Archive of SID

تعیین تعداد کانبان در سیستم تولید JIT (تولید بهنگام) با شرایط پویا

سید تقی حسینی[1]، سید محمد معطر حسینی[2]، بهروز کریمی[3*]

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

*** تهران، صندوق پستی۴۴۱۳- ۱۵۸۷۵**

B.Karimi@aut.ac.ir

(دریافت مقاله: آبان ۱۳۸۱، پذیرش مقاله: فروردین ۱۳۸۳)

چکیده - اگرچه مزایای بسیار ناشی از به‌کارگیری مفاهیم و فنون JIT موجب شده تا شرکتهای بیشتری به آن روی آورند، اما تغییرات خارج از کنترل برخی پارامترهای محیط تولید و اثرگذاری آنها، موجب کاهش کارایی و عملکرد این سیستم می‌شود. براساس نتایج حاصل از مرور این مقوله، تعیین تعداد کانبان و بررسی عملکرد این سیستم در حالتهای مختلف، از موارد مورد توجه محققان بوده است. در این مقاله ابتدا نوعی مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (ILP) برای تعیین تعداد بهینهٔ کانبان در هر یک از ایستگاه‌های تولید ارائه و سپس به منظور کنترل تغییرات پارامترهای تولید، بر پایهٔ مدل اول، مدل دیگری ارائه می‌شود که قابلیت تعیین تعداد کانبان متغیر و انعطاف‌پذیر را برای ایستگاه‌های تولید داشته باشد. معیارهای بهینه‌سازی شامل، حداقل‌سازی هزینه‌های نگهداری موجودی، رویارویی با کمبود و تغییر تعداد کانبان است. همچنین با ارائهٔ نتایج حاصل از تحلیل مثالهای متعدد، کارایی دو روش نسبت به هم و در برابر تغییرات پارامترهایی مانند تقاضا، زمان پردازش و ظرفیت در دسترس ایستگاه‌ها مقایسه شده و برتری مدل دوم برنامه‌ریزی نشان داده می‌شود.

کلید واژگان: JIT؛ تعداد کانبان متغیر؛ برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح.

۱- کلیات و سوابق تحقیقاتی

در سیستم تولیدی JIT هر مرحله از فرایند، خروجی خود را در زمانی که مورد نیاز مرحلهٔ بعد باشد و به مقدار موردنیاز، پردازش کرده و به مرحلهٔ بعد تحویل می‌دهد. هدف JIT از این موضوع، علاوه بر ارضای کامل و به‌موقع تقاضا، کاهش سطح موجودیها اعم بر مواد اولیه، محصول نیم‌ساخته و محصول نهایی است. کانبان مهمترین ابزار برنامه‌ریزی و کنترل جریان تولید برای تحقق این هدف است.

JIT نیز مانند هر سیستم تولیدی دیگری، در محیطهای دارای پارامترهای ثابت و قطعی بهتر عمل می‌کند و اصولا کاهش و حذف منابع ایجاد تغییرات و نوسانات در سیستم ، از دیگر اهداف JIT است. اما نکتهٔ قابل ذکر این است که سازمانها در هنگام پیاده‌سازی JIT با طیف وسیعی از پارامترهای متغیر مانند تقاضای متغیر و زمانهای پردازش متغیر روبه‌رو می‌شوند که تغییرات این پارامترها موجب کاهش کارایی سیستم JIT خواهد شد. تعیین تعداد کانبان به نحوی که عملکرد خوبی در مقابل تغییرات این پارامترها وجود داشته باشد، همواره از مسائل مورد مطالعهٔ محققان بوده است. در این مقاله هدف تعیین

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد کانبان تولید در سیستم JIT است به طوری که بهترین عملکرد در مقابل پارامترهای متغیر سیستم تولید به‌دست آید.

در بررسی مقولهٔ مورد بحث، برخی مقالات به طور مستقیم به تعیین تعداد کانبان پرداخته و برخی دیگر رفتار سیستم کانبان را در حالتهای مختلف بررسی نموده‌اند. از سوی دیگر در بعضی مقالات پارامترهای سیستم تولید ثابت در نظر گرفته شده و در مقالات دیگر پارامترها به صورت متغیر بررسی شده‌اند. در مقالات مرتبط با تعیین تعداد کانبان، از تکنیکهای متعددی مانند روشهای تحلیلی و شبیه‌سازی استفاده شده است. در مقالات تحلیلی مباحث تئوری صف، مدلهای برنامه‌ریزی خطی، روشهای ابتکاری، و همچنین فنونی مانند الگوریتم ژنتیک[1] و شبکه‌های عصبی[2] استفاده شده است. در ادامه، تعدادی از این مقالات به‌طور اجمالی بررسی می‌شود. به‌دلیل کثرت مقالات، صرفا به آنهایی اشاره می‌شود که با استفاده از مدلهای تحلیلی، تعداد کانبان را تعیین کرده‌اند.

کیمورا و ترادا [۱] اولین کسانی بودند که سیستم کانبان را مدلسازی کردند. آنها نوعی مدل شبیه‌سازی n ایستگاهی ارائه کردند که در آن تقاضای ایستگاه نهایی، متغیر است. بیتران و چنگ [۲] مدل کیمورا و ترادا را توسعه داده و نوعی مدل برنامه‌ریزی ریاضی در حالت قطعی برای سیستم تولید n مرحله‌ای ارائه کرده‌اند. ریس و همکاران [۳] نوعی متدلوژی ارائه کردند که ورودی آن تقاضای پیش‌بینی شده و تابع چگالی احتمال زمان تدارک بود. از این روش برای تنظیم پویای تعداد کانبان در ایستگاه‌های کاری استفاده می‌شود. ونگ و ونگ [٤] نیز در حالتهای مختلف (یک ایستگاه به یک ایستگاه، چند ایستگاه به یک ایستگاه، و چند ایستگاه به چند ایستگاه) و با استفاده از روش فرایند مارکوف، تعداد کانبان را تعیین کرده‌اند. فیلیپوم و همکاران [٥] سیستمی را مدلسازی کرده‌اند که در آن گلوگاه دارای چند ماشین و چند محصول است و زمانهای آماده‌سازی به اندازهٔ کافی کوتاه نیست. روش تحلیل آنان استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی بود و در این شرایط پیشنهاد شده که از کانبان علامت استفاده شود. لی و کو [٦] سیستمی را با ظرفیت تولید نامحدود (برای جلوگیری از رویارویی با کمبود) در نظر گرفته‌اند که در آن ایستگاه‌های تولیدی می‌توانند ساختار درختی یا موازی داشته باشند. سپس با هدف کمینه‌سازی هزینهٔ موجودی و با استفاده از برنامه‌ریزی پویا، تعداد کانبان برای هر مرحله از تولید تعیین می‌شود. پرایس و همکاران [۷] مدل بیتران و چنگ (۱۹۸۷) را برای نمونه‌ای از کارگاه مونتاژ نهایی و با اضافه کردن محدودیتها و متغیرهای بیشتر، در حالت چند فعالیتی با فرض مشخص بودن مقدار سفارش و با معیار کمینه‌سازی زمان ساخت، توسعه داده‌اند. گراهام [۸] فرایند تک‌مرحله‌ای تغذیه‌کنندهٔ خط مونتاژ را در نظر گرفته است که در مدل آن نرخ خرابی محصولات و توزیع آماری زمان دوباره‌کاریها، ورودی به مدل است. مدل ارائه شده نوعی مدل مارکوف حالت ـ ثابت است که تعداد کانبان را تعیین می‌کند. چنگ و یی [۹] به جای سیستم کانبان معمولی روشی به نام سیستم کانبان عمومی ـ که در واقع نوعی سیستم کانبان اصلاح شده است ـ ارائه می‌کنند که در مقایسه با سیستم سنتی، نتایج بهتری را به‌دست می‌دهد. لیبراتور و همکاران [۱۰] مسألهٔ تخصیص کانبان را برای سیستم چند محصولی با در نظر گرفتن تغییرات تقاضا برای انواع مختلف محصول در نظر گرفته‌اند که در آن با استفاده از فن تجزیه و تحلیل آشفتگی، روشی برای تنظیم پویای تعداد کانبان ارائه شده است. لیبرپولوس و دالری [۱۱] سیستمی را برای کنترل کانبان ارائه می‌کنند که با دو پارامتر مشخص می‌شود: تعداد کانبان موردنیاز برای سیستم و مقدار ذخیرهٔ پایه از محصول نهایی در ایستگاه آخر این سیستم، معیارهای کمینه‌سازی هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های

1. Genetic Algorithms
2. Neural Networks

www.SID.ir

Archive of SID

کمبود را دارد. اتل و شوهن [۱۲] روشی ابتکاری با کارایی خوب را برای طراحی سیستم کانبان ارائه کرده‌اند. در روش آنها از روشی تحلیلی برای مدلسازی سیستم کانبان و از الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی سیستم کانبان استفاده می‌شود. فیلیپوم و همکاران [۱۳] روشی را برای تعیین همزمان ظرفیت ظرف متصل به کانبان، تعداد کانبان و توالی تولید محصولات در سیستم کارگاهی کانبان ارائه کرده‌اند. معیار مدل، کمینه‌سازی هزینه‌ها بوده و حل مدل نیز با استفاده از روش شاخه و حد انجام می‌شود. معینی و همکاران [۱٤] رویه‌ای را برای تعیین مقادیر مناسب پارامترهای تصمیم‌گیری در حالتی که سیستم دارای تغییرات ذاتی و عدم قطعیتها است، ارائه کرده‌اند. روش آنها در تعیین سیستم کانبان مبتنی بر روش تاگوچی است. تاکاهاشی و ناکامورا [۱۵] نوعی سیستم کنترل موجودی تطبیق‌پذیر را با استفاده از شبکه‌های عصبی برای سیستمهای تولیدی که تغییرات در تقاضا دارند ارائه کرده‌اند. تاردیف و ماسی‌واگ [۱٦] روشی را برای کنترل کانبان ارائه کرده‌اند که در آن تعداد کانبان می‌تواند با توجه به مقدار موجودی و سفارشات برگشت خورده تغییر کند. گوپتا و همکاران [۱۷] در مقاله خود مدلی را با عنوان سیستم کانبان انعطاف‌پذیر ارائه کرده‌اند. در مقاله گوپتا و همکاران هدف، مقایسهٔ سیستم کانبان سنتی با سیستم منعطف بوده و با استفاده از شبیه‌سازی نشان داده شده که در شرایطی که زمان عملیات و مقدار تقاضا متغیر است یا تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه یا خرابی ماشین‌آلات مطرح است، سیستم کانبان منعطف در مقایسه با سیستم کانبان سنتی، نتایج بهتری را از دیدگاه کاهش زمان تکمیل کارها، نیاز به اضافه‌کاری و درصد استفاده از ماشین‌آلات، به‌دنبال دارد. گوپتا و همکاران در مقالهٔ خود روشی را برای محاسبهٔ کانبان ارائه نکرده‌اند. در مقالهٔ حاضر روشی برای محاسبهٔ تعداد کانبان ارائه شده که قابلیت توسعه برای سایر موارد را نیز دارد. از جمله تفاوتهای دیگر مقالهٔ حاضر با مقالهٔ گوپتا و همکاران روش به‌کار گرفته شده است. در مقالهٔ حاضر از برنامه‌ریزی خطی استفاده شده که از قابلیت کاربردی و عمومیت بیشتری برخوردار است و از دید نظری نیز دقت بالاتری نسبت به شبیه‌سازی دارد. آلاباس و همکاران [۱۸] سه رویهٔ جستجوی ابتکاری شامل الگوریتم ژنتیک، شبیه سازی خنک‌سازی[1] و جستجوی تابو[2] را برای تعیین تعداد کانبان با معیار کمترین هزینه ارائه کرده و آنها را از نظر سرعت دستیابی به همگرایی و یافتن تعداد بهینهٔ کانبان مقایسه کرده اند. مارکهام و ماتیو [۱۹] نیز از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم‌گیری برای تعیین تعداد کانبان در سیستم تولید JIT ـ که دارای تغییرات پویا باشد ـ استفاده کرده‌اند.

در بررسی تحقیقات گذشته درمی‌یابیم که روشهای تحلیلی ارائه شده، معمولا به‌دلیل استفاده از فنون پیچیده، به‌سختی قابل استفاده‌اند. برخی نیز با شرایط واقعی سیستم تولیدی سازگاری نداشته و در حالت واقعی نمی‌توانند پاسخگو باشند. به عنوان نمونه کار مارکهام و همکاران و آلاباس و همکاران به‌دلیل استفاده از روشهایی مانند شبکه‌های عصبی و الگوریتمهای ژنتیک، شاید قابلیت کاربردی کمتری در صنعت داشته باشند. آشنایی مناسب با این روشها و بخصوص تنظیم پارامترها برای حصول جواب مناسب، بسیار مهم و تعیین کننده بوده ولیکن ممکن است برای کاربران صنعتی براحتی مقدور نباشد؛ در حالی که روشهای مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی، امروز در صنعت نیز براحتی قابل است. در مقاله حاضر دو روش تحلیلی بر پایهٔ مدلهای برنامه‌ریزی خطی ارائه شده است. هدف ارائه روشهایی بوده است که ضمن در برداشتن مشخصات و جزئیات واقعی سیستمهای تولیدی، به‌سادگی قابل تحلیل بوده و کاربردی باشند. این دو روش در بخش بعدی تشریح می‌شود.

1. Simulated Annealing
2. Tabu Search

www.SID.ir

Archive of SID

۲- دو روش برای تعیین تعداد کانبان

۲-۱- روش اول: مدل برنامه‌ریزی ریاضی با تعداد ثابت کانبان

در این روش سیستم تولیدی I مرحله‌ای (I ایستگاه) بررسی می‌شود. ایستگاه نهایی، تک محصولی است اما محصولات نیم‌ساخته در هر ایستگاه با محصول ایستگاه بعدی متفاوت است. نحوهٔ گردش کانبان مطابق "سیستم چرخهٔ برداشت ثابت، مقدار برداشت غیرثابت" است. روش ارائه شده در این بخش تعداد کانبان تولید[1] در هر ایستگاه (K_i) را در طول افق برنامه‌ریزی، با T دوره تعیین می‌کند، به‌طوری‌که هزینه‌های نگهداری موجودی و هزینهٔ رویاروی با کمبود محصول در ایستگاه‌ها کمینه شود. سیستم تولید مطابق حالت "سفارشات عقب‌افتاده" عمل می‌کند. تعداد کانبان تولیدی در واقع برابر با حداکثر تعداد موجودی در بافرخروجی هر ایستگاه است. اقلام ورودی هر ایستگاه، از محصولات تولیدی ایستگاه قبل است که می‌توانند دارای ضرایب مصرف متفاوتی باشند. نمای کلی سیستم تولید، در شکل ۱ ارائه شده است. به‌دلیل اینکه نحوهٔ عملکرد سیستم کانبان پیش از این در بسیاری مقالات تشریح شده [۱۷، ۱۹] از تکرار مجدد آن خودداری می‌شود.

مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه شده، تعداد کانبانهای برداشت[2] را که بین دو ایستگاه تولیدی می‌باشند، تعیین نمی‌کند. در اینجا فرض می‌شود که برداشت موجودی از هر یک از ایستگاه‌ها در ابتدای دوره انجام می‌شود، یعنی ایستگاه $i+1$ براساس برنامهٔ تولید خود در دورهٔ t، مقدار مورد نیاز از محصول ایستگاه i را در ابتدای دورهٔ t برداشت می‌کند که در بافر ورودی ایستگاه قرار می‌گیرد. همچنین به‌منظور جلوگیری از توقف تولید هر ایستگاه در ابتدای دوره ـ به‌دلیل زمانی که طول می‌کشد تا قطعات موردنیاز از ایستگاه قبل تامین شود ـ فرض می‌شود هر ایستگاه در بافر ورودی خود ذخیره موجودی کافی به اندازهٔ مصرف زمان حمل و نقل داشته باشد.

تقاضا و زمان پردازش، ورودیهای مدل است. تعداد کانبان تعیین شده برای هر یک از ایستگاه‌ها نیز در طول افق برنامه‌ریزی ثابت بوده و تغییر نمی‌کند. لازم است ذکر شود که در این مدل و همچنین در مدلهای بعدی، واحد موجودی براساس ظرفیت ظرفی[3] در نظر گرفته شده که کانبان به آن متصل می‌شود.

مدل ریاضی ارائه شده پارامترها و متغیرهایی به شرح زیر دارد.

پارامترهای مدل:

I مجموعه ایستگاه‌ها (محصولات)

T مجموعه دوره‌های تولید در طول افق برنامه‌ریزی

CH_i هزینهٔ نگهداری یک واحد از موجودی ایستگاه i در یک دوره

CS_i هزینهٔ کمبود یک واحد محصول ایستگاه i

B_i ظرفیت در دسترس ایستگاه i در هر دوره

a_i ظرفیت مورد نیاز برای تولید یک واحد در ایستگاه i

r_i ضریب مصرف محصول ایستگاه i در محصول ایستگاه $i+1$

$U_{i,0}$ موجودی اولیهٔ ایستگاه i

D_t تقاضا برای محصول ایستگاه I (محصول نهایی) در دورهٔ t

متغیرهای مدل:

$X_{i,t}$ مقدار تولید در ایستگاه i در دورهٔ t

K_i تعداد کانبان تخصیصی به ایستگاه i

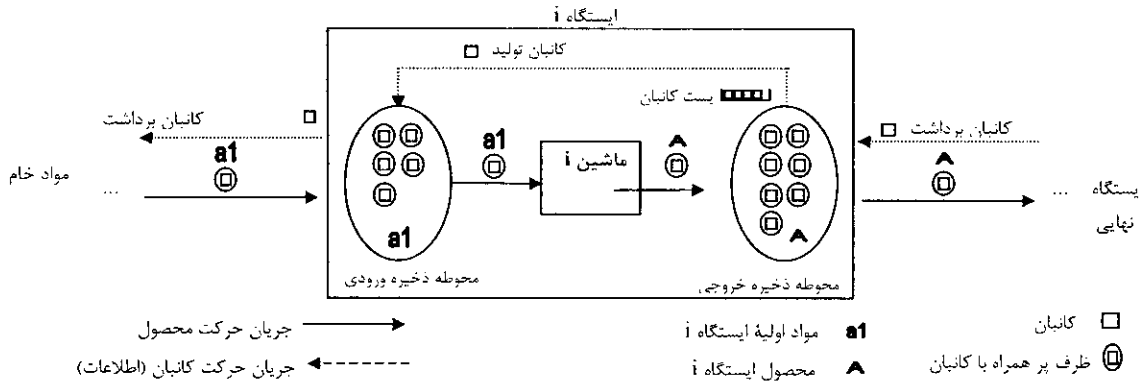
$U_{i,t}$ تعداد کانبان متصل به ظرفهای پر در ایستگاه t در پایان دوره

$U^+_{i,t}$ موجودی مثبت در ایستگاه i در پایان دوره t

1. Production Kanban
2. Withdrawal Kanban
3. Container Capacity

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ گردش کانبان و جریان محصول در ایستگاه I

$U_{i,t}^{-}$ کمبود موجودی در ایستگاه i در پایان دوره t

$RI_{i,t}$ مقدار مورد نیاز از موجودی ایستگاه i در دورهٔ t

$J2-J6$ مجموعه متغیرهای صفر و یک

مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح به‌صورت زیر خواهد بود :

$$\min \quad Z=\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} CH_i U_{i,t}^{+}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} CS_i U_{i,t}^{-} \qquad (۱)$$

s.t:

تعریف مقدار مصرف موجودی هر ایستگاه در هر دوره

$$RI_{i,t}=r_i X_{i+1,t} \qquad t=1,...,T \ , \ i=1,...,I-1 \qquad (۲)$$

$$RI_{I,t}=D_t \qquad t=1,...,T \qquad (۳)$$

روابط تعادل موجودی

$$U_{i,1}=U_{i,0}+X_{i,1}-RI_{i,1} \qquad i=1,..,I \qquad (٤)$$

$$U_{i,t}=U_{i,t-1}+X_{i,t}-RI_{i,t} \qquad t=2,...T, i=1,...,I \qquad (٥)$$

رابطهٔ تعداد کانبان با مقدار موجودی اولیه

$$K_i \geq U_{i,0} \qquad i=1,...,I \qquad (٦)$$

روابط تعداد کانبان با مقدار تولید هر ایستگاه در هر دوره

$$X_{i,t} \leq K_i \qquad t=1,...,T \ , \ i=1,...,I \qquad (۷)$$

$$X_{i,1} \leq K_i-U_{i,0} \qquad i=1,...,I \qquad (۸)$$

$$X_{i,t} \leq K_i-U_{i,t-1} \qquad t=2,...T, i=1,...,I \qquad (۹)$$

روابط مقدار تولید هر ایستگاه با موجودی پایان دورهٔ ایستگاه قبل

$$r_{i-1} * X_{i,1} \leq U_{i-1,0} \qquad i=2,...,I \qquad (۱۰)$$

$$r_{i-1} * X_{i,t} \leq U_{i-1,t-1} \qquad t=2,...,T \ , \ i=2,...,I \qquad (۱۱)$$

رابطهٔ مقدار تولید با کل ظرفیت هر ایستگاه

$$a_i * X_{i,t} \leq B_i \qquad t=1,...,T \ , \ i=1,...,I \qquad (۱۲)$$

روابط تعداد کانبان با مقدار تولید هر ایستگاه در هر دوره

$$X_{i,1}-K_i+U_{i,0} \geq M(J2_i-1) \qquad i=1,...,I \qquad (۸')$$

$$X_{i,t}-K_i+U_{i,t-1} \geq M(J3_{i,t}-1) \qquad t=2,..T, i=1,...,I \qquad (۹')$$

www.SID.ir

Archive of SID

روابط مقدار تولید هر ایستگاه با

$$r_{i-1}X_{i,t} - U_{i-1,0} \geq M(J4_i - 1) \qquad i = 2,...,I \qquad (10)$$

$$r_{i-1}X_{i,t} - U_{i-1,t-1} \geq M(J5_{i,t} - 1) \qquad t = 2,...,T,\ i = 2,...,I \qquad (11)$$

رابطهٔ مقدار تولید با ظرفیت

$$a_i X_{i,t} - B_i \geq M(J6_{i,t} - 1) \qquad t = 1,...,T\ ,\ i = 1,...,I \qquad (12)$$

روابط بین متغیرهای صفر و یک مدل

$$J2_i + J4_i + J6_{i,1} = 1 \qquad i = 2,...,I \qquad (13)$$

$$J3_{i,t} + J5_{i,t} + J6_{i,t} = 1 \qquad t = 2,...,T\ ,\ i = 2,...,I \qquad (14)$$

$$J2_1 + J6_{1,1} = 1 \qquad (15)$$

$$J3_{1,t} + J6_{1,t} = 1 \qquad t = 2,...,T \qquad (16)$$

روابط موجودی آزاد با موجودی مثبت

$$U_{i,t} = U^+_{i,t} - U^-_{i,t} \qquad t = 1,...,T\ ,\ i = 1,...,I \qquad (17)$$

تعریف محدودهٔ متغیرهای مدل

$$X_{i,t}, U^+_{i,t}, U^-_{i,t} \geq 0, \quad U_{i,t} : UNRESTRICTED \qquad t = 1,...,T,\ i = 1,...,I-1$$

$$K_i : INTEGER \qquad i = 1,...,I-1$$

$$J2_i, J3_{i,T}, J4_i, J5_{i,t}, J6_{i,t} = (0,1) \qquad t = 1,...,T\ ,\ i = 1,...,I \qquad (18)$$

تابع هدف مدل (رابطهٔ (۱)) به دنبال کمینه‌سازی هزینه‌های نگهداری موجودی و هزینه‌های رویارویی با کمبود است. روابط(۲) الی (۵) روابط تعادل برای تعداد کانبانهای متصل به ظرفهای پر در ایستگاه i در پایان دورهٔ t است. این روابط بدین معنا است که در ایستگاه i، تعداد کانبان متصل به ظرفهای پر در پایان دورهٔ $t-1$، بعلاوهٔ تعداد کانبانی که در طول دورهٔ t به ظرفهای پر متصل خواهد شد (تعداد تولید شده)، منهای تعداد کانبان آزاد شده در دورهٔ t (مقدار مصرف $RI_{i,t}$)، برابر با تعداد کانبان متصل به ظرفهای پر در پایان دورهٔ t است.

هنگامی که در سیستم، موجودی اولیه وجود داشته باشد، طبیعتاً تعداد کانبان در سیستم، مقداری بزرگتر از یا مساوی با تعداد موجودی اولیه خواهد بود زیرا به هر موجودی یک کانبان متصل است. رابطهٔ (٦) این موضوع را نشان می‌دهد.

در سیستم کانبان، تعداد تولید در هر ایستگاه و در هر دوره، برابر با تعداد کانبانهای آزاد در آن ایستگاه است، اما عواملی مانند محدودیت در ظرفیت ایستگاه یا محدودیت ناشی از تعداد قطعات ایستگاه قبل ـ که در این ایستگاه مصرف می‌شوند ـ می‌توانند موجب شوند که تعداد تولید در ایستگاه، کمتر از تعداد کانبانهای آزاد باشد. روابط (۷) تا (۱۲) برای تعیین تعداد تولید هر ایستگاه و در هر دوره به‌کار می‌رود که با برقرار شدن روابط (۱۳) تا (۱٦) بین متغیرهای صفر و یک مدل، مقدار تولید به‌صورت زیر است:

تعداد تولید در هر ایستگاه در هر دوره =MIN{A, B, C}

A= تعداد کانبان آزاد در ابتدای دوره

B= مقدار موجود از محصولات ایستگاه قبل که در تولید این ایستگاه استفاده می‌شود.

C= مقدار زمان در دسترس از ظرفیت ایستگاه

با توجه به اینکه $U^+_{i,t}$ و $U^-_{i,t}$ در رابطهٔ (۱) کمینه می‌شود و با در نظر گرفتن رابطهٔ (۱۷)، معلوم می‌شود که همیشه در جواب بهینهٔ به‌دست آمده، رابطهٔ $U^+_{i,t} \cdot U^-_{i,t} = 0$ برقرار است. محدودیتهای ذکر شده در روابط (۱۸) نیز مشخص کنندهٔ متغیرهای مدل است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲- روش دوم: مدل برنامه‌ریزی ریاضی با تعداد کانبان متغیر

برنامه‌ریزی در سیستم JIT نیز مانند هر سیستم تولیدی دیگری در شرایطی که با پارامترهای ثابت و قطعی از قبیل زمان فرایند ثابت و تقاضای ثابت سروکار داشته باشیم، ساده‌تر بوده و کارایی مدلهای برنامه‌ریزی بیشتر است. اما در صورتی که این سیستم در عمل پیاده‌سازی شود، مشاهده می‌شود که سیستم تولیدی مملو از عدم قطعیتهای گوناگون مانند تغییرات تقاضا، تغییرات زمان فرایند و مانند آن است. مجموع این عوامل موجب می‌شود که آن دسته از مدلهای برنامه‌ریزی که عدم‌قطعیتها را در نظر نمی‌گیرند، کارایی خود را از دست بدهند. در ادامه روشی برای رویارویی با تغییرات پارامترهای تولید ارائه می‌شود که سعی می‌کند با ارائهٔ تعداد متغیر کانبان، در مقابل تغییرات پارامترهایی مانند تقاضا و زمان پردازش نتایج بهتری را ارائه کند. در این روش مانند روش اول، مدل برنامه‌ریزی، در ابتدای افق برنامه‌ریزی تحلیل و تعداد کانبان در همان ابتدا برای کلیهٔ ایستگاه‌ها مشخص می‌شود.

مدلی که در این روش ارائه می‌شود، بهبودی برای مدل ارائه شده در بخش قبلی است. این مدل نیز با معیار کمینه‌سازی هزینه‌های نگهداری موجودی و هزینهٔ رویارویی با کمبود محصول نهایی، تعداد کانبان را برای سیستم تولیدی I مرحله‌ای در طول افق برنامه‌ریزی با T دوره تعیین می‌کند؛ با این تفاوت که تعداد کانبان برای هر ایستگاه، دیگر ثابت نبوده و می‌تواند از یک دوره زمانی به دورهٔ دیگر تغییر کند. سایر مشخصات مدل مانند نحوهٔ گردش کانبان و نحوهٔ برداشت موجودیها، مانند مدل قبل (تعداد کانبان ثابت) است. ذیلاً پارامترها و متغیرهای جدیدی را که علاوه بر پارامترها و متغیرهای مدل قبل استفاده می‌شود، معرفی می‌کنیم.

پارامترها:

$K_{i,0}$ مقدار اولیه برای تعداد کانبان ایستگاه i (به‌دست آمده از روش اول)

α نسبت تغییرات مجاز تعداد کانبان در ایستگاه‌ها نسبت به $K_{i,0}$

متغیرها:

$K_{i,t}$ تعداد کانبان تخصیص داده شده به ایستگاه I در دوره t

$K^{+}_{i,t}$ تعداد افزایش یافتهٔ کانبان در ایستگاه i از دوره t-1 به دورهٔ t

$K^{-}_{i,t}$ تعداد کاهش یافتهٔ کانبان در ایستگاه i از دوره t-1 به دورهٔ t

در اینجا به‌دلیل بزرگی مدل و به‌منظور جلوگیری از تکرار روابط، صرفا تغییرات مدل دوم نسبت به مدل اول ارائه می‌شود.

$$\min \ Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} CH_i U^{+}_{i,t} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} CS_i U^{-}_{i,t} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} CK(K^{+}_{i,t} + K^{-}_{i,t}) \quad (۱۹)$$

روابط مرتبط با تغییرات کانبان:

$$k_{i,t} = k_{i,t-1} + k^{+}_{i,t} - k^{-}_{i,t} \quad t = 2,...,T \ , \ i = 1,...,I \quad (۲۰)$$

$$k_{i,1} = k_{i,0} + k^{+}_{i,1} - k^{-}_{i,1} \quad i = 1,...,I \quad (۲۱)$$

$$k_{i,t} \le k_{i,0} + \alpha * K_{i,0} \quad t = 1,...,T \ , \ i = 1,...,I \quad (۲۲)$$

$$k_{i,t} \ge k_{i,0} - \alpha * K_{i,0} \quad t = 1,...,T \ , \ i = 1,...,I \quad (۲۳)$$

تعریف محدودهٔ متغیرهای مدل:

$$K^{+}_{i,t}, K^{-}_{i,t} \ge 0, \quad t = 1,...,T, \ i = 1,...,I-1$$

$$K_{i,t} : INTEGER \qquad i = 1,...,I-1$$

www.SID.ir

Archive of SID

در این مدل متغیر $K_{i,t}$ معرف تعداد کانبان ایستگاه i در دورهٔ t بوده و متغیرهای $K_{i,t}^{+}$ و $K_{i,t}^{-}$ مقدار افزایش یا کاهش در تعداد کانبان ایستگاه i را در دورهٔ t نشان می‌دهند. $K_{i,0}$ مقدار اولیه برای تعداد کانبان ایستگاه i است که از حل مدل قبل به‌دست آمده. α درصد تغییرات مجاز $K_{i,t}$ نسبت به مقدار اولیهٔ $K_{i,0}$ است.

روابط (۲۰) و(۲۱) نشان می‌دهد که تعداد کانبان ایستگاه می‌تواند از یک دوره به دورهٔ دیگر متفاوت باشد. رابطهٔ (۲۰) برای دوره‌های T ،... ۳ ،۲ و رابطهٔ (۲۱) برای دورهٔ اول است. هزینهٔ تغییر تعداد کانبانها با توجه به ضریب جریمهٔ CK در تابع هدف در نظر گرفته شده است.

روابط (۲۲) و (۲۳) بیان می‌کنند که تغییرات کانبان در هر دوره نمی‌تواند بیش از $\alpha \cdot K_{i,0}$ باشد. این محدودیتها به‌این دلیل در نظر گرفته شده که ممکن است در شرایط واقعی، تغییرات کانبان تا سطح تعیین شده‌ای مانند $\alpha \cdot K_{i,0}$ امکان‌پذیر باشد. به عنوان مثال در صورتی که $K_{i,0}$ برابر ۱۰ و α برابر ۰،۲ باشد، نتیجه می‌گیریم که تعداد کانبان ایستگاه i می‌تواند در فاصلهٔ ۸ تا ۱۲ تغییر کند. در صورتی که مقدار α برابر صفر در نظر گرفته شود، تعداد کانبان ثابت خواهد بود و جوابها دقیقا با جوابهای اولیه ($K_{i,0}$) برابر می‌شود.

سایر روابط در این مدل مانند روابط ارائه شده در مدل قبل است جز اینکه در این مدل K_i به $K_{i,t}$ تبدیل شده است.

۲-۳- مثال عددی

برای حل مسائل عددی از نرم‌افزار Industrial LINGO/PC – Release 3.0 استفاده شده است. این نرم‌افزار قابلیت حل مدلهای برنامه‌ریزی ریاضی با ۸۰۰۰ محدودیت و ۱۶۰۰۰ متغیر را دارد. البته زمان حل به تعداد متغیرها و محدودیتها به‌خصوص متغیرهای صفر و یک و عدد صحیح مسأله بستگی دارد.

در اینجا برای مقایسه نتایج به‌دست آمده از تحلیل مدل با عملکرد واقعی سیستم JIT، مثالی به‌طور کامل ارائه می‌شود. با توجه به اینکه مدل دوم جامعتر از مدل اول است، مثال عددی برای مدل دوم ارائه شده است. در این مثال خط تولید دارای ٤ ایستگاه و افق برنامه‌ریزی دارای ٦ دورهٔ تولید است. پارامترهای ورودی در این مثال به شرح زیر است:

$I = 4 \quad CK = 1 \quad K_{i,0} = 26, 56, 42, 22$

$T = 6 \quad T = 6 \quad B_i = 480, 480, 480, 480$

$\alpha = 0.2 \quad CH_i = 2, 1.5, 3.5, 3.7$

$a_i = 9, 10, 18, 22 \quad U_{i,0} = 16, 32, 20, 14$

$CS_i = 2, 2, 2, 12 \quad r_i = 0.5, 2, 1, 1$

$D_t = 10, 16, 22, 22, 18, 15$

با توجه به نتایج تحلیل مدل، مقادیر هزینهٔ نگهداری، هزینهٔ رویارویی با کمبود، هزینهٔ تغییر تعداد کانبان و هزینهٔ کل چنین است.

هزینهٔ نگهداری = ۸۶۲ هزینهٔ رویارویی با کمبود = ۰

هزینهٔ تغییر تعداد کانبان = ۹ هزینهٔ کل = ۸۷۱

مقادیر مربوط به سایر متغیرهای مدل شامل تعداد کانبان هر یک از ایستگاهها در هر دورهٔ زمانی ($K_{i,t}$)، مقدار تولید در هر دوره ($X_{i,t}$)، مقدار مصرف موجودی در هر دوره ($RI_{i,t}$) و تعداد کانبانهای متصل به ظروف پر در هر ایستگاه ($U_{i,t}$) نیز در جدول ۱ آورده شده است.

همانطور که در جدول مشاهده می‌شود تعداد کانبان ایستگاهها ثابت نبوده و با تغییر دوره‌ها می‌تواند تغییر کند. ایستگاه ۱ در دورهٔ ۱ دارای ۲۶ کانبان بوده و تغییری نسبت به تعداد اولیهٔ کانبان ($K_{1,0}$) ندارد. ملاحظه می‌شود که تعداد تولید نیز برابر ۱۰ واحد یعنی مساوی با تعداد کانبان آزاد ایستگاه است. اما در دورهٔ ۲ مشاهده می‌شود که تعداد کانبان ایستگاه ۱، با ۱ واحد افزایش برابر ۲۷ واحد می‌شود و با توجه به اینکه $U_{1,1}$ برابر ۱۵ است، تعداد تولید ایستگاه ۱ در دورهٔ ۲ مساوی ۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

واحد است. تطابق مقادیر $K_{i,t}$، $X_{i,t}$، $U_{i,t}$، $RI_{i,t}$ در سایر ایستگاه‌ها و دوره‌ها با محدودیتهای مدل، به‌سادگی قابل بررسی است. در تمامی ایستگاه‌ها و دوره‌ها که، حالت عادی مقدار تولید هر ایستگاه برابر با تعداد کانبان آزاد آن ایستگاه است. در مواردی که محدودیتی در رابطه با تعداد قطعهٔ در دسترس از ایستگاه قبل یا ظرفیت در دسترس ایستگاه وجود داشته، مقدار تولید با توجه به این محدودیتها تعیین شده است. بررسی تاثیر تغییرات هر یک از پارامترهای ورودی متغیر بر عملکرد مدلهای برنامه‌ریزی ارائه شد و مقایسهٔ نتایج دو مدل نسبت به هم، مواردی است که در بخش بعدی بررسی خواهیم کرد.

جدول ۱ مقادیر متغیرهای مدل

		تناوب ۱	تناوب ۲	تناوب ۳	تناوب ٤	تناوب ٥	تناوب ٦
ایستگاه ۱	Ko=٢٦ Uo=١٦	K= ٢٦	K=٢٧	K=٢٧	K=٢١	K=٢١	K=٢١
		X= ١٠	X=١٢	X=١٥	X=٦	X=١٥	X=٦
		RI=١١	RI=١٥	RI=١٢	RI=١٥	RI=٦	RI=١٥
		U=١٥	U=١٢	U=١٥	U=٦	U=١٥	U=٦
ایستگاه ۲	Ko=٥٦ Uo=٣٢	K=٥٤	K=٥٤	K=٥٤	K=٥٤	K=٥٤	K=٥٤
		X=٢٢	X=٣٠	X=٢٤	X=٣٠	X=١٢	X=٣٠
		RI=٣٢	RI=٢٢	RI=٣٠	RI=٢٤	RI=٣٠	RI=١٢
		U=٢٢	U=٣٠	U=٢٤	U=٣٠	U=١٢	U=٣٠
ایستگاه ۳	Ko=٤٢ Uo=٢٠	K=٤٢	K=٤٢	K=٤٢	K=٤٢	K=٤٢	K=٤٢
		X=١٦	X=١١	X=١٥	X=١٢	X=١٥	X=٦
		RI=٩	RI=١٠	RI=١٦	RI=٢١	RI=١٨	RI=١٥
		U=٢٧	U=٢٨	U=٢٧	U=١٨	U=١٥	U=٦
ایستگاه ٤	Ko=٢٢ Uo=١٤	K=٢٣	K=٢٣	K=٢٣	K=٢٢	K=٢٢	K=٢٢
		X=٩	X=١٠	X=١٦	X=٢١	X=١٨	X=١٥
		RI=١٠	RI=١٦	RI=٢٢	RI=٢٢	RI=١٨	RI=١٥
		U=١٣	U=٧	U=١	U=٠	U=٠	U=٠
		D=١٠	D=١٦	D=٢٢	D=٢٢	D=١٨	D=١٥

www.SID.ir

Archive of SID

۳- بررسی اثر تغییرات پارامترهای ورودی در عملکرد روشهای ارائه شده

همانطور که پیش از این هم گفته شده، سیستم تولیدی JIT اصولا سیستمی انعطاف‌پذیر است. بنابراین قابلیت انعطاف خوبی را در رویارویی با تغییرات عوامل دارای عدم قطعیت دارا می‌باشد، اما بدیهی است که این تغییرات عوامل باید تحت کنترل قرار گیرند و هرگونه خروج از حدود کنترل، مسلما موجب افزایش هزینه‌ها و کاهش راندمان خواهد شد. عدم قطعیتها می‌توانند به مواردی مانند موجودی نیم‌ساختهٔ بیشتر، کارایی کمتر ماشین‌آلات، زمان طولانیت تکمیل سفارش، تعداد سفارشات کامل نشدهٔ، و نیاز بیشتر به اضافه‌کاریهای منجر شوند. در ادامه با ارائهٔ نتایج حل مسائل مختلف، درجهٔ تاثیر ناشی از تغییر تعدادی از این پارامترها در عملکرد مدلها نشان داده می‌شود.

۳-۱- تغییرات تقاضا

تقاضا، یکی از متداولترین پارامترهای غیرقطعی در سیستمهای تولیدی است که تغییر آن می‌تواند تاثیر زیادی بر سیستم تولیدی داشته باشد. مهمترین علت تغییر تقاضای محصول نهایی، تغییرات بازار مصرف است. در ادامه ابتدا تاثیر تغییر در پراکندگی و سپس تاثیر تغییرمیانگین تقاضا را بر عملکرد دو مدل بررسی می‌کنیم.

۳-۱-۱- اثر پراکندگی الگوی ورودی تقاضا بر عملکرد سیستم

این تغییرات برای پارامترهایی که الگوی آنها وابسته به زمان باشد، معتبر است. در مورد مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه شده، تقاضا فقط به این صورت است. منظور از پراکندگی زیاد در الگوی ورودی پارامتر، تغییرات زیاد آن پارامتر از دوره‌ای به دورهٔ دیگر است. برای بررسی تاثیر پراکندگی تقاضا بر عملکرد سیستم کانبان، ۵ مثال شامل ۵ ایستگاه و ۸ دورهٔ تولید طراحی و تحلیل شده است. این ۵ مثال در ۳ دفعه با استفاده از روش اول و دوم حل شده است. در دفعات اول، دوم و سوم به ترتیب داده‌های ورودی تقاضا دارای توزیع نرمال با میانگین ۱۵ و انحراف معیارهای ۳، ۶ و ۹ است. داده‌های تصادفی داده شده با استفاده از نرم‌افزار آماری MINITAB Release 11.12 تولید شده است.

نتایج تحلیل مثالها در شکل ۲ ارائه شده است. ۵ مثال اول دارای الگوی تقاضای N(۳،۱۵)، ۵ مثال دوم الگوی تقاضای N(۱۵،۶) و ۵ مثال سوم دارای الگوی تقاضای N(۹،۱۵) است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که در تمامی موارد، روش دوم نتایج بهتری را نسبت به روش اول داشته است. در روش دوم مقدار α برابر ۰،۲ و هزینهٔ تغییر هر واحد کانبان، CK، نیز برابر ۱ واحد در نظر گرفته شده است. نکتهٔ قابل توجهی که در تحلیل مثالها به‌دست می‌آید این است که در مواردی که پراکندگی الگوی تقاضا بیشتر است، درصد کاهش هزینهٔ روش دوم نسبت به روش اول نیز بیشتر است. همچنین با افزایش پراکندگی تقاضا، فاصلهٔ بین دو نمودار ـ که مربوط به دو روش اول و دوم است ـ نیز بیشتر شده است. یعنی مقدار کاهش هزینه در روش دوم افزایش یافته است. به تعبیر دیگر می‌توان چنین نتیجه گرفت که اثر پراکندگی تقاضا بر هزینهٔ کل در روش اول بیشتر از روش دوم است، یعنی با افزایش مقدار پراکندگی تقاضا، نسبت افزایش هزینهٔ کل در روش اول بیش از روش دوم است.

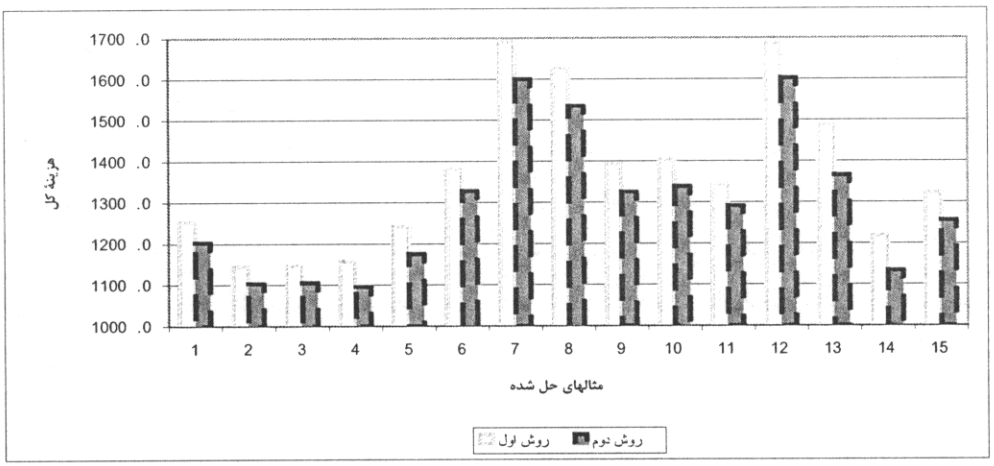
این مطلب در جدول ۲ بهتر قابل مشاهده است. در این جدول میانگین هزینهٔ روشهای اول و دوم و درصد کاهش هزینهٔ روش دوم نسبت به روش اول آورده شده است. همچنین در شکل ۳ نمودار درصد کاهش هزینه برحسب مقادیر پراکندگی تقاضا نشان داده شده است.

www.SID.ir

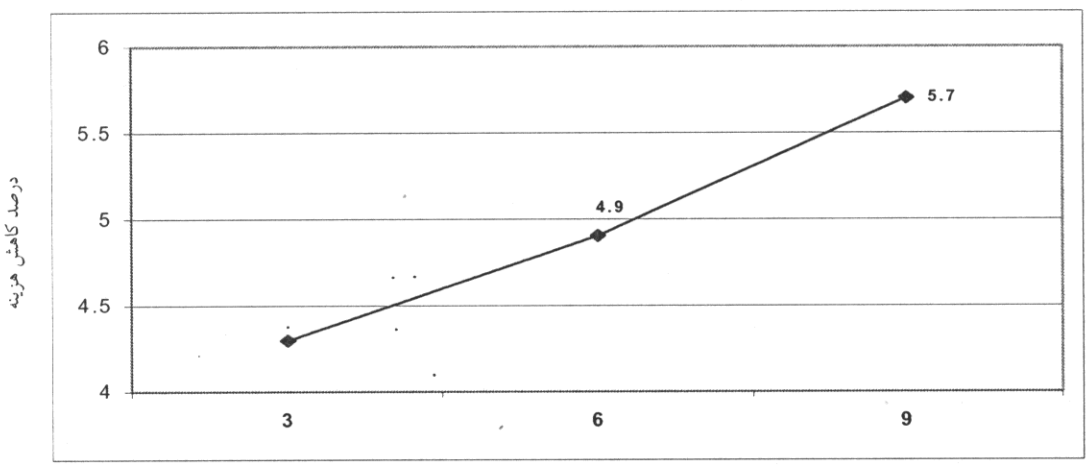
Archive of SID

جدول ۲ رابطهٔ بین درصد کاهش هزینه (روش دوم نسبت به روش اول) با پراکندگی تقاضا

الگوی تقاضا	میانگین هزینه در روش اول	میانگین هزینه در روش دوم	درصد کاهش هزینه
N(۳ و ۱۵)	۱۱۸۸/٦	۱۱۳۷/۵	٪ ٤/۳
N(٦ و ۱۵)	۱٤۹۹/٤	۱٤۲۵/۷	٪ ٤/۹
N(۹ و ۱۵)	۱۵۸۰/۲	۱٤۹۰/٤	٪ ۵/۷



شکل ۲ نمودار مقایسهٔ هزینهٔ کل مثالهای حل شده



شکل ۳ نمودار درصد کاهش هزینه براساس پراکندگی تقاضا

۳-۱-۲- اثر میانگین الگوی ورودی تقاضا بر عملکرد سیستم

برای مشاهدهٔ تاثیر تغییر میانگین تقاضا بر عملکرد سیستم، ۵ مثالی که الگوی تقاضای N(۱۵،۳) داشتند با اعمال تغییراتی در مقادیر تقاضا، بار دیگر حل شد. تغییرات موردنظر عبارت است از اضافه کردن ۵ واحد به میانگین تقاضا. نمودار تغییرات هزینه براساس تغییرات الگوی تقاضا در شکل ٤ ترسیم شده است.

با مقایسهٔ نتایج حل مثالها در حالت افزایش میانگین تقاضا با حالت اولیه، مشاهده می‌شود که تعداد کانبان در ایستگاه‌های مختلف در حالت افزایش تقاضا، افزایش یافته است که البته این موضوع قابل پیش‌بینی بوده است؛ همچنین هزینه‌ها در حالت افزایش تقاضا به مقدار قابل

www.SID.ir

Archive of SID

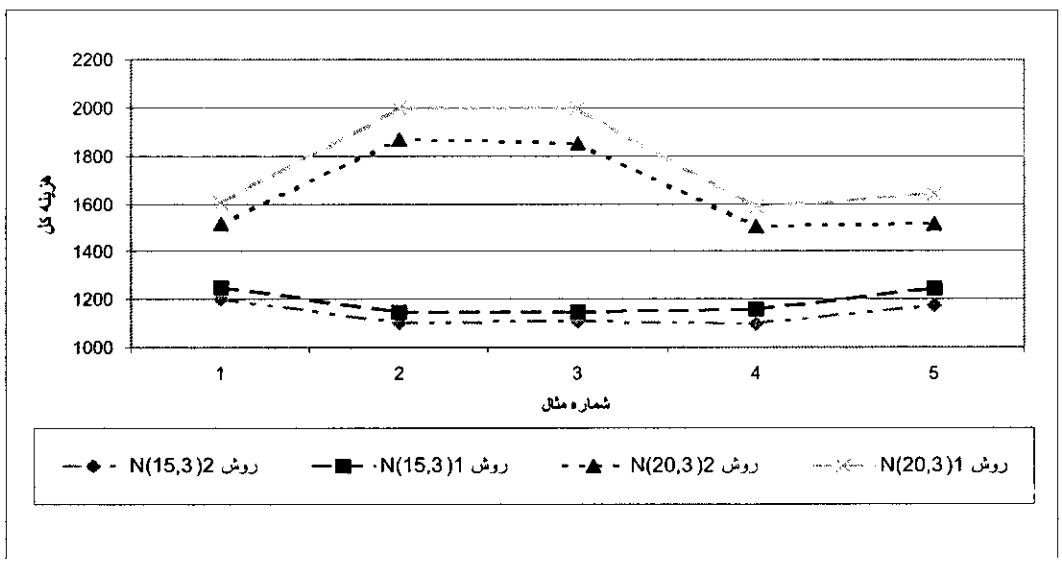
توجهی افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ٤، در تمامی مثالها، افزایش هزینه قابل مشاهده است. علت افزایش هزینه‌های نگهداری، افزایش تعداد کانبان است که به افزایش سطح موجودیها منجر می‌شود. همچنین افزایش سطح تقاضا موجب شده است که سیستم در برخی دوره‌ها توانایی ارضای کامل تقاضا را نداشته باشد که این موجب افزایش هزینه‌های کمبود شده است. اما نکتهٔ قابل توجه این است که در حالت افزایش تقاضا، روش دوم ـ که دارای قابلیت تغییر تعداد کانبان است ـ عملکرد خوبی را نشان می‌دهد. این مطلب در شکل ٤ با توجه به فاصلهٔ بین نمودارهای روش اول و دوم در حالتهای N(۱۵،۳) و N(۲۰،۳) قابل تشخیص است. در حالت افزایش میانگین تقاضا، کاهش هزینه‌های روش دوم نسبت به روش اول برابر ۶،۴ ٪ و در حالت اولیه برابر ۴،۳٪ است.

۳-۲- تغییرات در نسبت تغییرات تعداد کانبان(α)

در این بخش تغییرات مربوط به پارامتر α را ـ که برابر با نسبت تغییرات مجاز تعداد کانبان در ایستگاهها نسبت به $K_{i,0}$ است ـ بررسی کرده و با ارائهٔ نتایج تحلیل مثالهای مختلف، تاثیر این تغییرات را بر عملکرد مدل مطالعه می‌کنیم.

α پارامتری است که در روش دوم (که قابلیت تغییر تعداد کانبان را دارد)، معرفی شده. با افزایش α، در واقع قابلیت انعطاف‌پذیری در تعداد کانبان افزایش می‌یابد. افزایش قابلیت تغییر تعداد کانبان نیز به نوبه خود، منجر به دستیابی به نتایج بهتر خواهد شد. اما مسألهٔ قابل توجه این است که تغییرات در تعداد کانبان می‌تواند به تغییر مقادیر تولید ایستگاهها در دوره‌های مختلف منجر شود و این تغییر، بخصوص در ایستگاه ۱ می‌تواند به اعمال نوسانات در تقاضای پیمانکار فرعی و در نتیجه افزایش هزینهٔ پیمانکار فرعی منتهی شود که این موضوع البته مغایر با اهداف سیستم تولیدی JIT است. لذا ضروری است که در تعیین مقدار α، این موضوع نیز مد نظر قرار گیرد.

با توجه به موارد بالا بررسی درجهٔ تاثیر α بر عملکرد سیستم تولیدی مدنظر قرار گرفته است. این بار نیز برای مثالهای ۵ ایستگاه، ۸ تناوب استفاده شده است. ۵ مثال ابتدایی که دارای تقاضا با الگوی N(۱۵،۳) بودند، در نظر گرفته شد. این ۵ مثال در بخش ۳-۱-۱ با استفاده



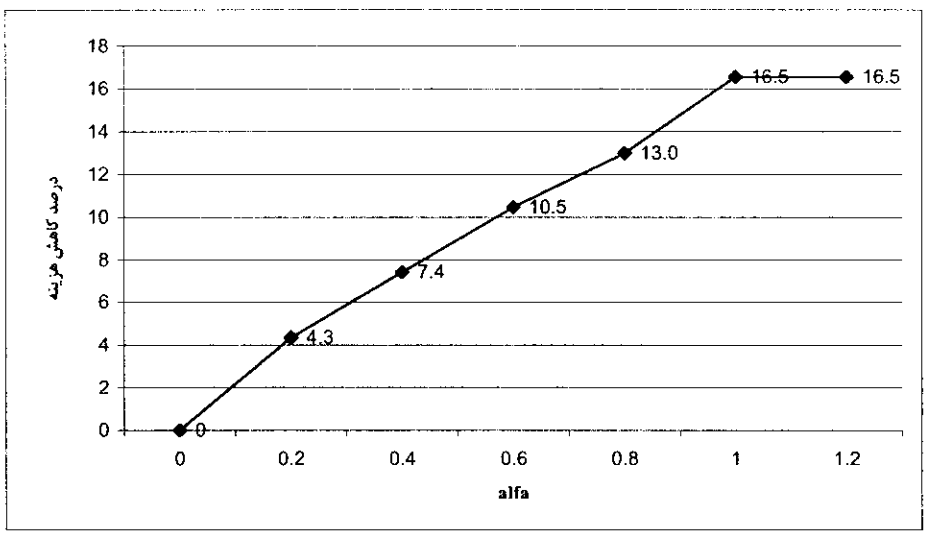
روش اول

شکل ٤ نمودار تغییرات هزینه براساس تغییرات میانگین تقاضا

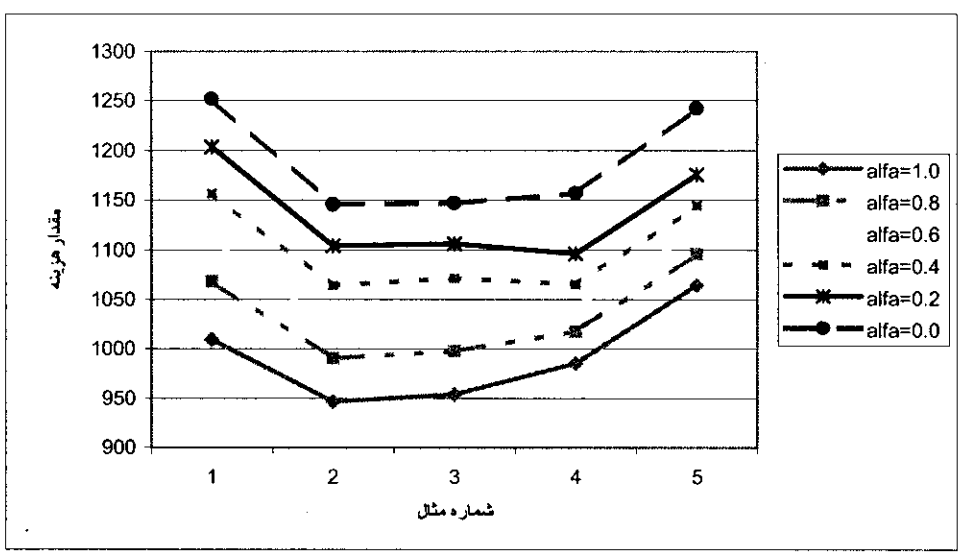
www.SID.ir

Archive of SID

از روش دوم و با در نظر گرفتن $\alpha = ۰،۲$ حل شده بود. برای بررسی تاثیر α بر نتایج روش دوم، تمامی ۵ مثال با مقادیر مختلف α حل شده که مقادیر در نظر گرفته شده، علاوه بر ۰،۲ عبارتند از ۰،۴ ، ۰،۶ ، ۰،۸ ، ۱،۰ و ۱،۲. البته لازم است ذکر شود که در حالتی که α مقداری بیش از ۱ است، با در نظر گرفتن رابطهٔ (۲۰) در مدل برنامه‌ریزی دوم، $K_{i,t}$ می‌تواند منفی باشد اما با توجه به اینکه $K_{i,t}$ متغیری عدد صحیح است ، دامنهٔ تغییرات $K_{i,t}$ ، از صفر تا $k_{i,0} + \alpha * K_{i,0}$ خواهد بود. به هر حال تمامی ۵ مثال مزبور با تغییرات اعمال شده برای مقادیر α تحلیل شده است. نمودار درصد کاهش هزینهٔ کل روش دوم نسبت به روش اول بر اساس افزایش مقدار α نیز در شکل ۵ ترسیم شده است. همچنین نمودار تغییرات هزینهٔ کل براساس افزایش مقدار α در شکل ٦ ترسیم شده. در این شکل نمودار $\alpha = ۰$ مربوط به جوابهای به‌دست آمده از روش اول است و نمودارهای $\alpha = ۰،۲$ تا $\alpha = ۱،۰$ مربوط به جوابهای روش دوم.



شکل ۵ نمودار درصد کاهش هزینهٔ روش دوم براساس افزایش مقدار α



شکل ٦ نمودار تغییرات هزینه براساس افزایش مقدار α

www.SID.ir

Archive of SID

اولین نکته‌ای که در شکلهای ۵ و ٦ مشاهده می‌شود این است که با افزایش α، کارایی روش دوم نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزایش مقدار α، به کاهش هزینهٔ کل در کلیهٔ مثالها منجر شده است. علت آن است که با افزایش α انعطاف‌پذیری در تعداد کانبان ایستگاه‌ها بیشتر شده و در نتیجه مقادیر تولید می‌توانند با توجه به وضعیت تقاضا و موجودی پایان دوره تغییر کنند و به همین دلیل هزینه‌های نگهداری موجودی و هزینه‌های رویارویی با کمبود که سیستم متحمل می‌شود نیز کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که درصد کاهش هزینهٔ کل براساس افزایش مقدار α دارای حالتی تقریباً خطی است. نکتهٔ دیگر در این نمودار این است که با افزایش α از مقدار ۱،۰ به ۱،۲ ، دیگر هیچ کاهشی در مقدار تابع هدف (هزینهٔ کل) مشاهده نمی‌شود.

در مثالهای تحلیل شده، هزینهٔ هر واحد تغییر تعداد کانبان در ایستگاه‌ها (CK) برابر ۱ در نظر گرفته شده است. لذا با افزایش α که منجر به تغییرات بیشتر در تعداد کانبان ایستگاه‌ها می‌شود، هزینهٔ تغییر تعداد کانبان نیز افزایش می‌یابد، تا جایی که حتی با افزایش α، هزینه‌های تغییر تعداد کانبان، دیگر اجازهٔ تغییر بیشتر را نمی‌دهد. در مثالهای بالا، این حالت در تغییر α از ۱ به ۱،۲ روی داده است.

اما موضوعی که پیش از این هم در رابطه با تغییرات کانبان مطرح شد، عدم مطلوبیت تغییرات مقادیر تولید برای پیمانکاران است، زیرا تغییرات مقادیر تولید در ایستگاه‌ها و بخصوص ایستگاه ۱، به منزلهٔ تغییرات تقاضا برای پیمانکاران است. اما نکتهٔ قابل توجهی که با مشاهدهٔ مقادیر تولید ایستگاه‌های مختلف ($X_{i,t}$) در مثالهای بالا روشن می‌شود، این است که اگرچه تغییرات تعداد کانبان موجب نوسان در مقدار تولید ایستگاه‌ها می‌شود، اما کلیه ایستگاه‌ها پس از طی چند دورهٔ ابتدایی، به حالتی پایدار در مقادیر تولید می‌رسند و تغییرات مقادیر تولید نسبت به زمان، حالتی ثابت و تکرار شونده پیدا می‌کند. بدین ترتیب بخصوص در مورد افقهای برنامه‌ریزی تولیدی که تعداد دوره‌های بیشتری داشته باشند، پس از چند دورهٔ اولیه حالتی پایدار در مقادیر تولید ایستگاه‌ها خواهیم داشت که مشکلی برای پیمانکاران به‌وجود نمی‌آورد.

۳-۳- تغییرات در زمان در دسترس ایستگاه در هر دوره (B_i) و زمان پردازش ایستگاه (a_i)

اصولا زمان در دسترس هر یک از ایستگاه‌ها باید به‌طور مفید صرف تولید قطعات شود، اما به دلایلی مانند توقفهای برنامه‌ریزی نشدهٔ ایستگاه (خرابی ماشین‌آلات)، عدم حضور اپراتورهای تولید (غیبت ناخواستهٔ کارکنان) و مانند آن، این زمان ممکن است کاهش یابد. همچنین زمان تولید یک واحد از محصول ایستگاه i نیز ـ که در واقع زمان پردازش ایستگاه i نامیده می‌شود ـ می‌تواند غیرقطعی بوده و تغییرات ناخواسته‌ای داشته باشد. دلایل این تغییرات می‌توانند مواردی باشد مانند تولید قطعاتی که کیفیت مطلوبی نداشته و منجر به ضایع شدن قطعهٔ تولیدی می‌شوند، استهلاک ابزار یا عدم مهارت لازم نیروی کار که موجب کاهش بهره‌وری و کاهش نرخ تولید می‌شود.

در این بخش اثر تغییرات ظرفیت ایستگاه‌ها بر عملکرد مدل بررسی شده و از بررسی تاثیر زمان پردازش ایستگاه خودداری می‌شود. دلیل این است که اگرچه دلایل تغییر در a_i می‌تواند با دلایل تغییر B_i متفاوت باشد، اما تاثیر این تغییرات اغلب یکسان است. در واقع نتایج ناشی از افزایش a_i را می‌توان مشابه نتایج ناشی از کاهش B_i و همچنین نتایج ناشی از کاهش a_i را مشابه نتایج ناشی از افزایش B_i در نظر گرفت. از این موضوع بدین صورت نیز می‌توان استفاده کرد که اثرات منفی ناشی از تغییر یکی از این دو پارامتر را با تغییر دیگری می‌توان خنثی کرد. به عنوان مثال اگر ظرفیت در دسترس ایستگاهی کاهش یافته و موجب بروز محدودیت ظرفیت و افزایش هزینهٔ کمبود شود، در صورت امکان می‌توان با

www.SID.ir

Archive of SID

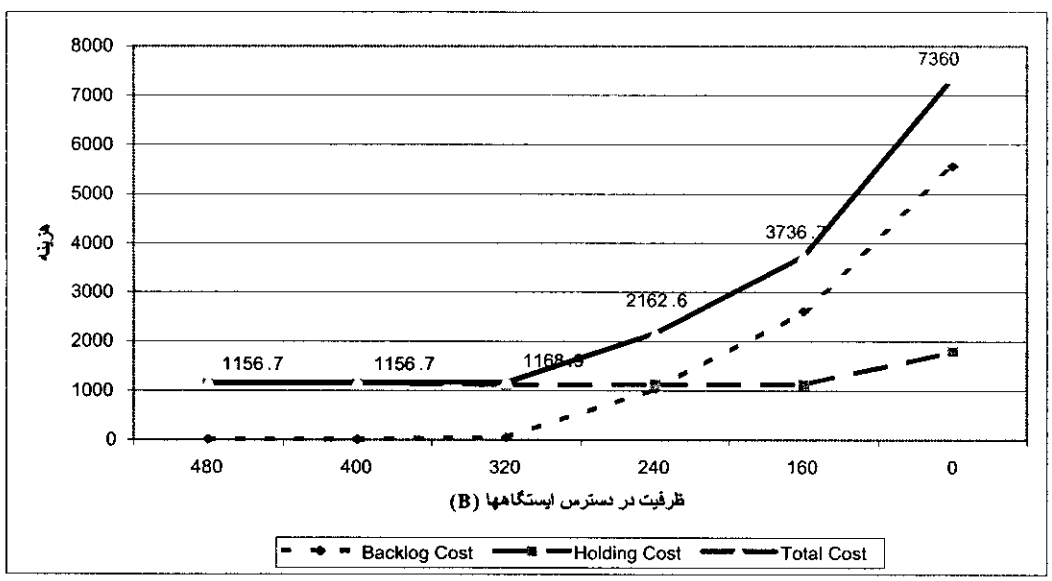
کاهش a_i این محدودیت را جبران کرد. از این‌رو به دلیل تشابهی که در نتایج تغییر این دو پارامتر وجود دارد، از بررسی پارامتر a_i خودداری می‌شود.

۳-۳-۱- بررسی اثر تغییرات بر زمان در دسترس ایستگاه i (B_i)

برای مشاهدهٔ تاثیر تغییرات این پارامتر بر مدل برنامه‌ریزی خطی، مثالی با ۵ ایستگاه و ۸ دوره در نظر گرفته شده است. مقدار اولیه ظرفیت ایستگاه‌ها ۴۸۰ بوده و این مثال با مقادیر مختلف برای ظرفیت ایستگاه تحلیل شده است. در تمامی موارد برای کلیهٔ ایستگاه‌ها ظرفیت یکسان در نظر گرفته شده اما واضح است که این موضوع از کلیت بحث نخواهد کاست. نمودار تغییرات هزینه‌ها براساس تغییرات ظرفیت در دسترس ایستگاه در شکل ۷ آورده شده است.

با مشاهدهٔ شکل ملاحظه می‌شود که با کاهش ظرفیت در دسترس ایستگاه از ۴۸۰ به ۴۰۰ تغییری در هزینه‌ها روی نمی‌دهد. علت آن است که مقادیر ۴۸۰ و ۴۰۰ به‌طور کامل جوابگو بوده و بیش از ظرفیت موردنیاز تولید در ایستگاه‌ها است. در واقع با داشتن این مقادیر، محدودیتهای مرتبط با ظرفیت ایستگاه‌ها محدودیتهای مازاد است.

با کاهش بیشتر ظرفیت از ۴۰۰ به ۳۲۰، تغییرات قابل مشاهده است. هزینهٔ نگهداری تقریبا ثابت و هزینهٔ کمبود و هزینهٔ کل افزایش یافته است. در این حالت محدودیتهای مرتبط با ظرفیت در یک یا چند ایستگاه فعال بوده و این بدین معنی است که ظرفیت ایستگاه‌های تولیدی دیگر جوابگوی مقدار موردنیاز برای تولید نبوده است. با کاهش بیشتر ظرفیت ایستگاه‌ها، افزایش در هزینه‌ها بخصوص هزینهٔ رویارویی با کمبود، با شدت بیشتری مشاهده می‌شود. در نهایت کمترین مقدار برای ظرفیت ایستگاه‌ها صفر است که در این حالت امکان تولید در ایستگاه‌ها دیگر وجود نداشته و هزینهٔ کمبود به بیشترین مقدار آن می‌رسد.



شکل ۷ نمودار تغییرات هزینه براساس ظرفیت در دسترس ایستگاه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله برای تعیین تعداد کانبان، دو مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه شد. در مدل اول که تعداد کانبان ثابت را در نظر می‌گیرد سعی شده شرایطی واقعی که در سیستم تولیدی وجود دارد در نظر گرفته شود. همچنین مدل برنامه‌ریزی خطی با استفاده از نرم‌افزار Industrial LINGO/PC – Release 3.0 برنامه‌نویسی شده و نمونه مثالهای تحلیل شده با استفاده از این نرم‌افزار آورده شده است. سیستم تولیدی JIT ممکن است با تغییرات پارامترهای مختلفی روبه‌رو شود که این تغییرات به کاهش کارایی مدل برنامه ریزی خطی در سیستم تولیدی منجر شود. برای مقابله با آثار منفی پارامترهای غیر قطعی، مدلی ارائه شده که قابلیت انعطاف و تغییر در تعداد کانبان ایستگاه‌ها را دارد. این مدلها در بخش دو ارائه شده است.

در بخش سوم تاثیر تغییرات پارامترهای ورودی سیستم تولید بر عملکرد مدلهای ارائه شده، بررسی شده است. همچنین در شرایط تغییر پارامترهای غیرقطعی، کارایی دو روش نسبت به یکدیگر مقایسه شده است.

براساس نتایج تحلیل مثالهای مستعدد، افزایش پراکندگی الگوی تقاضا و همچنین افزایش میانگین تقاضا، در هر دو روش موجب افزایش هزینه‌ها می‌شود، اما نسبت افزایش هزینهٔ کل در روش دوم کمتر از روش اول بوده و در واقع کارایی روش دوم در برابر این تغییرات بهتر است. همچنین افزایش زمان پردازش محصولات یا کاهش ظرفیت در دسترس ایستگاه‌ها موجب افزایش هزینه‌ها در هر دو روش می‌شود. در این حالت نیز روش دوم به‌دلیل داشتن قابلیت تغییر تعداد کانبان، کارایی بهتری دارد. همچنین افزایش "نسبت تغییرات تعداد کانبان" در روش دوم، به‌دلیل افزایش انعطاف‌پذیری تعداد کانبان در مقابل تغییرات سایر پارامترها، به‌طور قابل ملاحظه‌ای موجب دستیابی به نتایج بهتر می‌شود. به‌طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که در برابر تغییرات پارامترهای سیستم تولید، روش دوم نسبت به روش اول برتری دارد.

همچنین با توجه به مطالب بررسی شده در این مقاله، مطالب زیر به عنوان زمینه‌های مطرح برای کارهای آتی پیشنهاد می‌شود:

۱- ارائهٔ مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین تعداد کانبان در سیستم تولیدی N محصولی در ایستگاه نهایی.

۲- در نظر گرفتن هزینه‌های آماده‌سازی در تابع هدف مدلهای برنامه‌ریزی خطی ارائه شده.

۳- ارائهٔ مدل برنامه‌ریزی خطی در حالتی که گردش کانبان مطابق "سیستم مقدار برداشت ثابت، چرخهٔ برداشت غیرثابت" باشد.

٤- وارد کردن حداقل سطح سرویس‌دهی در محدودیتهای مدل به‌صورتی که تعداد سفارشات برگشت‌خورده تحت کنترل قرار گیرد.

بررسی سایر پارامترها مانند موجودی اولیه ایستگاه‌ها، ضرایب مصرف موجودی، هزینهٔ نگهداری و کمبود یک واحد موجودی و تاثیر آنها بر عملکرد مدلها.

۵- منابع

[1] Kimura, C.; Terada, K; "Design and Analysis of Pull System: a Method of Multi Stage Production Control"; *International Journal of Production Research*, Vol. 19, (1981); pp. 24.

[2] Bitran, G.; Chang, L.; "A Mathematical Programming Approach to a Deterministic Kanban System"; *Management Science*, Vol. 33, No. 4, (1987), pp. 427-441.

[3] Rees, I. P.; Philipoom, P. R.; Taylor III, B. W.; Huang P. Y.; "Dynamically Adjusting the Number of Kanbans in a JIT Production System Using Estimated Values of Lead Time"; *IIE Transactions*, Vol. 19, No. 2, (1987); pp.199-207.

[4] Wang, I.; Wang, T.; "Determining the

www.SID.ir

Archive of SID

Number of Kanbans: a Step Towards Non-Stock-Production"; *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 11, (1990); pp. 2101-2115.

[5] Philipoom, P.R.; Rees, L.P.; Taylor, B.W.; Huang, P.Y.; "A Mathematical Programming Approach for Determining Work-Center Lot-Sizes in a Just-In-Time System With Signal Kanbans"; *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 1, (1990); pp . 1-15.

[6] Li A.; CO, H. C.; "A Dynamic Programming Model for the Kanban Assignment Problem in a Multistage Multiperiod Production System"; *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 1, (1991); pp. 1-16.

[7] Price, W.L.; Gravel, M.; Nsakanda, A.L.; Cantin, F.; "A Mathematical Programming Model of a Kanban Job-Shop"; *International Journal of Production Research*, Vol. 26, No. 6, (1992); PP 1105-1118.

[8] Graham, I.; "Comparing Trigger and Kanban Control of Flow-Line Manufacture"; *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 10, (1992); pp. 2351-2362.

[9] Chang, T. M.; Yih, Y.; "Generic Kanban Systems for Dynamic Environments"; *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 4, (1994); pp. 889-902.

[10] Liberature G.; Nicosia S.; Valigi P.; "Dynamic Allocation of Kanbans in a Manufacturing System Using Perturbation Analysis"; *Departmento di Ingegneria Elettronica, Universita di Roma*, Tor Vegaia, via della Ricerca Scientifica 00133 Roma-Italy; (1995).

[11] Liberopoulos G.; Dallery Y.; "On the Optimization of a Single-Stage Generalized Kanban Control System in Manufacturing"; *Proceeding of the INRIA/IEEE Symposium on emerging technologies and factory Automation, Paris*, France, Oct, 10-13, (1995), 437-44.

[12] Ettl M.; Schwehn M.; "A Design Methodology for Kanban Controlled Production Lines Using Queuing Networks and Genetic Algorithms"; *IMMD VII, University of Erlangen-Nurberg*, Martensstr, 3, 91058 Erlangen, Germany (1996).

[13] Philipoom P.R.; Ress L. P.; Talor B. W.; "Simultaneously Dtermining the Number of Kanbans, Container Sizes, and the Final-Assembly Sequence of Products in a Just-in-Time Shop"; *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 1, (1996); pp .51-69.

[14] Moeeni F.; Sanchez S. M.; Vakharia J.; "A Robust Design Methodology for Kanban System Design"; *International Journal of Production Research*, Vol. 35, No. 10, (1997); pp .2821-2838.

[15] Takahashi K.; Nakamura N.; "Applying a Neural Network to the Adaptive Control for JIT Production Systems"; *Proceeding of the 1999 IEEE, International Conference on Control Applications;* Kohala Coast-Island of Hawaii, Hawaii ,USA, August 22-27; 1999.

[16] Tardif V.; Masseidvaag L.; "An Adaptive Approach to Controlling Kanban Systems"; George Group, One Galeria Tower, 13355 Noel Road, Suite 1100, Dallas, Texas, 75240, (Submitted to the *European Journal of Operational Research*) (1999).

www.SID.ir

Archive of SID

[17] Gupta S. M.; Al-Turki Y. A.Y.; Perry R. F.; "Flexible Kanban System"; *International Journal of Operations & Production Management;* Vol. 19, No. 10, (1999); pp. 1065-1093.

[18] Alabas C.; Altiparmak F.; Dengiz B.; "The Optimization of Kanbans with Genetic Algorithms, Simulated Annealing, and Tabu Search"; *Gazi University;* Department of Industrial Engineering, Celal Bayor Bulv, Maltepe 06570, Ankara, Turkey (2000).

[19] Markham I. S.; Mathieu R G.; Wray B. A.; "Kanban Setting Through Artificial Intelligence: a Comparative Study of Artificial Neural Networks and Decision Trees"; *Integrated Manufacturing Systems*, MCB University Press [ISSN 0967-6061] 11/4 (2000), 239-246.

[20] Monden Y.; *Toyota Production System, An Integrated* Approach *to Just-in-Time*; Second Edition; Industrial Engineering and Management Press; Institute of Industrial Engineers; Norcross, Georgia, (1993).

www.SID.ir