مدلسازی روش تولید به هنگام با استفاده از رویکرد پویایی سیستم

علی محقر[1*]، علی مروتی شریف آبادی[2]

۱- استادیار دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- دانشجوی دکترای مدیریت تحقیق در عملیات، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دریافت: ۸٤/٤/۱۳ پذیرش: ۸٤/۷/٦

چکیده

سیستم تولید به هنگام(JIT)[1] به منظور تولید و ارائه محصولات و خدمات مورد نیاز با حداقل موجودی ممکن ارائه شده است. مقاله حاضر با هدف ارائه نمونه‌ای از کاربرد روش مدلسازی پویایی سیستم[2] برای تحلیل و بهبود رفتار سیستم تولید به هنگام تدوین شده است. در این مقاله ارتباط بین تقاضا برای محصولات، کیفیت محصول تولیدی، موجودی و وضعیت نگهداری ماشین‌آلات و تجهیزات کارخانه، نرخ تولید و کارایی عرضه‌کنندگان در یک سیستم پویا بررسی شده است. در ابتدای مقاله صورت مسأله، فرضیه دینامیکی و نمودار علّی- معلولی[3] حاکم بر مسأله و نمودار جریان[4] سیستم ارائه شده است و در ادامه با توسعه یک مدل دینامیکی رفتار مدل از زوایای مختلف بررسی شده است.

کلید واژه‌ها: مدلسازی، پویایی سیستم، سیستم تولید به هنگام، کانبان[5].

---

* نویسنده مسؤول مقاله: E-mail: alimorovati-ut@yahoo. com

1. Just in Time
2. system dynamics modeling
3. causal diagram
4. flow diagram
5. kanban

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

سیستم تولید به هنگام برای اولین بار ۲۵ سال پیش به‌وسیله ایجی تویودا[1] و همکارانش در شرکت تویوتا مطرح شد و با توجه به اصول زیربنایی خود مورد توجه قرار گرفت. سیستم تولید به هنگام را می‌توان این گونه تعریف کرد: یک سیستم تولیدی فوق‌العاده هماهنگ که در آن کالاها و خدمات درست در موقعی که مورد نیاز می‌باشند، تحویل می‌گردند [۱]. دو اصل اساسی که سیستم تولید به هنگام براساس آن بنا شده است عبارتند از حذف اتلافها و استفاده کامل از نیروی انسانی [۲، صص ۲۹-۴۲].

اجزای یک سیستم تولید به هنگام عبارتند از منابع انعطاف‌پذیر، استقرار سلولی، سیستم تولید کششی، کنترل تولید به‌وسیله کانبان، تولید در دسته‌های کوچک، زمانهای راه‌اندازی سریع، سطوح تولید یکپارچه، کیفیت در منبع، نگهداری بهره‌ور جامع، شبکه عرضه کنندگان [۳].

مفهوم اصلی این سیستم ارائه محصول مورد نیاز در زمان درست و با کیفیت مناسب می‌باشد. سیستم تولید به هنگام می‌تواند به عنوان فلسفه‌ای مطرح شود که درصدد است تا همه ابعاد فرایندهای تولید از ورود مواد تا تولید و تحویل را یکپارچه کند. این فلسفه می‌تواند با کاهش ضایعات در تولید، بهره‌وری را بهبود بخشد و ارزش افزوده شده به محصول را افزایش دهد. یکی از عناصر سیستم تولید به هنگام کانبان است که ابزاری برای کنترل سیستم تولید کششی می‌باشد. بسیاری از محققان بر این عقیده می‌باشند که ارتباط بین سیستم تولید به هنگام و دیگر اجزای سیستم تولیدی نظیر طراحی تولید و استراتژیهای کسب و کار بسیار پیچیده‌تر از آن حدی است که متون سنتی در رابطه با این سیستم تولیدی بحث می‌کنند [۴، صص ۲۶۵-۲۶۹]. از آنجا که اجرای سیستم تولید به هنگام کاری بسیار زمان بر و پرهزینه است، یکی از راههای بررسی ابعاد مختلف این سیستم شبیه‌سازی[2] می‌باشد.

بنابراین در این مقاله سعی بر آن است که از تکنیک پویایی سیستم برای شبیه‌سازی و بررسی این سیستم پیچیده و پویا استفاده شود. مسأله اصلی که در این مقاله به آن توجه شده این است که چرا بعضی از سیستمهای تولید به هنگام اجرا شده در صنعت با شکست مواجه می‌شوند و سؤال اصلی تحقیق این است که عوامل مؤثر بر سیستم تولید به هنگام و

1. Eiji Toyoda
2. simulation

Archive of SID
www.SID.ir

روابط بین آنها به چه شکلی می‌باشد و بی توجهی به کدام عوامل باعث ناکامی در اجرای سیستم تولید به هنگام می‌شود. البته باید توجه داشت که روش تولید به هنگام یک الگوی استاندارد جهانی ندارد، بلکه خطوط راهنمایی را در اختیار می‌گذارد که باید با توجه به شرایط محیطی و درونی هر واحد صنعتی الگوی خاص آنجا را طراحی کرد. مدل ارائه شده در این مقاله براساس نظرات خبرگان صنعت فولاد و در یک کارخانه خاص ارائه شده است و ممکن است در سایر صنایع تولیدی یا حتی سایر کارخانه‌های حاضر در همین صنعت نیاز به تعدیل داشته باشد. اما در بیان کلی مدل ارائه‌شده در این مقاله می‌تواند برای نشان دادن کاربرد روش پویایی سیستم برای مدلسازی سیستم تولید به موقع مفید باشد و با تغییراتی اندک که با توجه به ساختار صنعت مورد بررسی بر روی مدل اعمال می‌شود در سایر صنایع نیز قابل استفاده باشد.

۲- مدلسازی پویایی سیستم

به علت تعاملات بین بخشهای مختلف یک سیستم لازم است که افراد تلاش کنند که رفتار سیستم را با نگرش سیستمی درک کنند. این درک فقط می‌تواند از طریق مطالعه و شناخت همه اجزا و ارتباط بین آنها در قالب یک سیستم به‌دست آید [٥، ص ٤]. مدلها همواره ابعاد ساده شده واقعیت می‌باشند. 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 [٦، ص ٦].

تکنیک پویایی سیستم برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۵۰ به‌وسیله یک گروه از محققان به رهبری فورستر[1] در دانشگاه MIT توسعه داده شد [٧]. برای اولین بار فورستر برای مدلسازی و شبیه‌سازی یک روش تصمیم‌گیری بلندمدت در مسائل پویای مدیریت صنعتی از پویایی سیستم استفاده کرد [٨]. بعد از آن پویایی سیستم برای مسائل تدوین استراتژی و خط‌مشی‌گذاری در کسب و کارهای مختلف به کار گرفته شد [٥، ص ٤١؛ ٩]. شواهدی دال بر این موضوع وجود دارد که پویایی سیستم می‌تواند به درک و فهم محیطهای پیچیده کمک کند [١٠، صص ٥١٧-٥٤٥].

1. Forrester

Archive of SID

www.SID.ir

پویایی سیستم با رفتار گسترده سیستم و اینکه چگونه آن رفتار بر تکامل سیستم در آینده تأثیر می‌گذارد، تأکید دارد و به این ترتیب تصمیم‌گیری را تسهیل می‌کند [۱۱، صص ۱۸-۲۱].

تکنیک پویایی سیستم براساس تئوری اطلاعات- بازخورد شکل گرفته است که از نمادهایی برای نگاشت سیستمهای کسب و کار در قالب نمودارها و معادلات استفاده می‌کند و زبان برنامه نویسی را برای شبیه‌سازی کامپیوتری به کمک می‌گیرد [۱۲]. تکنیک پویایی سیستم فرض می‌کند که اجزا در یک الگوی پیچیده با یکدیگر مرتبط می‌باشند و جهان از نرخها، سطوح و حلقه‌های بازخور تشکیل شده است و جریان اطلاعات از جریان فیزیکی مهمتر می‌باشد و غیرخطی بودن و تأخیر از اجزای مهم هر سیستمی است [۱۳، صص ۲۱٤-۲۳٥].

یکی از اهداف مدلسازی سیستمهای پویا بررسی سیاستهای بالقوه مختلف برای بهبود عملکرد سیستم است. از بین این سیاستها سیاستی که بهترین نتایج را ارائه دهد برای اجرا در سیستم انتخاب می‌شود [٦، ص ٦].

برای مدلسازی سیستمهای پویا نرم افزارهای متعددی ارائه شده است. در این مقاله برای شبیه‌سازی سیستم مطالعه شده از نرم افزار ونسیم[1] که یک نرم‌افزار فوق‌العاده توانمند در زمینه مدلسازی سیستمهای پویا می‌باشد، استفاده شده است.

در رابطه با به‌کارگیری روش پویایی سیستم برای تحلیل روابط اجزای به هم پیوسته سیستم تولید به هنگام، تحقیقات بسیار کمی به عمل آمده است. به همین دلیل برای بحث پیرامون این موضوع سعی شد، جهت برقراری ارتباط بین اجزای سیستم از نظرات خبرگان صنعت فولاد کشور که در عرصه تولید دارای سابقه طولانی مدتی بودند، استفاده شود. به این منظور از نظرات مهندسان و مدیران تولید خط تولید کارخانه‌های فولاد نظرخواهی به عمل آمد.

۳- نمودار علّی- معلولی و نمودار جریان مسأله

به‌طور عمده در تفکر سیستمی از ابزارهایی استفاده می شود تا ساختار یک سیستم برای

1. Vensim

Archive of SID

www.SID.ir

درک بهتر آن نمایش داده شود. دو ابزار مهم برای تفکر سیستمی یکی نمودار حلقه‌های علّی و دیگری نمودار جریان است. لازم است برای توسعه یک مدل از سیستم پویا که در عمل هم قابل استفاده باشد، نمودارهای علّی - معلولی و جریان خاص آن مسأله را تهیه کرد [۱٤]. برای استخراج متغیرهای اثرگذار بر اجرای روش تولید به هنگام در یک واحد تولیدی، یکی از کارخانه‌های حاضر در صنعت فولاد کشور به صورت مطالعه موردی برگزیده شد. با استفاده از نظرهای ۱۵ نفر از مدیران و مهندسان تولید کارخانه که به عنوان خبرگان تعیین شدند، روابط علّی- معلولی و نمودار جریان استخراج شد. به این ترتیب مکان تحقیق یکی از کارخانه‌های حاضر در صنعت فولاد کشور و جامعه آماری تحقیق خبرگان سازمان موردنظر می‌باشند که از تمام آنها نظرخواهی به عمل آمده است.

۳-۱- نمودار علّی- معلولی مسأله

با این ابزار روابط علّی میان متغیرها بسادگی نشان داده می‌شود. برای مسأله این تحقیق نمودارعلّی - معلولی در شکل ۱ ارائه شده است.

ضرورت دارد که حلقه‌های شکل فوق تشریح شود:

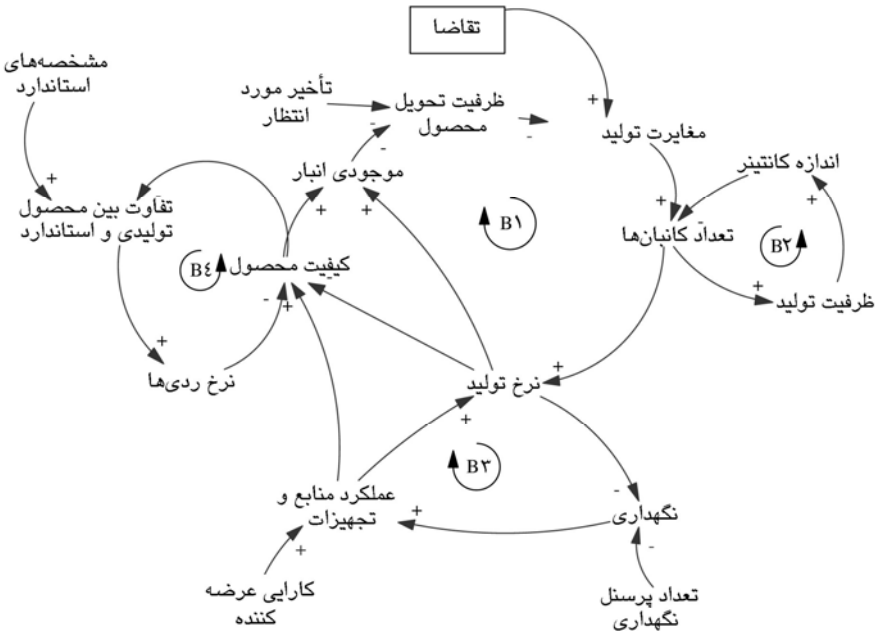
۱- حلقه B۱: رابطه مغایرت تولید با تعداد کانبانها، نرخ تولید، موجودی انبار، ظرفیت تحویل محصول: در این حلقه همان‌طور که نشان داده شده است با افزایش تقاضا که یک متغیر برونزا است و در این مدل به عوامل مؤثر بر آن پرداخته نمی‌شود، مغایرت تولید افزایش می‌یابد. منظور از مغایرت تولید این است که بین آن مقداری که سیستم در حال تولید است و مقداری که مورد نیاز می‌باشد اختلاف وجود دارد، که این مسأله محرک تولید است.

بنابراین تعدادی کانبان به مرحله قبلی فرایند تولید جهت تولید مقدار مورد نیاز محصول در سیستم فرستاده می‌شود. کانبانهای فرستاده شده نرخ تولید را افزایش می‌دهند. افزایش نرخ تولید باعث افزایش موجودی می‌شود که موجودی اضافی دستیابی به ظرفیت تحویل محصول بالاتر جهت از بین بردن مغایرت تولید را امکانپذیر می‌سازد. در مدل، ظرفیت تحویل محصول از تقسیم موجودی انبار بر تأخیر مورد انتظار به‌دست می‌آید.

۲- حلقه B۲: رابطه تعداد کانبانها با ظرفیت تولید و اندازه کانتینر: همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد با افزایش تعداد کانبانها بر اثر مغایرت تولید، ظرفیت تولید در سازمان افزایش

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱ نمودار علّی- معلولی روابط بین اجزای سیستم تولید به هنگام

می‌یابد و افزایش ظرفیت تولید باعث افزایش ظرفیت کانتینرها خواهد شد [٤]. لازم به ذکر است که تعداد کانبانها از فرمول $n = \frac{DL + S}{C}$ به‌دست می‌آید که در این فرمول n تعداد کانبانها، D تقاضا در زمان تأخیر، L زمان تأخیر، S میزان ذخیره اطمینان و Cظرفیت کانتینرمی باشد. با افزایش اندازه کانتینرها با توجه به فرمول گفته شده تعداد کانبانها کاهش می‌یابد.

۳- حلقه B۳: رابطه نرخ تولید با نگهداری و عملکرد منابع و تجهیزات: همان‌طور که حلقه B۳ در شکل نشان می‌دهد این حلقه دو جزء دیگر سیستم تولید به هنگام را نیز وارد مدل می‌کند. دو جزء اصلی در سیستم تولید به هنگام عرضه‌کنندگان منابع و تجهیزات و همچنین بخش نگهداری و تعمیرات سازمان می‌باشد. در مدل بنا به نظر خبرگان نگهداری تابعی از تعداد پرسنل بخش نگهداری و تعمیرات و عملکرد منابع و تجهیزات تابعی از کارایی

Archive

www.SID.ir

عرضه‌کنندگان در نظر گرفته شده است. در این حلقه مشاهده می‌شود که با افزایش نرخ تولید در سازمان، توجه به نگهداری کمتر شده است؛ زیرا بخشی از پرسنل نگهداری برای تولید بیشتر به‌کار گرفته شده‌اند و از طرف دیگر به علت کار زیاد ماشین‌آلات زمان نگهداری ماشین‌آلات و تجهیزات کمتر شده است. از طرف دیگر نگهداری ماشین‌آلات بر عملکرد منابع و تجهیزات اثر مثبت می‌گذارد که خود باعث افزایش نرخ تولید می‌گردد.

٤- حلقه B٤: رابطه بین کیفیت محصول و نرخ ردی‌ها و میزان عدم انطباق محصول با استاندارد: به کمک این حلقه کیفیت محصول که یکی از عناصر کلیدی سیستم تولید به هنگام است، نیز وارد مدل شده است. بدیهی است که کیفیت هرچه بیشتر محصول میزان عدم انطباق را کاهش می‌دهد و عدم انطباق بین استاندارد و محصول تولیدی میزان محصولات رد شده را افزایش می‌دهد.

۳-۲- نمودار جریان و تعریف متغیرهای اصلی مدل

در هر سیستمی مقدار برخی متغیرها افزایش و یا کاهش می‌یابد. به این متغیرها متغیرهای انباره‌ای[1] گفته می‌شود. نرخ افزایش یا کاهش این متغیرها، جریان[2] خوانده می‌شود [٥، ص ۱۹۲]. برای مثال موجودی انبار، یک انباره و نرخ ورود موجودی و نرخ تحویل از انبار یک جریان می‌باشد. نمودار جریان مدل در شکل ۲ نشان داده شده است.

در ادامه متغیرهای اصلی این مدل معرفی می‌شود:

۱- مغایرت تولید: این متغیر نشاندهنده میزان اختلاف بین تولید فعلی و تولید خواسته شده از کارخانه با توجه به تقاضای بازار می‌باشد. این متغیر با افزایش تقاضای بازار افزایش می‌یابد و با جریان کانبانها به ذخیره کانبان که نرخ تولید را افزایش می‌دهد، کاهش می‌یابد. بنابراین مقدار مغایرت تولید در مدل از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

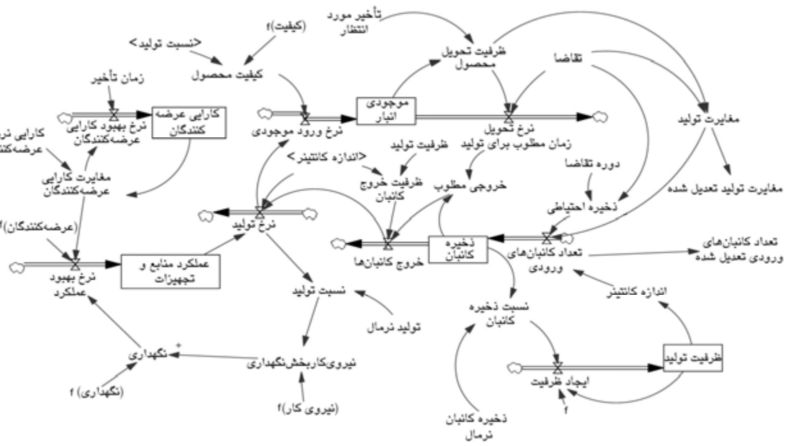
ظرفیت تحویل محصول - تقاضا = مغایرت تولید

توجه فرمایید که تمام معادلات در این مقاله باید از چپ به راست خوانده شوند.

1. stock
2. flow

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲ نمودار جریان سیستم تولید به هنگام

۲- موجودی انبار: موجودی در این مدل به عنوان یک انباره در نظر گرفته شده است که با ورود موجودی به انبار افزایش می‌یابد و با تحویل موجودی به بازار کاهش می‌یابد. نرخ ورود موجودی به انبار خود تابعی از کیفیت محصول و نرخ تولید می‌باشد و نرخ تحویل تابعی از میزان تقاضای بازار و ظرفیت تحویل محصول سازمان می‌باشد. بنابراین رابطه زیر در این خصوص وارد مدل شده است:

$$\text{موجودی انبار} = \text{موجودی اولیه} + \int (\text{نرخ تحویل} - \text{نرخ ورود موجودی})$$

۳- ذخیره کانبان: در سیستم تولید به هنگام برای اینکه دقیقاً در موقع نیاز تولید انجام گیرد به محض اینکه تقاضا برای محصول دریافت شد، کارتهای کانبان در فرایند تولید به مرحله قبلی تحویل می‌شوند تا فرایند تولید آغاز شود. در مراحل تولید جعبه‌ای به نام جعبه کانبان وجود دارد که کانبانهای رسیده در آن نگهداری می‌شوند. زمانی که محصول مورد نیاز آماده شد کانبانها از جعبه کانبان خارج شده و به همراه محصول به مرحله بعدی تولید یا انبار تحویل می‌شوند. ذخیره کانبان در مدل فوق همان جعبه کانبان است که یک انباره می‌باشد و با ورود کانبانها مقدار آن افزایش پیدا می‌کند و با خروج کانبانها مقدار آن کاهش می‌یابد. میزان کانبانهای موجود در ذخیره کانبان دو متغیر نسبت ذخیره کانبان و مقدار خروجی مطلوب کانبانها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

www.SID.ir

تعداد کانبانهای موجود در ذخیره کانبان از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{ذخیره کانبان} = \text{تعداد اولیه} + \int (\text{تعداد کانبانهای ورودی} - \text{خروج کانبانها})$$

۴- تعداد کانبانهای ورودی: تعداد کانبانهای ورودی یک جریان می‌باشد که تعداد کانبانهای موجود در ذخیره کانبان را افزایش می‌دهد و خود تابعی از مقدار ذخیره احتیاطی، اندازه کانتینر و مقدار مغایرت تولید می‌باشد. تعداد کانبانها در مدل از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{تعداد کانبانهای ورودی} = \begin{cases} \dfrac{\text{مغایرت تولید+ ذخیره اطمینان}}{\text{اندازه کانتینر}} & \text{اگر مغایرت تولید بزرگتر از صفر باشد} \\ \text{صفر} & \text{اگر مغایرت تولید صفر یا کوچکتر از صفر باشد} \end{cases}$$

۵- خروج کانبانها: این متغیر نیز از نوع جریان می‌باشد که باعث کاهش تعداد کانبانهای موجود در ذخیره کانبان می‌شود. میزان خروج کانبانها در واحد زمان تحت تأثیر ظرفیت خروج کانبان و میزان خروجی مطلوب می‌باشد. خروج کانبانها خود باعث افزایش نرخ تولید می‌شود. در مدل سیستم تولید به هنگام معادله مربوط به خروج کانبانها این گونه تعریف شده است:

$$\text{خروج کانبانها} = \text{Min}\{\text{ظرفیت خروج کانبان، خروجی مطلوب}\}$$

۶- نرخ تولید: یک متغیر از نوع جریان است که تحت تأثیر خروج کانبانها، اندازه کانتینر و عملکرد منابع و تجهیزات قرار می‌گیرد و خودروی نرخ ورود به انبار اثر مثبت می‌گذارد و نسبت تولید را در مقایسه با تولید نرمال افزایش می‌دهد.

نرخ تولید در مدل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{نرخ تولید} = \text{عملکرد منابع و تجهیزات} \times \text{اندازه کانتینر} \times \text{خروج کانبانها}$$

۷- مغایرت کارایی عرضه‌کنندگان: این متغیر نشاندهنده تفاوت بین کارایی واقعی عرضه‌کنندگان و میزان کارایی مورد انتظار عرضه‌کنندگان است. بنابراین این متغیر تحت تأثیر میزان کارایی واقعی عرضه‌کنندگان و کارایی نرمال عرضه‌کنندگان قرار می‌گیرد و بر

Archive of SID

www.SID.ir

نرخ بهبود کارایی عرضه‌کنندگان و نرخ بهبود عملکرد منابع و تجهیزات اثر می‌گذارد.

بنابراین براحتی می‌توان نتیجه گرفت که میزان مغایرت کارایی عرضه‌کنندگان از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

کارایی عرضه‌کنندگان – کارایی نرمال عرضه‌کنندگان = مغایرت کارایی عرضه‌کنندگان

۴- نتایج شبیه‌سازی با فرض ثابت بودن تقاضا

شبیه‌سازی انجام گرفته مربوط به یک سیستم تولید به هنگام می‌باشد. در این مدل برای ممانعت از پیچیدگی بی اندازه مدل، به تشخیص کارشناسان مهمترین اجزای یک سیستم تولید به هنگام وارد مدل شده‌اند. لذا مدل بخوبی وضعیت سیستم و تعامل اجزای کلیدی آن با یکدیگر را به تصویر می‌کشد.

در ابتدای این قسمت لازم است به این نکته اشاره شود که کاربرد اصلی رویکرد پویایی سیستم در مواردی است که رفتار پدیده در اثر پویایی طبیعی و تعاملات متغیرهای درونزای سیستم ایجاد شده باشد. در مورد روش تولید به هنگام نیز می‌توان با فرض اینکه سیستم روند عمومی و طبیعی خود را طی می‌کند از روش پویایی سیستم برای تحلیل سیستم استفاده کرد. در طول مقاله باید این فرض مهم را مدنظر داشت که مقادیر سیستم در حد قابل ملاحظه‌ای طی تعاملات با یکدیگر مقدارشان تعیین می‌شود نه اینکه صرفاً به‌وسیله عوامل برونزا نظیر تصمیمات مدیریت یا سیاستهای سازمان تعیین شوند.

پس از جمع‌آوری اطلاعات از منابع کتابخانه‌ای و نظرخواهی از خبرگان ارتباط بین اجزای مختلف سیستم به کمک فرمولهای از پیش تعیین شده در زمینه موضوع مطالعه شده یا به کمک توابع عددی[1] که نتیجه نظرات خبرگان می‌باشد با یکدیگر برقرار شده است و رفتار مدل مورد مشاهده قرار گرفته است. در اینجا تنها به نمایش رفتار چند مورد از متغیرهای کلیدی مدل پرداخته شده است. در اولین مرحله اجرای مدل، تقاضا ۱۰۰ واحد در نظر گرفته شده و موجودی اولیه ٤٨ واحد منظور شده است.

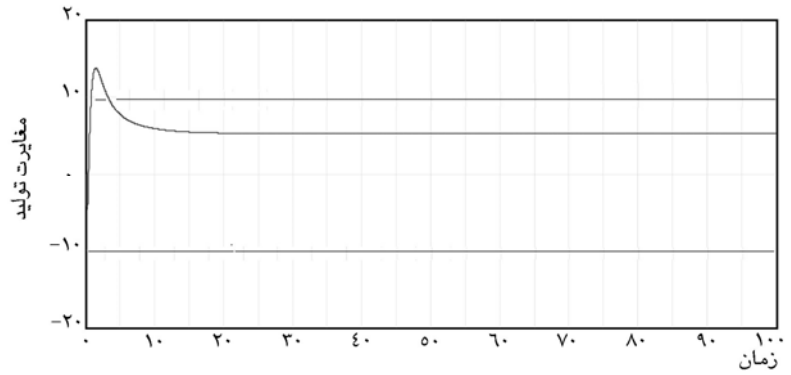
بر اثر تعاملات بین اجزای مدل نمودار مغایرت تولید به صورت شکل ۳ در آمده است که پس

1. look up

Archive of SID

www.SID.ir

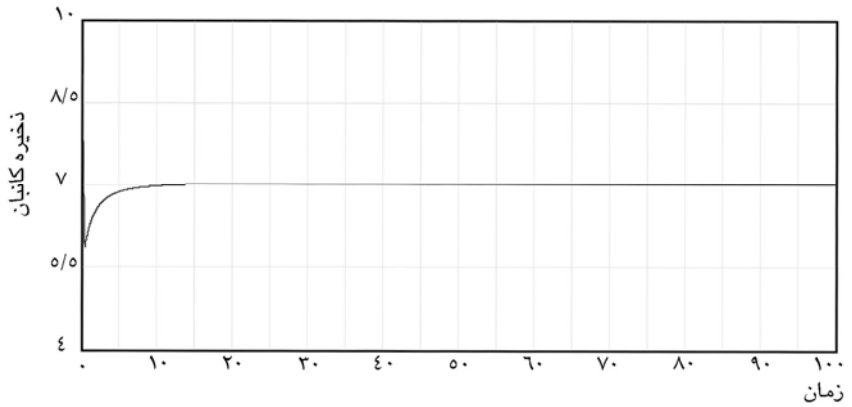
از یک افزایش و کاهش، به حالت تعادل می‌رسد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد با اجرای مدل میزان مغایرت تولید به شکل ناگهانی افزایش می‌یابد و پس از مدتی کاهش می‌یابد و بعد از آن در طول زمان در مقدار مشخصی ثابت می‌ماند. علت چنین رویدادی این است که اختلاف ظرفیت تحویل محصول و تقاضا در ابتدا کم است و باعث کاهش میزان تولید می‌شود که این موضوع با توجه به ثابت بودن تقاضا منجر به افزایش مغایرت تولید به شکل ناگهانی می‌شود. بالا رفتن مغایرت تولید باعث افزایش کانبانها می‌شود که افزایش تعداد کانبانها باعث افزایش نرخ تولید می‌شود و افزایش نرخ تولید، موجودی انبار را افزایش می‌دهد و در نتیجه مغایرت تولید را کاهش می‌دهد و بعد از گذشت مدت زمانی نه چندان زیاد مغایرت تولید به میزان ثابتی می‌رسد. تا زمانی که مغایرت تولید به مقدار ثابتی وجود دارد، سیستم تولید با یک نرخ ثابت تولید را ادامه می‌دهد.



شکل ۳ مغایرت تولید با فرض ثابت بودن تقاضا

دومین متغیری که رفتار آن در مدل مورد ملاحظه قرار گرفته است، متغیر ذخیره کانبان می‌باشد. شکل ٤ رفتار متغیر ذخیره کانبان را در حالت تقاضای ثابت نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد تعداد کانبانها پس از کاهش ناگهانی اولیه دوباره افزایش یافته و به ثبات می‌رسد.

www.SID.ir



شکل ۴ ذخیره کانبان با فرض ثابت بودن تقاضا

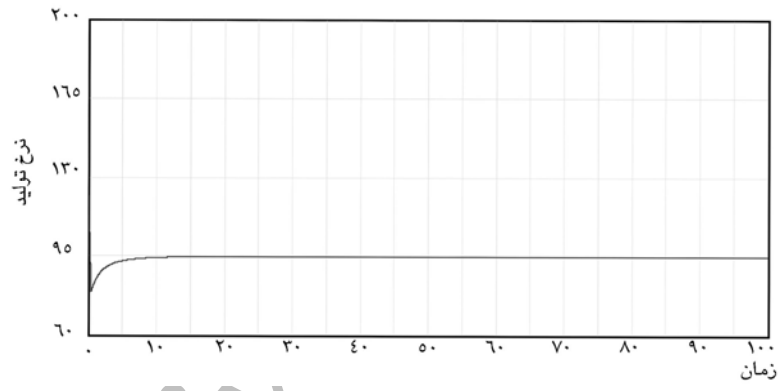
در توضیح شکل ٤ می‌توان اینگونه بیان کرد از آنجا که در ابتدا مغایرت تولید به شکل ناگهانی بالا می‌رود باعث افزایش ناگهانی تعداد کانبانهای ورودی به ذخیره کانبان و تعداد کانبانهای موجود در ذخیره کانبان می‌شود. از آنجا که این افزایش در بازده زمانی بسیار کوتاهی اتفاق می‌افتد در شکل فوق قابل مشاهده نیست. با افزایش تعداد کانبانهای موجود در ذخیره کانبان، خروجی مطلوب افزایش می‌یابد که بر خروج کانبانها اثر می‌گذارد. خروج کانبانهای بیشتر از ذخیره کانبان باعث افزایش نرخ تولید می‌شود. افزایش نرخ تولید، نرخ ورود موجودی به انبار را افزایش می‌دهد که باعث افزایش موجودی انبار و ظرفیت تحویل محصول می‌شود و در نتیجه مغایرت تولید کاهش می‌یابد. کاهش مغایرت تولید باعث کاهش در ورود کانبانها و متعاقب آن کاهش در تعداد کانبانهای موجود در ذخیره کانبان می‌شود. تولید با نرخ بالا در ابتدا آنچنان موجودی را بالا می‌برد که تعداد کانبانها ناگهان به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد ولی از آنجا که تقاضا به مقدار ثابتی در نظر گرفته شده است، مجدداً ذخیره کانبانها افزایش می‌یابد، اما در مقدار کمتری نسبت به مقدار اولیه ذخیره کانبان به تعادل می‌رسد.

سومین متغیری که رفتار آن در سیستم مورد توجه قرار گرفته است، نرخ تولید می‌باشد. شکل ٥ رفتار متغیر نرخ تولید را با فرض ثابت بودن مقدار تقاضا نشان می‌دهد. باز هم کاهش و افزایش اولیه با اجرای مدل دیده می‌شود ولی با گذشت زمان مدل به ثبات در نرخ

Archive of SID

www.SID.ir

تولید می‌رسد. این رفتار از متغیر نرخ تولید را می‌توان اینگونه توجیه کرد که افـزایش ذخیـره کانبان در زمانهای اولیه باعث افزایش خروج کانبان و افزایش نرخ تولید می‌شود. زمـانی کـه سیستم برای مدتی با نرخ تولید بالا تولید کرد، این امر باعث افزایش ظرفیت تحویل محـصول می‌شود و پیرو آن با کاهش مغایرت تولید نرخ ورود کانبانها بسیار کاهش می‌یابد کـه منجـر به کاهش بیش از اندازه نرخ تولید می‌شود. ولی با توجـه بـه ثابـت بـودن تقاضـا نـرخ تولیـد مجدداً با ورود کانبانها افزایش می‌یابد و در مقدار ثابتی مدل به تعادل می‌رسد.



شکل ۵ نرخ تولید با فرض ثابت بودن تقاضا

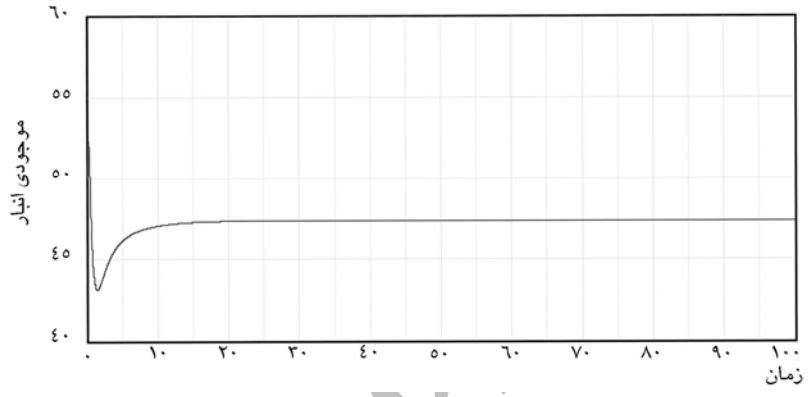
متغیر دیگری که رفتار آن در این شبیه‌سازی حایز اهمیت است، موجودی انبار مـی‌باشـد که رفتار آن به این شکل است که ابتدا به شکل ناگهانی کاهش می‌یابد ولی در ادامه با مقداری افزایش پایینتر از سطح اولیه به ثبات می‌رسد.

در رابطه با شکل ٦ می‌توان اینگونه رفتار مدل را تشریح کـرد کـه در زمانهـای اولیـه بـه دلیل داشتن موجـودی اولیـه در انبـار مغـایرت تولیـد کـم بـوده و تقاضـا و ظرفیت تحویـل محصول با هم فاصله کمی داشته‌اند. در نتیجه سازمان بدون اینکه ورود کانبانهـا را افـزایش دهد، تقاضا را براورده کرده است. در نتیجه موجودی انبار به شکل قابـل ملاحظـه‌ای کـاهش یافته است. از آنجا که مقدار تقاضا ثابت فرض شـده اسـت بـا کـاهش موجـودی و در پـی آن کاهش ظرفیت تحویل محصول، مغایرت تولید افزایش می‌یابد که افزایش مغایرت تولید باعـث

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش ورود کانبانها به ذخیره کانبان و افزایش خروج کانبانها و افزایش نرخ تولید می‌شود. تولید بیشتر، نرخ ورود موجودی به انبار را افـزایش مـی‌دهـد کـه در نتیجـه موجـودی انبـار افزایش یافته و با توجه به ثابت بودن تقاضا در مقدار ثابتی به تعادل می‌رسد.



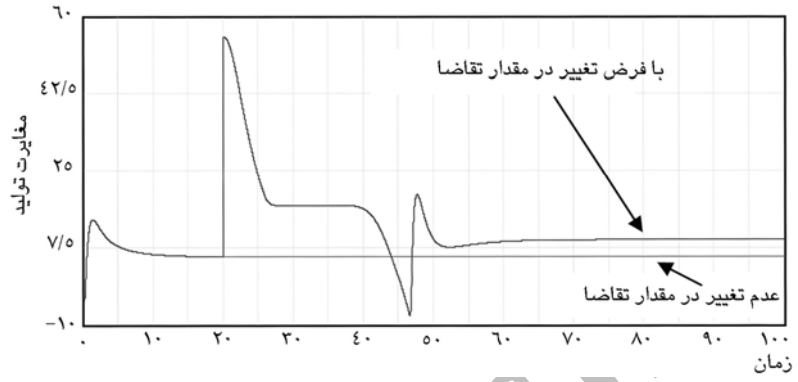
شکل۶ موجودی انبار با فرض ثابت بودن تقاضا

۵- نتایج شبیه‌سازی مدل با فرض تغییر در مقدار تقاضا

از آنجا که یکی از مهمترین عناصر یک سیستم تولید به هنگام تقاضا می‌باشد، شبیه‌سازی را با فرض تغییر در مقدار تقاضا ادامه می‌دهیم. پس با اعمال یک دستور در مدل مقـدار تقاضـا، در زمان ۲۰ از ۱۰۰ واحد به ۱۵۰ واحد تغییر داده شده است تا چگونگی رفتـار مـدل در ایـن شرایط مورد توجه قرار گیرد. اکنون رفتار چهار متغیری را که در قسمت قبل با فـرض ثابـت بودن تقاضا مورد توجه قرار گرفتند با فرض تغییر در مقدار تقاضا مشاهده مـی‌کنـیم. بـرای اینکه مقایسه مدل در این حالت با حالت تقاضای ثابت تـسهیل شـود، نمودارهـای مربـوط بـه حالت تقاضای ثابت نیز در شکلها نمایش داده شده است. اگر تمام شکلهای ۷-۱۰ با هم مورد توجه قرار گیرند، علت رفتار هر یک از این ٤ متغیر بهتر فهمیده می‌شود. شکل ۷ رفتار متغیـر مغایرت تولید را با فرض تغییر در مقدار تقاضا نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

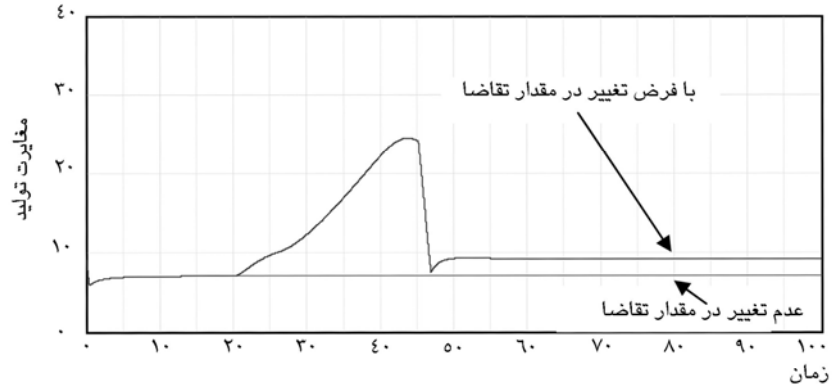


شکل ۷ مغایرت تولید بعد از اعمال تغییر در تقاضا

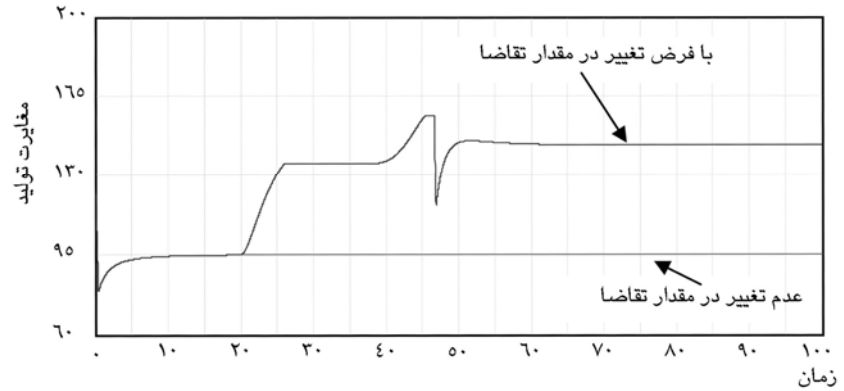
در اینجا به بررسی علل رفتارهای مشاهده شده در شکلهای ۷-۱۰ پرداخته می‌شود. همان‌طور که در تمام شکلها دیده می‌شود رفتار متغیرها نسبت به حالتی که مقدار تقاضا در طول زمان ثابت باشد، کاملاً متفاوت است. حال باید دید که چگونه تغییر در مقدار تقاضا، تغییر در رفتار سایر متغیرهای سیستم را سبب می‌شود. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که تغییر در مقدار تقاضا در اولین گام باعث افزایش ناگهانی مغایرت تولید شده است که این امری کاملاً منطقی و بدیهی است. طبیعی است که با تغییر در مقدار تقاضا مغایرت تولید به شکل ناگهانی به همان اندازه تغییر در مقدار تقاضا افزایش پیدا کند. ولی با افزایش ناگهانی مغایرت تولید از آنجا که نرخ ورود کانبانها باید افزایش یابد تا ذخیره کانبان افزایش پیدا کند، مشاهده می‌شود که ذخیره کانبان به شکل تدریجی افزایش می‌یابد. در شکلهای ۸ و ۹ ذخیره کانبان و نرخ تولید با فرض تغییر در مقدار تقاضا نشان داده می‌شود. با افزایش ذخیره کانبان همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود، نرخ تولید به علت افزایش خروج کانبانها شروع به افزایش می‌کند. افزایش نرخ تولید منجر به افزایش نرخ ورود موجودی به انبار می‌شود. در پی افزایش نرخ ورود موجودی به انبار، همان‌طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، موجودی انبار افزایش می‌یابد. در شکل ۱۰ رفتار موجودی انبار را با فرض تغییر در مقدار تقاضا نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

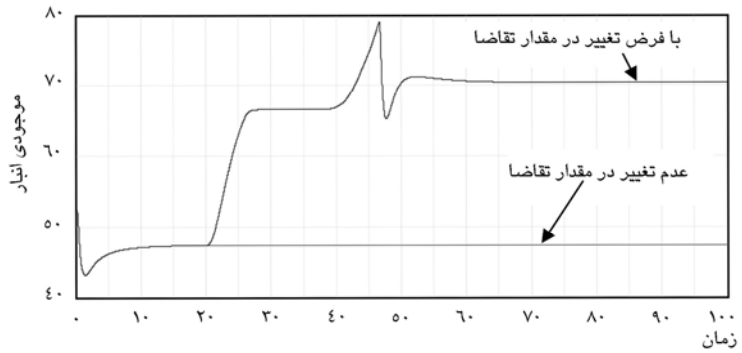


شکل ۸ ذخیره کانبان بعد از اعمال تغییر در تقاضا



شکل ۹ نرخ تولید بعد از اعمال تغییر در تقاضا

www.SID.ir



شکل ۱۰ موجودی انبار بعد از اعمال تغییر در تقاضا

به علت افزایش ذخیره کانبان و نرخ تولید و در پی آن موجودی انبار مغایرت تولید شروع به کاهش می‌کند. همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد حتی زمانی که مغایرت تولید رو به کاهش است، ذخیره کانبان رشد خود را ادامه می‌دهد. این اتفاق به این دلیل روی داده است که نرخ ورود کانبانها که تحت تأثیر ذخیره احتیاطی و مغایرت تولید می‌باشد، همواره همراه با تأخیر، به تغییرات ذخیره احتیاطی و مغایرت تولید واکنش نشان می‌دهد. اما نرخ تولید و موجودی انبار در حدود زمان ۲۵ به همراه مغایرت تولید به تعادل می‌رسند که نشاندهنده آن است که سیستم خود را با میزان تقاضای جدید همراه کرده است. اما در ادامه از آنجا که ذخیره کانبان همچنان رشد کرده است و نسبت ذخیره کانبان را افزایش داده است، بالاخره در زمان ٤٠ منجر به ایجاد ظرفیت تولید در سازمان می‌شود. همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، زمان ٤٠ نقطه عطف منحنی ذخیره کانبان می‌باشد. با ایجاد ظرفیت در سازمان و افزایش ظرفیت تولید، ظرفیت کانتینرها نیز افزایش می‌یابد که با افزایش ظرفیت کانتینرها نرخ ورود کانبانها به ذخیره کانبان کاهش پیدا کرده و از طرف دیگر نرخ تولید افزایش می‌یابد که به این ترتیب خروج کانبانها بهبود می‌یابد و در نتیجه ذخیره کانبان روند نزولی خود را از زمان ٤٥ در پیش می‌گیرد. با افزایش ظرفیت تولید در زمان ٤٠ نرخ تولید افزایش می‌یابد و به‌طور طبیعی موجودی انبار نیز افزایش می‌یابد که این افزایش در موجودی انبار مغایرت تولید را باز هم با روند نزولی مواجه می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

اما کاهش ناگهانی در ذخیره کانبان باعث کاهش نرخ تولید و در نتیجه میزان موجودی می‌شود. این کاهش در نرخ تولید و موجودی انبار موجب افزایش مغایرت تولید در سیستم می‌شود. افزایش مغایرت تولید منجر به افزایش کمی در ذخیره کانبان می‌شود که این افزایش در ذخیره کانبان نرخ تولید و موجودی انبار را افزایش می‌دهد. افزایش در موجودی انبار مغایرت تولید را کاهش داده و سیستم را به حالت تعادل می‌رساند. اما باید توجه داشت که سطح تعادل سیستم نسبت به سطح تعادلی قبل از افزایش ظرفیت، بالاتر است.

۶- نتایج سایر تغییرات در مدل

۶-۱- تغییر در زمان لازم برای آگاهی عرضه کنندگان از میزان انحراف آنها نسبت به کارایی نرمال

همان‌طور که در نمودار جریان دیده می‌شود، یکی از عوامل اثرگذار بر نرخ بهبود کارایی عرضه‌کنندگان، زمان تأخیر است. منظور از زمان تأخیر در مدل مدت زمانی است که طول می‌کشد تا عرضه‌کنندگان ماشین‌آلات و تجهیزات، از مغایرت کارایی خود با کارایی نرمال آگاه شوند. تغییر در مقدار این متغیر اثر چندانی بر متغیرهای کلیدی مدل ندارد. چون هرچند که با افزایش زمان تأخیر عرضه کنندگان با شیب کندتری کارایی خود را بهبود می‌بخشند ولی به هر حال آنها از تفاوت کارایی خود با کارایی نرمال آگاه می‌شوند و کارایی خود را افزایش می‌دهند.

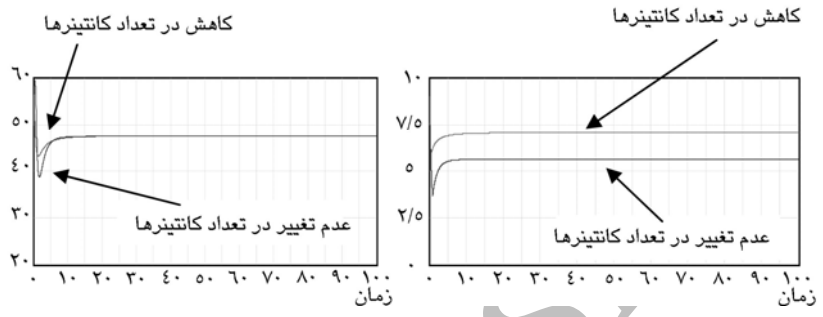
۶-۲- تغییر در تعداد کانتینرها

اگر تعداد کانتینرها کاهش یابد مسلم است که برای جبران مغایرت تولید در سیستم باید اندازه (حجم) کانتینرها را افزایش داد. برای بررسی دیگر آثار کاهش تعداد کانتینر در سیستم تعداد کانتینر یک بار برابر ۱۰ و بار دیگر با ۲۰ درصد کاهش برابر ۸ قرار داده شده است. رفتار متغیرهای ذخیره کانبان و مغایرت تولید در شکل ۱۱ دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش تعداد کانتینرها، مغایرت تولید افزایش می‌یابد ولی تعداد کانبانهای موجود در ذخیره کانبان بدون تغییر باقی می‌ماند، با این تفاوت که قبل از رسیدن به تعادل

Archive of SID

www.SID.ir

نوسان کوچکتری از خود نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ تغییرات اجزای سیستم بر اثر تغییر در تعداد کانتینرها
الف: مغایرت تولید؛ ب: تعداد کانبانهای موجود در ذخیره کانبان

علت این رویدادها را می‌توان اینگونه توجیه کرد که با کاهش تعداد کانتینرها، ظرفیت کانتینرها افزایش می‌یابد. با افزایش ظرفیت کانتینرها نرخ ورود کانبانها کاهش می‌یابد که در نهایت موجودی را کاهش می‌دهد که این امر باعث افزایش مغایرت تولید می‌شود و در یک بازخور مجدداً نرخ ورود کانبانها به ذخیره کانبان را به مقدار اولیه می‌رساند. بنابراین هر چند که کاهش در تعداد کانتینرها و افزایش در ظرفیت آنها نرخ ورود کانبانها را کاهش می‌دهد ولی افزایش در مغایرت تولید این کاهش در نرخ ورود کانبانها را جبران می‌کند.

۷- تست مدل و اعتبار آن

هرچند که تکنیک پویایی سیستم یک مبنای عملی و تئوریک برای مدلسازی سیستمهای پیچیده در یک محیط یادگیرنده فراهم می‌آورد، اما زمانی می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر مورد استفاده قرار گیرد که بتوان به‌وسیله آن فرایندهای مختلف را مورد بررسی قرار داد و به کمک آن سناریوهای مختلف را با دیدگاه سیستمی ارزیابی کرد [۱۵، صص ۱۴۳-۱۷۴؛ ۱۶، صص ۵۴۵-۵۵۵].

برای این که یک مدل ساخته شده در تجزیه و تحلیل سیاستها مفید باشد باید آن مدل

Archive of SID

www.SID.ir

برای افرادی که درگیر موقعیت مربوطه می‌باشند، قابل اعتماد باشد. به شکل سنتی مدل به کمک توانایی آن در شبیه‌سازی رفتار تجربی سیستم مورد آزمون قرار می‌گیرد. بعد از آنکه مدل تستهای اعتبار را پشت سر گذاشت، می‌توان از آن برای بررسی اثر سیاستهای مختلف بر سیستم استفاده کرد و یا سناریوهای «چه می‌شود – اگر» را مطرح کرد یا به کمک آن تصمیمات کلیدی را بهینه کرد [۱۷، صص ۳۰۱-۳۲۰؛ ۱۸، صص ۸۱-۹۲]. مدلهای پویایی سیستم را می‌توان به کمک داده‌های جمع آوری شده به صورت میدانی و با استفاده از ادبیات موجود به شکلی تعدیل کرد و اعتبار بخشید که در نهایت ابزاری را برای تست کردن سناریوها و شبیه‌سازیهای مختلف توسعه داد [۱۹، صص ۹۵-۱۱۳].

تست مدل و اعتبار آن قابلیت اعتماد به مدل را افزایش می‌دهد و اعتماد به کاربردی بودن مدل را بالا می‌برد. اعتبار ساختاری مدل بر اعتبار رفتاری آن اولویت دارد و تنها زمانی که ساختار مدل دارای اعتبار است می‌توان اعتبار رفتار مدل را مورد بررسی قرار داد [٦، ص ۱۲].

در این پژوهش تستهای مختلفی که برای ارزیابی اعتبار مدل استفاده شدند عبارتند از:

۱- تست حد نهایی: در این تست مقدار چند متغیر اصلی مدل، یعنی(مقدار تقاضا، کارایی عرضه‌کنندگان، تولید نرمال، موجودی و ...) در حالتهای حدی مختلف (بسیار زیاد و بسیار کم) تغییر داده شده و میزان حساسیت مدل در برابر این تغییرات بررسی شد. برای مثال همان‌طور که مدل در دو مقدار تقاضای ۱۰۰ واحد و ۱۵۰ واحد رفتار کاملاً منطقی ارائه کرد، در تقاضای بسیار کم و بسیار زیاد نیز رفتار منطقی از مدل مشاهده شد. مشاهدات نشان داد که رفتار مدل به میزان اولیه متغیرهای اصلی حساس نیست و با تغییر در مقدار متغیرهای اصلی تنها میزان شیب یا دامنه نمودارها تغییر می‌کند.

۲- تست سازگاری توابع عددی: برای محاسبه مقادیر مربوط به متغیرهای منتزع، از توابع عددی استفاده شد. در بررسیهای متعدد روی مدل این نتیجه به‌دست آمد که برخی مقادیر موجود در جدولها باعث رفتار غیرمنطقی مدل می‌شوند. پس آن مقادیر حذف شده و مدل مجدداً مطالعه شد.

۳- تستهای بخشی اجزای مدل: هدف این مدل بررسی کلی مسأله شبیه‌سازی یک سیستم تولید به هنگام با در نظر گرفتن اجزای به هم پیوسته آن بود، که در این راستا نیاز به زیرمدلهایی بود که هر کدام از آنها در حد یک مسأله بزرگ و پیچیده بودند (به عنوان مثال

Archive of SID

www.SID.ir

کارایی عرضه کنندگان و بر هم کنش آن با سایر متغیرها، مسأله‌ای است که می‌تواند اجـزای بسیار زیادی داشته باشد). با توجه به پیچیدگی کل مدل این نتیجه حاصل شد تا این زیرمدلها را به طور مجزا ساخته و تستهای مختلف (از جمله تست حد نهایی) را روی آنها انجام داده و پس از اطمینان از صحت عمل، آنها را در مدل اصلی قرار دهیم.

٤- تست حالت تعادل: برای بررسی منطقی بودن تعریف متغیرها و ساختارها، به صورت دستی مقدار تمام متغیرها در حالت تعادل منطقی مدل محاسبه شد. با مشخص کردن مقـادیر تعادلی تمام متغیرها و وارد کردن آن در مدل، رفتار مدل شبیه‌سازی شده و رفتار منطقـی از آن مشاهده شد.

٥- نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم تولید به هنگام، با مدیران و مهندسان تولید که بـه عنوان خبرگان در این تحقیق از نظرات آنها استفاده شد، مورد بررسی قرار گرفتند کـه نتـایج به‌دست آمده از مدل از نظر انطباق با نتایج مورد انتظار در دنیـای واقعـی مـورد تأییـد قـرار گرفتند.

با توجه به تستهای انجام گرفته روی مدل می‌توان اینگونه بیان کرد کـه پایـایی و اعتبـار مدل مورد تأیید است و مدیران می‌توانند به نتایج حاصل از آن اتکا کنند. باید توجه داشت که زمانی یک مدل پویا نظیر مدل ارائه‌شده در این مقاله را می‌توان برای شبیه‌سازی به‌کار گرفت که پایایی و اعتبار آن اثبات شده باشد. در صورت موفقیت مدل در تستهای مختلف این روش می‌تواند همانند سایر روشهای مدلسازی ابزاری توانمند برای مدلسازی مسائل دنیای واقعـی باشد. در مقایسه این روش با سایر روشهای مدلسازی بایـد بـه ایـن نکتـه توجـه داشـت کـه روش پویایی سیستم کارکرد خاص خود را دارد و نباید از این روش مدلـسازی انتظـار حـل دقیق مسائل را داشت؛ زیرا که این انتظار از رویکرد پویـایی سیـستم، منجـر بـه کـج‌فهمـی و انتقاد به این مدل شده است. کارکرد اصـلی ایـن مـدل ایجـاد یـک آزمایـشگاه مجـازی بـرای بررسی سیاستهای مختلف با هزینه کم و در زمان محدود و از آن مهمتـر گـسترش و تعمـق بینش مدیران نسبت به سازوکارهای موجود در سیستم می‌باشد [٥، ص ٥].

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شد که یک مدل پویا از ارتباط بین اجزای سیستم تولید به هنگام به نمایش

Archive of SID

www.SID.ir

گذاشته شود. پس از شبیه‌سازی سیستم تولید به هنگام به کمک تکنیک پویایی سیستم و با استفاده از نرم افزار ونسیم، آثار تغییر در متغیرهای مختلف بر متغیرهای کلیدی مدل بررسی شد که نتایج به‌دست آمده را به شرح زیر می‌توان برشمرد:

۱- نوسان در تقاضا به‌طور اساسی در سیستم تولید به هنگام آثار منفی بر جای می‌گذارد؛ زیرا باعث نوسان در موجودی، تعداد کانبانها، نرخ تولید و مغایرت تولید می‌شود. در این حالت هر چند نوسانها مقطعی و کوتاه مدت می‌باشند ولی دارای دامنه بزرگی از نظر طولی می‌باشند.

۲- لازم است که سازمان اجرا کننده سیستم تولید به هنگام به عرضه کنندگان خود راجع به میزان کارایی آنها در ارائه مواد و تجهیزات به سازمان بازخورد بدهد ولی لازم نیست که این بازخوردها بسیار سریع (مثلاً به شکل روزانه) به عرضه کنندگان اعلام شود.

۳- کاهش در تعداد کانتینرها، تعداد کانبانهای موجود در جعبه کانبان را تغییر نمی‌دهد ولی میزان مغایرت تولید را افزایش می‌دهد.

٤- یکی از ابزارهای فوق العاده کارامد به منظور شبیه‌سازی و مشاهده رفتار سیستم تولید به هنگام در شرایط مختلف، نظیر وضعیتهای ذکر شده در این مقاله، روش پویایی سیستم می‌باشد. سایر محققان می‌توانند با استفاده از این تکنیک اثر سایر متغیرها بر سیستم تولید به هنگام را مطالعه کنند.

٥- تجربه ثابت کرده است که موفقیت در اجرای سیستم تولید به هنگام وابسته به بالا بودن کیفیت در هر یک از مراحل فرایند، روابط قوی با عرضه کنندگان و تقاضای نسبتاً قابل پیش‌بینی برای محصول نهایی می‌باشد [۲۰]. نتایج به‌دست آمده از مدلسازی حاضر نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

در پایان لازم است به این نکته اشاره شود که نتیجه کاربردی و عملی این مدل پویا این است که با استفاده از این مدل می‌توان به نحو بهتری تأثیر متقابل متغیرهای حاضر در یک روش تولید به هنگام را درک کرد. می‌توان از این مدل برای نشان دادن آثار بلندمدت تصمیمات مدیریت بر کل سیستم استفاده کرد و مدیریت را در اتخاذ تصمیمات صحیح یاری داد. در حقیقت کارکرد اساسی و اصلی رویکرد پویایی سیستم این است که در جهت اصلاح مدل ذهنی

Archive of SID

www.SID.ir

مدیران و جلب توجه آنها به آثار جانبی[1] تصمیم‌گیریها، برمی‌آید [۵، صص ۱۰-۱۱].

۹- منابع

[1] Stevenson W.J.; Operations management; Mc Grow Hill, New York: 2004.

[2] Aghazadeh S.M.; "JIT inventory and competition in the global environment: a competitive study of American and Japanese values in auto industry"; *Cross Cultural Management*, No. 10, 2003.

[3] Russel R., TaylorB.; Operations management; Prentice Hall, New jersey, 2000.

[4] Lai C.L., Lee W.B., Ip W.H.; "A study of system dynamics in just-in-time logistics"; *Materials Processing Technology*, No. 135, 2003.

[5] Sterman J.; Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world; Mc Graw-Hill, New York: 2000.

[6] Shi T., Gill R.; :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*, No. 53, 2005.

[7] Coyle R.; System dynamics modeling: a practical approach, London: Chapman & Hall, 1996.

[8] Forrester J.W.; Industrial dynamics; MIT Press, Cambridge, MA, 1961.

[9] Barlas Y.; System dynamics: systemic feedback modeling for policy analysis in knowledge for sustainable development-an insight into the encyclopedia of life support systems; Oxford, UK: UNESCO Publishing-Eolss Publishers, France: Paris, 2002.

[10] Spector J.M., Christensen D.L., Sioutine A.V., McCormack D.; "Models and simulations for learning in complex domains: using causal loop diagrams for

1. side effect

Archive of SID

www.SID.ir

assessment and evaluation"; *Computers in Human Behavior*, No. 17, 2001.

[11] Helms M.M.; Communication: the key to JIT success"; *Prod. Invent. Manage J.*, Vol. 31, No. 2, 1990.

[12] Pugh R.; The executive training system, mass: Pugh-Roberts associates; Cambridge, 1988.

[13] Lane D.C., Oliva R.; "The greater whole: towards a synthesis of system dynamics and soft systems methodology"; *European Journal of Operational Research*, No. 107, 1998.

[14] Dyson B., Chang B.; "Forecasting municipal solid waste generation in a ast-growing urban region with system dynamics modeling"; *Waste Management*, 2004.

[15] Van Den B., J.C.J.M., Nijkamp P.; "an integrated dynamic model for economic development and natural environment: an application to the Greek Sporades Islands"; *Ann. Oper, Res. 54*, 1994b.

[16] Costanza R., Wainger L., Folke C., Maler K.G.; "Modeling complex ecological economic systems: toward an evolutionary, dynamic understanding of people and nature"; *BioScience*, Vol. 43, No. 8, 1993.

[17] Morecroft J.D.W.; "System dynamics and microworlds for policymakers"; *European Journal of Operational Research*, Vol. 35, No. 3, 1988.

[18] Coyle R.G.; "The use of optimisation methods for policydesign in a system dynamics model"; *System Dynamics Review*, Vol. 1, No. 1, 1985.

[19] Evans T.P., Manire A., De Castro F., Brondizio E., McCrachen S.; "A dynamic model of household decision-making and parcel level landcover change in the eastern Amazon"; Ecol. Model, No. 143, 2001.

[20] Chase R.B., Jacobs F.R., Aquilano N.J.; Operations management for competitive advantage; Mc Grow Hill, New York: 2004.

Archive of SID

www.SID.ir