Archive of SID

دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال هفتم، شماره سی و دوم، مهر و آبان ۱۴۰۰
شماره شاپا: ۲۵۸۸-۵۸۸X

پژوهش‌های نوین در ریاضی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی واحدهای Signoff با هدف افزایش بهره‌وری لجستیکی و کاهش هزینه‌های تولید و کیفیت (مطالعه موردی: شرکت خودروسازی سایپا)

محمد سرور ماسوله[۱]، امیرعزیزی[۲*]

(۱و۲) گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱

چکیده

این پژوهش یک فرایند بهینه‌سازی بر پایه روش شبیه‌سازی پیشامد گسسته و با تابع هدف چندگانه بوده و در فرایند تجاری‌سازی خودرو شرکت سایپا اجرا شد. اطلاعات این پژوهش که مشتمل بر طبقه‌بندی ماهیت عملیات‌ها (بازرسی، تنظیمات، بازکاری محصولات)، جریان بین ایستگاه‌ها، زمان‌های عملیات، شناسایی هزینه‌های تولید و ...، با مقادیر واقعی سال ۹۷ گردآوری و بکار گرفته شد. ابتدا جهت شبیه‌سازی، مدل توسط نرم افزار Arena طراحی و کلیه پارامترها و متغیرهای تاثیرگذار، پس از طراحی سناریوهای مختلف، وارد مدل گردید. پس از تکرار و اجراهای مختلف مدل، گلوگاه‌ها شناسایی و مدل مورد تصدیق قرار گرفت. سپس با استفاده از نرم افزار OPTQUEST، در فاز اول با هدف کاهش هزینه‌های تولید، تعداد بهینه نیروی انسانی پس از ۳۷۸ مرتبه تکرار (با آپشن توقف اتوماتیک) استخراج و همان اطلاعات به عنوان ورودی فاز دوم استفاده و این بار با هدف ارتقاء توان عملیاتی واحدهای لجستیکی، در سیستم اجرا و مجددا پس از ۳۰۳ مرتبه تکرار، مدل بهینه‌سازی شد. نتایج این پژوهش مشتمل بر کاهش ۲۱٫۶٪ در تعداد نیروی انسانی، افزایش ۱۰٪ در توان لجستیکی، کمینه کردن ۴٪ هزینه‌های تولید و همچنین افزایش ۲٪ در تعداد محصولات خروجی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فرایند لجستیک، شبیه سازی، بهینه‌سازی، بهره‌وری،کاهش هزینه، صنعت خودرو.

*. عهده‌دار مکاتبات: Email:azizi@srbiau.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

یافتن راهکارهای برون رفت از بحران‌های منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای در صنعت خودروسازی، به یک صنعت پر چالش در دهه اخیر تبدیل شده است. هر چه قدر تکنولوژی در این صنعت رشد یابد به همان نسبت نیازمندی‌های مشتریان نیز افزایش یافته و محصول کنونی دیگر پاسخگوی نیاز های مشتریان آینده نخواهد بود. لذا ارتقاء سطح درآمدی با افزایش فروش محصولات و افزایش بهره‌وری شرکت‌ها در این ساختار می‌تواند مفید فایده واقع گردد و عدم توجه به تمامی ابعاد مرتبط با سیستم با محدودیت‌های جبران ناپذیری همراه خواهد شد. در این راستا مدل‌های تحلیلی قادر به شناسایی دقیق گلوگاه‌های تولید نبوده و تعیین مقادیر بهینه سیستم را با توجه به وجود متغیرهای زیاد، با مشکل روبرو خواهد کرد. به منظور رفع معضلات مدیران و شناسایی دقیق گلوگاه‌ها، یکی از روش‌ها، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برپایه شبیه‌سازی سیستمهای گسسته است. شبیه‌سازی به‌عنوان یک تکنیک توانمند در تجزیه و تحلیل سیستم شناخته می‌شود و می‌تواند نقش مهمی را در اداره موثر واحدهای تولیدی ایفا کند. شایان ذکر است که روش‌های شبیه‌سازی بدون درگیر کردن واحدهای عملیاتی شرکت و تحمیل هزینه‌های توقف در تولید و فروش محصولات، مدیران را در فائق آمدن بر مشکلات یاری خواهد رساند. مزیت بارز این روش‌ها در آن است که بدون جستجوی کلیه نقاط در فضای موجود، ســـعی در یافتن جواب بهینه دارد. [1]

در این پژوهش، صنعت خودروسازی "گروه خودروسازی سایپا" انتخاب شده است. لذا ضروری است مختصری از سنوات و محصولات تولیدی این شرکت را به صورت ارائه گردد:

معرفی گروه خودروسازی سایپا

شرکت سهامی تولید اتومبیل سیتروئن ایران در سال ۱۳۴۵ تأسیس و با تولید انواع مدلهای ژیان فعالیت رسمی خود را آغاز نمود. نام شرکت در سال ۱۳۵۱ به "شرکت سهامی ایرانی تولید اتومبیل" با نام اختصاری "سایپا" تغییر یافت و تبدیل به شرکت سهامی عام شد. درسال ۱۳۷۴ سهام شرکت در بورس اوراق بهادار تهران پذیرفته شد ودر سال ۱۳۷۸ با هدف حضور در تمام زنجیره ارزش صنعت خودرو با خرید اکثریت سهام شرکت‌های پارس خودرو، زامیاد و سایپا دیزل تبدیل به گروه خودروسازی سایپا شد. گروه سایپا توان تولید حدود یک میلیون دستگاه را در ۷ سایت شرکت تولید خودرو دارد که ۴ کارخانه (سایپا، پارس خودرو، سایپا کاشان و بن رو (به تولید خودروهای سواری) و۳ کارخانه (سایپادیزل، زامیاد، ایران کاوه) به تولید خودروهای تجاری سبک و سنگین تخصیص داده شده است. لازم به ذکر است شرکت‌های تولیدی گروه سایپا قابلیت افزایش ظرفیت تا ۱,۵میلیون دستگاه را دارا هستند.

محصولات تولیدی گروه خودروسازی سایپا

با توجه به اینکه تمرکز این مقاله بر روی محصولات تولیدی شرکت سایپا از مجموعه گروه خودروسازی سایپا می‌باشد. لذا اطلاعاتی را به صورت خلاصه و مختصر از تنوع محصولات شرکت سایپا را ارائه می‌نماییم:

از ابتدای فعالیت این شرکت تاکنون، شرکت سایپا همکاری مشترکی با خودروسازان، فرانسوی، ژاپنی، کره‌ای و چینی داشته است. محصولات شرکت سایپا از ابتدای تأسیس به ترتیب شامل وانت و سواری ژیان، رنو ۵، وانت نیسان جونیور۲۰۰۰ و۲۴۰۰۰ سی سی، رنو ۲۱، سواری‌های صبا، نسیم، نسیم سفری، زانتیا، ریو، سراتو و بریلیانس بوده است.

در حال حاضر خطوط تولیدی این شرکت با تولید محصول خانواده X100 (پراید ۱۳۱-۱۳۲-۱۱۱-۱۵۱) که یک پلتفرم قدیمی برپایه پراید بوده اما در

www.SID.ir

Archive of SID

بدنه، سیستم تعلیق و تزئینات داخلی خودرو در سال‌های اخیر تغییراتی به صورت اصولی ایجاد شده تا از نظر ایمنی تقویت شود، X200 (تیبا صندوق دار و هاچبک) و کوییک (دنده‌ای واتومات – کوئیک R) مشغول فعالیت می‌باشند.

واحدهای خودروسازی داخل کشور موظف هستند تمامی استانداردهای ۸۵ گانه ابلاغ شده از سوی وزارت صنعت معدن و تجارت ایران را اجرا و تحقق این استانداردها را بر روی محصولات خود تضمین نمایند. لازم به ذکر است که این دسته از استانداردها جزو قوانین و مقررات دولتی تلقی شده و در صورت عدم تبعیت خودروساز از این استانداردها، خودرو از نظر کیفی و استانداردی مجوز شماره گذاری را نداشته و پلاک برای خودروهای تولیدی صادر نمی‌شود.

استانداردهای ایمنی تولید خودرو نیز در سطح کشورهای دنیا به ویژه ایران اعمال می‌شود و تولید کنندگان موظف به رعایت چنین استانداردهای هستند و همواره توسط شرکت‌های معرفی شده توسط وزارت صنعت معدن و تجارت (همچون شرکت بازرسی کیفیت و استاندار ایران) زیر ذره بین قرار گرفته و در قالب آدیت محصولات مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. لذا بدیهی است سایپا نیز همپا با سایر خودروسازان مطرح دنیا، جهت تحقق استانداردهای کارخانه‌ای و قوانین مقررات دولتی ابلاغ شده، می‌بایست ساز و کارهای لازم را جهت تحقق این موضوع فراهم آورد. لذا واحد Signoff (تجاری‌سازی خودرو) جزو ابزارهای اصلی در این حوزه می‌باشد و با ایجاد گیت‌های تنظیم، بازرسی و بازکاری محصول، محصول را جهت تحقق الزامات استانداردی آماده می‌نماید. ضروریست الزامات و شرایط یک زنجیره تامین بهره‌ور را در بهترین حالت و موقعیت در این واحد داشته باشد و حتی فراتر از خواسته‌ها و نیازمندی‌ها، محصولات تولیدی را روانه بازار نماید.

اگر به لایه مرتبط با خودروساز دقت شود، وضعیت تامین کننده سطح اول که مشتمل بر توانایی تامین کننده در به کیفیت رسانی قطعات و مجموعه‌ها و همچنین ارسال به موقع اقلام با تیراژ متناسب با سفارش گذاری خودروساز، مدیریت بهینه لجستیک و مدیریت روابط در این حوزه، از چالش‌های اصلی در این زنجیره تامین تلقی می‌گردد.

در پژوهش حاضر و مطالعه صورت گرفته تمرکز بر روی فرایند لجستیک (انتقال خودرو تولید شده در ایستگاه‌های بازرسی، تنظیم، بازکاری (رتوش) در واحد تجاری‌سازی خودرو (signoff)) و ارتقاء توان عملیاتی این بخش در این واحد می‌باشد و در این فرایند، محصول (خودروی کامل) امکان روشن شدن و حرکت توسط نیروی انسانی لجستیکی را خواهد داشت. لذا به منظور آشنایی با بخشی از این چالش‌های مطرح شده، توضیحات مختصری به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

شکل (۱) تصویری از زنجیره تامین خودروسازان امروزی

www.SID.ir

Archive of SID

فرایند لجستیک

در تحلیل سیستم‌های تولیدی، موضوع لجستیک، بخش فیزیکی زنجیره تامین را در بر می‌گیرد. این بخش که تمام فعالیت‌های فیزیکی از مرحله ماده خام تا محصول نهایی مانند فعالیت‌های حمل‌ونقل، انبارداری و زمان‌بندی تولید را شامل می‌شود، بخش نسبتاً بزرگی از فعالیت‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. درواقع محدوده لجستیک، تنها جریان مواد و کالا نبوده، بلکه محور فعالیت‌ها است که روابط و اطلاعات، ابزار پشتیبان آن برای بهبود در فعالیت‌ها هستند. در این پژوهش صرفاً در قالب ارتقاء توان عملیاتی حوزه لجستیکی (حمل و نقل و کنترل زمانبندی‌های تولید) را در بر می‌گیرد. منافع مورد انتظار از فرایند لجستیک را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- **بهبود فرآیندها:** هماهنگی بهتر مواد و ظرفیت، مانع از زیان ناشی از انتظار برای قطعات می‌شود.
- **کاهش زمان چرخه تولید:** با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و به همین ترتیب گزینه‌ها در زنجیره تامین می‌توان زمان چرخه تولید را کاهش داد.
- **کاهش هزینه موجودی:** امکان مشاهده عرضه و تقاضا، نیازمندی سطوح موجودی برای مقابله با عدم اطمینان را کاهش می‌دهد. توانایی دانستن این که چه زمانی باید براساس تقاضای مشتری، لجستیک، ظرفیت و سایر موارد مورد نیاز، مواد اولیه خریداری کرد.
- **حمل و نقل بهینه:** به وسیله بهینه‌سازی لجستیک و با وسایل نقلیه.
- **افزایش نرخ تکمیل سفارش:** امکان مشاهده زمان واقعی در زنجیره تامین (مسیرها و ظرفیت جایگزین) امکان افزایش نرخ تکمیل سفارش‌ها را فراهم می‌کند. تجزیه وتحلیل مدیریت زنجیره تامین می‌تواند به پیش‌بینی انتشار اختلال به پایین دست زنجیره تامین کمک کند.
- **افزایش پاسخ‌گویی مشتری:** درک توانمندی برای تحویل بر اساس در دسترس بودن مواد، ظرفیت و لجستیک [2]
- **افزایش بهره‌وری:** امروزه بدون داشتن بهره وری و همچنین بدون اینکه هزینه‌های تولید و هزینه‌های سربار کاهش پیدا کند، نمی‌توان از خودروسازان انتظار موفقیت داشت. لذا یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری، تعریف پروژه‌های ارتقاء عملکرد واحدها و تقلیل هزینه‌ها و یا اقداماتی که منجر به کاهش هزینه‌های سربار و غیر ارزش افزوده برای سازمان خواهد بود.

پیشینه تحقیقات

در این بخش خلاصه‌ای از تحقیقات صورت گرفته توسط محققان خارج از کشور با ذکر شرح مختصری از اقدامات انجام شده، ارائه می‌گردد:

سردا، اکشای و دیگوار (۲۰۱۸) خط تولید یک شرکت خودروسازی در هند را الگوبرداری و تجزیه و تحلیل کردند تا به مدیران در ارزیابی حساسیت عملکرد خط تولید نسبت به پارامترهای مختلف کمک کنند. این مدل با استفاده از نرم افزار ARENA طراحی گردید و برای این منظور، سرعت نقاله، خستگی اپراتور و کیفیت مواد تهیه شده از میان پارامترهای مؤثر بر خروجی خط تولید انتخاب شد. در مرحله بعد، طراحی آزمایشات (DOE) برای اندازه‌گیری تأثیر پارامترهای ورودی بر خروجی‌های خط تولید اتخاذ شد. نتایج با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) و آنالیز واریانس (ANOVA) تجزیه و تحلیل شد. طبق آنالیز، خط تولید بالاترین سطح حساسیت را نسبت به خستگی اپراتور و به دنبال آن کیفیت مواد و سپس سرعت نقاله نشان داده است. این تحقیق یک رویکرد ساختاری به تجزیه و تحلیل خط تولید خودرو در یک شرکت تولیدکننده خودرو ارائه کرده است و ابزاری مناسب برای مدیریت تحلیل عملکرد یک سیستم تولید پیچیده ارائه

www.SID.ir

Archive of SID

می‌دهد. [33]

مالکی و شبستری (۲۰۱۸) یک مطالعه موردی را در یک شرکت تولید موتور سیکلت برقی انجام دادند. در مرحله اول، آنها یک مدل ریاضی برای اختصاص ایستگاه‌های بازرسی به فرآیندهای تولید پیشنهاد دادند. پس از آن، یک روش اکتشافی برای شبیه سازی و بهینه‌سازی مدل با استفاده از نرم افزار Enterprise Dynamic را دنبال کردند. سرانجام، مدل‌های ریاضی و توسعه یافته و شبیه‌سازی شده با یکدیگر مقایسه شدند.[30]

راید و ساندبلاد (۲۰۱۳) از روش شبیه‌سازی برای بهبود فرآیند تولید، تقویت فرایند تولید و افزودن به انعطاف‌پذیری فرایند تولید در شرکت‌های مرتبط با آنها که در استونی و چین فعالیت می‌کنند، استفاده کردند و نتیجه‌گیری‌های زیادی را در مورد برنامه ریزی بهینه تولید به دست آوردند. یکی از مهمترین پیشرفت‌های به دست آمده در این تحقیق، ارائه یک دستگاه تست جدید برای کاهش زمان مونتاژ توسط اپراتور بود. با به اشتراک گذاشتن گلوگاه‌های شناسایی شده، افزایش بهره‌وری امکان‌پذیر شد. این امر منجر به انعطاف‌پذیری بیشتری می‌شود و نیاز به خط تولید اضافی را کاهش می‌دهد.[32]

حسینی، ابراهیمی و فاضلی (۲۰۱۲) بهینه‌سازی کنترل کیفیت را در طول خط تولید انبوه در یک شرکت تولیدی اتومبیل با استفاده از روش سمفونی شبیه‌سازی کردند. با توجه به نتایج آنها، مدت زمان انتظار طولانی در یک منطقه خاص دلیل عدم بهره وری رضایت بخش خط تولید بود. از طرف دیگر، این منطقه نسبت به سایر مناطق از منابع بیشتری استفاده می‌کند و باعث می‌شود کارمندان شاغل در این منطقه تا حدودی ناراضی باشند. یافته‌های آنها نشان داد که با کاهش زمان انتظار، نتایج عملکرد مطلوبی حاصل می‌شود و هم کارکنان و هم صاحبین شرکت از کاهش مصرف منابع و افزایش تولید خوشحال می‌شوند.[38]

آزاده، هاتفی وکر (۲۰۱۲) اولین نفری بودند که با شبیه‌سازی‌های یکپارچه فازی به بهبود عملکرد یک فروشگاه تولیدی چند محصولی پرداختند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که در مقایسه با شبیه‌سازی معمولی، شبیه‌سازی فازی، میزان تولیدی را که انجام می‌دهند بسیار نزدیک به مقادیر واقعی است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که شبیه‌سازی فازی به اعتبار بیشتر نتایج شبیه‌سازی کمک می‌کند و راه حل‌های بهتری نسبت به روش‌های شبیه‌سازی معمولی ارائه می‌دهد. علاوه براین، روش شبیه سازی فازی برای بیان بهتر عدم قطعیت کمک می‌کند. علاوه براین، محققان با توجه به مشکلات تولید، محدودیت سیستم و اهداف ارائه شده، از شبیه‌سازی فازی برای افزایش کارایی فروشگاه‌های تولیدی استفاده می‌کنند. نویسندگان در ادامه راهکارها و راهبردهایی را با توجه ویژه به عوامل مدیریتی و اقتصادی ارائه دادند.[37]

ویارئال و الأنیس (۲۰۱۱) تحقیقاتی را انجام دادند که در آن یک روش شبیه‌سازی برای بهبود عملکرد خط تولید در یک شرکت مکزیکی اتخاذ کردند. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط این محققان، تأثیرات مثبتی بر عملکرد شرکت داشته است. کاهش بار عملیات ۳۵٪ و افزایش استفاده از منابع تولیدی ۲۰٪، کاهش فضای مورد نیاز ۲۷٪: افزایش انعطاف پذیری کارگران در پی دوره آموزشی تعاملی، زمان پاسخ دهی ۱۶٪ بهبود یافته و هزینه واحد تولید ۲۸٪ کاهش یافته است. تمامی این موارد با هدف کاهش زمان چرخه تولید در یک تعمیرگاه هواپیمای نیروی دریایی رخ داده است. [35] شکوهی و شهریاری (۲۰۱۰) یک مدل ناسازگار سه هدفه را برای کنترل بهینه با اهداف" به حداقل رساندن هزینه عملیات، میانگین و واریانس زمان تولید پیشنهاد دادند. مدل آنها نتایج قابل توجهی را در شرایط عدم اطمینان ارائه داد.[40] فاندینو پیتا و وانگ (۲۰۱۰) فرآیند تولید

www.SID.ir

Archive of SID

و خط تولید را در یک شرکت تولید بطری شیشه‌ای با استفاده از روش شبیه‌سازی برای تسهیل سیستم تولید بررسی کردند. اعتبارسنجی مدل، قابلیت برجسته مدل شبیه‌سازی شده را برای بازسازی دقیق سیستم واقعی، برجسته کرد و منجر به نتایج مناسب و رضایت بخش شد. آنها نشان دادند که با موفقیت به هدف خود در خط تولید رسیدند. فاندینو پیتا و وانگ بر این باورند که قبل از دستیابی به هرگونه پیشرفت در خط تولید، اصلاحات لازم در ماشین آلات و برنامه‌ریزی مناسب برای تخصیص منابع می‌بایست انجام شود و این تحقیق را با استفاده از روش شبیه‌سازی با هدف بهینه‌سازی تولید و برآورد نرخ خروجی محصولات انجام دادند. [25] سلیمان پور و زینال‌زاده (۲۰۰۹) با هدف متعادل‌سازی خط تولید برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه سیستم ضمن رعایت استانداردهای بهینه و محدودیت‌های موجود، آنها مدلی را طراحی و اجرا کردند. سپس این مدل شبیه‌سازی شده و نتایج آن با داده‌های واقعی مقایسه شده است تا پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد سیستم ارائه شود. [39] گبوس و همکاران (۲۰۰۴) از یک روش شبیه سازی-پیشامد گسسته را برای بهینه‌سازی محصول در خط تولید محصولات الکترونیکی استفاده کرده و برای اطمینان از روابط صحیح، مدل را برای ۴۰ دور اجرا کردند. یافته‌ها نشان داد که استراتژی زمان بندی، ضعیف‌ترین عملکرد را ایجاد کرده است، زیرا هیچ معیار بهینه انتخاب نشده است. با اتخاذ استراتژی دوم، زمان تولید ۶۰٪ صرفه جویی شد. با این حال، استراتژی سوم به نتایج مشابه منجر نشده است. محققان همچنین نشان دادند که اضافه کردن کارگران دارای سرپرست تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کلی خط تولید نمی‌گذارد.[26] هوسر (۲۰۰۲) با هدف بهینه‌سازی و شبیه سازی عملکرد خط تولید، طرح خط تولید و زمانبندی‌های صورت گرفته در خط تولید تویوتا را با سه طرح دیگر بررسی و مقایسه کرد و طرح بهینه را بر اساس نتایج شبیه سازی معرفی کرد.[27]

کیجاکیک (۲۰۰۲) با استفاده از روش شبیه‌سازی برای طراحی خط تولید اتوبوس یک شرکت، در ابتدا به منظور تحقیق و سپس بهینه‌سازی این خط اقدام کردند. آنها با در نظر گرفتن اصلاحات در طرح به عنوان یک راه حل کلی، در ابتدای تولید، مشکلات را در مراحل اولیه شناسایی و تجزیه و تحلیل کردند و در ادامه با ارائه ۳ طرح جدید با توجه به موضوعات موجود از جمله گلوگاه‌ها، کار در حال انجام و محصولات نیمه ساخته اقدام کردند. سرانجام، یکی از طرح‌های پیشنهادی به‌عنوان طرح بهینه انتخاب شد.[28]

تانتیوانیچ و همکاران (۲۰۰۲) مطالعه‌ای در مورد تهیه یک مدل شبیه‌سازی برای شناسایی راه حل‌های بهبود، در یک کارخانه تولید محصولات نیمه رسانا با فن‌آوری سطح بالا انجام دادند. براساس نتایج آنها، محققان برای بهبود بهره‌وری و زمان چرخه تولید، پیشنهادهای زیر را تدوین کردند: تهیه یک دستگاه DTF اضافی، اضافه کردن یک دستگاه حکاکی، اضافه کردن دستگاه تشکیل دهنده، کاهش زمان نصب و راه اندازی و کاهش زمان نگهداری - تعمیرات .[34]

لی، خو و ئین (۲۰۰۰) با شبیه‌سازی به این نتیجه رسیدند که هیچ مشکلی در خط تولید وجود ندارد و خط به خوبی متعادل است. با این وجود، می‌توان با کاهش نرخ بهره‌برداری از ماشین آلات خاص، به سطح مطلوب خروجی دست یافت.[29]

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری (پیشینه تحقیقات)

تمامی تحقیقات فوق نشانگر این موضوع می‌باشد که پس ازساختن هر مدلی از فرایند، می‌توان به منظور تحلیل طرح‌ها یا خط مشی‌ها، با استفاده از سیستم‌های شبیه‌سازی بارها آن را اجرا کرد و دستیابی به داده‌های شبیه‌سازی بسیار کم هزینه‌تر

www.SID.ir

Archive of SID

از فراهم آوردن داده‌های مربوط به سیستم حقیقی است. معمولاً مدل‌های تحلیلی به فرض‌های ساده کننده بسیار زیاد نیاز دارند تا از لحاظ ریاضی قابل حل شوند ولی مدل‌های شبیه‌سازی چنین محدودیتی ندارند و در برخی از موارد که در مثال‌های فوق به آن اشاره شده است شبیه‌سازی تنها راه حل مسأله است..

اهداف تحقیق در این پژوهش

اهداف مشخص تحقیق در این پژوهش مشتمل بر تعیین تعداد بهینه ایستگاه کاری و نیروی کار در هر ایستگاه (Signoff)، ارتقاء توان لجستیکی و کمینه کردن هزینه‌های جابجایی در راستای افزایش بهره‌وری هزینه‌های تولید در این ایستگاه‌های کاری است که تماما برپایه روش شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته می‌باشد.

روش پژوهش

گام‌های اساسی انجام شده در بررسی مبتنی بر شبیه‌سازی – پیشامد گسسته

شکل (۲) مجموعه گام‌هایی را نشان می‌دهد که جهت مدلسازی مسئله در بررسی مبتنی بر شبیه‌سازی – پیشامد گسسته این پژوهش به طور کامل و مطمئن آن را هدایت نموده‌ایم، که به شرح زیر می‌باشد:

شکل (۲) گام‌های اساسی صورت گرفته در پژوهش حاضر

www.SID.ir

Archive of SID

همانطور در شکل شماره ۲ به آن اشاره شد، ساختار تحقیق از یک الگوی نظام یافته‌ای تبعیت می‌کند که دائماً در چرخه برنامه‌ریزی، اجرا، کنترل و بهینه سازی قرار گرفته و در فازهای اولیه ایجاد هر کدام از اقدامات، ابتدا طرح کلی ساخته شده و در فازهای بعدی با بازنگری و توسعه همراه بوده است و چرخه PDCA (Plan,Do,Check,Action)، در تمام گام‌ها نقش پررنگ و اساسی را ایفا می‌نماید.

گام (۱)، بررسی میدانی مشکلات در شرکت سایپا

در این مرحله ضمن بررسی مشکلات در سطح گروه، از بانک اطلاعات سیستم پیشنهادات سایپا جهت انتخاب مساله پر دغدغه سازمان کمک گرفته شد. چندین حوزه جهت بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت که از بین لیست مشکلات شرکت سایپا، مسئله‌ی تعیین تعداد بهینه ایستگاه کاری و نیروی کار در هر ایستگاه (واحد تجاری سازی خودرو - Signoff) همراه با ارتقاء توان لجستیکی این واحد که ازنظر اهمیت‌وکاهش هزینه‌جزو شاخص‌ترین‌های این لیست تلقی می‌گردید انتخاب و تمرکز اصلی بر این مسئله صورت پذیرفت.

گام (۲)، بیان مساله

بیان مساله: درحال حاضر در شرکت سایپا، سالن‌های تولید متعدد از جمله (پرس و همینگ قطعات بدنه، مونتاژ بدنه، رنگ بدنه و مونتاژ قطعات و مجموعه بر روی بدنه) به صورت فعال وجود دارند و محصولات پس از گذر از تمامی فرایندهای تولید، تبدیل به محصول نهایی شده که به نوعی امکان بالقوه برای فروش محصول را خواهد داشت. چیزی که باعث انتخاب واحد Signoff جهت بهینه‌سازی شده و آن را با سایر سالن‌های تولید شرکت سایپا متمایز نموده است، بررسی پیشینه تحقیق و بهینه سازی سایر شرکت‌های خودروسازی دنیا در این زمینه می‌باشد. شایان ذکر است که در ارتباط با فرایندهای تجاری‌سازی خودرو که محصول تقریباً تمامی گام‌های تولیدی خود را گذرانده و صرفاً برای تجاری‌سازی مورد آماده‌سازی قرار می‌گیرد تحقیقات انجام شده در این زمینه بسیار محدود بوده و در اکثر آنها فرایندهای بهینه‌سازی بر پایه شبیه‌سازی و بر روی محصول نیمه ساخته (هنوز به یک خودروی کامل تبدیل نشده است) بوده و فرایندهای مرتبط با تجاری‌سازی خودرو، مورد بررسی قرار نگرفته است.

در این پژوهش به‌طور خاص جهت تمرکز بیشتر در این فرایند، محصولات پرتیراژی از قبیل خانواده X100,X200 مورد بررسی قرار گرفته شده است. پس از اینکه محصولات در خطوط مونتاژ، تولید و محصول نهایی از خط تولید خارج گردید. می‌بایست یکسری تنظیمات بر روی محصول نهایی انجام و محصول تولید شده جهت دریافت مجوزهای فروش، تمامی تست‌های تعریف شده (مطابق با استاندارد) را پاس نمایند. لذا تمامی محصولات وارد واحد تجاری سازی خودرو / Signoff شده و می‌بایست تمامی تست‌ها را پاس نمایند و در صورت رویت ایراد در محصول، ایستگاه‌های بازکاری یا رتوش جهت اصلاح محصول معیوب درنظر گرفته شده است و در صورت معیوب تشخیص داده شدن محصول، خودرو توسط رانندگان (لجستیک واحدهای تولیدی) به ایستگاه‌های رتوش منتقل و فرایند عیب‌یابی، تعمیر و یا تعویض قطعه معیوب صورت می‌پذیرد.

بدیهی است که پس از رفع عیب، مجددا محصول در پروسه تست و بازرسی قرار می‌گیرد و در صورت تائید توسط بازرسان کیفیت، خودرو مجوز ورود به گیت بازرسی بعدی را خواهد داشت و پس از گذر از تمامی گیت‌های کنترل، نوبت به بازرسی نهایی خودرو رسیده و خودرو تجارتی خواهد شد و مجوزهای لازم برای فروش در بازار کسب می‌گردد.

در تمامی توضیحات فوق به این موضوع اشاره شد

www.SID.ir

Archive of SID

که محصول نهایی با استفاده از نیروی محرکه خودرو و بر روی لاستیک‌های خود و توسط رانندگان در نظر گرفته شده، وارد محوطه sign off و ایستگاه‌های تعبیه شده در این واحد می‌شود، بنابراین نیازی به استفاده از کانوایر جهت انتقال محصول نمی‌باشد.

جهت بهینه‌سازی سیستم، نیاز به بررسی تعداد ایستگاه‌های کاری که منجر به تشکیل گلوگاه در فرایند لجستیک می‌گردد و همچنین میزان فواصل بین هر کدام از ایستگاه‌ها از هم، که ارتباط مستقیم با بهینه‌سازی فرایند لجستیک خواهد داشت. لذا با تعیین تعداد ایستگاه بهینه می‌توان چالش موجود را مدیریت نمود.

گام (۳)، جمع آوری اطلاعات از حوزه‌های مورد بررسی (مهندسی، کیفیت ، تولید، مالی)

جهت شناسایی دقیق و ریشه‌یابی مشکلات نیاز به جمع‌آوری اطلاعات کاملی از حوزه‌های مختلف در خصوص واحد تجاری‌سازی خودرو می‌باشد تا عمق اصلی مساله به درستی شناسایی شود. برای جمع‌آوری داده‌ها از ابزار بررسی مدارک و اسناد آن هم از نوع مدارک و اسناد سازمانی و شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده شده است. داده‌ها حاوی اطلاعات مربوط جریان فرآیند کنترل کیفیت نهایی خودرو (Signoff) شامل تعداد ایستگاه‌های کاری، نیروی انسانی، نقص در واحد و ساختار لجستیک (انتقال خودرو در واحد Signoff) و تهیه قطعات یدکی است. در این ساختار، ترتیب توالی ورود محصول براساس اطلاعات تقاضای مشتری در طی یک سال (از سال ۱۳۹۷) مطابق داده‌های استخراج شده از سیستم فروش شرکت سایپا تعیین شده است. همچنین برای جمع‌آوری داده‌های ثانویه از مطالعات کتابخانه‌ای استفاده شده است، بدین گونه که اطلاعات مورد نیاز جهت ادبیات تحقیق و مبانی نظری آن ازطریق کتاب‌ها، مجلات و مقالات معتبر و پایان‌نامه‌ها و همچنین فضای مجازی اینترنت جهت بررسی آخرین مقالات استفاده شده است.

❖ پایایی و روایی ابزار گردآوری داده‌ها

با توجه به این که داده‌های این تحقیق بر اساس اسناد سازمانی و شبیه‌سازی کامپیوتری بوده و این اسناد و داده‌ها در سازمان مدون می‌باشد، بنابراین از پایایی مناسبی برخوردار می‌باشد. همچنین برای تعیین اعتبار محتوی، متغیرهای تحقیق شامل تعداد ایستگاه‌های کاری، نیروی انسانی، نقص در واحد و ساختار لجستیک (حمل و نقل و انتقال خودرو در واحد Signoff و قطعات یدکی) به چند نفر از صاحب نظران و اساتید مدیریت و تولید داده شده و از آنها در مورد متغیرها و ارزیابی سوال‌ها نظرخواهی گردید، نهایتاً روائی آن تایید گردید.

❖ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها و حل مسئله در این تحقیق با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی و در نرم‌افزار ارنا انجام می‌پذیرد و به این صورت که مدل مورد بررسی در تحقیق در این نرم‌افزار با یک سطح مناسب مدل‌سازی می‌شود و جزئیات مورد نظر در آن در نظر گرفته می‌شود و پس اجرای مدل شبیه‌سازی برای یک بازه زمانی مشخص و اتمام شبیه‌سازی، نتایج خروجی از نرم‌افزار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

گام (۴و۵)، طراحی اولیه گردش کار واحد تجاری‌سازی خودرو و توسعه آن

واحد signoff دو نوع خودرو از محصولات شرکت خودروســـازی سایپا، با دو پلتفرم (X100,X200) طراحی شده که می‌بایست طبق درصدهای مشخص شده در دیاگرام زیر انجام گردد به نحوی که، خودروهای تولیدی می‌بایست از تمامی ایستگاه‌ها ی بازرسی و تنظیم تعریف شده عبور نموده و مجوز

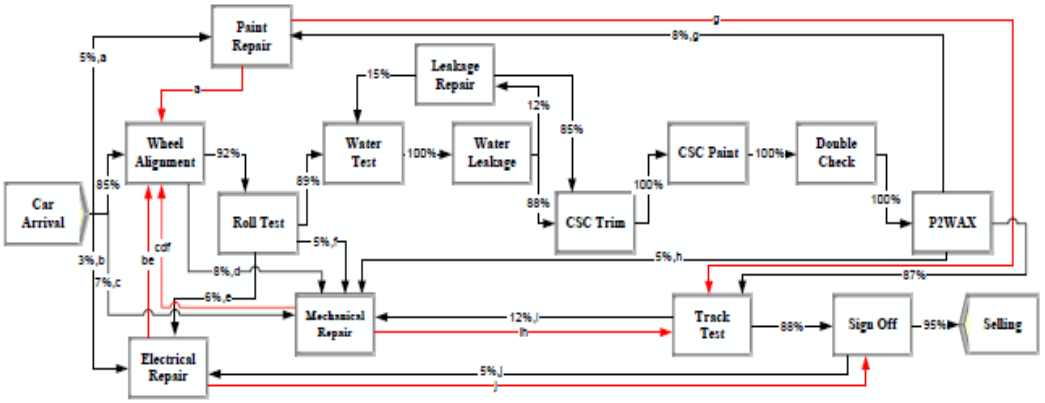
www.SID.ir

Archive of SID

عبور به مرحله بعد را دریافت نمایند. بدیهی است که در صورت رویت ایراد توسط بازرس، خودرو به ایستگاه بازکاری (رتوش) منتقل و عملیات رفع ایراد بر روی محصول انجام و پس از طی نمودن فرایند بازکاری مجددا می‌بایست توسط بازرس، خودرو مورد بازرسی مجدد قرار گرفته و در صورت تائید کیفیت، مجوز ورورد به مرحله بعد را خواهد داشت.

پس از طراحی اولیه فلوچارت، بدیهی است که در هر بار بازبینی و تطبیق آن با شرایط جاری، جزئیات طرح بیشتر نمایان شده و ضرورت بازنگری در طرح و توسعه آن نیز از قبل پررنگ‌تر خواهد شد. لذا این امکان را به پژوهشگر می‌دهد که طرح را بهینه سازی نماید تا با وضعیت موجود کاملاً همخوانی داشته باشد. طرح توسعه یافته مدل، که برگرفته از شرایط واقعی تولید است پژوهشگر را به سمت هر چه دقیق‌تر شدن و تطبیق با واقعیت همسو خواهد نمود.

در این مرحله ابتدا مطابق جدول شماره (۱)، توضیحات مختصری در خصوص نحوه فعالیت‌های صورت گرفته در هر ایستگاه‌های کاری ارائه می‌گردد. ضمنا قبلاً در شکل (۳) نیز درصدهای ورود خودرو به هر ایستگاه کاری و نحوه گردش و جریان کار در این فرایند، ارائه شده است که مقادیر مذکور منتج از اطلاعات گرد آوری شده از اطلاعات کل سال ۹۷ در خودروسازی سایپا می‌باشد.



شکل (۳) جریان بین ایستگاه‌ها در واحد sign off

جدول (۱) تعاریف اختصاری فعالیت‌های ایستگاه‌های موجود در واحد تجاری‌سازی خودرو

ایستگاه‌های تنظیم و بازرسی	تعریف اختصاری	ایستگاه‌های تعمیراتی یا رتوش	تعریف اختصاری
Wheel Alignment (WA)	ایستگاه تنظیم زوایای چرخ خودرو و تنظیم شعاع نور چراغ‌ها و همچنین کنترل و بازرسی اتصالات و قطعات مکانیکی زیر بدنه خودرو	*Repair (ER) Electrical*	بازکاری/ تعویض قطعات و مجموعه‌های معیوب الکتریکی خودرو
Roll Test (RT)	تست ترمز و تست دستگاه انتقال قدرت خودرو (گیربکس و دیفرانسیل خودرو)	*MechanicalRepair (MR)*	بازکاری/ تعویض قطعات و مجموعه‌های مکانیکی معیوب (سیستم‌های تعلیق، فرمان و ترمز و قوای محرکه و انتقال قدرت خودرو)

www.SID.ir

Archive of SID

بازکاری ایرادهای رنگ خودرو	*Paint Repair (PR)*	تست نشتی آب به داخل خودرو (تست نفوذ آب از نوار آبگیرها شامل درب‌ها و صندوق عقب به داخل و ...)	*Water Leakage Test (WLT)*
بازکاری ایراد نشتی آب به داخل خودرو	*Water Leakage Repair (WLR)*	بازرسی قوای محرکه و تست خودرو در مسیر صعب العبور و شرایط شبیه جاده	*Track Test (TT)*
نکات: فرایند دارای یک ورودی و خروجی مشخص است و محصول ورودی می‌بایست از تمامی گیت‌های تعریف شده با موفقیت عبور کند (تست‌ها را مطابق استاندارد تعریف شده پاس کند) و سپس مجوز تجاری‌سازی خودرو صادر خواهد شد و خودرو امکان تحویل به مشتری را خواهد داشت. لذا در صورت تشخیص به ایراد در هر کدام از مراحل بازرسی، فرایند بازکاری و یا تعویض قطعه معیوب بر روی خودرو صورت گرفته و مجددا خودرو مورد تست و بازرسی قرار می‌گیرد و درصورت پاس شدن تمامی آیتم‌های کنترلی به ایستگاه بعد منتقل می‌گردد.		تست آب خودرو (جهت بازرسی نفوذ آب به داخل کانکش‌های الکتریکی خودرو و کنترل عملکرد تجهیزات پس از پاشش آب با فشار مشخص و ...)	*Water Test (WT)*
		بازرسی سیلرکاری زیر بدنه	*P2WAX (P2WAX)*
		بازرسی مجدد پس از انجام تعمیرات و بازکاری محصولات معیوب	*Double Check (DC)*
		بازرسی ظاهری و عملکردی قطعات تزئینی و سیستم‌های الکتریکی خودرو از نگاه مشتری	*CSC Trim (CSCT)*
		بازرسی رنگ خودرو از نگاه مشتری	*CSC Paint (CSCP)*
		بازرسی نهایی و دریافت مجوز تجاری‌سازی خودرو	*Sign Off (SO)*

گام (۶)، زمانسنجی فرایندها و زیر فرایندهای واحد تجاری سازی خودرو

به منظور کنترل دقیق مقادیر زمانسنجی شده توسط مدیریت مهندسی صنایع سایپا، مجددا زمانسنجی کامل فرایند مذکور، از بروزترین متدهای زمان سنجی (سیستم Maxi MOST) استفاده گردید تا مقادیر اندازه‌گیری شده مورد صحه‌گذاری قرار گیرد. از آن جایی که در زمان سنجی مشکلاتی من جمله عملیات بسیار تکراری کوتاه مدت وجود داشت، سیستمی براساس الگوهای توالی MOST تهیه شدند که بتوانند با داده‌های پشتیبانی کننده خاص خود، این عملیات را زمان سنجی کند. لذا طبق سیستم Mini MOST که دارای مفاهیم و فرمت MOST بوده است و این توانایی را داراست که سیکل‌های تکراری یکسان را که اغلب دارای زمان کوتاهی هستند با دقت بسیار بالایی زمانسنجی کند، موضوع عملیاتی شد. لازم به ذکر است که استفاده از الگوهای توالی MOST برای زمان‌هایی که با سیکل‌های غیرتکراری، طولانی، مونتاژهای غیرمتشابه و تعمیراتی روبرو هستیم باعث ایجاد اطلاعاتی می‌شود که دارای جزییات غیرضروری است و گاهی نیز می‌تواند باعث گمراهی گردد. این امر نشان دهنده آن است که برای تحلیل فعالیت‌هایی که دارای سیکل‌های

www.SID.ir

Archive of SID

طولانی هستند نیاز به سیستمی با امکان تجزیه و تحلیل صحیح برای دستیابی به نتایج دقیق به صورت سریع و با رعایت سهولت فراگیری وجود داشت که براساس آن سیستم Maxi Most مورد اجرا قرار گرفت لذا مقادیر زمان‌های انجام فرایند و توابع توزیع آن (تابع توزیع مثلثی) مطابق جدول شماره (۲) بدست آمد.

گام (۷)، اضافه کردن متغیرهای جدید به مدل جهت عمق دادن به فلوچارت مدل

در این، مباحث کیفی و سوابق آن نیز خواه نا خواه باید وارد مدل می‌شد. چرا که درصدهای ورود هر موجودیت به هر ایستگاه، آینه تمام نمای فرایند به کیفیت رسانی محصول در این واحد می‌باشد. بنابراین شاخص‌های کیفیت در این واحد بررسی و مهمترین شاخص‌ها (**درصد عبور مستقیم:** درصدی از محصول یا خودروی تولیدی که بدون نیاز به بازکاری و رتوش وارد مرحله بعد بازرسی میشود و شاخص تعداد ایراد مشاهده شده در ازای هر خودروی تولید شده یا وارد شده به این واحد که با عنوان DPU (Defect Per Unit) معرفی می‌گردد) با درصدهای مشخص که برگرفته از اطلاعات ثبت شده طی یکسال ۹۷ می‌باشد جمع آوری و در مدل لحاظ گردید.

- زمان بین ورود خودروها از تابع توزیع نمایی با میانگین ۲ دقیقه تبعیت می‌نماید.
- توالی ورودی محصولات تولیدی (پراید و تیبا) از یک تابع توزیع تجمعی تجربی گسسته تبعیت نموده و از نظر ریاضی به صورت زیر نمایش داده شده است.

DISC (cp1, $v1$, cp2, $v2$,...)
Where cpi, vi are the pairs cpi = P{X ≤ vi} for the CDF (Cumulative distribution function)

توضیح ساده‌تر این موضوع به صورت "توالی ورودی ۳ پراید و ۱ تیبا" قابل ارائه می‌باشد.

- زمان حمل‌ونقل مانند زمان عملیات برای ایستگاه اولیه است.
- زمان تکرار ۱ ماه یا ۳۰ روز است.
- هر روز یک شیفت کوتاه با ۷٫۵ ساعت زمان کاری در نظر گرفته می‌شود.
- در تمام محاسبات هزینه‌های نیروی انسانی بصورت ثابت فرض شده (کارکنان براساس مهارت و سابقه کاری حقوق آنها متغیر می‌باشد).

برآورد نیروی انسانی موجود در واحد Signoff

پس از ارزیابی زمان‌های انجام کار، نیروی انسانی موجود شمارش و آخرین وضعیت نیروی انسانی مستقر به طور کاملاً دقیق ثبت گردیدکه نتایج به شرح جدول (۳) می‌باشد.

جدول (۲) جدول تابع توزیع فرایندهای واحد تجاری سازی خودرو

Adjustment Station	Model	Standard Time	Repair Station	Model	Standard Time
Wheel Alignment (WA)	X100	Tria (2.1, 2.5, 2.9)	Electrical Repair (ER)	X100	Tria (5, 20, 80)
	X200	Tria (2.1, 2.5, 2.9)		X200	Tria (5, 24, 85)
Roll Test (RT)	X100	Tria (2.3, 2.5, 2.6)	Mechanical Repair (MR)	X100	Tria (10, 21, 100)
	X200	Tria (2.1, 2.3, 2.5)		X200	Tria (10, 24, 80)
			Paint Repair (PR)	X100	Tria (5, 31, 85)
				X200	Tria (10, 38, 90)
Water Leakage Test (WLT)	X100	Tria (1.4, 1.6, 1.8)	Water Leakage Repair (WLR)	X100	Tria (5, 15, 30)
	X200	Tria (1.8, 2, 2.2)		X200	Tria (5, 20, 35)
Double Check (DC)	X100	Tria (3, 3.5, 4)	CSC Trim (CSCT)	X100	Tria (3, 3.48, 4)
	X200	Tria (3, 3.5, 4)		X200	Tria (3.5, 4, 5)
P2WAX (P2WAX)	X100	Tria (0.6, 0.8, 0.9)	CSC Paint (CSCP)	X100	Tria (3.8, 5.2, 5.5)
	X200	Tria (0.4, 0.5, 0.6)		X200	Tria (4, 5.2, 6)
Track Test (TT)	X100	Tria (9, 10, 12)	Sign Off (SO)	X100	Tria (5, 15, 30)
	X200	Tria (9, 10, 12)		X200	Tria (5, 20, 35)

www.SID.ir

Archive of SID

Constant Standard Times

Adjustment Station	Model	Standard Time
Water Test (WT)	X100	7.87
	X200	7.87

جدول (۳) تعداد نیروی انسانی موجود جهت ایستگاه‌های کاری واحد Signoff

ردیف	نام ایستگاه	تعداد نیروی انسانی مورد نیاز
۱	بازرسی رنگ	۲۱
۲	بازرسی تزئینات	۸
۳	بازرسی مجدد (پس از بازکاری محصول)	۶
۴	رتوش برق	۲۰
۵	رتوش مکانیک	۵۲
۶	سیلر کار زیر بدنه	۶
۷	رتوش رنگ	۲۶
۸	رول تست	۱۳
۹	بازرسی نهایی	۱۶
۱۰	تراک تست	۱۹
۱۱	رتوش نفوذ آب	۲۶
۱۲	تست نفوذ آب	۳
۱۳	بازرسی واتر تست	۸
۱۴	تنظیم زوایای چرخ	۲۱
۱۵	راننده جهت انتقال خودروها در سالن	۲۳
جمع کل نفرات واحد Signoff		۲۶۸ نفر

اطلاعات خرابی دستگاه‌ها و تجهیزات و هزینه تامین قطعات یدکی مختص تجهیزات و متغیرهای مرتبط با فرایند تامین قطعات یدکی (هزینه خرید قطعه یدکی برای واحدهای رتوش)، فرایند بازکاری (هزینه‌های مرتبط با آن ازجمله هزینه اجرت تعویض قطعه معیوب، تامین تجهیزات و دستگاه‌ها جهت انجام فرایند تعمیرات که به نوعی برای سازمان در رسته‌ی هزینه‌های فاقد ارزش افزوده قرار می‌گیرد) و... که می‌بایست تحت کنترل قرار گیرد جمع آوری و در کنار گردش کار به عنوان ورودی‌های اصلی در بانک اطلاعاتی پروژه نگهداری شد تا در طراحی مدل شبیه‌سازی از آنها استفاده شود.

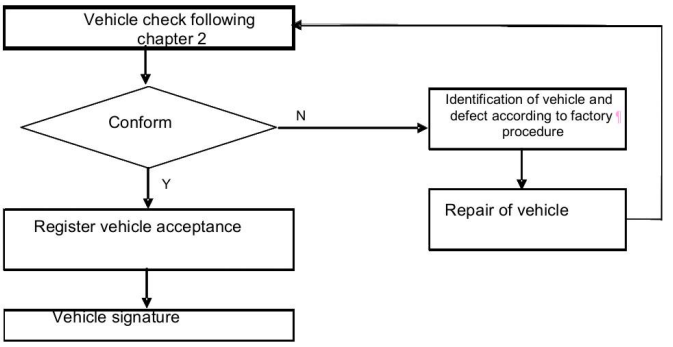
گام (۸و۹)، طراحی اولیه و مدلسازی فرایند تجاری سازی خودرو با نرم‌افزار ARENA (Ver:14) و وارسی‌های چند باره مدل و صحه گذاری آن

در این گام با استفاده از اطلاعات دریافت شده در گامهای قبل و فلوچارت بهینه‌سازی شده، طرح اولیه مدل(Draft Model) در نرم افزار Arena پیاده سازی گردید. شبیه‌سازی مطالعه موردی در نرم‌افزار ارنا صورت گرفت. مدل مسئله را می‌توان به سه بخش کلی تقسیم کرد:

۱) بخش ایجاد موجودیت‌ها: در این بخش موجودیت‌ها با استفاده از ماژول Create و مشخصه‌ها با استفاده از ماژول Assign در نرم‌افزار تعریف می‌گردد. ساختار مدل قابل پیاده‌سازی از فلوچارت زیر تبعیت می‌نماید.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۴) شمای گردش کار فعالیت‌های اصلی واحد Signoff

در مرحله اول با استفاده از نرم‌افزار ارنا، وضیت موجودیت در سیستم با استناد به مفروضات مسئله طراحی گردید. در مرحله اول تعریف اصلی موجودیت بر اساس مفروضات پایه گذاری و سیستم براساس آن اجرا گردید. سپس با توجه به ضرورت تعریف تناوب و تنوع موجودیت مطابق با مفروضات مدل تایع DISC (با توالی ورود ۳ محصول X100 و ۱ محصول X200 با استفاده از ماژول Assign این وضعیت در مدل پیاده‌سازی گردید. مطابق فلوچارت اولیه با تعریف تصمیم با درصدهای مشخص و با وضعیت‌های مشخص شده به ایستگاه‌های معین شده موجودیت‌ها هدایت شدند.

۲) بخش انجام پردازش بر روی موجودیت‌ها: در این بخش ابتدا کلیات سیستم شرح داده و سپس به جزئیات سیستم رسیدگی می‌شود. پس از آنکه موجودیت‌ها وارد ایستگاه‌های کاری بشوند نیاز است که بر روی آنها پردازش صورت بگیرد که این مسئله با استفاده از یک ماژول Process پس از هر ایستگاه کاری پیاده‌سازی شده است. در مطالعه مورد نظر فرآیند مذکور براساس گردش کار طراحی شده اولیه می‌بایست چیدمان می‌شد. لذا ۲۳ ایستگاه مشخص طراحی و در سیستم مدلسازی گردید. بعد از طراحی ایستگاه‌ها حالا می‌بایست پروسه‌هایی را که بر روی موجودیت‌ها صورت می‌گرفت را مدلسازی نماییم. لذا ۱۴ پروسه‌کاری مطابق تصویر زیر در سیستم پیاده‌سازی گردید. که در این ماژول می‌بایست تعداد، درجه اولویت، تابع توزیع پروسه‌ها را تعریف و مشخص می‌نماییم.

Process : Basic Process

	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Expression	Report Statistics
1	Process Paint Repair	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Paint Repair Time	☑
2	Process Wheel Alignment	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Wheel Alignment Time	☑
3	Process Mechanical Repair	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Mechanical Repair Time	☑
4	Process Electrical Repair	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Electrical Repair Time	☑
5	Process Roll Test	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Roll Test Time	☑
6	Process Water Test	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Water Test Time	☑
7	Process Water Leakage Test	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Water Leakage Test Time	☑
8	Process Water Leakage Repair	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Water Leakage Repair Time	☑
9	Process CSC Trim	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	CSC Trim Time	☑
10	Process CSC Paint	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	CSC Paint Time	☑
11	Process Double Check	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Double Check Time	☑
12	Process P2WAX	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	P2WAX Time	☑
13	Process Track Test	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Track Test Time	☑
14	Process Sign Off	Standard	Seize Delay Release	High(1)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	Sign Off Time	☑

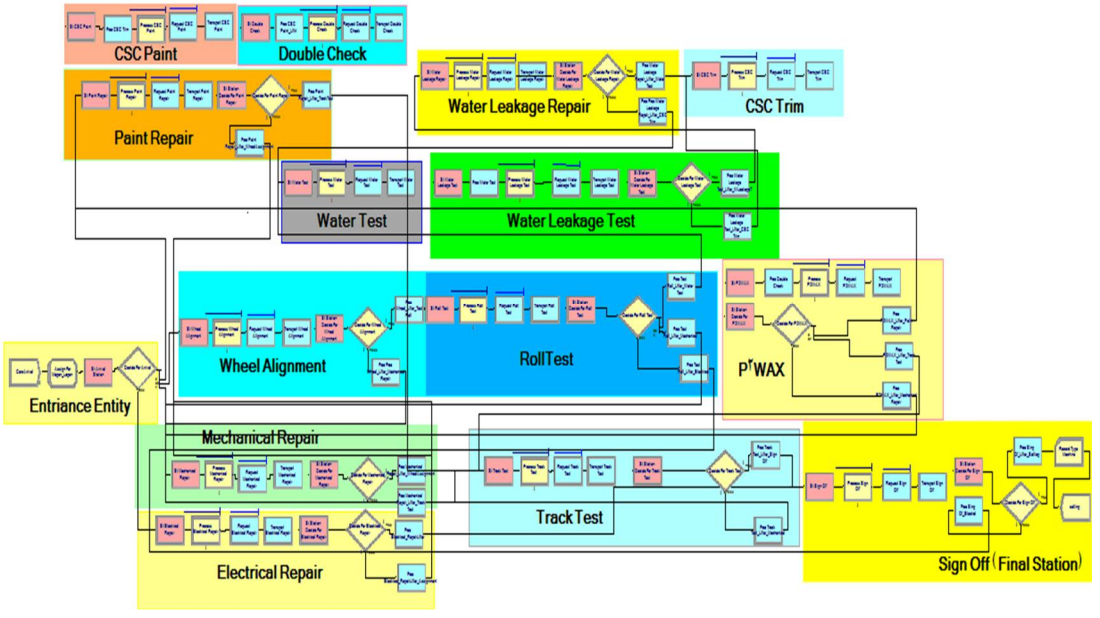
شکل (۵) پیاده‌سازی پروسه‌ها با استفاده از ماژول Process در سیستم

www.SID.ir

Archive of SID

پس از مشخص کردن کامل پروسه‌ها، حال نوبت به انتقال خودروها به واحدهای عملیاتی بعدی مطابق گردش کار اولیه ضروری بود. لذا از ماژول Request استفاده گردید. بدیهی است که به مجرد طراحی ماژول Request حال می‌بایست موجودیت به ایستگاه‌های کاری بعدی انتقال یابد. برای پیاده سازی این وضعیت از ماژول Transfer جهت انتقال استفاده شد. پس از انتقال موجودیت به ایستگاه‌ها با توجه به اینکه بعد از بازرسی در ایستگاه‌ها نیاز بود که مشخص شود آیا نیاز به بازکاری دارد و یا موجودیت امکان ورود به ایستگاه بعدی را دارد از ماژولهای Station و Decide استفاده گردید. شایان ذکر است که در صورت انتخاب True توسط سیستم تصمیم‌گیر، حال خودرو از ایستگاه آزاد و امکان ورود به ایستگاه‌های بازرسی و بازکاری بعدی را خواهد داشت. این پروسه در تمام ۲۳ ایستگاه تعریف شده اصلی، مطابق فلوچارت اولیه طراحی شده سیستم برای همه فرآیندها پیاده‌سازی گردید.

بخش خروجی موجودیت‌ها: در این قسمت موجودیت‌ها از بخش دوم وارد بخش سوم می‌شوند و در نهایت پس از جمع‌آوری گزارش مورد نیاز از سیستم شبیه‌سازی خارج می‌شوند. در این مرحله نیاز بود که واحد بازرسی نهایی (Signoff) طراحی و پس از اخذ مجوز کیفی، خودرو امکان آزادسازی و تجاری‌سازی از کلیه گیت‌های طراحی شده را خواهد داشت. بدیهی است که مطابق ساختار، می‌بایست یک ایستگاه با نام بازرسی نهایی به همراه ساختار تصمیم گیر جهت اخذ تصمیم آزادسازی یا نیاز به بازکاری طراحی می‌شد و سپس موجودیت پس از گذر از تمامی فیلترهای کیفی توسط ماژول‌های Record و در نهایت Dispose از مدار خارج می‌گردید. در نهایت استفاده از ماژول Record جهت ثبت و ضبط موجودیت‌هایی که مجوز بازرسی نهایی را کسب کردند نیاز بود و پس از آن موجودیت با ماژول Dispose از مدار خارج می‌شد.



شکل (۶) شمای کلی از پیاده‌سازی تمامی ایستگاه‌ها در نرم افزار Arena

www.SID.ir

Archive of SID

در تمامی مراحل علیرغم اینکه از قابلیت عیب یابی سیستم جهت شناسایی و رفع مغایرتهای موجود در مدل استفاده می‌شد. خروجی مدل با شرایط واقعی نیز چک می‌شد تا اگر در مرحله‌ای زیر فرایندی دیده نشده یا ارتباطات درست تعریف نشده اصلاحات لازم صورت پذیرد و مدل مجددا مورد بازبینی قرار گیرد. مدل پس از چندین ارائه طراحی freez شد و مدل صحه گذاری (Verification) گردید.

گام (۱۰)، معتبر سازی مدل (Validation) با استفاده از آزمون تورینگ

در این گام از افراد صاحب نظر (مهندسان، مدیران) در مقایسه خروجی مدل با خروجی سیستم، به منظور کشف موارد افتراق، استفاده شد. در این مرحله با طرح پرسشهای متعدد، اطلاعاتی کسب شد و براساس آنها به اصلاح مدل پرداخته شد. این آزمایش همراستا با پیشرفت کار مدلسازی به ابزاری ارزشمند در کشف عدم تناسب و سرانجام، در افزایش اعتبار مدل و به هنگام سازی و پالایش آن بدل شد.

گام (۱۱)، طراحی سناریوهای مختلف و اضافه نمودن متغیرهای جدید به سیستم جهت هماهنگی با سناریوها

در این گام چندین سناریو طراحی شد اما در این پژوهش تنها در خصوص سناریوی "تعداد بهینه ایستگاه کاری و نیروی کار در هر ایستگاه (Signoff) برای افزایش توان لجستیکی و بهره‌وری هزینه های تولید" مورد بررسی قرار می‌گیرد.

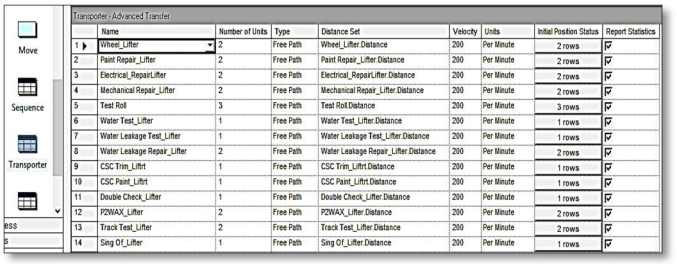
برای رسیدن به این خواسته می‌بایست متغیرهای دیگری را نیز به مدل اضافه کنیم. سپس اطلاعات تعداد ایستگاه کاری/نیروی انسانی فعال، نقاط شروع و پایان عملیات لجستیکی انتقال خودرو تعریف شده در سیستم مطابق گردش کار، تعداد نیروهای لجستیکی فعال و حتی فواصل بین ایستگاه‌ها و سرعت انتقا آنها استخراج و ثبت گردید و با مدلسازی سیستم تمامی اطلاعات مذکور وارد نرم افزار شبیه‌سازی ARENA گردید.

در این فرایند سعی شده است که کاملا اطلاعات صحیح و واقعی (شامل تعداد ایستگاه‌های کاری، تعداد نیروی انسانی مورد نیاز جهت حمل خودرو، نقطه شروع در هر فرایند لجستیکی، فاصله‌های بین هر ایستگاه تا ایستگاه بعدی با توجه به فلوچارت و ارتباطات تعریف شده در هر ایستگاه کاری، نقطه پایان هر فرایند لجستیکی متناسب با نقطه شروع آن و زمان‌های دقیق انجام فرایندهای لجستیکی محصولات در ایستگاه های کاری ...) مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که در شکل شماره (۷) مشاهده می‌شود. با استفاده از دیتا ماژول Advance transfer وضعیت‌های لجستیکی بین ایستگاه‌های کاری در سیستم شبیه‌ساز وارد شده است. به طور مثال در ستون اول نام ایستگاه‌های کاری و در ستون بعدی تعداد نیروی انسانی راننده جهت حمل خودرو بین ایستگاه‌های کاری، در ستون‌های بعدی نیز پارامترهای مسیرهای لجستیکی تعبیه شده (از جمله ســـرعت انتقال خودرو در بین ایستگاه‌ها در واحد دقیقه، نقطه شروع، فواصل و نقاط پایان هر مسیر لجستیکی) است.

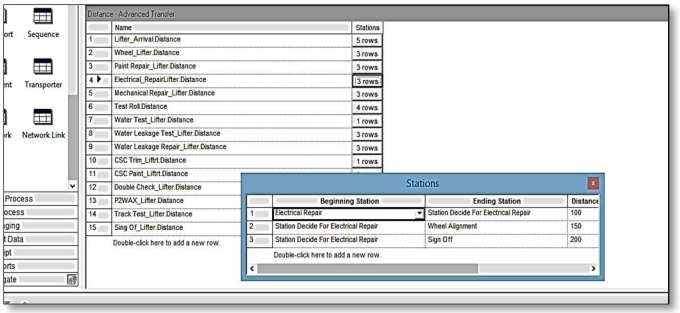
و در مرحله بعد جزئیات مسیر شامل نقاط شروع، پایان، فاصله (میسر لجستیکی تعیین شده برای هر ایستگاه) وارد سیستم شد. در شکل شماره (۸) نمونه‌ای وارد شده از اطلاعات مسیر نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۷) ثبت اطلاعات تعداد نیروی انسانی جهت انتقال خودرو بین ایستگاه‌ها و سرعت انتقال آنها در مدل شبیه‌سازی شده

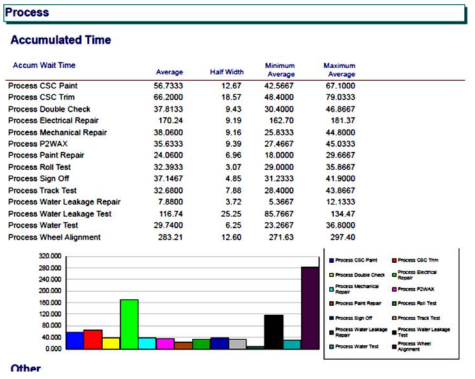


شکل (۸) ثبت اطلاعات نقاط شروع، پایان، فاصله (میسر لجستیکی تعیین شده برای هر ایستگاه)

گام (۱۲و۱۳)، اجراهای تولیدی و تحلیل نتایج

سناریو و مستند سازی نتایج

در این گام پس از ورود متغیرهای جدید در مدل جهت تحلیل دقیق آن، اجراهای متعدد از سیستم دریافت و نقاط گلوگاهی فرایند مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و مطابق گزارش خروجی از سیستم با توجه به توقف‌های بالا در ایستگاه‌های کاری (Wheel Alignment, E.Repair) با زمان انباشته به ترتیب با مقادیر ۲۸۳,۲۱ و ۱۷۰,۲۴ ساعت در یک دوره ۳۰روزه، نشاندهنده تشکیل صف در این ایستگاه‌ها شده و این ایستگاه‌ها جزو ایستگاه‌های گلوگاهی در حوزه لجستیک خواهند بود و بیشترین زمان را جهت انتقال خودرو در این حوزه خواهیم داشت. لذا بر آن شدیم تا نسبت به رفع مغایرت‌ها و در نظر گرفتن تمهیدات لازم در این نقاط اقدامات لازم را صورت دهیم.[36]



شکل(۹) زمان های توقف در هرکدام از فرایندهای واحد signoff

www.SID.ir

Archive of SID

گام (۱۴)، فاز بهینه سازی و مطالعه بر روی نرم افزار بهینه‌سازی (انتخاب OPTQUEST)

در این گام پس از دریافت اجراهای مختلف و تحلیل نتایج خروجی، حال می‌بایست به بهینه‌سازی این مدل براساس سناریوهای تدوین شده تحقیق می-کردیم. نرم افزارهای متعددی در این حوزه همانند سیستم‌های نرم افزاری شبیه‌ساز در حوزه مهندسی صنایع وجود دارد و هر کدام در جایگاه خود پاسخگوی یکسری از نیازهای کاربران می‌باشد. روش‌های زیادی برای حل مسئله ایجاد شده و توسعه یافته است. اما ارنا مجهز به بسته‌ای است با عنوان OptQuest از شرکت Opt Tek System Inc است که با استفاده از روش‌های ابتکاری، مانند جستجوی ممنوع (Tabu Search) و جستجوی پراکنشی (Scatter Search) و روش‌های دیگر در فضای کنترل ورودی به صورت هوشمندانه‌ای حرکت و به نقطه بهینه همگرا می‌شود. این نرم افزار از جهتی شبیه به PAN است، زیرا هر دو مسئولیت اجرای مدل را در ارنا بر عهده می‌گیرد. تفاوتی که وجود دارد این است که به جای اعتماد به کاربر که کدام سناریوها را جهت شبیه‌سازی انتخاب کند، OptQuest به تنهایی تصمیم گرفته و در یک فرایند تکراری و الگوریتم یک مواردی را که به ترکیب بهینه‌ی مقادیر کنترل ورودی ختم می‌شود را انتخاب می‌کند.

گام (۱۵)، طراحی متغیرهای کنترلی جهت بهینه‌سازی سناریوها

در ابتدای هر بهینه‌سازی توسط نرم افزار OptQuest بخش اول یعنی کنترل منابع (Resources) را دربر می‌گیرد که در قسمت کنترل ورودی‌ها، نام آیتم کنترلی، نوع آیتم (با مقادیر اعداد پیوسته، دو دویی، گسسته و **عدد صحیح**) و با محدوده‌های مورد پذیرش (پایین پیشنهادی و بالا) قابلیت ورود اطلاعات به سیستم را دارا می‌باشد و با انتخاب این بخش امکان تعداد بهینه نیروی انسانی در این سناریو محقق خواهد شد که مطابق تصویر زیر اطلاعات وارد سیستم شده است. لازم به ذکر است که برای محاسبه بهینه‌گی مقادیر را با وضعیت عدد صحیح و مقدار پایین تعداد نیروی انسانی از منظر برنامه‌ریز را برابر یک در نظر گرفته و مقدار پیشنهادی رانیز برابر یک نیروی کار درنظر گرفته‌ایم و در قسمت مقدار بالا؛ تعداد نیروی انسانی حال حاضر سیستم را در نرم افزار وارد کرده‌ایم.

Controls

Controls Summary

Included	Category	Control	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step	Description
☑	Resources	Machine CSC Paint	Resource	Integer	1	1	21	1	
☑	Resources	Machine CSC Trim	Resource	Integer	1	1	8	1	
☑	Resources	Machine Double Check	Resource	Integer	1	1	6	1	
☑	Resources	Machine Electrical Repair	Resource	Integer	1	1	20	1	
☑	Resources	Machine Mechanical Repair	Resource	Integer	1	1	52	1	
☑	Resources	Machine P2WAX	Resource	Integer	1	1	6	1	
☑	Resources	Machine Paint Repair	Resource	Integer	1	1	26	1	
☑	Resources	Machine Roll Test	Resource	Integer	1	1	13	1	
☑	Resources	Machine Sign Off	Resource	Integer	1	1	16	1	
☑	Resources	Machine Track Test	Resource	Integer	1	1	19	1	
☑	Resources	Machine Water Leakage Repair	Resource	Integer	1	1	26	1	
☑	Resources	Machine Water Leakage Test	Resource	Integer	1	1	3	1	
☑	Resources	Machine Water Test	Resource	Integer	1	1	8	1	
☑	Resources	Maichine Wheel Alignment	Resource	Integer	1	1	21	1	

Add Control From Array

شکل (۱۰) مقادیر Control ثبت شده در نرم‌افزار Optquest جهت بهینه‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

گام (۱۶)، طراحی محدودیت‌ها جهت اجرای بهینه سازی سناریو

در این بخش علاوه بر آیتم‌های کنترلی که در بخش قبل داشتیم، امکان تعیین محدودیت‌های خروجی‌هایی که از مدل انتظار داشتیم هم میسر میباشد به نحوی که می‌توان از روابط ریاضی جهت تعیین محدودیت‌ها استفاده نمود. سپس متعاقب آن محدودیت‌های سیستم در نرم‌افزار پیاده‌سازی گردید که مطابق شکل (۱۱) هم قابل مشاهده می‌باشد. در این بخش سعی شده است که حداقل به میزان ۲۵٪ از کل نیروها کاسته شود و این آیتم به عنوان محدودیت برای هر ایستگاه تنظیم و وارد سیستم گردید.

گام (۱۷)، طراحی تابع هدف جهت اجرای بهینه سازی سناریو

تابع هدف مشخص شده در فاز اول "حداکثر سود عملیاتی موجود" تعیین گردید و تابع هدف مسئله به شرح ذیل طراحی گردیده است.

Maximize F= (Total throughput) – β*(Total number of stations) رابطه (۱)

جهت تعیین هزینه‌های نیروی انسانی فرض شده است که سطح مهارت تمامی کارکنان یکی است و حقوق تمامی پرسنل به صورت ثابت در نظر گرفته شده است. در این تابع مقدار β معادل متوسط هزینه‌های هر ایستگاه‌های کاری می‌باشد.

Total Throughput: برابر قیمت واحد هر خودرو ضربدر حداکثر تعداد محصولات خروجی از سیستم در نظر گرفته شده است.

در دیتا ماژول Entity کلیه هزینه‌های ارزش افزوده و غیر ارزش افزوده (هزینه‌های بازکاری محصولات که شامل هزینه قطعه یدکی؛ اجرت نیروی انسانی و ...) در ازای هر خودروی ورودی به‌سیستم،هزینه‌های توقف خودرو، هزینه‌های لجستیکی بین ایستگاه‌ها و سایر هزینه‌های دیگر نیز وارد سیستم شده است. لازم به ذکر است که جهت ورود اطلاعات فوق در سیستم، ابتدا اطلاعات تعداد قطعات یدکی تعویض شده در ایستگاه‌های رتوش استخراج و همچنین اطلاعات خرابی دستگاه‌ها و تجهیزات در دیتا ماژول Failur که بر گرفته از اطلاعات کل سال ۹۷ شرکت سایپا می‌باشد وارد سیستم شد و از منظر هزینه‌ای محاسبات آن اقتباس و در این دیتا ماژول وارد سیستم شده است.

Constraints

Constraints Summary

	Included	Name	Type	Description	Expression
▶	☑	بازرسی تزئینات	Linear	بازرسی تزئینات	[Machine CSC Trim] <=6
	☑	بازرسی رنگ	Linear	بازرسی رنگ	[Machine CSC Paint] <= 16
	☑	بازرسی مجدد	Linear	بازرسی مجدد	[Machine Double Check] <= 4
	☑	بازرسی نهایی	Linear	بازرسی نهایی	[Machine Sign Off] <= 10
	☑	تراک تست	Linear	تراک تست	[Machine Track Test] <= 14
	☑	تنظیم زوایای چرخ	Linear	تنظیم زوایای چرخ	[Maichine Wheel Alignment] <= 19
	☑	رتوش رنگ	Linear	رتوش رنگ	[Machine Paint Repair] <= 20
	☑	رتوش مکانیک	Linear	رتوش مکانیک	[Machine Mechanical Repair] <= 15
	☑	رتوش نفوذ آب	Linear	رتوش نفوذ آب	[Machine Water Leakage Repair] <= 20
	☑	رونوش برق	Linear	رونوش برق	[Machine Electrical Repair] <= 40
	☑	رول تست	Linear	رول تست	[Machine Roll Test] <= 10
	☑	سیلر کارگ زیر بدنه	Linear	سیلر کارگ زیر بدنه	[Machine P2WAX] <= 4
	☑	واتر تست	Linear	واتر تست	[Machine Water Test] <= 6

شکل (۱۱) محدودیت‌های ثبت شده در سیستم با مقادیر مشخص برابر وضعیت جاری

www.SID.ir

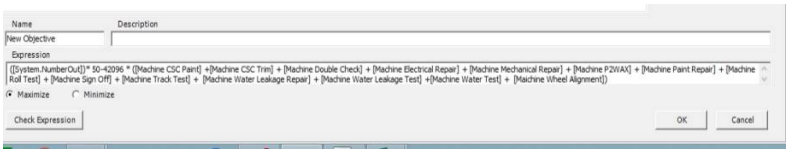
Archive of SID

ضمن اینکه در دیتا ماژول Resource نیز مقادیر مورد نظر از قبیل هزینه‌ی بیکاری در هر ساعت، مشغول بودن در ساعت و هزینه‌های در ازای هر خودروی ورودی به این ایستگاه‌ها نیز وارد سیستم شده است. سپس خروجی‌های مورد انتظار سیستم را طراحی و در قسمت فرمول تابع هدف بکار گرفته شده است. (بدلیل عدم امکان انتشار مبالغ هزینه‌ای؛ صرفا به فرایند ورود اطلاعات مقادیر به صورت کلی به آن اشاره شده و از انتشار جزئیات آن معذور هستیم) **(شکل (۱۲))**

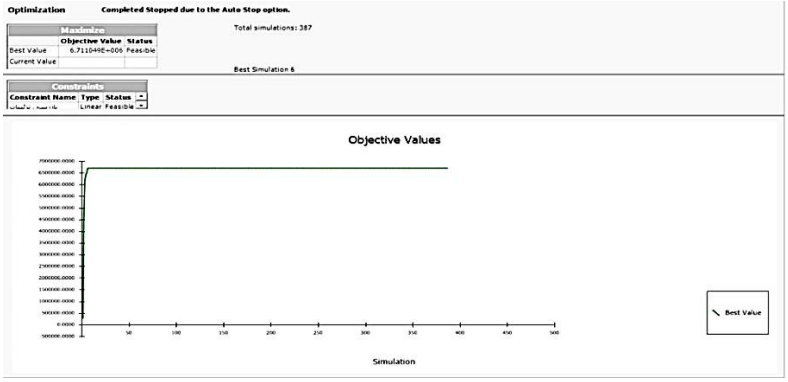
نتایج کاربردی پژوهش

در گام ۱۸ این پژوهش نتایج حاصل از اجرای بهینه سازی (پس از ۳۸۷ مرحله شبیه‌سازی) نمودار تابع هدف به صورت اتوماتیک متوقف و بهینه‌ترین وضعیت تعداد ایستگاهای کاری / نیروی انسانی قابل نمایش می‌باشد. **(شکل (۱۳))**

در این مرحله سیستم مقادیر بهینه تعداد نیروی انسانی هر ایستگاه کاری را منطبق با تابع هدف در نظر گرفته شده "حداکثر سود عملیاتی سیستم" استخراج و نتایج آن مطابق تصویر زیر قابل ارزیابی می‌باشد. **(شکل (۱۴))**



شکل (۱۲) تابع هدف ماکزیمم‌سازی سود عملیاتی بهینه (بر پایه هزینه)



شکل (۱۳) نمودار بهینه‌سازی تعداد ایستگاه‌های کاری / نیروی انسانی

Constraint Summary

Constraint Na	Type	Status	Left Side	Operat	Right Side
بازرسی تزئینات	Linear	Feasible	6.000000	<=	6.000000
بازرسی رنگ	Linear	Feasible	16.000000	<=	16.000000
بازرسی مجدد	Linear	Feasible	4.000000	<=	4.000000
بازرسی نهایی	Linear	Feasible	10.000000	<=	10.000000
تراک تست	Linear	Feasible	14.000000	<=	14.000000
تنظیم زوایای چرخ	Linear	Feasible	19.000000	<=	19.000000
رتوش رنگ	Linear	Feasible	20.000000	<=	20.000000
رتوش مکانیک	Linear	Feasible	15.000000	<=	15.000000
رتوش نفوذ آب	Linear	Feasible	20.000000	<=	20.000000
روتوش برق	Linear	Feasible	20.000000	<=	40.000000
رول تست	Linear	Feasible	10.000000	<=	10.000000
سیلر کاری زیر بدنه	Linear	Feasible	4.000000	<=	4.000000
واتر تست	Linear	Feasible	6.000000	<=	6.000000

شکل (۱۴) تعداد ایستگاه‌های کاری بهینه پس از اجرای ۳۸۴ مرتبه شبیه‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

در این فاز صرفاً تعداد بهینه ایستگاه کاری ضمن تحقق تابع هدف "کسب حداکثر سود عملیاتی" اقتباس گردید. در این مرحله، کنترل‌ها (تعداد ایستگاه‌های بهینه) از استنباط بهتری برخوردار بوده، ضمن این که با این تعداد نیروی انسانی امکان تحقق حداکثر سود مهیا خواهد شد. لذا کلیه مراحل از گام ۱۵ لغایت ۱۸ تکرار گردید. در این گام جهت بهینه‌سازی توان لجستیکی از اطلاعات تعداد ایستگاه بهینه به دست آمده از فاز یک (با هدف حداکثر سود عملیاتی) را به عنوان حد پایین و تعداد پیشنهادی در سیستم ثبت و حد بالای آن را نیز تعداد نیروی انسانی در وضعیت موجود ثبت گردید. (**شکل (۱۵)**) لازم به ذکر است که جهت درج افزایش توان لجستیکی در مدل؛ مقادیر افزایشی به قسمت محدودیت‌های مدل اضافه شد. شایان توجه است که برخی از ایستگاه‌ها به دلیل ماهیت و نوع کار تعریف شده در آن ایستگاه ها امکان افزایش ۱۰ درصدی توان را نداشته و هدف به صورت Infeasible تبدیل می‌شد (رتوش رنگ و رتوش نفوذ آب). لذا برای این ایستگاه‌ها با حداقل ۲ الی ۵ درصد افزایش توان لجستیکی برنامه‌ریزی و در مدل جانمایی گردید. (**شکل (۱۶)**)

در گام بعدی تابع هدف مدل با توجه به نوع بهینه‌سازی در نظر گرفته شده براساس افزایش بهره وری هزینه‌ای سازمان (کاهش هزینه‌های توقف خودرو در ایستگاه‌های کاری، کاهش هزینه راه اندازی و نگهداری ایستگاه‌های که شامل تجهیزات، نیروی انسانی مستقر و هزینه‌های مستقیم تامین قطعات یدکی (جهت ایستگاه‌های بازکاری) طراحی و پیاده سازی گردید.

Controls

Controls Summary

Included	Category	Control	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step	Description
☑	Resources	Machine CSC Paint	Resource	Integer	16	16	21	1	
☑	Resources	Machine CSC Trim	Resource	Integer	5	5	8	1	
☑	Resources	Machine Double Check	Resource	Integer	4	4	6	1	
☑	Resources	Machine Electrical Repair	Resource	Integer	19	19	20	1	
☑	Resources	Machine Mechanical Repair	Resource	Integer	15	15	52	1	
☑	Resources	Machine P2WAX	Resource	Integer	4	4	6	1	
☑	Resources	Machine Paint Repair	Resource	Integer	20	20	26	1	
☑	Resources	Machine Roll Test	Resource	Integer	10	10	13	1	
☑	Resources	Machine Sign Off	Resource	Integer	10	10	16	1	
☑	Resources	Machine Track Test	Resource	Integer	14	14	19	1	
☑	Resources	Machine Water Leakage Repair	Resource	Integer	20	20	26	1	
☑	Resources	Machine Water Leakage Test	Resource	Integer	3	3	3	1	
☑	Resources	Machine Water Test	Resource	Integer	6	6	8	1	
☑	Resources	Maichine Wheel Alignment	Resource	Integer	19	19	21	1	

Add Control From Array

شکل (۱۵) ثبت مقادیر در قسمت تعریف مشخصه‌های کنترلی

Constraints

Constraints Summary

Included	Name	Type	Description	Expression
☑	بازرسی نهایی	NonLinear		[Station Decide For Sign Off.NumEntTrans] > (0.4973+10%)
☑	بازرسی رنگ	NonLinear		[CSC Paint.NumEntTrans] > (0.4153+10%)
☑	بازرسی مجدد	NonLinear		[Double Check.NumEntTrans] > (0.4152+10%)
☑	بازرسی نفوذ آب	NonLinear		[Station Decide For Water Leakage Test.NumEntTrans] > (0.4235+10%)
☑	تراک تست	NonLinear		[Station Decide For Track Test.NumEntTrans] > (0.4813+10%)
☑	تست نفوذ آب	NonLinear		([Water Leakage Test.NumEntTrans]) > (0.4242+10%)
☑	تنظیم زوایای چرخ	NonLinear		[Station Decide For Wheel Alignment.NumEntTrans] > (0.05104+10%)
☑	رتوش برق	NonLinear		[Station Decide For Electrical Repair.NumEntTrans] >(0.2022+10%)
☑	رتوش رنگ	NonLinear		[Station Decide For Paint Repair.NumEntTrans] > (0.056993+5%)
☑	رتوش مکانیک	NonLinear		[Station Decide For Mechanical Repair.NumEntTrans] > (0.1806+10%)
☑	رتوش نفوذ آب	NonLinear		[Station Decide For Water Leakage Repair.NumEntTrans] > (0.05044+2%)
☑	رول تست	NonLinear		[Station Decide For Roll Test.NumEntTrans] > (0.4685+10%)
☑	سیلر کاری بدنه	NonLinear		[P2WAX.NumEntTrans] > (0.4151+10%)

شکل (۱۶) ثبت حداقل افزایش توان واحد لجستیک در قسمت تعریف محدودیت مدل

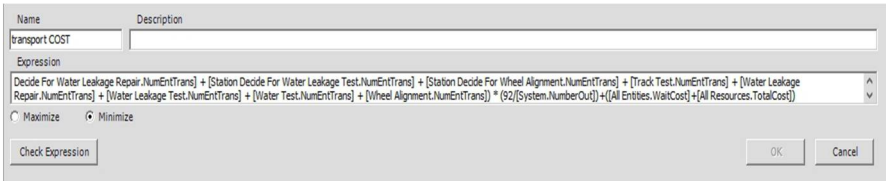
www.SID.ir

Archive of SID

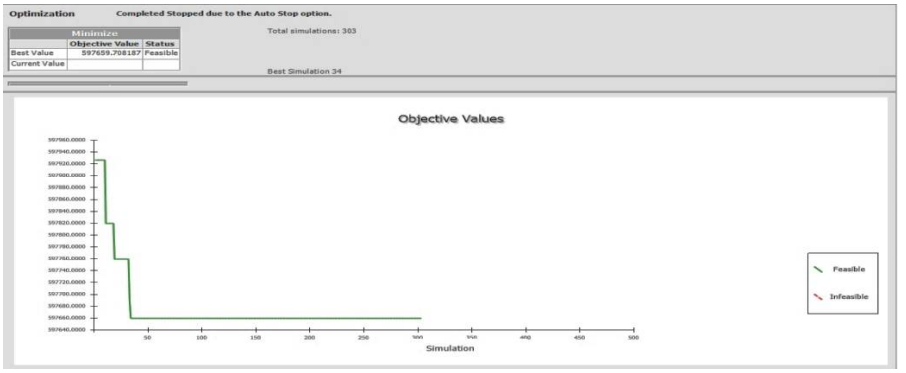
تابع هدف: کمینه کردن هزینـــــه‌های جابـــجایی (به منظور افزایش بهره‌وری هزینه) در سیستم که شامل: (تعداد موجودیت در حال انتقال به هر ایستگاه ضربدر هزینه‌های جابجایی) + هزینه‌های توقف هر خودرو در هر ایستگاه + هزینه‌های هر ایستگاه کاری به تنهایی (تجهیزات – نیروی انسانی – قطعات یدکی) است تعریف گردید. (**شکل (۱۷)**)

در این مرحله که دقیقا برابر گام ۱۷ سناریوی اول بود، پس از ۳۰۳ مرحله شبیه‌سازی نمودار بهینه‌سازی تعداد ایستگاه‌های کاری / نیروی انسانی به صورت شکل (۱۸) قابل مشاهده می‌باشد.

خروجی این مرحله از بهینه سازی که از طریق نرم افزار Optquest حاصل گردید در مجموع با در نظر گرفتن افزایش توان واحد لجستیک؛ تعداد مجموع ایستگاه‌های کاری / نیروی انسانی برابر ۲۱۰ گردید که از تعداد ۲۶۸ عدد اولیه رقمی برابر ۵۸ واحد کاهش را نشان می‌دهد. وضعیت لجستیکی ایستگاه‌ها (چیدمان ایستگاه‌ها، جریان بین ایستگاه‌ها، نیروی انسانی فعال در این حوزه، بازنگری شرایط لجستیکی ایستگاه‌های گلوگاهی، زمان‌های انجام عملیات و هزینه‌های مرتبط با واحد لجستیک بین ایستگاه‌های کاری و ...) زیر ذره بین قرار گرفت به نحویکه الگوها و جریان‌های لجستیکی با توان جدید ساختار یافته بهینه‌سازی گردید. شناسایی هزینه‌های سربار تولید (هزینه بازکاری: هزینه قطعه جایگزین، اجرت نیروی انسانی، هزینه‌های لجستیکی جهت انتقال محصول به واحدهای رتوش، هزینه‌های بازرسی مجدد، هزینه افزایش زمان تمام شده محصول و ...) نتایج خروجی دو فاز بهینه سازی (سناریوی شماره یک: با هدف حداکثر سود عملیاتی و سناریوی شماره دو: ارتقاء توان واحد لجستیک) از این فرایند نشان می‌دهد که در صورت خواست افزایش توان لجستیکی سیستم، تعداد بهینه ایستگاه‌های کاری به سمت افزایش آنها میل می‌نماید. به نحوی که درسناریو اول (تحقق حداکثر سود عملیاتی) مجموع تعداد ایستگاه / نیروی انسانی بهینه برابر ۲۰۷ واحد بوده است که در بهینه سازی جدید به عدد ۲۱۰ واحد (شکل شماره (۱۹)) رسیده است.



شکل (۱۷) تابع هدف مینیمم‌سازی هزینه‌های جابجایی در سیستم



شکل (۱۸) نمودار بهینه‌سازی تعداد ایستگاه‌های کاری/ نیروی انسانی

www.SID.ir

Archive of SID

Optimization Completed Stopped due to the Auto Stop option.

Total simulations: 303

Best Simulation 34

Minimize		
	Objective Value	Status
Best Value	597659.708187	Feasible
Current Value		

Controls		
Control Name	Best Value	Current Value
Machine CSC Paint	17	
Machine CSC Trim	5	
Machine Double Check	5	
Machine Electrical Repair	19	
Machine Mechanical Repair	44	
Machine P2WAX	4	
Machine Paint Repair	23	
Machine Roll Test	13	
Machine Sign Off	10	
Machine Track Test	18	
Machine Water Leakage Repair	23	
Machine Water Leakage Test	3	
Machine Water Test	7	
Maichine Wheel Alignment	19	

شکل (۱۹) تعداد ایستگاه‌های کاری/ نیروی انسانی پیشنهاد شده بر اساس ده درصد افزایش توان لجستیک

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از بهترین دستاوردهای مدیریتی در این حوزه، مهندسی مجدد فرایندهای کاری بود به نحوی که منجر به بهبود فرایندهای کاری واحد Signoff و افزایش بهره‌وری در سازمان گردید. یکی از عواملی که تحقیق حاضر را از سایر تحقیقات قبلی متمایز مینماید مدلسازی و حل مساله چند هدفه همراه با بهینه‌سازی فرایندها بوده است. این پژوهش با هدف "تعیین تعداد نیروی انسانی بهینه با در نظر گرفتن افزایش توان لجستیکی و کاهش هزینه‌های جابجایی در واحد تجاری سازی خودرو شرکت سایپا" به عنوان یک پروژه تحقیقاتی بهینه‌سازی در گروه خودروسازی سایپا اجرا شده است و برای اولین بار از تکنیک بهینه‌سازی بر پایه شبیه‌سازی– سیستم‌های گسسته استفاده شده است و تمامی گام‌های اجرایی این پروژه قابل راستی آزمایی می‌باشد.

کلیه اطلاعات پایه جهت طراحی، مدل‌سازی و بهینه سازی برگرفته از مستندات و اطلاعات سیستمی موجود در شرکت سایپا و با استناد به اطلاعات مهندسی، کیفیت، تولید، مالی و فروش در سال ۱۳۹۷ از مبادی ذیربط جمع‌آوری، طبقه‌بندی و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. بخش تجاری‌سازی خودرو یکی از بخش‌های اصلی به کیفیت رسانی محصول تلقی می‌گردد، به نحوی‌که محصولات تولیدی می‌بایست از تمامی گیت‌های بازرسی تعبیه شده با موفقیت گذر نمایند. پارامترهای تعریف شده بر گرفته در بازرسی، از استانداردهای ۸۵ گانه ابلاغ شده از سوی وزارت صنعت معدن و تجارت و استانداردهای کارخانه‌ای می‌باشد و در صورت رویت ایراد بر روی محصول، محصول می‌بایست رفع عیب شده و پس از اطمینان از رفع عیب، محصول مجددا مورد بازرسی قرار می‌گیرد و در صورت تائید و پاس شدن تمامی پارامترهای تعریف شده مجوز عبور از گیت تعریف شده را خواهد داشت. لازم به ذکر است که پس از گذر از تمامی ایستگاه‌های تنظیم و بازرسی محصول مجوز تجارتی شدن را خواهد داشت و خودرو به مبادی فروش منتقل خواهد شد. لذا بهینه‌سازی در هر کدام از بخش‌های فاقد ارزش افزوده و هزینه‌زا، منجر به افزایش خروجی محصولات تولیدی و افزایش سود شرکت (کاهش هزینه‌های سربار تولید) می‌گردد. ابتدا جهت شبیه سازی، مدل توسط نرم افزار Arena طراحی و کلیه پارامترها و متغیر های تاثیر گذار، پس از طراحی سناریوهای مختلف، وارد مدل گردید. پس از تکرار و اجرا های مختلف مدل، گلوگاه ها شناسایی و مدل مورد تصدیق قرار گرفت. سپس با استفاده از نرم افزار OPTQUEST، در فاز اول با هدف کاهش هزینه‌های تولید، تعداد بهینه نیروی انسانی پس از ۳۷۸ مرتبه تکرار (با آپشن توقف اتوماتیک)

www.SID.ir

Archive of SID

استخراج و همان اطلاعات به عنوان ورودی فاز دوم استفاده و این بار با هدف ارتقاء توان عملیاتی واحدهای لجستیکی و کاهش هزینه‌های جابجایی، در سیستم اجرا و مجددا پس از ۳۰۳ مرتبه تکرار، مدل بهینه سازی شد. نتایج و خروجی این پژوهش مشتمل بر کاهش ۲۱,۶٪ تعداد نیروی انسانی، افزایش ۱۰٪ توان لجستیکی، بهره‌وری هزینه برابر ۴٪ کاهش در هزینه‌های تولید و همچنین افزایش ۲٪ تعداد محصولات خروجی می‌باشد. تمامی این نتایج بدون درگیر کردن واحدهای عملیاتی سازمان و صرف هزینه حاصل گردیده است و نقطه قوت این پژوهش محسوب می‌گردد.

از دیگر خروجی‌های اصلی و پایه‌ای این پژوهش مشتمل بر شناسایی گلوگاه‌های فرایند واحد تجاری سازی خودرو می‌باشد به نحوی‌که می‌توان به راحتی با رصد خروجی‌های نرم افزار، ایستگاه‌های پر توقف و پر چالش را شناسایی و در صدد رفع مغایرت‌ها برآمد. شناسایی ایستگاه‌های گلوگاهی (ایستگاه تنظیم زوایای چرخ و رتوش برق) بدون اعمال هزینه‌های سنگین برای سازمان و توقف در فعالیت‌های اجرایی حاصل گردید. ضمن اینکه میزان شدت مغایرت هم با ارائه مقدار قابل ارزیابی است. در این حالت اقدام به توسعه فضاهای در اختیار این دو ایستگاه نمودیم و امکانات مورد نیاز برای کاهش توقف و صف مهیا گردید.

طبقه‌بندی ماهیت عملیات‌ها در فرایند تجاری سازی خودرو (بازرسی، تنظیمات، بازکاری محصولات) منجر به امکان رصد هزینه‌های عملیاتی و امکان کنترل سازمانی واحدهای درگیر در هر کدام از حوزه‌ها گردید، به نحویکه عملیات‌های تعریف شده بازرسی در سطوح مختلف، توسط معاونت کیفیت، کنترل می‌گردد و عملیات‌های نظیر تنظیمات و دوباره کاری محصولات با مشارکت معاونت تولید مورد ارزیابی و بهینه‌سازی قرار می‌گیرد. لذا تعیین مراکز هزینه صحیح جهت رفع مشکلات و همچنین هدف‌گذاری‌های سالانه جهت کاهش هزینه‌ها توسط هر کدام از معاونت‌های ذیربط صورت گرفته و به مدیریت ارشد به صورت دوره‌ای گزارش می‌گردد.

پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده

شرکت‌های تولیدی خودرو برای قدرت رقابت‌پذیری بیشتر نیاز به استفاده از قابلیت‌های جدید سیستم‌های تولید و مسلح شدن به ابزار به روز صنعت خودرو می‌باشند تا با استفاده از نقاط قوت خود, گوی سبقت را از بقیه رقبا بربایند. صنعت خودرو در سالیان اخیر دارای رشد فزاینده‌ای بوده که تماماً ان را مدیون دانش سیستم‌های تولیدی بهره‌ور می‌دانیم. سیستم‌های شبیه‌سازی, ما را از درگیر کردن نیروی انسانی, تجهیزات, ماشین آلات, هزینه‌های تولید و .... جهت اجرای سناریوهای مختلف به منظور رسیدن به یک قالب بهره‌ور در صنعت خودرو مبرا می‌کنند. لذا تحویل به موقع محصولات تولیدی با هزینه‌ای موثر و منطبق با تقاضا و نیاز بازار امروزه جزو چالش‌های تولید کنندگان برتر در صنعت خودرو می‌باشد.

❖ پیشنهاد می‌گردد از ابزارها و نرم افزارهای شبیه ساز دیگر به غیر از OptQuest در این حوزه که سرآمد می‌باشند استفاده شود با توجه به اینکه در نرم افزار مذکور از الگوریتم‌های فرا ابتکاری بکار برده شده و کاملا یک جعبه سیاه بسته (BlackBOX) می‌باشد، نتایج خروجی حاصل را با سیستم‌های شبیه‌ساز دیگر مقایسه نمود.

❖ پیشنهاد می‌گردد از سیستم‌های شبیه‌سازی برای طراحی کلیه خطوط تولید و جهت شناسایی گلوگاه‌هایی که منجر به وقفه در فرایندهای تولید می‌گردد مورد بهره‌برداری قرار گیرد (به طور مثال در خطوط تولید سایپا مشتمل بر خطوط تولید بدنه، خطوط رنگ، خطوط مونتاژ و ... در گروه خودروسازی سایپا)

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

فهرست منابع فارسی

[۱] بنکس و کارسون. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد. ترجمه: محلوجی، هاشم. انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.

[۲] -سید محمود زنجیرچی، خدیجه محمدی، بهار ۱۳۹۵ ،بررسی امکان ایجاد زنجیره تامین لارج با استفاده از تلفیق چهار پارادایم ناب، چابک، ارتجاعی و سبز، مجله اندیشه آماد، صفحات ۸۱-۱۰۵.

[۳] آبادی، فاطمه و شکریان، جواد. (۱۳۹۵). بررسی نقش کلیدی زنجیره‌ی تأمین سبز، در کسب مزیت رقابتی سازمان‌ها. مدیریت، اقتصاد و حسابداری. شماره ۲۱. جلد ۱. ۶۶-۸۰.

[۴] آذر، عادل. علی بابایی، نیما. حقی فام، محمودرضا. (۱۳۸۷). مدل‌سازی و بهینه‌سازی کاهش بار و جابجایی میزان تولید نیروگاه‌ها در شرایط اضطراری شبکه انتقال برق. نشریه مدیریت صنعتی. شماره ۱.

[۵] آریانژاد، میربهادر قلی. (۱۳۹۶). برنامه‌ریزی سیستم‌های تولید. تهران. انتشارات ترمه.

[۶] آزاده، محمدعلی. عسگری‌راد، کاوه. (۱۳۸۰). بهینه‌سازی یک سیستم پیچیده و بزرگ ریخته‌گری به‌وسیله شبیه‌سازی رایانه‌ای. نشریه دانشکده فنی. شماره ۱. ۸۳ -۹۷.

[۷] ابوالقاسمیان، میلاد. اسکندری، حمیدرضا، دارابی،هادی. (۱۳۹۷). بهینه‌سازی مدل شبیه‌سازی با استفاده از رویکرد شبه مدل: شبیه سازی سیستم کامیون- شاول. پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی. دوره ۸. شماره ۲.

[۸] اصفهانی، میرمهدی. حاجیان حیدری، مجتبی. جابری، سعید. (۱۳۹۲). ارائه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به منظور بهینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم‌های سری- موازی، k از n و جانشینی با پارامترهای فازی. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید.

[۹] حقیقت منفرد، جلال. کاباران زادقدیم، محمدرضا. رفوگرآستانه،حسین.(۱۳۹۲).روش‌سنجی‌وکارسنجی‌سمتا.

[۱۰] جاوید، ناصر. (۱۳۹۲). ارزیابی کارو زمان. چاپ اول. تهران. انتشارات روزنه.

[۱۱] جعفرنژاد، احمد. (۱۳۹۷). مدیریت تولید و عملیات نوین (مفاهیم، سیستم‌ها، مدل‌ها و زنجیره تامین): مجموعه‌ای جامع از مباحث تولید و عملیات. انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

[۱۲] سید حسینی، سید محمد. (۱۳۹۲). مدیریت کارخانه. تهران. سازمان چاپ و انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی.

[۱۳] زارعی، بهروز. بابا اکبری، فرشید. زارعی، عظیم. (۱۳۸۶). بهینه‌سازی شبیه‌سازی در خطوط تولید بااستفاده از SA. چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.

[۱۴] سلیمان‌پور، مقصود. زینال‌زاده، امین. (۱۳۸۸). کاربرد یک مدل ریاضی برای متعادل سازی خط مونتاژ (مطالعه موردی: شرکت تراکتورسازی). فراسوی مدیریت. سال سوم. شماره ۱۱.

[۱۵] شانون، رابرت. (۱۳۷۱). علم و هنر شبیه‌سازی. ترجمه علی‌اکبر مازار، مرکز نشر دانشگاهی.

[۱۶] شیخ‌علیشاهی، محمد. آزاده، علی. (۱۳۹۴). برنامه‌ریزی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات با استفاده از شبیه‌سازی و تحلیل پوششی داده‌ها. نشریه مهندسی صنایع. دوره ۴۹. ۲۱۱-۲۲۲.

[۱۷] طارقیان، حامدرضا. (۱۳۸۲). نقش شبیه‌سازی در اداره کارآمد واحدهای تولیدی. دومین کنگره سراسری توسعه ارتباط صنایع با مراکز آموزشی و پژوهشی.

www.SID.ir

Archive of SID

[۱۸] فیضی، کامران. (۱۳۸۵). تجزیه و تحلیل مشکل نگرش‌های متفاوت در شبیه‌سازی رایانه‌ای. پاییز سال ۸۵. فصلنامه مطالعات مدیریت.

[۱۹] ناصر صدرآبادی، علیرضا. (۱۳۹۱). بهینه‌سازی شبیه‌سازی مسئله جریان کارگاهی با زمان‌های تصادفی با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری و مقایسه کارایی فراابتکاری‌ها، دانشکده مدیریت. دانشگاه علامه طباطبایی.

[۲۰] یوسفی، شیما. عزیزی، امیر. (۱۳۹۷). ارائه استراتژی مناسب نگهداری با استفاده از شبیه‌سازی با رویکرد پویایی سیستم: گامی در جهت افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه تعمیرات کارخانه ایمن ساخت پاسارگاد. پژوهش در مدیریت و مهندسی صنایع، شماره ۱۶،۱۹-۱.

[۲۱] محمد سرور ماسوله، دکتر امیر عـــزیزی (۱۳۹۸)، ارائه الگوی مناسب نگهداری و تعمیرات با استفاده از شبیه‌سازی خرابی تجهیزات تست واحد تجاری سازی خودرو، شانزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع ایران، دانشگاه الزهرا – بهمن ماه ۱۳۹۸.

فهرست منابع غیرفارسی

[22] Lee, D. (2011). The impact of supply chain innovation on organizational performance: An empirical study in the heath care organization. Presented to the faculty of the graduate college at the university of Nebraska in partial fulfillment of requirements for the degree of doctor of philosophy.

[23] Elfattah, A. (2007). Goodness of fit Tests for Logistic Distribution using the Stabilized probability plot. Journal of Applied Science Research. 3.

[24] Du, T. Wang, F. K. Lu, P. (2007). Areal-time vehicle-dispatching system for consolidating milk runs. Transportation Research Part E. 43: pp.565-577.

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

[26] Gebus, S. Martin, O. Soulas, A. and Juuso, E. (2004). Production Optimization on PCB assembly lines using discrete-event simulation. Report A.

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

[28] 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.

[29] 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.

[30] Maleki, H. Aghazadeh Shabestari, A. (2018). A heuristic method against simulation for optimal allocation of inspection stations in manufacturing systems. Simulation. vol. 94. pp. 1027-1040.

[31] Ross, S. M. (2012). Simulation, 5th ed. Cambridge, Massachusetts, United States: Academic Press.

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

[33] Sarda, A. and Digalwar, A.K. (2018). Performance analysis of vehicle assembly line using discrete event simulation modelling. Int. J. Business Excellence. Vol. 14. No. 2. pp.240–255.

[34] Tantivanich, P. & Sudasna-na-Ayudthya, P. (2002). A simulation

www.SID.ir

Archive of SID

approach for productivity Improvement of an IC Factory. Proceedings of Symposium in Production and Quality Engineering, Kasetsart University. 104-111.

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

[36] sarvar masouleh M, Azizi A, (2019) Simulation and Optimization Model of the Performance of Processes at Signoff Units (A Case Study in Automotive Industry: Saipa Corporation). IJIEPR. 2019; 30 (4) :489-505

[37] 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

[38] 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.

[39] M. Soleimanpour and A. Zeinalzadeh, "A Mathematical Model Application for Adjusting Assembly Line (Case Study:Teraktorsazi Company)," *Journal of Beyond Management,* Vol. 11, (2009), pp.7-30.

[40] A. Shokouhi and H. Shahriari, "The Problem of Control Duration of Steady Multi-Object Manufacturing in Complex Assembly Systems," *International Journal of Industrial Engineering and ProductionManagement,* Vol. 2, (2010), pp. 23-35.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir