.

مقایسهٔ یافته‌های این پژوهش با تحقیق کانگ و همکاران (۱۹۹۸) نشان می‌دهد کـه در هـر دو این پژوهش‌ها به کاهش زمان سیکل توجه شده اسـت. در پـژوهش حاضـر، یکـی از اجـزای سیستم برای نیل به این هدف تغییر پیدا کرده است، اما در تحقیق ایـن افـراد، دردسـترس‌بـودن مواد اولیه و کاهش جابه‌جایی‌های زائد، به‌عنوان راه حل پیشنهاد شده است.

مقایسهٔ یافته‌های این تحقیق با پژوهش‌هـای مـارتین و دی‌کـاروالیو (۲۰۰۶) و فانتینوپیتـا و وانگ (۲۰۱۰) نشان می‌دهد که در همهٔ این موارد، از روش شـبیه‌سـازی اسـتفاده شـده اسـت و مدل‌های ارائه‌شده تأیید شده‌اند. نتیجهٔ پژوهش مارتین و دی‌کاروالیو (۲۰۰۶) بیانگر کاهش زمان بود که با تحقیق حاضر همخوانی دارد. فانتینوپیتا و وانگ (۲۰۱۰) نیـز بـرای بهبـود خـط تولیـد پیشنهاد می‌کنند که تغییرهایی ضروری در ماشین‌آلات و در توزیـع منـابع ایجـاد شـود کـه ایـن پیشنهادها در پژوهش حاضر نیز ارائه شدند. همچنین مقایسهٔ نتایج این تحقیق با کار اسپرینگفیلد و همکاران (۱۹۹۹) نشان می‌دهد که در هردو، با استفاده از نرم‌افزار ARENA به تحلیل و بهبود عملکرد پرداخته شده است. همچنین در هر دو تحقیق، از نظر افراد دسـت‌انـدرکار اسـتفاده شـده است. مقایسهٔ یافته‌های این پژوهش با تحقیق لی و همکاران (۲۰۰۰) نشان می‌دهد که در هردو، به تحلیل نقاط بهبود توجه شده است. در پژوهش این افراد، نقطهٔ بهبودی یافت نشده و جالب‌تـر آن‌که می‌توان با کاهش سرعت تعدادی از ماشین‌آلات، به نرخ خروجی مورد انتظار دست یافـت، اما در این پژوهش، نقطهٔ بهبود یافت شده است و بررسی با مدل، بیـانگر بهبـود در گلوگـاه‌هـا و کاهش زمان سیکل است.

مقایسهٔ یافته‌های این پژوهش با تحقیق کی‌جاکیک (۲۰۰۲) نشان می‌دهد که در هردو ایـن پژوهش‌ها، به بررسی و مدل‌سازی خط مونتاژ پرداخته شده است. اگرچه همانند این تحقیـق، بـه مشکل گلوگاه اشاره شده، اما برای رفع این مشکل، استفاده از چیدمان جدید پیشنهاد شده اسـت. مقایسهٔ یافته‌های این پژوهش با تحقیق آزاده و همکاران (۱۳۷۹) نشان می‌دهد که هدف هـردو،

شبیه‌سازی و بهینه‌سازی یک خط مونتاژ بوده است. همچنین، در هردوی این پژوهش‌ها، به کاهش گلوگاه‌ها توجه شده است. در این پژوهش، از زبان SLAM استفاده شده است.

بالانس خط، از موضوع‌های مورد توجه در هر سیستم مونتاژی است و از این‌رو، طی دهه‌های اخیر، مطالعه‌های گسترده‌ای روی آن صورت گرفته است. از وظایف تحلیلگر آن است تا با تحلیل سیستم، راه حل‌هایی برای کاهش اتلاف زمان در گلوگاه‌های کاری ارائه دهد. نتایج تحقیق نشان داد که توجه افراد دست‌اندرکار به اتاق تست بی‌دلیل نبوده است و زمان زیادی در سیستم صف این ایستگاه صرف می‌شود. نتایج کمی و کیفی تحقیق که در فصل قبل ذکر شده، نشان می‌دهد که تأثیر استفاده از یک اتاق تست جدید، چشمگیر است و بنابراین، اضافه‌کردن یک اتاق تست جدید توصیه می‌شود. علاوه‌براین، با توجه به نتایج بالقوهٔ شبیه‌سازی توصیه می‌شود حداقل یک تحلیلگر سیستم با قدرت مدل‌سازی و شبیه‌سازی در واحدهای تحلیل شرکت‌ها به‌کار گرفته شود. همچنین تحلیل مبتنی بر شبیه‌سازی، به‌صورت دوره‌ای صورت گیرد تا بدین‌وسیله، همیشه درکی به‌روز از سیستم، به‌صورت مدل مجازی وجود داشته باشد تا بتوان با حداکثر سرعت به پیش‌بینی شرایط جدید دست زد. سرانجام، پیشنهاد می‌شود تا با برگزاری همایش‌ها و کارگاه‌های آموزشی و تمرینی، زمینهٔ آشنایی هرچه بیشتر مدیران و تحلیلگران با مفهوم شبیه‌سازی و پتانسیل‌های کاربردی بالای آن فراهم شود.

در هنگام مطالعهٔ خط مونتاژ، علاوه بر مورد فوق، نکته‌های مهم دیگری هم بودند که تأثیر بسیار زیادی بر سرعت خروج محصول نهایی داشتند و توجه محققان را به خود جلب کردند. در اینجا به سه مورد از آنها اشاره می‌شود:

۱. برنامه‌ریزی مناسب برای نیروی انسانی: کارگرانی که در خطوط مونتاژ مشغول‌به‌کارند، اغلب سطحی مطلوب از دانش فنی را دارند. این موضوع، در مورد خطوط مونتاژ سفارشی به نحو بهتری نمود می‌یابد؛ چرا که به‌علت ماهیت خط و منابع موجود که باید جوابگوی تولید چند نوع محصول باشند، کارگران نیز باید دانش فنی بالاتری داشته باشند. با توجه به این موضوع، با اندکی آموزش به کارکنان و همچنین برنامه‌ریزی و زمان‌بندی مناسب برای کارها می‌توان تا حد مطلوبی جلوی گلوگاه‌های موجود و گلوگاه‌های ناخواستهٔ احتمالی را گرفت.

۲. برنامه‌ریزی مناسب‌تر سیستم تأمین مواد: در سیستم‌های پیچیده نظیر خط مونتاژ سفارشی که با مشکل‌های خاص خود مواجه است، باید عوامل قابل کنترل را با دقت زیادی زیر نظر داشت تا بدین‌وسیله از فشار اضافی به خط کاسته شود. با توجه به اینکه گاهی در سیستم‌های سفارشی، تأمین تعدادی از قطعه‌ها به عهدهٔ سفارش‌دهنده است، این امکان

به‌وجود می‌آید تا به‌علت تأمین‌نشدن مواد اولیه به دست مشتری، عملیات مونتاژ در خط متوقف شود یا اینکه تا مرحله‌ای خاص می‌توانند کار انجام دهند و سپس کار را متوقف می‌کنند و بدین‌ترتیب، کالای نیمه‌ساخته در خط انباشته می‌شود. چون هدف و معیار اولیه، به‌دست‌آوردن زمان مونتاژ یک دستگاه موتور روستون بوده است، از مدل‌سازی این عامل و عوامل مشابه به‌عنوان یک استثنا در مدل خودداری شد، اما برنامه‌ریزی در این قسمت، عاملی مهم در کارکرد منظم و پیوستهٔ خط است.

۳. حذف جابه‌جایی‌های اضافی: محصول تولیدشده در خط، بسیار سنگین است و جابه‌جایی‌های مکرر آن، تأثیر بسیاری بر افزایش زمان تولید محصول دارد. با کمی تغییر در مراحل انجام کار می‌توان جابه‌جایی‌ها را کاهش داد؛ به‌عنوان مثال، به‌جای بازکردن بدنهٔ موتور در کارگاه مونتاژ اصلی ۱ و سپس حمل آن به قسمت شست‌وشو، می‌توان آن را از ابتدا در قسمت شست‌وشو باز کرد. به‌هرحال، بهتر است تلاش شود تا زمان‌های جابه‌جایی، به‌عنوان زمان‌هایی که ارزش افزودهٔ خاصی برای خط مونتاژ ندارند، به حداقل کاهش پیدا کنند.

موارد زیر به‌عنوان پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده معرفی می‌شوند:

۱. شبیه‌سازی و طراحی خط بهینه برای موتورهای دیگر؛ ۲. شبیه‌سازی و طراحی مدل زنجیرهٔ عرضهٔ بهینه، براساس منابع ورودی به کارخانهٔ دسا و خروجی از آن.

References

Alvani, S. M. (1995). *General management*. Nashre-Ney. Tehran. *(In persian)*

Azadeh, A., Hatefi, S. M., & Kor, H. (2012). Performance improvement of a multi product assembly shop by integrated fuzzy simulation approach. *Journal of Intelligent Manufacturing, 23*(5), 1861-1883. doi: 10.1007/s10845-011-0501-0

Azadeh, M. A., Karimi-Zand, K., & Shakeri, S. (2000). Applying computer simulation in an assembly workshop of the largest electricmotors. *Jornal of the College of Engineering, 2*(34), 127-139. *(In Persian)*

Azar, A. (1994). Inferential statistics techniques in managerial and behavioral research. *Journal of Management Knowledge, 26*(3), 28-39. *(In Persian)*

Azar, A., Haghifam, M. & Alibabei, N. (2008). Modeling and optimization of load shedding and generation reallocation at compulsive condition of electrical transmission system. *Jornal of Industrial Management, 1*(1), 3-20. *(In Persian)*

Azar, A., Saghalzadeh, S. & Rajabzadeh, A. (2013). Fuzzy simulation in uncertainty circumstances. *Jornal of Industrial Management*, *2*(4), 1-20. *(In Persian)*

Banks, J. (1999). Introduction to simulation. *In Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation---a bridge to the future-Volume 1*. 7-13. ACM.

Chase, R. B. & Zhang, A. (1998). Operations management: internationalization and interdisciplinary integration. *International Journal of Operations & Production Management*, *18*(7): 663-667.

Fandino Pita, J. & Wang, Q. (2010). A simulation approach to facilitate manufacturing system design. *Int. J. Simul. Model*, *9*(3): 152-164.

Feldman, D. C. (2004). The devil is in the details: Converting good research into publishable articles. *Journal of management*, *30*(1): 1-6.

Gahagan, S. M. (2008). *Simulation and optimization of production control for lean manufacturing transition*. Dissertation to Doctor of Philosophy, University of Maryland, College Park. ProQuest.

Hammer, M., & Champy, J. (1993). *Reengineering the corporation: a manifesto for business evolution*. Nicholas Brealey, London, UK.

Hauser, K. (2002). *Simulation and optimization of a crossdocking operation in a Just-in-time Environment*. University of Kentucky.

Hosseini, S. J., Ebrahimi, S. & Fazlali, M. (2012). Simulation of mass production quality control line optimization using simphony. *International Proceedings of Economics Development & Research*, *28*: 12-16.

Johnson, R. L. Tsiros, M. & Lancioni, R. A. (1995). Measuring service quality: a systems approach. *Journal of Services Marketing*, *9*(5): 6-19.

Kang, K., Gue, K. & Eaton, D. R. (1998). Cycletime reduction for naval aviation deports. In *Proceedings of the 30th conference on winter simulation* (pp. 907-914). IEEE Computer Society Press.

Kijakic, N. (2002). *A new simulation approach for designing the layout of a bus assembly line*. Department of mechanical and industrial engineering. The University of Manitoba. Canada.

Laguna, M. & Marklund, J. (2004). B*usiness Process Modeling, Simulation and Design*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Lee, S. G., Khoo, L. P. & Yin, X. F. (2000). Optimising an assembly line through simulation augmented by genetic algorithms. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *16*(3): 220-228.

Leporis, M. & Królová, Z. (2010). A simulation approach to production line bottleneck analysis. *International Conference Cybernetics and Informatics*, pp. 1-10, February 10-13, VYŠNÁ BOCA, Slovak Republic.

Madhoushi, M. (2000). *Management information system*. Mazandaran University Publication. Babolsar. *(In Persian)*

Martin, A. C. M. & De Carvalho, M. M. (2006). Applying virtual simulation in automotive new product development process. *Product: Management & Development*. *4*(2): 79-85.

Martin, O., Soulas, A. & Juuso, E. (2004). *Production optimization on PCB assembly lines using discrete-event simulation*. University of Oulu.

McMullen, P. R. & Frazier, G. V. (1998). Using simulated annealing to solve a multiobjective assembly line balancing problem with parallel workstations. *International Journal of Production Research*, *36*(10): 2717-2741.

Ryde, M. & Sundblad, E. (2013). *Production process improvement within the telecom industry – A Simulation Study*. Faculty of Engineering LTH at Lund University.

Seyed Esfehani, M. M., Heidari, M. & Jaberi, S. (2014). Tabrid simulation algoritm representation for optimization of parallel serial system certainty, k-from-n substitution by fuzzy parameters. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, *4*(24): 414-422. *(In Persian)*

Shady, R., Spake, G. & Armstrong, B. (1997). Simulation of a new product workcell. In *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation* (pp. 739-743). IEEE Computer Society.

Shanon, R. (1992). *The science and art of systems' simulation*. Translated by: Arab, A. A. University Publication Center. Tehran. *(In Persian)*

Sheldon, A. R. (1995). *Simulation.* Translated by: Azarnoush, H. & Niroumand, H. Ferdousi University. Mashhad. *(In Persian)*

Shokouhi, A. & Shahriari, H. (2010). The problem of control duration of steady multi-object manufacturing in complex assembly systems. International *Journal of Industrial Engineering and Production Management*, *2*(21): 23-35. *(In Persian)*

Soleimanpour, M. & Zeinalzadeh, A. (2009). A Mathematical model application for adjusting assembly line (Case Study: Teraktorsazi Company). *Journal of Beyond Management, 11*(3): 7-30. *(In Persian)*

Springfield, K. G., Hall, J. D. & Bell, G. W. (1999). Analysis of electronics assembly operations: Longbow HELLFIRE Missile power supply. In *Simulation Conference Proceedings, 1999 Winter* (Vol. 1, pp. 689-693). IEEE.

Tantivanich, P. & Sudasna-na-Ayudthya, P. (2002). A simulation approach for productivity Improvement of an IC Factory. *Proceedings of Symposium in Production and Quality Engineering*, Kasetsart University. 104-111.

Villarreal, B. & Alanis, M. R. A. (2011). A simulation approach to improve assembly line performance. *International Journal of Industrial Engineering*, *18*(6): 283-290.

Williams, E. J. & Gevaert, A. (1997). Pallet optimization and throughout estimation via simulation. In *Proceedings of the 29th conference on winter simulation* (pp. 744-749). IEEE Computer Society.