

بهینه سازی توالی عملیات تولید در مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر بر مبنای کمینه کردن کل زمان های تکمیل محصولات توسط تکنیک شبیه سازی (مطالعه موردی: خطوط بسته بندی مایعات شوینده شرکت پاک نام)

محسن سلیمی

مدیریت مجموعه شرکت تولیدی پاک نام، قزوین، ایران
Salimi.m@paknamco.com

میثم فیضی

گروه مهندسی صنایع و برنامه ریزی تولید شرکت تولیدی پاک نام، قزوین، ایران
Feizi.m@paknamco.com

رامتین روئین فر

گروه مهندسی صنایع و برنامه ریزی تولید شرکت تولیدی پاک نام، قزوین، ایران
Roeinfar.r@paknamco.com

چکیده

مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر یکی از مسائل رایج و پرکاربرد در بسیاری از سیستم های تولیدی می باشد. در این سیستم یکسری از ماشین آلات تولیدی بر مبنای سیستم چیدمان خطی بصورت موازی چیده شده اند که هریک از محصولات تولیدی بایستی با توالی خاص خود روی هریک ماشین آلات در هر ایستگاه کاری پردازش شوند و به سمت انتها سیستم حرکت نمایند. تابع هدف رایج این مساله که عموماً در تحقیق های فراوانی مورد استفاده قرار گرفته است کمینه نمودن کل زمان های تولیدی محصولات می باشد بطوریکه تمامی محصولات در هر ایستگاه کاری بر روی یک ماشین پردازش شده و با طی توالی بهینه، کمترین زمان پردازش و تکمیل کل را داشته باشند. در این تحقیق، اثر توالی بهینه تولید محصولات شوینده بر کمینه کردن کل زمان تکمیل و تولید در خطوط بسته بندی مایعات شوینده شرکت پاک نام مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در گام اول، نتایج حاصل از زمان تکمیل کل محصولات مایع شوینده در سیستم تولیدی بدون در نظر گرفتن توالی بهینه و در شرایط حال حاضر شرکت محاسبه می شود. سپس، در گام بعدی به کمک نرم افزار شبیه سازی اقدام به شبیه سازی و بهینه سازی توالی تولید محصولات در خطوط بسته بندی مایعات شوینده می نمائیم. در گام سوم نیز نتایج حاصل از خروجی نرم افزار شبیه سازی و در نظر گرفتن توالی بهینه محصولات تولیدی با نتایج محصولات تولیدی بدون در نظر گرفتن طرح مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. نتایج بدست آمده حاصل از در نظر گرفتن طرح توالی بهینه تولید محصولات در خطوط بسته بندی مایعات شوینده نشان می دهد که در نظر گرفتن توالی بهینه محصولات حاصل از خروجی نرم افزار شبیه سازی باعث کاهش در زمان تولید محصولات خواهد شد.

واژگان کلیدی: مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر، توالی عملیات تولید، بهینه سازی، زمان های تولیدی، شبیه سازی.

۱- مقدمه

مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر^۱ یکی از سیستم های است که شامل چیدمان چندین ماشین بصورت یک نظم خطی بوده بطوری که تولید از یک ماشین در اولین ایستگاه کاری شروع شده و به آخرین ماشین در آخرین ایستگاه کاری ختم می شود. هدف از مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر کمینه نمودن زمان پردازش کل کارها بر روی ماشین آلات می باشد بطوریکه تمامی محصولات با طی کوتاهترین زمان پردازش شوند. در تحقیق ها و مطالعات صورت گرفته بر روی مدل های مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر نشان داده است که مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر حتی با وجود دو ایستگاه کاری، با یک ماشین در ایستگاه اول و دو ماشین در ایستگاه دوم، مساله ای *NP-hard* محسوب می شود.

تحقیق ها و مطالعات انجام شده در زمینه مسائل جریان کارگاهی دارای طیف و سببی است که شامل مشخصه های مدل های قطعی و معین، احتمالی و پویا است که در اینجا به معرفی برخی از آن ها در سال های اخیر و روش های حل بکار گرفته شده می پردازیم. راویندران و همکاران (Ravindran et al, 2005) سه الگوریتم ابتکاری برای حل مساله زمان بندی جریان کارگاهی و با هدف کمینه کردن زمان تکمیل کل کارها و جریان کل پیشنهاد کرده اند. لوکیل و همکاران (Loukil et al, 2005) الگوریتم شبیه سازی چندهدفه ای را برای مساله زمان بندی جریان کارگاهی چند هدفه در حالات تک ماشین، ماشین های موازی و جریان کارگاهی با ترتیب کار ثابت برای همه مراحل برای هدف میانگین وزنی زمان تکمیل، میانگین وزنی تأخیرها، میانگین وزنی زود کردها، ماکزیمم زمان تکمیل، ماکزیمم تأخیر، ماکزیمم زود کردها و تعداد کارهای دارای تأخیر توسعه داده اند. با توجه به نتایج بدست آمده، آنان ادعا کرده اند که الگوریتم چندهدفه پیشنهادی آنان قادر به ارائه حل مناسب در هر زیر مجموعه از اهداف مذکور می باشد. لیونگ و همکاران (Leung et al, 2005) مساله جریان کارگاهی را با فرض کارهای متداخل مطالعه نمودند. آنها مساله را در حالت وجود دو ماشین مورد بررسی قرار داده و فرض کردند که هر کار باید روی هر دو ماشین پردازش شوند. البته در تحقیق آنان برخلاف مسائل جریان کارگاهی کلاسیک، هر دو عملیات مربوط به یک کار می توانند در یک زمان با یکدیگر تداخل داشته باشند. جونگ واتاناکیت و همکاران (Jungwattanakit et al, 2007) یک مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر دو هدفه با ماشین های غیرمرتبط و زمان های آماده سازی را به صورت برنامه ریزی عدد صحیح فرموله نموده و یک الگوریتم ژنتیک برای حل مساله پیشنهاد دادند. غلامی و همکاران (Gholami et al, 2008) با فرض احتمال خرابی ماشین آلات و با استفاده از روش شبیه سازی مساله جریان کارگاهی را بهینه کردند. یک تحقیق جامع در زمینه زمان بندی ماشین آلات با فرض زمان آماده سازی توسط اله وردی و همکاران (Allahverdi et al, 2008) انجام شد. اندرسون و همکاران (Anderson et al, 2008) الگوریتمی بر مبنای شبیه سازی تیرید و الگوریتم ژنتیک برای کمینه نمودن میانگین زمان جریان ساخت در مساله جریان کارگاهی ارائه نمودند. سراج و توکلی مقدم (Seraj and Tavakkoli-Moghaddam, 2009) یک الگوریتم جستجوی ممنوع چند هدفه جدید برای مساله جریان کارگاهی دوهدفه که بر مبنای رویکرد تصمیم گیری چند هدفه فازی است، ارائه نمودند. آنها مساله پیشنهادی خود را با پارامترهای قطعی در نظر گرفته و در آن به حداقل سازی میانگین زمان های تکمیل و میانگین مقادیر دیرکرد کارها به طور همزمان پرداختند. در مدل ارائه شده آنها، زمانهای آماده سازی به صورت مستقل از توالی در نظر گرفته شده است. لی و چن (Li and Chen, 2010) مشخصات مساله زمان بندی جریان کارگاهی تحلیل کردند و یک الگوریتم ژنتیک جدید جهت حل آن ارائه کردند که جمعیت اولیه بصورت تصادفی تولید می شد و سرانجام نتایج تحقیق روی ۸ نوع روش کار و ۵ ماشین امتحان می شود. نتایج نشان داده است که الگوریتم ژنتیک می تواند به طور موفقیت آمیزی در حل این گونه مسائل به کار برده شود. ترن و ان جی (Tran and N.g, 2011) از یک الگوریتم فرا ابتکاری جدید به نام الگوریتم جریان آب برای حل مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر استفاده کردند. هم چنین آنان مساله خود را با فرض در نظر گرفتن وجود انبارهای میانی با ظرفیت محدود حل نمودند. آکی و کوک (Ak and Koc, 2012) بیان کردند که جهت حل مسائل جریان کارگاهی انعطاف پذیر نمی توان از یک روش های کلاسیک استفاده نمود، چرا که زمان زیادی جهت حل آن مورد نیاز است، بنابراین از الگوریتم ژنتیک جهت حل مساله استفاده کردند. نتایج بدست آمده نشان داد

¹ Flexible Flow Shop Problem

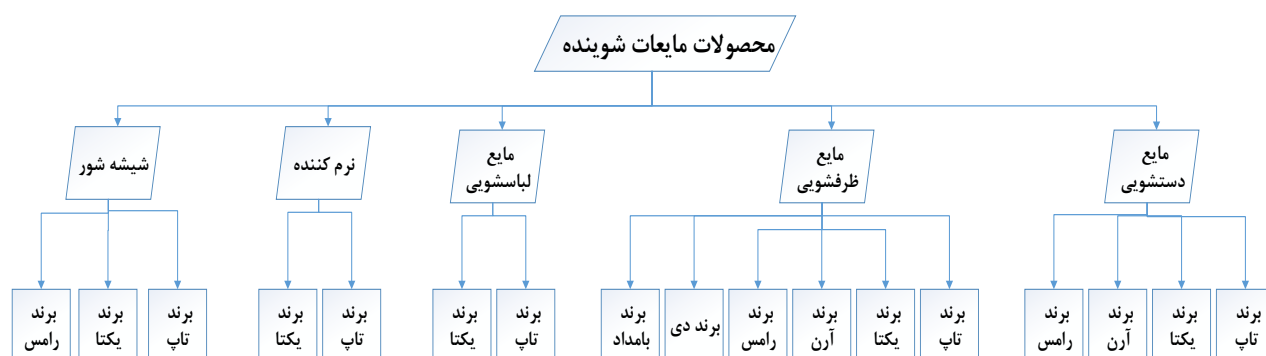
که الگوریتم توسعه یافته آنها از روش های قطعی کارتر می باشد. تیکنگ و تمانو (Teekeng and Thammano, 2012) یک الگوریتم ژنتیک اصلاح شده که در آن روش انتخاب والدین از طریق چرخ رولت فازی انجام می شد را ارائه دادند. نتایج حاصله نشان داد که الگوریتم پیشنهادی آنان در حل مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر کاملاً سودمند است. جولای و همکاران (Jolai et al, 2012) یک الگوریتم ژنتیک هیبریدی را برای حل مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر با در نظر گرفتن زمان های راه اندازی ارائه نمودند. نتایج بدست آمده از مطالعه آنان نشان داد که روش حل پیشنهادی آنان دارای کیفیت جواب های بهتری نسبت به مطالعات قبل بوده است. مغفیر و همکاران (Meghfiroh et al, 2013) بررسی کردند که در عملیات مختلف با در نظر گرفتن زمان حمل و نقل متفاوت از یک ماشین به ماشین دیگر، پیچیدگی مساله بالا می رود. اندازه گیری های عملکرد در تحقیق آنان، متوسط زمان و طول جریان بود که به کمک الگوریتم ژنتیک با مقداری اصلاحات سعی در حل مساله خود نمودند. نتایج بدست آمده نشان داد که الگوریتم ژنتیک دارای نتایج بهتری نسبت به سایر روش ها می باشد. ربیعی و همکاران (Rabiee et al, 2014) یک الگوریتم فراابتکاری برای حل مساله زمان بندی جریان کارگاهی منعطف دو مرحله ای پیشنهاد دادند. الگوریتم آنان ترکیبی از چهار الگوریتم رقابت استعماری، ژنتیک، جستجوی همسایگی متغیر و شبیه ساز تبرید بود. لین و چن (Lin and Chen, 2015) از ترکیب مدل شبیه سازی با الگوریتم ژنتیک برای حل یک مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر استفاده کردند. تابع هدف مساله آنان کمینه کردن زمان تکمیل کل کارها به گونه ای بود که کارها از مسیرهای بهینه بر روی ماشین آلات حرکت کرده و پردازش تمامی آنها به پایان برسد. ساخای و همکاران (Sakhaii et al, 2016) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی برای یک مساله ساخت تولید سلولی پویا در حالت عدم قطعیت را پیشنهاد دادند. مدل مساله آنان شامل یک مساله ساخت سلولی با عدم قطعیت ماشین آلات با تخصیص اپراتور به ماشین بود. تابع هدف مساله آنان شامل کمینه نمودن هزینه های خرابی ماشین آلات، جانمایی ماشین آلات، هزینه آموزش پرسنل و هزینه های کمبود موجودی بود. شهیدی زاده و همکاران (Shahidi-Zadeh et al, 2017) یک مدل جریان کارگاهی با ماشین های موازی در حالت فرآیند تولید دسته ای را ارائه دادند. تابع هدف مساله آنان شامل کمینه نمودن زمان تکمیل کل کارها، کاهش تاخیر و هزینه خرید ماشین آلات بود. آنان برای حل مساله خود از چند هدفه جستجوی هماهنگی استفاده نمودند. نتایج محاسباتی بدست آمده نشان داد که روش پیشنهادی آنان دارای کیفیت جواب های بهتری نسبت به دیگر الگوریتم های مورد مقایسه را دارد. زنگ و همکاران (Zeng et al, 2018) یک مدل چند هدفه از مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر با حالت تولید دسته ای با در نظر گرفتن مصرف الکتریسیته و مصرف مواد را در نظر گرفتند. تابع هدف آنان شامل کمینه نمودن زمان تکمیل کل کارها، مصرف الکتریسیته و مصرف مواد بود. هم چنین الگوریتم هیبریدی ژنتیک مرتب سازی غیرترکیبی برای حل مساله چند هدفه آنان در یک مطالعه موردی واقعی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از حل مساله نشان داد که روش پیشنهادی آنان باعث کاهش مصرف در شاخص های مصرف الکتریسیته و مصرف مواد اولیه می شود. روئین فر و همکاران (Rooeinfar et al, 2019) یک مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر احتمالی با در نظر گرفتن انبار های موقت میانی و انجام تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه را مورد بررسی قرار دادند. آنان در ابتدا به کمک شبیه سازی، اقدام به مدل سازی مساله خود در نرم افزار شبیه سازی را نمودند و سپس با طرح سناریوهای مختلف خروجی مدل شبیه سازی را به عنوان جمعیت اولیه به الگوریتم های فرا ابتکاری بر پایه ژنتیک، شبیه سازی تبرید و بهینه سازی اجتماع ذرات را در نظر گرفتند. نتایج حاصل از حل مساله در ابعاد مختلف نشان داد که ترکیب مدل شبیه سازی با الگوریتم های فرا ابتکاری می تواند منجر به حصول نتایج با کیفیت جواب های بهتری را شود. حسینی و حسینی (Hasani and Hosseini, 2020) یک مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر با در نظر گرفتن هزینه های تولید و مصرف سوخت را به عنوان دو تابع هدف مجزا مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این تحقیق با مطالعه بر روی توالی تولید محصولات مایعات شوینده بر روی خطوط انعطاف پذیر تولیدی در شرکت پاک نام سعی در کمینه کردن کل زمان های تولید و تکمیل محصولات را خواهیم داشت بگونه ای که تمامی محصولات تولیدی با طی مسیر توالی عملیات بهینه بر روی هریک از ماشین آلات تولیدی در ایستگاه های کاری پردازش شده و به محصول نهایی که مایعات شوینده می باشد تبدیل گردند. برای این منظور به کمک نرم افزار شبیه سازی اقدام به شبیه سازی کلیه خطوط تولیدی انعطاف پذیر در سالن محصولات شوینده

می نمائیم. سپس، با اجرای مدل شبیه سازی شده مساله در محیط نرم افزار و بدست آوردن نتایج حاصله و تجزیه و تحلیل خروجی های بدست آمده، بهترین توالی عملیات تولید بهینه برای تمامی محصولات تولیدی را محاسبه می نمائیم. هم چنین نتایج حاصله از مدل شبیه سازی مساله با نتایج بدست آمده از زمان تکمیل کل محصولات در شرایط حال حاضر و بدون در نظر گرفتن توالی بهینه عملیات نیز مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. ترتیب سایر بخش های تحقیق حاضر بصورت زیر می باشد:

در بخش دوم، مطالعه موردی مساله که خطوط بسته بندی مایعات شوینده شرکت پاک نام می باشد به همراه کلیه اطلاعات و توضیحات مربوط به آن ارائه می شود. در بخش سوم، روش حل مساله و بطور خاص نرم افزار شبیه سازی و پارامترها و تنظیمات در نظر گرفته شده آن بیان می شود. در بخش چهارم، نتایج حاصل از مدل شبیه سازی و انتخاب توالی بهینه در مقایسه با حالت بدون در نظر گرفتن توالی بهینه مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت و در نهایت نتیجه گیری و پیشنهادات برای مطالعات آتی در بخش پنجم آورده شده است.

۲- مطالعه موردی

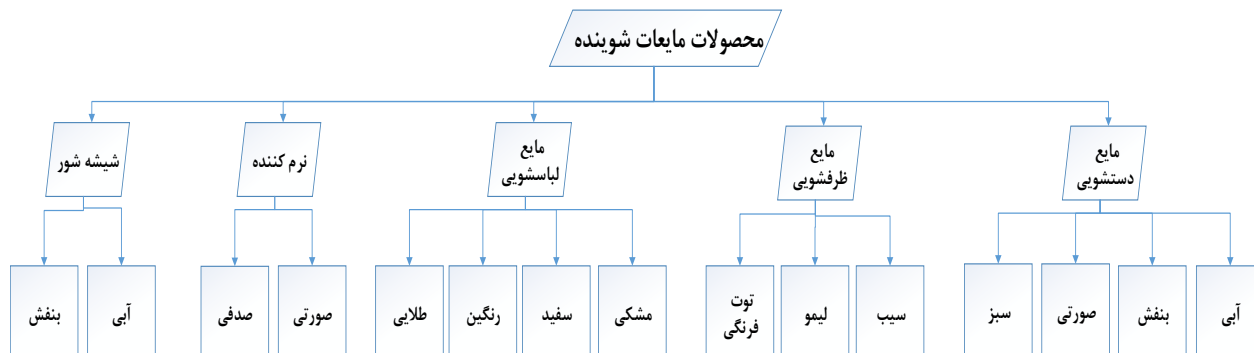
مطالعه موردی در این تحقیق خطوط بسته بندی محصولات مایعات شوینده شرکت تولیدی پاک نام واقع در استان قزوین می باشد. این شرکت در زمینه تولید محصولات شوینده از قبیل انواع پودرهای شوینده دستی و ماشینی، مایعات ظرفشویی، مایعات دستشویی، سفید کننده، نرم کننده، مایعات البسه، شیشه شور، شامپو، صابون و کفشور فعالیت دارد. سالن محصولات مایعات شوینده شامل ۷ خط تولید انعطاف پذیر می باشد که محصولات مختلف اعم از مایعات ظرفشویی، دستشویی، لباسشویی، نرم کننده و شیشه شور تولید می نماید. ایستگاه های کاری برای تولید این محصولات شامل ایستگاه بطری گذاری، ایستگاه پرکنی بطری ها، ایستگاه درب بند، ایستگاه لیبل زن بطری و ایستگاه بسته بندی و چسب زنی می باشد. بدین صورت که ابتدا بطری ها توسط پرسنل بطری گذار روی خط قرار داده می شوند، سپس بطری های قرار گرفته شده روی خط به ایستگاه بعدی که ایستگاه پرکنی مایعات می باشد حمل می شوند و توسط نازل های پرکن مایعات، پر شده و به سمت ایستگاه درب بند بطری حمل می گردند. در این ایستگاه، بطری های پر شده از مایع توسط دستگاه لیبل زن بطری، لیبل گذاری شده و به سمت آخرین ایستگاه برای بسته بندی و چسب زنی انتقال پیدا می کنند. محصولات تولید شده روی خطوط تولیدی انعطاف پذیر سالن مایعات شوینده نیز شامل محصولات مایعات ظرفشویی، دستشویی، لباسشویی، نرم کننده و شیشه شور می باشد که دارای انواع برندهای مختلف می باشد که در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل (۱) - انواع مختلف محصولات مایعات شوینده بر حسب نوع برند

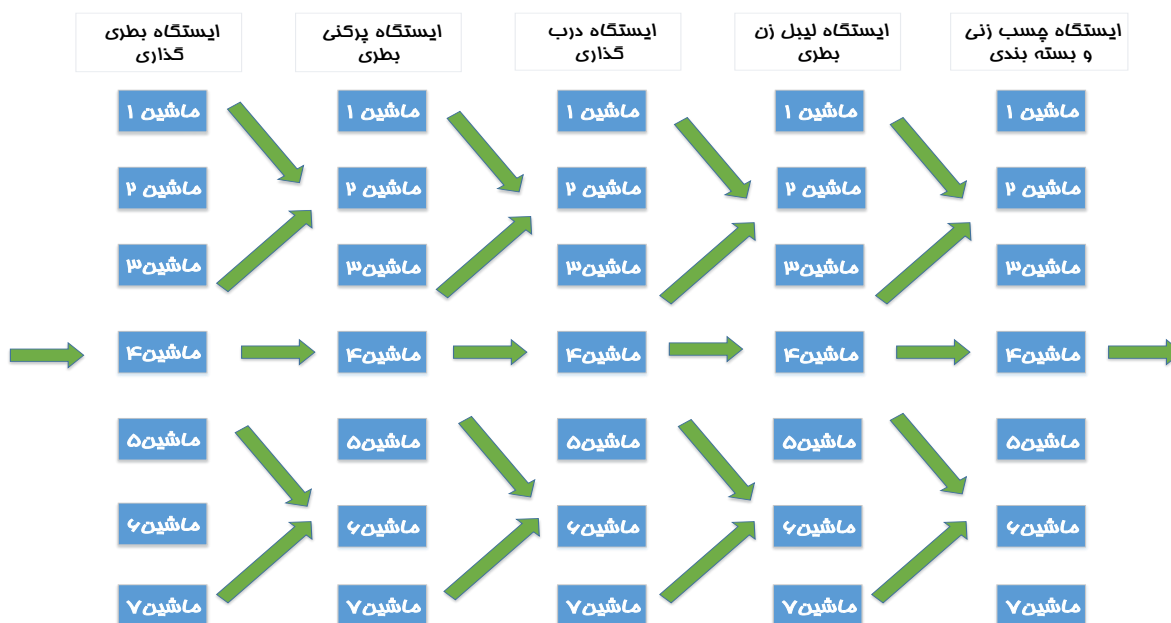
هم چنین، محصولات مایع ظرفشویی دارای انواع رایحه های سیب، لیمو و توت فرنگی، محصولات مایع دستشویی در ۴ رنگ آبی، بنفش، صورتی و سبز، محصولات مایع لباسشویی بر اساس نوع کاربرد شامل انواع مختلف مایعات لباسشویی رنگین شوی، سفید شوی، مشکی و طلایی، محصولات شیشه شور در ۲ رنگ آبی و بنفش و محصولات نرم کننده نیز در ۲ رنگ صورتی و

صدفی تولید می گردند که در شکل (۲) آورده شده است. بر طبق شکل های (۱) و (۲) می توان گفت که مجموع محصولات مایعات شوینده تولیدی شامل ۵۲ نوع محصول مختلف می باشد.



شکل (۲) - انواع مختلف محصولات مایعات شوینده بر حسب نوع رایحه، رنگ و کاربرد آن

نمای شماتیک خطوط انعطاف پذیر تولید محصولات مایعات شوینده در شکل (۳) به نمایش درآمده است. همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهده است، مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر تولیدی محصولات مایعات شوینده شامل ۵ ایستگاه کاری و ۷ ماشین تولیدی در هر ایستگاه می باشد. در ۵ ایستگاه کاری به ترتیب فعالیت های بطری گذاری، پرکنی بطری، درب گذاری، لیبل زن بطری و بسته بندی و چسب زنی انجام می گردد. برای جابجایی و حمل محصولات مایعات شوینده در بین هریک از ایستگاه های کاری از نوار نقاله استفاده می گردد که سرعت هریک از نوار نقاله ها بین ایستگاه های کاری برابر با $0.5m/s$ می باشد. هم چنین نتایج حاصل از تست *Normality test* در نرم افزار *Minitab16* برای برازش تابع توزیع نرمال برای ۳ ایستگاه کاری پرکنی بطری، بسته بندی و چسب زنی و درب گذاری به عنوان نمونه در شکل های (۴) تا (۶) آورده شده است.

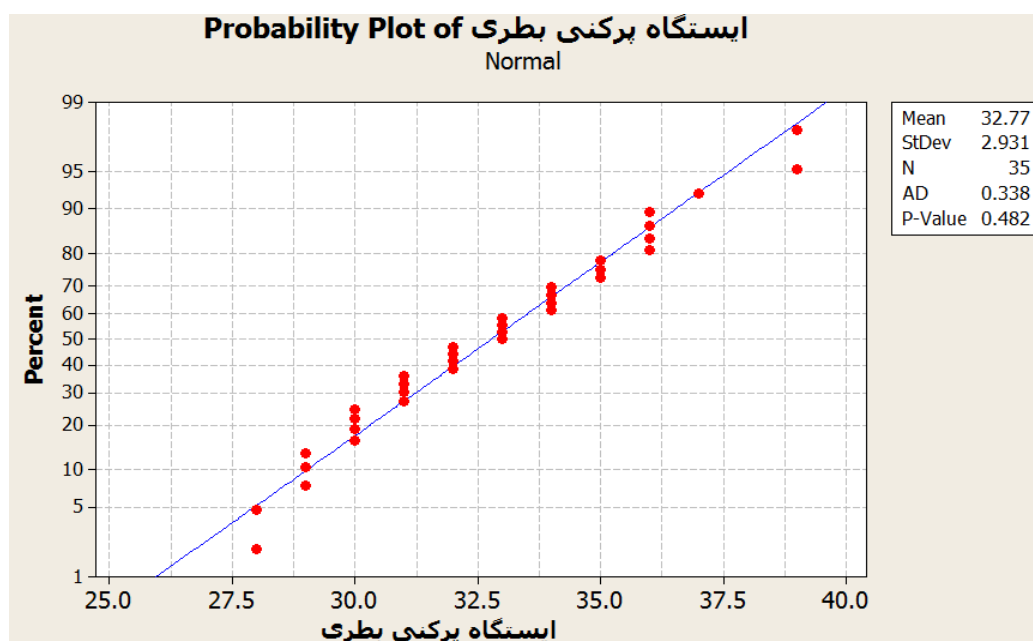


شکل (۳) - نمای شماتیک مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر خطوط تولیدی محصولات مایعات شوینده

برای محاسبه زمان تولید و پردازش محصولات مایعات شوینده بر روی خطوط انعطاف پذیر تولیدی به کمک زمان سنجی توسط کرنومتر^۲، زمان های تولید در هریک از ایستگاه های کاری شامل بطری گذاری، پرکنی بطری، درب گذاری، لیبل زن بطری و بسته بندی و چسب زنی، زمان سنجی شده است. سپس به کمک نرم افزار Minitab16 اقدام به برازش بهترین تابع توزیع احتمال برای زمان پردازش هریک از ایستگاه های کاری می نمائیم. برای آنکه بتوان از تابع توزیع نرمال برای برازش زمان های پردازش محصولات شوینده در هریک از ایستگاه های کاری استفاده نمود به تعداد ۳۵ بار، در هر ایستگاه کاری اقدام به نمونه گیری و زمان سنجی شده است که نتایج حاصل از آن در جدول (۲) آورده شده است. برآورد تابع توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار هریک از ایستگاه های کاری خروجی تست *Normality test* در نرم افزار Minitab16 در جدول (۱) قابل مشاهده می باشد. هم چنین با توجه شکل های (۴) تا (۶) و مقادیر *P-Value* بدست آمده از تست *Normality test* در نرم افزار Minitab16 که بزرگتر از مقدار عددی α (۵ درصد) می باشند، تست *Normality test* مورد پذیرش قرار می گیرد و نتایج زمان سنجی ایستگاه های کاری از توزیع نرمال پیروی می کنند.

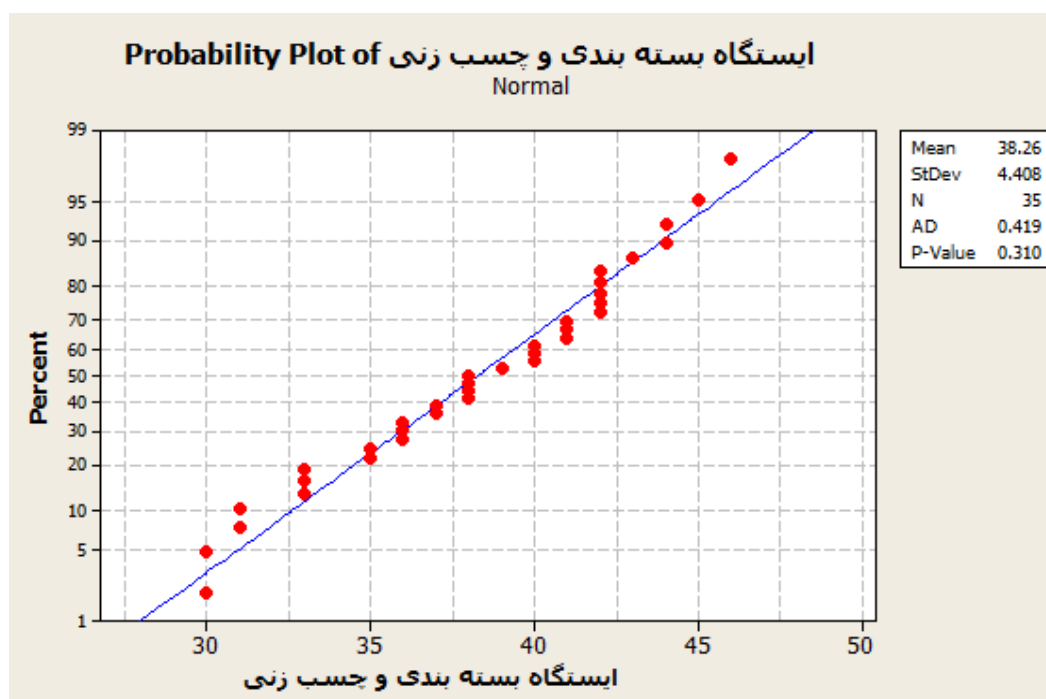
جدول (۱)- نتایج زمان سنجی هریک از ایستگاه های کاری محصولات مایع شوینده

ردیف	ایستگاه کاری	برآورد تابع توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار بدست آمده
۱	ایستگاه بطری گذاری	$Normal(3.25, 1.06^2)$
۲	ایستگاه پرکنی بطری	$Normal(32.77, 2.93^2)$
۳	ایستگاه درب گذاری	$Normal(14.4, 1.71^2)$
۴	ایستگاه لیبل زن بطری	$Normal(3.94, 1.49^2)$
۵	ایستگاه بسته بندی و چسب زنی	$Normal(38.26, 4.41^2)$

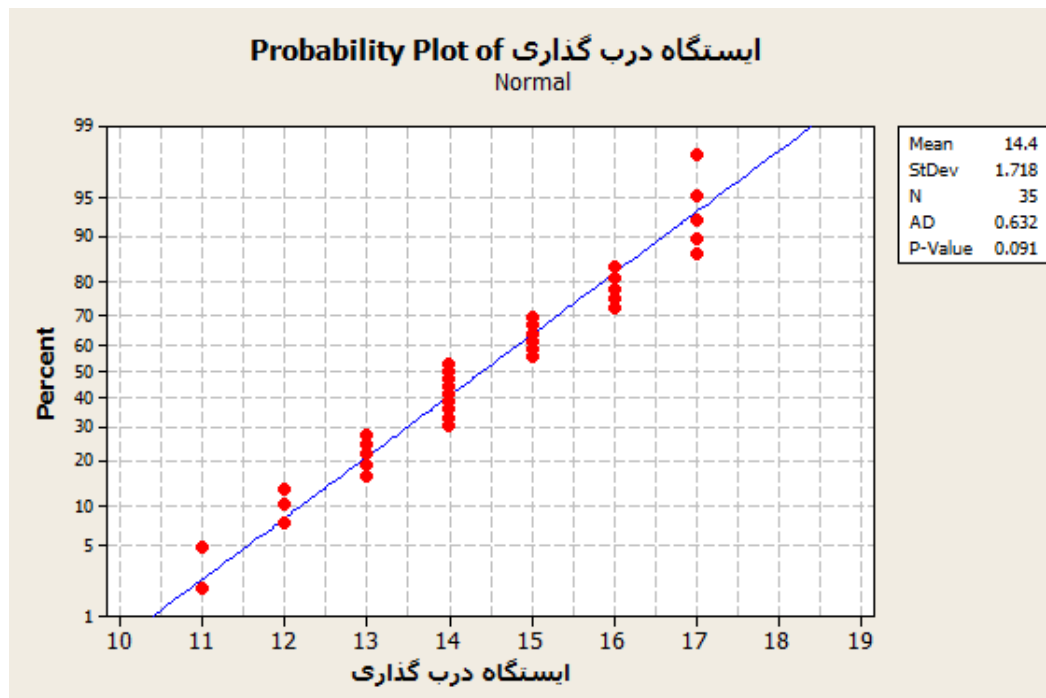


شکل (۴)-نمودار نتایج تست *Normality test* از برازش تابع توزیع نرمال در ایستگاه پرکنی بطری

² Stopwatch



شکل (۵)-نمودار نتایج تست Normality test از برازش تابع توزیع نرمال در ایستگاه بسته بندی و چسب زنی



شکل (۶)-نمودار نتایج تست Normality test از برازش تابع توزیع نرمال در ایستگاه درب گذاری

جدول (۲) - نتایج زمان سنجی هریک از ایستگاه های کاری محصولات مایع شوینده

نمونه	زمان پردازش در هریک از ایستگاه های کاری (ثانیه)				
	ایستگاه بطری گذاری	ایستگاه پرکنی بطری	ایستگاه درب گذاری	ایستگاه لیبل زن بطری	ایستگاه بسته بندی و چسب زنی
۱	۲	۳۴	۱۶	۳	۳۸
۲	۳	۳۰	۱۴	۴	۴۰
۳	۵	۳۳	۱۴	۵	۴۲
۴	۳	۳۶	۱۵	۲	۳۶
۵	۳	۲۹	۱۷	۳	۳۵
۶	۲	۳۷	۱۲	۳	۳۰
۷	۲	۳۱	۱۳	۴	۴۲
۸	۴	۳۹	۱۳	۶	۴۲
۹	۵	۳۲	۱۵	۶	۳۶
۱۰	۴	۳۶	۱۲	۲	۳۸
۱۱	۳	۳۴	۱۶	۴	۳۸
۱۲	۲	۳۲	۱۶	۵	۴۳
۱۳	۳	۲۹	۱۴	۵	۴۲
۱۴	۳	۳۰	۱۳	۳	۳۵
۱۵	۴	۳۳	۱۷	۲	۳۳
۱۶	۴	۳۳	۱۷	۲	۴۱
۱۷	۵	۳۵	۱۶	۴	۴۰
۱۸	۵	۳۱	۱۴	۶	۴۰
۱۹	۲	۲۸	۱۴	۶	۳۷
۲۰	۲	۳۶	۱۳	۳	۳۳
۲۱	۳	۳۶	۱۵	۲	۳۶
۲۲	۴	۳۴	۱۵	۴	۳۱
۲۳	۳	۳۹	۱۴	۵	۴۴
۲۴	۲	۳۲	۱۴	۵	۳۰
۲۵	۵	۳۲	۱۱	۳	۳۸
۲۶	۳	۳۰	۱۷	۲	۳۳
۲۷	۳	۳۵	۱۶	۴	۴۱
۲۸	۴	۳۴	۱۲	۶	۴۱
۲۹	۲	۳۵	۱۵	۶	۴۶
۳۰	۵	۳۱	۱۵	۳	۴۵
۳۱	۲	۳۱	۱۱	۳	۳۷
۳۲	۳	۳۳	۱۷	۷	۳۱
۳۳	۳	۲۹	۱۴	۲	۴۲
۳۴	۴	۲۸	۱۴	۵	۴۴
۳۵	۲	۳۰	۱۳	۳	۳۹

۳- مدل شبیه سازی

نرم افزار شبیه سازی^۳ استفاده شده در این تحقیق، نرم افزار شبیه سازی Enterprise Dynamics (ED) نسخه ۸.۲ می باشد. دلیل استفاده از این نرم افزار قابلیت بالای آن در حل مسائل پیچیده و واقعی خصوصا در دنیای واقعی می باشد. مدل انتخاب توالی تولید بهینه در این تحقیق شامل زمان های پردازش محصولات و تعداد ماشین آلات تولیدی و محصولات قابل تولید می باشد و نرم افزار شبیه سازی ED یک روش حل جامع و قوی برای حل آن می باشد. روش های بهینه سازی به کمک شبیه سازی، یک رویکرد جدیدی است که کمتر مورد استفاده نویسندگان و محققان در مسائل انتخاب طرح چیدمان بهینه قرار گرفته است. تکنیک شبیه سازی این کمک را به ما می کند که جواب های موجه زیادی را در طول یک زمان بسیار اندک بدست آورده و با در نظر گرفتن سناریوهای و حالت های مختلف و مشاهده نتایج سیستم را مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار داده و بهترین حالت و سناریو را انتخاب نمود. همچنین این تکنیک این کمک را به محققان کرده تا با مشاهده تصاویر مختلف دو بعدی یا سه بعدی از مساله مورد نظر خود و تغییر هریک از ورودی های مساله نتایج آن را به کمک تصویر برای تجزیه و تحلیل بالای آن مورد بررسی و تحلیل قرار دهند و نسبت به انجام بهبودهای بالقوه در آن اهتمام ورزند. تنظیمات مربوط به مدل شبیه سازی ED نیز در قسمت ذیل توضیح داده شده است.

۳-۱- طول دوره شبیه سازی

بطور کلی طول دوره شبیه سازی^۴ به مدل شبیه سازی و عوامل مختلف تاثیر گذار بر روی مدل مانند میزان درجه احتمالی بودن مدل، پیچیدگی مدل، وجود متغیرها قیر قابل کنترل در مدل و... بستگی دارد و می تواند بصورت های زیر در نظر گرفته شود:

- طول دوره شبیه سازی بر حسب مدل زمان اجرای مدل
- طول دوره شبیه سازی بر حسب تعداد اجراهای مدل

در این تحقیق از روش دوم استفاده شده است، بگونه ای که هر جواب از میانگین ۵۰۰ اجرای متوالی در نرم افزار شبیه سازی بدست آمده است

۳-۲- طول دوره شبیه سازی

در ابتدای اجرای مدل شبیه سازی، تمامی ماشین آلات در هریک از ایستگاه های کاری در دسترس بوده و بیکار می باشند. در نتیجه، نتایج بدست آمده در شروع اولیه مدل در شرایط ایده آل بوده و نتایج مناسبی برای محاسبه و آنالیز نمی باشند. برای جلوگیری از وقوع این حالت، یک زمان شروع اولیه مشخص شده در ابتدای مدل شبیه سازی را به عنوان دوره دست گرمی^۵ در مدل در نظر گرفته و از تجزیه و تحلیل های خود حذف می نماییم. طول دوره دست گرمی نیز مانند طول دوره شبیه سازی به نوع مدل و مساله مورد بررسی، درجه پیچیدگی مساله، وجود متغیرهای غیر قابل کنترل در مدل و درجه احتمالی بودن مساله بستگی دارد. در این تحقیق نیز با توجه به درجه بالای احتمالی بودن مساله، ۱۰٪ از نتایج اولیه مدل به عنوان دوره دست گرمی در نظر گرفته شده و در تجزیه و تحلیل نتایج مورد استفاده قرار نگرفته است.

۳-۳- اعتبار سنجی مدل شبیه سازی

قبل از نتیجه گیری از نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی و آنالیز و مقایسات نتایج بایستی اعتبار سنجی نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی مورد تحلیل و آزمایش قرار گیرد. اعتبار سنجی مدل شبیه سازی^۶ این فرضیه را اثبات می کند که

³ Simulation Software

⁴ Simulation Run Period

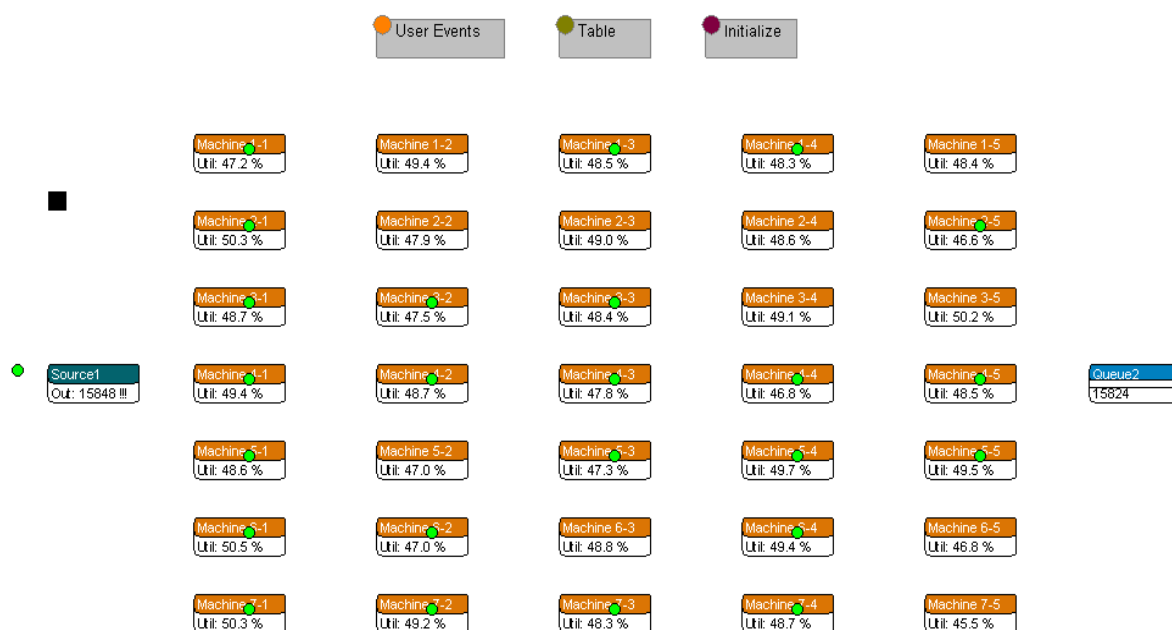
⁵ Warm up Period

⁶ Validation of Simulation Model

نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی رفتار واقعی سیستم مورد نظر را منعکس می کند و دارای اعتبار و قابل تجزیه و تحلیل می باشد. بر طبق نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی و ارتباط بین هر اتم در نرم افزار شبیه سازی که نشان دهنده کارها، ماشین آلات و ایستگاه های کاری می باشند و هم چنین مشاهده تصاویر دو بعدی و سه بعدی از مدل شبیه سازی ارتباط منطقی بین هریک از ماشین آلات در ایستگاه های کاری و مسیرهای تولید محصولات و زمان های بدست آمده نشان از اعتبار مدل دارد.

۳-۴- نمایش گرافیکی مدل شبیه سازی

نمایش گرافیکی مدل شبیه سازی^۷ خطوط تولیدی انعطاف پذیر تولیدی محصول مایعات شوینده در محیط نرم افزار شبیه سازی ED در شکل (۷) آورده شده است. همانطور که گفته شد سالن تولیدی محصولات شوینده شامل ۷ خط تولید انعطاف پذیر در ۵ ایستگاه کاری می باشد، برای نمایش ماشین آلات تولیدی انعطاف پذیر و محصولات مایع شوینده تولیدی از اتم های Server و Product استفاده شده است و برای خروج محصولات تولیدی از سیستم از اتم Sink استفاده شده است. همانگونه که در شکل (۷) قابل مشاهده است ۷ اتم Server نشانگر ۷ ماشین تولیدی در هریک از ایستگاه های کاری بوده و برای دادن اطلاعات ورودی و هم چنین گرفتن نتایج محاسباتی از نرم افزار شبیه سازی از اتم Table استفاده شده است.



شکل (۷)-نمای شماتیک مساله جریان کارگاهی انعطاف پذیر محصولات مایعات شوینده در نرم افزار شبیه سازی ED

۴- نتایج محاسباتی

نتایج محاسباتی مدل شبیه سازی بوسیله یک رایانه با پردازشگر ۲.۴ گیگاهرتز، Core i7 و ۴ گیگابایت حافظه داخلی بدست آمده است. هم چنین همانطور که گفته شد نرم افزار استفاده شده برای مدل سازی و حل مساله، نرم افزار شبیه سازی (ED) Enterprise Dynamics نسخه ۸.۲ می باشد و برای برازش تابع توزیع احتمال زمان های پردازش در هریک از ایستگاه های کاری از نرم افزار Minitab16 استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل نتایج مدل شبیه سازی، هریک از گروه محصولات مایع

⁷ Graphical Simulation Model View

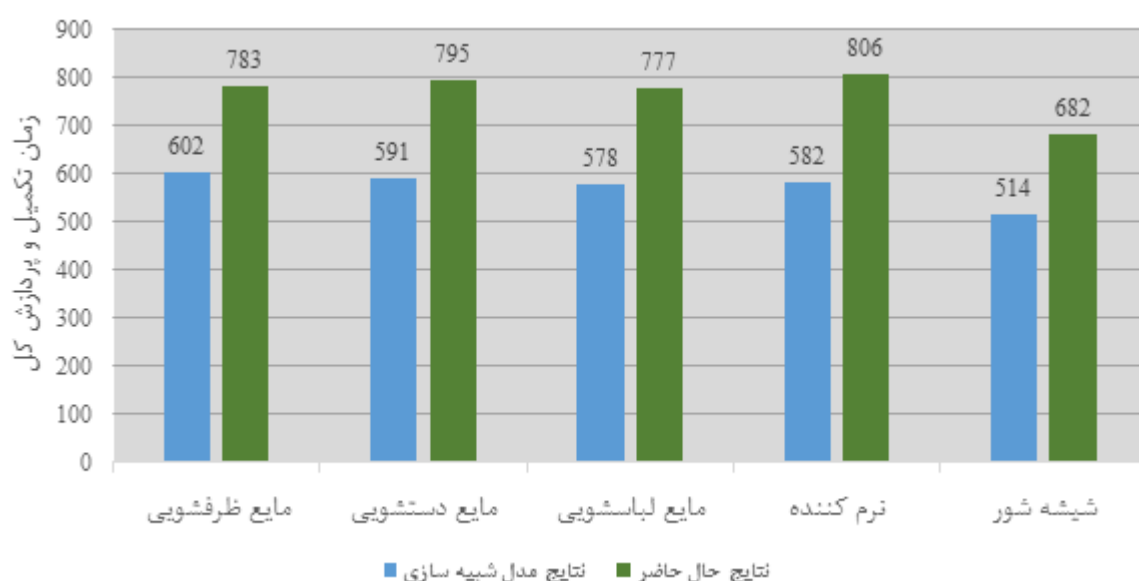
ظرفشویی، مایع دستشویی، مایع لباسشویی، نرم کننده و شیشه شور تولیدی بر روی خطوط انعطاف پذیر سالن محصولات مایعات شوینده بصورت جداگانه در محیط نرم افزار، شبیه سازی شده و میانگین ۵۰۰ جواب بدست آمده پس از حذف نتایج در دوره دست گرمی به عنوان جواب هایی نهایی مدل شبیه سازی محاسبه شده است. نتایج محاسباتی بدست آمده از مدل شبیه سازی برای هریک از گروه محصولات مایع ظرفشویی، مایع دستشویی، مایع لباسشویی، نرم کننده و شیشه شور با نتایج حاصل از تکمیل و پردازش محصولات بدون در نظر گرفتن طرح توالی بهینه مورد مقایسه قرار گرفته که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است. هم چنین برای مقایسه و تحلیل نتایج بدست آمده از شاخص *Gap* استفاده شده است که رابطه آن در قسمت ذیل آورده شده است:

$$Gap = \frac{Y_{T2} - Y_{T1}}{Y_{T1}} * 100 \quad (1)$$

که در رابطه فوق Y_{T2} نشانگر نتایج بدست آمده از اجرای طرح توالی عملیات بهینه (نتایج مدل شبیه سازی) و Y_{T1} نشانگر نتایج بدست آمده از زمان تکمیل و پردازش محصولات مایعات شوینده بدون طرح توالی عملیات (حال حاضر) می باشد. لازم به ذکر است نتایج بدست آمده از هریک از گروه محصولات مایعات شوینده در شرایط کاری یکسان و با تعداد ۷ نفر پرسنل تولیدی بدست آمده است.

جدول (۳) - نتایج بدست آمده از زمان تکمیل و پردازش محصولات در قبل و بعد از اجرای طرح توالی عملیات بهینه

گروه محصول	زمان تکمیل و پردازش کل مدل شبیه سازی (دقیقه)	زمان تکمیل و پردازش کل حال حاضر (دقیقه)	میزان اختلاف (دقیقه)	درصد اختلاف (Gap)
مایع ظرفشویی	۶۰۲	۷۸۳	-۱۸۱	-۲۳/۱۲
مایع دستشویی	۵۹۱	۷۹۵	-۲۰۴	-۲۵/۶۶
مایع لباسشویی	۵۷۸	۷۷۷	-۱۹۹	-۲۵/۶۱
نرم کننده	۵۸۲	۸۰۶	-۲۲۴	-۲۷/۷۹
شیشه شور	۵۱۴	۶۸۲	-۱۶۸	-۲۴/۶۳
میانگین	۵۷۳/۴	۷۶۸/۶	-۱۹۵/۲	-۲۵/۳۶



شکل (۸) - نمودار میله ای از مقایسه زمان تکمیل و پردازش محصولات شوینده از مدل شبیه سازی و حال حاضر شرکت

با توجه به نتایج جدول (۳) و شکل (۸) می توان دریافت که اجرای طرح توالی عملیات بهینه در خطوط تولیدی انعطاف پذیر محصولات مایعات شوینده می تواند منجر به کاهش ۲۳/۱۲ درصدی در محصولات مایع ظرفشویی، ۲۵/۶۶ درصدی در محصولات مایع دستشویی، ۲۵/۶۱ درصدی در محصولات مایع لباسشویی، ۲۷/۷۹ درصدی در محصولات نرم کننده و ۲۴/۶۳ درصدی در محصولات شیشه شور شود. بطور متوسط می توان گفت اجرای طرح توالی عملیات بهینه می تواند بطور متوسط منجر به کاهش زمان ۱۹۵ دقیقه و در شاخص *Gap* منجر به کاهش ۲۵/۳۶ درصد در زمان تکمیل و پردازش کل گروه محصولات مایعات شوینده شده است.

۵- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق اثر اجرای طرح توالی عملیات بهینه محصولات مایعات شوینده شرکت پاک نام بر روی کمینه کردن زمان تکمیل و پردازش کلیه محصولات مایع اعم از مایعات ظرفشویی، مایعات دستشویی، مایعات لباسشویی، نرم کننده و شیشه شور در سالن تولید انعطاف پذیر مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در طرح اولیه سیستم توالی عملیات تولید محصولات شرکت بدون طرح توالی تولید بهینه بوده و محصولات مایعات شوینده بدون مسیر توالی عملیات بهینه تولید می گشته اند. در گام بعدی سالن تولید انعطاف پذیر محصولات شوینده در نرم افزار شبیه سازی مدل سازی گردید و نتایج حاصل از مدل شبیه سازی که با در نظر گرفتن میانگین ۵۰۰ اجرا متوالی پس از حذف نتایج در دوره دست گرمی بوده است به عنوان نتایج نهایی مدل شبیه سازی انتخاب گردید. هم چنین برای مقایسه و تحلیل نتایج حاصل از اجرای طرح توالی عملیات بهینه در سالن انعطاف پذیر تولید محصولات مایعات شوینده، نتایج حاصل از اجرای طرح توالی عملیات بهینه با نتایج حال حاضر شرکت در حالت بدون در نظر گرفتن طرح توالی عملیات بهینه برای تمامی گروه محصولات مایعات ظرفشویی، مایعات دستشویی، مایعات لباسشویی، نرم کننده و شیشه شور مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از مقایسات نشان داد که اجرای طرح توالی عملیات بهینه بطور متوسط می تواند منجر به کاهش ۱۹۵ دقیقه در زمان تکمیل و پردازش گروه محصولات مایعات شوینده شود که معادل ۲۵/۳۶ درصد بهبود در زمان تکمیل کل را نشان می دهد. برای پیشنهادها در مطالعات آتی تحقیق، در نظر گرفتن دیگر شاخص ها مانند میزان افزایش در راندمان ماشین آلات تولیدی در ایستگاه های کاری یا کاهش موجودی محصولات در جریان ساخت نیز می تواند به عنوان دیگر پارامترها برای مقایسه نتایج حاصل از اجرای طرح توالی عملیات بهینه در سالن انعطاف پذیر تولید محصولات مایعات شوینده در نظر گرفته شود. هم چنین مورد مطالعه ای صورت گرفته در این تحقیق سالن تولید انعطاف پذیر محصولات مایعات شوینده شرکت پاک نام بوده است. برای انجام مطالعات آتی در این زمینه می توان نتایج حاصل از اجرای طرح توالی عملیات بهینه را بر روی دیگر محصولات تولیدی شرکت شامل خطوط تولیدی انعطاف پذیر پودرهای دستی و ماشینی را نیز مورد مطالعه و بررسی قرار داد.

منابع

- [1] Ak Bilgesu., and Koc, Erdem. (2012). A Guide for Genetic Algorithm Based on Parallel Machine Scheduling and Flexible Job-Shop Scheduling. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 62.817-823.
- [2] Allahverdi Ali., Ng Chito Daniel., Cheng T.C.E., Kovalyov and Mikhail. Y. (2008). A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European Journal of Operational Research*. 187. 985-1032.
- [3] Andersen Michael., Bräsel Heidemarie., Tusch Jan., Werner Frank., and Willenius Per. (2008). Simulated annealing and genetic algorithms for minimizing mean flow time in an open shop. *Mathematical and Computer Modeling*. Vol. 48 No. 7-8. Pp. 1279-1293.
- [4] A. Ernst., J, Fung., G, Singh., and Y, Zinder. (2018). Flexible Flow Shop with Dedicated Buffers. *Discrete Applied Mathematics*.
- [5] B. Shahidi-Zadeh, Reza, Tavakkoli-Moghaddam, A, Taheri-Moghaddam, and I, Rastegar. (2017). Solving Bi-objective Unrelated Parallel Batch Processing Machines Scheduling Problem: A Comparison Study. *Computers and Operations Research*, doi: 10.1016/j.cor.2017.06.019.
- [6] Enterprise dynamics, (2011). Version 8.2. Amsterdam. Netherland.

- [7] Gholami Mas., Zandieh Mostafa., and Alem-Tabriz Akbar. (2009). Scheduling hybrid flow shop with sequence-dependent setup times and machines with random breakdowns. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2 (1). 189-201.
- [8] Gupta Jatinder. N. D. (1998). Two stage hybrid flow shop scheduling problem. *Journal of Operational Research Society*. 39 (4); 359-64.
- [9] Hasani, A., Hosseini, S. M. H. (2020). A bi-objective flexible flow shop scheduling problem with machine-dependent processing stages: Trade-off between production costs and energy consumption. *Applied Mathematics and Computation*, 386, 125533.
- [10] Jolai Fariborz., Rabiee Meysam., and Asefi H. (2012). A novel hybrid meta-heuristic algorithm for a no wait flexible flow shop scheduling problem with sequencing dependent setup times. *International Journal of Production Research*. 50 (24). 7447-7466.
- [11] Jungwattanakit Jitti., Reodecha Manop., Chaovalitwongse Paveena., and Werner Frank. (2007). Algorithms for flexible flow shop problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 37(3-4). 354-370.
- [12] Leung Joseph. Y. T., Li Haibing., Pinedo Micheal., and Sriskandarajah Chelliah. (2005). Open shops with jobs overlap revisited. *European Journal of Operational Research*. Vol. 163 No. 2. pp. 569-571.
- [13] Lin James. T., and Chen Chien-Ming. (2015). Simulation optimization approach for hybrid flow shop scheduling problem in semiconductor back-end manufacturing. *Simulation Modeling Practice and Theory*. 5. 100-114.
- [14] Li Ye., and Chen Yan. (2010). A genetic algorithm for job-shop scheduling. *Journal of software*. 5(3). 269-274.
- [15] Linn Richard., and Zhang Wei. (1999). Hybrid flow shop scheduling: A survey. *Computers and Industrial Engineering*, 37 (1-2). 57-61.
- [16] Loukil Taïcir., Teghem Jacques., and Tuytens D. (2005). Solving multi-objective production scheduling problems using metaheuristics. *European Journal of Operational Research*. 161. 42-61.
- [17] Maghfiroh Meilinda. F., Darmawan A., and Vincent, F. Y. (2013). Genetic Algorithm for Job Shop Scheduling Problem: A Case Study. *International Journal of Innovation. Management and Technology*. 4 (1). 137-140.
- [18] Ravindran Durairaj., Noorul Haq A., Selvakumar S.J., and Sivaraman R. (2005). Flow shop scheduling with multiple objective of minimizing makespan and total flow time. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 25. 1007-1012.
- [19] Rabiee Meysam., Sadeghi Rad Reza., Mazinani Mostafa., and Shafaei Rasoul. (2014). An intelligence hybrid meta-heuristic for solving a case of no-wait two-stage flexible flow shop scheduling problem with unrelated parallel machines. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 71. 1229-1245.
- [20] Roa I., and Santos D. L. (2000). Flow shops with non-identical multiple processors: A study on makespan. *Proceedings of The 5 Annual International Conference on Industrial Engineerin, Theory, Applications and Practice*. Hsinchu, Taiwan.
- [21] Ross Phillip. J. (1989). *Taguchi techniques for quality engineering*. McGraw-Hill. USA.
- [22] Seraj O, and Tavakkoli-Moghaddam Reza. (2009). A tabu search method for a new bi-objective open shop scheduling problem by a fuzzy multi-objective decision making approach. *International Journal of Engineering. Transactions A: Basics*. Vol. 22 No. 3. pp. 269-286.
- [23] Teekeng Wannaporn., and Thammano Arit. (2012). Modified genetic algorithm for flexible job-shop scheduling problems. *Procedia Computer Science*. 12. 122-128.
- [24] Tran Trung. Hieu., and Ng Kien. Ming. (2011). A water flow algorithm for flexible flow shop scheduling with intermediate buffers. *Journal of Scheduling* 14. 483-500.
- [25] M. Pinedo. (1995). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- [26] M. Pinedo., and X. Chao. (1999). *Operations Scheduling with Applications in Manufacturing and Services*. McGraw-Hill.
- [27] Mandana. Sakhaei, Reza Tavakkoli-Moghaddam, M. Bagheri, and B. Vatani. (2016). A Robust Optimization Approach for an Integrated Dynamic Cellular Manufacturing System and Production Planning with Unreliable Machines. *Applied Mathematical Modeling*. 40. 169-191.
- [28] Rooeinfar, R., Raissi, R., and Ghezavati, V. R. (2019). Stochastic flexible flow shop scheduling problem with limited buffers and fixed interval preventive maintenance: a hybrid approach of simulation and metaheuristic algorithms. *Simulation*, 509-528.
- [29] Z, Zeng., M, Hong., Y, Man., J, Li., Y, Zhang., and H, Liu. (2018). Multi-object Optimization of Flexible Fow Shop Scheduling with Batch Process Considering Total Electricity Consumption and Material Wastage. *Journal of Clean Production*, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.224.