شبیه سازی سیستم تولیدی دوکارتی JIT[1]

محمد اقدسی*، فریماه مخاطب رفیعی** و قاسم مصلحی**

دانشکدهٔ صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

دانشکدهٔ صنایع و سیستمها، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۷۴/۱۰/۱۱ - دریافت نسخهٔنهایی: ۱۳۷۶/۷/۲۸)

چکیده - *مقالهٔ حاضر خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی یک سیستم تولیدی دومرحله‌ای[2] است که براساس فلسفه JIT بنا شده است. این سیستم تولیدی دومرحله‌ای یک خط مونتاژ اتوماتیک است که از دو ایستگاه مونتاژ تشکیل شده است. محصول نهایی با سوارکردن دو پیش مونتاژی[3] با یک قطعه، کامل می‌شود. مدل ارائه شده برای این سیستم دومرحله‌ای با استفاده از زبان SLAM ساخته شده است. با ثابت درنظرگرفتن ظرفیت گاریهای[4] حامل این پیش مونتاژیها، سعی در براورد تعداد آنها شده‌است و این‌کار با هدف به‌حداقل رساندن موجودی درجریان[5] صورت گرفته است. همچنین اثرات تغییر متوسط تقاضا و پراکندگی[6] آن بر تعداد گاریها نیز مورد بررسی قرارگرفته‌اند. در انتها یک مدل شبیه سازی از یک سیستم سنتی کارگاهی برای سیستم فوق ساخته شده و برخی خصوصیات دو سیستم تولیدی با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند.*

Simulation of a Two Cards JIT Production System

M. Aghdasi, F. Mokhatab Rafiei and G. Moslehi

Department of Engineering, Tarbiat Modares University

Department of Industrial Engineering, Isfahan University of Technology

ABSTRACT- ***This paper presents a summary of the results from the simulation of a given two-stages production system which uses JIT . The system consists of an assembly line with two automated assembly cells and two assembly stock points and one manufacturing cell with three manufacturing stock points for storing reserved parts and one recieving stock. Carts with fixed capacity are used for handling the parts. A kanban is attached to each cart. The minimum number of kandbans requirrd to operate the system without shortage in stock are estimated. The effects of changing the demand's mean and its variation on the number of carts are also investigated. Finally, a different simulation model is developed for the same production system using conventional job shop decipline and some main characteristics have been compared to the results, from the first model.***

---

* دانشیار ** مربی و دانشجوی دکترا در دانشگاه تربیت مدرس

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

۱ـ مقدمه

هدف JIT یک سیستم تولیدی است که ابزاری کارا برای دستیابی به نهایی تولید یعنی سوداوری است. در این سیستم برای رسیدن به این هدف یکسری فعالیتهای اصلاحی در جهت کاهش هزینه انجام می‌شود.این کاهش هزینه از طریق حذف کلیه اتلافات [۷] مثل موجودیهای اضافی و نیروی‌انسانی اضافی انجام می‌شود. به‌عبارتی JIT به‌عنوان یک فلسفهٔ مدیریت عملیاتی شناخته شده است که در جهت حذف تمام اتلافات در یک سازمان استفاده می‌شود. این‌کار با شعار تولید به تعداد لازم در زمان مناسب یا "درست به موقع" [۸] انجام می‌گیرد.

سیستمهای تولید انبوه سنتی بر پایه تولید در دسته‌های بزرگ [۹] و در دوره‌های تولیدی طولانی بنا شده‌اند. تولید JIT به معنی تولید انبوه در دسته‌های کوچک و درست به موقع است، که یک راه ساده و انعطاف‌پذیر برای کاهش موجودی است [۱].

برای کاهش موجودی، باید یک سیستم تولیدی عملیاتی بدون ضایعات داشته باشد. چون در این صورت است که بدون نگرانی از موجودی اضافی برای ادامه دادن تولید، می‌توان تولید را در مواقعی که ضایعات ایجاد می‌شوند، قطع کرد. اصل اساسی، تولید در دسته‌های کوچک است. چون قطعات در اندازه‌های کوچک و حتی یک واحدی حمل می‌شوند، بازتاب بین فرایندها بسیار سریع است. کارگران تولیدی، وظیفه بازرسی را نیز به‌عهده داشته و با اختیار و مسئولیت توقف خط در مواقع ضروری، جلوی بروز ضایعات را می‌گیرند.

سیستم تولیدی JIT

همان‌طوری که کیمورا و تردا [۲] گفته‌اند، فرایندهای تولید چندمرحله‌ای [۱۰] را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: سیستمهای هل دادنی [۱۱] و سیستمهای کشیدنی [۱۲]. بیشتر سیستمهای تولیدی‌در آمریکا و اروپا و ... از سیستمهای هل‌دادنی استفاده می‌کنند در حالی که سیستم JIT ژاپنی‌ها از سیستمهای کشیدنی بهره می‌برد. فرق عمده بین دو سیستم در این است که در سیستم کشیدنی (JIT)، مرحله بعدی [۱۳] تعداد واحدهای مورد نیازش را از فرایند قبلی [۱۴] فقط بر طبق نرخ و زمانی که آن واحدها را مصرف می‌کند، برمی‌دارد.

اهداف اصلی یک سیستم کشیدنی، همان‌طور که کیمورا و تردا گفته‌اند به شرح زیر است:

الف- حداقل کردن موجودی در زمان

ب- حداقل کردن نوسانات موجودی در جریان

ج- کوتاه کردن مدت تحویل تولید [۱۵]

هـ -جلوگیری از انتقال نوسانات تقاضا از مرحله‌ای به مرحله دیگر

و- کنترل بهتر از طریق تمرکز زدائی در برنامه‌ریزی

ز- عکس‌العمل بهتر به تغییرات تقاضا

ح- کاهش ضایعات

در یک سیستم کشیدنی ایده‌آل موجودی در هر مرحله باید صفر باشد و این در حالی است که حداکثر موجودی در سیستم کشیدنی نباید بیشتر از یک واحد باشد. تحت شرایط ایستا، وقتی تقاضا از یک مرحلهٔ بعدی به مرحلهٔ قبلی می‌رسد، واحد ذخیره شده در مرحلهٔ قبلی برای انجام فرایندهای لازم به مرحلهٔ بعدی منتقل می‌شود. خارج کردن یک واحد موجودی از فرایند قبلی، موجب تولید یک واحد دیگر در آن مرحله می‌شود. در نتیجه، هر مرحله "درست به موقع" وقتی که فرایند بعدی تقاضا می‌کند، شروع به تولید می‌کند، لذا، این پس‌خور اطلاعاتی [۱۶] از طریق کانبان [۱۷] به آخرین مرحله در خط [۱۸] منتقل می‌شود. بر خلاف سیستم هل‌دادنی، پس‌خور اطلاعاتی در سیستم کشیدنی، در جهت رو به عقب انجام می‌شود، در حالی که جریان مواد در هر دو سیستم رو به جلو است.

سیستم کانبان

کانبان از نظر لغوی به معنی کارت است. ژاپنی‌ها تولید در هر مرحله را با دو کارت منتقل می‌کنند که یک کارت مجوز دریافت تعداد قطعهٔ لازم و کارت دیگر مجوزی برای تولید تعدادی قطعه است. در بیشتر سیستمهای کانبان، هر قطعهٔ دارای گاری مخصوصی است که تعداد مشخص و ترجیحاً اندکی از آن قطعه را می‌تواند حمل کند. دو کارت برای گاری وجود دارد: یک کارت به نام کانبان سفارش تولید [۱۹] که از وقتی قطعات یک گاری تولید می‌شوند با گاری همراه است. وقتی تولید یک گاری کامل شد و تقاضایی از مرحلهٔ بعدی رسید، کانبان سفارش تولید از گاری

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

جدا شده و به محل [20] کانبان سفارش تولید در همان مرحله فرستاده می‌شود. کارت دیگر، کانبان برداشت[21] است که از مرحلهٔ بعدی عملاً جایگزین کانبان سفارش تولید شده و بر روی گاری نصب می‌شود و همراه با آن به مرحلهٔ بعدی می‌رود.

کانبان سفارش تولید بعداً جایگزین کانبان برداشت شده و کانبان سفارش تولید در مرحلهٔ قبلی می‌ماند تا مجوز تولید یک گاری دیگر را به آن مرحله بدهد. هر گاری حلقه‌ای[22] از ایستگاه کاری تولیدی با نقطه‌ای که در آن انبار می‌شود و ایستگاه کاری که در آنجا مصرف خواهد شد با نقطه‌ای که در آن ایستگاه مصرف ذخیره می‌شود و برعکس را طی می‌کند و در این حلقه یک کانبان با کانبان دیگر عوض می‌شود. بنابراین یک حلقهٔ پیوسته از حرکت گاری بین مراحل ایجاد می‌شود.

با تعبیری که هانگ و همکاران [۳] ارائه کرده‌اند، یک کانبان، گاریها را در درون سیستم برای تأمین تقاضا در هر مرحلهٔ تولید "درست به موقع" می‌کشد. بنابراین موجودی در جریان حداقل می‌شود.

یک کانبان سفارش تولید هیچگاه خانهٔ[23] خود را ترک نمی‌کند در حالی که کانبان برداشت بین دو مرحله حرکت می‌کند. لذا کانبان سفارش تولید یک وسیله کنترل درون فرایندی است و یک کانبان برداشت یک وسیلهٔ کنترل بین فرایندی است.

عمدتاً دو نوع سیستم کانبان در محیط تولیدی JIT استفاده می‌شود سیستم دوکارتی و سیستم یک کارتی. در سیستم دوکارتی همان‌طور که ذکر شد هر مرحله در طول خط با دو محل ذخیره در طرفین آن احاطه شده است، یکی بلافاصله قبل از فعالیت تولیدی است که قطعات وارد شده را نگهداری می‌کند و یکی بلافاصله بعد از فعالیت تولید است که قطعات تولید شده را نگه می‌دارد. کانبانهای نهایی که در این نوع سیستم کشیدنی استفاده می‌شوند کانبانهای برداشت و سفارش تولید نام دارند. کانبان برداشت، مقداری که مرحلهٔ بعدی از مرحلهٔ قبلی برمی‌دارد را مشخص می‌کند و کانبان سفارش تولید، مقداری که در یک مرحله باید تولید شود را مشخص می‌کند. سیستم یک کارتی معمولاً قبل از به کارگیری یک سیستم دوکارتی و به‌عنوان یک سیستم انتقالی توصیه می‌شود. در این سیستم هر مرحله فقط یک محل ذخیره دارد و هر گاری به یک کانبان تخصیص داده می‌شود که به آن کانبان انتقال[24] گفته می‌شود. وقتی یک گاری توسط مرحلهٔ بعدی برداشته می‌شود، کانبان انتقال از آن جدا شده و به یک کانبان سفارش تولید در آن مرحله تبدیل می‌شود. گاری خالی که به فرایند قبلی فرستاده می‌شود مطابق با یک کانبان برداشت می‌شود.

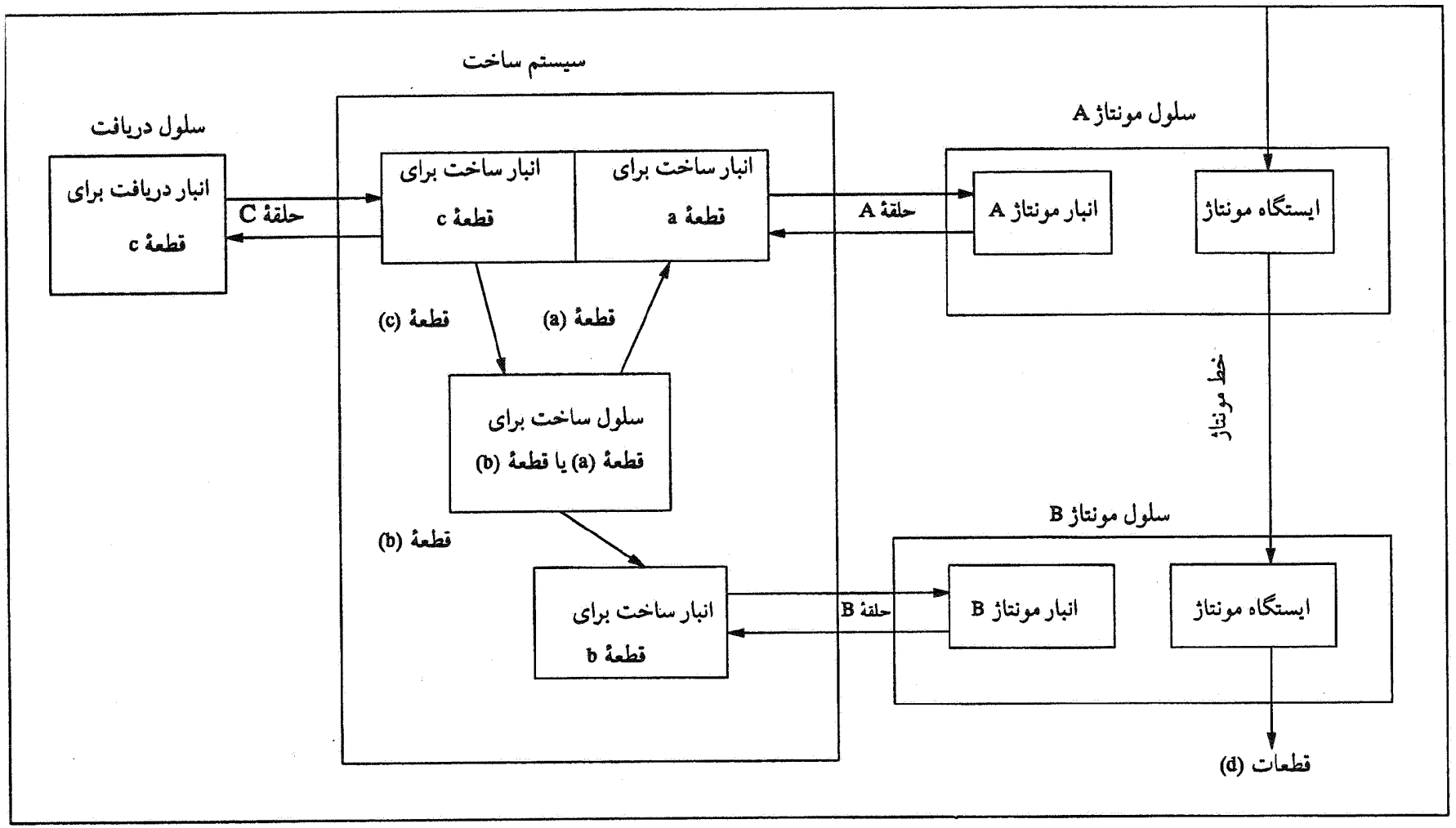
معمولاً کار با کانبان انتقال ساده‌تر است در حالی که وقتی این کانبان با کانبان سفارش تولید توأماً استفاده شود، کارکمی پیچیده‌تر می‌شود. اما برای سیستم تولیدی چند مرحله‌ای سیستم دو کارتی مناسبتر است. تشریح بیشتری از سیستم کانبان در ماندن [۴] آمده است.

عملیاتی که بر پایه سیستم کانبان انجام می‌شوند یک سیستم کشیدنی را تشکیل می‌دهند که در آن مرحلهٔ قبلی فقط و فقط وقتی تولید می‌کند که تقاضایی که با حرکت کانبان بیان می‌شود از مرحلهٔ بعدی به آن برسد. آخرین نقطهٔ کشیدنی همان بازار است. این نحوه انجام عملیات نقطهٔ مقابل سیستمهای مرسوم و سنتی یعنی سیستم هل‌دادنی است. در یک چنین سیستمی، فرایند قبلی بدون توجه به وضعیت فرایند بعدی به تعداد زیادی تولید می‌کند و اگر نرخ برداشت فرایند بعدی کمتر از نرخ تولید فرایند قبلی باشد، موجب انباشته شدن موجودی در جریان می‌شود. در سیستم هل‌دادنی، مراحل تولیدی با تقاضای واقعی شروع به فعالیت می‌کنند که منجر به جمع شدن موجودی در تمام مراحل می‌شود. به تعبیری این موجودیهای اضافی برای رسیدن از ابتدای خط به انتهای خط همدیگر را هل می‌دهند.

هدف از این مطالعه ارائهٔ یک مدل شبیه‌سازی با استفاده از زبان شبیه‌سازی SLAM [۵] از یک سیستم تولیدی دوکارتی دو مرحله‌ای و تعیین تعداد گاریهای موجود درون سیستم با هدف تأمین تقاضا با حداقل موجودی در جریان است. از طرف دیگر اثرات تغییر متوسط تقاضا و پراکندگی آن و قدرت تطابق سیستم با آن نیز مورد توجه قرار گرفته است.

این مقاله از ۷ بخش تشکیل شده است. در بخش ۲، مروری بر مقاله‌های موجود در این زمینه ارائه خواهد شد و در بخش ۳، مدل یک سیستم تولیدی دومرحله‌ای بررسی شده است. در بخش ۴، مدل شبیه‌سازی از این سیستم دومرحله‌ای معرفی شده و ضمن بررسی اعتبار مدل، اطلاعات اولیه از مدل پایه ارائه می‌شود. در بخش ۵ نتایج مختلف از آزمایش ارائه شده و مورد تحلیل قرار می‌گیرند. در بخش ۶ مقایسهٔ سیستم تولیدی کشیدنی با سیستم

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]



شکل ۱- سلول ساخت به دو سلول مونتاژ در خط مونتاژ خدمت ارائه می‌کند. قطعات (a) و (b) در سلول ساخته شده و به خط مونتاژ برای مونتاژ به قطعهٔ (d) تحویل داده می‌شوند.

[DOR: 20.1001.1.22516001.1377.17.1.2.6]

سنتی انجام می شود. در بخش ۷ نتیجه گیری ارائه شده است.

۲- مروری بر تحقیقات موجود

تحقیقات نسبتاً زیادی در زمینهٔ برنامه‌ریزی و کنترل عملیات در سیستم JIT انجام شده که به‌صورت مقاله‌های متعددی به چاپ رسیده‌اند. در برخی از آنها نظریه سیستم مورد تحلیل قرارگرفته و در بعضی نیز تحلیل براساس مدلهای شبیه‌سازی و رفتار سیستم انجام شده است. در اینجا مروری اجمالی بر تحقیقات انجام شده بر پایه مدلهای شبیه‌سازی در این زمینه ارائه می‌شود.

شبیه‌سازی سیستم JIT را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: ۱- تحلیلی مستقل از سیستم کشیدنی، ۲- تحلیلی مقایسه‌ای از سیستمهای کشیدنی و هل‌دادنی. تحلیلهای مقایسه‌ای دو سیستم بر مبنای مقایسهٔ عملکرد سیستمها تحت دو سیاست بالا هستند و تحلیلهای مستقل عمدتاً بر روی بررسی قدرت انطباق سیستم کانبان با شرایط متفاوت متمرکزند. مقاله‌های بررسی شده نیز بر همین منوال در جدول ۱ گروه‌بندی شده‌اند.

اثرات تغییر در زمانهای پردازش و برنامهٔ اصلی تولید (تغییرات در تقاضا) و قوانین مختلف در تعیین توالی عملیات[۲۵] در ایستگاههای نامتعادل (یعنی وقتی زمانهای پردازش در ایستگاهها با یکدیگرند نه تنها مساوی نیستند بلکه از یکدیگر فاصله هم دارند) و سطوح موجودی در عملکرد سیستم در شکلهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در همهٔ مطالعات شبیه‌سازی شدهٔ نامبرده در جدول ۱، با فرض هیچ نوع کمبودی از مواد اولیه، عرضه کننده نادیده گرفته شده است.

جمعبندی مقاله‌های مرور شده منجر به نتایج زیر شده است:

۱- مطالعات بعضی مطالعه گران مثل کراجوسکی و همکاران [۶]، فالون و براون [۷] نشان می‌دهد. که کاهش همزمان زمانهای آماده‌سازی و اندازهٔ دسته تولید تنها راه مؤثر کاهش موجودی و بهبود ارائهٔ خدمات به مشتری است. عدم موفقیت در کاهش زمانهای آماده‌سازی موجب می‌شود که اندازهٔ دسته تولید را نتوان کاهش داد و لذا مدت زمان تحویل افزایش می‌یابد.

۲- برخی مثل لی [۸] اثرات قوانین مختلف در تعیین توالی را موردبررسی قرار داده و نشان داده که قانون SPT[۲۶] موجب بهبود عملکرد سیستم JIT می‌شود.از طرف دیگر برکلی و کراین [۹] ارجحیت قوانین بر پایه FCFS[۲۷] را نسبت به سایر قوانین نشان داده‌اند.

۳- سارکروهاریس [۱۰] و گوپتاوگوپتا [۱۱] نشان داده‌اند که یک سیستم کشیدنی که برخی از عملیات آن نامتعادل باشد بسیار بهتر کار می‌کند.

۴- مطالعات زیادی نشان داده‌اند که افزایش موجودی (افزایش تعداد کانبان) در محیط JIT اثر معکوسی بر روی عملکرد سیستم دارد و سطح موجودی در جریان را افزایش می‌دهد. در میان این مطالعات ویلدا و همکاران [۱۲] و گوپتا و گوپتا نشان دادند که در سطح بالای موجودی ذخیره، نه تنها نرخ خروجی بهبود نمی‌یابد بلکه به تدریج نیز کاهش می‌یابد. چاتروویدا و گلهر [۱۳] عدم حساسیت بهره‌وری[۲۸] را نسبت به سطح کانبان‌ها بررسی کردند. لی [۱۴] نشان داد که یک افزایش در سطح کانبان باعث کاهش دیرکرد کار می‌شود اما منجر به افزایش سطح موجودی در جریان نیز می‌شود.

۵- هانگ و همکاران و گوپتا وگوپتا گزارش دادند که افزایشی در تغییرات زمانهای پردازش و نرخ تقاضا موجب کمبود موجودی می‌شود و هانگ و همکاران تحت شرایط بالا افزایش در نرخهای اضافه‌کاری را نیز گزارش داده‌اند. ریز و همکارن [۱۵] نشان دادند که در حالتی که زمانهای پردازش قطعی‌اند سیستم کشیدنی بهتر کار می‌کند ولی در حالی که تقاضا متغیر است سیستم هل‌دادنی مناسبتر است.

۶- در میان محققان که مطالعات مقایسه‌ای بین سیستمهای کشیدنی و هل دادنی را انجام داده‌اند، ریز و همکاران گزارش داده‌اند که با کاهش زمان سیکل و زمانهای آماده‌سازی می‌توان صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای انجام داد. همچنین لی برتری سیستم JIT را در رابطه با کاهش کل زمان انجام کار نسبت به سیستم هل‌دادنی نشان داده است.

۷- ابراهیم پور و فاتحی [۲۲]، فالون و براون ، لی و ریز و همکارن در مطالعات مقایسه‌ای به طور سازگاری گزارش داده‌اند که اجرای یک سیستم کشیدنی در مقایسه با سیستم هل‌دادنی باعث کاهش موجودی در جریان می‌شود.

۳- مدل یک سیستم تولیدی دو مرحله‌ای JIT

سیستم تولیدی دو مرحله‌ای شکل ۱ سه حلقهٔ کانبان برداشت دارد.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

جدول ۱ - گروه‌بندی مقاله‌ها

نویسنده (نویسندگان)	مستقل	مقایسه‌ای
کی‌مورا، تردا (۱۹۸۱)	×	×
هانگ، ریز، تیلور III (۱۹۸۳)	×	
اسکورر (۱۹۸۴)	×	
ابراهیم‌پور،فاتحی (۱۹۸۵)		×
فالون، براون (۱۹۸۷)		×
کراجوسکی، کینگ، ریتزمن، ونگ (۱۹۸۷)	×	
لی (۱۹۸۷)	×	
فیلیپون، ریز، تیلور III، هانگ (۱۹۸۷)[۱۶]	×	
گراول، پیرسس (۱۹۸۸)[۱۷]	×	
سارکر، هاریس (۱۹۸۸)	×	
ویلدا، دودک، اسمیت (۱۹۸۸)	×	
گوپتا، گوپتا (۱۹۸۹)	×	
لی (۱۹۸۹)		×
ریز، هانگ، تیلور III (۱۹۸۹)		×
سارکر، فیتزمون (۱۹۸۹)[۱۸]		×
اندیجانی، کلارک (۱۹۹۱)[۱۹]	×	
برکلی، کران (۱۹۹۱)		×
چاترویدا، گلهر (۱۹۹۲)	×	
سامی‌کراست، راسل، تیلور III (۱۹۹۲)[۲۰]	×	
یاوز و ساتیر (۱۹۹۵)[۲۱]	×	

● حلقهٔ A - گاریها بین انبار مونتاژ و انبار سلول [۲۹] ساخت A حرکت کرده و به انبار مونتاژ A برمی‌گردند.

● حلقهٔ B - گاریها بین انبار مونتاژ B و انبار سلول ساخت B حرکت کرده و به انبار مونتاژ B برمی‌گردند.

● حلقهٔ C - گاریها بین انبار سلول ساخت و انبار دریافت حرکت کرده و به انبار سلول ساخت برمی‌گردند. قطعات وارده c در سلول به یکی از دو قطعهٔ a و یا قطعهٔ b تبدیل می‌شوند.

کسانی‌که به عنوان حمل‌کنندهٔ گاریها در هر یک از حلقه‌ها کار

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

می‌کنند، حاملین نامیده می‌شوند.

سیستم ارائه شده در شکل ۱، از اجزای زیر تشکیل شده است :

- دو ایستگاه مونتاژ برای مونتاژ قطعهٔ a در ایستگاه A و برای مونتاژ قطعهٔ b در ایستگاه B
- یک سلول ساخت که قطعات c را به قطعهٔ a یا قطعهٔ b تبدیل می‌کند.
- یک انبار دریافت که گاریهای دریافتی شامل قطعات c در آن نگهداری می‌شوند.
- یک انبار مونتاژ A برای نگهداری گاریهای پر شامل قطعات a در سلول مونتاژ A.
- یک انبار مونتاژ B برای نگهداری گاریهای پر شامل قطعات b در سلول مونتاژ B.
- یک انبار ساخت A برای نگهداری گاریهای خالی و پر مربوط به قطعهٔ a و همچنین نگهداری گاریهای خالی و پر مربوط به قطعهٔ c
- یک انبار ساخت B برای نگهداری گاریهای خالی و پر مربوط به قطعهٔ b

محدودیتهای زیر در مدل مربوط به شکل ۱ درنظر گرفته شده است :

- هیچ قطعه‌ای از a یا قطعه‌ای از b تا دریافت کانبان سفارش تولید متناظر آن تولید نمی‌شود. نتیجتاً سلول ساخت تا دریافت کانبان سفارش تولید بی‌کار می‌ماند.
- هر گاری a و هر گاری b فقط یک کانبان سفارش تولید و یک کانبان برداشت دارند. هر گاری c فقط یک کانبان برداشت دارد.
- هر گاری a و b و c می‌تواند فقط تعداد مشخصی از قطعات را حمل کند.

جریان در سیستم ارائه شده در شکل ۱، به شرح زیر است :

- کانبان برداشت از گاری پر شامل b جدا شده و در محل نگهداری آن قرار داده می‌شود. سپس قطعهٔ b به تعدادی که لازم است از گاری b برداشته شده و عملیات مونتاژ در سلول B انجام می‌گیرد.
- اگر یک گاری در سلول مونتاژ B خالی شود، یک کانبان برداشت به آن متصل شده و گاری به سلول ساخت B برگردانده می‌شود کانبان برداشت از گاری جدا می‌شود.
- اگر یک گاری پر b در دسترس باشد، کانبان برداشت به آن متصل شده و گاری پر به انبار مونتاژ B برگردانده می‌شود. قبل از اینکه گاری پر b برگردانده شود. کانبان سفارش تولید برداشته شده و در محل نگهداری آن قرار داده می‌شود. اگر گاری پر b در دسترس نباشد کانبان با گاری منتظر می‌ماند تا یک گاری پر شود.
- قراردادن کانبان سفارش تولید در محل نگهداری آن در سلول ساخت علامتی برای تولید قطعات b است. بعد از اینکه گاری از قطعات b پر شد، در انبار ساخت B به نحوی که کانبان سفارش تولید به آن متصل است قرار می‌گیرد.
- برای ساخت قطعهٔ b یا a نیاز به قطعهٔ c است. قبل از اینکه قطعهٔ c استفاده شود، کانبان برداشت از گاری پر شامل آن قطعهٔ جدا شده و در محل نگهداری مخصوص قرار داده می‌شود. سپس قطعهٔ c مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- اگر یک گاری خالی c در دسترس باشد، یک کانبان برداشت به آن متصل شده و به محل انبار دریافت برده می‌شود. در نقطهٔ ارسال، کانبان برداشت، از گاری جدا می‌شود. اگر یک گاری پر c در دسترس باشد، کانبان برداشت به آن متصل شده و گاری پر c به انبار ساخت برده می‌شود. در صورت نبودن گاری پر c ، گاریها در محل انبار دریافت منتظر می‌شوند و در موقع مناسب یعنی در دورهٔ ثابت به محل عرضه‌کننده ارسال شده و به صورت پر برگردانده می‌شوند.
- ترتیب مشابهی از قدمهای فوق در سلول مونتاژ A صورت می‌گیرد.

۴- مدل شبیه‌سازی

یک مدل شبیه‌سازی بر پایه سیستم دوکارتی بالا با استفاده از زبان شبیه‌سازی SLAM ساخته شده است که شبکهٔ آن در شکل ۲ ملاحظه می‌شود.

از یک سلول ساخت استفاده شده و ظرفیت گاری a و گاری b و گاری c، به ترتیب ۲ و ۴ و ۷ قطعه است. تعداد گاریهای در دسترس بین اجراها مختلف بوده و در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. جدول ۳ شرایط اولیه و اطلاعات ورودی را نشان می‌دهند.

اعتبار مدل : معیار سنجش برای اعتبار مدل، بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل با درنظرگرفتن مقادیر ثابت برای تقاضا و سایر پارامترها با نتایج حاصل از مرور دستی بر نحوهٔ گذران سیستم صورت گرفته است. در این دو حالت پارامترهای مدل دارای نتایج یکسانی شده‌اند که می‌تواند دلیلی برای صحت مدل و انجام آزمایش باشد.

تعادل : باید توجه کرد که تعادل، دستیابی به حالت پایدار از یک سیستم است و نه دستیابی به مقادیر خاصی از حالت سیستم که در یک اجرای خاص احتمالاً مشاهده می‌شوند. تعادل، شرایط حدی

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

جدول ۲- شرایط اولیه

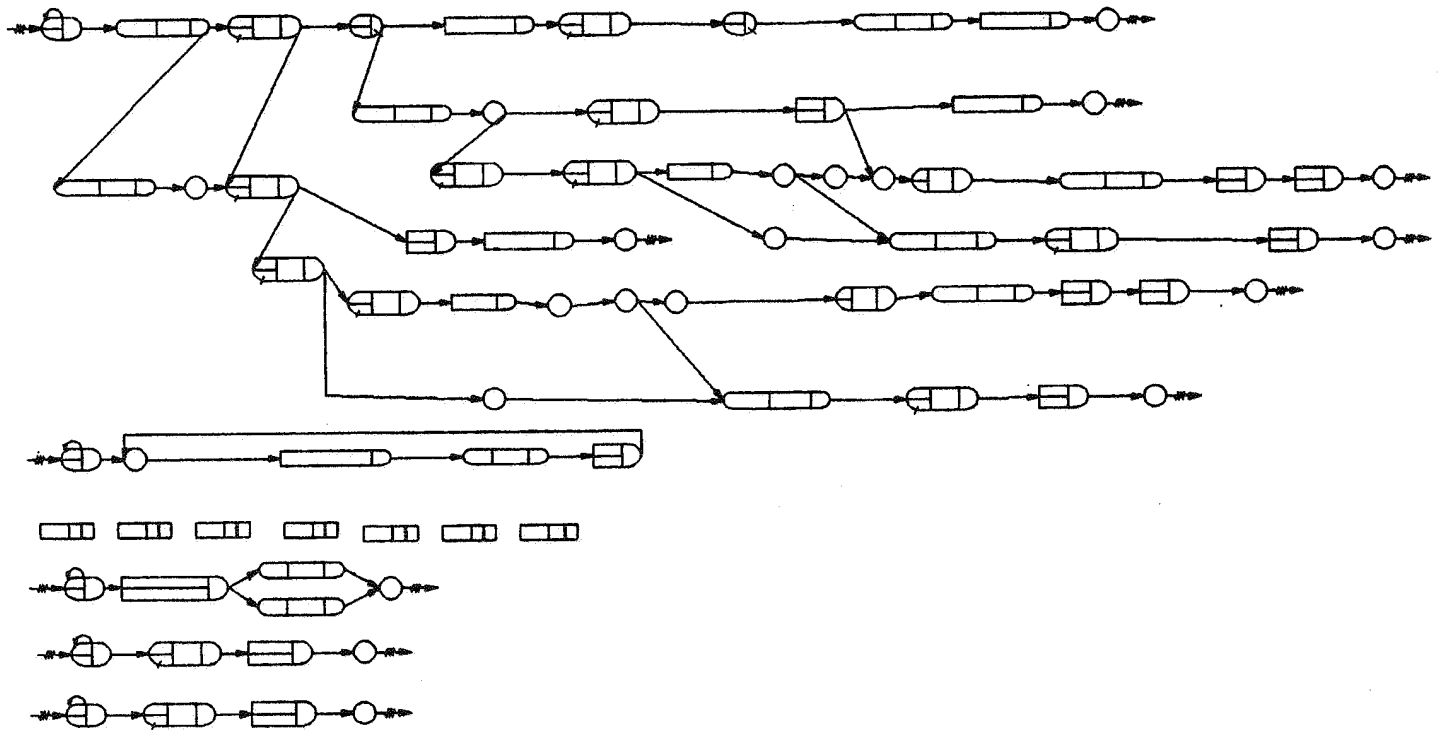
اجرا	گاری a	گاری b
۱	۱	۱
۲	۲	۱
۳	۱	۲
۴	۲	۲
۵	۳	۲
۶	۳	۳
ظرفیت گاری (قطعهٔ بر گاری)	۲	۴

جدول ۳- اطلاعات ورودی

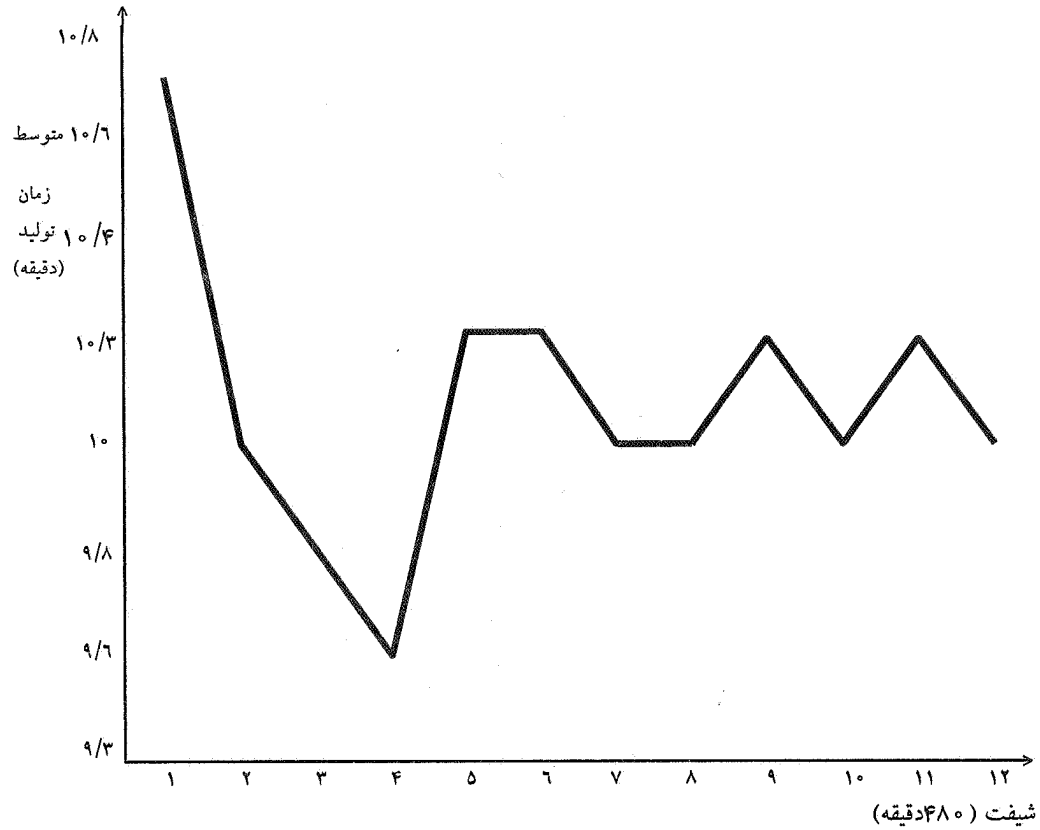
نوع اطلاعات	توزیع زمانی
زمان آماده‌سازی ساخت قطعهٔ (a) یا قطعهٔ (b)	۱
زمان ساخت قطعهٔ (a)	۱
زمان ساخت قطعهٔ (b)	۶
زمان مونتاژ قطعهٔ a به d	۶ ± ۴
زمان مونتاژ قطعهٔ b به d	۶ ± ۲
زمان حمل گاری پر a از انبار ساخت A به انبار مونتاژ A	۲
زمان حمل گاری خالی a از انبار مونتاژ A به انبار ساخت A	۲
زمان حمل گاری پر b از انبار ساخت B به انبار مونتاژ B	۱
زمان حمل گاری خالی b از انبار مونتاژ B به انبار ساخت B	۱
زمان حمل گاری پر C از انبار دریافت به انبار ساخت A	۱
زمان حمل گاری خالی C از انبار ساخت A به انبار دریافت	۱
ورود گاری پر C (سیکل سفارش)	تعداد گاری در هر ۲۴۰ دقیقه
فاصله زمانی بین ورود دو تقاضای متوالی	۱۰ ± ۲

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]



شکل ۲- شبکه SLAM سیستم دوکارتی



شکل ۳ - متوسط زمان مونتاژ(دراجرای ۲)

است که هدف رسیدن به آن است. تفاوت بین وضعیت فعلی در شبیه‌سازی و وضعیت تعادلی آن معمولاً با افزایش زمان شبیه‌سازی، کاهش می‌یابد. بنابراین، مسئله یافتن نقطه‌ای است که تا قبل از آن نقطه، نتایج متأثر از شرایط اولیه‌اند.

روش کانوی [۲۳] برای تعیین نقطه تعادل در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. قبل از اجرای مدل و بر اساس جمع‌آوری اطلاعات در هر ۴۸۰ دقیقه که معادل یک شیفت کاری است، نتیجهٔ زیر حاصل شده است.

بعد از هر شیفت، هر آمار جمع‌آوری شده را می‌توان بر حسب تابعی از زمان رسم کرد، که حاصل، شاخصی برای رفتار سیستم است. روش کانوی در هر بار، از بین نقاط در مجموعه به‌دست آمده به دنبال نقطه‌ای است که نه حداقل و نه حداکثر باشد.

در شکل ۳، متوسط زمان مونتاژ قطعهٔ d (در اجرای اول) در هر ۴۸۰ دقیقه حساب شده است. مقدار پنجمین تکرار اولین نقطه‌ای است که نه حداقل و نه حداکثر است.بنابراین ۱۹۲۰ دقیقه اول (چهار شیفت) لازم است تا سیستم به نقطهٔ تعادل برسد. اطلاعات این ۱۹۲۰ دقیقه از اطلاعات جمع‌آوری شده، حذف می‌شود. حالت تعادل برای سایر مشخصه‌های عملکرد سیستم مانند تعداد موجودی قطعات a و b نیز بررسی شدند که نتیجهٔ بالا را تأیید می‌کنند. در طول مطالعه نیز برای هر اجرای متفاوت نقطهٔ تعادل به‌دست آمده و اطلاعات تا قبل از رسیدن به نقطه تعادل حذف شده‌اند.

شرایط شروعی: مدت زمانی لازم است که حالت سیستم مستقل از شرایط اولیه شود. یکی از معمولترین راههای شروعی در شبیه‌سازی، حالت بی‌کاری و خالی بوده و یا به‌عبارتی شروع از صفر است. این حالت یعنی در شروع اجرا، تمام صفها خالی بوده و تمام منابع و یا تجهیزات بی‌کارند.

ایده‌آل خواهد بود اگر شرایط اولیه به نحوی انتخاب شوند که متناظر با شرایط تعادلی باشند. البته معمولاً این ایده‌آل به سختی حاصل می‌شود. بنابراین معمولاً هر شرایط اولیه‌ای بهتر از حالت

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

جدول ۴ - متوسط تعداد تولید و درصد تقاضای تأمین شده

اجرا	متوسط تعداد تولید قطعهٔ d	درصد تقاضای تأمین شده
۱	۴۷/.	۹۸/۳
۲	۴۷/۵	۱۰۰
۳	۴۷/۳	۹۸/۶
۴	۴۸/۳	۱۰۰
۵	۴۸/۳	۱۰۰
۶	۴۸/۳	۱۰۰

جدول -۵ درصد گردش کانبان

اجرا	درصد گردش گاری a	درصد گردش گاری b	متوسط درصدگردش کانبان
۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲	۷۷	۱۰۰	۸۵
۳	۱۰۰	۸۷	۹۱
۴	۷۸	۸۶	۸۲
۵	۵۲	۸۶	۶۶
۶	۵۲	۵۸	۵۵

صفر است. برای مدل دوکارتی موردنظر، شرایط اولیه گاریهای پر از a و b و c است.

شرایط توقف: مسئله‌ای مشابه با تعیین شرایط ورودی برای تعیین شرایط و برای توقف شبیه‌سازی وجود دارد. برای مثال، یک شبیه‌سازی می‌تواند با توقف در ایجاد نهادهای جدید و برگرداندن سیستم به حالت خالی و بی‌کار متوقف شود، این‌کار معمولاً منجر به جمع‌آوری اطلاعات جهت‌دار به خصوص در صورت کوتاه بودن زمان شبیه‌سازی می‌شود.

۵- نتایج مختلف حاصل از آزمایش

هدف آزمایش ارزیابی پارامترهای سیستم با تغییر دادن تعداد گاریهای پر a و b در سلولهای مونتاژ A و B است. شش اجرا با استفاده از شرایط اولیه موجود در جدول ۲ انجام شده است. بقیه برای اجتناب از این مشکل، پس از یک دورهٔ مفروض متوقف می‌شود. در این مطالعه طبق نظر فیشمن [۲۴]، دورهٔ زمان ۳۸۴۰ دقیقه و معادل ۸ شیفت است. با این روش هیچ محدودیتی روی تعداد نهادهای ورودی و یا موجود در سیستم گذاشته نمی‌شود. بنابراین بعد از تکمیل اجرا، نهادها هنوز در سیستم بوده و منابع نیز در حال استفاده‌اند.

اطلاعات ورودی ثابت درنظر گرفته شده و در جدول ۳ ارائه شده‌اند. هدف اصلی از این مطالعه تعیین تعداد گاریهای a و b برای تأمین تقاضا و حداقل گاری c برای کمینه‌کردن تعداد موجودی در جریان از قطعات a و b است.

جدول ۴ متوسط تعداد تولید شده از محصول نهایی d را در اجراهای مختلف نشان می‌دهد. بررسی درصد تقاضای تأمین شده برای شش اجرای اصلی نشانگر این است که اضافه‌کردن یک گاری از

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

نوع a ، باعث شده است که متوسط تعداد تولید شده در اجرای ۲ نسبت به اجرای ۱ افزایش یابد و صددرصد تقاضا تأمین شود. در اجرای ۳ نیز که تعداد گاری b دوبرابر تعداد گاری a است عدم تعادل در تعداد قطعات a و b باعث کاهش تعداد تولید شده است. در اجراهای ۵ و ۶ نیز اضافه کردن گاریهای a و یا b اثر قابل توجهی نسبت به اجرای ۴ نداشته‌اند و لذا اجرای ۲ متشکل از دو گاری از نوع a و یک گاری از نوع b با اجرای ۴ دارای دو گاری a و دو گاری b توانسته‌اند ۱۰۰٪ تقاضا را تأمین کنند. البته بررسی جدول ۵ یعنی درصد گردش کانبان یا به‌عبارتی دیگر درصد استفاده از موجودی، نشان می‌دهد که اجرای ۲ با ۸۵٪ گردش کانبان نسبت به اجرای ۴ با ۸۲٪ گردش کانبان ترجیح دارد. زیرا در اجرای ۴ با اضافه کردن گاریها هر چند تعداد تولید بیشتر شده است ولی بخشی از موجودی به‌صورت استفاده نشده باقی می‌ماند. لذا اجرای ۲ به‌عنوان پایه برای تحلیلهای بعدی انتخاب می‌شود.

جدول ۶ نیز میزان متوسط تعداد موجودی اجراهای ۱ الی ۶ را نشان می‌دهد که میزان متوسط موجودی از قطعهٔ b برای اجرای ۴ و ۲ نیز مؤید نتیجهٔ بالا است.

جدول ۷ بهره‌وری سلول ساخت یعنی درصد اوقاتی که سلول ساخت مشغول است را نشان می‌دهد. قابل توجه است که بهره‌وری کمتر از صددرصد از ویژگیهای سیستم JIT است و مدعی است که افزایش تقاضا تا حدود ۱۰ درصد را می‌تواند با امکانات موجود تأمین کند. این سیستم نیز به نحوی تنظیم شده است که بتواند با توجه به ظرفیت بلااستفادهٔ سلول ساخت، با افزایش نرخ تقاضا خود را تطبیق دهد. صحت این ادعا نیز در ادامهٔ شبیه‌سازی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ازطرفی بهره‌وری کم در اجراهای ۱ و ۳ ناشی از پایین بودن سطح تولید است که خود ناشی از کم بودن قطعات در سلولهای مونتاژ است و بهره‌وری در اجرای ۴ الی ۶ یکسان است که ناشی از تأمین شدن صددرصد تقاضا است.

بهره‌وری حاملین برای شش اجرا بسیار پایین است. برای اجرای ۲ که اجرای پایه است، بهره‌وری حامل ۱ برابر ۰/۱۹۹۵ و بهره‌وری حامل ۲ برابر ۰/۰۴۹۴ است. این بهره‌وری پایین نشان می‌دهد که احتمالاً یک حامل برای کلیه حمل ونقلها در همهٔ انبارها کافی خواهد بود.

جدول ۸ متوسط بهره‌وری سلولهای مونتاژ را نشان می‌دهد.

پایین بودن بهره‌وری در اجرای ۱ نسبت به بهره‌وری در اجرای ۲، ناشی از کم بودن قطعهٔ a است که با افزایش یک واحد به تعداد گاری a ، بهره‌وری افزایش می‌یابد. در اجرای ۳ نیز بخاطر موجود بودن بیش از اندازهٔ قطعهٔ b ، بهره‌وری سلول مونتاژ کاهش یافته و در اجراهای ۴ الی ۶ نیز افزایش بیشتر گاری a یا گاری b اثری مشابه در افزایش بهره‌وری سلولهای مونتاژ داشته‌اند. از پایین بودن متوسط بهره‌وری در اجرای ۲ (اجرای پایه) می‌توان چنین برداشت کرد که احتمالاً می‌توان سطح تولید را افزایش داد.

برای بررسی این نظریه زمان ورود بین دو تقاضا در اجرای ۲ از ۲ ± ۱۰ دقیقه به ۲ ± ۹ در اجرای ۷ و به ۲ ± ۸ در اجرای ۸ کاهش یافته است. که خود نشانگر افزایش نرخ ورود در این دو اجراست. خلاصهٔ نتایج آن همراه با نتایج اجرای ۲ در جدول ۹ نشان داده شده است.

همان‌طور که از نتایج معلوم است، افزایش تقاضا در اجرای ۷ که تا حدود ۱۰ درصد است با افزایش بهره‌وری سلولهای مونتاژ و افزایش متوسط تولید در شیفت همراه بوده است. بهره‌وری حاملین به خصوص در حلقه‌های A و C یعنی برای حامل ۱ افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. متوسط زمان انتظار برای سلول ساخت نیز افزایش یافته‌است. که همهٔ این نتایج با اضافه شدن تقاضا و متوسط تولید قابل توجیه است. افزایش تقاضا در اجرای ۸ که تا حدود ۲۰ درصد است اثرات ناپایداری در سیستم ایجاد می‌کند زیرا با اینکه سلول ساخت دائماً مشغول ساخت قطعات است ولی میزان تولید تغییر نکرده و بهره‌وری سلول مونتاژ b هم پایین آمده است و زمان انتظار نیز برای سلول ساخت بالا رفته است، لذا سیستم می‌تواند تنها با افزایش تقاضا تا میزان ۱۰ درصد خود را تطبیق دهد.

برای بررسی اثرات در افزایش واریانس تقاضا، ضمن ثابت درنظر گرفتن متوسط فاصلهٔ زمان ورود، فاصلهٔ زمانی بین ورود دو تقاضای متوالی در اجرای ۹ به ۳ ± ۱۰ و در اجرای ۱۰ به ۴ ± ۱۰ افزایش داده شده است و در اجرای ۱۱ به ۱ ± ۱۰ کاهش داده شده است که نتایج حاصل از این تغییرات در مقایسهٔ با اجرای پایه در جدول ۱۰ مشاهده می‌شوند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در اجرای ۹ و ۱۰ که دامنهٔ تغییرات در نرخ ورود نسبت به اجرای ۲ بیشتر شده است، سیستم توانسته خود را با این تغییرات تطبیق دهد و این نشان می‌دهد که سیستم JIT توانسته است خود را نسبت به افزایش دامنهٔ نرخ ورود تقاضا

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

جدول ۶- میزان متوسط تعداد موجودی

اجرا	قطعهٔ a	قطعهٔ b
۱	۱/۴۳	۱/۷۵
۲	۱/۹۶	۱/۷۲
۳	۱/۳۶	۳/۲۹
۴	۱/۹۶	۳/۴۷
۵	۱/۹۹	۳/۴۷
۶	۱/۹۹	۳/۴۷

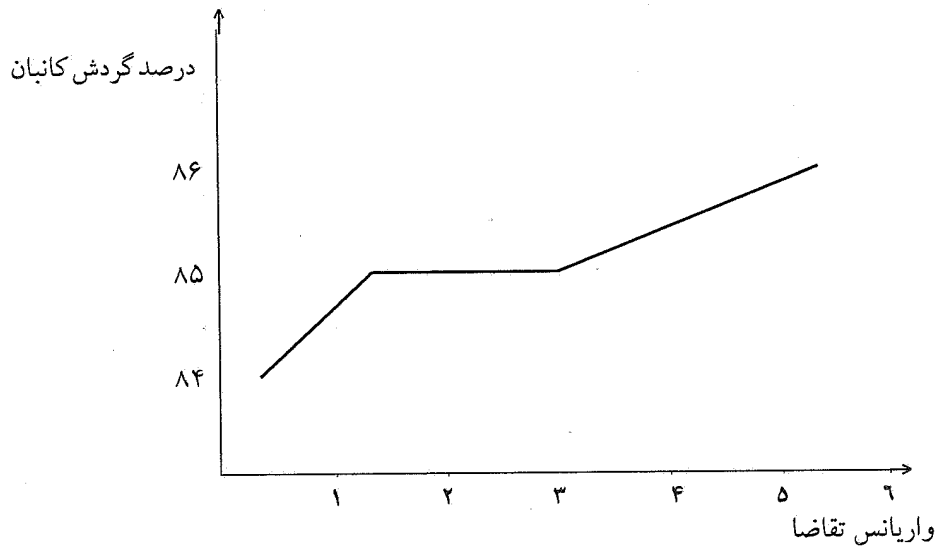
جدول ۷- بهره‌وری سلول ساخت

اجرا	متوسط بهره‌وری
۱	۰/۸۹
۲	۰/۹۰
۳	۰/۸۸
۴	۰/۹۱
۵	۰/۹۱
۶	۰/۹۱

جدول ۸- متوسط بهره‌وری سلولهای مونتاژ

اجرا	سلول مونتاژ a	سلول مونتاژ b
۱	۰/۶۰۵	۰/۵۸۷
۲	۰/۶۰۸	۰/۵۸۷
۳	۰/۵۸۹	۰/۵۹۲
۴	۰/۶۱۷	۰/۶۱۶
۵	۰/۶۱۷	۰/۶۱۶
۶	۰/۶۱۷	۰/۶۱۶

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]



شکل ۴ - رابطهٔ افزایش دامنهٔ نوسانات تقاضا با درصد گردش کانبان

تطبیق دهد.

در اجرای ۱۱ نیز که دامنهٔ تغییرات کمتر شده است. متوسط بهره‌وری سلولهای مونتاژ کاهش یافته و تغییر قابل ملاحظه‌ای در تولید رخ نداده است.

شکل ۴ رابطهٔ افزایش دامنهٔ نوسانات تقاضا با درصد گردش کانبان را نشان می‌دهد که چگونه با افزایش واریانس تقاضا درصد گردش کانبان افزایش می‌یابد.

نکتهٔ قابل توجه دیگر تعداد گاری c است. با انجام شبیه‌سازی، حداقل تعداد گاری c که اثر محدودکننده‌ای بر روی تأمین تقاضا و تعداد گاریهای a و b و درصد گردش کانبان نداشته باشد، به‌دست آمده است که نتایج در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود.

همان‌طور که بیان شد نحوهٔ سفارش از قطعهٔ c بر اساس سفارش در دورهٔ ثابت است و نتایج نشان می‌دهد که حداقل گاری c برای این سیستم ۱۹ واحد است و در هر ۴۸۰ دقیقه ۱۳ الی ۱۴ گاری در هر نوبت ارسال و دریافت می‌شود.

در جدول ۱۲ نیز اثر افزایش در دامنهٔ تغییرات تقاضا و همچنین اثر افزایش در متوسط تقاضا بر روی تعداد گاری c نشان داده شده است. با افزایش نرخ ورود در اجراهای ۷ و ۸، متوسط دریافتی از گاری c افزایش یافته است که خود نشان‌دهندهٔ نیاز بیشتر به تولید قطعات a و b است. در عین حال حداکثر تعداد استفاده شده از گاری c به ۱۸ رسیده است که می‌توان چنین برداشت کرد که گردش گاری c افزایش یافته است. با افزایش دامنهٔ تغییرات تقاضا در اجرای ۹ تعداد گاری c و متوسط دریافتی آن نسبت به اجرای پایه تغییر نکرده است ولی با افزایش بیشتر دامنهٔ تغییرات تقاضا در اجرای ۱۰ و همچنین با کاهش دامنهٔ تغییرات تقاضا در اجرای ۱۱، حداقل تعداد گاری c افزایش یافته است.

به‌عبارتی چون دورهٔ سفارش در مورد قطعهٔ c ثابت است، افزایش متوسط تقاضا اثر بیشتری بر روی متوسط دریافتی و نه بر روی تعداد گاری لازم می‌گذارد. در حالتی که تغییر در افزایش واریانس تقاضا به تعداد بیشتری گاری c نیاز دارد، هر چند که متوسط دریافتی در هر سیکل تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌کند.

در زمینهٔ سیستمهای تولیدی دوکارتی همان‌طور که در بخش ۲ گذشت، مطالعات زیادی انجام شده است ولی هنوز هم جا برای مطالعات بیشتر باقی است. به طور مثال برای ادامهٔ مطالعات در گزارش موجود می‌توان اثر کاهش تعداد حاملین بین سلولها و همچنین اثر تغییر در تعداد گاری c و ظرفیت گاریها و اثرات آن بر روی رفتار سیستم چه از نظر بهره‌وری و چه از نظر اقتصادی را نیز درنظر گرفت.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

جدول ۹- نتایج اثرات افزایش نرخ ورودی در اجرای ۲

	اجرای ۲	اجرای ۷	اجرای ۸
متوسط بهره‌وری سلول مونتاژ a	۰/۶۰۸	۰/۶۸۳	۰/۶۸۸
متوسط بهره‌وری سلول مونتاژ b	۰/۵۸۷	۰/۶۶۸	۰/۶۶۴
متوسط تولید در شیفت	۴۷/۵	۵۳/۲	۵۳/۲
درصد گردش کانبان	۸۵	۱۰۰	۱۰۰
بهره‌وری حامل ۱	۰/۱۹۹۵	۰/۲۱۹۴	۰/۲۲۱۱
بهره‌وری حامل ۲	۰/۰۴۹۴	۰/۰۵۴۸	۰/۰۵۴۸
متوسط زمان انتظار یک گاری برای سلول ساخت (دقیقه)	۴/۸۳۳	۲۰/۶۱۶	۲۰/۷۳۱
درصد تقاضای تأمین شده	۱۰۰	۱۰۰	۸۹

جدول ۱۰- نتایج اثر افزایش در دامنهٔ تغییرات نرخ ورودی در اجرای ۲

	اجرای ۲	اجرای ۹	اجرای ۱۰	اجرای ۱۱
متوسط بهره‌وری سلول مونتاژ A	۰/۶۰۸	۰/۶۰۷	۰/۶۰۸	۰/۵۹۶
متوسط بهره‌وری سلول مونتاژ B	۰/۵۸۷	۰/۵۹۷	۰/۵۸۸	۰/۵۸۸
متوسط تولید در شیفت	۴۷/۵	۴۸	۴۷/۷	۴۷/۸
درصد گردش کانبان	۸۵	۸۵	۸۶	۸۴
بهره‌وری حامل ۱	۰/۱۹۹۵	۰/۲	۰/۱۹۸۶	۰/۱۸۶۶
بهره‌وری حامل ۲	۰/۰۴۹۴	۰/۰۵	۰/۰۴۹۶	۰/۰۴۹۴
متوسط زمان انتظار یک گاری برای سلول ساخت (دقیقه)	۴/۸۳۳	۵/۱۷۸	۶/۳۰۵	۴/۶۵۲
درصد تقاضای تأمین شده	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

جدول ۱۱- خلاصه نتایج گردش گاری c

اجرا	متوسط استفاده شده	حداکثر استفاده شده	متوسط دریافتی در هر ۴۸۰ دقیقه
۱	۱۱/۵۹	۱۹	۱۳/۴
۲	۱۱/۳۴	۱۹	۱۳/۷
۳	۱۱/۵۷	۱۹	۱۳/۴
۴	۱۱/۱۵	۱۹	۱۴/۰
۵	۱۱/۱۵	۱۹	۱۴/۰
۶	۱۳/۸۵	۲۲	۱۴/۰

جدول ۱۲- حداقل تعدادی گاری c در شرایط مختلف

اجرا	متوسط استفاده شده	حداکثر استفاده شده	متوسط دریافتی در هر ۴۸۰ دقیقه
۲(پایه)	۱۱/۳۴	۱۹	۱۳/۷
۷	۹/۸۹	۱۸	۱۵/۱
۸	۹/۹۱	۱۸	۱۵/۱
۹	۱۱/۲۹	۱۹	۱۳/۹
۱۰	۱۳/۵۴	۲۱	۱۳/۷
۱۱	۱۳/۶۷	۲۱	۱۳/۷

۶- مقایسهٔ سیستم تولیدی کشیدنی (JIT)

هر چند که در این مطالعه هدف اصلی یک بررسی مستقل از رفتار یک سیستم تولیدی دومرحله‌ای JIT است ولی برای روشنتر شدن اذهان در مورد ارجحیت این سیستم تولیدی کشیدنی نسبت به یک سیستم تولیدی هل دادنی که فعالیتی مشابه را انجام می‌دهد، یک مدل شبیه‌سازی شده از سیستم تولیدی هل‌دادنی به زبان SLAM نیز ساخته شد.

برای اینکه بتوان یک مقایسهٔ مناسب را انجام داد باید تفاوتهای دو مدل را برای رسیدن به یک نقطهٔ مشترک بررسی کرد. به این خاطر در مدل اخیر بعد از رسیدن به نقطهٔ تعادل و با توجه به اینکه هدف، تولید همان تعداد محصول تولید شده از مدل JIT است، کلیه محدودیتهایی که می‌توانند به نحوی مانع رسیدن به سطح تولید مطلوب شوند حذف کرده تا در همان مدت (در همان تعداد شیفت) تولید مطلوب حاصل شود.

در شرایط یکسان یعنی با درنظر گرفتن خرابی سلولهای ساخت و مونتاژ و هیچ گونه محدودیت در عرضهٔ قطعهٔ نوع c و ظرفیت

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

جدول ۱۳- مقایسهٔ سیستم تولیدی JIT با سیستم تولیدی هل دادنی

	سیستم هل دادنی	سیستم JIT (اجرای ۲)
تعداد گاری c	۴۱	۲۲
تعداد گاری a	۲۴	۲
تعداد گاری b	۱۲	۱
موجودی محصول نهایی در پایان هر شیفت	۷	۰
موجودی پیش مونتاژی در پایان هر شیفت	۷	۰
موجودی قطعهٔ c در پایان هر شیفت	۱۲	۶
موجودی قطعهٔ a در پایان شبیه‌سازی	۴	۲
موجودی قطعه a در پایان شبیه‌سازی	۵	۱
بهره‌وری سلول ساخت	۰/۶۹	۰/۹
بهره‌وری گاری a	۰/۱	۰/۷۹۵
بهره‌وری گاری b	۰/۰۲۵	۰/۹۳
تولید متوسط	۴۷/۵	۴۷/۵
متوسط زمان انتظار یک قطعهٔ	۱۴/۴۲۲	۴/۸۳۳
درصد تقاضای تأمین شده	۱۰۰	۱۰۰

مشابه گاریهای نوع c و a و b مشاهده شد که برای تولید به مقدار مساوی در همان تعداد شیفت مورد مطالعه، حجم موجودی قطعات در جریان و موجودی محصول نهایی بیشتر از قبل می‌شود. برخی از نتایج مهم این مقایسهٔ در جدول ۱۳ آورده شده‌اند. بررسی نتایج نشان می‌دهند که بالا بودن تعداد گاریها ناشی از این ویژگی سیستم هل دادنی است که هر مرحله کاملاً جدای از مراحل دیگر و بدون هیچ ارتباط اطلاعاتی به طور مستقل به تولید ادامه می‌دهد و همین امر نیز موجب بالا رفتن موجودی در جریان و موجودی محصول نهایی شده است. با بررسی ظرفیتهای متفاوتی برای گاریها معلوم شد که ظرفیت زیاد گاریها که معمولاً در سیستم هل دادنی مرسوم است منجر به افزایش بیشتر سطح موجودیهای قطعات در جریان و محصول نهایی می‌شود.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله شبیه سازی یک سیستم تولیدی در مرحله ای که براساس فلسفهٔ JIT بنا شده ارائه شده است. در مدل پیشنهادی برای این سیستم تولیدی دو مرحله ای یک خط مونتاژ اتوماتیک که از دو ایستگاه مونتاژ تشکیل می‌شود در نظر گرفته شده است. محصول

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

نهایی با سوار کردن دو پیش مونتاژی با یک قطعه کامل می‌شود. در این سیستم تولیدی از گاریهایی برای حمل پیش مونتاژیها استفاده شده است که ظرفیت آنها ثابت در نظر گرفته شده و سعی می‌شود که تعداد آنها با هدف به حداقل رساندن موجودی در جریان به دست آید. اثر تغییر متوسط تقاضا و پراکندگی آن بر تعداد گاریها نیز مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج نشان می‌دهند که افزایش متوسط تقاضا اثر بیشتری برروی متوسط دریافتی و نه برروی تعداد گاری لازم می‌گذارد. در حالتی که با افزایش پراکندگی تقاضا به تعداد بیشتری گاری نیاز خواهد بود، هرچند که متوسط دریافتی در هر سیکل تغییر قابل ملاحظه ای نمی کند.

مقایسهٔ سیستم تولیدی کشیدنی با سیستم تولیدی هل دادنی برای مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که در سیستم تولیدی هل دادنی حجم موجودی قطعات در جریان و موجودی محصول نهایی بیشتر از حالت مشابه آن در سیستم تولیدی کشیدنی است. بالا بودن تعداد گاریها در سیستم تولیدی هل دادنی ناشی از این ویژگی است که در این نوع سیستمها هر مرحله کاملاً جدای از مراحل دیگر و بدون هیچ ارتباط اطلاعاتی به طور مستقل به تولید ادامه می‌دهد و همین امر نیز موجب بالا رفتن موجودی در جریان و موجودی محصول نهایی شده است.

واژه نامه:

1. Just - in - time
2. two stages production systems
3. sub-assembley
4. containers
5. work-in-process
6. variance
7. wastes
8. just In time
9. lot
10. multi-Stage production system
11. push systems
12. pull systems
13. succeeding stage
14. preceding stage
15. production lead time
16. feed back
17. Kanban
18. line
19. Production ordering kanban
20. Post
21. Withdrawal kanban
22. cycle
23. home stage
24. Conveyance kanban
25. sequencing
26. Shortest Processing Time
27. First- Come, First-Served
28 . utilization
29. یک نوع استقرار فیزیکی تجهیزات است که در آن گروهی از ماشین‌آلات و ابزار برای تولید قطعات به‌کار برده می‌شوند (Cell)

مراجع

1. Schroer, B.,"Microcomputer Analyzes 2-card Kanban System For 'Just-In-Time' Smal Batch Production," *IE*. Vol.10, PP. 25-40, 1984.
2. Kimura, O., and Tereda, H., "Design and Analysis of Pull System: A Method of Multi-stage Production Control," *International Journal of production Research*, Vol. 19, PP. 241-253, 1981.
3. Huang, P. Y., Rees, L. P., and Taylor III, B. W., "A Simulation Analysis of the Japanese Just-in-time Technique(with kanbans) for a Multi-line, Multi-stage Production System, "*Decision Sciences*, Vol. 14, PP. 326-343, 1983.
4. Monden, Y., *Toyota Production System*, Industrial Engineering and Management Press, Atlanta, 1993.
5. Pritsker, A. A. B., and Pegden, C. D., *Introduction to Simulation and SLAM II,* Halsted press, West Lafayette, Indiana.
6. Krajewski, L. J., King, B. E., Ritzman, L.P., and Wong, D. S.,"Kanban, MRP, and Shaping the Manufacturing Environment," *Management Science*, Vol. 33, PP. 39-57, 1987.
7. Fallon, D., and Browne, J.,"Simulating JIT Systems," *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 8, PP. 30-45, 1987.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]

8. Lee. L. C.,"A Comparative Study of the Push and Pull Production Systems,"*International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 9, PP. 5-19, 1989.
9. Berkley, B. J., and Kiran, A. S.,"A Simulation Study of Sequencing Rules in a Kanban Controlled Flow Shop," *Decision Sciences*, Vol. 22, PP. 559-582, 1991.
10. Sarker, B. R., and Harris, R. D.,"The Effect of Imbalance in a JIT Production System: a Simulation Study," *International Journal of Production Research*, Vol. 26, PP. 1-18, 1988.
11. Gupta, Y.P., and Gupta, M. C.," A System Dyna -mics Model for a Multi-stage Multi-line Dual-card JIT Kanban system," *International Journal of Production Research*, Vol. 27, PP. 309-352, 1989.
12. Villeda, R., Dudek, R., and Smith, M. L., "Increasing the production Rate of a JIT Production System With Variable Operation Time," *International Journal of Production Research*, Vol. 26, PP. 1749-1768, 1988 .
13. Chaturvedi, M., and Golhar, D. Y.,"Simulation Modelling and Analysis of a JIT Production System," *Production Planning and Control*, Vol. 3, PP. 81-92, 1992.
14. Lee, L. C.,"Parametric Appraisal of the JIT System, "*International Journal of Production Research*, Vol. 25, PP. 1415-1429, 1987.
15. Rees, L. P., Huang, P. Y., and Taylor III, B. W.,"A Comparative Analysis of an MRP Lot-for-lot System and a Kanban System for a Multistage Production Operation,"*International Journal of Production Research*, Vol. 27, PP. 1427-1443, 1989.
16. Philipoon, P. R., Rees L. P., Taylor III, B.W., and Huang, P. Y.,"An Investigation of the Factors Influencing the Number of Kanbans Required in the Implementation of the JIT," *International journal of productiopn Research,* Vol. 25, PP. 457-472, 1987.
17. Gravel, M., and Price, W. L.,"Using the Kanban in a Job Shop Environment," *International Journal of Production Research*, Vol. 26, PP. 1105-1118 , 1988.
18. Sarker, B. R., and Fitzsimmons, J. A.,"The Per -formance of Push and Pull Systems: a Simulation and Comparative Study," *International Journal of Production Research* , Vol. 27., PP. 1715-1731, 1989.
19. Andijani, A. A., and Clark, G. M.,"Kanban All -ocation to Serial production Lines in a Stochastic Environment. In: JIT Manufacturing Systems: *Operational Planning and Control Issues*," A. Satir (ed.)(Amsterdam: Elsevier), 175-190, 1991.
20. Sumichrast, R. T., Russell, R. S., and Taylor III B. W.,"A Comparative Analysis of Sequencing Proce -dures for Mixed Model Assembly Lines in a JIT Production System," *International Journal of Production Research*, Vol. 30, PP. 199-214, 1992.
21. Yavuz, I. H., and Satir, A., "A Kanban - based Simulation Study of a Mixed Model Just-in-time Manufacturing Line," *International Journal of Production Research*, Vol. 33, PP. 1027-1048, 1995.
22. Ebrahimpour, M., and Fathi, B. M.,"Dynamic Simulation of a Kanban Production Inventory System," *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 5, PP. 5-14, 1985.
23. Conway, R.W,"Some Tactical Problems in Digital Simulation," *Management Science*, Vol. 19, PP. 25-369, 1963.
24. Fishman, G.S.,"A Study of Bias Considration in Simulation Experiments," *Operation Research* V0l. 20, PP. 4-25, 1972.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1377.17.1.2.6]