فاطمه جلیلی ـ کارشناس‌ارشد مدیریت تولید: fatimajalili@yahoo.com
محسن قانون ـ کارشناس‌ارشد مدیریت تولید: mohsenghanoon@yahoo.com
محمد داوود عسگری ـ کارشناس‌ارشد مهندسی صنایع: md.asgari@gmail.com

کاربرد روش شبیه‌سازی در مطالعه تأثیر موجودی میان‌فرایندی (WIP)

نگاهی به کل مطلب

بهره‌گیری، کنترل و بهبود عملکرد فرایندهای تولیدی، منوط به حصول شناختی عمیق از روابط موجود در قالب کمیت‌های قابل سنجش و تحلیل رفتار عناصر سازنده سیستم می‌باشد. در این زمینه، شبیه‌سازی سیستم‌ها از جمله ابزارهایی است که امکان مطالعه انواع سیستم‌ها را فراهم می‌سازد و به این ترتیب می‌توان به منظور شناخت عمیق‌تر از نحوه عملکرد و رفتار سیستم و نیز طراحی سیاست‌های بهبودیافته، پیامدهای روابط میان عناصر و راهبردهای جاری در مدل را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. عدم به کارگیری فرایندی پویا در برنامه‌ریزی تدارک و تغذیه خطوط، موجب افزایش حمل و نقل‌های درون‌کارگاهی و افزایش کالای در حین فرایند (WIP) خواهد شد؛ این دو از عوامل هزینه‌ساز تولید بوده و تأثیر به سزایی در بهای تمام شده محصولات دارند.

۱- مقدمه

هدف این مقاله عبارت است از مطالعه و تحلیل گردش فرایند عملیات در صنعت ساخت لوله‌های انتقال نفت و گاز به روش درزجوش مارپیچی(Spiral)، از دیدگاه تأثیر سطوح موجودی در جریان (مواد و محصول) برگردش فرایند.

در زمینه مطالعه و تحلیل فرایند تولید، ضمن شناسایی کلیه ایستگاه‌های کاری از نظر توالی منطقی کار، نرخ استاندارد تولید و نرخ پذیرش مواد، درصد ضایعات هر ایستگاه و نرخ دوباره‌کاری در کلیه ایستگاه‌ها (اعم از ایستگاه‌های تولیدی یا کنترل کیفی) تعیین می‌شود؛ همچنین مشخصه‌های عددی بافرهای فرایند از نظر ظرفیت انبارش با توجه به تنوع محصولات قابل تولید (دو اندازه محصول نمونه)، برآورد شده و ضمن محاسبه گنجایش انبارها، توان بارگیری و حمل خودروهای مسؤول انتقال مواد و محصول نیز در مدل لحاظ شده است.

مهم‌ترین نتایج مورد انتظار از مدل مذکور عبارت است از: ۱. تعیین گلوگاه فرایند در ازای اندازه‌های مختلف محصول؛

۲. محاسبه تغییرات سطوح موجودی بافرهای فرایند و برآورد زمان‌های بحرانی از لحاظ انباشتگی محصول در جریان (WIP)

۳. برآورد زمان ماند (توقف) موجودی در بافرهای میان‌فرایندی و تعیین روند صعودی یا نزولی زمان مذکور در طول دوره شبیه‌سازی؛

۴. تعیین حداکثر ظرفیت قابل انتظار در طول دوره شبیه‌سازی؛

۵. برآورد حد مطلوب ظرفیت بافرها، در صورت تمایل برای ایجاد سیالیت فرایند.

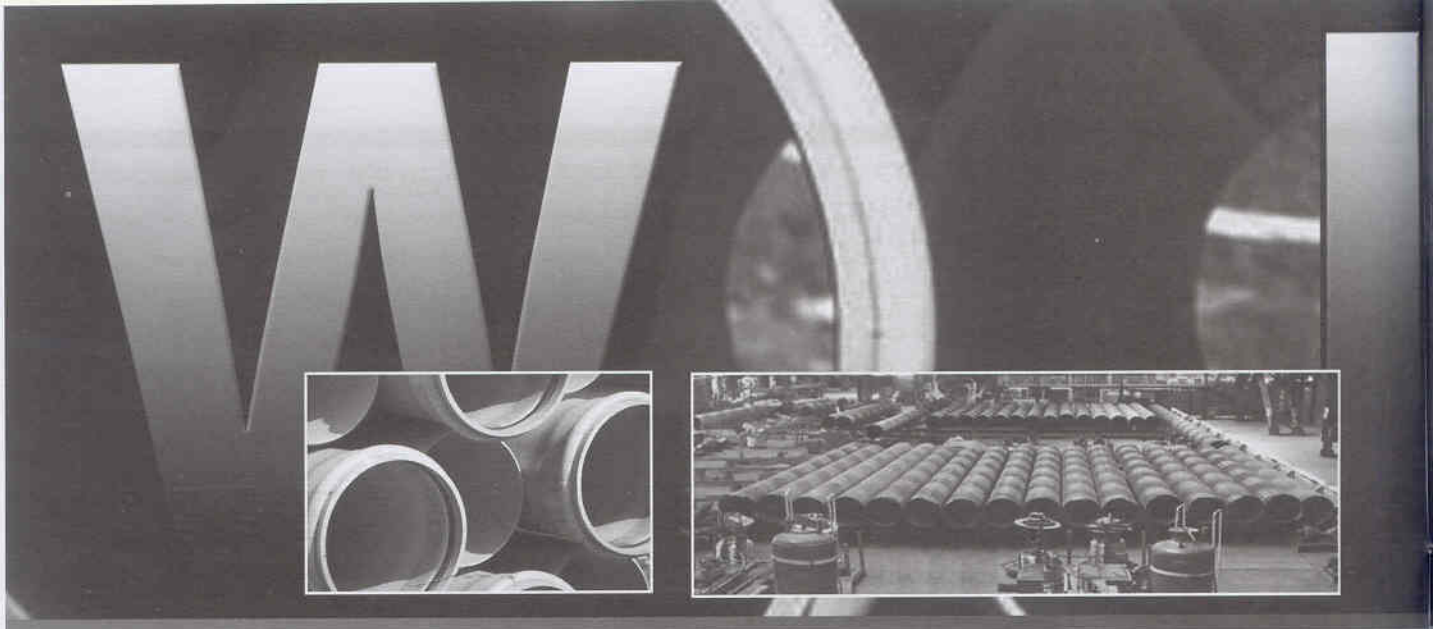
در نهایت به کمک مدل مورد بحث، امکان ایجاد روشی نظام‌مند برای اخذ تصمیمات مدیریتی در حیطه مدیریت عملیات با پشتوانه تحلیل‌های عددی و آنالیزهای آماری فراهم می‌شود.

۲- ادبیات تحقیق

امروزه مؤسسات، مشاغل، فناوری‌ها و ارتباطات، به سوی پیچیده شدن پیش می‌روند. پیچیدگی سیستم‌ها که به دنبال خود مسائل و مشکلات زیادی را برای فرایند تصمیم‌گیری، هدایت و کنترل آنها به وجود آورده، نیازمند افزایش توانمندی‌ها جهت مواجهه با مشکلات می‌باشد.

برای ثبت و بررسی عملکرد سیستم‌ها، باید دانشی به کار گرفته شود که با نگرش سیستمی مشکلات را شناسایی کرده و در جهت حل آنها به بهترین شکل، عمل کند. تفکر سیستمی، ابزار ضروری و مناسب برای شناسایی و تصویرسازی پیچیدگی سیستم‌ها و کمک به تصمیم‌گیری برای حل این پیچیدگی‌هاست. تفکر سیستمی بر چگونگی کنش میان عناصر مورد مطالعه و دیگر اجزای سیستم متمرکز است (مجموعه‌ای از عناصر که جهت تولید محصول با یکدیگر در تقابلند)؛ بدین معنا که به جای مطالعه بخش‌های کوچک جداگانه یک سیستم، به منظور بسط چشم‌انداز و دخیل کردن تعداد بیشتری از مراحل در مقوله مورد مطالعه، تلاش می‌کند تا برخی مواقع نتایج متفاوت و قابل توجهی را نسبت به نتایج حاصل شده از تحلیل سنتی به دست آورد، بخصوص زمانی که زمینه مورد مطالعه ماهیتاً پیچیده بوده و یا از دیگر منابع داخلی یا خارجی، بازخورد عمیقی داشته باشد.

برای تجزیه و تحلیل و برنامه‌ریزی علمی سیستم‌ها، روش‌های متعددی موجود است که یکی از قوی‌ترین و مؤثرترین آنها،شبیه‌سازی کامپیوتری می‌باشد. شبیه‌سازی روشی سریع، کم‌خرج و نسبتاً دقیق برای تجزیه و تحلیل و بهسازی سیستم‌های آموزشی، خدماتی، تولیدی، کنترلی، حمل و نقل و نظامی است. با این روش می‌توان در هر یک از مراحل طرح، راه‌اندازی و عمل یک سیستم، امکان تصمیم‌گیری‌های مستند علمی را فراهم ساخت.



بررفتار عناصر خط تولید لوله به روش درزجوش مارپیچی (Spiral)

شبیه‌سازی از جمله روش‌هایی است که برای بررسی وضعیت کنونی سیستم، بهبود عملکرد و غلبه بر ناتوانایی‌های سیستم، با تأکید بر مدلسازی و فرموله کردن مدل به وجود آمده است. به کمک فناوری شبیه‌سازی کامپیوتری، می‌توان پیامدهای اجرای سیاست‌های مدیریت را مورد مطالعه قرار داده و نتایج حاصل از آن را در شناخت عمیق‌تر از نحوه عملکرد و رفتار اجزای سیستم و نیز طراحی سیاست‌های بهبودیافته، به کار گرفت.

گام‌های اجرای روش شبیه‌سازی عبارتند از:

۱ـ تعریف دقیق مسأله و محدوده آن

۲ـ شناسایی نیازمندی‌های سازمان (علت تعریف مسأله)

۳ـ مطالعه محیط مدل شامل:

-فرایند و روال‌های کاری

-شناسایی عناصر کاری غالب در هر ایستگاه (تجهیزات تولید و ماشین‌آلات)

-محاسبه نرخ استاندارد زمانی هر عنصر و استانداردهای زمانی عملیات

-توابع آماری عناصر

- الگوی گردش عملیات تبادلات میان ایستگاه‌های کاری

- الگوی گردش مواد و محصول

- شناسایی بافرها و ظرفیت تخصیصی

۴ـ ساخت مدل کامپیوتری خط تولید و زیرسیستم‌های مربوطه

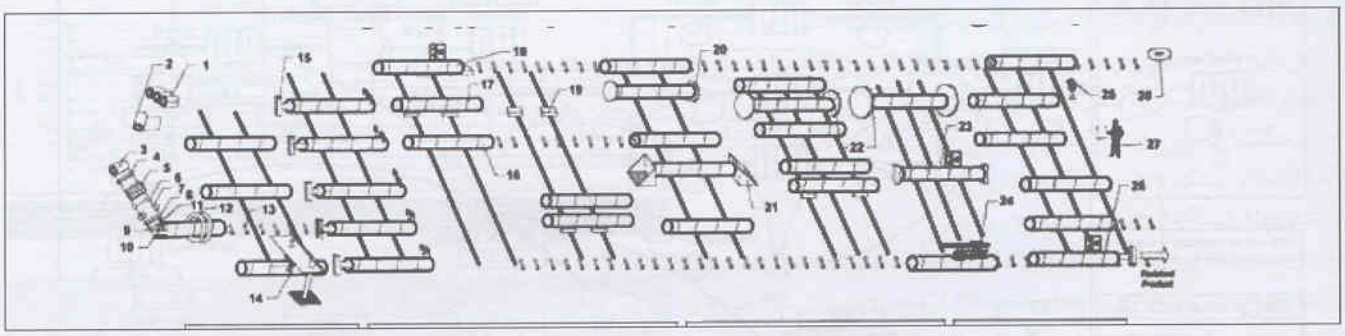
۵ـ اجرای مدل

۶ـ بررسی تحلیلی نتایج مدل و آنالیز حساسیت

۷ـ تعیین نقاط ضعف سیستم موجود و ارائه پیشنهاد جهت نقاط دارای قابلیت بهبود

۳- فرایند ساخت لوله به روش پیچشی

در فرایند تولید لوله‌های پیچشی(Spiral)، مواد وارده به انبار به صورت کویل‌های فولادی با استاندارد X70 و X65می‌باشد. کویل‌های مذکور بر اساس شماره شناسایی ویژه مندرج در برنامه تولید، توسط لیفتراک به خط تولید ارسال شده و در اولین ایستگاه فرایند



۱- انبار کویل	۹- پیش خم کن انتهای ورق کویل	۱۷- بازرسی چشمی داخل و خارج لوله	۲۵- فورین لوله
۲- آماده سازی کویل	۱۰- سیستم فورمینگ لوله	۱۸- بازرسی نست غیرمخرب لوله به روش فلوروسنتوین	۲۶- تست اشعه ایکس نهایی
۳- کویل بار کن	۱۱- جوش خواهت پوشیده داخل در درز جوش لوله	۱۹- اصلاح و تکمیل لوله	۲۷- بازرسی نهایی
۴- متحرک کمکی	۱۲- برش لوله در وسط پلاسما	۲۰- کالیبر دو سر لوله	۲۸- مارکینگ
۵- صاف کن	۱۳- آماده سازی لوله قبل از جوش	۲۱- تست فشار هیدرواستاتیک	
۶- اتصال لوله ورق کویل	۱۴- جوش عرضی لوله	۲۲- پخ زنی دو سر لوله	
۷- آماده سازی لبه های ورق کویل	۱۵- جوش درپوشیدی داخل و خارج لوله	۲۳- تست اشعه ایکس دو سر لوله	
۸- متحرک کمکی	۱۶- تمیز کاری داخل لوله	۲۴- تست اولتراسونیک	

(RSA)، عملیات شکل‌دهی لوله (Forming) به کمک جوش واپر صورت می‌گیرد. در این ایستگاه، لوله‌هایی با قطر ۵۰۰میلیمتر الی ۲۰۰۰میلیمتر به روش اسپیرال (پیچشی) تولید می‌شود (مهم‌ترین خصوصیت این روش، امکان تولید انواع لوله با طول و قطرهای متنوع می‌باشد) و در ادامه فرایند، سایر عملیات تکمیلی از جمله جوش زیرپودری(UP)، تمیزکاری داخل لوله، بازدید چشمی، هیدروتست، پخ‌زنی و انواع تست‌های اولتراسونیک (ZF8 , ZF9 , ZF12) انجام می‌شود؛ ضمناً در کلیه ایستگاه‌های تولیدی، عملیات بازرسی در جریان بوده و بر اساس نتایج بازرسی، در زمینه انتقال محصول به ایستگاه بعدی و یا ایستگاه‌های قبلی (تعیین‌کننده نرخ دوباره‌کاری) تصمیم‌گیری صورت می‌پذیرد. به دلیل انتقال کلیه محصولات تولیدی از هر ایستگاه کاری به بافر قبل از ایستگاه بعدی، انباشتگی بافرهای میان‌فرایندی موجب پیوستگی و عدم‌انفصال فرایند می‌شود. از دیگر عوامل مؤثر، حمل محصولات از انتهای خط تولید به انبار است که به دلیل محدودیت فضای انبارش و همچنین ضرورت رعایت تفکیک در چیدمان محصولات مختلف، مواجهه با تراکم انبارش و در نتیجه توقف یکی یا کلیه ایستگاه‌های کاری خط تولید دور از ذهن نیست.

۴- برنامه‌ریزی تولید

برنامه‌ریزی تولید در صنعت اسپیرال، متأثر از وضعیت سفارش‌های قطعی و نیز سهم قابل جذب از کشش بازار در هر مقطع از برنامه‌ریزی بوده و لذا در عمل، ترکیبی از محصولات مختلف و متنوع در دستور کار تولید قرار می‌گیرد. به دلیل وجود تنوع در ظرفیت بافرها، زمان‌های خدمت‌دهی، تعداد ایستگاه‌های کاری در جریان تولید، زمان‌های ورود و خروج به سیستم‌های صف، میانگین زمان هر سفارش و زمان انتظار در صف در اندازه‌های مختلف تولیدی، نیازمند تمهیداتی می‌باشیم تا از بروز تراکم و اختلال در گردش کار جلوگیری به عمل آید. همچنین ضروری است که قبل از اخذ هر سفارش، ضمن تعیین مشخصه‌های کارکردی عناصر (از جمله تغییرات سطح موجودی در ازای تولید هر نوع محصول) و انجام آنالیز حساسیت برای هر عنصر، تغییرات در وضعیت سیستم (مانند وقوع نقص در یک یا چند عنصر) و یا بروز شرایط غیرمعمول (مانند افزایش بیش از حد اقلام وارده به فرایند و یا تکمیل ظرفیت بافرها)، رفتارها و مشکلات احتمالی را پیش‌بینی نموده و برای مواجهه با این مشکلات، برنامه‌ریزی مناسبی طرح‌ریزی شود.

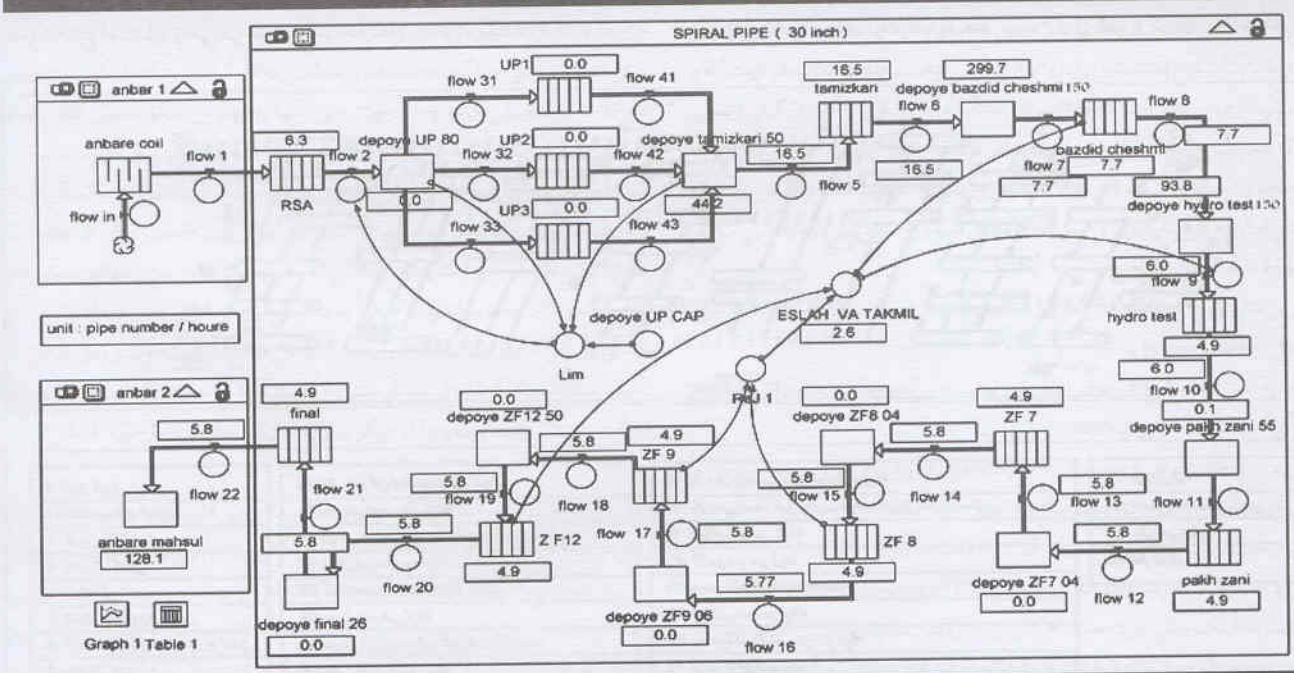
۵- شاخص‌های مورد بررسی

در این تحقیق:

- از شبیه‌سازی کامپیوتری برای شناسایی گلوگاه‌های تولیدی و اندازه‌گیری میانگین زمان‌های عملیات، زمان‌های انتظار در صف و موجودی میان‌فرایندی (WIP) استفاده

نوع محصول	بافر ایستگاه جوش زیرپودری UP	بافر ایستگاه تمیزکاری	بافر ایستگاه بازدید چشمی	بافر ایستگاه هیدروتست	بافر ایستگاه پخ زنی	بافر ایستگاه تست ZF7	بافر ایستگاه تست ZF8	بافر ایستگاه تست ZF9	بافر ایستگاه تست ZF12	بافر ایستگاه بازرسی نهایی
محصول ۳۰ اینچ	۸۰	۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۵۵	۴	۴	۶	۵۰	۲۶
محصول ۳۶ اینچ	۵۰	۳۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۵	۲	۲	۴	۳۰	۱۵

اندازه ظرفیت بافرها با توجه به محصول تولیدی



مدل گرافیکی شبیه‌سازی فرایند

شده است. همچنین اندازه بافرها، موقعیت گلوگاه‌ها، زمان عملیات، زمان انتظار در صف و نرخ‌های خدمت‌دهی، توابع توزیع داده‌ها و نوبت‌های کاری، متغیرهای کنترل‌شده‌ای در تحقیق بودند که تأثیر قابل ملاحظه‌ای در عملکرد سیستم داشتند.

- زمان هر چرخه کاری با در نظر گرفتن زمان‌های توقف مجاز (شروع یا تعویض نوبت‌کاری، صرف غذا و زمان صرف چای) در دو نوبت بلندمدت معادل ۲۱ ساعت در نظر گرفته شده است.
- زمان پردازش و خدمت‌دهی هر اندازه محصول در هر ایستگاه، به لحاظ قابلیت ایستگاه‌ها ثابت است، ولی زمان خدمت‌دهی ایستگاه‌ها در طول فرایند متفاوت می‌باشد.
- مدت زمان اجرای شبیه‌سازی ۱۰ روزکاری ۲۱ ساعته است؛ ضمناً در این مقاله، نتایج شبیه‌سازی رفتار عناصر فرایند برای دو محصول نمونه ۳۰ و ۳۶ اینچ نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- از نظر فیزیکی، ظرفیت معینی برای اندازه Max صف وجود دارد که می‌تواند به عنوان وضعیت‌های صف محدود مورد بررسی قرار گیرد. در این مدل، WIP به وسیله جمع ورودی‌ها به هر سیستم صف، اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به حجم محدود بافرها، اندازه بافر برای محصولات مختلف در ایستگاه‌های تولیدی متفاوت می‌باشد؛ لذا نمونه اندازه بافرها برای دو محصول مورد نظر مطابق جدول زیر می‌باشد:

۶- مدل مکانیزه شبیه‌سازی گردش عملیات

در زمینه ایجاد مدل مکانیزه فرایند تولید، پس از مطالعات اولیه، Layout(چیدمان) خط تولید، شامل عناصر کاری مدل (ایستگاه‌های کاری و ماشین‌آلات خط تولید)، ارتباطات میان‌فرایندی، دپوها و بافرها، حمل و نقل‌ها و سایر وقایع مؤثر بر گردش فرایند، در مدل کامپیوتری لحاظ شد. لازم به ذکر است که در فرایند مورد نظر، در هر ایستگاه، عملیاتی خاص بر روی هر واحد از محصول انجام می‌شود؛ در نتیجه، در هر زمان تنها یک محصول در هر ایستگاه مورد پردازش قرار می‌گیرد.

عناصر لحاظ شده در مدل به ترتیب درج در مدل، عبارتند از عنصر Input flow(مواد وارده به کارخانه) تا عنصر Output flow(محصول وارده به انبار محصول).

کلیه عناصر مندرج در مدل مکانیزه، در قالب چهار مفهوم Reservior , conveyor , Flow و Auxiliary ایجاد شده‌اند و مقادیر عددی مرتبط با هر عنصر، به طور مجزا در آن درج و ارتباطات میان عناصر تعریف شده است. به این ترتیب مدل شبیه‌سازی، از توانایی نمایش تغییرات سطح موجودی و تأثیر آن بر رفتار عناصر فرایند برخوردار است.

در این مدل، تعداد ۱۴ ایستگاه کاری و ۱۰ بافر برای نگهداری موجودی‌های میان‌فرایندی که صف انتظار قبل از هر ماشین را ایجاد می‌کند، لحاظ شده است؛ ضمناً حداکثر زمان تحویل اولین واحد محصول تولیدی در هر قرارداد، ده روز در نظر گرفته شده است.

به استناد اطلاعات میدانی دریافتی از خط تولید:

۱۵٪ از محصولات عبوری از ایستگاه بازدید چشمی به ایستگاه اصلاح و تکمیل،

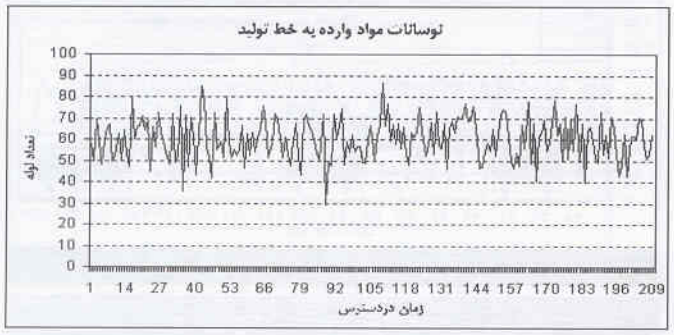
۰/۱٪ لوله‌ها از ایستگاه ZF8 به ایستگاه اصلاح و تکمیل،

۰/۱٪ لوله‌ها از ایستگاه ZF9 به ایستگاه اصلاح و تکمیل،

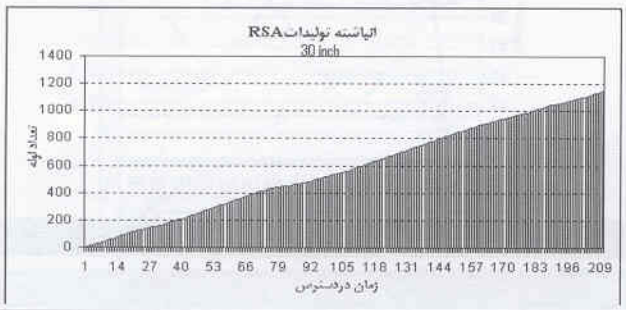
۱۰٪ از محصولات از ایستگاه ZF12 به ایستگاه اصلاح و تکمیل و در نهایت به بافر ایستگاه هیدروتست مرجوع می‌شوند (جمعاً ۲۵/۲٪ از محصولات به ایستگاه اصلاح و تکمیل منتقل می‌شوند). در این مدل، دوباره‌کاری‌ها و برگشت به عقب‌ها، تحت عنصر Auxiliary لحاظ شده‌اند.

۷-تحلیل نتایج شبیه‌سازی رفتار عناصر فرایند برای محصولات نمونه ۳۰ اینچ و ۳۶ اینچ

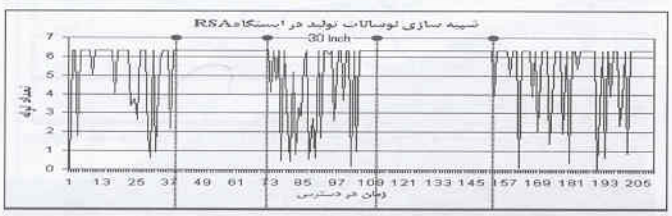
در این مطالعه، با تکیه بر ارتباط دوسویه بین عملکرد ماشین‌آلات مستقر در ایستگاه‌های کاری و سطح موجودی بافرهای هر ایستگاه که متأثر از رفتار یکدیگرند، به شبیه‌سازی مهم‌ترین عناصر فرایند، در قالب تحلیل تغییرات سطوح موجودی در جریان برای دو



نمودار(۱)

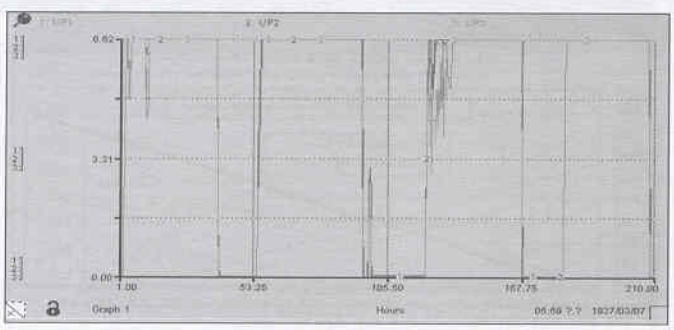


نمودار(۲)



نمودار(۳)

نمودار(۴)



نمودار(۵)

محصول نمونه ۳۰ اینچ و ۳۶ اینچ اقدام شد (طی بندهای ۷.۷ الی ۷.۷)؛ همچنین برای جریان مواد وارده به مدل، بر اساس زمان‌های بارگذاری مواد اولیه بر روی ایستگاه RSA، مطالعات آماری مرتبط با تعیین حدود طبقات فواصل بارگذاری، انجام شده و ضمن محاسبه درصدهای هر یک از فراوانی‌ها، از طریق روش آزمون فرض، تابع توزیع احتمال زمان‌های بارگذاری مواد اولیه برآورد شده است.

۷ـ ۱ـ عنصر ورودی مواد (جریان مواد وارده به سیستم)

عنصر input flow که در مدل مورد نظر به عنوان گره generat عمل می‌نماید، وظیفه ایجاد ورودی‌های سیستم را بر عهده دارد. بر اساس آزمون فرض انجام شده و تعیین تابع توزیع نرمال با میانگین معادل ۶۰ شاخه در ساعت برای مواد وارده توسط عنصر مذکور، این عنصر فارغ از ظرفیت پذیرش خط تولید، اقدام به پذیرش مواد اولیه از خارج کارخانه و تحویل آن به خط تولید می‌نماید. گراف تغییرات میزان مواد وارده به سیستم، مطابق نمودار (۱) می‌باشد:

همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود، بیشترین میزان مواد وارده به سیستم معادل ۸۵ شاخه و کمترین مقدار معادل ۳۰ شاخه قابل برآورد است.

۷ـ ۲ـ عناصر ایستگاهی UP و RSA

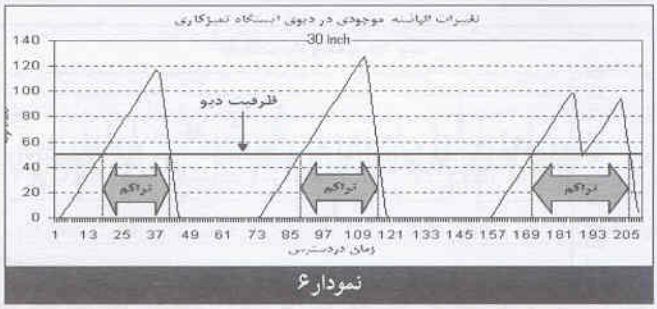
ایستگاه RSA(ایستگاه فرمینگ) در اندازه ۳۰ اینچ بر حسب ظرفیت پذیرش خود، به طور متوسط ۶/۳شاخه در ساعت از انبار مواد اولیه برداشت می‌کند. مطابق نمودار (۲)، آمار تجمعی تولیدات RSA طی مدت ده روز (روزانه ۲۱ ساعت کاری) معادل ۱۲۳۳شاخه بوده و روند نسبتاً پیوسته‌ای را دارا می‌باشد.

بر اساس نمودار شماره (۳) به دست آمده از عملکرد تولید ساعتی ایستگاه RSA، شاهد نوساناتی در سطح تولید در اندازه ۳۰ اینچ می‌باشیم. با توجه به اینکه عملکرد هر ایستگاه، متأثر از عناصر (ایستگاه‌های) قبل و بعد خود می‌باشد، افت‌های مشاهده شده در مدت‌زمان تولید در ایستگاه RSA، نمی‌تواند ناشی از ورودی مواد اولیه باشد؛ زیرا ورودی مواد از انبار، بیشتر از ظرفیت تولید RSA است. بالطبع تأثیرات ناشی از ایستگاه‌ها و گنجایش بافرهای بعدی، بالاخص بافر ایستگاه Up، سبب بروز این نوسانات شده است. لازم به ذکر است که رفتار عنصر بافر UP، نشان‌دهنده تغییرات سطح موجودی بافر بین ایستگاه‌های RSA و UP می‌باشد. طبق نمودار شماره (۴)، حداکثر ۴۰ شاخه از موجودی مواد نیمه‌ساخته در بافر باقی است که نظر به ظرفیت دپوی ۸۰ شاخه‌ای ایستگاه مذکور، اختلالی در گردش فرایند ایجاد نخواهد کرد.

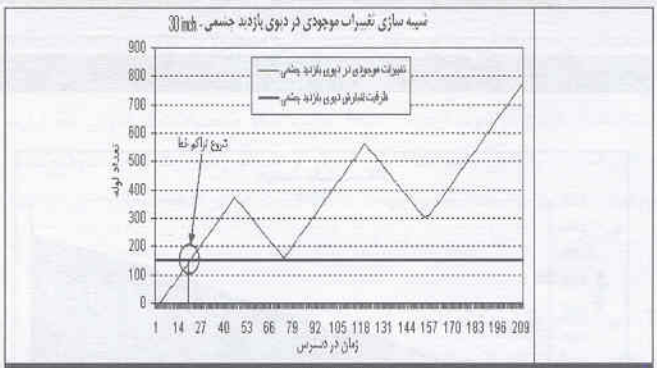
با انطباق نمودارهای ۳ و ۴ (تغییرات سطح موجودی در دپوی UP و نوسانات تولید RSA)، مشاهده می‌شود که در روزهای سوم و چهارم که موجودی دپوی UP به حداقل مقدار ممکن می‌رسد، تولید RSA در بیشترین حد ممکن قرار دارد و در طی روزهای پنجم و ششم که سطح موجودی دپوی UP دارای روند افزایشی است، میزان تولید ساعتی RSA به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد (حداکثر انباشتگی دپوی UP معادل حداقل کارکرد ایستگاه RSA و حداکثر کارکرد ایستگاه RSA در شرایط حداقل موجودی UP خواهد بود) و این امر مبین تأثیرات متقابل بافر مذکور بر ایستگاه قبل از خود می‌باشد که واکنش مناسب برنامه‌ریزان تولید قبل از وقوع توقف تولید را طلب می‌نماید.

هر یک از ایستگاه‌های UP(جوش زیرپودری) مطابق مدل گرافیکی شبیه‌سازی مندرج در بند ۶، با منطق صف سه کاناله و به طور موازی، از موجودی مواد بافر UP(متوسط ۶/۶شاخه در ساعت برای هر ایستگاه(UP برداشت نموده و ضمن تأثیرپذیری از موجودی مواد دپوی قبل از خود (نمودار شماره ۴)، در مدت‌زمان مشخصی اقدام به انجام عملیات جوش زیرپودری می‌نماید (نمودار شماره ۵).

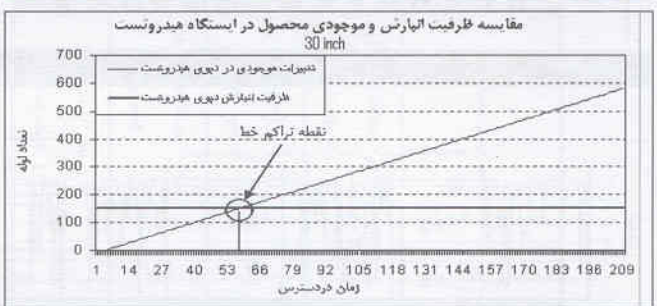
قابل ذکر است که نظر به ماهیت روش تولید در این صنعت، امکان جابه‌جایی لوله‌ها در بافرها به سهولت فراهم نمی‌باشد و نمی‌توان از ظرفیت سایر بافرها نیز بهره گرفت و از



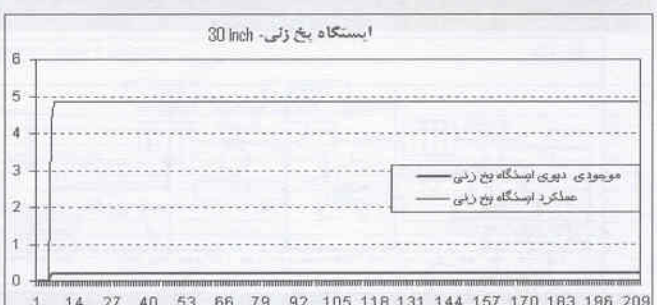
نمودار ۶



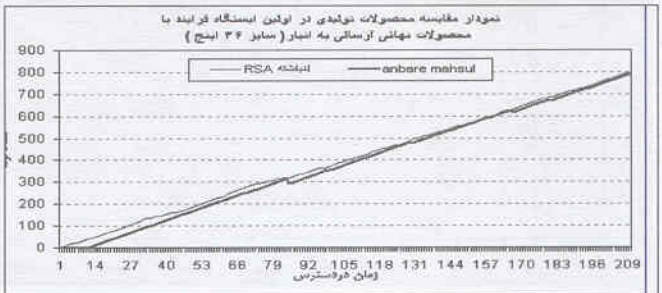
نمودار ۷ (۳۰اینچ)



نمودار ۸ (۳۰اینچ)



نمودار ۹ (۳۰اینچ)



نمودار ۱۱ (۳۰اینچ)

طرفی به دلیل حجم و وزن بالای محصولات، در صورت خالی بودن بخشی از یک بافر، به راحتی و در مدت‌زمان کوتاه امکان جابه‌جایی لوله‌ها فراهم نمی‌باشد؛ لذا به دلیل محدودیت در جابه‌جایی لوله‌ها، خالی بودن بخشی از یک بافر الزاماً به منزله امکان تکمیل ظرفیت آن نیست.

مطابق نمودار (۵)، افت‌های تولید ایستگاه‌های UP در زمان‌های مندرج در نمودار، ناشی از کمبود موجودی در دپوی قبل از ایستگاه مذکور می‌باشد. مشابه توضیحات قبلی، کمبود مواد نیمه‌ساخته نیز ناشی از تأثیرات متقابل ایستگاه‌های RSA و دپوی UP است. همچنین در اندازه ۳۶ اینچ (نمودار۱۲)، علی‌رغم بروز نوسان، توقفی در خطوط UP مشاهده نمی‌شود.

۷-۳- عنصر ایستگاهی تمیزکاری

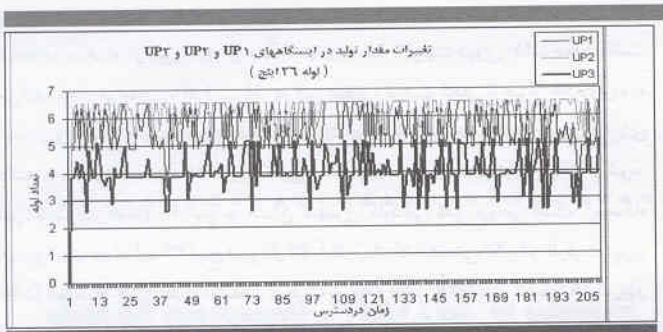
عنصر بافر ایستگاه تمیزکاری(tamizkari) نشان‌دهنده تغییرات سطح موجودی بافر بین ایستگاه‌های UP و تمیزکاری است. این عنصر به دلیل تأثیرپذیری از رفتار سایر عناصر (مانند ظرفیت خط تولیدUP و تمیزکاری)، رسوبی از موجودی مواد نیمه‌ساخته در مدت‌زمان قابل پیش‌بینی در دپوی بافر باقی می‌گذارد. با توجه به ظرفیت ۵۰ شاخه‌ای بافر ایستگاه تمیزکاری و نرخ تولید ۱۶/۵شاخه در ساعت برای ایستگاه مذکور، اولین پیشامد تراکم خط، بعد از ۱۳ ساعت (نمودار شماره ۶) در فرایند تولید لوله ۳۰ اینچ به وقوع خواهد پیوست که این معضل به طور پریودیک ایجاد و برطرف می‌شود. لذا ضروری است که قبل از وقوع تراکم خط، نسبت به اعمال تمهیدات لازم در زمینه حداکثر بهره‌گیری از تراکم به وقوع پیوسته (به عنوان مثال، اجرای برنامه‌های تعمیراتی) و همچنین مواجهه با معضلات احتمالی، چاره‌اندیشی شود. لازم به یادآوری است که حدی از تراکم در زمینه کاهش احتمال توقفات ناشی از کمبود مواد در شرایط خرابی ایستگاه‌های قبلی قابل پذیرش می‌باشد. احتساب حدود بهینه تراکم خط (با در نظر گرفتن کمینگی WIP و احتمال خرابی ماشین‌آلات) در کلیه ایستگاه‌های کاری فرایند تولید اسپیرال، از زمینه‌های مطالعاتی ضروری در این صنعت است.

۷-۴- عنصر ایستگاهی بازدید چشمی

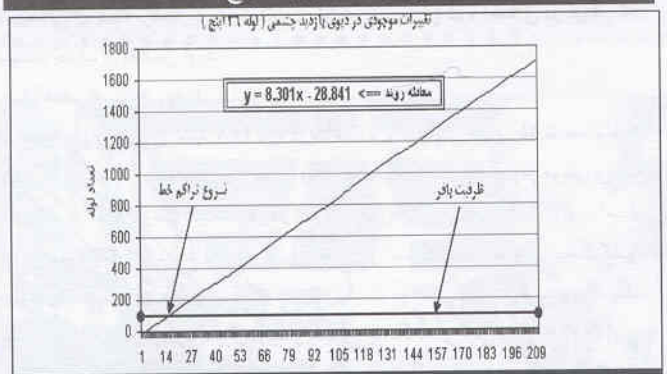
ایستگاه بازدید چشمی با توان خدمت‌دهی ۷/۷ لوله در ساعت و با گنجایش دپوی ۱۵۰ شاخه لوله ۳۰ اینچ، به عنوان یکی از ایستگاه‌های تراکم‌پذیر فرایند قابل بررسی است. با انطباق نمودارهای به دست آمده از دپوی بازدید چشمی و ایستگاه کاری بازدید چشمی (نمودار شماره ۷)، اولین پیشامد تراکم دپوی خط، بعد از ۲۰ ساعت از شروع زمان شبیه‌سازی به وقوع خواهد پیوست. در صورتی که در اندازه ۳۶ اینچ، ایستگاه مذکور با توان خدمت‌دهی ۶/۶۷ لوله در ساعت و گنجایش دپوی ۱۰۰ شاخه، اولین وقوع پیشامد تراکم دپو، بعد از ۱۴ ساعت (نمودار ۱۳) خواهد بود. با مقایسه دو نمودار ۷ و ۱۳ به این نتیجه می‌رسیم که در محصول ۳۶ اینچ، وقوع تراکم خط ۶ ساعت زودتر از زمان تراکم و توقف برای محصول ۳۰ اینچ خواهد بود که ضرورت تمهیدات پیشگیرانه را می‌طلبد.

۷-۵- عنصر ایستگاهی هیدروتست

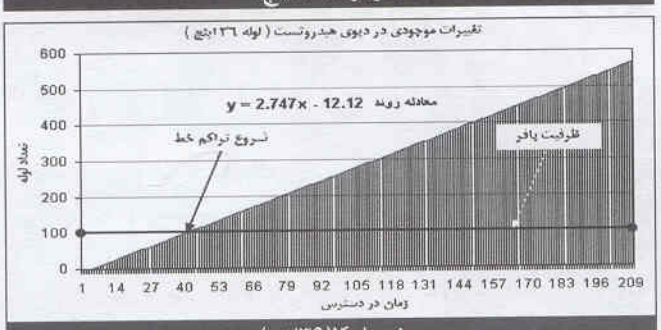
رفتار عنصر بافر ایستگاه هیدروتست (Depoye hydro) متأثر از تغییرات سطح موجودی بافر بین ایستگاه بازدید چشمی و ایستگاه هیدروتست است. این عنصر به دلیل تأثیرپذیری از عملکرد سایر عناصر، به عنوان یکی از حساس‌ترین عناصر فرایند تلقی می‌شود، به نحوی که در صورت عدم‌برنامه‌ریزی مناسب برای موجودی‌ها، امکان تبدیل آن به یک «عنصر گلوگاهی» وجود دارد. همان طور که در نمودار (۸) برای محصول ۳۰ اینچ مشاهده می‌شود، به علت محدودیت ظرفیت خط تولید، انباشتی از موجودی مواد نیمه‌ساخته در بافر باقی می‌ماند که به مرور و با شیب صعودی، امکان توقف ورود مواد جدید به سیستم و تکمیل ظرفیت بافر و اختلال در گردش کار فرایند را فراهم می‌آورد. ایستگاه هیدروتست در اندازه ۳۰ اینچ (نمودار۸) بر حسب ظرفیت خدمت‌دهی ۴/۸۷



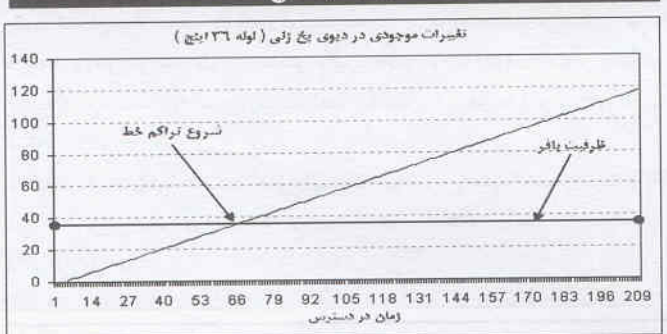
نمودار۱۲(محصول ۳۶ اینچ)



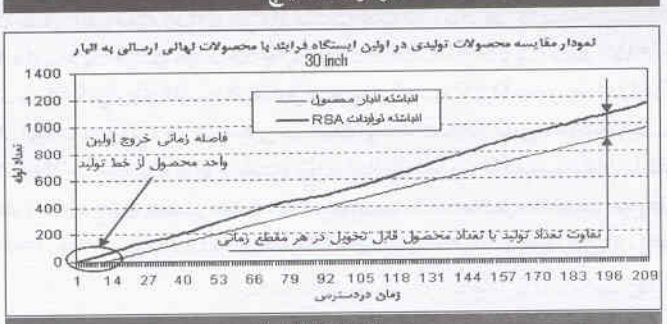
نمودار۱۳(۳۶اینچ)



نمودار۱۴(۳۶اینچ)



نمودار۱۵(۳۶اینچ)



نمودار۱۶ (۳۶اینچ)

شاخه در ساعت، از دپوی بافر ایستگاه هیدروتست (ظرفیت دپوی ۱۵۰شاخه) برداشت می‌کند. سطح موجودی و ظرفیت بافر در این عنصر، تبعیت کاملی از میزان اقلام وارده به سیستم و عملکرد ایستگاه‌های قبلی دارد. لذا صف انتظار خدمت‌دهی روند صعودی داشته و بعد از ۵۸ساعت (۲/۸۱روز کاری ۲۱ ساعته) به سقف ظرفیت خود بالغ می‌شود. این عنصر در اندازه ۳۰ اینچ به عنوان عنصری گلوگاهی قابل بررسی است. ایستگاه هیدروتست در اندازه ۳۶ اینچ (نمودار ۱۴) با ظرفیت خدمت‌دهی ۴/۹۲ و ظرفیت دپوی ۱۰۰ شاخه بعد از ۳۸ ساعت به سقف ظرفیت خود می‌رسد. لذا سیستم تولیدی مذکور در اندازه ۳۰ اینچ، ۲/۸ روز و در اندازه ۳۶ به میزان ۲ روز فرصت دارد تا با به کارگیری تمهیداتی از جمله برنامه‌ریزی و زمانبندی تولید، از بروز تراکم و اختلال در گردش کار سیستم جلوگیری به عمل آورد.

۷ـ۶ـ عنصر ایستگاهی پخ‌زنی

ایستگاه پخ‌زنی با توان تولید ۴/۸ لوله در ساعت و با گنجایش دپوی ۵۵ شاخه لوله ۳۰ اینچ، دارای تولید یکنواختی در طول زمان شبیه‌سازی است. سطوح موجودی این ایستگاه، بر اساس زمان شبیه‌سازی در نمودار شماره (۹) به سادگی قابل برآورد است. انطباق نمودارهای به دست آمده از دپوی پخ‌زنی و ایستگاه تولید پخ‌زنی، بیانگرکمبود مواد در دسترس در دپوی ایستگاه پخ‌زنی نسبت به ظرفیت عملیاتی این ایستگاه می‌باشد. لذا ایستگاه پخ‌زنی، توان تولید و پذیرش ایستگاه‌های قبلی را در اندازه ۳۰ اینچ، تحت تأثیر قرار نمی‌دهد، در صورتی که در صورت کار بر روی محصول ۳۶ اینچ (نمودار ۱۵) با توان تولید ۴/۳۵ لوله در ساعت و ظرفیت دپوی ۳۵ شاخه، پس از گذشت ۶۰ ساعت (دومین روز کاری)، به سقف ظرفیت خود می‌رسد؛ لذا این عنصر در اندازه ۳۶ به عنوان عنصر گلوگاهی قابل بررسی است.

۷ـ۷ـ مقایسه ظرفیت ورودی و خروجی مدل شبیه‌سازی

در فرایند مورد مطالعه، به دلیل طولانی بودن زمان فرایند، طول مدت قابل پیش‌بینی جهت عبور و خروج کلیه محصولات از خط تولید وجود دارد، به نحوی که در طی دوره ده روزه شبیه‌سازی برای اندازه ۳۰ اینچ، مواد وارده به مدل معادل ۱۲۳۳ شاخه و محصول خروجی ۹۲۰ شاخه محاسبه شده است. همچنین در اندازه ۳۶ اینچ نیز مواد وارده به میزان ۷۹۶ شاخه و محصولات خروجی از خط تولید معادل ۷۸۹ شاخه خواهد بود. لازم به ذکر است که اولاً تفاوت مقادیر وارده و صادره برای هر دو محصول، مربوط به موجودی محصول نیمه‌ساخته میان‌فرایندی است و ثانیاً به کمک روش‌های برنامه‌ریزی تولید، از جمله روش‌های زمانبندی و بارگذاری، امکان کاهش فاصله متحنی‌های مندرج در هر یک از دو نمودار ۱۱ و ۱۶ وجود خواهد داشت.

بر اساس تحلیل‌های فوق، در فرایند مورد مطالعه، از لحاظ قابلیت تبدیل عنصر به گلوگاه، در اندازه ۳۰ اینچ حساس‌ترین عنصر سیستم مربوط به ایستگاه هیدروتست می‌باشد؛ در اندازه ۳۶ اینچ نیز عنصر پخ‌زنی بیشترین استعداد تبدیل به گلوگاه را داراست.

نتایج

در مقاله حاضر، به دلیل اهمیت تأثیر رفتار هر یک از عناصر تشکیل دهنده سیستم بر نحوه گردش عملیات در یک سیستم پیوسته و پویای تولیدی، عناصر سیستم شبیه‌سازی شد تا با دستیابی به مؤلفه‌های عددی مربوط به هر عنصر، شرایط تحلیل رفتار سیستم به عنوان ابزاری برای مواجهه با پیشامدهای احتمالی، از جمله بروز نقص در بعضی از تجهیزات، موجودی مازاد بر ظرفیت، تبدیل بعضی از عناصر به عنصر گلوگاهی و غیره فراهم شود. در این زمینه، به ساخت مدل کامپیوتری سیستم گردش عملیات در فرایند تولید لوله به روش اسپیرال اقدام نموده و ضمن اجرای مدل مکانیزه، خروجی‌های حاصله مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. با مطالعه نمودارهای به دست آمده برای محصولات نمونه اندازه ۳۰ و ۳۶ اینچ، سطوح موجودی بر اساس زمان شبیه‌سازی به سهولت قابل برآورد است؛ لذا برنامه‌ریزان سازمان می‌توانند با توجه به افق برنامه‌ریزی، نسبت به برآورد فضای مورد نیاز جهت انبارش مواد نیمه‌ساخته اقدام نمایند. همچنین به موازات نتایج شبیه‌سازی، می‌توان با بررسی معادلات به دست آمده از ظرفیت‌های تولیدی و انطباق نمودارهای سطوح موجودی، زمان‌های اوج کاری (حداکثر درگیری ماشین‌آلات) و توقف عناصر ایستگاهی، به پیش‌بینی دقیق‌تری از تغییرات سطح موجودی دست یافت. لازم به ذکر است که بر اساس نتایج مطالعه فوق، در صورت عدم‌تغییر و انعطاف در زمان‌ها و نوبت‌های کاری، احتمال بروز مشکلات عمده‌ای در زمینه حداکثر بهره‌گیری از تجهیزات فرایند وجود خواهد داشت.

ضمناً با تکیه بر نتایج حاصله از مدل، ایستگاه‌های بازرسی چشمی، هیدروتست و پخ‌زنی، ایستگاه‌هایی هستند که بالقوه قابلیت تبدیل شدن به ایستگاه‌های گلوگاهی را دارا می‌باشند؛ بر این اساس در اندازه ۳۰ اینچ، ایستگاه هیدروتست و در اندازه ۳۶ اینچ ایستگاه پخ‌زنی به عنوان نخستین گلوگاه‌های فرایند عمل نموده و خروجی کل خط تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

فهرست منابع

۱ـ حمیدی زاده، محمد رضا؛ پویایی‌های سیستم؛ چاپ اول، مرکز نشر دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۷۹

۲ـ قبادی، شهلا؛ سیستم دینامیک؛ چاپ اول، انتشارات سازمان مدیریت صنعتی، ۱۳۸۵

۳ـ جری بنکس و جان کارسن؛ شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته ــ پیشامد؛ موسسه انتشارات علمی دانشگاه شریف، ۱۳۷۶

۴ـ رابرت شانون؛ علم و هنر شبیه‌سازی سیستم‌ها؛ موسسه انتشارات علمی دانشگاه شریف، ۱۳۷۱

۵ـ رونالد جی. اسکین و چارلز ار. استندریج؛ مدلسازی و تجزیه و تحلیل سیستم‌های ساخت و تولید؛ قاسم مصلحی و بهروز نصر آزادانی، چاپ اول، انتشارات ارکان، ۱۳۸۰

- Michael Pidd , Computer Simulation in Management Science , Fifth Sdition , Johon Wiley & son, Ltd6

-Sushil , System Dynamics A Practical Approch for Managerial Problems , Wiley , 19937