



A New Model of Card Controlling System by the Combination of Production Control Policies

M. T. Taghavifard*, S. M. Seyedhosseini & H. Partovian

* M. T. Taghavifard, Assistant Professor, Faculty of Management, Allameh Tabatabai University, Tehran
S. M. Seyedhosseini, Professor of Iran University of Science and Technology
H. Partovian, MS in Industrial Engineering, SAPCO

Keywords

Kanban,
CONWIP,
Base Stock,
Generalized Kanban,
Data Envelopment Analysis

ABSTRACT

One of the main efforts in a pull system to meet the final goal of Just-In-Time (JIT) is to decrease Work-In-Process (WIP) without reducing throughput rate and service level. This paper proposes a new hybrid control policy using Kanban, Base Stock and CONWIP to form the final construction of production plan, and then the function of new model is shown by a 3 stage case study with probabilistic parameters. The results obtained using simulation and solving various problems indicate that the inventory level is reduced to an acceptable range. Also, Data Envelopment Analysis (DEA) is implemented for the evaluation and verification of the proposed policy with functional indicatives.

© 2012 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 22, No. 4, All Rights Reserved

*
Corresponding author. M. T. Taghavifard
Email: dr.taghavifard@gmail.com



مدل جدید کنترل کارت از طریق ترکیب سیاستهای کنترل تولید

محمد تقی تقی فرد*، سید محمد سیدحسینی و حسین پرتویان

چکیده:

یکی از تلاشها و دغدغه‌ها در سیاستهای تولید کششی به منظور دستیابی به هدف غایی تولید به هنگام، کاوش میزان سطح موجودی در حالی است که میزان نرخ خروجی و سطح خدمت کاوش نیاید. این مقاله، به ارائه یک مدل ترکیبی جدید می‌پردازد که در شکل گیری آن از سیاستهای کنترلی کانبان، ذخیره پایه و کانویپ بهره برده شده است، سپس نحوه کارکرد مدل با ارائه یک مثال سه مرحله‌ای با پارامترهای احتمالی نشان داده شده است. نتایج بدست آمده با استفاده از شبیه‌سازی مدل و حل مسائل مختلف، حاکی از آن است که سطح موجودی مدل پیشنهادی به میزان قابل قبولی کاوش یافته است. همچنین جهت نشان دادن برتری مدل از تحلیل پوششی داده‌ها با ارائه یک سری از شاخص‌های عملکردی بهره گرفته شد.

کلمات کلیدی

کانبان، کانویپ،
ذخیره پایه،
کانبان تعمیم یافته
آنالیز پوششی داده‌ها

یک مکانیزم کششی، به روش‌های مختلفی می‌تواند اجرا شود. بهترین روش شناخته شده سیاست کانبان می‌باشد که اولین بار در کارخانه تویوتا اجرا گردید [۲۷]. سیستم کنترل دیگری نیز که از تکنیکهای کنترل موجودی ناشی شده است، سیاست ذخیره پایه^۱ نامیده می‌شود. سیستم ذخیره پایه در ابتدا برای سیستم‌های موجودی تولید با ظرفیت تولید نامحدود پیشنهاد شده بود که از ذخیره اطمینان برای موجودی کالای ساخته شده و بافر اطمینان برای هماهنگی بین دو مرحله استفاده می‌کند. کانویپ^۲ سیستم کنترل موجودی دیگری می‌باشد که از یک نوع کارت جهت کنترل کل مقادیر کار در جریان^۳ مجاز در کل خط تولید استفاده می‌کند. در این بین سیاستهایی که به صورت ترکیبی می‌باشند مانند سیاست ترکیبی کانبان و کانویپ ارائه شده است. یک سیستم کنترل هیبرید با نام سیستم کنترل کانبان تعمیم یافته^۴ معروف شده است که سیستم‌های ذخیره پایه و کانبان را در حالت خاص شامل می‌شود؛ اما از هر کدام آنها پیچیده‌تر می‌باشد. یک مکانیزم کنترلی ترکیبی دیگر از نوع کششی با نام سیستم کنترل کانبان توسعه یافته^۵ وجود دارد که ترکیبی از

۱. مقدمه

تولید ناب به مفهوم تولید بیشتر با صرف منابع کمتر (زمان، فضا، فعالیتهای انسانی، ماشین آلات و مواد کمتر) در شرایطی است که به مشتریان آنچه را که می‌خواهند، عرضه کند. یکی از اهداف اجرای تولید ناب در سازمانها، تولید به هنگام^۶ می‌باشد. تولید به هنگام به معنای تولید محصول مورد نیاز در زمان مناسب و به تعداد مناسب است. یکی از ابزارهای اساسی در پیاده سازی تولید به هنگام استفاده از سیستم کششی می‌باشد که این سیستم، از چندین سیاست کنترل تولید متنوع تشکیل شده است. کنترل تولید به این مسئله اشاره می‌کند که در چه زمانی و به چه مقدار قطعات را در هر مرحله تولید نماییم، بطوریکه ضمن کمینه ساختن موجودی در جریان ساخت، سطح خدمت مشخصی را برای مشتری کسب نماییم. مشکلات در این نوع کنترل، زمانی افزایش می‌یابد که تولید و تقاضا با تغییرات مواجه شوند [۱].

تاریخ وصول: ۸۹/۳/۲۲

تاریخ تصویب: ۸۹/۸/۵

*نویسنده مسئول مقاله: دکتر محمد تقی تقی فرد، استادیار، دانشکده مدیریت دانشگاه علامه طباطبائی، dr.taghavifard@gmail.com

دکتر سید محمد سیدحسینی، استاد، دانشگاه علم و صنعت ایران، Seyedhosseini@iust.ac.ir

حسین پرتویان، کارشناس ارشد مهندسی صنایع، شرکت ساپکو hpartovian@gmail.com

1. Just In Time (JIT)

3. Base Stock (BS)

4. CONWIP (Constant Work In Process)

5. WIP (Work In Process)

6. Generalized Kanban (GK)

7. Extended Kanban (EK)

صف D شامل تقاضا و صف C شامل کارتهای سیگنال کانویپ است. P_1 - P_3 ایستگاه های فرایندی می باشد.

هنگامی که سیستم در حالت اولیه خود قرار دارد، یعنی زمان قبل از رسیدن هر تقاضا به سیستم، بافر ۱ و بافر ۲ هیچ قطعه ای را شامل نمی شود. تنها بافر ۳، شامل C قطعه ساخته شده می باشد که به هر کدام از قطعات یک کارت کانویپ متصل است. همچنین بافر ۰ انبار مواد اولیه است که بصورت نامحدود از لحاظ موجودی فرض شده است.

سیاست کانویپ به این صورت عمل می نماید که هر زمان یک مشتری به سیستم می رسد، آزاد سازی یک قطعه تکمیل شده را از بافر ۳ درخواست می نماید، در این هنگام دو حالت وجود دارد. در صورتیکه یک قطعه در بافر ۳ در در دسترس باشد (که در آغاز به همین صورت است)، بلاخلاصه برای مشتری ارسال می شود و کارت کانویپ از آن قطعه جدا شده و به صف C منتقل می شود. در غیر این صورت تقاضا پس افت می کند و در صف D منتظر می ماند تا اینکه یک قطعه جدید در مرحله نهایی تکمیل شود.

۲-۲. کانبان

مکانیزم کنترل کانبان تنها به یک پارامتر در هر مرحله وابسته است که این پارامتر بر انتقال قطعات ساخته شده به مراحل بعد و انتقال تقاضا به مراحل قبل تاثیر می گذارد. ایراد این سیستم تاخیر در انتقال اطلاعات تقاضا به مراحل اولیه تولید می باشد و با سرعت کافی به تغییرات تقاضا پاسخ نمی دهد. مزیت این مکانیزم آنست که تعداد قطعات در هر مرحله توسط تعداد کانبانهای همان مرحله محدود می شود.

شکل ۲ شبکه صف یک سیاست کنترل کانبان تک کارته شامل سه مرحله متوالی را نشان می دهد.

صف بافرهای خروجی مرحله ۱ است که شامل قطعات ساخته شده و کانبان های مرحله ۱ است. صف K_1 شامل کانبانهای مرحله ۱ است. هنگامی که سیستم در حالت آغازین قرار دارد بافر ۱ شامل K_1 قطعه تکمیل شده مرحله ۱ است. که هر قطعه یک کانبان مرحله ۱ را به همراه دارد. تمامی صف های دیگر خالی می باشند. حرکت کانبانها توسط خطوط نشان داده است که همانند حرکت در روش کانویپ می باشد و بدین روش تقاضای مشتری توسط سیگنال کانبان به مراحل قبل می رسد. مجوز شروع ساخت برای هر مرحله وجود کارت کانبان برای آن مرحله می باشد.

۲-۳. ذخیره پایه

سیستم کنترل موجودی پایه یک مکانیزم کنترلی کشنی ساده برای هماهنگ نمودن سیستم تولید چند مرحله ای می باشد. این مکانیزم تلاش می نماید تا مقدار مشخصی از قطعات ساخته شده،

سیستم های کانبان و ذخیره پایه است ولی با سیاست کانبان تعیین یافته دارای تفاوت های بسیاری است.

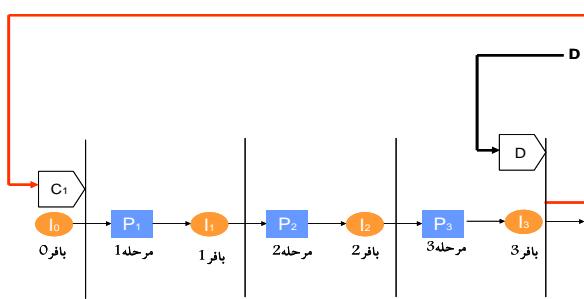
هدف اصلی در این مقاله ارائه یک سیاست کنترلی ترکیبی جدید می باشد که از طریق شبیه سازی و آنالیز پوششی داده ها مورد ارزیابی قرار می گیرد. در ادامه شاخصهای عملکردی به منظور مقایسه این سیاست کنترلی جدید با سایر سیاستهای کنترلی تعیین گردیده و برای شبیه سازی از یک مثال سه مرحله ای با مفروضات مشخص استفاده شده است. به منظور مقایسه صحیح سیاستهای کنترلی، به بهینه سازی هر یک از مدلها با استفاده از شبیه سازی پرداخته شده است، یعنی در هر یک از مدلها کارتها یا پارامترهای کنترلی به میزانی تعیین شده اند تا سیستم به بیشترین سطح خدمت خود برسد. در انتها به منظور انتخاب بهترین سیستم کنترلی تولید علاوه بر مقایسه تک تک مدلها بر اساس مهمترین شاخصها از مدل تحلیل پوششی داده ها جهت رتبه بندی سیاستها استفاده شده است. بدین منظور متغیرهای ورودی و خروجی را جهت آنالیز رتبه بندی تعیین نموده، که داده های این متغیرها، از جوابهای شبیه سازی دوازده سیاست کنترلی تولید بهینه، بدست آمده است.

در انتها نتایج مقایسات نشان می دهد سیاست کنترلی جدید می تواند با توجه به شاخصهای ارائه شده عملکرد بهتری نسبت به دیگر سیاست های کنترلی کسب نماید.

۲. مرور ادبیات

۱-۱. کانویپ

در این سیستم از یک نوع کارت کنترل کل مقادیر کار در جریان مجاز در کل خط استفاده می کند. مکانیزم کنترل کانویپ حد بالایی برای کار در جریان کل سیستم مشخص می نماید. هنگامی که سیستم به یک چنین سطحی می رسد، تولید قطعات قطع می شود، تا زمانیکه قطعه تکمیل شده و سیستم را ترک نماید. شکل ۱ مدل شبکه صف یک سیاست کنترل کانویپ تک محصوله را که شامل سه مرحله متوالی است، نشان می دهد. حتی اگر چه در اینجا سه مرحله ترسیم شده است، کنترل تولید کانویپ تنها در ورود به سیستم تولید اجرا می شود و بافر میانی هیچ نقش کنترلی ایجاد نمی نماید.



شکل ۱. مدل سه مرحله ای کانویپ

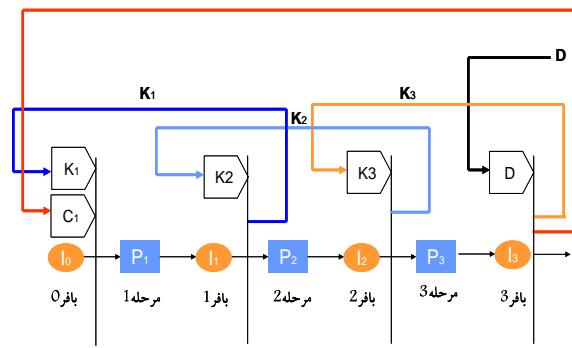
اینکه دیگر قطعه‌ای برای تولید نداشته باشد. مراحل قبل از آن همچنان به دریافت تقاضاً بطور مستقیم به تولید و ارسال قطعات ادامه می‌دهند. بنابراین در جلوی ماشین متوقف شده، مقدار چشمگیری کالای نیمه ساخته انبار خواهد داشت.

۲-۴. کابنан-کانویپ

در برخی موارد کالای نیمه ساخته موجود در ذخیره پایه و کانویپ اضافی می‌باشد و موجودی ایجاد شده در یک مرحله گلوگاه برای مدتی طولانی در سیستم باقی می‌ماند. بنابراین سیستم مورد نظر هیبرید کابنان و کانویپ اطلاعات تقاضاً را مستقیماً از بافر قطعه تکمیل شده از طریق مکانیزم کانویپ به مرحله اول منتقل می‌شود.

همچنین همانند مکانیزم کابنان برای هر مرحله محدودیت موجودی وجود دارد.

شکل ۴ مدل شبکه صف یک سیاست کنترل کابنان-کانویپ تک محصوله شامل سه مرحله متوالی را نشان می‌دهد. صف K_i شامل کابنان‌های مرحله ۱ و صف C شامل کارت‌های کانویپ است.



شکل ۴. مدل سه مرحله ای کابنان-کانویپ

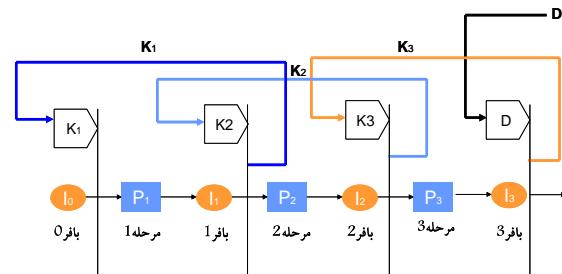
هنگامی که سیستم در حالت آغازین خود می‌باشد، صف بافر ۳ شامل K_3 قطعه تکمیل شده مرحله ۳ می‌باشد که هر قطعه یک کابنان مرحله ۳ و یک کارت کانویپ به همراه دارد. صف بافر مرحله دوم شامل K_2 قطعه تکمیل شده مرحله ۲ می‌باشد. صف های دیگر خالی می‌باشند. فرض می‌شود که مجموع کل کابنان ها حداقل به اندازه تعداد کانویپ‌ها می‌باشد. شرط شروع فرایند ۱ وجود کارت‌های K_1 و C_1 می‌باشد.

۵. کابنان توسعه یافته

این سیاست ترکیبی از سیستم‌های کابنان و ذخیره پایه است. مکانیزم کابنان توسعه یافته نیز به دو پارامتر کابننهای مرحله ۱ و سطح ذخیره پایه بستگی دارد.

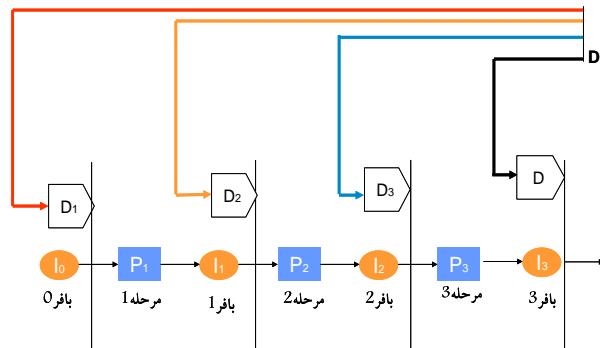
شکل ۵ مدل شبکه صف یک سیاست کنترل کابنان توسعه یافته‌تک محصوله شامل سه مرحله متوالی را نشان می‌دهد. صف

در هر بافر خروجی موجود باشد. این مقدار، سطح ذخیره پایه هر مرحله S_i نامیده می‌شود.



شکل ۲. مدل سه مرحله ای کابنان

شکل ۳ مدل شبکه صف یک سیاست کنترل ذخیره پایه تک محصوله شامل سه مرحله متوالی را نشان می‌دهد. صف D_i حاوی تقاضاً می‌باشد. در مکانیزم ذخیره پایه، هیچگونه هماهنگی بین ایستگاههای متوالی وجود ندارد، بعنوان نمونه یک قطعه جهت منتقل شدن به مرحله بعدی توسط سیگنال تقاضای کل برانگیخته می‌شود.



شکل ۳. مدل سه مرحله ای ذخیره پایه

هنگامی که این سیستم در حالت آغازین قرار دارد، که قبل از رسیدن هر تقاضایی به سیستم می‌باشد، بافرها شامل سطح ذخیره پایه به اندازه S_i از قطعات ساخته شده می‌باشند. سیاست ذخیره پایه به این صورت عمل می‌نماید، هر زمانی که تقاضای یک مشتری به سیستم وارد می‌شود، این تقاضاً به صف $N+1$ تقاضاً تقسیم می‌شود و هر کدام بلافصله به صف D_i مربوطه می‌پیوندد و آخرین آنها به صف D کل می‌پیوندد که ارسال قطعه تکمیل شده نهایی را از بافر ۳ به مشتری درخواست می‌کند.

مکانیزم ذخیره پایه یک مکانیزم کنترل ساده می‌باشد که تنها به یک پارامتر بستگی دارد.

ایراد این سیستم سطح کار در جریان نامحدود در هر مرحله می‌باشد و هنگامی که یک مرحله متوقف می‌شود، فرایند ورود تقاضاً ادامه می‌یابد تا تمامی قطعات از بافر خروجی حذف شوند. ماشینهای موجود در مراحل بعد از آن بطور عادی تولید نموده تا

در مکانیزم کنترل کابنан تعمیم یافته هر مرحله i شامل K_i کابنан جهت مجاز ساختن تولید در مرحله i می باشد. در آغاز، تمامی کابنان های K_i در مرحله i در صفحه D_i ذخیره شده اند و بافر i شامل S_i قطعه تکمیل شده می باشد.

تقاضای تولید برای مرحله i در دو صفحه ذخیره می شود: صفحه D_i که تنها شامل تقاضا می باشد، صفحه L_i که شامل کابنان های مرحله i است بطوریکه توسط اطلاعات تقاضای مرحله بعد مجاز به ارسال می باشند.

بر خلاف مکانیزم کابنان توسعه یافته در اینجا با ورود تقاضای مشتری، به جای اینکه به $N+1$ سیگنال تقسیم شود به دو سیگنال تقاضا تقسیم شده که تقاضای اول به صفحه D می پیوندد که ارسال قطعه تکمیل شده از بافر 3 به مشتری را درخواست می نماید و تقاضای دوم به صفحه D_3 می پیوندد که تولید مرحله 3 را درخواست می نماید. قطعه پس از ساخت کارت کابنان از آن جدا شده و در صورت وجود K_i و D_i یک تقاضا به L_i منتقل شده که مجوز ساخت برای مرحله بعد خواهد شد و یک تقاضای D_{i-1} به مرحله قبل منتقل می شود. شرط شروع فرایند 1 وجود کارت های L_1 می باشد.

۳. پیشینه تحقیق

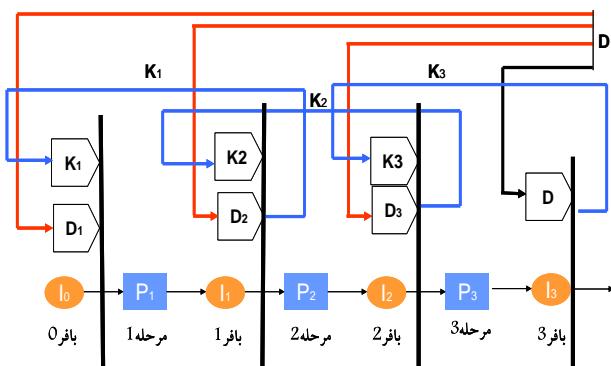
۱-۳. سیاستهای کنترل تولید

از دهه ۱۹۸۰ به بعد رویکرد تولید به موقع در زبان سیستمهای تولید کششی مختلفی را موجب شده که بر اهمیت کنترل تولید در پاسخگویی به تقاضای واقعی تأکید داشته است [۲۱]. سیستم های فشاری، نحوه زمانبندی خط تولید توسط مواد خام را بیان می کنند، در حالیکه سیستم های کششی تعیین می کنند که آیا جهت پاسخگویی به تقاضای واقعی مشتری قطعه ای تولید شود یا خیر. سیستم های فشاری نرخ توان عملیاتی را هدف قرار داده و کنترل می کنند و کار در جریان را اندازه گیری می نمایند. در حالیکه سیستم های کششی، کار در جریان را هدف قرار داده و کنترل می نمایند و نرخ توان عملیاتی را اندازه گیری می نمایند. جهت آگاهی از مزایای سیستم های کششی نسبت به سیستمهای فشاری به پژوهش های اسپیرمن و همکاران (۱۹۹۰)، اسپیرمن و زازانیس (۱۹۹۳)، هوپ و اسپیرمن (۱۹۹۶) مراجعه نمایید.

یک مکانیزم کششی به روش های مختلفی می تواند اجرا شود. بهترین روش شناخته شده سیاست کابنان می باشد [۴، ۳۲، ۲۷، ۲۸، ۲۷]. مکانیزم کنترل کابنان در ابتدا در خطوط تولید تویوتا و در اواسط دهه ۷۰ میلادی به کار گرفته شد که اغلب همراه با رویکرد تولید به موقع مورد توجه قرار گرفت [۱۸، ۴۰].

در سیستم کنترل کابنان، کارت های کنترل کننده تولید که کابنان نامیده می شوند، جهت کنترل و محدود نمودن رها سازی قطعات به هر مرحله تولید، مورد استفاده قرار می گیرند.

بافر خروجی مرحله i شامل جفت قطعه تکمیل شده مرحله i و کابنان مرحله i می باشد. صفحه D_i شامل تقاضای تولید یک قطعه جدید در مرحله i می باشد.



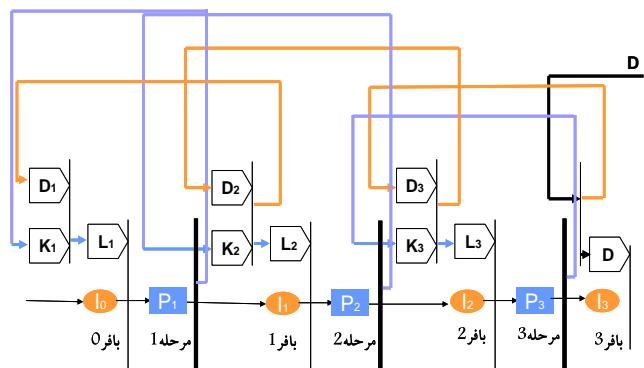
شکل ۵. مدل ۳ مرحله ای کابنان توسعه یافته

مکانیزم کابنان توسعه یافته به این صورت عمل می کند که هنگامی که یک تقاضای مشتری به سیستم وارد می شود بلاfaciale به $N+1$ تقاضا تقسیم می شود. مجوز شروع به ساخت هر قطعه i وجود هم کارت K_i و D_i می باشد. در مکانیزم EK نقش کابنها تنها مجاز ساختن انتقال قطعات تکمیل شده به مراحل بعد است و نه مجاز ساختن تقاضا ها به مراحل قبل بمانند مکانیزم کابن. شرط شروع فرایند 1 وجود کارت های K_1 و D_1 می باشد.

۲-۶. کابنان تعمیم یافته

مکانیزم کابنان تعمیم یافته همانند کابنان توسعه یافته نیز به دو پارامتر کابنهاهای مرحله i و سطح ذخیره پایه بستگی دارد. تفاوت این روش با مکانیزم توسعه یافته به این می باشد که قطعه پس از تکمیل، کارت از آن جدا می شود و کارتها علاوه بر نقش مجاز ساختن قطعات به مراحل بعد در انتقال تقاضا به مراحل قبل نیز تاثیر دارند.

شکل ۶ مدل شبکه صفحه یک سیاست کنترل کابنان تعمیم یافته تک محصوله شامل سه مرحله متوالی را نشان می دهد.



شکل ۶. مدل ۳ مرحله ای کابنان تعمیم یافته

ثابت به اندازه‌ای تعیین می‌شود که سیستم به حالت بهینه بررسد، اما در سیاست دوم با توجه به متغیر بودن پارامترهای مساله مثل تقاضا، از یک سیاست پویا و متغیر برای تعیین کارت استفاده می‌شود. این بدان معناست که در هر لحظه ممکن است سیستم برای اینکه خود را به حالت بهینه نزدیک کند تعداد کارتهای را تغییر دهد.

ماندن (۱۹۸۳) و اسپیرمن (۱۹۹۰) و فرامینان (۲۰۰۳) به ترتیب برای مدل‌های کانویپ و کابناین به بررسی سیاست تعیین کارت پرداختند. اما ریز (۱۹۸۷)، گوپتا و الترکی (۱۹۹۷)، تاکاشی و ناکامورا (۱۹۹۹)، تاردیف و ماسیداگ (۲۰۰۱) و فرامینان (۲۰۰۵) از روش‌های کنترل کارت در روش‌های خود استفاده کردند.

هوپ و روف (۱۹۹۸) برای سیاست کنترلی کارت در مدل کانویپ از نمودارهای کنترل کیفیت استفاده نمودند به نحوی که اگر زمانی میزان پارامترهای مساله از یک حدودی تجاوز کرد، تعداد کارت نیز تغییرنماید.

همچنین فرامینان و گنزال (۲۰۰۵) به ارائه الگوریتمی در سیاست کنترلی کانویپ برای کنترل پویای کارت پرداختند، که در این سیستم تقاضا به صورت قطعی نبوده، و الگوریتم ارائه شده در مقابل تغییرات آن منعطف خواهد بود.

سیستم کنترل دیگری نیز که از تکنیک‌های کنترل موجودی ناشی شده است، سیاست ذخیره پایه نامیده می‌شود [۸، ۱۶]. سیستم ذخیره پایه در ابتدا برای سیستمهای موجودی تولید با ظرفیت تولید نامحدود پیشنهاد شده بود که از ذخیره اطمینان برای موجودی کالای ساخته شده و بافر اطمینان برای هماهنگی بین دو مرحله استفاده می‌کند.

در سیستم ذخیره پایه هر مرحله یک مقدار موجودی هدف برای قطعات ساخته شده دارد که ذخیره پایه نامیده می‌شود. هنگامی که یک تقاضا برای قطعه تکمیل شده به سیستم می‌رسد، بلافضله جهت رهاسازی یک قطعه جدید یک کارت به هر مرحله می‌رود.

یک مزیت این مکانیزم نسبت به رویکرد کابناین آنست که از بلوکه شدن انتقال سریع اطلاعات تقاضا به تمامی مراحل تولید جلوگیری به عمل می‌آورد. عیب این روش است که هیچ حدی برای تعداد قطعات در سیستم در نظر نمی‌گیرد [۲۲-۲۳].

از آنجاییکه مکانیزم ذخیره پایه به تقاضای سریعتر پاسخ می‌دهد و مکانیزم کابناین هماهنگی بهتر و حدود مشخصی برای کار در جریان کسب می‌نماید، ترکیب نمودن مزایای هر دو سیستم ممکن است مزایای بالقوه ای به همراه داشته باشد. بوزکات (۱۹۸۹) یک سیستم کنترل هیبرید با نام سیستم کنترل کابناین تعیین یافته معرفی نموده است که سیستم‌های ذخیره پایه و کابناین را نیز در حالت خاص شده است. اما از هر کدام از آنها

فیلیپوم و همکارانش (۱۹۸۷) از یک روش شبیه سازی جهت تعیین زمان تحويل در ایستگاه‌های کاری استفاده نمودند و به موجب آن جهت جلوگیری از پس افت تقاضا در محیط پویای تولید، تعداد کابناین‌های مورد نیاز در هر ایستگاه را تعیین نمودند. آنها همچنین عوامل مؤثر بر تعداد کابناین‌های مورد نیاز جهت اجرای تکنیک‌های تولید تولید به هنگام را نیز توصیف نمودند [۳۰]. این عوامل عبارتند از: سرعت تولید عملیاتی، تغییرات در فرایند، در دسترس بودن ماشین و خود همبستگی زمان‌های فرایند‌ها.

محققان بسیاری جهت تعیین تعداد کابناین‌های مورد نیاز در سیستم‌های تولید احتمالی از تئوری صفت نموده اند. دلیر سیندر و همکارانش (۱۹۸۹) با ایجاد یک مدل زنجیره مارکوف زمان گسسته برای سیستم کابناین تک کارتی، تحت شرایط احتمالی بودن تقاضا و توقفات ماشین، تعداد کابناین‌های مناسب برای یک سیستم تولید را تعیین نمودند [۱۱].

به منظور تنظیم مقدار اضافه کاریها با تعداد کارتهای کابناین، تادریف و مسیدواگ (۱۹۹۹) یک مکانیزم کنترل تطبیقی برای سیستم کنترلی کابناین ارائه کردند.

این مکانیزم، کارتهای اضافی در سیستم را آزاد و یا جذب می‌کند که این عمل مطابق با موجودی محصول نهائی و سطح سفارشات عقب افتاده صورت می‌پذیرد. آنها نشان دادند در این مکانیزم برای سیستمی که نرخ ورود از توزیع پواسون و نرخ خدمت از توزیع نمائی تعییت می‌کند، مدل در مقایسه با کابناین واقعی بهتر عمل می‌کند [۳۸].

همچنین، در سال ۲۰۰۳ تاکاشی مکانیزم کنترلی واکنشی برای سیاست کابناین ارائه نمود. در این سیستم تعداد کارت طبق تغییرات کشف شده در تقاضای سیستم تنظیم می‌شود. در این مدل از اطلاعات سریهای زمانی سطح موجودی محصولات نهائی استفاده می‌شود [۳۵].

سیستم کنترل موجودی کانویپ که توسط اسپیرمن و همکارانش پیشنهاد شده است. از یک نوع کارت جهت کنترل کل مقادیر کار در جریان مجاز در کل خط استفاده می‌کند. این سیستم می‌تواند بصورت یک سیستم کابناین تک مرحله ای نیز مشاهده شود. سیستم کنترل کانویپ می‌تواند بصورت یک سیستم کششی در انتهای خط و یک سیستم فشاری از ابتدا تا انتهای خط نیز در نظر گرفته شود. بخش فشاری سیستم می‌تواند از مشکلات ناشی از سیستمهای فشاری سنتی آسیب بینند [۳۴].

یکی از اساسی ترین مسائل در نیل به حالت بهینه در سیاستهای کنترلی تعیین تعداد کارت بر دو اساس می‌باشد: سیاست تعیین کارت^۱ و سیاست کنترل کارت^۲. در سیاست تعداد کارت به صورت

1. Card Setting

2. Card Controlling

گرافتی (۲۰۰۵) در مقاله خود به مرور سیاستهای کششی و فشاری و همچنین مقایسه یک سیاست ترکیبی کششی/فشاری با سایر سیاستهای کششی مانند کابنан، کانویپ، ذخیره پایه، کابنан تعییم یافته و توسعه یافته بر اساس پارامترهای سطح خدمت و سطح موجودی می‌پردازد.

تاكاهاشی (۲۰۰۵) به مقایسه سه سیاست کنترلی کانویپ، کانویپ همزمان^۲ و کابنان در حیطه زنجیره تامین^۳ می‌پردازد. بونلرتوانیچ (۲۰۰۵) به ارائه مدل جدید کابنان-کانویپ توسعه یافته و مقایسه آن با سایر سیاستها از طریق تئوری صفتی می‌پردازد.

با توجه به مرور ادبیات و پیشینه تحقیق کمبود متون فارسی در ارتباط با سیاستهای کششی و فقدان تحقیقات جامع، کامل و مقایسه سیاستهای کنترل تولید، این مقاله به ارائه مدل‌های ترکیبی جدید و مقایسه آنها با هم بر اساس دیگر شاخصهای عملکردی می‌پردازد.

۴. مدل پیشنهادی

در این مقاله، یک سیاست هیبرید جدیدی طراحی و ارائه شده که دو پارامتر در هر مرحله، شامل تعداد کابناتها و سطح ذخیره پایه و یک پارامتر دیگر که مقدار کانویپ می‌باشد را در نظر می‌گیرد. در این سیستم علاوه بر جدا سازی دو نقش فوق و انتقال کانویپ به تمامی مراحل، به دلیل وجود پارامتر تقاضا، مزایای ذیل نیز به سیستم اضافه می‌شود. نخست آنکه سیاست کانویپ، مکانیزم کنترل قوی تری نسبت به سیاست کابنان برایکار در جریان اعمال می‌نماید. تأثیر اصلی این ویژگی در زمان توقفات ماشین می‌باشد. در صورت توقف یک ماشین، قطعات مراحل بعد از آن توسط تقاضاهای بعدی حذف خواهد شد. این تقاضاهای موجب ارسال قطعات جدید به سیستم نیز خواهند شد. در صورت عدم وجود سیاست کانویپ، ادامه یافتن تولید توسط ماشین‌های مراحل قبل موجب تجمع موجودی در سیستم قبل از رسیدن حد کابناتها می‌شود که نتیجتاً کار در جریان اضافی بوجود می‌آید. از سوی دیگر در مکانیزم کانویپ، کل قطعات جلوی یک ماشین متوقف شده توسط مقدار کانویپ که کمتر از مجموع کل کابننهاست، محدود می‌شود. با توجه به مزایای سیستم ارائه شده در این مقاله مدل پیشنهادی در واقع ترکیبی از سه مدل کابنان عمومی، ذخیره پایه و کانویپ است.

۴-۱. مدل پیشنهادی

در مدل پیشنهادی با ورود تقاضای مشتری تقاضای کل به مراحله اول انتقال می‌یابد و یک تقاضای کل بر روی بافر سوم قرار می-

پیچیده تر می‌باشد. پیچیدگی آن به این سبب می‌باشد که بطور غیر مستقیم اطلاعات تقاضا در مراحل قبل پخش می‌شود بجای آنکه فقط در مرحله نهایی قرار گیرد. سیستم کنترل کابنان تعییم یافته به دو پارامتر در هر مرحله بستگی دارد، (۱) مقدار ذخیره پایه قطعات ساخته شده، (۲) تعداد کابنان‌ها.

دالری و لیبروپولوس (۲۰۰۰) یک مکانیزم کنترلی از نوع کششی با نام سیستم کنترل توسعه یافته کابنان معرفی نموده اند که ترکیبی از سیستم‌های کابنان و ذخیره پایه است. این مکانیزم نسبت به سیستم کنترل کابنان تعییم یافته از پیچیدگی کمتری برخوردار می‌باشد. زیرا اطلاعات تقاضا بطور مستقیم به هر مرحله منتقل می‌شود. علاوه بر این برخلاف سیستم کنترل کابنان تعییم یافته بدليل وجود تقاضای کلی، عملکردهای کابنان بطور کامل از هم جدا می‌شوند. بنابراین از لحاظ اجرایی نیز ساده‌تر می‌باشد. همچنین سیستم کنترل کابنان توسعه یافته نیز هر کدام از سیستم‌های کابنان و ذخیره پایه را نیز در حالت خاص شامل می‌شود [۹، ۱۵].

سیستم کنترل هیبرید دیگر، سیاست کابنان-کانویپ می‌باشد که توسط بونویک (۱۹۹۷) پیشنهاد شده است. این سیستم، کنترل کار در جریان در هر مرحله را بوسیله مکانیزم کابنان و کنترل کل موجودی را توسط کانویپ با یکدیگر ترکیب و کنترل می‌نماید. ثابت شده است که این سیستم هیبرید می‌تواند عملکرد بهتری نسبت به سیستمهای کابنان، ذخیره پایه، و یا کانویپ به تنها بی داشته باشد.

۳-۲. مقایسه سیاستهای کنترل تولید

مقالات متعددی به مقایسه سیاستهای کنترل تولید می‌پردازند که ذیلاً به برخی از آنها اشاره می‌شود: اسپیرمن (۱۹۹۲)، موکستات (۱۹۹۵) و گرتتنر (۱۹۹۶) که به مقایسه سیاستهای کابنان و کانویپ پرداخته‌اند.

بونویک (۱۹۹۷) با استفاده از شبیه سازی به مقایسه پارامترهای از جمله سطح خدمت، میزان موجودی کار در جریان و ... در سیاستهای کنترلی کابنان، کانویپ، ذخیره پایه، انسداد کمینه^۱ و سیاست ترکیبی کابنان-کانویپ می‌پردازد.

دوری و فرین (۲۰۰۰) به مقایسه کمی و کیفی و حتی هزینه‌ای سه سیاست ذخیره پایه، کابنان و کابنان تعییم یافته می‌پردازد. کاراسمن (۲۰۰۰) به مقایسه عملکرد سیاستهای کنترلی کششی از جمله کابنان، ذخیره پایه، کابنان تعییم یافته، کابنان توسعه یافته در حالت چند مرحله‌ای می‌پردازد. گرافتی (۲۰۰۴) در مقاله خود به مقایسه یک سیاست ترکیبی کششی/فشاری با سیاست کانویپ می‌پردازد.

2 . Synchronized CONWIP

3 . Supply Chain

1 . Minimal Blocking

Visual نرم افزار مذکور، مدلساز رویدادها و تغییرات بالقوه سیستم در زمان یک رویداد را مدلسازی می‌کند. ارتباطات منطقی- ریاضی معرفی کننده تغییرات مربوط به هر نوع رویداد به وسیله مدلساز با روئین های Visual Basic و Visual C کدبندی می‌شود. یک مجموعه از زیر برنامه های استاندارد به وسیله Visual SLAM به منظور ایجاد رویدادهای گستته رایج تهیه شده که مثالهایی از آن عبارتند از زمانبندی رویداد، ایجاد فایل، جمع آوری نتایج آماری و تولید اعداد تصافی [۳].

۴-۳-۱. آنالیز پوششی داده ها^۲

۴-۳-۱-۱. کلیات

این روش که عمدتاً بعنوان یک روش اندازه گیری کارایی شناخته شده است، در حین اندازه گیری کارایی نوع بازده نسبت به مقیاس^۳ را نیز ارایه می‌نماید. با پیشرفت و تکامل روش فوق در حال حاضر تحلیل پوششی داده ها یکی از حوزه های فعال تحقیقاتی در اندازه گیری کارایی^۴ بوده و بطور چشمگیری مورد استقبال قرار گرفته است.

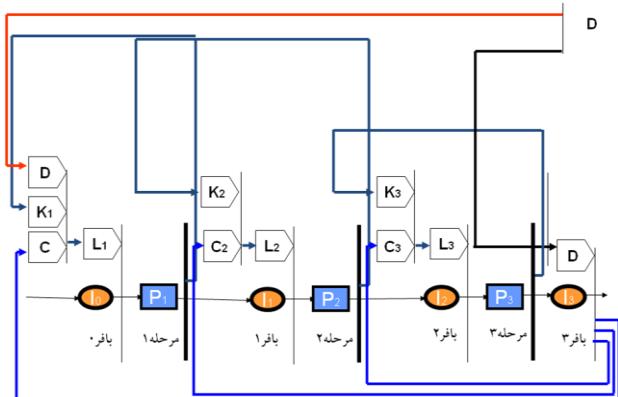
این روش مبتنی بر یک سری بهینه سازی با استفاده از برنامه ریزی خطی بر اساس روش ناپارامتریک می‌باشد. در این روش منحنی مرزهای کارا از یک سری نقاط، که بوسیله برنامه ریزی خطی تعیین می‌شود ایجاد می‌گردد. روش برنامه ریزی خطی بعد از اجرای بهینه سازی مشخص می‌کند که آیا واحد تصمیم گیری مورد نظر روی مرز کارایی^۵ قرار گرفته است و یا خارج از آن قرار دارد. بدین وسیله واحدهای کارا و ناکارا از یکدیگر تفکیک می‌شوند. گفتنی است در این روش می‌توان تابع هدف (خروجی) را با توجه به ورودیهای مشخصی حداقل نمود یا اینکه با استفاده از دوگان آن با توجه به خروجیهای معین ورودیها را حداقل نمود (ورودیها منابعی هستند که در تولید کالاهای و خدمات یک سازمان مصرف می‌شوند و از مصرف آنها خروجیهای سازمان تولید می‌شوند).

۴-۳-۲. مدل مورد استفاده در مقاله [۲]

اندرسون و همکارانش نشان دادند واحدهای تصمیم گیری متعددی ممکن است رتبه های یک را احراز کنند که به معنای کارائی است. لذا برای رتبه بندی این واحدها، مدلی را ارائه نمودند که به مقایسه واحدهای کارا نیز می‌پرداخت. آنها جهت رتبه بندی، DMU₀ را از مجموعه واحدهای تصمیم گیرنده حذف کردند و مدل دوال CCR را برای باقیمانده DMU ها اجرا کردند. مدل پیشنهادی آنها چنین می‌باشد:

گیرد. هنگامی که فرایند مرحله سوم صورت گرفت کارت کانویپ از آن جدا شده و به هر سه مرحله ارسال و همچنین کارت کانبان آن جدا شده و به صف K3 فرستاده می‌شود. در صورت وجود هر دو سیگنال K3 و C3، سیگنال دیگری به صف L3 منتقل شده که مجوز ساخت برای مرحله سوم می‌باشد. در ادامه این روش تا آنجا پیش می‌رود که به مراحل اولیه برسد.

این مدل برگرفته از مدل کانبان عمومی می‌باشد با این تفاوت که زمانی که محصولی از بافر سه به مشتری تحويل داده شد کارت کانویپ به هر سه مرحله می‌رود به عبارت دیگر زمانی که محصول نهایی از سیستم خارج شد، کارت کانویپ مربوط به آن جدا شده و به صف کارت کانویپ مرحله اول، دوم و سوم می‌رود. همچنین تقاضا به طور مستقیم به مرحله اول می‌رود. دومین تفاوت در این است که زمانی اجازه تولید صادر می‌شود که در سه صف D، K1 و C1 کارت وجود داشته باشد. همچنین در این سیستم همانند مدل کانبان، کارت کانبان هنگامی که قطعه پردازش شد از قطعه جدا شده و به مرحله قبل می‌رود.



شکل ۷. مدل ۳ مرحله ای پیشنهادی

۴-۴. شبیه سازی

به منظور انجام شبیه سازی^۱ سیاستهای کنترل تولید برای یک حالت سه مرحله ای، در این مقاله از نرم افزار Visual Slam که از شاخه AWESIM می‌باشد، استفاده شده است. این نرم افزار یک نرم افزار مناسب در زمینه شبیه سازی سیستمهای گستته و پیوسته بوده و به دلیل برخورداری از امکانات مناسب و کافی و سهولت در اجرا، انتخاب گردیده است.

Visual SLAM در نگرش تشریح فرایندها از یک ساختار شبکه ای استفاده می‌کند. که این شبکه شامل سمبول های ویژه ای که گره و شاخه نامیده می‌شود می‌باشد. در نگرش تشریح رویداد در

2. Data Envelopment Analysis

3 . Return to Scale

4 . Efficiency measuring

5 . Efficient Frontier

1. Simulation

۵-۲. شاخصهای عملکرد

یک شاخص مهم عملکرد در سیستم تولید کششی سطح خدمت^۳ می باشد این مقدار، کسری از کل تقاضا است که جهت پاسخ به تقاضاهای رسیده می باشد و به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$\text{Servicelevel} = \frac{\text{Total Production}}{\text{Total Demand}} * 100 \quad (3)$$

$$\text{Servicelevel} = 1 - \frac{\text{Shortage}}{\text{Total Demand}} * 100$$

شاخص مهم دیگر مقدار کل موجودی سیستم است. این موجودی کل بصورت مجموع بافر های مرحله اول، دوم و سوم در نظر گرفته می شوند.

شاخص دیگر میزان نرخ خروجی^۴ (TH) که بصورت زیر محاسبه می گردد.

$$\text{Throughput Rate} = \frac{\text{Total Production}}{\text{Duration of Simulation}} \quad (4)$$

همچنین سایر شاخصهایی که به منظور مقایسه انتخاب شده به قرار زیر می باشد:

- جمع کل موجودی در سه بافر
- متوسط طول صف در سه بافر
- متوسط زمان انتظار در سه بافر
- تعداد پس افت
- متوسط حضور نهاد تقاضا در سیستم
- متوسط استغلال منابع

۵-۳. بهینه سازی تعداد کارتها

در این مرحله برای تمامی سیاستها، مثال سه مرحله ای شبیه سازی شده، سپس تعداد کارتاهای بهینه به صورتی که مدل به سطح حداقل خدمت ۹۹٪ برسد تعیین می گردد. کارتاهای بهینه انتخاب شده در جدول ۱ آمده است.

در انتخاب مدلها سعی بر این است که میزان نرخ خروجی حول و حوش ۰.۲۶ تا ۰.۲۴ باشد، (تقریباً تولید نهاد بین ۱۹۲۰ تا ۲۰۸۰ واحد) این باعث خواهد شد تا تقریباً مدلها از نظر خروجی و سطح خدمت مشابه باشند و مقایسه بیشتر بر روی پارامترهای دیگر علی الخصوص میزان موجودی بافر به خوبی صورت گیرد.

در این جدول S_i پارامتر کنترلی ذخیره پایه، K_i پارامترهای کنترلی کابنیان و C_i ها پارامتر کنترلی کانویپ است. همچنین به منظور مقایسه بهتر و جامع تر بعضی از مدلها دو حالت بهینه برای آنها در نظر گرفته شده است.

$$(ADLP_o) \quad \min \theta \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad \theta X_{io} - \sum_{j \neq o} \lambda_j X_{ij} \geq 0, \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j \neq o} \lambda_j Y_{rj} \geq Y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j \neq o$$

مدل آنها با ماهیت خروجی به فرم زیر می باشد.

$$\max \phi$$

$$\text{Subject to}$$

$$X_{io} \geq \sum_{j \neq o} \lambda_j X_{ij}, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j \neq o} \lambda_j Y_{rj} \geq \phi Y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j \neq o$$

۵. نتایج شبیه سازی

۱-۱. مفروضات اجرای شبیه سازی

۱. سیستم یک نوع قطعه تولید می نماید.
۲. زمان آمده سازی در هر ماشین وجود ندارد.
۳. مواد در هر زمان به مقدار یک عدد حمل شده و زمان حمل و نقل صفر می باشد.
۴. اطلاعات، بی درنگ جریان می بابند.
۵. بارگذاری قطعات در تمامی ماشین ها از سیاست (FIFO) تبعیت می کنند.
۶. هر تقاضایی که نمی تواند بلا فاصله از طریق موجودی نهایی ارضاء شود، پس افت می شود.
۷. زمان متوسط بین رسیدن دو تقاضا دارای توزیع نمایی با میانگین ۴ می باشد.
۸. زمان متوسط توقف (MTBF)^۱ و زمان متوسط تعمیر (MTTR)^۲ هر ماشین توزیع نمایی با میانگین های ۹ و ۱۰ می باشد.
۹. زمان انجام فرایند مراحل به ترتیب دارای توزیع نمائی با میانگین ۱، ۱.۵ و ۲ می باشد.
۱۰. مرحله ۳ شامل یک مرحله بازرسی می باشد، که در آن ۹۵ درصد اقلام مورد تایید قرار گرفته، و ۵ درصد بقیه دوباره کاری (بدون استفاده از منابع اصلی) می شوند. که از کل این اقلام ۸۰ درصد به چرخه تولید بازگشته ۲۰ درصد به صورت ضایعات از سیستم خارج می شوند. زمان دوباره کاری توزیع نرمال با میانگین ۰.۵ و انحراف معیار ۰.۱ می باشد.
۱۱. هر شبیه سازی با در نظر گرفتن ۸/۰۰۰ واحد زمانی اجرا شده است.

1 . Mead Time Between Failure

2 . Mead Time To Repair

3 . Service level

4 . Throughput rate

جدول ۳. رتبه بندی بر اساس متوسط طول صفحه

مدلهای	متوسط طول صفحه	رتبه
New Model	3.198	1
Generalized Kanban-2	3.528	2
Generalized Kanban-1	3.530	3
Kanban-2	3.534	4
Conwip-Kanban-2	3.550	5
Base Stock-2	3.769	6
CONWIP-1	3.775	7
Conwip-Kanban-1	3.847	8
Kanban-1	3.885	9
Extended Kanban-1	3.885	10
Extended Kanban-2	4.116	11
Base Stock-1	4.118	12

۴-۳. رتبه بندی بر اساس متوسط زمان انتظار در صفحه بافرها

در رتبه بندی جدول ۴ کاملا مشهود است که در مدل پیشنهادی متوسط زمان انتظار در صفحه بافر به طرز قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. این متوسط از متوسط زمان انتظار در صفحه هر بافر که از خروجی نرم افزار بدست می آید، حاصل شده است.

جدول ۴. رتبه بندی بر اساس متوسط زمان انتظار در صفحه بافرها

مدلهای	متوسط زمان انتظار	رتبه
New Model	13.276	1
Generalized Kanban-2	13.914	2
Kanban-2	13.926	3
Conwip-Kanban-2	14.089	4
Generalized Kanban-1	14.110	5
Base Stock-2	14.691	6
CONWIP-1	14.869	7
Conwip-Kanban-1	15.155	8
Kanban-1	15.462	9
Extended Kanban-1	15.519	10
Base Stock-1	16.053	11
Extended Kanban-2	16.305	12

۵-۴. رتبه بندی بر اساس تحلیل پوششی داده ها
آخرین قدم برای انتخاب بهینه سیستم کنترلی تولید اجرای تحلیل پوششی داده ها بر اساس مدل اندرسون و پیترسون می باشد. برای این کار می باشد متغیرهای ورودی و خروجی را مشخص نمود که در جدول ۵ مشخص شده است.

جدول ۵. متغیرهای ورودی و خروجی تحلیل پوششی داده ها

متغیرهای خروجی	متغیرهای ورودی
نمودار خروجی (TH)	مجموع بافرها (WIP)
متغیر طول صفحه (Q)	متغیر طول صفحه (T)
متغیر زمان انتظار (U)	میزان استعمال منابع (S)
مدت زمان حضور نهاد در سیستم (TIS)	پس افت (T)

جدول ۱. مدل‌های بهینه انتخاب شده بر اساس سطح خدمت %۹۹

مدلهای	S1	S2	S3	C1	C2	C3	K1	K2	K3	Service level
CONWIP-1	-	-	-	14	-	-	-	-	-	0.99802
Kanban-1	-	-	-	-	-	-	4	3	7	0.99750
Kanban-2	-	-	-	-	-	-	3	3	7	0.99752
Base Stock-1	4	4	10	-	-	-	-	-	-	0.99804
Base Stock-2	3	3	11	-	-	-	-	-	-	0.99951
Conwip-Kanban-1	-	-	-	12	-	-	3	4	7	0.99406
Conwip-Kanban-2	-	-	-	11	-	-	3	3	7	0.99950
Extended	2	5	7	-	-	-	3	4	7	0.99749
Kanban-1	3	6	6	-	-	-	4	4	6	0.99452
Kanban-2	3	4	6	-	-	-	4	4	6	0.99497
Generalized Kanban-1	3	3	7	-	-	-	5	4	9	0.99950
New Model	12	-	-	3	3	7	2	6	4	0.99950

۴-۵. رتبه بندی مدل‌ها**۴-۵-۱. رتبه بندی بر اساس سطح کل موجودی در بافرها**

در رتبه بندی انجام شده در جدول ۲ کاملا مشهود است که در مدل پیشنهادی، سطح موجودی بافرها که از جمع هر ۳ بافر در تمام طول پروژه بدست آمده به طرز قابل ملاحظه ای کاهش یافته است.

جدول ۲. رتبه بندی بر اساس سطح کل موجودی

رتبه	مجموع بافرها	مدلهای
1	17521.000	New Model
2	18406.000	Extended Kanban-1
3	19111.000	Generalized Kanban-1
4	19483.000	Generalized Kanban-2
5	19514.000	Conwip-Kanban-2
6	19581.000	Kanban-2
7	20073.000	Base Stock-2
8	20240.000	Extended Kanban-2
9	20755.000	CONWIP-1
10	21366.000	Kanban-1
11	21376.000	Conwip-Kanban-1
12	22396.000	Base Stock-1

۴-۶-۲. رتبه بندی بر اساس متوسط طول صفحه در بافرها

در رتبه بندی جدول ۳ کاملا مشهود است که در مدل پیشنهادی متوسط طول صفحه کاهش یافته است. این متوسط از متوسط طول صفحه در هر بافر که از خروجی نرم افزار بدست می آید، حاصل شده است.

البته با این سه مقایسه مشخص شد، از لحاظ این ۳ شاخص به صورت انفرادی، مدل پیشنهادی بیشترین رتبه و مدلهاهی هیرید تقریباً از رتبه بیشتری نسبت به مدلهاهی سنتی برخوردار بودند.

پس از این مقایسه آلترا ناتیووها به منظور در نظر گرفتن پارامترهای بیشتر، که شاید بعضی از آنها از اهمیت کمتری برخوردار بودند، مورد رتبه بندی توسط روش تحلیل پوششی داده ها قرار گرفتند، که این مقایسه باز هم برتری مدل پیشنهادی را تایید نمود، و این در حالی بود که بقیه مدلها از لحاظ مقدار کارائی تفاوت چندان فاحشی با بقیه مدلها نداشتند.

با توجه به تحقیق صورت گرفته در این پژوهش مشاهده گردید، که با اعمال پارامترهای کنترلی بیشتر در سیاستهای کنترلی، مدلها به سمتی پیش می روند که باعث کاهش میزان سطح کار در جریان در سیستم خواهد شد، در حالی سطح خدمت و نرخ خروجی تفاوت چندانی نمی کند و این خود سبب کاهش هزینه ها در نگهداری موجودی خواهد گردید. در پایان می توان عنوان نمود، سیستمهای کششی در مقابل سیستمهای فشاری دارای هزینه های کمتری است، به شرطی که در مدلها تعداد کارت ها به درستی انتخاب شوند تا سیستم از لحاظ سطح کارائی، سطح خدمت و نرخ خروجی از مقدار قابل قبول تفاوت نداشته باشد. مطلب بسیار مهم دیگر در این مقاله می توان به اهمیت انتخاب کارت ها به مقدار مناسب نام برد، چرا که می شود سیستم از مدل کنترلی خوبی بهره گیرد، ولی به دلیل انتخاب نادرست تعداد کارت، سیستم از کارائی کافی برخوردار نباشد.

مراجع

- [۱] دنبیس، پ، ترجمه سقائی، ع، عظیم زاد، ن، پارسا، ح، «تولید ناب به زبان ساده»، نشر متترجم، صفحه ۵۰-۷، ۱۳۸۵.
- [۲] آزاده، م، ع، قادری، س، ف، «رم افزار Auto Assess»، دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.
- [۳] پریتسکر، آ. آلن، بی، و اورایلی، جین، جی، ترجمه آزاده، م، ع، ایزد بخش، ح، ر، هنرور، م، «شبیه سازی کامپیوتری با AweSim و Slam»، نشر کتاب دانشگاهی، صفحه ۱-۵۲، ۱۳۸۶.
- [۴] Berkley, B.J., "A Review of the Kanban Production Control Research Literature", Production and Operations Management, Vol. 1, No. 4, 1992, pp. 393-411.
- [۵] Bonvik, A.M., Couch, C.E., Gershwin, S.B., "Comparison of Production-Line Control Mechanisms", International Journal of Production Research, Vol. 35, No. 3, 1997, pp. 789- 804.
- [۶] Boonlertvanich, K., "Extended - Conwip - Kanban System : Control and Performance Analysis", In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy, Georgia Institute of Technology, 2005.

جدول ۶. مقادیر متغیرهای ورودی و خروجی را برای ۱۴ مدل بهینه نشان می دهد، که این مقادیر از نتایج شبیه سازی بدست آمده است.

جدول ۶. مقادیر متغیرهای ورودی و خروجی تحلیل پوششی داده ها

Models	WIP	Q	T	U	S	TIS	TH
CONWIP-1	20755	3.775	14.869	0.480	4	0.012	0.252
Kanban-1	21366	3.885	15.462	0.475	5	0.013	0.249
Kanban-2	19581	3.534	13.926	0.483	5	0.014	0.252
Base Stock-1	22396	4.118	16.053	0.487	4	0.004	0.255
Base Stock-2	20073	3.769	14.691	0.491	1	0.001	0.255
Conwip-Kanban-1	21376	3.847	15.155	0.483	12	0.030	0.253
Conwip-Kanban-2	19514	3.550	14.089	0.479	1	0.003	0.251
Extended Kanban-1	18406	3.885	15.519	0.468	5	0.020	0.249
Extended Kanban-2	20240	4.116	16.305	0.478	11	0.030	0.251
Generalized Kanban-1	19111	3.530	14.110	0.477	10	0.023	0.248
Generalized Kanban-2	19483	3.528	13.914	0.482	1	0.010	0.252
New Model	17521	3.198	13.276	0.469	1	0.000	0.249

جدول ۷. نتیجه اجرای نرم افزار Auto Assess که جهت رتبه بندی ۱۲ مدل بهینه از طریق روش آنالیز پوششی داده ها می باشد، را نشان می دهد.

جدول ۷. رتبه بندی بر اساس خروجی تحلیل پوششی داده ها

مدلهای	اندازه کارائی	رتبه
New Model	0.999985465	1
Base Stock-2	0.999941258	2
Generalized Kanban-2	0.999898977	3
Conwip-Kanban-2	0.999611933	4
Extended Kanban-1	0.997954756	5
Base Stock-1	0.991994345	6
CONWIP-1	0.991815586	7
Kanban-1	0.991711817	8
Extended Kanban-2	0.989797060	9
Kanban-2	0.988650331	10
Conwip-Kanban-1	0.988487806	11
Generalized Kanban-1	0.986569615	12

۶. نتیجه گیری

همانطور که در انتهای مشاهده شد، پس از بررسی انتخاب بهینه مدلها بر اساس بالاترین سطح خدمت، تک تک مدلهاهی انتخاب شده براساس مهمترین شاخص، در سیاستهای کنترلی تولید که همانا، میزان سطح کار در جریان در سیستم می باشد، مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که سطح موجودی در مدل پیشنهادی دارای کمترین سطح موجودی در بافرهایست، که این خود نزدیکی مدل را به هدف تولید به هنگام زدیک می کند. این مقایسه برای ۲ شاخص دیگری که همان متوسط طول صف و متوسط زمان انتظار مواد در پشت بافرها می باشد، صورت پذیرفت که باز در این میان مدل پیشنهادی دارای کمترین مقدار بودند.

- [21] Hall, R.W., "Zero Inventories", Dow Jones-Irwin, Homewood, IL, 1983.
- [22] Hodgson, T.J., Wang D., "Optimal Hybrid Push/pull Control Strategies for a Parallel Multi-Stage System: Part I", International Journal of Production Research, Vol. 29, No. 6, 1991, pp. 1279-1287.
- [23] Hodgson, T.J., Wang D., "Optimal Hybrid Push/pull Control Strategies for a Parallel Multi-Stage System: Part II", International Journal of Production Research, Vol. 29, No. 7, 1991, pp. 1453-1460.
- [24] Hopp, W.J., Spearman, M.L., "Factory Physics" New York, NY, McGraw-Hill, 1996.
- [25] Hopp, W.J., Roof, M.L., "Setting WIP Levels with Statistical Throughput Control (STC) in CONWIP Production Lines", International Journal of Production Research, Vol. 36, No. 4, 1998, pp. 867-882.
- [26] Karaesmen, F., Dallery, Y., "A Performance Comparison of Pull Type Control Mechanisms for Multi-Stage Manufacturing", International Journal of Production Economics, Vol. 68, 2000, pp. 59-71.
- [27] Monden, Y., "Toyota Production System: Practical Approach to Production Management", Industrial Engineering and Management Press, 1983.
- [28] Muckstadt, J.A., Tayur, S.R., "A Comparison of Alternative Kanban Control Mechanisms: I, Background & Structural Results – II, Experimental Results", IIE Transactions, Vol. 27, No. 1, 1995, pp. 140-150 & 151-161.
- [29] Ohno, T., "Toyota Production System: Beyond Large Scale Production", Productivity Press, Cambridge, MA, 1998.
- [30] Philipoom, P.R., Rees, L.P., "Dynamically Adjusting the Number of Kanbans in a Just-in-Time Production System Using Estimated Values of Lead Time", IEEE Transactions, 1987, pp. 199-207.
- [31] Rees, L.P., Philipoom P.R., "Dynamically Adjusting the Number of Kanbans in a Just-in-Time Production System using Estimated Values of Lead-Time", IIE Transactions, Vol. 19, No. 2, 1987, pp. 199-207.
- [32] Shingo, S., "A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint", Cambridge, MA, Productivity Press, 1989.
- [33] Spearman, M.L., Zazanis, M.A., "Push and Pull Production Systems: Issues and Comparisons", Operation Research, Vol. 40, No. 3, 1992, pp. 521-532.
- [34] Spearman, M.L., Woodruff, D.L., "CONWIP: a Pull Alternative to Kanban", International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 5, 1990, pp. 879-894.
- [35] Takahashi, K., "Comparing Reactive Kanban Systems", INT. J. PROD. RES., Vol. 41, No. 18, 2003, pp. 4317-4337.
- [36] Takahashi, K., Nakamura, N., "Reacting JIT Ordering
- [7] Buzacott, J.A., "Queuing Models of Kanban and MRP Controlled Production Systems", Engineering Cost and Production Economics, No. 17, 1989, pp. 3-20.
- [8] Clark, A.J., Scarf, H., "Optimal Policies for the Multi-Echelon Inventory Problem", Management Science Vol. 66, No. 4, July 1960, pp. 475-490.
- [9] Dallery, Y., Liberopoulos, G., "A New Kanban-Type Pull Control Mechanism for Multi-Stage Manufacturing Systems", Proceedings of the 3rd European Control Conference, Rome, Italy, 1995, pp. 3543-3548.
- [10] Dallery, Y., Liberopoulos, G., "Extended Kanban Control System: Combining Kanban and Base Stock", IEEE Transactions Vol. 32, 2000, pp. 369-386.
- [11] Deleersnyder, J.L., Hodgson, T.J., et al. "Kanban Controlled Pull Systems: An Analytical Approach", Management Science 35: 1989, 1079-1091.
- [12] Duri, C., Frein, Y., "Comparison Among Three Pull control policies: Kanban, Base stock and Generalized Kanban", Annals of Operation Research, Vol. 93, 2000, pp. 41-69.
- [13] Framanian, J.M., Gonzalez, P.L., Ruiz-Usano, R., "The CONWIP Production Control System: Review & Research Issues", Production Planning and Control, Vol. 14, 2003, pp. 255-265.
- [14] Framanian, J.M., Gonzalez, P.L., Ruiz-Usano, R., "Dynamic card Controlling in a CONWIP System", International Journal Production Economics, 2005.
- [15] Frein, Y., Mascolo, M.D., "On the Design of Generalized Kanban Control Systems", To appear in International Journal of Operations and Production Management, special issue on Modeling and Analysis of Just-in-Time Manufacturing Systems, 1994.
- [16] Geraghty, J., Heavey, C., "A Comparison of Hybrid Push/Pull and CONWIP/Pull production inventory control policies", International Journal of Production Economics Vol. 91, No. 1, 2004, pp. 75-91.
- [17] Geraghty, J., Heavey, C., "A Review and Comparison of Hybrid and Pull-Type Production Control Strategies", OR Spectrum, Vol. 27, 2005, pp. 435-457.
- [18] Groenveldt, H., "The Just-in-Time System. S. C. G. e. a. E. Handbooks in OR & MS 4", Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1993, pp. 629-671.
- [19] Gstettner, S., Kuhn, H., "Analysis of Production Control Systems Kanban & CONWIP", International Journal of Production Research, Vol. 34 No. 11, 1996, pp. 3253-3274.
- [20] Gupta, S.M., Al-Turki, A.Y., "An Algorithm to Dynamically Adjust the Number of Kanbans in Stochastic Processing Times and Variable Demand Environment", Production Planning & Control, Vol. 8, 1997, pp. 133-141.

Systems to the Unstable Changes in Demand", International Journal of Production Research, Vol. 37, No. 10, 1999, pp. 2293- 2313.

- [37] Takahashi, K., Myreshka, Hirotani, D., "Comparing Conwip, Synchronized CONWIP, and Kanban in Complex Supply Chain", International Journal of Production Economics, 2005, pp. 93-94,25-40.
- [38] Tardif, V., Maaseidvaag ,L., "An Adaptive Approach to Controlling Kanban Systems", European Journal of Operational Research, 1999.
- [39] Tardif, V., Maaseidvaag, L., "An Adaptive Approach to Controlling Kanban Systems", European Journal of Operational Research, Vol. 132, No. 2, 2001, pp. 411-424.
- [40] Zipkin, P., "Does Manufacturing Need a JIT Revolution?", Harvard Business Review, January-February 1991, pp. 40-50.

