سفارش‌دهی در سیستمهای تولیدی JIT

مطالعه از طریق شبیه‌سازی

نوشتهٔ کاتسوهی کو تاکاهاشی[1]، نوبوتو ناکامورا[2]، وکنی چی اوهاشی[3]

ترجمهٔ ژولیا وجدانی

چکیده : *این مقاله به سیستم کان بان (Kan Ban) که مربوط به تولید درست به موقع (JIT)است می‌پردازد و از آن به‌عنوان یک سیستم سفارش‌دهی برای آن دسته از سیستمهای موجود که ویژگی تولید چند مرحله‌ای دارند استفاده می‌کند. در این مقاله یک شبکهٔ صف از سیستم کان بان با زبان شبیه‌سازی SLAM II که یک زبان با توانایی شبیه‌سازی وقایع گسسته است، مدلسازی می‌شود. همچنین این مقاله درصدد ارائهٔ راه‌حلهایی برای بهبود سیستم کان بان از طریق تغییر در جریان اطلاعات است. از طریق شبیه‌سازی وقایع گسسته، عملکرد مدلها مورد تحقیق و مقایسه قرار می‌گیرد.*

کلید واژه‌ها : ۱. سفارش دهی همزمان، ۲. سیستم کان‌بان، ۳. SLAM II، ۴. درست به‌موقع (JIT)

مقدمه[4]

JIT در دههٔ ۶۰ در کمپانی تویوتا توسط شخصی به نام Ohno ابداع شد. در دههٔ ۶۰ تحولات بازار نفت و پیدایش بحران اقتصادی در کشورهای واردکنندهٔ این منبع حیاتی ضرورت بازنگری در روشهای مرسوم مدیریت تولید را آشکار ساخت. رویکرد تولید انبوه به رویکرد تولید براساس نیاز و سلیقه مشتریان تبدیل شد. در اواسط دههٔ ۷۰ سایر کمپانیهای ژاپنی شروع به آزمایش و به کارگیری این روشها کردند. تا این زمان رویکرد مورد بحث به سیستم تولید تویوتا معروف بود. در اواخر دههٔ ۷۰ سیستم تولید تویوتا در غرب نیز مورد توجه قرار گرفت. رویکرد JIT در غرب به نام کان‌بان معروف شد که اصطلاحی نادرست بود، زیرا کان‌بان تنها جزئی از یک سیستم کلی و فراگیر در عرصهٔ تولید است. به هر حال غرب با تطبیق اجزای JIT با شرایط خود امروزه با همان نام JIT در صنایع اتومبیل و الکترونیک کاربرد وسیع داشته است.

تعریف JIT

JIT یک مجموعه یا مجموعه‌ای از تکنیکها برای اجرای تولید نیست، بلکه یک رویکرد فراگیر است که بسیاری از تکنیکهای

---

۱. استادیار برنامه‌ریزی و کنترل تولید بخش مهندسی صنایع و سیستمها، دانشگاه هیروشیما، ژاپن.

۲. استاد مهندسی صنایع و سیستمها، دانشگاه هیروشیما، ژاپن.

۳. فارغ‌التحصیل BM در مدیریت و علوم اطلاعاتی از دانشگاه prefectural، ژاپن.

۴. مقدمهٔ مترجم

قدیم و جدید را با دیدگاهی نو به‌کار می‌گیرد. JIT این اطمینان را به وجود می‌آورد که مواد و کالاها در مقادیر درست (به اندازه) در زمان مناسب (زمان مورد نیاز) و با کیفیت مناسب بدون هیچگونه ضایعاتی فرداری و ساخته شوند.

به عبارت دیگر JIT موجب هدف موجودیتها و به حداکثر رساندن گردش موجودی و کالای در جریان ساخت می‌شود. معمولاً موجودیها را به آب رودخانه‌ای تشبیه می‌کنند که سنگها (مشکلات) را از نظر مخفی می‌کند. با کاهش موجودیها، مشکلات نمایان می‌شود و در جهت حل آنها می‌توان کوشش کرد.

JIT فلسفهٔ برتری را پیش شرط موفقیتش می‌داند. این فلسفهٔ برتری در JIT باید متضمن موارد زیر باشد:

- تولید برای کشش تقاضا
- تولید مطابق با مشخصات طراحی
- تولید مطابق یک نرخ تحویل سریع اما آرام
- موجودی بین کار صفر و پیش‌زمانهای غیرلازم صفر
- تشویق به درگیر شدن کارکنان

هدف JIT

به یک روایت هدف اصلی JIT افزایش سود و نرخ بازگشت سرمایه از طریق کاهش هزینه‌ها و موجودیها و افزایش کیفیت است، و به روایت دیگر هدف JIT هدف آن دسته از فعالیتهایی است که ارزش افزوده‌ای برای محصول ایجاد نمی‌کنند.

حوزهٔ کاربرد JIT

معمولاً به‌کارگیری در تولید تکراری بهترین نتایج را به بار آورده است. در تولید غیر تکراری و یا تولید در دسته‌های کوچک، معمولاً MRP توصیه شده است. در شرایط بینابین می‌توان ترکیبی از MRP (برای برنامه‌ریزی مواد) و JIT (برای کنترل عملیات تولید) را به کار گرفت.

سیستم کان‌بان

سیستم کنترل تولید که در JIT به کار گرفته می‌شود کان‌بان نامیده می‌شود. کان‌بان اصطلاحاً معروف به سیستم کششی است و از این نظر در نقطهٔ مقابل سیستم MRP که از نوع فشاری است قرار دارد. در کان‌بان جریان اطلاعات تولید به‌صورت معکوس در نظر گرفته می‌شود. بدین صورت که برنامهٔ زمان‌بندی تولید تنها به فط مونتاژ نهایی داده می‌شود و این مرحله تعداد قطعات و مجموعه‌های مورد نیاز خود را از مراحل ماقبل برمی‌دارد.

در این سیستم تعداد و نوع قطعاتی که برداشته می‌شوند در کارتهایی به نام کان‌بان درج می‌شوند. این کارتها در درون سیستم از مرحله‌ای به مرحلهٔ ماقبل جاری هستند. لذا سیستم کان‌بان یک سیستم اطلاعاتی برای کنترل هماهنگ مقادیر تولید در فرایند تولید است.

ارتباط JIT با منطق عملیاتی سنتی

به نظر می‌رسد که JIT مفاهیم سنتی ساخت را به هم‌ریخته است، روشنترین آنها عبارت‌اند از مقدار سفارش اقتصادی (EOQ) و اندازهٔ انباشتهٔ اقتصادی (ELS). می‌توان نشان داد که هر چه راه‌اندازیها سریعتر و ارزانتر انجام شوند، JIT با منطق EOQ / ELS سازگارتر است.

تذکر بعضی از محدودیتهای JIT و یادآوری هزینه‌های آن همانند تعهد، آموزش، و ارتباطات مهم است. JIT برای موارد زیر معمولاً مناسب نیست :

- مدیریت درازمدت ممکن نباشد،
- فرایند تولید ساده با هزینه‌های موجودی پایین باشد،
- پذیرش کارکنان سفت‌وهزینه‌های موجودی پایین‌باشد،
- محیط یک محیط تولیدی سفارش - مشتری باشد.

●●●

۱. مقدمه

سیستم کانبان مربوط به تولید JIT است. هدف از ابداع و طراحی این سیستم عملکرد آن به‌عنوان یک سیستم سفارش‌دهی در سیستمهای تولید چند مرحله‌ای است. سازوکار و اساس این سیستم در چندین کتاب شرح داده شده است، به عنوان مثال [۱۳]، ته راداء کیمورا [۸] اولین افرادی هستند که سیستم کانبان را (که آنها آن را سیستم کششی می‌نامند) مدل‌سازی کردند. آنها اهداف سیستم را به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌کنند.

۱. از ارسال نوسانات تقویت شدهٔ تقاضا و یا حجم تولید یک فرایند نسبت به فرایند قبلی جلوگیری می‌کند.
۲. نوسان موجودی در جریان ساخت را به حداقل می‌رساند که خود موجب تسهیل کنترل موجودی نیز می‌شود.
۳. درجهٔ کنترل کارگاه را از طریق عدم تمرکز بالا می‌برد. همچنین به مسئولان کارگاه یا سرکارگرها در کنترل تولید و موجودی مسئولیت و اختیار یکسانی می‌دهد.

در مورد هدف اول باید گفت که استفاده از تقاضا یا دسته‌بندی کردن انباشته‌ها موجب تقویت نوسان در سفارشها خواهد شد. اگر ما از پیش‌بینی تقاضا استفاده نکنیم و تنها از تقاضای واقعی و تکنیک Lot-for-Lot در انجام سفارشها استفاده کنیم بدون سیستم کانبان نیز به هدف خواهیم رسید. در مورد هدف دوم نه‌تنها کنترل موجودی ساده دارای اهمیت است بلکه سازوکار انجام سفارشها برای به حداقل رساندن نوسانات موجودی بین مراحل تولید یا به حداقل رساندن موجودی بین مراحل تولیدی به تنهایی دارای اهمیت است. در مورد هدف سوم این یک واقعیت است که عدم تمرکز در کنترل، نقش باارزشی را در بالا بردن سطح کنترل کارگاه ایفا می‌کند.

با وجود این ما معتقدیم با کنترل متمرکز نیز می‌توان سطح کنترل کارگاه را بالا برد، زیرا توانایی برقراری ارتباط و فراهم کردن اطلاعات با پیشرفت تکنولوژی در پردازش اطلاعات و ارتباطات با همان سرعتی که کامپیوترهای ارزان و قوی فراگیر شده‌اند افزایش یافته است.

در این مقاله ما هدف دوم سیستم کانبان برای به حداقل رساندن موجودی بین مراحل تولید را بدون نادیده گرفتن اهداف دیگر بررسی می‌کنیم.

اجرای سیستم توسط محققان بسیاری از دیدگاههای مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است و اخیراً نیز تعدادی مقاله، نوشته‌های مربوط به سیستم کانبان را مورد مطالعه و تحقیق قرار داده‌اند [۵، ۱۰]. تحقیق روی سیستم کانبان می‌تواند به طور کلی در سه دسته تقسیم‌بندی شود. دستهٔ اول زمانی است که از مدلهای ریاضی سیستم کانبان به‌عنوان سیستمهای انجام سفارش تولید کششی استفاده می‌شود ولی اجرای مدلها به‌صورت تحلیلی یا آزمایشی و تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد [۸]. دستهٔ دوم زمانی است که سیستم کانبان از طریق برنامه‌ریزی ریاضی مدلبندی می‌شود و تعداد کانبانهای بهینه با تکنیکهای برنامه‌ریزی ریاضی مختلفی به‌دست می‌آید [۲]. سومین دسته زمانی است که از طریق مدلهای ریاضی یا مدلهای شبکه ـ صف سیستم کانبان توسعه می‌یابد و عملکردها به صورت تحلیلی ـ تقریبی یا تجربی مورد تحقیق قرار می‌گیرند (مدلهای ریاضی، مانند [۳، ۱۵]، مدلهای شبکه ـ صف مانند [۴، ۶، ۱۲]). هرچند

اخیراً سازوکارهای سفارش دیگری نیز به‌عنوان گزینه‌های دیگر پیشنهاد شده‌اند، مانند [۱۴]، هدف اصلی کار روی سیستمهای کان‌بان این است که عملکرد سیستم کان‌بان مورد تحقیق قرار گیرد و یا کنترل و برنامه‌ریزی آن بهینه‌سازی شود.

در این مقاله یک مدل شبکه ـ صف سیستم کان‌بان با یک زبان شبیه‌سازی جهت شبیه‌سازی وقایع گسسته به نام SLAM II [۱] توصیف می‌شود و همچنین این مقاله دارای هدف بهبود سیستم‌کان‌بان با انجام تغییر جریان اطلاعات است. از طریق شبیه‌سازی وقایع گسسته عملکردهای مدلها مورد تحقیق قرارمی‌گیرد و با یکدیگر مقایسه می‌شود. در پایان، خلاصه‌ای از یافته‌های به دست آمده در این مقاله به‌عنوان نتایج ارائه می‌شود.

۲. مدلسازی سیستم تولید JIT

در این قسمت یک مدل سیستم کان‌بان با کارت دوگانه ایجاد و جریان اطلاعات مدل تعدیل می‌شود.

۲ـ۱. مفروضات

برای سیستمی که در این مقاله در نظر گرفته شده است فرضهای زیر را در نظر گرفته‌ایم:

۱. سیستم تولید با یک محصول استاندارد سروکار دارد که می‌تواند برای انبار شدن ساخته شود. زمان بین ورود تقاضای محصول به‌صورت احتمالی است.

با در نظر گرفتن یک محصول استاندارد فرض می‌کنیم که محصول و قطعات می‌توانند تا سطح مشخص موجودی قبلاً تولید و برای اینکه تقاضا درست در لحظه ورود ارضا شود انبار شوند.

۲. سیستم تولیدی محصول از ۵ مرحلهٔ تولید تشکیل می‌شود که سلسله‌وار پشت سر یکدیگر قرار دارند.

تأثیرات تفاوتهای سه نوع انجام سفارش مورد بررسی در این مقاله زمانی که مراحل بیش از ۲ مورد باشند ظاهر می‌شود و تقریباً در زمانی که مراحل به ۵ مورد می‌رسند نمایان خواهند شد. لذا ما در این مقاله یک سیستم تولیدی با ۵ مرحلهٔ تولید را مورد بررسی قرار خواهیم داد. در متون مربوط به سیستمهای کان‌بان تعدادا و کیمورا سیستم تولیدی را به‌طور تجربی مورد تحقیق قرار می‌دهند که دارای ۵ مرحلهٔ تولید است.

۳. زمان تولید در هر مرحله دارای نوسانات احتمالی است.

از آنجا که در سیستمهای تولیدی قابل اطمینان و با آهنگ خودکاری بالا، زمان تولید برای یک قطعه به‌سختی نوسان می‌یابد، ما یک سیستم تولیدی را در نظر می‌گیریم که دارای آهنگ خودکاری بالا نیست و یا قابلیت اطمینان بالایی ندارد. به‌عبارت دیگر یک سیستم تولیدی که درآن کارگران بی‌تجربه با دستگاههای فرسوده سبب نوسان در زمان تولید هستند.

۴. هر مرحلهٔ تولید دارای دو نقطهٔ کنترل برای موجودی است. اولی مربوط به مقدار موجودی قبل از تولید و دومی مربوط به مقدار موجودی بعد از مرحلهٔ تولید است. یک واحد موجودی باید قبل از تولید وجود داشته باشد تا یک واحد در این مرحله تولید شود. موجودی اولیه در این نقاط جهت ارضای تقاضا در همان زمان موجود است.

۵. یک مرحلهٔ جابه‌جایی (انتقال) بین دو مرحلهٔ تولید مجاور وجود دارد، با وجود این زمان جابه‌جایی می‌تواند ناچیز و قابل صرف‌نظر در نظر

گرفته شود. در این مقاله ما توجه خود را بر نوسان زمان تولید متمرکز کرده و زمان جابه‌جایی را نادیده گرفته‌ایم. اگر ما کارخانه‌ای را به عنوان یک سیستم تولید و مراحل تولید سیستم تولید را به‌عنوان کارگاههایی در کارخانه در نظر بگیریم، زمان جابه‌جایی بین مراحل تولید همیشه بسیار کوتاهتر از زمان تولید در مرحلهٔ تولید است. پس پذیرفتنی است که زمان جابه‌جایی در این حالت نادیده گرفته شود.

۶. اندازهٔ انباشته جهت تولید و حمل برابر ۱ واحد است.

با این فرض و فرض ۴، تولید و حمل و نقل مواد برای هر تقاضا به صورت انفرادی (واحدی) انجام می‌شود و هر عدد کانبان مربوط به یک واحد تولید یا حمل در سیستم کانبان است.

منظور این است که متقاضی در صورت موجود نبودن محصول می‌تواند منتظر بماند.

۲-۲. سیستم کانبان

در سیستم کانبان، کانبانها به موجودیها در هر نقطهٔ موجودی متصل هستند. در سیستم کانبان دوکارتی، کانبانها به دو گروه کانبانهای سفارش ـ تولید و کانبانهای برگشتی تقسیم می‌شوند. کانبانهای برگشتی در نقطهٔ موجودی مربوط به قبل از مرحلهٔ تولید ورودی موجودیها متصل می‌شوند. وقتی قطعه‌ای از موجودی جهت تولید مورد مصرف قرار می‌گیرد کانبان برگشتی برداشته می‌شود و جهت سفارش حمل قطعه به نقطهٔ موجودی در انتهای مرحلهٔ قبلی تولید به کار می‌رود. کانبانهای سفارش تولید به نقطهٔ موجودی بعد از هر مرحلهٔ تولید به موجودیها متصل می‌شوند. وقتی یک محصول یا یک قطعه از موجودیهای انتهای هر مرحله جهت تقاضا و یا حمل مصرف شود کانبان سفارش ـ تولید برداشته می‌شود و جهت سفارش این قطعه و یا محصول در آن مرحلهٔ تولید استفاده می‌شود. با اتصال متوالی سفارش این دو نوع کانبان (کانبانهای برگشتی و کانبانهای سفارش تولید)، مصرف محصول چون ماشه‌ای برای تولید محصول و قطعه‌ها و همچنین جابه‌جا کردن قطعات عمل می‌کند.

انجام سفارش در سیستم براساس مفاهیم سیستم کانبان به صورت زیر تعریف می‌شود:

انجام سفارش در سیستم کانبان

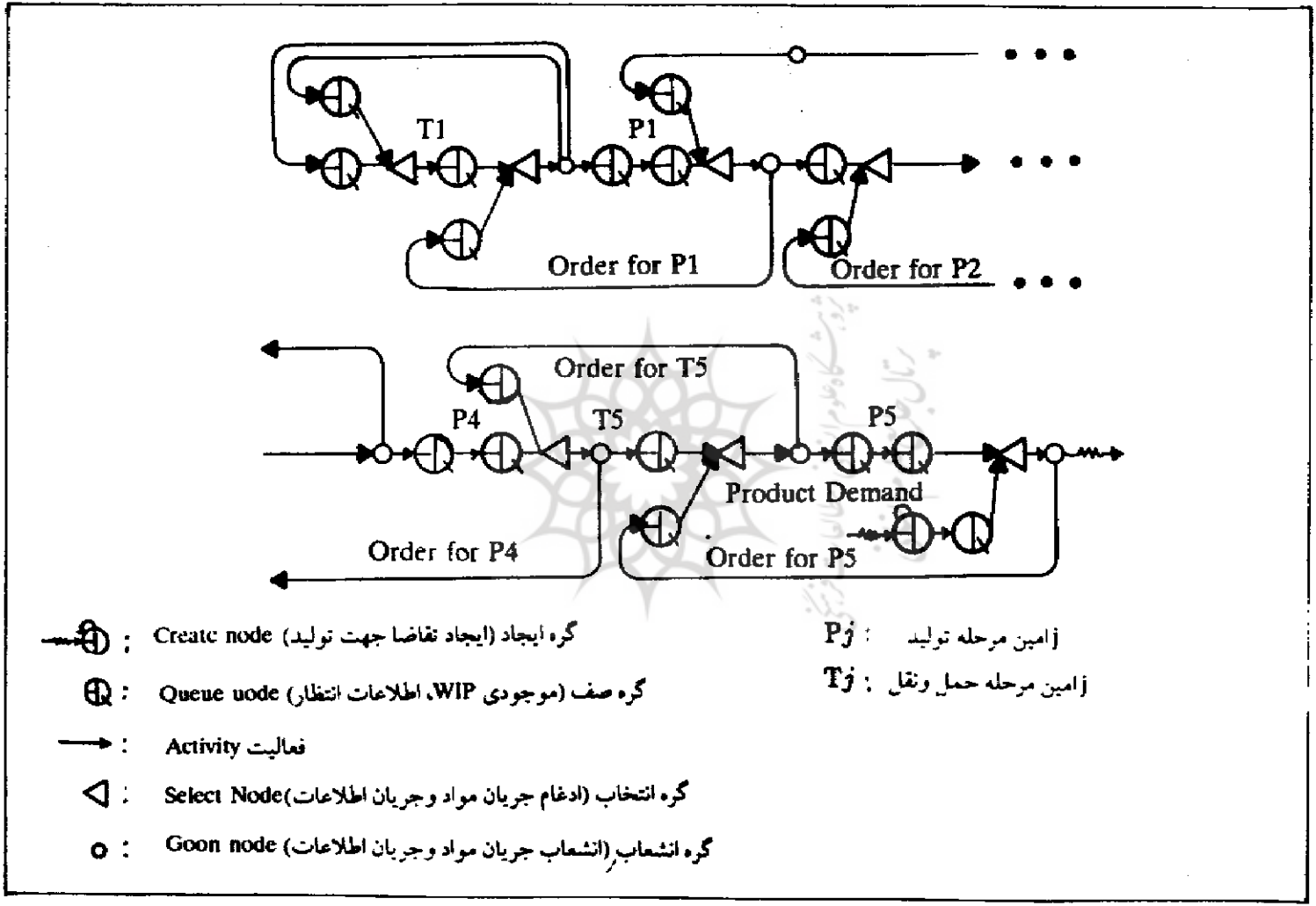
۱. زمان انجام سفارش (زمان ترخیص)، زمانی است که محصول یا قطعه‌ای که کاملاً به آن موجودی می‌گوییم در هر نقطهٔ موجودی جهت برآورد تقاضا مصرف شود.

۲. مقدار سفارش: این مقدار به اندازهٔ همان مقدار مصرف شده است.

۳. مرحله (یا مراحل) سفارش داده شده: مرحله‌ای است که بلافاصله پیش از نقطهٔ موجودی قرار دارد.

براساس تعریف سیستم کانبان یک مدل شبکه ـ صف سیستم کانبان می‌تواند به گونهٔ زیر ساخته شود [۱۲]. شکل ۱ نشان‌دهندهٔ یک مدل شبکهٔ SLAM II از یک سیستم کانبان با کارت دوگانه است. گفته می‌شود که این مدل با سیستم کانبان دوکارتی تویوتا متفاوت است و تفاوتهای آنها نیز به‌صورت کمی بررسی شده است [۱]. با وجود این مدل مذکور در مطالعهٔ سیستمهای کانبان رایجترین است.

در شکل ۱ جریان مواد از مادهٔ خام به محصول در شبکه‌ای متشکل از فعالیتها با فلش و گرههای



شکل ۱. مدل شبکهٔ SLAM II برای سیستم کانبان

صف (با دایره‌هایی مانند حرف Q) نشان داده شده است. این جریان از قسمت چپ در بالا شروع و در سمت راست قسمت پایین تمام می‌شود. در این جریان، فعالیتها (که با فلش نشان داده شده‌اند) معرف فرایندها هستند که می‌توانند معرف حمل و نقل و یا مرحلهٔ تولید باشند و گرههای صف نشان‌دهندهٔ موجودی «کار در جریان ساختن» (WIP)[1] که در انتظار حمل و یا تولیدند، هستند. موجودیهای در جریان کار قبل از مرحلهٔ تولید نیز به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند. یکی موجودیهای WIP که به قسمت بعدی حمل شده‌اند ولی هنوز مورد درخواست قرار نگرفته‌اند و دیگری موجودیهای WIP که مورد درخواست هستند ولی هنوز به مرحلهٔ عملیات تولیدی مربوط نرسیده‌اند. تفکیک اینها به دلیل قواعد SLAM II است. در نتیجه سه نوع WIP در مدل مورد استفاده قرار گرفته است.

پس از تکمیل تولید در پنجمین یا آخرین مرحلهٔ تولید، اگر تقاضا رسیده باشد از تولید تکمیل‌شده جهت ارضای تقاضای محصول استفاده می‌شود، در غیر این صورت محصول در نقطهٔ موجودی که با گره صف نشان داده شده است منتظر رسیدن تقاضای محصول می‌ماند. تقاضای محصول در گره ایجاد[2] (که به شکل دایره است) به‌وجود می‌آید و به گره صف می‌رسد. تقاضای رسیده و موجودی محصول توسط انتخاب حالت مونتاژ از گره ـ انتخاب[3] (که به شکل مثلث است) به‌صورت توأم ادغام می‌شوند و سیستم تولید را ترک می‌کنند.

جریان اطلاعات مربوط به درخواستهای تولید و حمل و نقل کانبانها را به صورت حلقهٔ بسته‌ای متشکل از فعالیتها و گرههای صف می‌توان نشان داد. جریان اطلاعات و جریان مواد در گره ـ انشعاب[4] (که با دایرهٔ ساده و کوچک نشان داده شده است) از یکدیگر تفکیک و توسط انتخاب حالت مونتاژ از گره ـ انتخاب (مثلثی‌شکل) یکی می‌شوند. وقتی محصول یا قطعه جهت تقاضای محصول، تولید و یا حمل و نقل مصرف می‌شود، درخواست تولید یا حمل محصول و یا قطعه به‌عنوان یک جریان اطلاعات منتشر و در گره ـ انشعاب از جریان مواد جدا می‌شود. بعد از آن به مرحلهٔ تولید و یا حمل منتقل و در گره صف منتظر رسیدن قطعات می‌ماند، سپس در گره ـ انتخاب با جریان مواد یکی می‌شود.

در سیستم کانبان دو جریان اطلاعات مجاور با یکدیگر زنجیر شده‌اند و سفارشهای تولید برای یک محصول به طور پی‌درپی به مرحله‌های قبلی ارسال می‌شوند.

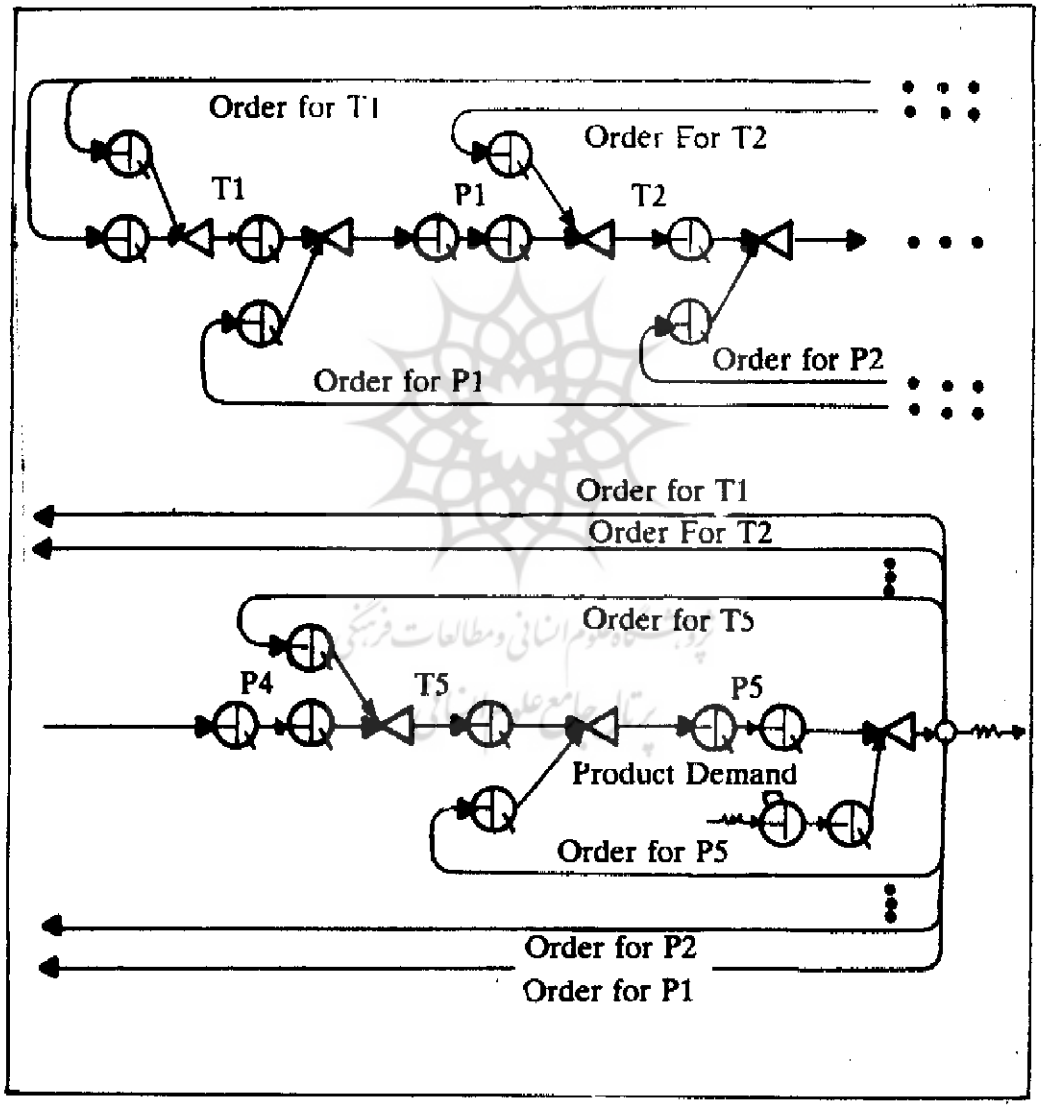
۲ـ۳. سیستم سفارش همزمان

سیستم کانبان، تولید و درخواستهای حمل را به صورت پی‌درپی به تمام مراحل می‌فرستد و این انتقال بستگی به موجودیهای مربوط به هر نقطهٔ موجودی دارد. فرستادن سفارشها فقط در صورتی معلق می‌ماند که در یکی از نقاط موجودی کالا تمام شود. این تأخیر سبب تأخیری در انجام سفارش برای همهٔ مراحل قبلی می‌شود. با وجود این از چنین تأخیری در صورتی که سفارش برای همهٔ مراحل تولید به‌طور همزمان صادر شود می‌توان جلوگیری کرد. پس می‌توان گفت فرستادن سفارشها یا درخواستها به هر مرحله بستگی به

1. Work in Process
2. Create node
3. Select node
4. Goon node

سطح موجودی مراحل ندارد. به عبارت دیگر، مصرف یک واحد محصول تنها به معنی مصرف آن محصول نیست بلکه معرف مصرف همهٔ قطعات درگیر با محصول از جمله خود محصول است. پس این سازوکار مانند ماشه‌ای خواهد بود که نه تنها محصول بلکه تمام قطعات آن را نیز تولید می‌کند. براساس این ایده سیستم سفارش همزمان [۷] سفارشها را نه‌تنها برای مراحل متوالی بلکه برای کل سیستم به جریان می‌اندازد:

انجام سفارش در سیستم سفارش همزمان به‌صورت زیر می‌تواند تعریف شود.



شکل ۲. مدل شبکه SLAM II برای سیستم سفارش همزمان

انجام سفارش سیستم سفارش همزمان

۱. زمان انجام سفارش : زمانی که موجودی محصولات برای تقاضا مصرف می‌شود،

۲. مقدار سفارش : همان مقدار مصرف شده،

۳. مرحله (مراحل) درخواست سفارش : تمام مراحل.

شکل ۲ نشان‌دهندهٔ یک مدل شبکهٔ SLAM II از سیستم سفارش همزمان است و براساس تعریف مربوط به این سیستم بنا شده است.

جریان مواد خام تا محصول که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، همانند جریان مواد در سیستم کانبان در شکل ۱ است. با وجود این، برعکس سیستم کانبان، تمامی جریانهای اطلاعاتی سفارشها، تولید، و حمل و نقل از نقطهٔ موجودی محصول شروع می‌شوند. وقتی که محصول جهت برطرف کردن تقاضای مربوط مصرف شود، سفارشها جهت تولید و جابه‌جایی محصول و قطعات انجام می‌گیرد. جریانهای اطلاعات مربوط به انجام سفارشها از جریان مواد در گره انشعاب جدا می‌شود. سپس این جریانهای اطلاعاتی به تمامی مراحل فرستاده و درگره انتخاب مربوط به هر مرحله با جریان مواد آن ادغام می‌شود. در صورت تمام‌شدن موجودی در هر نقطهٔ موجودی سفارش رسیده در گره صف آن مرحله به انتظار می‌ماند و تا زمانی که موجودی آن به نقطهٔ سفارش خودش نرسیده است باید در انتظار بماند.

۲ـ۴. سیستم سفارش همزمان تعدیل شده

در سیستم سفارش همزمان فرستادن سفارشها بستگی به موجودی قطعه‌ها در هر نقطهٔ موجودی ندارد و در عوض به موجودیهای محصول بستگی دارد. اگرچه تقاضای محصول به اول سیستم تولید می‌رسد، ولی اگر موجودی محصول تمام شود انجام سفارشها برای تمام مراحل معلق می‌ماند. این باعث تأخیری برای انجام سفارش در تمامی مراحل می‌شود. با وجود این از این تأخیر به وسیلهٔ به جریان انداختن سفارش بلافاصلهٔ بعد از رسیدن تقاضای محصول در سیستم تولید می‌توان جلوگیری کرد. بنابراین، فرستادن سفارشها به مرحلهٔ تولید از هر دو موجودی، (هم موجودی قطعات و هم موجودی محصول) مستقل است و رسیدن تقاضای محصول بدان معناست که تولید و حمل و نقل در تمامی مراحل باید انجام شوند، چه تقاضا به وسیلهٔ موجودی محصول در آن زمان ارضا شده باشد و چه نشده باشد. بنابراین از آن می‌توان به عنوان یک ماشه برای انجام شدن سفارشها استفاده کرد. براساس این ایده، انجام سفارش سیستم سفارش همزمان تعدیل شده می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

انجام سفارش در سیستم همزمان تعدیل‌شده

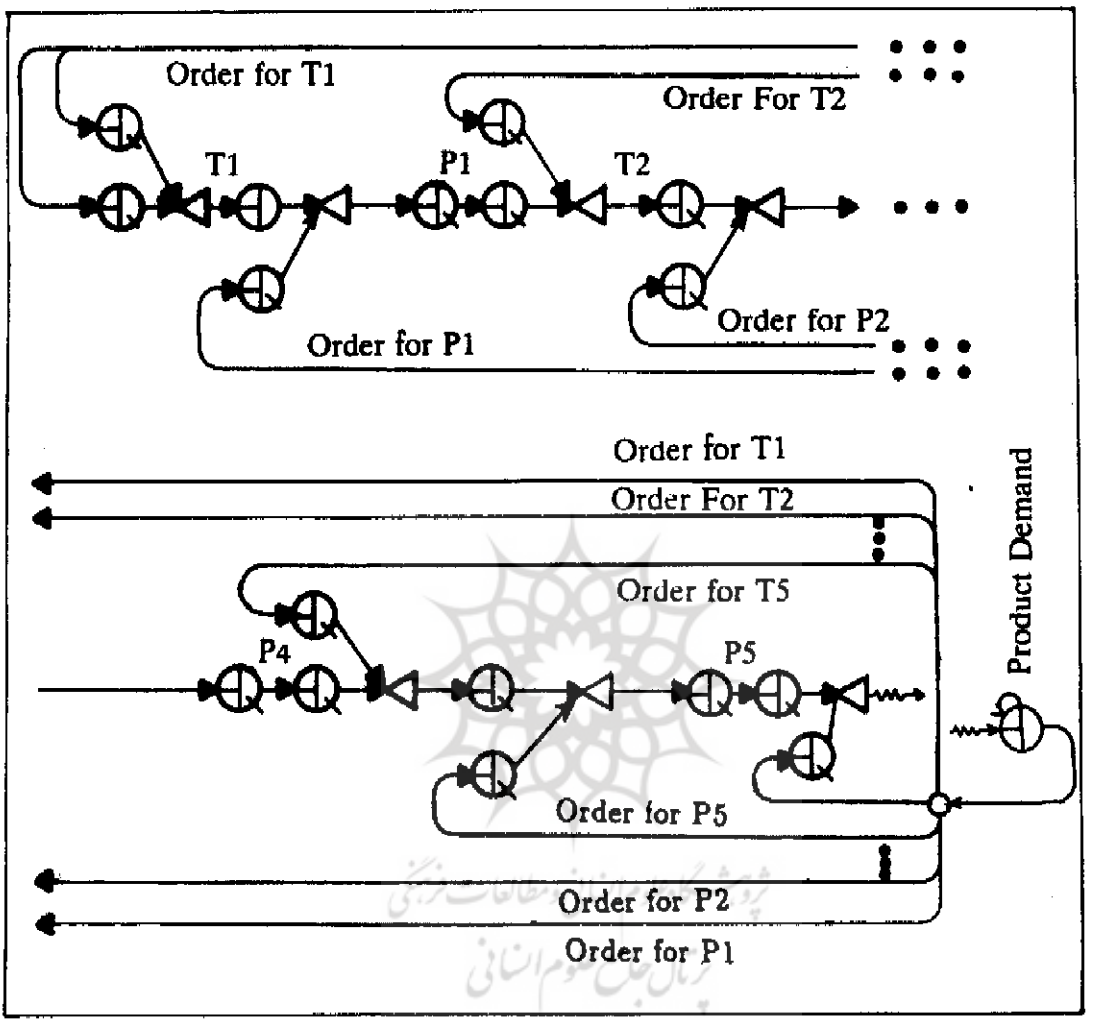
۱. زمان انجام سفارش : زمانی که در آن تقاضای محصول به سیستم تولید می‌رسد.

۲. مقدار سفارش : مقدار مصرف شده

۳. مراحل انجام کار : تمامی مرحله‌ها

براساس این تعریف تصویر شکل ۳ یک مدل شبکهٔ SLAM II از سیستم سفارش همزمان تعدیل شده را نشان می‌دهد.

در شکل ۳ جریان مواد خام تا محصول همانند همان چیزی است که در سیستم کانبان در شکل ۱ دیدیم. تمامی جریانهای اطلاعاتی تولید و سفارشها و حمل‌ونقل از نقطهٔ موجودی محصول شروع می‌شوند. (مشابه‌مدل شبکه سیستم سفارش همزمان در شکل ۲) با وجود این سفارشها نه بعد،



شکل ۳. مدل شبکهٔ SLAM II برای سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده

بلکه قبل از مونتاژ تقاضای یک محصول انجام می‌شوند. به‌عبارت دیگر سفارشها بلافاصله بعد از این که تقاضای محصول می‌رسد در سیستم تولید به جریان می‌افتد.

۳. تحلیل و مقایسهٔ عملکردها

با شبیه‌سازی وقایع منفصل عملکردهای مدلهای تهیه شده در قسمت قبلی تحلیل و مقایسه می‌شوند. به‌علاوه داده و ستد متقابل بین مقادیر عملکرد در این قسمت تحلیل می‌شود.

۳-۱. عوامل آزمایش

به‌عنوان عوامل آزمایشی، ما سه عامل زیر را در نظر می‌گیریم و تأثیرات آنها را بررسی می‌کنیم.

سیستمهای سفارش دهی

در این قسمت سه سیستمی که در قسمت قبلی شرح داده شده است بررسی می‌شود. در بین این سه سیستم، سیستم سفارش همزمان تعدیل شده از همه زودتر سفارشهای هر مرحله را انجام می‌دهد، و این کار دقیقاً در زمانی است که تقاضا به سیستم می‌رسد. در سیستم سفارش همزمان اگر موجودی برای محصول وجود داشته باشد از تقاضای رسیده برای محصول سریعاً جهت انجام سفارش تمامی مراحل استفاده می‌شود. اگر موجودی محصول هنگام رسیدن تقاضا تمام شده باشد، سفارش‌دهی تا زمانی که محصول تولید شود و تقاضای محصول برآورده شود معلق می‌ماند و در این مدت سفارش در این سیستم به تأخیر خواهد افتاد.

در سیستم سفارش همزمان، سفارش‌دهی فقط در صورتی که موجودی محصول تمام شده باشد معلق خواهد ماند، در صورتی که در سیستم کان‌بان نه‌تنها در این حالت بلکه در حالتی که موجودی قطعات نیز در هر نقطهٔ موجودی تمام شده باشند، سفارش معلق می‌ماند.

تأخیر در انجام سفارش تأخیری در تکمیل تولید یا جابه‌جایی آن ایجاد می‌کند، و در نتیجه به کاهشی در موجودی WIP ختم می‌شود. در عین حال تأخیر در انجام سفارش همچنین به افزایش در زمان انتظار تقاضای محصول در صورتی که موجودی محصول کافی نباشد ختم می‌شود.

در این آزمایشها، ما تحقیق می‌کنیم که آیا تفاوت در سیستمهای انجام سفارشها در موجودیهای WIP و زمان انتظار تقاضای محصول تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد یا خیر.

میانگین و واریانس زمان تولید (μ_p, δ_p^2)

تفاوت در سیستمهای سفارش‌دهی فقط در شرایطی بر روی مقادیر خروجی ایجاد نوسان می‌کند که زمان تولید طولانی‌تر از فاصله زمانی ورود تقاضا جهت محصول باشد. اگر میانگین زمان تولید در هر مرحله کوتاهتر از متوسط زمان تقاضای محصول باشد یا اگر واریانس به اندازهٔ کافی کوچک باشد، زمان تولید تقریباً هرگز از زمان ورود تقاضای محصول فراتر نمی‌رود و تولید قبل از اینکه تقاضای تولید بعدی به سیستم تولید برسد کامل خواهد شد. در نتیجه، انجام سفارش تقاضای محصول بعدی هرگز به تعویق نمی‌افتد. میانگین و واریانس زمان تولید از عوامل کلیدی هستند و این در آزمایشهای ما مورد تحقیق قرار می‌گیرند. ما زمان میانگین تولید در هر مرحلهٔ تولید را در ده سطح مختلف مورد تحقیق قرار می‌دهیم.

۰٫۸۸ و ... ۰٫۷۲ و ۰٫۷۰ = μ_p. همان‌طور که بعداً خواهیم دید فرض می‌کنیم زمان ورود و تقاضای یک محصول دارای توزیع نمایی با پارامتر $\lambda = 1$ باشد، یعنی میانگین آن برابر ۱ باشد. بنابراین میانگین زمان تولید برابر زمان استفاده از مرحلهٔ تولید است. ما اعتقاد داریم که استفاده از فاصلهٔ ۰٫۸۸ ـ ۰٫۷ نیز یک فرض کاربردی و مناسب است.

فرض دیگر این است که زمان تولید در هر مرحلهٔ تولید یک متغیر گاماست [۹]، و دو سطح واریانس ۰٫۸ و ۰٫۴ = σ_p^2 را در بررسی مورد استفاده قرار می‌دهیم.

موجودی اولیه در هر نقطهٔ موجودی

تأثیرات تفاوت در سیستمهای سفارش‌دهی نه تنها به میانگین و واریانس زمان تولید بلکه به سطح موجودی اولیه در هر نقطهٔ موجودی بستگی دارد.

اگر در هر نقطهٔ موجودی، موجودی کافی باشد سفارش به‌ندرت به تأخیر می‌افتد. حتی در صورت به تأخیر افتادن سفارش این تأخیر فقط موجب کم شدن موجودی می‌شود و به منتظر ماندن تقاضا منجر نخواهد شد. اگر هر نقطهٔ موجودی دارای موجودی کافی نباشد، انجام سفارش غالباً به تأخیر می‌افتد و این تأخیر در تکمیل سفارش نه‌تنها به کاهش موجودی منجر می‌شود بلکه منجر به افزایش زمان انتظار جهت تقاضای محصول می‌شود و البته دلیل آن این است که موجودی محصول غالباً تمام می‌شود.

سطح موجودی در هر نقطهٔ موجودی توسط سطح موجودی اولیه تعیین می‌شود.

در این مقاله ما سطح اولیهٔ موجودی را در تمام نقاط موجودی برابر گرفتیم و ۱۵ سطح مختلف را جهت موجودی اولیه مورد بررسی قرار دادیم که عبارت‌اند از

S = ۱ و ۲ و ... ۱۵

موجودی اولیه در سیستم کان‌بان برابر تعداد کان‌بانهاست البته در صورتی که هر کان‌بان مشخص کنندهٔ یک واحد از محصول یا قطعه باشد. این تعداد بالاترین میزان موجودی در هر نقطهٔ موجودی برای یک سیستم کان‌بان است، زیرا سیستم کان‌بان تنها در زمانی که یک موجودی محصول یا یک قطعه مصرف می‌شود سفارش داده می‌شود و مقدار سفارش هم برابر مقدار موجودی مصرف شده است.

معادلات مربوط به موجودی اولیه برای هر نقطهٔ موجودی معمولاً بهینه نیست، اما قانون مخصوصی می‌تواند در عمل در نظر گرفته شود. همان‌طور که تهرادا و کیمورا نشان داده‌اند، تعداد کان‌بانها توسط میانگین زمان تولید و یا حمل و نقل تعیین می‌شود و در این مقاله نیز از میانگین استفاده شده است. بنابراین معادلات مربوط به موجودی اولیه جهت هر نقطهٔ موجودی به‌عنوان یک قانون قابل قبول در این مقاله در نظر گرفته شده است.

۳-۲. شرایط آزمایشی

این شرایط برای شبیه‌سازی انجام شده در این قسمت به صورت زیرند:

۱. فاصلهٔ زمانی ورود دو تقاضا : این زمان از توزیع نمایی با پارامتر $\lambda = ۱$ پیروی می‌کند. در مواقعی که توزیع زمان ورود مربوط به زمان بین دو ورود متوالی است، استفاده از توزیع نمایی رایجترین است. در توزیع نمایی، انحراف استاندارد برابر میانگین است یعنی در اینجا هر دو برابر ۱ هستند. اگر مشتریان زیادی به سیستم تولیدی برسند و تقاضاهای رسیده مستقیماً منجر به انجام سفارش شوند، این فرض معقول است، در حالی که اگر تعداد مشتریان کم باشد و یا به‌عنوان مثال زمانی که مشتری یک شرکت دارای تقاضای همیشگی و ثابت است و یا زمانی که تقاضای رسیده بعد از اصلاح و هموار کردن برنامه‌ریزی تولید جهت انجام سفارش مورد استفاده قرار گیرد، این فرض مناسب نخواهد بود. در این مورد آخر یک توزیع با انحراف استاندارد کوچکتر مناسبتر است.

۲. طول مدت گرم شدن و شبیه‌سازی : قبل از انجام آزمایش، شبیه‌سازی با وضعیتهای آزمایشی متفاوتی انجام و مدت زمان اولیه‌ای به اندازهٔ ۵۰۰۰ واحد انتخاب شد. این مقدار به طور تجربی در هر وضعیت برای گرم شدن سیستم جهت شروع کار اصلی کافی است. این مقدار معرف آن است که

به طور متوسط ۵۰۰۰ تقاضا با میانگین زمان ورود یک دقیقه به سیستم می‌رسند و در این مدت نتایج به دست آمده از اجرا اندازه‌گیری نمی‌شوند.

بعد از گرم شدن، شبیه سازی به طول مدت ۱۰۰۰۰ واحد زمانی انجام شد. در نتیجه طول زمان از ۵٪ طول کل شبیه سازی فراتر نمی‌رود.

۳. تعداد نسخه‌های شبیه‌سازی

شبیه سازی برای هر وضعیت آزمایشی ده بار تکرار شد و میانگین و واریانس نتایج به دست آمده در این ده بار تکرار محاسبه و از آزمون ـ t استفاده شد.

۳ـ۳. شاخصهای عملکرد

در این قسمت شاخصهای زیر جهت بررسی عملکردها در نظر گرفته شده است:

۱. متوسط زمان انتظار برای محصول (AWT): با ثبت زمان انتظار برای تقاضای هر محصول، یعنی از زمان رسیدن تقاضای محصول به سیستم تا زمانی که این تقاضا از طریق موجودی برآورده می‌شود و میانگین این فاصله‌های زمانی AWT تخمین زده می‌شود. اگر موجودی محصول تمام نشود تقاضای رسیده می‌تواند کاملاً برآورده شود و زمان انتظار چنین مواردی برابر صفر خواهد بود.

۲. متوسط WIP موجودی در هر نقطهٔ موجودی: در هر عملکرد شبیه‌سازی، موجودیهای WIP در هر نقطهٔ موجودی در زمانهای مختلف ثبت شده و متوسط این مقادیر در نسخه‌های شبیه‌سازی جهت تخمین‌زدن متوسط WIP مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اولین شاخص برای ارزیابی سطح خدمات سیستم تولیدی به مشتریان، و دومی برای ارزیابی کارایی سیستم تولیدی به کار می‌رود. همان طور که در بالا توضیح داده شد، عوامل مورد آزمایش یعنی سیستم سفارش‌دهی، میانگین و واریانس زمان تولید، اثر موجودی اولیهٔ اندازه‌گیری عملکردها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. سایر شاخصها، به‌عنوان مثال میزان استفاده از هر فرایند تولیدی، تحت تأثیر عوامل آزمایشی در شرایط آزمایش این مقاله قرار نمی‌گیرند. بنابراین روی دو شاخص اجرایی که گفته شد تمرکز می‌کنیم. به‌عنوان شاخص دیگر جهت ارزیابی سطح خدمات می‌توانیم از درصد تقاضاهای محصول که منتظر مانده‌اند استفاده کنیم. این شاخص به اندازهٔ متوسط انتظار تقاضای محصول مهم است، هر چند ما با آزمایشهای متفاوت قبلی دریافتیم که دو شاخص به‌طور یکسان عمل خواهند کرد. لذا ما تنها از میانگین زمان انتظار محصول در این بررسی استفاده کرده‌ایم.

۳ـ۴. تفسیر نتایج

نتایج آزمایشها به اثرهای میانگین و واریانس زمان تولید و اثرهای موجودی اولیه دسته‌بندی می‌شوند. اثرهای سیستم سفارش‌دهی در قسمتهای فرعی آنها در نظر گرفته شده و اثرهای موجودی اولیه توسط ارتباط بین شاخصهای عملکرد نشان داده شده است.

اثرهای میانگین و واریانس زمان تولید

به‌عنوان نتیجهٔ یک شبیه‌سازی شکل ۴ نشان دهندهٔ اثرهای میانگین و واریانس زمان تولید روی متوسط زمان انتظار تقاضای محصول (AWT) است. همچنین شکلهای ۵ و ۶ اثرهای میانگین و واریانس زمان تولید را روی متوسط موجودی WIP به ترتیب قبل از تولید و بعد از تولید نشان

می‌دهند. در شکلها، موجودی اولیه در مقدار S=O تثبیت شده و موجودی WIP ارائه شده مربوط به جمع موجودیهای WIP در تمام ۵ مرحلهٔ تولید است. یعنی حاصل جمع میانگینهای موجودی WIP قبل از تولید را با AWIP-B، و مجموع میانگینهای موجودی WIP بعد از تولید را با AWIP-A نشان داده‌ایم.

با استفاده از شکلهای ارائه شده می‌توان در مورد اثرهای میانگین و واریانس زمان تولید روی عملکردها مطالب زیر را بیان کرد:

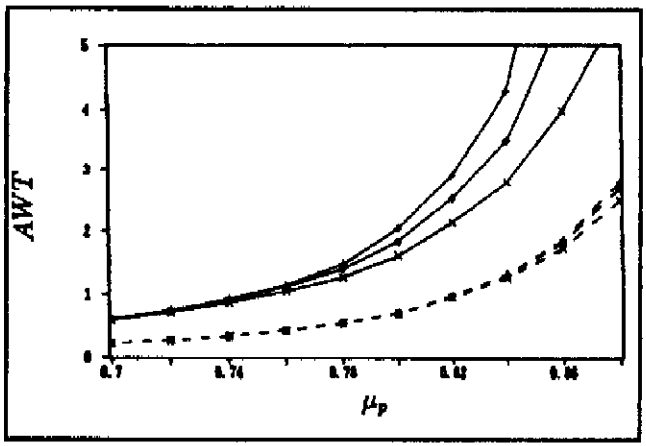
۱. شکل ۴ نشان می‌دهد که AWT و اختلاف AWT در میان سیستمهای سفارش‌دهی با افزایش زمان تولید بالا می‌رود. در میان سیستمهای بررسی شده در این مقاله، سیستم سفارش همزمان تعدیل شده دارای کمترین AWT است در صورتی که سیستم کان‌بان بیشترین AWT را داراست. همچنین افزایش برای حالت σ_p^2 = ۰٫۸ کاملاً قابل توجه است. با استفاده از آزمون t می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف معنی‌داری بین AWTها در سیستم کان‌بان و سیستم سفارش همزمان با سطح تشخیص ۰/۰۵ در حالت μ_p >۰٫۸۴ و σ_p^2 = ۰٫۸ وجود دارد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین AWTهای سیستم سفارش همزمان و سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده در حالت μ_p ≥۰٫۸ و σ_p^2 = ۰٫۸ به‌چشم می‌خورد.

این بدین معنی است که با تغییر سیستم کان‌بان به سیستم سفارش همزمان می‌توانیم زمان انتظار تقاضا برای محصول را کاهش دهیم. همچنین با تغییر سیستم سفارش همزمان به سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده نیز این زمان را می‌توان کاهش داد. همچنین این اثرها با کاهش میانگین و واریانس زمان تولید کم می‌شوند.

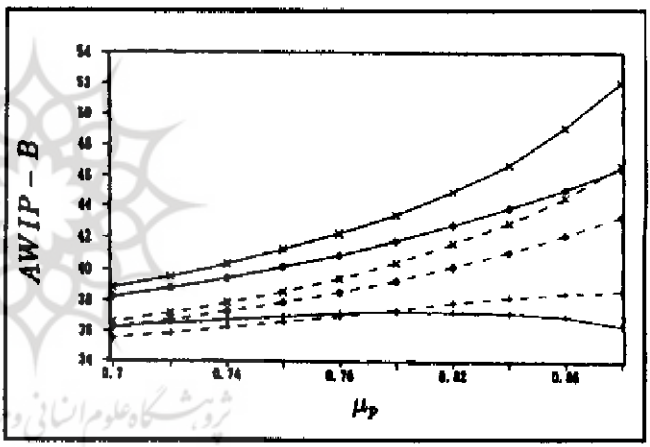
از طرف دیگر اثرها اختلاف بین سیستمها روی زمان انتظار تقاضا در حالتی که میانگین و واریانس زمان تولید در پایین‌ترین حد خود باشند نمایان نخواهد بود. در این حالت تغییر در سیستم سفارش‌دهی مؤثر نخواهد بود.

۲. شکلهای ۵ و ۶ نشان‌دهندهٔ این هستند که با افزایش میانگین زمان تولید، AWIP-B افزایش و AWIP-A کاهش می‌یابد. همچنین افزایش AWIP-B در سیستم سفارش‌دهی همزمان و سیستم سفارش‌دهی همزمان تعدیل شده قابل توجه‌تر و بزرگتر از کاهش AWIP-A است. نتایج آزمون t بیانگر این است که اختلاف قابل توجهی در AWIP-A در سیستمهای سفارش‌دهی در حالت σ_p^2 = ۰٫۸ و μ_p < ۰٫۸۶ وجود ندارد، اما تفاوت در AWIP و تفاوت در AWIP-A درحالت σ_p^2 =۰٫۴ یا σ_p^2 = ۰٫۸ و μ_p > ۰٫۸۶ با سطح تشخیص ۰/۰۵ قابل توجه است. AWIP-B برای سفارش همزمان تعدیل شده بسیار بزرگتر از سایر سیستمهاست و AWIP-A سیستم در حالت σ_p^2 = ۰٫۴ از سایر سیستمها کمتر است.

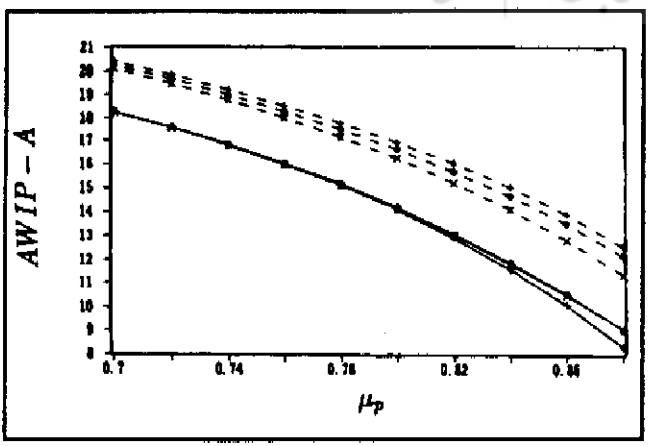
۳. درنتیجه، این بدین معناست که ما می‌توانیم زمان انتظار تقاضای محصول را با تغییر سیستم سفارش‌دهی از کان‌بان به سیستم سفارش همزمان و از سیستم سفارش همزمان به سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده کاهش دهیم. هرچند که این کار باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در موجودی WIP قبل از تولید می‌شود. این یک نوع ارتباط بین شاخصهای اجرایی در سیستمهای سفارش‌دهی است و ما را قادر می‌سازد که با کم و زیاد کردن آن حالت مناسبی را در شاخصها انتخاب کنیم. بنابراین ما باید این رابطه را مورد بررسی قرار دهیم تا بتوانیم یک سیستم سفارش‌دهی مؤثر را مقدم بر بقیه بشماریم.



شکل ۴. اثرهای میانگین و واریانس زمان تولید (μ_p δ_p^2) بر میانگین زمان انتظار تقاضای محصول (AWT) درحالت s=۶ (سیستم کانبان با علامت +، سیستم سفارش همزمان با علامت □ و سیستم سفارش همزمان تعدیل شده با علامت × مشخص شده‌اند، ضمناً خط پر مربوط به σ_p^2 = ۰٫۸ و خط چین مربوط به σ_p^2 = ۰٫۴ است).



شکل ۵. اثرهای میانگین و واریانس زمان تولید (μ_p δ_p^2) مجموع میانگینهای موجودی (WIP) قبل از تولید (AWIP-B) در حالت s=۶ (سیستم کانبان با علامت +، سیستم سفارش همزمان با علامت □ و سیستم سفارش همزمان تعدیل شده با علامت × مشخص شده‌اند، ضمناً خط پر مربوط به σ_p^2 = ۰٫۸ و خط چین مربوط به σ_p^2 = ۰٫۴ است).



شکل ۶. اثرهای میانگین و واریانس زمان تولید (μ_p δ_p^2) بر مجموع میانگینهای موجودی (WIP) قبل از تولید (AWIP-B) در حالت s=۶ (سیستم کانبان با علامت +، سیستم سفارش همزمان با علامت □ و سیستم سفارش همزمان تعدیل شده با علامت × مشخص شده‌اند. ضمناً خط پر مربوط به σ_p^2 = ۰٫۸ و خط چین مربوط به σ_p^2 = ۰٫۴ می‌باشد).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۳ـ۴ـ۲. دادوستد بین موجودی WIP و زمان انتظار

در مرحلهٔ بعد اثرهای موجودی اولیه و رابطهٔ بین موجودی WIP و زمان انتظار تقاضای محصول تحلیل می‌شود. به‌علاوه ارتباط بین شاخصهای عملکرد برای سیستمهای سفارش‌دهی جهت دادوستد بین آنها بررسی می‌شود.

چون زمان انتظار تقاضای محصول به طور کلی با افزایش موجودی اولیه در هر نقطهٔ موجودی کاهش می‌یابد، ما می‌توانیم به سادگی دریابیم که ارتباط متقابلی بین هر دو شاخص عملکرد وجود دارد. همچنین نتایج شبیه‌سازی بیانگر این است که AWT در سیستم سفارش همزمان تعدیل شده از سایر سیستمهای مورد نظر در این مقاله کوتاهتر است. هرچند AWIP-B در این سیستم از سایر سیستمها بیشتر است. به‌عبارت دیگر، یک رابطه جهت ارتباط متقابل بین شاخصهای عملکرد سیستم وجود دارد.

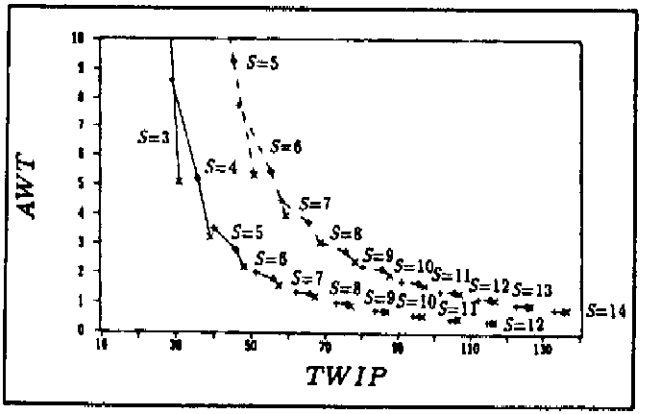
تحت این رابطه ما مؤثرترین سیستم سفارش دهی را بین سیستمهای ارائه شده در این مقاله مشخص می‌کنیم.

شکلهای ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ ارتباط بین TWIP (محور افقی) و AWT (محور عمودی) برای هر سیستم با سطح موجودی اولیهٔ متفاوت در هر نقطهٔ موجودی s را نشان می‌دهد که در آن TWIP مجموع WIP قبل و بعد از تولید در تمام مراحل است.

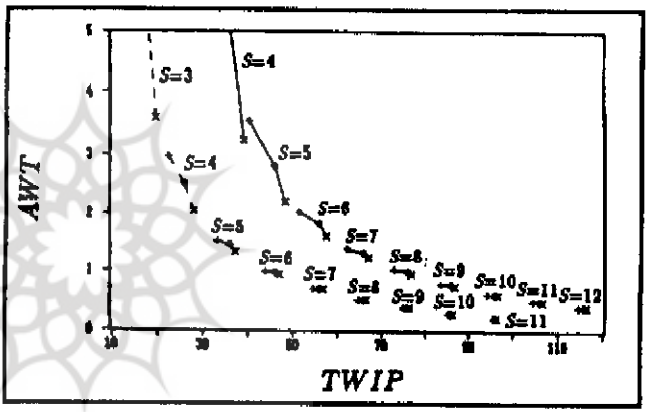
شکلهای ۷ و ۹ این ارتباط را برای میانگین زمان تولید با دو میزان $\mu_p = ۰٫۸$ و $\mu_p = ۰٫۸۶$ نشان می‌دهد. شکل ۸ و ۱۰ نیز این ارتباط را برای دو سطح مختلف واریانس زمان تولید یعنی مقادیر $\sigma_p^2 = ۰٫۴$ و $\sigma_p^2 = ۰٫۸$ نشان می‌دهد. در شکلهای ۷ و ۸ با یک خط نتایج سه سیستم سفارش‌دهی در سطح یکسان s مشخص شده است تا بتواند اثرهای هر سیستم سفارش را مشخص کند. در شکلهای ۹ و ۱۰ نتایج هر سیستم سفارش با موجودیهای اولیهٔ متفاوت نیز با استفاده از یک خط مشخص شده است تا بتوان اثرهای موجودی اولیه را واضحتر نشان داد.

۱. در شکلهای ۷ و ۸ مشاهده می‌شود که تغییر سیستم سفارش همزمان تعدیل شده به سیستم سفارش همزمان و تغییر سیستم سفارش همزمان به سیستم کان‌بان بدون افزایش AWT به ترتیب در حالت $s > ۹$ ($\sigma_p^2 = ۰٫۸$ و $\mu_p = ۰٫۸$)، حالت $s > ۱۱$ ($\sigma_p^2 = ۰٫۸$ و $\mu_p = ۰٫۸$)، موجب کاهش در TWIP می‌شود. در حالتهای دیگر تغییرات s موجب کاهش TWIP می‌شود. با وجود این با ازدیاد AWT که موجب کاهش قابل توجه s می‌شود این امر انجام می‌گیرد. با افزایش میانگین و واریانس زمان تولید، تغییرات در s بیشتر نمایان می‌شود. نتایج آزمون t نشان‌دهندهٔ این است که اختلاف TWIP بین دو نوع سیستم سفارش‌دهی با سطح تشخیص ۰/۰۵ در تمامی شرایط قابل تشخیص است. همچنین اختلاف بین AWT در سیستم کان‌بان و در سیستم سفارش همزمان تعدیل شده با سطح تشخیص ۰/۰۵ به ترتیب در حالت $s \leq ۷$ ($\sigma_p^2 = ۰٫۸$ و $\mu_p = ۰٫۸$) و در حالت $s \leq ۸$ ($\sigma_p^2 = ۰٫۸$ و $\mu_p = ۰٫۸$) و در حالت $s \leq ۴$ ($\sigma_p^2 = ۰٫۴$ و $\mu_p = ۰٫۸$) مشخص است.

۲. با کاهش s افزایش AWT قابل توجه‌تر می‌شود و نسبت افزایش AWT قابل توجه‌تر می‌شود و نسبت افزایش AWT به کاهش TWIP که از تغییر سیستم سفارش همزمان تعدیل شده به سیستم کان‌بان به دست می‌آید بزرگتر از مقداری خواهد بود که از تغییر در موجودی اولیهٔ سیستم

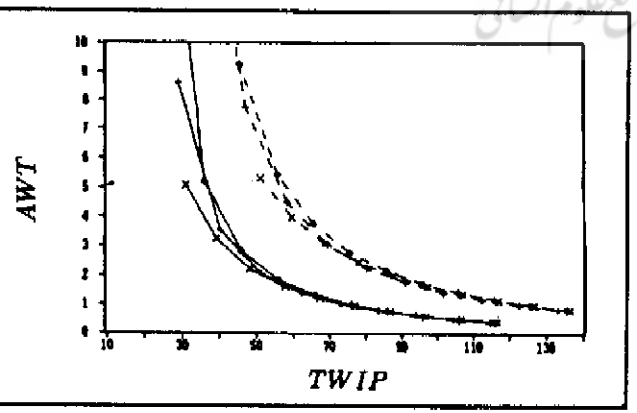


شکل ۷. رابطهٔ همزمان بین مجموع میانگینهای موجودی WIP قبل و بعد از تولید در تمام مراحل (TWIP) و میانگین زمان انتظار تقاضای محصول (AWT) در حالت $\sigma_p^2 = ۰٫۸$. نتایج هر سه سیستم با موجودی اولیهٔ یکسان با خط به هم وصل‌شده است. (سیستم کانبان با علامت +، سیستم سفارش همزمان با علامت □ و سیستم سفارش همزمان تعدیل شده با علامت × مشخص شده است. ضمناً خط پر مربوط به $\mu_p = ۰٫۸$ و خط‌چین مربوط به $\mu_p = ۰٫۴$ است).

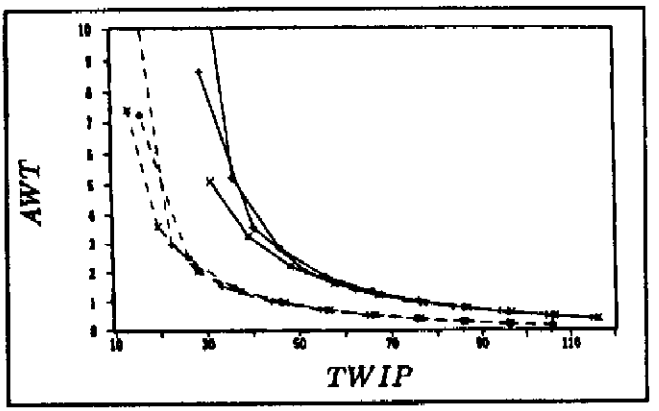


شکل ۸. رابطهٔ همزمان بین مجموع میانگینهای موجودی WIP قبل و بعد از تولید در تمام مراحل (TWIP) و میانگین زمان انتظار تقاضای محصول (AWT) در حالت $\mu_p^2 = ۰٫۸$. نتایج هر سه سیستم با موجودیهای یکسان با خط به یکدیگر وصل شده است و میزان موجودی نیز بر روی این خطوط مشخص است. (سیستم کانبان با علامت +، سیستم سفارش همزمان با علامت □ و سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده با علامت × مشخص شده است. ضمناً خط پر مربوط به $\delta_p^2 = ۰٫۸$ و خط چین مربوط به $\delta_p^2 = ۰٫۴$ است).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۹. رابطهٔ همزمان بین مجموع میانگینهای موجودی WIP قبل و بعد از تولید در تمام مراحل (TWIP) و میانگین زمان انتظار تقاضای محصول (AWT) در حالت $\delta_p^2 = ۰٫۸$. نتایج هر سه سیستم با خط به یکدیگر وصل شده است (سیستم کانبان با علامت +، سیستم سفارش همزمان با علامت □ و سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده با علامت × مشخص شده است. ضمناً خط پر مربوط به $\mu_p = ۰٫۸$ و خط‌چین مربوط به $\mu_p = ۰٫۸$ است).



شکل ۱۰. رابطهٔ همزمان بین مجموع میانگینهای موجودی WIP قبل و بعد از تولید در تمام مراحل (TWIP) و میانگین زمان انتظار تقاضای محصول (AWT) در حالت μ_p = ۰٫۸، نتایج هر سه سیستم با خط به یکدیگر وصل شده است (سیستم کانبان با علامت +، سیستم سفارش همزمان با علامت □ و سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده با علامت × مشخص شده است. ضمناً خط پر مربوط به σ_p^2 = ۰٫۸ و خط‌چین مربوط به σ_p^2 = ۰٫۴ است).

سفارش همزمان تعدیل شده به دست می‌آید. بنابراین در این مورد تغییر موجودی اولیه در سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده مؤثرتر از انجام این عمل در سیستم کانبان است.

۳. تصاویر ۹ و ۱۰ بیانگر رابطهٔ متقابل میان AWT، TWIP است. همچنین با تغییر موجودی اولیه می‌توان عملکرد AWT ، TWIP را در کلیهٔ سیستمها مشاهده کرد. این تصاویر (۱۰ و ۹) نشان می‌دهند که وقتی موجودی اولیه تغییر می‌کند عملکرد AWT ، TWIP در حالت (σ_p^2 = ۰٫۸ و μ_p = ۰٫۸) $s \geq 4$ و در حالت (σ_p^2 = ۰٫۸ و μ_p = ۰٫۸۶) $s \geq 9$ و در حالت (σ_p^2 = ۰٫۴ و μ_p = ۰٫۸) $s \geq 4$ تفاوتی ایجاد نمی‌کند. با کم شدن s که منجر به کاهش در TWIP و افزایش در AWT می‌شود، AWT در سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده از بقیه کوچکتر می‌ماند.

۴. دراینجا نتیجه گرفته می‌شود که عملکرد سیستمهای سفارش‌شدهٔ متفاوت دارای اختلاف AWT نیستند، ولی شاخص TWIP در سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده بهتر از بقیه است. پس می‌توان گفت کارایی این سیستم از بقیهٔ سیستمهای ارائه شده در این مقاله بیشتر است.

۴. جمعبندی

برای این که بتوان یک سیستم انجام سفارش کارا به‌دست آورد، در این مقاله مدل شبکه صف، سیستم کانبان، سیستم سفارش همزمان و سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده را بررسی کردیم. با انجام شبیه‌سازی، تأثیرات توزیع زمان تولید بر عملکردهای سیستمها تحلیل و مقایسه شدند. نتایج به‌دست آمده منجر به جمعبندی زیر شده است.

۱. سیستم کانبان دو کارتی می‌تواند با مدلهای شبکه صف مدل‌بندی شود. همچنین سیستم می‌تواند به یک سیستم سفارش همزمان و با یک

سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده توسعه یابد.

۲. پس از اینکه عملکردهای سیستمها تحلیل و مقایسه شد مشخص شد که میانگین زمان انتظار تقاضای محصول در سیستم سفارش همزمان تعدیل شده در میان سایر سیستمهای بررسی شده در این مقاله از بقیه کوتاهتر است. با وجود این میانگین موجودی در جریان ساخت آن از بقیه بیشتر است.

۳. ارتباط همزمان میانگین زمان انتظار تقاضای محصول و میانگین موجودی محصول نیمه ساخته با سطوح مختلف موجودی اولیه در هر نقطه موجودی تحلیل شد.

به‌عنوان یک نتیجه در این زمینه نشان داده شد که مادامی که در هر نقطهٔ موجودی، موجودی کافی در اختیار است عملکرد سیستمها با یکدیگر تفاوتی ندارد. همچنین روشن شده است که با کاهش موجودی اولیه، میانگین موجودی محصولات نیمه‌ساخته درهرنقطهٔ موجودی کاهش می‌یابد و منجر به افزایش میانگین زمان انتظار تقاضای محصول می‌شود. در عین حال عملکرد سیستم سفارش همزمان تعدیل شده از دیگر سیستمها بهتر است. بنابراین می‌توان گفت که سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده مؤثرترین سیستم در میان سیستمهای بررسی شده است.

این بدین معنی است که چون JIT نیاز به زمان انتظار تقاضای محصول دارد سیستم سفارش‌دهی کانبان همان‌طور که در مقالات نیز گفته شده است با ارزش تلقی می‌شود. در عین حال، در سیستم کانبان مجاز شمردن افزایش زمان انتظار تقاضای محصول همیشه کاهش موجودی در جریان ساخت را در پی نخواهد داشت، ولی در سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده این امر بسیار مؤثر خواهد بود. نکتهٔ دیگر این است که مد نظر قرار دادن نوسانات تقاضا، محصول و زمان تولید و بخصوص نوسانات تقاضا، محصول و زمان تولید و بخصوص کوشش برای کاهش نوسان زمان تولید که منجر به کاهش موجودی در جریان ساخت می‌شود در سیستم کانبان مهم است. در غیر این صورت و در صورت عدم امکان انجام این امر سیستم سفارش‌دهی باید به یک سیستم سفارش همزمان تعدیل‌شده تبدیل شود.

سپاسگزاری

بخشی از این تحقیق به وسیلهٔ کمک اهدایی وزارت آموزش و پرورش ژاپن در سال ۱۹۹۴ انجام شده است.

مراجع

1- Berkley, B.J., "Analysis and Approximation of a JIT Production Line: A Comment," Decision Sciences, Vol. 21, No. 3, pp. 660-669, 1990.

2- Bitran, G.R. and Chang, L., "A Mathematical Programming Approach to a Deterministic Kanban System," Management Science, vol. 33, No. 4, pp. 427-441, 1989.

3- Buzacott, J. A. and Shantikumar, J. G., Stochastic Models of Manufacturing Systems, Prentice-Hall, 1993.

4- Chaturvedi, M. and Colhar, D. Y., "Simulation Modelling and Analysis of a JIT Production System," Production Planning and Cont., Vol. 3, No. 1, pp. 81-82, 1992.

5- Chu, C.-H. and Shih, W.-L., "Simulation Studies in JIT Production," Int. J. Prod. Res., Vol. 30, No. 11, pp. 2573-2586, 1992.

6- Huang, P. Y., Rees, L. P., and Taylor III, B. W., "A Simulation Analysis of the Japanese Just-in-time Technicues (with Kanban) for a Multiline, Multistage Production System," Decision Sciences, Vol. 14, No. 3, pp. 326-344, 1983.

7- Izumi, M. and Takahashi, K., "Concurrent Ordering in JIT Production System," Proc. of the 2nd China-Japan International Symposium on Idustrial Management, Beijing, pp. 51-56, 1993.

8- Kimura, O. and Terada, H., "Design and Analysis of Pull System: A Method of Multi-stage Production Control," Int. J. Prod. Res., Vol. 19, No. 3, pp. 241-253, 1992.

9- Muralidhar, K., Swanseth, S. P., and Wilson, R. L., "Describing Processing Time when Simulating JIT Environments," Int. J. Prod. Res., Vol. 30, No. 1, pp. 1-11, 1992.

10- Price, W., Gravel, M., Nsakanda, A. L., "A Review of Optimisation Models of Kanban-based Production systems," Int. J. Operat. Res., Vol. 75, No. 1, pp. 1-12, 1994.

11- Pritsker, A. a. B., Introduction to Simulation and SLAM II, 3rd ed., John Wiley & Sons, 1986.

12- Sarker, B. R., "Simulating a Just-in-time Production System", computers and Industrial Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 127-137, 1989.

13- Schniederjans, M. J., Topics in Just-In- Time Management, Allyn & Bacon, 1993.

14- Spearman, L., Woodruff, D. L., Hopp, W. L., "CONWIP: A Pull Alternative to Kanban," Int. J. Prod. Res., Vol. 28, No. 5, pp. 879-894, 1990.

15- Takahashi, K., Nakamura, N., and Ohashi, K., "A Simulation Analysis on JIT Production System via Discrete Event Simulation," New Directions in Simulation etal). ORSJ, pp. 105-109, 1994.

16- Tayur, S. R., "Structural Properties and a Heuristic for Kanban-controlled Serial Lines," Management Science, Vol. 39, No. 11, pp. 1347-1368, 1993.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی