فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال دوازدهم، شماره ۳۵، زمستان ۹۳
صفحات

ارزیابی تأثیر به کارگیری نظریه‌ی محدودیت‌ها بر شاخص‌های عملکردی خط تولید
با رویکرد شبیه‌سازی (مورد مطالعه: خط تولید دینام خودرو)

دکتر اکبر عالم تبریز[۱]، دکتر مصطفی زندیه[۲]، ایمان دوست محمدی[۳]

(دریافت۹۲/۱۲/۲۵ پذیرش:۹۳/۴/۴)

چکیده:

استفاده از روش تئوری محدودیت‌ها در سیستم تولیدی، یکی از روش‌های موثرجهت افزایش خروجی خط تولید و در نتیجه افزایش بهره‌وری کل سیستم می‌باشد. در این روش بیان می‌شود که محدودیت در هرسیستم یا فرآیند، تعیین‌کننده‌ی حداکثر بازده یا عملکرد بوده و می بایست شناسایی و در جهت افزایش کارایی و بازدهی سیستم مدیریت شود. درام–بافر–روپ،روشی جهت اجرای تئوری محدودیت‌ها در خط تولید می‌باشد. در این تحقیق با انجام مطالعه‌ی موردی بر روی یک خط تولید قطعات خودرویی،ابتدا با استفاده از رویکرد شبیه سازی به پیاده سازی سیستم دی–بی–آر و مقایسه آن با سیستم عادی خط تولید پرداخته شده و سپس به بررسی تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر روی چهار شاخص کلیدی زمان انتظار،کار درجریان ساخت، توان عملیاتی و زمان تحویل در هردو سیستم پرداخته شده است. نتایج تحقیق حاکی از ضعیف‌تر شدن میزان شاخص ها با دور شدن گلوگاه از مبدا و کمتر بودن شیب این تغییر در سیستم دی بی آر نسبت به سیستم عادی می باشد.

واژگان کلیدی:

سیستم درام- بافر-روپ، گلوگاه، کار در جریان ساخت، زمان انتظار، توان عملیاتی، زمان تحویل

۱- اکبر عالم تبریز، عضو هیئت علمی دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی
a-tabriz@sbu.ac.ir

۲ - مصطفی زندیه، عضو هیئت علمی دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی
m_zandieh@sbu.ac.ir

۳- ایمان دوست محمدی ، کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه شهید بهشتی، (نویسنده مسئول، عهده دار مکاتبات)
doostmohamadi.iman@gmail.com

مقدمه:

حرکت رو به گسترش صنایع مختلف به سمت رقابتی شدن، باعث روی‌آوری شرکت‌ها به حذف هرگونه اتلاف و افزایش بهره‌وری سیستم گردیده است. یکی از روش‌های موثر، جهت افزایش نرخ خروجی سیستم تولیدی و در نتیجه افزایش بهره‌وری کل سیستم، استفاده از روش نظریه‌ی محدودیت‌ها در سیستم تولیدی است. تئوری محدودیت‌ها بر روی محدودیت‌های سیستم، ارتقای آنها مطابق اهداف سازمانی و مفاهیم آن در سایر بخش‌های سیستم تمرکز دارد. (Schragenhiem& Ronen,۱۹۹۰)

تئوری محدودیت‌ها بر این اصل استوار است که هر سیستم یا فرآیند ازمجموعه اجزایی مرتبط تشکیل شده که از میان این اجزا حداقل یک جزء دارای توان کمتری نسبت به بقیه است. این جزء تعیین‌کننده حداکثر بازده یا عملکرد سیستم است. این فعالیت کلیدی تحت عنوان « گلوگاه» شناخته می‌شود.

برای مثال در یک خط تولید، ایستگاهی که کمترین نرخ تولید و بیشترین زمان پردازش محصول را دارد، گلوگاه سیستم می‌باشد. (Bell ,۲۰۰۶) در تئوری محدودیت‌ها هدف شناسایی این محدودیت کلیدی و مدیریت آن در جهت افزایش کارایی و بازدهی سیستم است. روش درام- بافر- روپ یک روش برنامه‌ریزی تولید بر پایه‌ی تئوری محدودیت‌ها می‌باشد که در سال ۱۹۸۰ معرفی گردید. استفاده از متدولوژی درام- بافر- روپ که به اختصار دی بی آر نامیده می‌شود، می‌تواند باعث کاهش کار در جریان ساخت و بهبود بهره‌وری عمومی عملیات تولیدی گردد.

در متدولوژی دی بی آر برای دستیابی به حداکثر جریان سیستم، ورود سفارش‌های کاری به سیستم تولید باید بر اساس نرخ تولید کنونی ایستگاهی که دارای پایین‌ترین قابلیت تولیدی در فرآیند است، زمان‌بندی گردد. در این متدولوژی از این ایستگاه با نام درام یاد می‌شود. روپ یک ابزار ارتباطی میان درام و نقطه‌ی آزادسازی مواد می‌باشد و تضمین می‌نماید که مواد خام با نرخی سریعتر از ظرفیت درام وارد فرآیند تولید نمی‌شود. برای جلوگیری از بیکار شدن درام جهت انجام کار بهره‌ور، یک بافر زمانی ایجاد می‌گردد تا تضمین نماید که کار در جریان ساخت در زمان مناسب وارد درام می‌شود. (Shragenhiem& Dettmer,2000)

هدف اصلی این تحقیق، مقایسه‌ی دو سیستم درام- بافر- روپ و سیستم تولیدی معمولی و بررسی تاثیر مکان فیزیکی گلوگاه بر شاخص‌های عملکردی دو سیستم می‌باشد و اهداف فرعی تحقیق عبارتند از تعیین اندازه‌ی بافر مناسب، جهت اجرای مدل دی بی آر در سیستم، اندازه‌گیری شاخص‌های توان عملیاتی، کار در جریان ساخت، زمان انتظار و زمان تحویل در سیستم فعلی، اندازه گیری شاخص‌های ذکر شده در روش درام- بافر – روپ و بررسی تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر شاخص‌های ذکر شده در بالا می‌باشد.

سؤالات این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

۱- اجرای نظریه‌ی محدودیت‌ها و روش دی بی آر چه تاثیری بر شاخص‌های عملکردی سیستم تولیدی در مقایسه با وضعیت فعلی سیستم خواهد داشت؟

۲- تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر شاخص‌های عملکردی سیستم تولیدی در حالت عادی چگونه است؟

۳- تغییر مکان گلوگاه پس از به کارگیری روش نظریه‌ی محدودیت‌ها چه تاثیری بر شاخص‌های عملکردی سیستم خواهد داشت؟

ادبیات تحقیق

تئوری محدودیت‌ها و روش درام – بافر – روپ

تئوری محدودیت‌ها بر این اصل استوار است که هر سیستم یا فرآیند از مجموعه اجزایی مرتبط تشکیل شده که از میان این اجزا حداقل یک جزء دارای توان کمتری نسبت به بقیه است. این جزء تعیین کننده‌ی حداکثر بازده یا عملکرد سیستم است. این فعالیت کلیدی تحت عنوان " گلوگاه" شناخته می‌شود. برای مثال در یک خط تولید، ایستگاهی که کمترین نرخ تولید و بیشترین زمان پردازش محصول را دارد، گلوگاه سیستم می‌باشد. در تئوری محدودیت‌ها هدف شناسایی این محدودیت کلیدی و مدیریت آن در جهت افزایش کارایی و بازدهی سیستم است.

نظریه‌ی محدودیت‌ها برای نخستین بار در سال ۱۹۸۴ توسط الی گلدرات (فیزیکدان) ارائه گردید. او این نظریه را در کتابی با نام « هدف» معرفی نمود. این کتاب، داستان فردی را بیان می‌کند که مدیریت کارخانه‌ای را بر عهده دارد که در آن امور مطابق برنامه نبوده و در

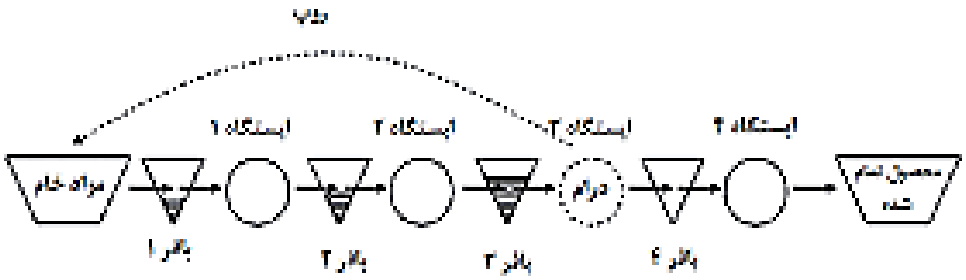
قالب این داستان، او چگونگی استفاده از این شیوه‌ی جدید جهت حل مشکلات واحد صنعتی را توضیح می‌دهد.

فرهنگ «اپیکس» نظریه‌ی محدودیت‌ها را به این صورت تبیین می‌کند:

« یک فلسفه مدیریتی که توسط گلدرات ارائه شده و می‌توان آن را در سه زمینه جداگانه اما مرتبط به هم تقسیم کرد: پشتیبانی، اندازه گیری عملکرد و تفکر منطقی»

یکی از مهم‌ترین کاربردهای نظریه‌ی محدودیت‌ها در سیستم‌ها تولیدی می‌باشد که در این رابطه، روش درام- بافر- روپ (به اختصار: دی بی آر) توسط گلدرات معرفی شده است. شراگنهیم و رونن (Shragenhiem& Ronen,1990) بیان می‌دارند که متدولوژی دی بی آر مجموعه‌ای از قوانین را جهت شناسایی محدودیت و بهره‌گیری از آن در راستای پیاده سازی تئوری محدودیت‌ها، ارائه می‌نماید.

در شکل ۱ یک سیستم درام- بافر- روپ نمادین قابل مشاهده است.



شکل ۱. نمایی از یک سیستم درام- بافر- روپ

درام:

ایستگاه محدودیت یا گلوگاه، تعیین کننده‌ی سرعت کلی سیستم است. در بسیاری موارد، درام شامل یک زمان‌بندی تفصیلی برای ایستگاه محدودیت، به منظور تضمین حداکثر استفاده از ایستگاه گلـوگاه است. باید توجه داشت گلوگاهی که همواره مشغـول به کار است الزاماً بهره‌برداری کامل نشده است، بلکه باید بر روی محصولاتی که سودمندتر بوده و قرار است زودتر به فروش روند کار کند. (Schragenhiem&Ronen, 1990)

بافر:

به دلیل این که اختلالات تصادفی در هر سازمان امری اجتناب ناپذیر است، متدولوژی دی بی آر مکانیزمی را جهت مصون داشتن توان عملیاتی سیستم با استفاده از بافرهای زمانی فراهم می‌نماید. بافر زمانی، متشکل از موجودی است و زمان بندی ایستگاه محدودیت را از آثار اختلالات در ایستگاه‌های غیر محدودیت مصون می‌دارد. ۳ نوع بافر مورد استفاده در مباحث مدیریت بافر عبارتند از:

بافر محدودیت: متشکل از قطعاتی است که انتظار می‌رود برای مدت زمان معینی پشت منبع با ظرفیت محدود منتظر بمانند تا زمان بندی این ایستگاه حفظ شود.

بافر مونتاژ: شامل قطعات و زیر مونتاژهایی هستند که در ایستگاه محدودیت پردازش نشده‌اند، اما باید با قطعاتی که در ایستگاه محدودیت پردازش شده‌اند، مونتاژ شوند.

بافر حمل: شامل قطعاتی است که انتظار می‌رود در یک زمان معین پیش از زمان تحویل، تکمیل گشته و حمل شوند تا عملکرد تاریخ تحویل، محافظت گردد.(Mahapatra&sahu, 2006) (بافر اشاره شده در این تحقیق از نوع بافر محدودیت می‌باشد.)

روپ:

«روپ» یک زمان‌بندی است جهت آزاد سازی مواد به داخل خط تولید به صورتی که توسط بافر گلوگاه امر می‌شود و تضمین می‌نماید که هیچ کار جدیدی در سیستم آزاد نمی‌گردد مگر آن که بافر محدودیت اعلام نیاز نماید. (Betterton & Cox, 2009) در واقع کارکرد روپ در آزادسازی مواد مناسب به داخل سیستم تولیدی در زمان مناسب می‌باشد. در سیستم دی بی آر این امر با انجام یک زمان بندی تفصیلی جهت آزادسازی مواد خام به سیستم می‌باشد که در ارتباط تنگاتنگ با مکانیزم زمان بندی درام و بافر می‌باشد. برای نمونه اگر درام، پردازش قطعه‌ای را در زمان ۱۰۰۰ زمان‌بندی نموده است و بافر بهینه در سیستم ۲۵۰ تعیین گردیده است، مواد خام باید در زمان ۷۵۰ در سیستم، آزادسازی گردد. (Wu et al. , 1994)

شاخص‌های سیستم تولیدی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از:

کار در جریان ساخت: میزان کار نیمه ساخته در جریان بین ایستگاه‌های خط تولید

زمان انتظار: مجموع زمان‌هایی که یک محصول نیمه ساخته در صف انتظار برای ورود به هر کدام از ایستگاه‌های خط تولید طی می‌کند.
توان عملیاتی: میزان خروجی خط تولید در یک برهه‌ی زمانی معین
زمان تحویل: مجموع زمان طی‌شده از زمان ورود مواد خام به خط تولید تا تولید محصول نهایی

انواع کارخانه در TOC

در واژه‌نامه‌ی TOC چهار نوع کارخانه وجود دارد که عبارتند از:
کارخانه نوع I: در این کارخانه مواد با ترتیب خاصی جریان پیدا می‌کنند. مانند یک خط مونتاژ، محدودیت در این نوع کارخانه کندترین عملیات است. مورد مطالعه این تحقیق، یک کارخانه از نوع I می باشد.
کارخانه نوع V: جریان کلی مواد به این صورت است که از یک ایستگاه شروع شده و به ایستگاه‌های زیادی ختم می‌شود. مانند کارخانه‌ای که از یک نوع مواد اولیه تعداد زیادی محصول تولید می‌کند. محدودیت اصلی در این نوع کارخانه این است که زمانی که کار ایستگاه کاری ۱ به اتمام رسید، پیش از ورود به ایستگاه ۲ باید دوباره کاری لازم با دقت بالا انجام گیرد.
کارخانه نوع A: جریان کلی مواد به این صورت است که از تعداد زیادی ایستگاه شروع شده و به یک ایستگاه ختم می‌شود. مانند خط تولیدی که در آن تعداد زیادی زیر مونتاژ به یک مونتاژ نهایی همگرا می‌شود. در این نوع کارخانه محدودیت اصلی هماهنگ کردن خطوط تلاقی است تا هر یک محصول خود را در زمان مناسب به ایستگاه مونتاژ نهایی عرضه نماید.
کارخانه نوع T:جریان مواد مانند کارخانه نوع I بوده، با این تفاوت که در پایان آن چندین خط مونتاژ وجود دارد. بیشتر قطعات ساخته شده در چندین مونتاژ استفاده می‌شوند و تقریباً همه‌ی مونتاژها از چندین قطعه استفاده می‌کنند. وسایل سفارشی‌سازی شده مانند رایانه‌ها نمونه‌ای از این گونه کارخانه است. (Fawcett and Pearson,1991)
خط تولید در نظر گرفته شده در این تحقیق از نوع I می‌باشد.

روش‌های تقویت گلوگاه:

با استفاده از روش‌های زیر می‌توان بدون تغییر در آرایش و چیدمان خط تولید، گلوگاه را تقویت نمود:

تلاش برای کاهش زمان راه اندازی
حذف راه اندازی‌های غیر ضروری
تنظیم زمان شیفت‌ها و استراحت برای جلوگیری از بیکار شدن محدودیت
آموزش پرسنل جهت افزایش کارایی
جلوگیری از ورود محصولات با کیفیت پایین به گلوگاه
بهبود ماشین آلات و تجهیزات تولیدی در ایستگاه گلوگاه
نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه

عملکرد روش دی بی آر در پژوهش‌های انجام شده

تاکنون تحقیقاتی چند در زمینه‌ی پیاده‌سازی متدولوژی دی بی آر انجام گردیده است. شین یین وو و همکاران (Wu et al., 1994) در مقاله خود یک سیستم فرضی تولید مبلمان را در نظر گرفته‌اند و با استفاده از متدولوژی DBR به زمان‌بندی آن پرداخته‌اند و با استفاده از شبیه‌سازی، زمان ساخت در کل سیستم را در این حالت با حالت معمولی مقایسه نموده‌اند. نتایج بدست آمده حاکی از این بود که پردازش سفارش‌ها در حالت معمولی به طور متوسط ۳۰ درصد طولانی‌تر از حالت DBR است.

شراگنهیم و رونن (Shragenhiem&Ronen,1990) سه گام زمان بندی محدودیت، تعیین اندازه بافر و تعیین زمان‌بندی روپ را جهت اجرای متدولوژی DBR در خط تولید معرفی نمودند و سپس این مراحل را در پیاده‌سازی DBR در یک سیستم تولیدی با شش ایستگاه کاری با استفاده از روش شبیه سازی به کار برده‌اند.

چاکراورتی (Chakravorty,2001) در تحقیقی به مقایسه میان سیستم DBR ، سیستم بارگذاری نامحدود تعدیل شده و سیستم آزاد سازی فوری تحت دو قانون «نخستین ورودی، نخستین خدمت‌دهی» و «کوتاه‌ترین زمان پردازش» می‌پردازد و بیان می‌دارد که هر چند تحقیقات پیشین، عملکرد خوب سیستم بارگذاری نامحدود تعدیل شده را نشان می‌دهد، اما

سیستم DBR به طور قابل ملاحظه‌ای بهتر از آن عمل می‌کند. او نشان می‌دهد که زمانی که از قانون کوتاه ترین زمان پردازش استفاده نماییم، عملکرد سیستم DBR بهبود می‌یابد.

آتواتر و چاکراورتی (Atwater and Chakravorty,2004)، در مقاله‌ی خود به تأثیر کالاهای آزاد در عملکرد سیستم زمان بندی دی بی آر می‌پردازند. کالای آزاد اصطلاحاً به کالایی گفته می‌شود که در نخستین منبع محدودیت سیستم، پردازش نمی‌گردد. از دیدگاه این پژوهش، هر چند در ادبیات دی بی آر توجه زیادی به این مقوله نگردیده است، این نوع محصول تأثیر مستقیمی بر روی میزان ظرفیت محافظتی سراسر عملیات خواهد داشت. لذا باید سطحی از کالاهای آزاد مجاز در یک عملیات ساخت را جهت ایجاد ارتباط درست میان کالاهای آزاد و عملکرد سیستم دی بی آر تعیین نمود. در این مطالعه ابتدا یک مدل شبیه‌سازی از یک سیستم کارگاهی با ۱۳ ایستگاه کاری که ۱۰ محصول مختلف را تولید می‌کنند تهیه گردیده است، و سپس متغیرهای مستقل و وابسته و چگونگی پیاده سازی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. متغیرهای مستقل عبارتند از: تعداد کالاهای آزاد و میزان استفاده از محدودیت. همچنین متغیرهای وابسته در این تحقیق عبارت بودند از: متوسط تأخیر و درصد کالاهای دارای تأخیر. سپس با اجرای مدل شبیه سازی و انجام آنالیز واریانس جهت بررسی تاثیر متغیرهای مستقل بر وابسته نتایج زیر حاصل گردیده است:

- تعداد کالاهای آزاد تاثیر ویژه‌ای بر عملکرد سیستم دی بی آر داشته و هرچه تعداد کالاهای آزاد بیشتر شود، عملکرد سیستم دی بی آر ضعیف تر می‌شود. به این صورت که متوسط زمان تاخیر بیشتر می‌گردد.

- تاثیر تعداد کالاهای آزاد بر درصد محصولات دارای تاخیر نیز زمانی که میزان استفاده از محدودیت در سطح کمینه است، ناچیز بوده و زمانی که این میزان در سطح بیشینه قرار دارد، قابل توجه می‌باشد.

ماهاپاترا و ساهو (Mahapatra and Sahu, 2006) با استفاده از تکنیک‌های شبیه سازی و شبکه های عصبی در یک سیستم فرآیندی به مقایسه‌ی متدولوژی دی بی آر با سیستم تولیدی متداول پرداخته‌اند. همچنین تأثیر تغییرمکان گلوگاه، تغییر اندازه بافر، تغییر زمان متوسط پردازش و تغییر در تعداد آلات بر روی توان عملیاتی هر دو سیستم را نیز بررسی کرده‌اند.

بر اساس این مطالعه که بر روی یک خط تولید فرضی با ۵ ایستگاه و ۴ بافر انجام شده است، سیستم دی بی آر نسبت به سیستم تولید، دارای توان عملیاتی کمتر بوده، اما در سیستم دی بی آر میزان استفاده از ماشین آلات بهبود یافته و زمان انتظار کلی سیستم و میزان مسدود شدن خط تولید کاهش می یابد.

با جابجایی گلوگاه بین ایستگاه‌های ۲ تا ۴ ، توان عملیاتی هر دو سیستم دی بی آر و خط تولید کاهش یافته و در ایستگاه پنجم مجدداً افزایش می یابد.

از سوی دیگر با افزایش در اندازه بافر، توان عملیاتی در سیستم تولید ابتدا حالت افزایش مداوم داشته و پس از رسیدن به سطح معینی، تقریبا ثابت می‌ماند. اما در سیستم دی بی آر این مقدار نسبتاً ثابت و دارای افزایش یا کاهش جزئی در برخی سطوح می باشد. با افزایش در متوسط زمان پردازش، توان عملیاتی در هر دو سیستم دی بی آر و خط تولید کاهش می یابد. همچنین با افزایش تعداد ماشین آلات، توان عملیاتی در سیستم تولید ابتدا کاهش یافته و پس از رسیدن به سطح معینی تقریباً ثابت می‌ماند. در سیستم دی بی آر نیز تقریباً این مقدار ثابت بوده و دارای نوسانات جزئی است.

کادیپاساوغلو و همکاران (Kadipasaoglu et al , 2000) با در نظر گرفتن یک خط تولید فرضی با چهار ایستگاه کاری، به بررسی تاثیر تغییر مکان محدودیت و سطح ظرفیت محافظتی بر روی شاخص‌های کار در جریان ساخت، زمان انتظار و زمان جریان پرداخته اند که در هر بار آزمایش، تغییرات در زمان پردازش و زمان‌های بیکاری ایستگاه‌ها به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. پس از اجرای شبیه‌سازی به بررسی تعامل شاخص های فوق با یکدیگر پرداخته شده است. برای مثال تعامل میان مکان محدودیت و سطح ظرفیت محافظتی همان‌گونه که در شکل ۱۳-۲ نیز قابل مشاهده است، عبارت است از تاثیر تغییر مکان محدودیت بر زمان جریان در سطوح مختلف ظرفیت محافظتی که مطابق تحقیق فوق با تغییر مکان محدودیت از ایستگاه ۱ تا ۴ زمان جریان افزایش یافته و هرچه سطح ظرفیت محافظتی بیشتر گردد، تاثیر تغییر مکان بر زمان جریان آشکارتر می‌گردد. در پایان نتیجه‌گیری نموده‌اند که وجود ظرفیت محافظتی اثر ویژه‌ای بر عملکرد تولید دارد. اما باید با تجزیه و تحلیل هزینه‌ها و سود میزان بهینه سطح ظرفیت محافظتی را بدست آورد تا هزینه‌ها از سود آن پیشی نگیرد. از سویی قرار دادن مکان محدودیت در ورودی خط، از تغییر پذیری در ایستگاه‌های بالادستی

خط جلوگیری می‌نماید و قرارگیری محدودیت در ایستگاه‌های بعدی موجب افزایش بیکاری گلوگاه خواهد شد. از سوی دیگر قرار دادن محدودیت در ابتدای خط مستلزم سرمایه گذاری ویژه و افزایش تجهیزات و حتی تغییر چیدمان است. لذا مجددا می بایست سود و هزینه ها ارزیابی گردد.

چند سال بعد، بترتن و کاکس (Betterton and Cox, 2009) در تحقیق خود بیان داشتند که روش ارائه شده در تحقیق کادیپاسااوغلو ، یک سیستم دی بی آر نبوده بلکه یک سیستم فشاری می‌باشد. آن‌ها علت را این‌گونه بیان کردند که در سیستم معرفی شده توسط کادیپاسااوغلو آزاد سازی مواد در سیستم به صورت یک توزیع نمایی است؛ در حالی که باید بر اساس عملکرد ایستگاه گلوگاه و به صورت کششی باشد. لذا آنان در این تحقیق با شبیه سازی سیستم تولید فرضی چهار ایستگاه با ویژگی‌های ذکر شده، به آزمایش مجدد تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر شاخص‌های سیستم و مقایسه نتایج با نتایج تحقیق پیشین کادیپاسااوغلو پرداخته‌اند. آنان بر خلاف تحقیق پیشین، این‌گونه نتیجه گرفته‌اند که کار در جریان ساخت (و بالطبع زمان جریان) و زمان انتظار با تغییر مکان گلوگاه تغییر می‌کند، اما توان عملیاتی با تغییر مکان گلوگاه تغییر چندانی نخواهد کرد. توان عملیاتی نیز در این سیستم به میزان ۵٪ بالاتر از توان عملیاتی در سیستم معرفی شده در تحقیق پیشین است و کار در جریان ساخت و زمان انتظار نیز در سیستم دی بی آر به نسبت سیستم کششی به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر می‌باشد.

روش‌شناسی تحقیق:

هدف از این تحقیق، پیاده سازی روش تئوری محدودیت‌ها در یک سیستم تولیدی واقعی و مقایسه‌ی آن با سیستم معمولی با بررسی تاثیر تغییر مکان محدودیت می‌باشد. در این تحقیق یک خط تولید واقعی برای انجام مطالعه انتخاب گردیده است. صنایع تولید قطعات خودرو به دلیل ماهیت خاص و اهمیت و سهم ویژه‌ای که در صنایع تولیدی دارند برای این منظور انتخاب شده‌اند. خط تولید انتخابی این پژوهش، خط تولید دینام خودروی پژو ۴۰۵ می‌باشد. پس از مطالعه‌ی سیستم تولیدی، اندازه مناسب بافر با استفاده از شبیه‌سازی بدست آمده است. این اندازه‌ی مناسب، با استفاده از یک مقداردهی اولیه و تغییر این مقدار تا بهینه شدن شاخص‌های مورد مطالعه بدست می‌آید. سپس نوبت به پیاده‌سازی روش دی بی آر در سیستم

می‌رسد که برای این منظور ابتدا به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در خط تولید می‌پردازیم. داده‌هایی همچون: نقشه خط، تعداد و توالی ایستگاه‌ها، زمان پردازش در هر ایستگاه به همراه توزیع احتمالی مناسب، شناسایی ایستگاه‌هایی که ظرفیت گلوگاه شدن را دارند و زمان‌های خوابیدگی و خرابی و تعمیرات ایستگاه‌ها. با دانستن موارد فوق، داده های لازم جهت اجرای شبیه‌سازی را بدست آورده‌ایم. سپس نوبت به اجرای روش شبیه سازی رایانه‌ای و بررسی تاثیر متغیرهای یاد شده بر روی عملکرد دو سیستم در طی یک بازه‌ی زمانی معین می‌رسد. سیستم در دو حالت فعلی و دی بی آر در نرم افزار شبیه سازی گردیده است.

در خط تولید انتخابی با توجه به شرایط و ویژگی‌های خط، ۴ ایستگاه به عنوان ایستگاه‌هایی که ظرفیت گلوگاه شدن را دارند انتخاب گردیده است. سپس به مقایسه‌ی دو سیستم فعلی و درام- بافر- روپ و بررسی تاثیر هر یک بر روی شاخص‌های کار در جریان ساخت، زمان انتظار، توان عملیاتی و زمان تحویل با در نظر گرفتن تاثیر تغییر مکان فیزیکی گلوگاه پرداخته شده است. بنابراین حالت‌های مختلف شبیه‌سازی شده و در هر حالت، عمل شبیه‌سازی برای ۱۰ مرتبه تکرار گردیده است. در ادامه، نتایج بدست آمده از دفعات مختلف شبیه‌سازی با نرم افزار آماری SPSS مورد تحلیل قرار گرفته است و در پایان به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهای لازم پرداخته شده است. در نمودار شکل ۱-۳، مراحل تحقیق به ترتیب نمایش داده شده است.

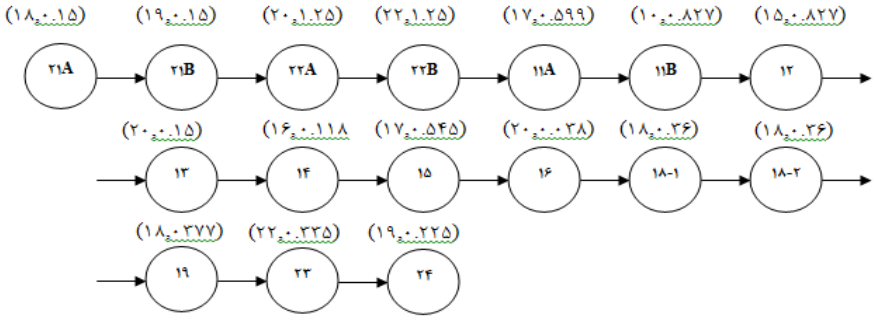
جامعه‌ی آماری در این تحقیق، خطوط خط تولید و واحد تحلیل آماری، خط تولید دینام خودروی پژو می‌باشد. ابزار مورد استفاده جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها در این تحقیق روش شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار شبیه سازی Arena-Full Version نسخه ۱۳,۵ است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها:

خط تولید مورد مطالعه در این تحقیق، خط تولید دینام خودروی پژوی ۴۰۵ در شرکت استام صنعت، تولید کننده استارت و دینام خودروهای سواری، می‌باشد که متشکل از ۱۶ ایستگاه بوده و نقشه‌ی کلی خط به همراه توزیع زمان‌های هر ایستگاه در شکل ۲ نمایش داده شده است.

زمان‌های پردازش هر یک از ایستگاه‌ها با استفاده از روش زمان سنجی Stop Watch تعیین گردیده است. توزیع احتمالی زمان‌های ایستگاه‌های کاری، با توجه به این که تعداد نمونه‌های انتخابی جهت زمان سنجی بیشتر از ۳۰ بوده است، توزیع نرمال در نظر گرفته می‌شود که زمان استاندارد به دست آمده از داده‌های زمان سنجی هر ایستگاه به عنوان میانگین (μ) و انحراف

معیار داده‌های بدست آمده از زمان‌سنجی هر ایستگاه به عنوان σ در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ نقشه‌ی کامل خط تولید به همراه میانگین و واریانس زمان پردازش در هریک از ایستگاه‌ها و شرح عملیات در هر ایستگاه، نمایش داده شده است.



شکل ۲. نمایی از خط تولید مورد مطالعه

با توجه به این شکل، در سیستم فعلی، ایستگاه 22B که دارای بیشترین زمان پردازش است، به عنوان گلوگاه سیستم تعیین می‌شود. برای بررسی تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر عملکرد سیستم تولیدی، با توجه به شرایط و ویژگی‌های خط تولید، ایستگاه‌های ۱، ۴، ۸ و ۱۵ که ظرفیت بیشتری برای گلوگاه شدن داشتند، به عنوان مکان‌های جدید گلوگاه انتخاب گردید و شاخص‌های عملکردی مطرح شده در حالتی که هر یک از ایستگاه‌های مذکور گلوگاه سیستم است مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند. ایستگاه 22B گلوگاه واقعی در زمان مطالعه‌ی خط مذکور بوده است. فرض گردیده است که گلوگاه مطابق روش‌های ارائه شده در بخش ادبیات تحقیق ، با افزایش نیرو و تجهیزات، بهبود ماشین‌آلات و یا افزایش شیفت‌های کاری بهبود می‌یابد و از حالت گلوگاه بودن خارج می‌گردد و گلوگاه به ایستگاه دیگری انتقال می‌یابد. در گام بعدی اطلاعات مربوط به زمان‌های توقفات و خرابی‌ها و تعمیرات کلیه‌ی ایستگاه‌های کاری در طی یک سال اخیر جمع‌آوری گردیده و توزیع احتمالی مناسب برای زمان‌های خرابی و تعمیرات هر یک از ایستگاه‌های کاری با استفاده از ابزار AnalyzerInput در نرم افزار Arena انجام پذیرفته است. این ابزار به مجموعه‌ای از داده‌ها، توزیع زمانی مناسب و دارای کمترین خطا را تخصیص می‌دهد.

همچنین یک زمان با توزیع یکنواخت (UNIFORM[1,2]) برای انتقال قطعات بین ایستگاه‌ها در نظرگرفته شده است.

پس از معرفی کلیه‌ی زمان‌ها و توزیع‌های ذکرشده به نرم افزار، شبیه سازی برای یک دوره‌ی زمانی مشخص انجام و نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته است.

زمان شبیه سازی در این تحقیق ۳ ماه و هرماه شامل ۳۰ روزکاری و هر روز شامل ۲ شیفت ۸ ساعته می‌باشد. به عبارتی خط تولید برای مدت زمانی معادل ۸۶۴۰۰ دقیقه شبیه‌سازی گردیده است. عملیات شبیه‌سازی در هر حالت برای ۱۰ مرتبه تکرار گردیده است.

شبیه سازی مساله در حالت دی بی آر

در روش دی بی آر پس از شناسایی گلوگاه و تعیین نرخ تولید آن، نیاز به تخصیص میزان معینی از موجودی ذخیره در پشت ایستگاه گلوگاه می‌باشد که این موجودی جهت جلوگیری از بیکار شدن ایستگاه گلوگاه تخصیص داده می‌شود. سپس می‌بایست مکانیزم ارتباطی روپ بر اساس نرخ تولید ایستگاه گلوگاه و میزان بافر تخصیص داده شده، ورود قطعات به داخل سیستم را زمان بندی نماید. برای شبیه‌سازی، ابتدا گلوگاه سیستم را تعریف نموده و سپس اندازه‌ی بهینه‌ی بافر، با استفاده از شبیه سازی بدست می‌آید. برای تعیین اندازه بهینه بافر، بایستی تعریف نمود که تعداد قطعات موجود در سیستم قبل از ایستگاه گلوگاه که در فاصله‌ی بین محل آزادسازی مواد خام و ایستگاه گلوگاه قرار دارند (مجموع قطعات در صف و در حال پردازش)، باید کوچکتر یا مساوی بافر باشند. سپس مقادیر مختلف را به بافر تخصیص داده و نتایج شبیه‌سازی سیستم با آن مقدار بافر مشاهده می‌گردد. این عملیات از یک مقدار پایین برای بافر شروع گردیده و برای مقادیر مختلف تا جایی که شاخص‌های مورد بحث در این تحقیق (کار در جریان ساخت، زمان انتظار، توان عملیاتی و زمان تحویل) به بهترین میزان برسد، ادامه می‌یابد. لذا با این کار، برای سیستم این گونه تعریف می‌شود که تعداد قطعات موجود در سیستم قبل از ایستگاه گلوگاه باید از حد یک بهینه‌ای پایین‌تر باشند و در صورتی که تعداد قطعات به آن حد رسید، قطعه‌ی جدیدی وارد سیستم نمی‌گردد مگر این که یک قطعه از ایستگاه گلوگاه خارج شود. (مکانیزم روپ)

پس از تعیین بافر بهینه و تعریف مکانیزم روپ، عملیات شبیه‌سازی برای یک دوره کاری ۳ ماهه با ۷ روز کاری در هفته و ۲ شیفت ۸ ساعته در هر روز و با ۱۰ بار تکرار انجام می‌شود. در جداول ۱ تا ۴ و شکل های ۲ تا ۵، نتایج شبیه سازی در دو روش دی بی آر و عادی برای چهار شاخص ذکر شده با در نظر گرفتن تاثیر تغییر مکان فیزیکی گلوگاه آورده شده است.

جدول۱. مقایسه شاخص کار در جریان ساخت در روش دی بی آر و سیستم فعلی

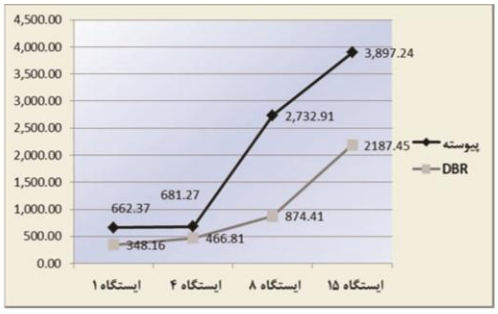
مکان گلوگاه	سیستم فعلی	سیستم دی بی آر
ایستگاه ۱	۶۶۲.۳۷	۳۴۸.۱۶
ایستگاه ۴	۶۸۱.۲۷	۴۶۶.۸۱
ایستگاه ۸	۲,۷۳۲.۹۱	۸۷۴.۴۱
ایستگاه ۱۵	۳,۸۹۷.۲۴	۲,۱۸۷.۴۵

جدول ۲. مقایسه شاخص زمان انتظار در روش دی بی آر و پیوسته

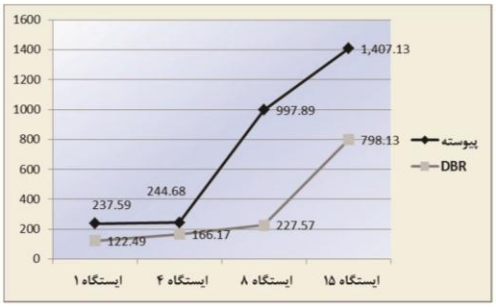
مکان گلوگاه	سیستم فعلی	سیستم دی بی آر
ایستگاه ۱	۲۳۷.۵۹	۱۲۲.۴۹
ایستگاه ۴	۲۴۴.۶۸	۱۶۶.۱۷
ایستگاه ۸	۹۹۷.۸۹	۲۲۷.۵۷
ایستگاه ۱۵	۱,۴۰۷.۱۳	۷۹۸.۱۳

جدول ۳. مقایسه شاخص توان عملیاتی در روش دی بی آر و سیستم فعلی

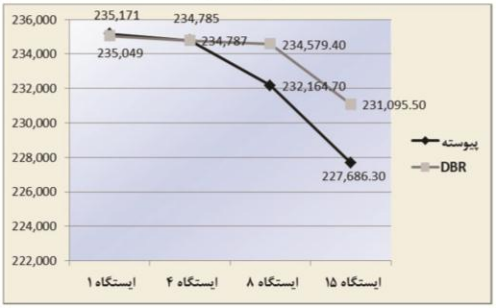
شاخص	سیستم فعلی	سیستم دی بی آر
ایستگاه ۱	۲۳۵,۱۷۱	۲۳۵,۰۴۹
ایستگاه ۴	۲۳۴,۷۸۵	۲۳۴,۷۸۷
ایستگاه ۸	۲۳۲,۱۶۴.۷	۲۳۴,۵۷۹.۴
ایستگاه ۱۵	۲۲۷,۶۸۶.۳	۲۳۱,۰۹۵.۵



شکل ۳. تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر شاخص کار در جریان ساخت



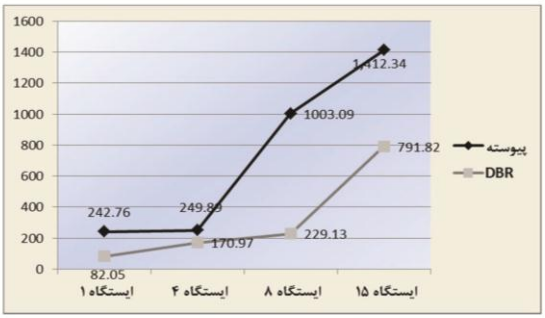
شکل ۴. تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر شاخص زمان انتظار



شکل ۵. تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر شاخص توان عملیاتی

جدول ۴. مقایسه شاخص زمان تحویل در روش دی بی آر و سیستم فعلی

مکان گلوگاه	سیستم فعلی	سیستم دی بی آر
ایستگاه ۱	۲۴۲.۷۶	۸۲.۰۵
ایستگاه ۴	۲۴۹.۸۹	۱۷۰.۹۷
ایستگاه ۸	۱۰۰۳.۰۹	۲۲۹.۱۳
ایستگاه ۱۵	۱,۴۱۲.۳۴	۷۹۱.۸۲



شکل ۶. تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر شاخص زمان تحویل

همان‌گونه که در نمودارها و جداول قابل مشاهده است، برای شاخص کار در جریان ساخت با تغییر مکان گلوگاه از ایستگاه ۱ به ۱۵، میزان این شاخص در روش دی بی آر بالاتر می‌رود. در سیستم معمولی نیز ابتدا تا ایستگاه چهارم، روند ثابت بوده و سپس روند افزایشی به خود می‌گیرد.

برای شاخص زمان انتظار، در حالت فعلی با عدم تغییر محسوس زمان انتظار در ایستگاه‌های اولیه و افزایش شدید آن در ایستگاه‌های بعدی مواجه هستیم و در حالت دی بی آر ، هر چه مکان گلوگاه جلوتر قرار می‌گیرد، میزان شاخص زمان انتظار افزایش می‌یابد. همچنین افزایش این شاخص در روش دی بی آر دارای شیب ملایم‌تری نسبت به روش معمولی می‌باشد.

شاخص توان عملیاتی در هر دو روش با دور شدن گلوگاه از مبدأ خط تولید، کاهش می‌یابد که شیب کاهش در روش عادی شدیدتر است. همچنین با دور شدن گلوگاه از مبدأ خط، اختلاف توان عملیاتی در روش دی بی آر نیز نسبت به روش عادی افزایش می‌یابد.

در مورد شاخص زمان تحویل نیز تغییر گلوگاه در ایستگاه‌های ابتدایی تاثیر چندانی بر شاخص زمان تحویل ندارد، اما در ایستگاه‌های بعدی با شیب قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در روش دی بی آر، شیب ملایم‌تری را شاهد هستیم، اما باز هم شاهد بدتر شدن این شاخص با دور شدن مکان گلوگاه از مبدأ خط می‌باشیم.

پذیرش فرض برتری روش دی بی آر:

پس از اجرای شبیه سازی برای هر حالت، نیاز به انجام آزمونی جهت پذیرش فرض برتری روش دی بی آر نسبت به روش عادی می‌باشد. برای این منظور از تحلیل واریانس در نرم افزار SPSS استفاده شده است. نتایج حاصل در جداول۵ تا ۸ قابل مشاهده است.

جدول ۵. سطح اطمینان پذیرش برای شاخص کار در جریان ساخت

مکان گلوگاه	سطح اطمینان پذیرش
ایستگاه ۱	۰.۹۲
ایستگاه ۴	۰.۹۶
ایستگاه ۸	۰.۹۲
ایستگاه ۱۵	۰.۹۵

جدول ۶. سطح اطمینان پذیرش برای شاخص زمان انتظار

مکان گلوگاه	سطح اطمینان پذیرش
ایستگاه ۱	۰.۶۷
ایستگاه ۴	۰.۰۲
ایستگاه ۸	۰.۸۶
ایستگاه ۱۵	۰.۸۸

جدول ۷. سطح اطمینان پذیرش برای شاخص توان عملیاتی

مکان گلوگاه	سطح اطمینان پذیرش
ایستگاه ۱	۹۸٪
ایستگاه ۴	۹۶٪
ایستگاه ۸	۹۲٪
ایستگاه ۱۵	۹۶٪

جدول ۸. سطح اطمینان پذیرش برای شاخص زمان تحویل

مکان گلوگاه	سطح اطمینان پذیرش
ایستگاه ۱	۰.۹۲
ایستگاه ۴	۰.۹۶
ایستگاه ۸	۰.۹۲
ایستگاه ۱۵	۰.۹۶

همان گونه که مشاهده می‌گردد در مورد شاخص‌های کار در جریان ساخت، زمان انتظار و زمان تحویل، بهتر بودن روش دی بی آر نسبت به روش عادی را در سطوح اطمینان مندرج در جدول پذیرفته‌ایم. اما در مورد شاخص توان عملیاتی، تفاوت محسوسی در دو روش مشاهده نمی‌گردد.

در توضیح این مورد می‌توان گفت که در سیستم دی بی آر، به دلیل این که هدف هماهنگ سازی ورود قطعات و مواد خام به داخل سیستم با عملکرد ایستگاه گلوگاه می‌باشد، لذا در مواردی که ورود قطعات به داخل سیستم باعث مختل شدن کارکرد ایستگاه گلوگاه می‌گردد، آن را تا زمان خارج شدن یک قطعه از گلوگاه به تعویق می‌اندازیم. لذا در روش دی بی آر با ورودی کمتری نسبت به روش عادی مواجه هستیم. اما با تعداد ورودی کمتر، خروجی مشابهی در مقایسه با روش عادی به دست می‌آید. این امر به این دلیل است که در روش درام- بافر- روپ به دلیل کاهش کار در جریان ساخت و زمان‌های انتظار، زمان تحویل نیز کاهش می‌یابد و بنابراین علی رغم عدم تفاوت میان توان عملیاتی، نسبت خروجی به ورودی افزایش می‌یابد و از سوی دیگر، به دلیل کاهش شاخص‌های ذکر شده، این خروجی با هزینه‌ی بسیار کمتری نسبت به روش عادی بدست می‌آید. لذا بهبود در عملکرد سیستم تولیدی در روش درام- بافر- روپ به وضوح قابل مشاهده است.

تحلیل آماری نتایج شبیه سازی در روش درام- بافر- روپ

پس از ۱۰ بار تکرار شبیه‌سازی، نوبت به تحلیل آماری خروجی‌های شبیه‌سازی و مقایسه‌ی میانگین‌های بدست آمده می‌گردد. برای این منظور از تحلیل واریانس در نرم افزار SPSS استفاده می‌شود. در این مساله با ۴ مکان مختلف برای گلوگاه روبرو هستیم و ۴ شاخص را مورد بررسی قرار داده‌ایم. در مورد هر کدام از شاخص‌ها نیز با یک جامعه ۱۰ عضوی برای هر مکان گلوگاه روبرو خواهیم بود. لذا با یک مساله تحلیل واریانس تک عامله با حجم نمونه‌ی مساوی روبرو هستیم.

پس از انجام تحلیل واریانس مشاهده می‌شود که در این روش، ایستگاه‌های ۱ و ۴ در یک گروه، ایستگاه ۸ در یک گروه و ایستگاه ۱۵ نیز در یک گروه جداگانه قرار می‌گیرد.

با انجام تحلیل مشابه در نتایج حاصل از روش عادی مشاهده می‌شود که ایستگاه‌های ۱ و ۴ در یک گروه و ایستگاه‌های ۸ و ۱۵ نیز در یک گروه قرار می‌گیرند و این بدان معناست که در روش دی بی آر تغییر میانگین شاخص‌ها با دور شدن گلوگاه از مبدأ، سرعت بیشتری نسبت به روش عادی تولید دارد.

نتایج:

همان‌گونه که درباره‌ی تاثیر اجرای روش درام- بافر- روپ بر شاخص‌های عملکردی خط تولید در مقایسه با وضعیت فعلی مشاهده گردید، در شاخص‌های کار در جریان ساخت، زمان انتظار و زمان تحویل، بهبود قابل ملاحظه در روش دی بی آر مشاهده می‌شود. اما در مورد شاخص توان عملیاتی این بهبود ملاحظه نمی‌گردد و مطابق تحلیل آماری انجام شده، عملاً فرض صفر یعنی برابری میانگین‌ها پذیرفته شده و تفاوت معناداری در دو روش ملاحظه نمی‌گردد. تاثیر تغییر مکان گلوگاه در دو سیستم فعلی و دی بی آر را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

۱) در حالت کلی در هر دو روش هرچه گلوگاه به مبدا خط تولید نزدیک‌تر باشد، شاخص‌ها بهتر هستند و هر چه از مبدا دورتر شود، شاخص‌ها ضعیف‌تر می‌شوند.

۲) این ضعیف‌تر شدن شاخص‌ها در ایستگاه‌هایی که به مبدا نزدیک‌ترند، با شیب ملایمی همراه است، اما با دور شدن، شیب تندی به خود می‌گیرد. اما در روش دی بی آر این شاخص شیب ملایم تری نسبت به روش عادی تغییر می‌کند.

۳) شاخص‌های کار در جریان ساخت، زمان انتظار و زمان تحویل ، با تغییر مکان گلوگاه تغییر عمده‌تری به نسبت شاخص توان عملیاتی دارند.

۴) تاثیر تغییر مکان گلوگاه بر شاخص‌های عملکردی در هر دو سیستم عادی و دی بی آر در ایستگاه‌های ابتدایی خط تولید چندان محسوس نمی‌باشد. اما در حالت کلی، نزدیک‌تر بودن ایستگاه گلوگاه به مبدا خط تولید، باعث بهتر شدن شاخص‌های عملکردی می‌گردد.

پیشنهاد برای تحقیقات آینده

۱) اجرای تحقیق فوق در یک کارخانه از نوع V، A و یا T مطابق توضیحات ذکر شده در ادبیات تحقیق و مقایسه نتایج با نتایج این تحقیق.

۲) بررسی تاثیر سایر انواع بافرها (بافرهای حمل و مونتاژ) بر روی شاخص‌های عملکردی در یک خط تولید دارای بافرهای مذکور و تعیین میزان بهینه هر یک از این بافرها.

۳) بررسی تاثیر سایر متغیرهای غیر از مکان فیزیکی گلوگاه بر روی شاخص‌های عملکردی سیستم تولیدی، متغیرهایی مانند سطح ظرفیت محافظتی، میانگین زمان پردازش و ضریب تغییرات ایستگاه گلوگاه .

منابع:

Atwater, B., Stephens, A., &Chakravorty, S. (2004). The Impact of Scheduling Free Goods on the Throughput Performance of a Manufacturing Operation.*International Journal of Production Research*, *42*(23), 4849-4869.

Bell, S. (2006).*Lean Enterprise Systems*.JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION.

Betterton, C.E., &CoxIII, J.F. (2009). Espoused drum-buffer-rope flow control in serial lines: A comparative study of simulation models. *Int. J. Production Economics*, *117*, 66- 79.

Chakravorty, S.S. (2001). An evaluation of the DBR control mechanism in a job shop environment .*Omega. International Journal of Management Science*, *29*,335 - 342.

Kadipasaoglu, S.N. , Xiang, W. , &Hurley, S.F. (2000). A study on the effect of the extent and location of protective capacity in flow systems.*Int. J. Production Economics*,*63*, 217 – 228.

Mahapatra, S.S. &Sahu, A. (2006, July). APPLICATION OF THEORY OF CONSTRAINTS ON SCHEDULING OF DRUM-BUFFER-ROPE SYSTEM.*International Conference on Global Manufacturing and Innovation.*

Schragenhiem, E. ,&Dettmer, H.W. (2000).*Manufacturing at Warp Speed:Optimizing Supply Chain Business Performance*.Boca Raton, FL: St. Lucie Press.

Schragenhiem, E. ,&Ronen, B. (1990). Drum-Buffer-Rope Shop floor control.*Production and inventory management journal*, Third quarter.

Wu, S.Y. , Morris, J.S. , &Gordon, T.M. (1994). A simulation analysis of the effectiveness of drum-buffer-rope scheduling in furniture manufacturing. *Computers ind.Engng*,*26*(4), 757 – 764.