ارزیابی تأثیر پارامترهای کنترل تولید در عملکرد سیستم تولید بهنگام (*JIT*) با استفاده از روش شبیه سازی

حسین قدرتی عباسی[1]، سید محمد معطرحسینی[2] و عباس سیفی

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی اثر تغییر پارامترهای کنترل تولید در عملکرد سیستم تولید JIT است. پارامترهای مورد نظر ما عمدتاً شامل مقدار و زمان‌های مربوط به ورود تقاضای مشتری و تحویل آن، سفارش و تحویل مواد، و سیکل زمانی تولید بوده است. همچنین میزان معیوبی و نوسان زمان پردازش و تأخیرات در سیستم مدنظر قرار گرفته است. به منظور بررسی رفتار یک خط تولید در محیط JIT ، با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی یک حلقه از یک خط تولید را مدلسازی نموده‌ایم. این مدل با استفاده از بسته نرم افزاری Arena 3.0 ایجاد شده و با استفاده از آن تأثیر تغییر در پارامترهای سیستم بر خروجی آن ارزیابی شده است. علاوه بر اثر مستقل تغییرات پارامترهای مذکور در مواردی اثر ترکیبی آنها نیز بررسی شده است. همچنین مطالعه‌ای در خصوص رفتار دو حلقه انجام یافته است. نتایج این تحقیق که با جزئیات بیشتر در مقاله ارائه شده است، اهمیت نسبی تغییر هر یک از پارامترها در عملکرد سیستم و در مواردی اثر ترکیبی آنها را تشریح می‌کند.

کلمات کلیدی:

تولید بهنگام، مدیریت تولید، سیاست‌های تولید، شبیه‌سازی

Evaluation of the impacts of production control parameters on the performance of a JIT production system

ABSTRACT

The main objective of this paper is to evaluate the impact of variations of demand and control parameters on the performance of a Just-In-Time (JIT) production system. Demand parameters considered in this work include the mean time between customers' order arrivals and the mean demand quantity. The control parameters are the mean and variance of delivery lead time, processing time, order batch size and supply lead time. To simplify the analysis, we consider a single chain of customer-manufacturer-supplier in a typical JIT production environment. This approach provides the capability of linking as many chains as needed to model a real situation. The proposed model has been implemented on Arena 3.0 real time simulation environment. By varying the values of system parameters a large number of simulation experiments have been conducted. The results indicate the sensitivity of the proposed model to the defined system parameters. The model has been extended to include two production cells, which has been analyzed using the same simulation method.

KEYWORDS

Just-In-Time, JIT, Production management, Production policies, Simulation

---

۱ کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع ـ دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۲ عضو هیئت علمی (دانشیار)دانشکده مهندسی صنایع ـ دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۱- مقدمه

ویژگی‌های محیط جدید تولید، همچون افزایش تنوع محصولات به دلیل تنوع تقاضای مشتری و کاهش شدید چرخهٔ حیات محصول، سازندگان را وادار به رقابت تنگاتنگ با یکدیگر در عرصهٔ تولید ساخته است. این امر موجب تحقیقات بسیاری در جهت توسعهٔ روش‌های تولید، برای دستیابی به کنترل بیشتر پارامترهای تولید مانند خروجی، سرعت پاسخگویی و میزان موجودی در جریان ساخت، شده است.

تولید بهنگام[۱] (JIT)، که به عنوان یک فلسفه و نظام تولید در دهه ۱۹۷۰ معرفی شد، در طی چند دهه اخیر بسیار مورد توجه مراکز علمی و صنعتی قرار گرفته است [۱]. این نظام تولید دربردارندهٔ تعهد مداوم در ارتقای قابلیت‌ها و حذف ضایعات و بهبود در کلیهٔ مراحل طراحی و عملیاتی سیستم‌های تولیدی است. در این رویکرد، جریان مواد اصولاً به شکل کششی[۲] است و به منظور سفارش گذاری و کنترل جریان مواد اغلب از ابزاری بنام کانبان استفاده می‌شود.

۲- مرورتحقیقات انجام شده

با توجه به اهمیت سیستم‌های تولید مبتنی بر JIT و حساسیت عملکرد این سیستم‌ها نسبت به عوامل و پارامترهای تولید، تحقیقات زیادی در این خصوص انجام یافته است. بخش کثیری از تحقیقات به مدل سازی ریاضی موضوع پرداخته اند [۲] و بعضی مقالات اخیر به مدل سازی ویژگی های خاص آن مانند انعطاف پذیری سیستم JIT [۳] تمرکز داشته اند. بخشی دیگری از تحقیقات از روشهای شبیه سازی استفاده نموده اند که در ادامه مروری به اجمال بر آنها داریم.

بیکک و ایرال[۳] [٤]، یک سیستم JIT دارای دو محصول را مدلسازی نموده‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد که در شرایط متغیر بودن پارامترهای ورودی تولید، افزایش تعداد کانبان (میزان موجودی) نرخ خروجی را بهبود می‌بخشد. همچنین افزایش ضریب تغییرات پارامترها موجب کاهش خروجی می‌شود. البته افزایش تعداد کانبان موجب بالا رفتن متوسط زمان انتظار می‌گردد. چاکاورتی و آتواتر[٤] [٥]، نیز نشان داده‌اند برای مقابله با نوسانات زیاد تقاضا ناگزیر به اضافه کردن میزان موجودی انباشته‌ها هستند. ازینگیرد و راس[٥] [٦]، براساس آزمایش هایی بر روی مدل شبیه‌سازی یک خط تولید JIT ، برای بهبود عملکرد آن سیاست‌های کاهش تغییرات پارامترها و افزایش دقت پیش‌بینی را مطرح می‌کنند. هارلی و وایبارک[٦] [۷]، با تحلیل نتایج به دست آمده از مدل شبیه‌سازی شدهٔ یک خط تولید JIT نشان داده‌اند بالا بودن WIP ، اگرچه ممکن است به افزایش خروجی کمک کند، باعث افزایش سیکل تولید نیز می‌شود. همچنین آنها بیان می‌کنند که کم کردن واریانس متغیرها بیشترین تأثیر را بر خروجی دارد. لهتنن و هلمستروم[۷] [۸]، آزمایش هایی بر روی مدل شبیه‌سازی یک سیستم لجستیک انجام داده و نتیجه گرفته‌اند کاهش اختلاف اندازه انباشته‌ها به وسیلهٔ ترکیب انباشته‌های کوچکتر با یکدیگر، میزان موجودی را کاهش و میزان خروجی را افزایش می‌دهد. میپز و همکاران[۸] [۹]، راه مقابله با زمان‌های پردازش متغیر را استفاده از انباشته‌های بین ایستگاه‌ها بیان نموده است. ساوسار و الجوینی[۹] [۱۰]، نشان داده‌اند هرچه ضریب تغییرات زمان بین سفارش ها بیشتر شود میزان خروجی سیستم رو به کاهش می‌گذارد. یو، سانگرادس و لونگ[۱۰] [۱۱] نیز تأیید نموده‌اند که با افزایش تعداد کانبان‌ها بین مراحل تولید، میزان خروجی و نیز میزان موجودی در یک خط تک محصولی افزایش می‌یابد. از جمله تحقیقات اخیر تاکاهاشی و همکاران[۱۱] [۱۲] نشان داده که بهبود عملکرد سیستم JIT بسیار تحت تاثیر کاهش نوسانات در پارامترهائی از قبیل زمان ورود تقاضا، زمان پردازش و غیره می باشد. تحقیقات قبلی بطور کلی نشان می دهد که تغییرات و نوسانات پارامترهای تولید اثرات منفی در عملکرد سیستم JIT دارند. بنابراین کنترل نوسانات پارامترهای تولید روش مناسبی برای بهبود عملکرد است. البته در تحقیقات قبلی موضوع تعادل کمی و زمانی مراحل مختلف در یک و یا چند حلقه کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در حالیکه در کشورهائی که در مراحل اولیه پیاده سازی JIT هستند، بعلت مشکلات هماهنگی این موارد، بحث اخیرحائز اهمیت است. به همین دلیل در تحقیق حاضر این نوع تعادل بیشتر مد نظر بوده است.

۳- شرح مدل مفهومی[۱۲]

مدل مفهومی طراحی شده، نحوهٔ گردش اطلاعات و مواد، در یک ایستگاه از یک خط تولید JIT را نشان می‌دهد(شکل (۱)). همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، حلقهٔ i-1 به مقدار N1 از حلقهٔ i تقاضای محصول می‌نماید. پس از طی زمان لازم برای تحویل محصول، این حلقه محصول را در دسته هایی[۱۳] با اندازهٔ N2 به حلقهٔ i-1 تحویل می‌دهد. هر حلقه می‌تواند یک انباشتهٔ[۱٤] نگهداری موجودی، و یا علاوه بر آن پردازش محصول را نیز بر عهده داشته باشد. پس از تحویل موجودی ، این حلقه به میزان M از حلقهٔ i+1 درخواست می‌کند. این درخواست مواد پس ازطی زمان لازم برای ارسال درخواست و در صورتی که اندازهٔ آن به میزان M رسیده باشد، انجام می‌گیرد. به همین ترتیب حلقهٔ i+1 ام سفارش حلقهٔ i ام را پس از طی زمان لازم، در دسته‌های M1 تایی تأمین خواهد کرد.

مدل شبیه‌سازی این حلقه در محیط نرم افزار Arena 3.0 پیاده شده است که جزئیات آن در مرجع [۱۲] آمده است.

٤- آزمایش های انجام شده

تحقیقات قبلی اثر نوسانات پارامترها را بررسی نموده و بطور خاص پایین آمدن شاخص‌های عملکرد را با شدت این نوسانات مربوط دانسته‌اند، در این تحقیق سعی شده است نحوهٔ اثرگذاری و اثرات ترکیبی تغییرات تعدادی از پارامترها روشن‌تر شود.

به منظور ارزیابی تأثیر پارامترها بر معیارهای خروجی مدل، دو راه مدنظر بوده است. اول اینکه با ثابت نگه‌داشتن مقدار تمامی پارامترها بجز یکی، تأثیر تغییرات در مقدار آن را بر معیارهای اندازه‌گیری عملکرد یا خروجی مشاهده و تحلیل نمود. در این روش در مواردی که به علت استفاده از ورودی تصادفی ، خروجی مدل تصادفی باشد معمولاً برای آزمون صحت جواب‌های به دست آمده از مفهوم فاصلهٔ اطمینان استفاده می‌شود.در روش دوم اثر ترکیب مقادیر مختلف پارامترها بر خروجی ارزیابی می‌شود. ابزار مناسب برای تحلیل خروجی در این مورد روش تکنیک طراحی آزمایش‌ها و ایجاد جداول تحلیل واریانس است. در این قسمت ابتدا به آزمایش‌هایی از نوع اول پرداخته و در ادامه برای ارزیابی تأثیر ترکیب پارامترها و با بکارگیری اصول طراحی آزمایش‌ها، آزمایش هایی از نوع دوم را انجام داده‌ایم. قبل از تشریح آزمایش ها، پارامترهای مورد نظر و نیز معیارهای ارزیابی به قرار زیر تعریف می شوند.

پارامترهای بررسی شده در آزمایش ها:

Demand Arrival Mean: متوسط زمان بین ورود تقاضاها به سیستم.

Demand Arrival Stdv: انحراف معیار زمان بین ورود تقاضاها به سیستم.

Demand Quantity Mean: میانگین تعداد تقاضا.

Demand Quantity Stdv: انحراف معیار تعداد تقاضا.

Initial Inventory: موجودی اولیهٔ انباشته.

Delivery Batch: اندازهٔ دسته تحویل.

Delay Mean: میانگین زمان تأخیر در تحویل.

Delay Stdv: انحراف معیار زمان تأخیر در تحویل.

Order Batch: اندازهٔ دسته سفارش.

Processing Time Mean: میانگین زمان عملیات.

Processing Time Stdv: انحراف معیار زمان عملیات.

Supply Time Mean: میانگین زمان تأمین.

Supply Time Stdv: انحراف معیار زمان تأمین.

معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم:

NPP: تعداد قطعات تحویل شده (خروجی).

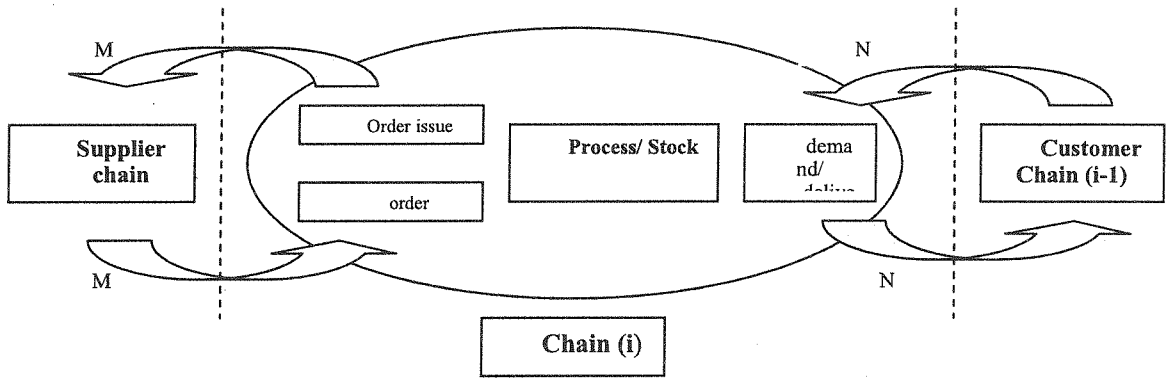
WIP: متوسط موجودی اطمینان.

PLT: متوسط زمان تولید از دید محصول. این زمان عبارت است از مدت زمانی که یک واحد محصول از لحظهٔ ورود سفارش به سیستم تا لحظهٔ تحویل به مشتری طی می‌کند.

CLT: متوسط زمان تدارک از دید مشتری. این زمان عبارت است از مدت زمانی که یک تقاضا (مشتری) از لحظهٔ ورود به سیستم تا لحظهٔ دریافت سفارش خود از سیستم طی می‌کند.

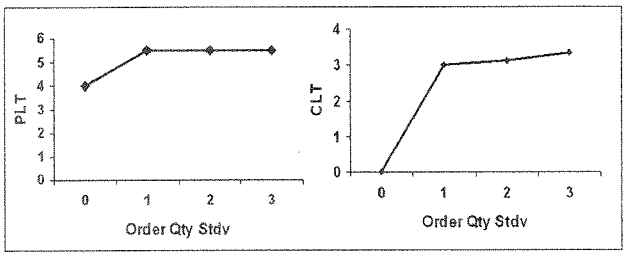
٤-١- *ارزیابی اثر پارامترها به صورت مجزا*

در آزمایش‌های انجام شده در این گروه، معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم شامل تعداد قطعات تکمیل شده (NPP)، متوسط WIP ، متوسط زمان جریان مواد (PLT)، و متوسط زمان انتظار تقاضا (CLT) است. مدل برای مدت یک ماه (۱۰۸۰۰ دقیقه) اجرا می‌شود و در حالاتی که پارامترهای ورودی تصادفی باشند اجرای مدل ۱۰ بار تکرار می‌شود. دراین حالات برای اطمینان از مقادیر به دست آمده برای معیار مورد نظر، فواصل اطمینان ۹۹٪ را محاسبه کرده‌ایم.



شکل (۱): یک حلقه از سیستمJIT

در اولین آزمایش هدف نشان دادن نحوهٔ پاسخگویی معیارهای ارزیابی به وجود نوسان در ورود تقاضا به سیستم است. میانگین زمان بین ورود مشتریان در این آزمایش برابر با ٤، واریانس آن صفر و تعداد تقاضا دارای توزیع یکنواخت با میانگین ٤ است. به این منظور دامنه تعداد تقاضا را افزایش داده و نتایج ثبت شده‌اند. موجودی اولیه برابر با ٤، اندازهٔ دسته تحویل برابر با ٤ و اندازهٔ دسته سفارش برابر با ١ است به این ترتیب با خروج هر واحد محصول از انباشته، بلافاصله جایگزین خواهد شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در مقایسه با حالتی که تعداد تقاضا ثابت است، افزایش انحراف معیار موجب افزایش PLT و CLT خواهد شد. روند تغییرات این دو معیار در شکل(٢) نشان داده شده است.



شکل (٢): تأثیر افزایش انحراف معیار میزان تقاضا

علت افزایش PLT این است که اگر تعداد تقاضا کمتر از میانگین باشد مقداری از موجودی تا رسیدن تقاضای بعدی در انبار باقی خواهد ماند. به این ترتیب این موجودی زمان بیشتری را در سیستم صرف کرده است. برعکس، علت افزایش CLT وجود تقاضاهایی است که از میانگین تعیین شده بیشترند. در این حالت یک تقاضا با تحویل یک دسته ، باید تا زمان رسیدن تقاضای بعدی و پرشدن دسته بعدی منتظر بماند و بنابراین میزان زمان انتظار مشتری افزایش پیدا خواهد کرد.

در آزمایش بعدی نحوهٔ اثرگذاری تغییرات دسته تحویل در عملکرد مدل ارزیابی شده است. در این حالت مدل برای مدت یک روز کاری (٤٥٠ دقیقه) اجرا شده و در آن زمان بین ورود تقاضاها به سیستم ثابت و برابر با ٤ دقیقه و میزان تقاضا ثابت و برابر با ٤ فرض شده است. تأخیر در سیستم وجود ندارد و اندازهٔ دسته از ٢ تا ١٠ تغییر پیدا می‌کند. توضیح اینکه در این آزمایش، مقادیر میانگین و انحراف معیار برای کلیه موارد زمان تاخیر در تحویل، زمان پردازش و زمان تامین برابر صفر منظور شده است. همانطور که نتایج جدول (١) نشان می‌دهد، خروجی بدون داشتن الگوی مشخص در اثر افزایش اندازهٔ دستهٔ تحویل اندکی کاهش می‌یابد. ضمن اینکه انباشته شدن مقدار موجودی در دستهٔ تحویل برای تکمیل آن، یا سفارش توسط تقاضاهای بعدی، موجب افزایش متوسط میزان WIP در سیستم می‌شود. همچنین در حالتی که اندازهٔ دسته کمتر از میزان تقاضا باشد، اگرچه سیستم هزینهٔ کوچکتر کردن دسته را متحمل شده است، در معیارهای ارزیابی هیچ تغییری بوجود نیامده است. اما در حالتی که اندازهٔ دسته بزرگتر از میزان تقاضا باشد همانطور که انتظار می‌رود، میزان PLT رو به افزایش می‌گذارد چراکه مواد باید تا زمان تکمیل دسته ، که وابسته به زمان ورود تقاضای بعدی است، در انتظار تحویل به مشتری باقی بماند. این به معنی صرف زمان بیشتر در سیستم و زیاد شدن PLT است. از طرفی در این حالت هر تقاضا باید به منظور تحویل مواد مورد نیاز، منتظر ورود تقاضای بعدی بماند که این موضوع مقدار متوسط CLT را افزایش خواهد داد. البته در آزمایش فوق چنین فرض شده است که در سیستم هیچگونه تأخیری وجود نداشته و مواد خارج شده از انباشته بلافاصله جایگزین می‌شوند.

در آزمایش بعدی حالتی را در نظر می‌گیریم، که در سیستم هیچگونه تأخیری وجود نداشته، زمان بین ورود تقاضاها ثابت و برابر با ٤، تعداد تقاضا ثابت و برابر با ٤ و موجودی اولیه نیز ٤ واحد باشد. میانگین زمان پردازش هر واحد محصول برابر با ١ دقیقه است. نتایج به دست آمده در این قسمت نشان می‌دهد که در این حالت نیز افزایش انحراف معیار زمان عملیات، موجب کاهش میزان خروجی شده است. در مورد WIP ملاحظه می‌شود که افزایش در میزان انحراف معیار زمان عملیات موجب کاهش در میزان میانگین آن شده است. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که این کاهش نباید به عنوان بهبود در معیار WIP تلقی شود، چرا که با کاهش از مقدار متوسط WIP تقاضاهای بیشتری با کمبود مواجه شده که این منجر به افزایش CLT خواهد شد. در این حالت برای رفع کمبود ناشی

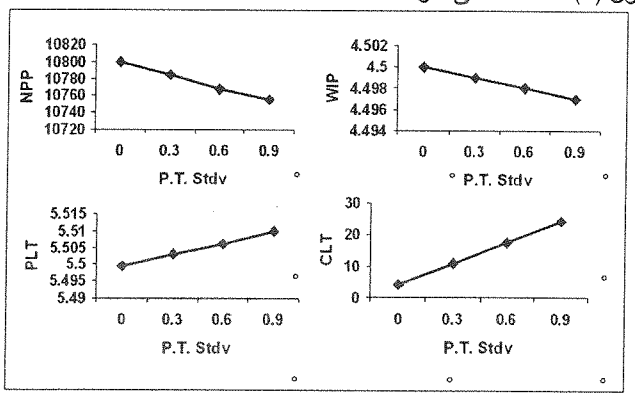
جدول (١): تأثیر افزایش اندازهٔ دسته تحویل (تأخیر وجود ندارد)

پارامترها										معیارهای ارزیابی			
Order Batch	Delivery Batch	ni. Inv	Demand Range		Demand Arrival					N_{PP}	W_{IP}	PL_T	CLT
				M		M							
١	٢			٤		٤				٤ ٥٢	٤	٣.٩ ٦٤٦	٠

۰	۳.۹ ۶۴۶	۴	۴ ۵۲	۱	۴			۴		۴
۲.۶۷۸۵	۵.۹ ۷۳۳	۶. ۰۱۷	۴ ۵۰	۱	۶			۴		۴
۲	۵.۹ ۶۴۲	۶	۴ ۴۸	۱	۸			۴		۴
۴.۸۲۱۴	۷.۹ ۸۲۲	۸. ۲۷	۴ ۵۰	۱	۱۰			۴		۴

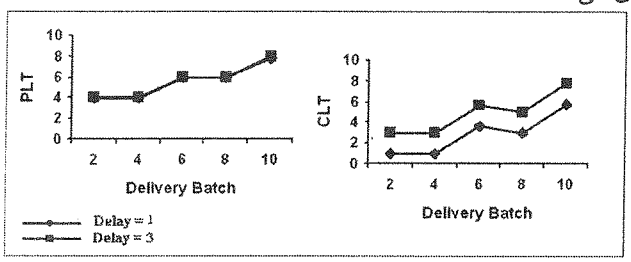
از افزایش انحراف معیار زمان پردازش، مجبور به استفاده از موجودی اولیه بیشتری خواهیم بود که این امر میانگین WIP را افزایش خواهد داد. افزایش نسبتاً زیاد CLT جالب توجه است. دراین مورد نیز زمان‌های پردازش کمتر از میانگین برای هر واحد از محصول موجب انباشته شدن محصول در دسته تحویل، زودتر از ورود تقاضای بعدی شده که سبب افزایش PLT خواهد شد.

از طرفی زمان‌های پردازش بیش از میانگین سبب می‌شود دسته تحویل در زمان طولانی‌تری تکمیل شود که این عامل موجب زیاد شدن CLT خواهد شد (شکل (۳)). حال فرض می‌کنیم بین ورود تقاضا به سیستم و تأمین مواد اولیه تاخیر زمانی وجود داشته باشد. به این منظور زمان تأمین مواد را نیز افزایش داده و برابر با مقدار ثابت ٤ قرار می‌دهیم و آزمایش را با پارامترهای فوق مجدداً تکرار می‌کنیم. نتایج به دست آمده در جدول (۲) مشاهده می‌شود.



شکل (۳): اثر افزایش انحراف معیار زمان پردازش

در این حالت نتایج از جهاتی جالب توجه است چرا که هنگامی که اندازهٔ دسته تحویل کوچکتر یا مساوی میزان تقاضا است، متوسط میزان موجودی به حداقل ممکن تنزل می‌یابد. در حالتی که اندازهٔ دسته تحویل بزرگتر از میزان تقاضا است، متوسط موجودی به میزان مقدار اولیهٔ موجودی نسبت به حالت قبل کاهش یافته است. البته روند صعودی آن بر اثر افزایش اندازهٔ دسته تحویل همچنان باقی است. مانند حالت قبل، به ازای اندازهٔ دستهٔ تحویل کوچکتر یا مساوی با اندازهٔ تقاضا، خروجی حداکثر مقدار خود را داراست. در این حالت نیز کوچکتر بودن اندازهٔ دستهٔ تحویل از مقدار تقاضا مزیتی نشان نمی‌دهد، و در حالتی که اندازهٔ دسته بزرگتر از میزان تقاضا باشد، نتایج نشان می‌دهد که میزان PLT نسبت به حالت قبل کاهش چشمگیری پیدا کرده اما همچنان با افزایش اندازهٔ دسته تحویل رو به افزایش می‌گذارد و در مورد CLT نیز این نتیجه بر قرار است؛ ضمن اینکه میزان CLT نسبت به حالت قبل تغییر نکرده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل (٤)، کاملاً واضح است که افزایش کم در زمان تأخیر در تحویل بر میزان انتظار مشتری تأثیر گذاشته ولی سایر معیارها تقریبا تغییری نشان نمی‌دهد. اما در حالتی که تأخیر در تحویل زیاد شود، کلیهٔ معیارها تأثیر پذیرفته به طوری که خروجی کاهش پیدا نموده، WIP و PLT افزایش نشان داده و زمان انتظار مشتری و تعداد مشتریان در صف نیز افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهند.



شکل (۴): تأثیر افزایش اندازهٔ دسته تحویل در حالت که تأخیر در تحویل داشته باشیم

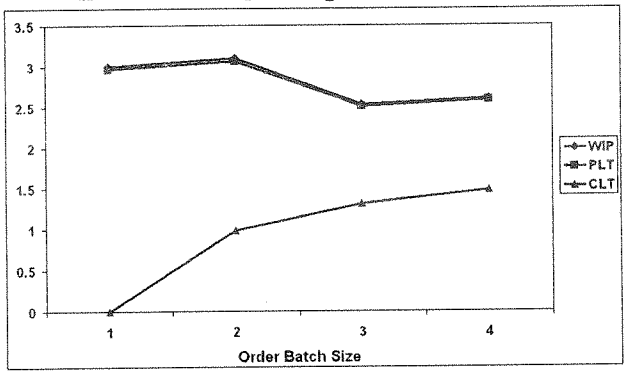
در آزمایش بعدی سیستم را در حالتی در نظر می‌گیریم که تقاضا در فواصل ۵ دقیقه‌ای وارد شود. تعداد تقاضا ثابت و برابر با ۵ است. موجودی اولیه انباشته برابر با ۵ و اندازهٔ دستهٔ تحویل نیز به اندازهٔ تقاضا یعنی برابر با ۵ است. همچنین فرض می‌کنیم هیچگونه تأخیری در سیستم وجود ندارد. سپس اندازهٔ دسته سفارش را افزایش می‌دهیم. به این منظور مدل برای یک روز کاری (٤٥٠ دقیقه) اجرا شده است

با توجه به این نتایج به نظر می‌رسد، در حالتی که در سیستم هیچگونه تأخیری وجود ندارد، افزایش اندازهٔ دسته

سفارش موجب بهبود معیارهای WIP و PLT شده است. در صورتی که اگر در سیستم تأخیر وجود داشته باشد (مثلاً برای تأمین مواد یا عملیات)، تقاضای وارد شده با کمبود مواجه می‌شود که برای رفع آن ناگزیر به استفاده از میزان بیشتری موجودی اولیه خواهیم بود که به نوبهٔ خود باعث زیاد شدن متوسط موجودی در انباشته می‌شود.

برای روشن شدن مطلب، سیستم را در حالتی در نظر گرفته‌ایم که زمان تأمین مواد (S.T. Mean) نیز برابر با ۲ باشد (شکل (۵)). همانطور که انتظار می‌رود وجود تأخیر در سیستم باعث می‌شود با افزایش دادن اندازهٔ دسته سفارش تقاضا با کمبود مواجه شود. در اینجا نیز مشاهده می‌شود که افزایش دسته سفارش موجب کاهش میزان WIP و PLT شده است. اما همانطور که قبلاً نیز متذکر شدیم، این کاهش در موجودی نباید به عنوان بهبود این معیار تفسیر شود.

در آزمایش بعدی برای ارزیابی تأثیر نرخ معیوبی بر معیارهای ارزیابی مدل را برای یک ماه (۱۰۸۰۰ دقیقه) اجرامی‌کنیم. در این آزمایش‌ها نرخ معیوبی از ۰ تا۰/۲۵ تغییر



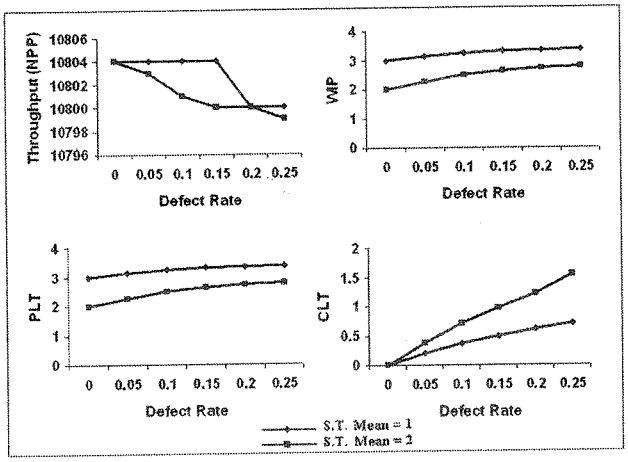
شکل (۵): تأثیر افزایش اندازهٔ دسته سفارش

نموده و هربار نتایج ثبت شده است. زمان بین ورود تقاضاها به سیستم ثابت و برابر با ٤ اندازهٔ دسته‌های تحویل و سفارش برابر با مقدار تقاضا و موجودی اولیه انباشته ٤ واحد از محصول است. آزمایش‌ها در دوحالت زمان تأمین مواد اولیه ۱ و ۲ تکرار شده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد که در حالتی که تأمین مواد مستلزم صرف زمان باشد، با افزایش نرخ معیوبی تعداد خروجی در طی دوره کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین تأمین مجدد مواد به جای قطعات معیوب موجب زیاد شدن CLT خواهد شد. در واقع در این حالت، سیستم با کمبود بیشتری مواجه شده است. افزایش WIP و PLT ، از یک طرف به دلیل انتظار مواد در دستهٔ تحویل برای تکمیل اندازهٔ آن، و از طرفی در واقع بیانگر هزینه‌ای است که برای مواد معیوب شده است، اما این محصول به مشتری تحویل داده نشده است. شکل (٦) نتایج به دست آمده در این قسمت را نشان می‌دهد.

٤-۲- ارزیابی اثر ترکیب پارامترها

در این قسمت مجموعه آزمایش‌هایی که برای ارزیابی تأثیر ترکیب پارامترهای سیستم بر عملکرد یک حلقه از سیستم JIT انجام یافته‌اند مطرح می‌شود. در خصوص جزئیات این آزمایش‌ها به [۱۳] مراجعه شود.



شکل (۶): تأثیر افزایش نرخ معیوبی

در اولین آزمایش سیستم را در حالتی در نظر گرفته‌ایم که محصول تحویل شده توسط آن نیاز به عملیات نداشته و در واقع کل حلقه نقش یک انباشته را داراست. به این ترتیب انباشته‌های درونی (محصول و مواد اولیه) را می‌توان یکسان در نظر گرفت. مشخصات مدل به شرح زیر است. موجودی اولیه انباشته برابر با ۱۰ واحد محصول است. پارامترهای ورودی سیستم عبارتند از زمان بین ورود تقاضاها، اندازهٔ دستهٔ تحویل، اندازهٔ دسته سفارش، نرخ معیوبی و زمان تأمین مواد اولیه. میزان تقاضا با توجه به زمان ورود هر تقاضا نسبت به ورود تقاضای قبلی به سیستم تعیین می‌شود.

مثلاً اگر تقاضای قبلی در لحظهٔ ٤ وارد شده و تقاضای فعلی در لحظهٔ ۷ وارد شده باشد میزان تقاضای فعلی برابر با ۳ خواهد بود. به این ترتیب نرخ ورود یک واحد در واحد زمان در طی دوره ثابت فرض شده است.

مدل برای مدت یک ماه (۱۰۸۰۰ دقیقه) اجرا می‌شود. در حالاتی که ورودی مقداری تصادفی داشته باشد (DR=0.15) برای هر ترکیب مدل ۱۰ بار اجرا شده است.

معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم میزان خروجی، متوسط موجودی، متوسط زمان جریان مواد، متوسط میزان انتظار تقاضا و مقدار تقاضای در صف است.

جدول (۲): تأثیر افزایش اندازهٔ دسته تحویل (میانگین زمان تأمین مواد = ۴)

پارامترها												معیارهای ارزیابی			
Demand Arrival M	Demand Range M	Ini. Inv	Delivery Batch	Delay		Order Batch	P.T.		S.T.		NPP	WIP	PLT	CLT
۴	۴		۲			۱					۴ ۵۲	۰	۰	۰
۴	۴		۴			۱					۴ ۵۲	۰	۰	۰
۴	۴		۶			۱					۴ ۵۰	۲، ۰۱۷	۲،۰۱	۲،۶۷ ۸۵
۴	۴		۸			۱					۴ ۴۸	۲	۲	۲
۴	۴		۱۰			۱					۴ ۵۰	۴، ۰۲۷	۴،۰۱ ۷	۴،۸۲ ۱۴

برای مقدار هر پارامتر ورودی، دو سطح (+ و -) در نظر گرفته شده که در جدول زیر مقادیر متناظر با هر سطح آمده است:

٤-۳- پارامتر	مقدار	
	+	-
OAI	Unif(۶و۲)	۴
DBS	۶	۴
DR	۰،۱۵	۰
OBS	۶	۴
S.T	Unif(۶و۲)	۴

سطح + برای پارامترهای OAI و S.T نشان‌دهندهٔ حالتی است که زمان‌های مربوطه دارای انحراف معیاری برابر با ۲ باشند. به این ترتیب تعداد ترکیبات ممکن پارامترهای ورودی برابر است با ۳۲= 2^5 که تعداد آزمایش‌های انجام شده را مشخص می‌سازد. این ترکیبات به همراه خروجی بدست آمده از مدل به ازای هر ترکیب در جدول (۳) ارائه شده و در ادامه به چند نتیجه عمدهٔ آن اشاره می‌شود.

کاهش خروجی سیستم تابع افزایش نرخ معیوبی و همچنین نوسان زمان تأمین مواد اولیه است. افزایش اندازهٔ دسته‌های تحویل و سفارش نیز بر کاهش میزان خروجی سیستم تأثیر دارد. افزایش نرخ معیوبی به همراه نوسان زمان تأمین مواد اولیه و نیز افزایش دسته تحویل در بالارفتن متوسط WIP در سیستم کاملاً مؤثر است.

از طرفی افزایش اندازهٔ دستهٔ سفارش موجب می‌شود متوسط WIP کاهش پیدا کند، ولی این کاهش WIP منجر به آن می‌شود که تقاضا با کمبود مواجه شود که در نتیجه میزان CLT افزایش می‌یابد. همانطور که قبلاً ذکر شد برای رفع این مشکل مجبور به استفاده از موجودی اولیهٔ بیشتری در انباشته می‌باشیم که در نهایت افزایش موجودی در سیستم را به دنبال خواهد داشت.

مشاهده می‌کنیم که در این حالت نیز تغییرات PLT تا حد زیادی مشابه تغییرات WIP است. چراکه انباشته شدن بیش از حد موجودی به معنای مدت زمان بیشتر حضور مواد در سیستم است. نحوهٔ تغییرات CLT نشان می‌دهد متوسط زمان انتظار تقاضا در سیستم به مقدار زیادی از افزایش نرخ معیوبی و نیز افزایش اندازهٔ دسته تحویل متأثر است. در مورد معیار BkLg نیز مشاهده شد که افزایش نرخ معیوبی، اندازهٔ دسته سفارش و نیز واریانس زمان تأمین موجب افزایش تعداد تقاضای موجود در صف می شوند.

در این آزمایش نیز می‌توان با استفاده از تحلیل واریانس نشان داد آیا مقادیر پارامترها بر معیار مورد نظر (در این قسمت معیار WIP) تأثیرگذار بوده است یا خیر. نتایج به دست آمده برای مقادیر مجموع مربعات و آمارهٔ F در [۱۲] آمده است. با توجه به مقدار استخراج شده از جدول برای آمارهٔ F کلیهٔ پارامترها و همچنین کلیهٔ ترکیبات آنها ، بر معیار WIP تأثیرگذار هستند.

با مرور نتایج به دست آمده این‌طور بنظر می‌رسد که در میان پارامترهای بررسی شده، تأثیر نرخ معیوبی و تاثیر عدم هماهنگی‌های زمانی مراحل مختلف بر خروجی سیستم بسیار حائز اهمیت است. به منظور نتیجه‌گیری دقیق در این مورد اثر مستقیم هریک از پارامترهای ورودی را محاسبه نموده ایم که در جدول (٤) آنرا مشاهده می‌کنید.

همانطور که گمان می‌رفت مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد بیشترین مقدار کاهش در خروجی تحت تأثیر افزایش نرخ معیوبی ایجاد می‌شود. همچنین افزایش نوسان زمان تأمین

مواد اولیه عامل تأثیرگذار دیگری بر کاهش میزان خروجی است. اثر افزایش اندازهٔ دستهٔ سفارش بر کاهش میزان خروجی بیش از اثر افزایش اندازهٔ دستهٔ تحویـــل است.

زمان جریان مواد در درجهٔ اول تحت تأثیر افزایش اندازهٔ دستهٔ تحویل می‌باشد. نرخ معیوبی و افزایش نوسان زمان تأمین به ترتیب عوامل اثرگذار بعدی در افزایش PLT هستند.

در مورد WIP نتایج نشان می‌دهد، افزایش دسته تحویل، افزایش نوسان زمان تأمین و نرخ معیوبی به ترتیب بیشترین اثر را در افزایش مقدار WIP دارند. از طرفی افزایش نوسان زمان ورود تقاضا و نیز اندازهٔ دسته سفارش موجب کاهش در متوسط موجودی می‌شوند که این کاهش منجر به مواجه شدن تقاضا با کمبود خواهد شد.

افزایش نرخ معیوبی عامل مهم در افزایش مدت زمان انتظار تقاضا می‌باشد. همچنین افزایش اندازهٔ دسته تحویل، افزایش نوسان زمان تأمین مواد و افزایش اندازهٔ دسته سفارش موجب افزایش زمان انتظار تقاضا خواهد شد.

٤-٣- ترکیب دو حلقه

در اینجا مواردی از ترکیب دو حلقه را در نظر می‌گیریم. در این حالت سفارش به مقدار N به حلقهٔ پایین دستی[15] (i) وارد شده و این حلقه، آن را در دسته های N1 تایی تحویل می‌دهد. محصول تحویل داده شده از محل مواد اولیهٔ موجود در انباشته مواد اولیه، پس از انجام عملیات (در صورت لزوم) جایگزین می‌شود. و برای جایگزن کردن مواد اولیهٔ مصرف شده، حلقهٔ پایین دستی سفارش خود را در قالب دسته های M1 تایی به حلقهٔ بالا دستی[16] ارسال می‌نماید. در فرآیندی مشابه حلقهٔ بالادستی سفارش حلقهٔ پایین دستی را در قالب

جدول (۳): ترکیبات مختلف پارامترها و خروجی مدل به ازای هر ترکیب

No	OAI	D_{Dg}	DR	OBS	S.T	NPP	WIP	PLT	CLT	BkLg
۱	٤	٤	۰	٤	٤					
۲	٤	٤	۰	٤	(٦و٢)					
۳	٤	٤	۰	٦	٤					
٤	٤	٤	۰	٦	(٦و٢)					
٥	٤	٤	۰،۱٥	٤	٤					
٦	٤	٤	۰،۱٥	٤	(٦و٢)					
۷	٤	٤	۰،۱٥	٦	٤					
۸	٤	٤	۰،۱٥	٦	(٦و٢)					
۹	٤	٦	۰	٤	٤					
۱۰	٤	٦	۰	٤	(٦و٢)					
۱۱	٤	٦	۰	٦	٤					
۱۲	٤	٦	۰	٦	(٦و٢)					
۱۳	٤	٦	۰،۱٥	٤	٤					
۱٤	٤	٦	۰،۱٥	٤	(٦و٢)					
۱٥	٤	٦	۰،۱٥	٦	٤					
۱٦	٤	٦	۰،۱٥	٦	(٦و٢)					
۱۷	Unif(٦و٢)	٤	۰	٤	٤					
۱۸	Unif(٦و٢)	٤	۰	٤	(٦و٢)					
۱۹	Unif(٦و٢)	٤	۰	٦	٤					
۲۰	Unif(٦و٢)	٤	۰	٦	(٦و٢)					
۲۳	Unif(٦و٢)	٤	۰،۱٥	٦	٤					
۲٤	Unif(٦و٢)	٤	۰،۱٥	٦	(٦و٢)					
۲٥	Unif(٦و٢)	٦	۰	٤	٤					
۲٦	Unif(٦و٢)	٦	۰	٤	(٦و٢)					
۲۷	Unif(٦و٢)	٦	۰	٦	٤					
۲۸	Unif(٦و٢)	٦	۰	٦	(٦و٢)					
۲۹	Unif(٦و٢)	٦	۰،۱٥	٤	٤					
۳۰	Unif(٦و٢)	٦	۰،۱٥	٤	(٦و٢)					
۳۱	Unif(٦و٢)	٦	۰،۱٥	٦	٤					
۳۲	Unif(٦و٢)	٦	۰،۱٥	٦	(٦و٢)					

جدول (۴): مقادیر اثر مستقیم پارامترهای سیستم بر معیارهای ارزیابی

	NPP	WIP			BkLg
OAI	۱۱۳۷.۲	-۱.٤			-۱۲٤.٤
DBS	-٦٦۳.٥	۲.۳			۷۷.٤
DR	-۲۸٤٦.٦	۱.٤			۳۱۰.٤
OBS	-۱۰۲۹.٦	-۰.٦			۱٤۸.۲
S.T	-۲۸٤٦.۳	۱.۸			۳۱۰.٤

دسته های N2 تایی تأمین نموده و سپس برای جایگزین کردن مواد اولیهٔ خود از حلقهٔ بعدی در قالب دسته های M2 تایی تقاضا می‌نماید [۱۲].

برای بررسی تأثیر نحوهٔ اثرگذاری ترکیب دسته‌ها در یک خط تولید با دو حلقه، سیستم را در حالتی در نظر می‌گیریم که تقاضا ثابت و اندازهٔ آن برابر با چهار و در فواصل زمانی ثابت ٤ دقیقه‌ای وارد می‌شود. اندازهٔ دسته‌های سفارش و تحویل برای هر مرحله به صورت جدول زیر است:

حلقه	دسته تحویل (n)	دسته سفارش(m)	موجودی اولیه
۱	۲و٤و٦	۲و٤	٤
۲	۲و٤	۲و٤	٤

برای کلیهٔ ترکیب‌های ممکن اندازهٔ دسته‌ها، مدل برای مدت یک ماه (۱۰۸۰۰ دقیقه) اجرا شده و نتایج هر آزمایش ثبت شده است. کلیهٔ تأخیرها در این حالت برابر با صفر منظور شده و زمان تأمین مواد نیز ثابت و برابر با ٤ در نظر گرفته شده است. با توجه به مقدار استخراج شده از جدول برای آمارهٔ F مشاهده می‌شود کلیهٔ پارامترها و همچنین کلیهٔ ترکیبات آنها، بر خروجی تأثیرگذار می‌باشند.

با مراجعه به نتایج فوق ، می‌توان گفت تعداد محصول تکمیل شده در درجهٔ اول تحت تأثیر تعادل بین دسته‌های تحویل و تأمین در دو حلقه می‌باشد. بطوری که در اولین ترکیب که اندازهٔ تمامی دسته‌ها با یکدیگر برابر است، خروجی بیشترین مقدار خود را داراست. در وهلهٔ بعدی اندازهٔ دسته‌ها بر مقدار خروجی تأثیر می‌گذارد، بطوری که با بزرگتر شدن اندازهٔ دسته میزان خروجی کاهش یافته و حتی در حالتی که تمام دسته‌ها با یکدیگر برابر باشند خروجی با دسته‌های با اندازهٔ کوچکتر بیش از خروجی با دسته‌های بزرگتر است.

افزایش مقدار WIP تا حد زیادی تابع تعادل بین دسته‌های تحویل و تأمین (بین دوحلقه و برای کل زنجیره) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالاتی که دستهٔ تحویل حلقهٔ اول و دستهٔ تحویل حلقهٔ دوم برابر باشند و همچنین دسته‌های تحویل حلقهٔ اول با دستهٔ سفارش حلقهٔ دوم برابر باشد، مقدار WIP نسبت به سایر حالات کاهش پیدا خواهد نمود. تغییرات PLT نیز روندی مانند تغییرات WIP را نشان می‌دهد.

تغییرات CLT و BkLg نیز نشان می‌دهد که در صورت وجود تعادل بین اندازهٔ دسته‌های تحویل و تأمین نتیجهٔ مناسب‌تری عاید خواهد شد. و در شرایطی که تعادل بین تمامی دسته‌ها، وجود نداشته باشد بهترین حالت تعیین کوچکترین اندازه برای دسته‌های تحویل و تأمین خواهد بود.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

نتایج آزمایشات انجام یافته در این تحقیق تأیید می‌کند که وجود نوسان در زمان مابین ورود تقاضا به سیستم مقدار محصول تکمیل شده را کاهش داده و متوسط مواد در جریان ساخت را افزایش می‌دهد. بدیهی است که در این حالت متوسط زمان انتظار تقاضا نیز افزایش خواهد یافت.

افزایش زمان تأمین مواد اولیه نقش مؤثری در کاهش میزان خروجی سیستم دارد. در شرایط افزایش زمان تأمین برای مقابله با کمبود ناشی از آن ناچار به استفاده از ذخیرهٔ احتیاطی در سیستم هستیم که منجر به افزایش متوسط موجودی ساخت و زمان جریان مواد در سیستم خواهد شد. در صورتی که موجودی به حد کافی در دسترس نباشد، کمبود رخ داده و زمان انتظار و تعداد تقاضای در صف افزایش خواهد یافت. افزایش زمان‌های تأخیر در سیستم که متشکل از تأخیر در تحویل محصول، زمان عملیات و زمان دریافت مواد است، عامل مهم دیگری در کاهش خروجی، افزایش زمان جریان مواد، افزایش زمان انتظار تقاضا و افزایش تعداد تقاضای درصف محسوب می‌شود. بنابراین جلوگیری از افزایش زمان‌های مذکور گام مهمی در بهبود معیارهای ارزیابی سیستم خواهد بود.

افزایش نرخ معیوبی نیز ضمن کاهش شدید مقدار خروجی در طی دوره، مقدار متوسط مواد در جریان ساخت، زمان جریان مواد در سیستم و متوسط زمان انتظار تقاضا را افزایش خواهد داد. برای کاستن میزان مواد در جریان ساخت و مقدار متوسط زمان جریان مواد در سیستم، یک راه مناسب بکارگیری مفهوم کنترل و تامین کیفیت در مبدأ است.

در مورد انتخاب اندازهٔ دسته‌های تحویل، مشاهده شد در حالتی که تقاضا ثابت است، افزایش اندازهٔ دسته تحویل به مقداری بیش از میزان تقاضا، موجب افزایش متوسط زمان انتظار تقاضا و متوسط موجودی در جریان ساخت و همچنین کاهش مقدار خروجی سیستم می‌شود. از طرف دیگر کوچکتر بودن اندازهٔ دستهٔ تحویل تنها موجب تحمیل هزینهٔ کوچک‌سازی دسته به سیستم شده و بهبودی در معیارهای ارزیابی ایجاد نمی‌کند. بنابراین در این حالت بهترین گزینه برای اندازهٔ دسته تحویل همان مقدار تقاضا است. افزایش دستهٔ سفارش موجب تأخیر در ارسال سفارش به حلقهٔ بعدی یا تأمین کننده خواهد شد. در اثر اعمال این سیاست متوسط موجودی در جریان ساخت ممکن است کاهش یابد. البته باید توجه داشت که در اثر وجود نوسان در زمان تأمین مواد، ممکن است تقاضا با کمبود مواجه شود. اما در حالتی که مقدار تقاضا دارای نوسان باشد، بهترین حالت انتخاب کوچکترین اندازه ممکن برای دستهٔ تحویل است. در این صورت، امکان پاسخگویی سریعتر به تغییرات بوجود آمده در در ترکیب بیش از یک حلقه مشاهده می‌شود معیارهای ارزیابی سیستم، در حالتی که اندازهٔ دسته‌های تحویل و سفارش با یکدیگر برابر است، بهترین مقدار خود را دارا می‌باشند. بطور کلی می‌توان گفت ایجاد تعادل بین پارامترهای مراحل مختلف در یک سیستم تولید نقش مهمی در بهبود معیارهای ارزیابی خواهد داشت.

بطور خاص ایجاد تعادل بین مراحل به لحاظ زمان‌های سیکل (Cycle Time)، زمان‌های عملیات و زمان‌های مابین ورود تقاضا به سیستم، نقش کاملاً مؤثری در بهبود عملکرد سیستم دارد. همچنین تعادل بین مراحل به لحاظ سیکل تأمین مواد اولیه و اندازه دسته‌های تحویل و سفارش عملکرد سیستم را بطور قابل توجهی بهبود می‌بخشد.

۶- منابع و مراجع

[1] Monden, Y., ***Toyota Production System***, Institute of Industrial Engineering, USA, 1993.

[2] Hemamalini and Chandrasekharan Rajendran, "***Determination of the number of containers, production kanbans and withdrawal kanbans; and scheduling in kanban flowshops - Parts 1&2***", International Journal of Production Research, Vol. 38 NO. 11 pp 2529-2572, 2000

[3] Moattar Husseini, S.M., O'Brien, C. and Hosseini, S.T. "***A method to enhance volume flexibility in JIT production control***", International Journal of Production Economics, In Press, Corrected Proof, Available online 27 September 2005

[4] Bakoc O.F., Eral S.; "***Simulation modeling and analysis of a JIT production system***"; International Journal of production Economics SS, pp 203-212, 1996

[5] Chakavorty S.S., Atwater J.B.; "***Do JIT lines perform better than traditionally balanced lines?***"; International Journal of operation and production management; Vol. 15 No. 2, pp 73-88 1995.

[6] Ezingeard J.N., Race P.; "***Spreadsheet simulation to aid capacity management of batch chemical processing using JIT pull control***"; International Journal of operation and production management; Vol. 15 No .10 pp 82-88 1995.

[7] Harley S.F., Whybark D.C.; "***Comparing JIT Approaches in a manufacturing cell***"; Production and inventory management Journal, Second Quarter pp 32-37 1999

[8] Lehtonen J. M., Holmstrom J.; "***Is Just In Time applicable in paper industry logistics?*** Supply chain management, Vol. 3 No. 1, pp 21-32,1998.

[9] Mapes J., Szwejczewski,New C.; "***Process Variability and its Effect on Plant Performance***"; International Journal of operation and production management, Vol. 20 No. 7; pp 792-808, 2000.

[10] Savsar M., Al-Jawini A.; "***Simulation analysis of Just In Time production Systems***"; International Journal of Production Economics 42, pp 67 - 78 1995.

[11] Yue F.M, Sangradas, Loung; "***Evaluation of performance measures for Multi part Single product Kanban controlled assembly systems with acquisition and production Lead Times***"; International Journal of production Research , Vol. 36, No. 5, pp 1427-1444 1998.

[12] Takahashi, K., Morikawa K. and Nakamura, N., "***Reactive JIT ordering system for changes in the mean and variance of demand***", article in press, International Journal of Production Economics, Volume 92, Issue 2, Pages 181-196, 28 November 2004.

[۱۳] قدرتی عباسی، ح ،" ارزیابی تاثیر سیاستهای برنامه ریزی تولید در عملکرد سیستم تولید بهنگام" ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸٤.

زیرنویس ها

[1] Just In Time Production
[2] Pull System
[3] Bakoc, Erol
[4] Chakavorty, Atwater
[5] Ezingeard, Race
[6] Harly, Whybark
[7] Lehtonen, Holmstrom
[8] Mapes et al
[9] Savsar, Al Jawini
[10] Yu, Sangradas, Loung
[11] Takahashi et al.
[12] Conceptual Model
[13] Batch
[14] Stock
[15] Downstream
[16] Upstream