Systems Thinking In Practice
2nd National Conference on
دومین کنفرانس ملی (مجازی)
تفکر سیستمی در عمل

شبیه سازی نظام تولید به‌هنگام با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم جهت طراحی خط تولید

اردلان فیلی [1] *

استادیار، گروه مدیریت، موسسه آموزش عالی آپادانا، شیراز، ایران

سیما علی پور [2]

مربی، گروه مدیریت، موسسه آموزش عالی آپادانا، شیراز، ایران

سیامک خیبری [3]

فارغ التحصیل دکتری مدیریت، گروه مدیریت، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

چکیده

سیستم تولید بهنگام یکی از پیشرفته ترین سیستم‌های برنامه‌ریزی است که در صدر هرم سیستم‌های نوین برنامه‌ریزی و کنترل تولید قرار گرفته است. سازمان‌ها در هنگام پیاده‌سازی سیستم کانبان با طیف وسیعی از متغیرها روبه‌رو هستند که هریک از این متغیرها با یکدیگر چه بصورت مستقیم و چه غیر مستقیم در تعامل هستند. به علت تعاملات بین بخش‌های مختلف، یافتن بهترین ترکیب سیاست ها برای ایجاد و استقرار این سیستم با پیچیدگی همراه می باشد. در مطالعه حاضر برای فهم پیچیدگی-های مدل و شبیه سازی رفتار نظام تولید به‌هنگام از رویکرد پویایی شناسی سیستم استفاده شده است. بر این اساس تلاش شد متغیرهای اساسی دخیل در نظام تولید به هنگام وارد مدل شود و از این رهگذر بستری فراهم گردد تا مدیریت بتواند با سناریوسازی‌های متعدد در حوزه‌های خرید ماشین آلات، سیاست نگهداری، سیاست تامین مواد اولیه، سیاست استخدام و اخراج کارکنان، به بهترین تصمیم ممکن در راستای طراحی خط تولید برای اجرای نظام تولید به‌هنگام برسد.

کلمات کلیدی: تولید به‌هنگام، کانبان، پویایی سیستم، شبیه‌سازی

[1] feili@apadana.ac.ir
[2] S.alipour@apadana.ac.ir
[3] kheibari@um.ac.ir

1-مقدمه

امروزه به به دلیل محدودیت‌های اقتصادی و پیچیدگی بازارها، استفاده بهینه از منابع در دسترس و پاسخگویی به موقع به خواسته‌های مشتری در بخش‌های مختلف بازار به امری اجتناب ناپذیر تبدیل گردیده است. سیستم تولید به‌هنگام که برای اولین بار توسط تایچی اونو در شرکت تویوتا مطرح شد در پی پاسخ به این نیازهاست (Kumar & Panneerselvam, 2007). سیستم تولید به‌هنگام را می‌توان این‌گونه تعریف کرد: یک سیستم تولیدی فوق‌العاده هماهنگ که در آن کالاها و خدمات درست در موقعی که مورد نیاز می‌باشند، تحو یل می‌گردند. در این سیستم هیچ مواد اولیه‌ای خریداری نمی‌شود و هیچ محصولی ساخته نمی‌شود، مگر در هنگام ضرورت. هدف اصلی سیستم تولید به‌هنگام کاهش مداوم و به طور کلی حذف تمام اشکال مختلف اتلافات و استفاده کامل از نیروی انسانی است (Pérez-López et al., 2019; Aghazadeh, 2003). این سیستم به دنبال کوتاه‌کردن فرآیند تولید، تسریع در بازگشت سرمایه (Schonberger, 2007)، به حداقل رساندن هزینه‌ی کل سیستم و نیز جلب رضایت مشتری ازسطح محصول و خدمات ارائه شده است (Kojima et al., 2008). برای تحقق این امر نیاز به تولید با بهره‌وری و کیفیت بالا در کنار سطح موجودی بسیار پایین است (Tersine, 1994). در سیستم به‌هنگام تاکید بر مفهوم صفر در ضایعات، طول صف، موجودی، خرابی و... است (Markey, 1996). JIT به عنوان یک فلسفه در تلاش تا تمام جنبه‌های تولید اعم از تهیه مواد اولیه، تولید و تحویل محصول را باهم ادغام کند (Lai & Lee, 2003). اجزای یک سیستم تولید به هنگام را منابع انعطاف پذیر، استقرار سلولی، سیستم تولید کششی، کنترل تولید به وسیله کانبان، تولید در دسته‌های کوچک، زمان‌های راه اندازی سریع، سطوح تولید یکپارچه، کیفیت در منبع، نگهداری بهره‌ور جامع، شبکه عرضه کنندگان تشکیل می‌دهد (Kim & Schniederjans, 1993). مدیریت موجودی، کنترل کیفیت، برنامه‌ریزی و زمانبندی تولید، برنامه‌های کاربردی به‌هنگام هستند در یک زنجیره تامین که تحت کنترل سیستم تولید به‌هنگام و کانبان عمل می‌کند فعالیت زنجیره با ورود تقاضای مشتری در مرحله آخر شروع می‌شود و بطور متوالی هر یک از مراحل میانی توسط مرحله بعدی خود فعال می‌شود و این مکانیز تا مرحله اول ادامه می‌یابد (Lai & Lee, 2003). بدین ترتیب جریان مواد و فرآیند تولید در هر مرحله توسط تقاضای مرحله بعدی کنترل خواهد شد. بنابراین با توجه به مطالب گفته شده سیستم نگهداری و تعمیرات کارا به همراه وجود عرضه‌کنندگان توانمند نقش کلیدی را در این سیستم تولیدی ایفا می‌کنند، زیرا عدم توانایی در تامین مواد اولیه با کیفیت در زمان مناسب و وجود نقایصی در خط تولید علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید سبب طولانی شدن فرآیند تولید محصول می‌شود که این خود سبب ناتوانایی در اجرای وفای به عهد و در نتیجه بدنامی و از دست دادن مشتریان موجود و بالقوه می‌شود. درسیستم تولیدی به‌هنگام هر مرحله از فرآیند، خروجی خود را به مقدار مورد نیاز در زمان مورد نیاز پردازش کرده و به مرحله بعد تحویل می‌دهد. هدف از این امر علاوه بر ارضای کامل و به موقع تقاضا، کاهش محصول نیمه‌ساخته و محصول ساخته شده است. سیستم کنترل تولید کانبان که یکی از عناصر پایه در تولید به‌هنگام می‌باشد مهمترین ابزار برنامه‌ریزی و کنترل جریان تولید برای تحقق این امر است (Chen & Bidanda, 2019; Singh et al., 1990). کانبان سیستم اطلاعاتی است که نیازهای ضروری محصول درحال تولید را از لحاظ مقدار کنترل می‌کند تا این نیازها در زمان مورد نیاز تولید و تامین شود (Saad & Bahadori, 2019; Henderson, 1986). کانبان در حذف تولید بیش از حد، بهبود جریان مواد، تضمین کنترل در سطح انتقال مواد، زمانبندی و مدیریت فرایندها، افزایش پاسخ به نیازهای بازار و بهبود مدیریت زنجیره تامین نیز تاثیر مستقیم دارد (Gross & McInnis, 2003). از آنجایی که تعداد کانبان بر سطح تعداد موجودی تاثیر می‌گذارد برای مدیران بسیار

مهم است که تعداد کانبان‌های تولید را مشخص کنند (Rabbani et al., 2009). مطالعه سیستم تولید به‌هنگام و تعیین تعداد بهینه کانبان‌ها همواره از مسائل مورد مطالعه محققان بوده است. دتا و ابدو (1993)، با شبیه‌سازی سیستم تولید به هنگام مدلی برای کارکرد یک سیستم تولیدی چندمحصولی- چند مرحله‌ای تحت روش کانبان ارائه کردند (Abdou & Dutta, 1993)؛ عبدالنور و همکاران (1998)، از مفهوم تولید به هنگام و کانبان برای مدیریت شرکت‌های کوچک استفاده کردند (Abdul-Nour et al., 1998)؛ آزاده و همکاران (2005)، با تلفیق شبیه سازی کامپیوتر و تحلیل واریانس سیستم تولید به هنگام بهینه‌ای را طراحی کردند (Azadeh et al., 2005). واتاناب و هیراکی (1996)، برنامه‌ریزی آرمانی را برای سیستم سفارش کششی بر اساس مفهوم تولید به‌هنگام ارائه کردند (Watanabe & Hiraki, 1996). کیمورا و ترادا (1981)، برای اولین بار سیستم کانبان را در شرایطی که تقاضای ایستگاه نهایی متغیر است ارائه کردند (Kimura & Terada, 1981). بیتران و چانگ (1987)، با توسعه مدل کیمورا و ترادا نوعی برنامه‌ریزی ریاضی در حالت قطعی برای سیستم تولید چند مرحله‌ای ارائه کردند (Bitran & Chang, 1987)؛ وانگ و وانگ (1990)، نیز با استفاده از روش فرآیند مارکف تعداد کانبان موردنیاز را تعیین کردند (Wang & WANG, 1990). فیلیپوم و همکاران (1990)، سیسمی را مدلسازی کردند که در آن گلوگاه دارای چند ماشین و چند محصول است و زمان آماده‌سازی به اندازه کافی کوتاه نیست (Philipoom et al., 1990)، لی و کو (1991)، برای سیستمی با ظرفیت تولید نامحدود با استفاده از برنامه‌ریزی پویا تعداد کانبان برای هر مرحله از فرآیند تولید را تعیین کردند (Li & Co, 1991)؛ پریس و همکاران (1992)، مدل بیتران و چانگ را توسعه دادند (Price et al., 1992)؛ گراهام (1992)، با درنظر گرفتن توزیع آماری زمان دوباره‌کاری‌ها و نرخ خرابی محصولات نوعی مدل مارکوف را برای تعیین تعداد کانبان ارائه کردند (Graham, 1992)؛ چانگ و یی (1994)، بجای سیستم کانبان معمولی سیستم کانبان اصلاح شده‌ای را ارائه کردند که در مقایسه با سیستم سنتی نتایج بهتری ارائه کرده است (Chang & Yih, 1994)؛ لیبراتور و همکاران (1995)، مساله تخصیص کانبان را برای سیستم چند محصولی با درنظر گرفتن تغییرات تقاضا برای انواع مختلف محصول درنظر گرفتند که در آن با استفاده از فن تجزیه و تحلیل آشفتگی، روشی برای تنظیم پویای تعداد کانبان ارائه کردند (Liberatore et al., 1995)؛ لیبرپلوس و دالری (1995)، سیستم کنترل کانبانی ارائه کردند که معیارهای کمینه سازی هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های کمبود را دربر دارد (Liberopoulos & Dallery, 1995)؛ اتل و اسچوان (1994)، از روش تحلیل برای مدلسازی سیستم کانبان و از الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی سیستم کانبان استفاده کردند (Ettl & Schwehm, 1994)؛ نوری و سارکر (1998)، در تحقیقی سیاست‌های تحویل و تعداد کانبان‌ها را بین دو ایستگاه کاری بررسی کردند (Nori & Sarker, 1998)؛ فیلیپو و همکاران (1996)، روشی را برای تعیین همزمان ظرفیت متصل به کانبان، تعداد کانبان و توالی تولید محصولات در سیستم کارگاهی کانبان ارائه کردند (PHlLlPOO et al., 1996)؛ معین و همکاران (1997)، با استفاده از تاگوچی روشی را برای تعیین سیستم کانبان ارائه کردند (Moeeni et al., 1997)؛ تاکاهاشی و ناکامورا (1999)، با استفاده از شبکه‌های عصبی نوعی سیستم کنترل موجودی تطبیق‌پذیر برای سیستم‌های تولیدی که تغییرات در تقاضا دارند، ارائه کردند (Takahashi & Nakamura, 1999)؛ گوپتا و همکاران (1999)، در مقاله خود مدلی را با عنوان سیستم کانبان انعطاف‌پذیر ارائه کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل ارائه شده در مقایسه با مدل سنتی در زمانی که زمان عملیات و مقدار تقاضا متغیر است نتایج بهتری را ارئه می‌دهد (Gupta et al., 1999)؛ الباس و همکاران (2000)، سه رویه جستجوی ابتکاری شامل الگوریتم ژنتیک، شبیه سازی تبرید تدریجی و جستجوی تابو برای تعیین تعداد کانبان با معیار کمترین هزینه ارائه کردند و آنها را از نظرت سرعت همگرایی و یافتن تعداد بهینه

کانبان مقایسه کردند؛ مارخام و متیو (2000)، از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم‌گیری برای تعیین تعداد کانبان استفاده کردند (Markham & Mathieu, 2000)؛ تردیف و مسیواگ (2001)، روشی را برای کنترل کانبان ارائه کردند که در آن تعداد کانبان می‌تواند با توجه به مقدار موجودی و سفارشات برگشت خورده تغییر کند (Tardif & Masseidvaag, 2001)؛ شهابودن و همکاران (2002)، با استفاده از الگوریتم تبرید تدریجی تعداد بهینه کانبان‌ها و اندازه دسته‌ها را تعیین کردند (Shahabudeen et al., 2002)؛ کوچل و نیلاندر (2002)، برای تعیین تعداد بهینه کانبان، از ترکیب شبیه‌سازی و الگوریتم ژنتیک استفاده کردند (Köchel & Nieländer, 2002)؛ وانگ و سارکر (2006)، در یک مدل ریاضی، تعداد کانبان را برای استفاده در یک سیستم چند مرحله‌ای با فرآیند تک محصولی مشخص کردند (Wang & Sarker, 2006)؛ لی (2007)، از الگوریتم جستجوی تابو دو مرحله‌ای برای تعیین تعداد کانبان‌های انعطاف‌پذیر استفاده کرد (Lee, 2007). سیواکومار و شاهابودین (2009)، در تحقیقاتی از الگوریتم های مختلف مانند الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید تدریجی برای طراحی سیستم کانبان تک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای استفاده کردند (Sivakumar & Shahabudeen, 2009)؛ آقاجانی و همکاران (2012)، نیز به منظور تعیین تعداد کانبان یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را ارائه کردند. ویفلن و همکاران (2021)، یک رویکرد مبتنی بر نمودار تأثیر برای تخمین زمان انجام کار برای مدیریت پروژه کانبان معرفی کردند که، این سیستم می‌تواند به ارتباطات گروه‌های کانبان با ذینفعان کمک کند و حجم کار تخمینی را از طریق یک مدل جامع‌تر از زمان‌های هدایت کاهش دهد (Weflen et al., 2021).

همانگونه که مشهود است سازمان‌ها در هنگام پیاده‌سازی و تعیین سیستم کانبان با طیف وسیعی از متغیرها روبه‌رو هستند که هریک از این متغیرها با یکدیگر چه به بصورت مستقیم و چه غیر مستقیم در تعامل هستند. معمولاً مدل‌های موجود در تعیین تعداد بهینه کانبان صرفاً بر تعداد اندکی متغیر تمرکز داشته و تعداد بسیاری از متغیرها از جمله کیفیت، کارایی نیروی انسانی، نگهداری و تعمیرات، کارایی عرضه کنندگان مورد غفلت واقع می‌شوند. بنابراین باید از ابزاری استفاده کرد که بتواند متغیرهای مذکور را با هم ادغام کند و قابلیت تجزیه و تحلیل پویا را نیز داشته باشد. پویاشناسی سیستم یکی از این ابزارهاست که علاوه برا احصا کردن مشخصه‌های سیستم به‌هنگام عکس‌العمل سریع در برابر تغییرات سیستم را نیز فراهم می‌کند. به علت تعاملات بین بخش های مختلف یک سیستم لازم است که افراد تلاش کنند که رفتار سیستم را با نگرش سیستمی درک کنند. این درک فقط می تواند از طریق مطالعه و شناخت همه اجزا و ارتباط بین آن‌ها در قالب یک سیستم به دست می‌آید (Lich et al., 2017). مفهوم پویاشناسی سیستم که برای اولین بار توسط فارستر مطرح شد (Coyle, 1997)؛ رویکردی جهت کشف رفتار دینامیکی غیرخطی و مطالعه چگونگی تأثیر ساختارها و پارامترهای سیستم بر الگوهای رفتاری سیستم است (Geum, 2014). پویایی سیستم با رفتار گسترده سیستم و اینکه چگونه آن رفتار بر تکامل سیستم درآینده تأثیر می‌گذارد، تأکید دارد و به این ترتیب تصمیم‌گیری را تسهیل می کند (Helms, 1990). پویاشناسی سیستم ابزاری اساسی برای درک چگونگی تغییر در طول زمان است (Forrester, 1997). تکنیک پویایی سیستم بر اساس تئوری اطلاعات - بازخورد شکل گرفته است که از نمادهایی برای نگاشت سیستم‌های کسب و کار در قالب نمودارها و معادلات استفاده می‌کند و زبان برنامه‌نویسی را برای شبیه‌سازی کامپیوتری به کمک می‌گیرد (Pugh, 1988). هدف از مدلسازی سیستم پویا به‌دست آوردن درک و دیدگاهی در مورد روابط سیستم است تا بتوان خط‌مشیهای ممکن برای بهبود سیستم را بررسی کرد (Shi & Gill, 2005). خروجی شبیه‌سازی گسسته سیستم‌ها با رویکرد پویاشناسی سیستم، طراحی سیاست‌های مؤثر

بر عملکرد به منظور دستیابی به سطوح بالای کارایی است. یک نظریه بنیادی که از رویکرد پویایی‌های سیستمی حاصل می‌شود این است که ساختار هر سیستم رفتار دینامیکی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شواهدی دال بر این موضوع وجود دارد که پویایی سیستم می‌تواند به درک و فهم محیط‌های پیچیده کمک کند (Spector et al., 2001).

2- طرح مسأله

با توجه به مطالب عنوان شده این سوال مطرح می شود که، اگر قصد طراحی یک خط تولید بر مبنای نظام تولید به‌هنگام را داشته باشیم، بهترین ترکیبی که می تواند الزامات این نظام را برآورده سازد چیست؟ در یک زنجیره تامین که تحت کنترل سیستم تولید به‌هنگام و کانبان عمل می‌کند فعالیت زنجیره با ورود تقاضای مشتری در مرحله آخر شروع می‌شود و بطور متوالی هر یک از مراحل میانی توسط مرحله بعدی خود فعال می‌شود و این مکانیزم تا مرحله اول ادامه می‌یابد. بدین ترتیب جریان مواد و فرآیند تولید در هر مرحله توسط تقاضای مرحله بعدی کنترل خواهد شد. بنابراین با توجه به مطالب گفته شده سیستم نگهداری و تعمیرات کارا به همراه وجود عرضه کنندگان توانمند نقش کلیدی را در این سیستم تولیدی ایفا می‌کنند، زیرا عدم توانایی در تامین مواد اولیه با کیفیت در زمان مناسب و وجود نقایصی در خط تولید علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید سبب طولانی شدن فرآیند تولید محصول می‌شود که این خود سبب ناتوانایی در اجرای وفای به عهد و در نتیجه بدنامی و از دست دادن مشتریان موجود و بالقوه می‌شود.

به عبارت بهتر پژوهش حاضر در راستای پاسخگویی به سوالات زیر انجام شد:

نرخ تولید بر اساس میزان پیش بینی تقاضا بایستی چه مقدار باشد؟

به چه تعداد کانبان تولید و چه تعداد کانبان انتقال نیاز است؟

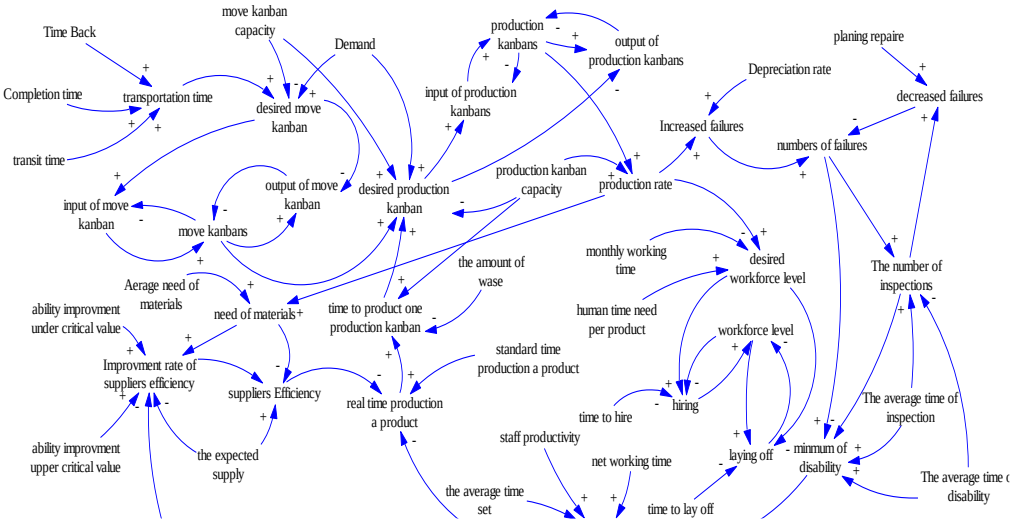
کدام سیاست نگهداری یک سیاست با ثبات و موثر خواهد بود؟ به عبارت دیگر کدام سیاست نگهداری سبب می شود از کارافتادگی ماشین آلات به حداقل برسد؟

سیاست مناسب انتخاب تأمین کنندگان بایستی چگونه باشد؟

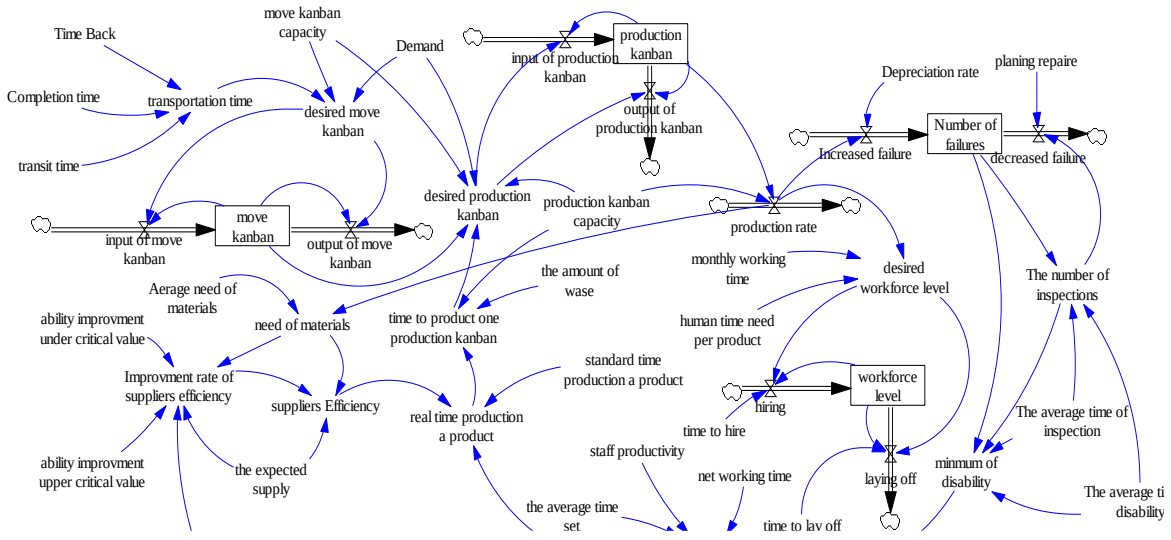
به علت تعاملات بین بخش های مختلف ذکر شده جهت پاسخ به این سوالات مدلسازی و شبیه سازی نظام تولید به‌هنگام بر اساس رویکرد پویایی شناسی سیستم استفاده شده است. بر این اساس ما تلاش کردیم تا تمام متغیرهای دخیل در نظام تولید بهنگام را وارد مدل کنیم و از این رهگذر بستری را فراهم آوریم تا مدیریت بتواند با سناریوسازی های متعدد ناشی از ترکیب آلترناتیو های گوناگون در حوزه های خرید ماشین آلات، سیاست نگهداری، سیاست تامین مواد اولیه، سیاست استخدام و اخراج کارکنان و ... به بهترین تصمیم ممکن در راستای طراحی خط تولید برای اجرای نظام تولید به هنگام برسد.

3- مدلسازی پویای مساله

مدل‌ها ساده شده دنیای واقعی هستند. علم پویایی شناسی سیستم جهت مدلسازی مسأیل از دو ابزار قوی یعنی نمودار علی- معلولی و نمودار جریان بهره می برد. جهت استخراج متغیرهای مدل از ادبیات موضوع استفاده شده است. شکل شماره یک نمودار علی – معلولی و شکل شماره دو نمودار جریان مطالعه حاضر را نشان می دهد. در ادامه ضمن معرفی متغیرهای مدل به بیان ارتباط آن ها با هم پرداخت شده و همچنین نحوه محاسبه آن ها شرح داده شده است.



شکل 1. نمودار علی-معلولی



شکل 2. نمودار جریان

3-1- تقاضا

تقاضا موتور محرک مدل است. به عبارت دیگر تغییر رفتار تقاضا سبب تغییر تمام متغیر های مدل خواهد شد، به گونه ای که اگر تقاضایی وجود نداشته باشد، هیچ یک از متغیرها مقداری را اخذ نخواهند کرد. در این مطالعه بر اساس اطلاعات گذشته تقاضا داری توزیع نرمال در نظر گرفته شده است.

3-2-کانبان تولید و کانبان انتقال

در مطالعه جاری دو نوع کانبان مورد استفاده قرار گرفته اند. کانبان تولید و کانبان انتقال. کانبان تولید کانبانی است که در انتهای خط تولید، جایی که قطعه ساخته می شود قرار گرفته و آنجا را ترک نمی کند. کانبان انتقال کانبانی است که در ابتدای خطی قرار می گیرد که قطعه مورد استفاده است. هنگامی که کانبان انتقال خالی است به مکان مناسب برای پرشدن باز می‌گردد. محاسبه تعداد کانبان های تولید و انتقال علاوه بر تقاضا تحت تاثیر متغیرهایی هستند که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

3-3- محاسبه تعداد مطلوب کانبان انتقال[1]

تعداد مطلوب کانبان انتقال بر اساس مدل تحت تاثیر سه متغیر زیر است:

- تقاضا
- ظرفیت کانتینر کانبان انتقال[2]: تعداد قطعاتی که در یک کانتینر کانبان انتقال قرار می‌گیرد.
- زمان جابجایی[3]

زمان جابجایی از مجموع سه زمان به دست می‌آید: زمانی که صرف جابجایی کانبان انتقال خالی از مکانی که مورد استفاده قرار گرفته است به مکانی که مجددا پر می‌شود، می‌گردد (Time Back)، زمانی که صرف پر شدن یا به عبارتی جابجایی قطعات تولیدی از کانبان تولید به کانبان انتقال می‌شود (Replenishment time) و زمانی که صرف بازگشت کانبان انتقال به جایی می شود که از آن جا آمده است (transit time).

بر این اساس زمان جابجایی به صورت زیر محاسبه می گردد:

Transportation time = Transit time +Time Back +Replenishment time

تعداد مطلوب کانبان انتقال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

Desired move kanban = INTEGER (MAX (2, (transportation time/(move kanban capacity/Demand))+1))

3-4- محاسبه تعداد کانبان انتقال

در هر سیستمی مقدار برخی متغیرها افزایش و یا کاهش می یابد. به این متغیرها متغیرهای انباره ای گفته می شود. نرخ افزایش یا کاهش این متغیرها، جریان خوانده می شود. در اینجا تعداد کانبان انتقالی که در هر ساعت در سیستم قرار دارد (move kanban) یک متغیر سطح است که با دو متغیر نرخ کانبان انتقال ورودی (input of move kanban) و کانبان انتقال خروجی (output of move kanban) کنترل می‌شود. بنابراین تعداد کانبان انتقال در سیستم برابر است با:

move kanban= INTEGER (input of move kanban-output of move kanban)

در صورتی که نرخ مطلوب کانبان انتقال از میزان کانبان انتقال موجود در سیستم بیشتر باشد به اندازه تفاوت این دو مقدار سبب افزایش کانبان انتقال می شود، در غیر این صورت تغییری در تعداد کانبان انتقال ایجاد نمی کند. فرمول متغیر نرخ کانبان انتقال ورودی برابر است با:

[1] desired move kanban
[2] move kanban capacity
[3] transportation time

input of move kanban = INTEGER (IF THEN ELSE(desired move kanban>move kanban, desired move kanban-move kanban , 0))

متغیر نرخ کانبان انتقال خروجی نیز در صورتی که میزان مطلوب کانبان انتقال کمتر از میزان کانبان انتقال موجود در سیستم باشد به میزان تفاوت آن دو از سطح کانبان انتقال می‌کاهد:

output of move kanban= INTEGER(IF THEN ELSE(move kanban>desired move kanban, move kanban-desired move kanban, 0))

3-5-محاسبه تعداد مطلوب کانبان تولید[1]

تعداد مطلوب کانبان تولید تحت تأثیر پنج متغیر زیر است:

- تقاضا
- ظرفیت یک کانتیر کانبان تولید
- ظرفیت یک کانتینر کانبان انتقال
- تعداد کانبان انتقال
- زمان تولید یک کانتینر کانبان تولید[2]

زمان تولید یک کانتینر کانبان تولید به صورت زیر محاسبه می‌شود:

time to product one production kanban = (production kanban capacity/(1-the amount of wase))* real time production a product

همانگونه که مشاهده می شود در فرمول بالا علاوه بر ظرفیت یک کانتیر کانبان تولید دو متغیر دیگر نیز وارد شده اند: زمان واقعی تولید یک محصول که در ادامه به آن خواهیم پرداخت. میزان ضایعات: میزان ضایعات با زمان لازم برای تولید یک کانتینر کانبان تولید رابطه عکس دارد زیرا با افزایش میزان ضایعات عملاً لازم است تعداد بیشتری محصول تولید گردد تا نهایتاً یک کانتینر محصول تکمیل شود. از آن جا که فلسفه تولید به‌هنگام بدنبال حذف تمامی انواع اتلاف است هدف آرمانی آن ضایعات صفر است. زیرا اگر کیفیت صد در صد مطلوب نباشد تولید در معرض خطر قرار می‌گیرد.

3-6-محاسبه تعداد کانبان تولید

منطق محاسبه تعداد کانبان تولید همانند محاسبه تعداد کانبان انتقال است. لذا در اینجا صرفاً به بیان فرمول های مربوطه خواهیم پرداخت:

production kanban= INTEGER(input of production kanban-output of production kanban)
input of production kanban= INTEGER(IF THEN ELSE(desired production kanban>production kanban, desired production kanban-production kanban , 0))

[1]desired production kanban
[2]time to product one production kanban

output of production kanban= INTEGER(IF THEN ELSE(production kanban>desired production kanban, production kanban-desired production kanban , 0))

3-7-زمان واقعی تولید یک محصول[1]

زمان تولید واقعی یک محصول تحت تأثیر سه متغیر زیر است.

- زمان استاندارد: زمان استاندارد زمانی است که در صورت مهیا بودن همه شرایط برای تولید یک قطعه از محصول لازم است صرف شود.
- کارآیی عرضه کنندگان
- کارآیی ماشین آلات

real time production a product= standard time production a product/(suppliers Efficiency * machines Efficiency)

در شرایط ایده آل یعنی شرایطی که کارایی عرضه کنندگان و ماشین آلات هر دو صد در صد است زمان واقعی با زمان استاندارد برابر است. در نظام تولید به‌هنگام تلاش در جهت آن است که تمام ضایعات از بین برود. لازم بذکر است که با توجه به ماهیت خط تولیدی شبیه سازی شده بهره وری کارکنان در محاسبه کارایی ماشین آلات منظور شده است و به همین خاطر به صورت مستقیم در محاسبه زمان در نظر گرفته نشده است.

3-8-کارایی عرضه کنندگان [2]

در ادبیات نظام تولید به‌هنگام تأمین کنندگان همکاران تولیدکنندگان هستند. آنها اعضای کارخانه محسوب می‌شوند. از آنها انتظار می رود که به دفعات در روز کالا به کارخانه حمل کنند. بر این اساس کارایی عرضه کنندگان را می‌توان به صورت نسبتی از مواد اولیه درخواستی که به موقع و با کیفیت مناسب تأمین می گردد به کل نیاز به مواد اولیه تعریف نمود. در مطالعه حاضر مدیریت مدعی است که تأمین کننده ای دارد که تا سقف 1200 واحد از مواد اولیه را به موقع و با کیفیت مناسب ارایه می دهد و مازاد بر آن چنانچه تا 100 واحد باشد با ضریب 0.9 و اگر بیشتر باشد با ضریب 0.7 تأمین می گردد. به این ترتیب خواهیم داشت:

suppliers Efficiency= IF THEN ELSE(need of materials<the expected supply, 1 , ((the expected supply/need of materials)+Improvment rate of suppliers efficiency))
Improvment rate of suppliers efficiency= IF THEN ELSE(need of materials<the expected supply, 0 , IF THEN ELSE((need of materials-the expected supply)<critical value, ability improvment under critical value* (1-(the expected supply/need of materials)) , ability improvment upper critical value * (1-(the expected supply/need of materials))))

3-9-کارایی ماشین آلات[3]

کارآیی ماشین آلات عموما به صورت نسبتی از زمانی که ماشین کار می کند به کل زمان در دسترس تعریف می‌شود. زمان های توقف ماشین آلات شامل زمان های تنظیم و خوابیدگی به دلیل بازرسی و یا خرابی و تعمیر می باشد. به دلیل

[1]real time production a product
[2] suppliers Efficiency
[3]machines Efficiency

نقش نیروی انسانی در زمان کاری ماشین آلات بهره وری کارکنان می تواند کل زمان در دسترس را تغییر دهد. بر این اساس خواهیم داشت:

machines Efficiency= 1-((minmum of disability+the average time set)/(net working time*staff productivity))

3-10-حداقل زمان خوابیدگی[1]

در این مطالعه حداقل زمان خوابیدگی تابعی از میزان بازرسی ها و دفعات خرابی در نظر گرفته شده است. بازرسی های نگهداری مرحله قابل توجهی از مجموع اقدامات نگهداری را می توانند تشکیل دهند. در نتیجه اینگونه بازرسی‌ها است که می توان به نقایص موجود در قطعات و دستگاهها و یا حتی اشکالات در شرف تکوین پی برد و نسبت به تعویض قطعات تعمیر و یا هر اقدام دیگری مبادرت ورزید. بنابراین بازرسی ها سبب کاهش خرابی ها می شوند. هم چنین با تعمیرات برنامه ریزی شده می توان از فراوانی تعداد خرابی ها در واحدهای زمانی کاست. از سوی دیگر تعداد خرابی ها با توجه به استهلاک و نرخ تولید افزایش می یابد. بنابراین خواهیم داشت:

(13)

Increased failure= 0.00154*production rate+0.002*Depreciation rate
Number of failures= IF THEN ELSE((Increased failure-decreased failure)>0 , Increased failure-decreased failure , 0)
The number of inspections= -Number of failures* Ln(The average time of inspection/The average time of disability)
minmum of disability= (Number of failures*2.78^(-The number of inspections/Number of failures)*The average time of disability + Number of failures*The average time of inspection)

3-11-سطح نیروی انسانی

در قسمت پایانی مدل به مدلسازی سطح نیروی انسانی پرداخته ایم. در ابتدا سطح مطلوب نیروی انسانی با توجه به کل زمان در دسترس، زمانی که هر کارمند برای یک واحد محصول صرف می کند و نرخ تولید محاسبه شده و در مرحله بعد تلاش شده است تا با توجه به رویه های استخدام و اخراج سطح نیروی انسانی سازمان را به سطح مطلوب نزدیک کرد.

desired workforce level= (human time need per product*production rate)/monthly working time
Hiring= INTEGER(IF THEN ELSE((desired workforce level-workforce level)>0 , (desired workforce level-workforce level)/time to hire , 0))
laying off= INTEGER(IF THEN ELSE((workforce level-desired workforce level)>0, (workforce level-desired workforce level)/time to lay off , 0))
workforce level= INTEGER(hiring-laying off)

4- یافته‌های حاصل از شبیه سازی

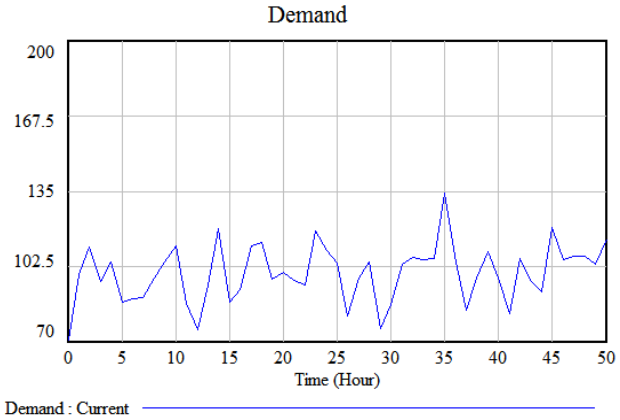
[1]minmum of disability

شبیه سازی انجام گرفته مربوط به یک سیستم تولید به‌هنگام می باشد. در این مدل برای ممانعت از پیچیدگی مدل مهمترین اجزای یک سیستم تولید به هنگام وارد مدل شده اند. لذا مدل بخوبی وضعیت سیستم و تعامل اجزای کلیدی آن با یکدیگر را نشان می‌دهد.

همانگونه که ذکر شد فرض بر آن است که تقاضا از یک تابع نرمال تبعیت می کند. تابع تقاضا در اینجا به صورت زیر تعریف شد:

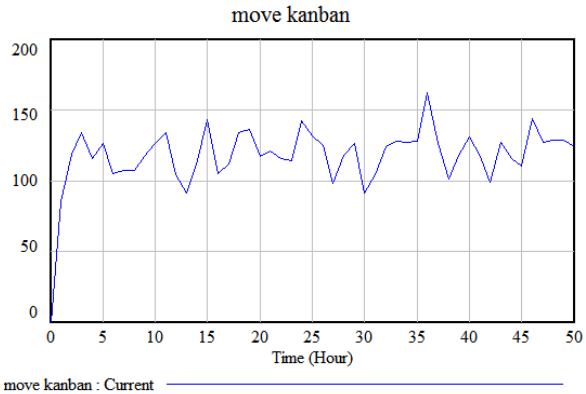
RANDOM NORMAL({min} , {max} , {mean} , {stdev} , {seed})= RANDOM NORMAL(0, 220 , 98 , 12 , 1.5)

شبیه سازی سیستم برای 50 واحد زمانی رفتاری مانند نمودار شماره 1 را نشان می‌دهد:



نمودار 1. شبیه سازی سیستم برای 50 واحد زمانی

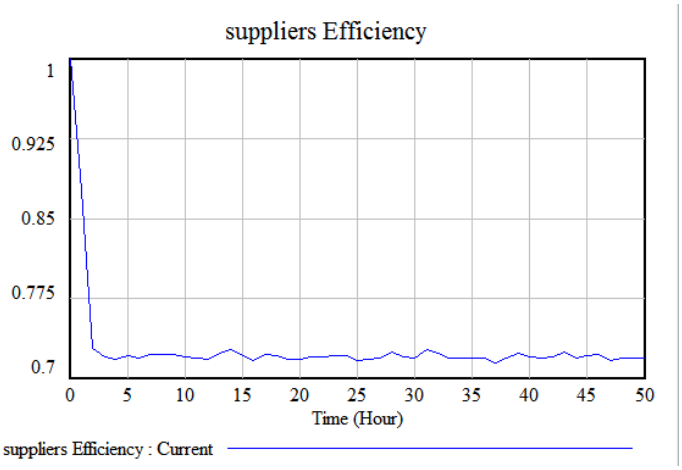
شبیه سازی تعداد کانبان های تولید و انتقال از اهداف مهم این مطالعه بوده است. این دو تقریبا رفتاری یکسان دارند. رفتار تعداد کانبان های انتقال مانند نمودار شمار2 است:



نمودار2. شبیه سازی تعداد کانبان های انتقال

همانگونه که مشاهده می شود رفتار متغیر هدف جو ست به این معنا که بعد از افزایش در ابتدای دوره تقریبا بین 100 تا 150 واحد تغییرات جزیی دارد این تغییرات ناشی از تغییرات تقاضا است.

رفتار متغیر دیگری که مورد توجه است کارایی عرضه کنندگان می باشد که در نمودار شماره 3 ارائه شده است.



نمودار 3. شبیه سازی کارایی عرضه کنندگان

همانطور که مشاهده می شود این سیاست در مدت کوتاهی کارایی مطلوبی داشته اما در ادامه هرچند به ثبات می‌رسد اما سبب اتلاف زیادی می‌شود. بنابراین بایستی در طراحی خط تولید از سیاست دیگری استفاده نمود.

5-بحث و نتیجه گیری

پویاشناسی سیستم یکی از ابزارهای مؤثر در شرایط پویا و واقعی است. فارستر برای اولین بار از پویایی سیستم برای مدلسازی و شبیه‌سازی یک روش تصمیم‌گیری بلندمدت استفاده کرد (Forrester, 1997). بعد از آن پویایی سیستم در حوزه‌های مختلف برای مسائل تدوین استراتژ ی و خط مشی گذاری در کسب و کارهای مختلف به کار گرفته شد (Rebs et al., 2019; Angerhofer & Angelides, 2000).

مینجرز و ویت (2010)، در مطالعه‌ای که به منظور بررسی کاربرد تفکر سیستمی در تحقیق در عملیات و علوم مدیریت انجام دادند زنجیره‌ی تامین، تولید و پروژه یکی از حوزه‌های کاربرد پویایی شناسی سیستم معرفی کردند (Mingers & White, 2010). گاپتا و گاپتا (1989)، یک چهارچوبی که ترکیبی از سیستم بهنگام و کانبان بود را با استفاده از پویاشناسی سیتم ارائه کردند (Gupta & Gupta, 1989)؛ فتحی و ابراهیم پور (1985)، نیز با استفاده از پویایی شناسی سیستم کنترل موجودی کانبان را شبیه‌سازی کردند (Ebrahimpour & Fathi, 1985). در تحقیق حاضر سعی شد که با دیدگاهی به مراتب جامع‌تر نظام تولید به‌هنگام به عنوان یک سیستم کششی بررسی کند. سیستم کششی اشاره دارد به این که یک محصول بلافاصله پس از دریافت سفارش به مشتری تحول داده می شود. در دسترس بودن اطلاعات و بازخورد و ارتباط بین ایستگاه ها در زنجیره ای از فرآیندهای تولید، برای تعیین اندازه و برنامه ریزی میزان تولید، مطمئناً در یک محیط تولیدی بهنگام مهم است. به این منظور ویژگی سازمانی که در آن سیستم کششی بکار رفته است را می توان استفاده از کانبان دانست. کانبان ابزاری قدرتمند برای دستیابی به محیط JIT و حاصل تغییر در نگرش نسبت به اثربخشی کلی سازمان است.

6-منابع

Abdou, G., & Dutta, S. P. (1993). A systematic simulation approach for the design of JIT manufacturing systems. *Journal of Operations Management*, *11*(3), 225-238.

Abdul-Nour, G., Lambert, S., & Drolet, J. (1998). Adaptation of jit phylosophy and kanban technique to a small-sized manufacturing firm; a project management approach. *Computers & industrial engineering*, *35*(3-4), 419-422.

Aghajani, M., Keramati, A., & Javadi, B. (2012). Determination of number of kanban in a cellular manufacturing system with considering rework process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *63*(9), 1177-1189

Aghazadeh, S. M. (2003). JIT inventory and competition in the global environment: a comparative study of American and Japanese values in auto endustry. Cross Cultural Management: An International Journal.

Alabas, C., Altiparmak, F., & Dengiz, B. (2000, July). The optimization of number of kanbans with genetic algorithms, simulated annealing and tabu search. In *Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation. CEC00 (Cat. No. 00TH8512)* (Vol. 1, pp. 580-585). IEEE.

Angerhofer, B. J., & Angelides, M. C. (2000, December). System dynamics modelling in supply chain management: research review. In *2000 Winter Simulation Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37165)* (Vol. 1, pp. 342-351). IEEE.

Azadeh, A., Bidokhti, B., & Sakkaki, S. M. R. (2005). Design of practical optimum JIT systems by integration of computer simulation and analysis of variance. *Computers & Industrial Engineering*, *49*(4), 504-519.

Bitran, G. R., & Chang, L. (1987). A mathematical programming approach to a deterministic kanban system. *Management Science*, *33*(4), 427-441.

Chang, T. M., & Yih, Y. (1994). Generic kanban systems for dynamic environments. *The International Journal of Production Research*, *32*(4), 889-902.

Chen, Z., & Bidanda, B. (2019). Sustainable manufacturing production-inventory decision of multiple factories with JIT logistics, component recovery and emission control. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *128*, 356-383.

Coyle, R. G. (1997). System dynamics modelling: a practical approach. *Journal of the Operational Research Society*, *48*(5), 544-544.

Ebrahimpour, M., & Fathi, B. M. (1985). Dynamic simulation of a Kanban production inventory system. *International Journal of Operations & Production Management*.

Ettl, M., & Schwehm, M. (1994). A design methodology for Kanban-controlled production lines using queueing networks and genetic algorithms.

Forrester, J. W. (1997). Industrial dynamics. *Journal of the Operational Research Society*, *48*(10), 1037-1041.

Gupta, Y. P., & Gupta, M. C. (1989). A system dynamics model for a multi-stage multi-line dual-card JIT-kanban system. *The international journal of production research*, *27*(2), 309-352.

Geum, Y., Lee, S., & Park, Y. (2014). Combining technology roadmap and system dynamics simulation to support scenario-planning: A case of car-sharing service. *Computers & Industrial Engineering*, *71*, 37-49.

Graham, I. (1992). Comparing trigger and kanban control of flow-line manufacture. *The International Journal Of Production Research*, *30*(10), 2351-2362.

Gross, J. M., & McInnis, K. R. (2003). *Kanban made simple: demystifying and applying Toyota's legendary manufacturing process*. Amacom.

Gupta, S. M., Al-Turki, Y. A., & Perry, R. F. (1999). Flexible kanban system. *International Journal of Operations & Production Management*.

Helms, M. M. (1990). Communication: the key to JIT success. *Production and Inventory Management Journal*, *31*(2), 18.

Henderson, B. D. (1986). The logic of Kanban. *The Journal of Business Strategy*, *6*(3), 6.

Kim, G. C., & Schniederjans, M. J. (1993). A Multiple Objective Model for a Just-in-Time Manufacturing System Environment. *International Journal of Operations & Production Management*.

Kimura, O., & Terada, H. (1981). Design and analysis of Pull System, a method of multi-stage production control. *The International Journal Of Production Research*, *19*(3), 241-253.

Köchel, P., & Nieländer, U. (2002). Kanban optimization by simulation and evolution. *Production Planning & Control*, *13*(8), 725-734.

Kojima, M., Nakashima, K., & Ohno, K. (2008). Performance evaluation of SCM in JIT environment. *International Journal of Production Economics*, *115*(2), 439-443.

Kumar, C. S., & Panneerselvam, R. (2007). Literature review of JIT-KANBAN system. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 32(3-4), 393-408.

Lai, C. L., Lee, W. B., & Ip, W. H. (2003). A study of system dynamics in just-in-time logistics. *Journal of materials processing technology*, *138*(1-3), 265-269.

Li, A., & Co, H. C. (1991). A dynamic programming model for the kanban assignment problem in a multistage multiperiod production syste.

Liberopoulos, G., & Dallery, Y. (1995, October). On the optimization of a single-stage generalized kanban control system in manufacturing. In *Proceedings 1995 INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation. ETFA'95* (Vol. 3, pp. 437-444). IEEE.

Lich, K. H., Urban, J. B., Frerichs, L., & Dave, G. (2017). Extending systems thinking in planning and evaluation using group concept mapping and system dynamics to tackle complex problems. *Evaluation and program planning*, *60*, 254-264.

Lee, I. (2007). Evaluating artificial intelligence heuristics for a flexible Kanban system: simultaneous Kanban controlling and scheduling. *International Journal of Production Research*, *45*(13), 2859-2873.

Markham, I. S., Mathieu, R. G., & Wray, B. A. (2000). Kanban setting through artificial intelligence: A comparative study of artificial neural networks and decision trees. *Integrated Manufacturing Systems*.

Markey, M. (1996). Examining a Kanban material acquisition system. *INDUSTRIAL MANAGEMENT-CHICAGO THEN ATLANTA-*, *38*, 22-26.

Mingers, J., & White, L. (2010). A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science. *European journal of operational research*, *207*(3), 1147-1161.

Moeeni, F., Sanchez, S. M., & Vakha Ria, A. J. (1997). A robust design methodology for Kanban system design. *International Journal of Production Research*, *35*(10), 2821-2838.

Nori, V. S., & Sarker, B. R. (1998). Optimum number of kanbans between two adjacent stations. *Production Planning & Control*, *9*(1), 60-65.

Pérez-López, R. J., Olguín Tiznado, J. E., Mojarro Magaña, M., Camargo Wilson, C., López Barreras, J. A., & García-Alcaraz, J. L. (2019). Information sharing with ICT in production systems and operational performance. Sustainability, 11(13), 3640.

Philipoom, P. R., Rees, L. P., TAYLOR III, B. W., & Huang, P. Y. (1990). A mathematical programming approach for determining workcentre lotsizes in a just-in-time system with signal kanbans. *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, *28*(1), 1-15.

PHlLlPOO, P. R., Ree, L. P., & Taylo, B. W. (1996). Simultaneously determining the number of kanbans, container sizes, and the final-assembly sequence of products in a just-in-time shop. *International Journal of Production Research*, *34*(1), 51-69.

Price, W., Gravel, M., Nsakanda, A., & Cantin, F. (1992). *A mathematical programming model of a Kanban job-shop*. Working Paper, FaculteÂ des sciences de l'administration, UniversiteÂ Laval.

Pugh, R. (1988). The Executive Training System. *Mass: Pugh-Roberts Associates, Cambridge*.

Rabbani, M., Layegh, J., & Ebrahim, R. M. (2009). Determination of number of kanbans in a supply chain system via Memetic algorithm. *Advances in Engineering Software*, *40*(6), 431-437.

Rebs, T., Brandenburg, M., & Seuring, S. (2019). System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach. *Journal of cleaner production*, *208*, 1265-1280.

Saad, S. M., & Bahadori, R. (2019). Introducing a unique inventory control framework for centralized VMI and JIT production. *IFAC-PapersOnLine*, *52*(13), 1045-1050.

Schonberger, R. J. (2007). Japanese production management: An evolution—With mixed success. *Journal of Operations Management*, *25*(2), 403-419.

Shahabudeen, P., Gopinath, R., & Krishnaiah, K. (2002). Design of bi-criteria kanban system using simulated annealing technique. *Computers & Industrial Engineering*, *41*(4), 355-370.

Shi, T., & Gill, R. (2005). Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in China: the case study of Jinshan County with a systems dynamics model. *Ecological economics*, *53*(2), 223-246.

Singh, N., Shek, K. H., & Meloche, D. (1990). The development of a kanban system: a case study. *International Journal of Operations & Production Management*.

Sivakumar, G. D., & Shahabudeen, P. (2009). Design of multi-stage adaptive kanban system using simulated annealing algorithm. *International Journal of Manufacturing Research*, *4*(1), 95-116.

Spector, J. M., Christensen, D. L., Sioutine, A. V., & McCormack, D. (2001). Models and simulations for learning in complex domains: Using causal loop diagrams for assessment and evaluation. *Computers in Human Behavior*, *17*(5-6), 517-545.

Takahashi, K., & Nakamura, N. (1999, August). Applying a neural network to the adaptive control for JIT production systems. In *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Control Applications (Cat. No. 99CH36328)* (Vol. 2, pp. 1648-1653). IEEE.

Tardif, V., & Maaseidvaag, L. (2001). An adaptive approach to controlling kanban systems. *European Journal of Operational Research*, *132*(2), 411-424.

Tersine, R. J. (1994). Principles of inventory and materials management.

Wang, S., & Sarker, B. R. (2006). Optimal models for a multi-stage supply chain system controlled by kanban under just-in-time philosophy. *European Journal of Operational Research*, *172*(1), 179-200.

Wang, H., & WANG, H. P. (1990). Determining the number of kanbans: A step toward non-stock-production. *The International Journal Of Production Research*, *28*(11), 2101-2115.

Watanabe, N., & Hiraki, S. (1996). An approximate solution to a JIT-based ordering system. *Computers & industrial engineering*, *31*(3-4), 565-569.

Weflen, E., MacKenzie, C. A., & Rivero, I. V. (2021). An influence diagram approach to automating lead time estimation in Agile Kanban project management. *Expert Systems with Applications*, *187*, 115866.

Simulation of Just in Time production system using system dynamics approach to design the production line

Ardalan Feili[1*]
Assistant Professor, Department of Management, Apadana Institute of Higher Education, Shiraz, Iran
Sima Alipour[2]
Lecturer, Department of Management, Apadana Institute of Higher Education, Shiraz, Iran
Siamak Khybari[3]
PhD in Management, Department of Management, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

Abstract

Just in Time production system is one of the most advanced planning systems that is at the top of the pyramid of new production planning and control systems. Organizations are faced with a wide range of variables when implementing the Kanban system, each of which interacts with each other both directly and indirectly. The reason for interactions between different departments To find the best policy combination to create and deploy this system, modeling and simulation of the production system based on the system dynamics approach has been used. Based on this, we tried to enter the basic variables involved in the Just in Time production system into the model and thus provide a platform for management to be able to deal with various scenarios resulting from the combination of different alternatives in the areas of machine purchasing, maintenance policy, supply policy. Raw materials, hiring and firing policies, etc. to reach the best possible decision in order to design a production line to implement a Just in Time production system.

Keywords: Just in Time production, Kanban, system dynamics, simulation.

[1] feili@apadana.ac.ir (Corresponding Author)
[2] S.alipour@apadana.ac.ir
[3]