Archive of SID

فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۴۹، زمستان ۱۳۸۷، ۲۲۱-۱۹۹

به‌کارگیری پویایی‌های سیستمی در تجزیه، تحلیل و بهبود زنجیره تأمین قطعات یدکی شرکت ایران‌خودرو

دکتر ابراهیم تیموری* هاله هاشمی علیا**

دریافت: ۸۵/۱۲/۲۵ پذیرش: ۸۷/۱۰/۲۳

مدیریت زنجیره تأمین / پویایی‌های سیستمی / شبیه‌سازی گسسته / نقطه سفارش مجدد / سیاست VMI

چکیده

در این مقاله، یک مدل شبیه‌سازی گسسته برای زنجیره تأمین قطعات یدکی خودرو براساس متدولوژی پویایی‌های سیستمی ارائه می‌گردد. زنجیرهٔ مورد مطالعه دو سطحی و شامل یک خرده‌فروش (تعمیرگاه مرکزی ۱) و یک عمده فروش (ایساکو) می‌باشد. مدل زنجیره‌ای به منظور توسعهٔ سیاست سفارش‌دهی نقطه سفارش در دو سطح تعمیرگاه مرکزی و ایساکو شبیه‌سازی شده است. مدل ساخته‌شده، یک مدل ریاضی غیرخطی است که با شبیه‌سازی روی کامپیوتر و با نرم‌افزار Vensim تحلیل می‌گردد. این مدل که به منظور تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم توزیع قطعات یدکی

* استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت Teimoury@iust.ac.ir

** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی Haleh_Hashemiolia@yahoo.com

■ هاله هاشمی علیا ـ مسئول مکاتبات.

www.SID.ir

Archive of SID

خـودرو توسـعه داده شـده، امکـان پیـشگویی بهبـود عملکـرد زنجیـره را بـا اجـرای سیاست‌های موثر مهیا می‌سازد.

طبقه‌بندی JEL: C15

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین (SCM)[1] یکپارچه‌سازی حوزه‌های عملیاتی مختلف در یک سازمان برای تقویت جریان کالااز تامین‌کننده تا مصرف‌کننده نهایی است. نخستین هدف مدیریت زنجیره، تامین تقاضا در فرآیند تولید سودآوری است. در این راستا، به دلیل وجود تأخیرات زمانی در زنجیره‌های تأمین و نیز تأثیرات متقابل عوامل داخل زنجیره، تکنیک پویایی‌های سیستمی[2] به خوبی می‌تواند دینامیک مدیریت زنجیره تأمین را براساس تأثیرات متقابل عوامل داخل زنجیره مورد بررسی قرار دهد.

در این مقاله، موضوعاتی ازقبیل توسعه سیاست‌های موجودی تا طراحی زنجیرهٔ تأمین با ابزار پویایی‌های سیستمی مدلسازی می‌شوند. این موضوع از دو جنبه دارای اهمیت است: الف) به‌کارگیری پویایی‌های سیستمی موجب می‌شود تا مشخصه‌های نمادین[3] زنجیره از قبیل حلقه‌های بازخور، تأخیرات و روابط غیرخطی در نظر گرفته شوند و ب) به‌کارگیری این روش منجر به توسعه سیستم SCMای می‌شود که به تغییرات تقاضای بازار سریع پاسخ می‌دهد،در حالی که موجودی‌های خود را در حداقل نگه می‌دارد.

در زنجیرهٔ تامین قطعات یدکی هدف اصلی از پیاده‌سازی پویایی‌های سیستمی الف) توسعه سیاست‌های موجودی به منظورشبیه‌سازی رفتار متغیرهای کلیدی زنجیره؛ و ب) طراحی سیاست‌هایی بهبود عملکرد زنجیره با مد نظر قرار دادن دو معیار کارآیی و اثربخشی می‌باشد. در این راستا عواملی از قبیل عدم به اشتراک‌گذاری اطلاعات، سفارش دسته‌ای، تقاضاهای متورم در هنگام کمبود، بهینه‌سازی محلی و نهایتاً عدم هماهنگی بین عناصر زنجیره شناسایی شدند که براساس کاربرد و توسعه مدل می‌توان تاثیرات این عوامل را بر روی عملکرد زنجیره سنجید.

پویایی‌های سیستمی برای اولین بار توسط فارستر[4] مطرح شد و به سرعت طی پنجاه سال اخیر رشد نمود. این علم، رویکردی است برای کشف رفتار دینامیکی غیرخطی یک سیستم و

---

1. Supply Chain Management (SCM)
2. System Dynamics
3. Typical Features
4. Forrester, (2007), pp. 345-358.

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعهٔ این که چگونه ساختار و پارامترهای سیستم منجر به الگوهای رفتاری می‌شوند. هدف اساسی دیگر آن، طراحی سیاست‌های مؤثر و محکم می‌باشد که عملکرد را در سیستم‌های مدیریتی بالا می‌برد. پویایی‌های سیستمی یکی از ابزارهای کارساز در شرایط پویا و واقعی می‌باشد. در سال‌های اخیر، فارستر[1] تحقیقی در زمینهٔ موارد استفاده از پویایی‌های سیستمی و رشد آن در پنجاه سال آینده انجام داده است. این امر موجب شد تا هومر[2] نقدی در مقابل ادعای فارستر در مورد توسعهٔ آیندهٔ پویایی‌های سیستمی ارائه دهد. به هر حال یک نقطه نظر بنیادی که از مبحث پویایی‌های سیستمی حاصل می‌شود این است که رفتار دینامیکی سیستم نتیجهٔ ساختار به وجودآورندهٔ آن است.

اولین کار منتشر شده از مدل‌سازی پویایی‌های سیستمی در مدیریت زنجیرهٔ تأمین مربوط به فارستر در سال ۱۹۵۸می‌باشد. سپس فارستر[3] مدل پایهٔ خود را که یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی و ساده بود، بنا نمود. او بسیاری از موضوعات تحقیقی امروزی در مدیریت زنجیرهٔ تأمین را بررسی نمود.

استرمن[4] یک مدل عمومی از سیستم مدیریت موجودی را ارائه نمود که این مدل ساختار پایهٔ تصمیم‌گیری در یک محیط را شکل می‌دهد. این ساختار عمومی در بسیاری از سناریوهای مختلف شامل سفارش‌دهی مواد اولیه،کنترل تولید و یا در سطح کلان اقتصادی، به منظور کنترل سرمایهٔ انباشته شده کاربرد دارد. مدل از دو قسمت تشکیل شده است: ۱) ساختارهای فیزیکی موجودی و جریان مواد سیستم، ۲) قواعد حاکم بر تصمیم‌گیری به منظور کنترل سیستم. استرمن اظهار داشت که «در واقعی‌ترین موقعیت‌های مدیریت موجودی پیچیدگی بازخورها در میان متغیرها مانع از تعیین یک استرتژی بهینه می‌شود». و سپس یک مدل تصمیم به سفارش را براساس روش‌های ابتکاری به طور محلی منطقی[5] مطرح نمود.

هنگامی که فارستر زنجیرهٔ تأمین را به عنوان بخشی از یک سیستم صنعتی مورد توجه قرارداد، موضوعات مختلفی از قبیل: توسعهٔ سیاست‌های موجودی،فشردگی زمان[6]،تشدید

---

1. Forrester, (2007), pp. 359-370.
2. Homer, (2007).
3. Forrester, (1961).
4. Sterman, (1989).
5. Locally Rational Heuristics
6. Time Compression

www.SID.ir

Archive of SID

تقاضا، طراحی زنجیرهٔ تأمین یکپارچه و نهایتاً مدیریت زنجیرهٔ تأمین بین‌المللی مورد تحقیق قرار گرفت.

متز[1] مدیریت زنجیرهٔ تأمین یکپارچه[2] را بدین صورت تعریف کرد: « ... مدیریت زنجیرهٔ تأمین یکپارچه یک رویکرد فرآیندگرا[3] و یکپارچه به منظور خرید، تولید و تحویل محصول یا ارائهٔ خدمت به مشتری است ... مدیریت زنجیرهٔ تأمین یکپارچه، مدیریت مواد،اطلاعات و نیز جریان‌های مالی می‌باشد».

تاویل[4] بحث طراحی مجدد زنجیره‌های تأمین را مطرح نمود. او راه‌حل فشردگی زمان را به عنوان یک پاسخ سریع، مؤثر وکارا به تغییرات بازار مدنظر قرار داد. تاویل مطرح نمود که استراتژی‌های فشردگی زمان بر اساس شبیه‌سازی، پیشگویی بهبودهای عملکرد زنجیره را امکان‌پذیر می‌سازند. او با استفاده از مدل فارستر، یک رتبه‌بندی از استراتژی‌های مهندسی مجدد را تهیه نمود. براساس نتایج شبیه‌سازی، تاویل کاربرد استراتژی‌های مهندسی مجدد را به صورت زیر تعریف نمود: ۱)کاهش در همهٔ زمان‌های تدارک (مواد، اطلاعات و جریان‌های مالی)؛ ۲)حذف تأخیرات زمانی در نقاط تصمیم؛ ۳)تأمین اطلاعات موردنیاز همهٔ تصمیم‌گیرندگان بالادستی.

اولین بررسی نمادین در زمینهٔ توسعهٔ سیاست‌های مدیریت موجودی توسط بارلاس و اکسوگان[5] انجام گرفت. بارلاس و اکسوگان یک مطالعهٔ موردی در صنعت پوشاک انجام دادند که در آن یک مدل شبیه‌سازی دینامیکی از زنجیره تأمین توسعه داده شد. هدف آنها از این شبیه‌سازی توسعهٔ سیاست‌های موجودی به منظور افزایش درآمد خرده فروش و کاهش هزینه‌های او بود. هدف دیگر آنها مطالعهٔ تأثیرات به‌کارگیری استراتژی‌های مختلف بود. نهایتاً، در بارلاس و اکسوگان سیاست‌های جدید سفارش‌دهی در سیستم‌های پیوسته ـ گسسته مطرح شده است. این سیاست‌ها برای نوسانات تقاضا نیز پایدار و استوار می‌باشند.

---

1. Metz, (1998).
2. Integrated Supply Chain Management
3. Process-Oriented
4. Towill, (1996).
5. Barlas, (1999).

www.SID.ir

Archive of SID

در اندرسون و همکاران[1] یک نمونهٔ بارز تحقیقی از تشدید تقاضا در زنجیره‌های تأمین ارائه شد.در این مقاله یک مدل دینامیکی به منظور بررسی تشدید تقاضا در زنجیره‌های تأمین تجهیزات سرمایه‌ای توسعه داده شده است و با مورد آزمون قرار دادن سیاست‌های مختلف، عملکرد این صنعت بهبود داده شده است.

در ککراواستیا و دایاواتی[2] بحث طراحی مجدد زنجیره‌های تأمین مطرح شده است. در این مقاله یک مدل دینامیکی توسعه داده شده که امکان جایابی گلوگاه‌های بالقوه و تشخیص عملکرد لجستیک در صنعت کشتی‌سازی را مهیا می‌سازد.در این بررسی عملکرد لجستیک با سه شاخص کلیدی به نام کیفیت محصول، هزینه و زمان تحویل تعریف شده است. در ککراواستیا و دایاواتی مطرح شده که مدل پویایی‌های سیستمی بایستی سه جریان فیزیکی، اطلاعاتی و مالی را در بر بگیرد. مدل توسعه داده شده، رفتار زمانی متغیرهای کلیدی که شامل سفارشات،کار در جریان ساخت،تحویل‌ها، تأخیر در تحویل و نیز فروش کل و خالص سود می‌باشد را نشان می‌دهد. نهایتاً درککراواستیا و دایاواتی استفادهٔ بیشتر از مدل، به منظور ارزیابی عملکرد لجستیک و نیز طراحی سیاست‌های لجستیک پیشنهاد شده است.

در اکرمنز و همکاران[3] به موضوعات مهمی در زمینهٔ مدیریت زنجیرهٔ تأمین بین‌المللی (ISCM)[4] پرداخته شده است. در این مقاله با استفاده از مدل‌های علت و معلولی آزمایشی از اهداف، موانع وتسهیل کنندگان[5] در امر رسیدن به ISCM کارآمد، یک نظریه جدید به نام «دور مقبول و دور باطل»[6] پیشنهاد شده است. در این بررسی عوامل موفقیت کلیدی در مدیریت زنجیرهٔ تأمین بین‌المللی در قالب یک مدل علت و معلولی ارائه شده است.

در دیزنی و تاویل[7] تأثیر سیاست مدیریت انبار فروشنده (VMI)[8] بر روی دینامیک زنجیره مطالعه شده است. در استراتژی VMI عرضه‌کننده مسئولیت انبار مشتری خود را بر عهده دارد. در مطالعات صورت گرفته مشاهده شده که طراحی سیستم با استراتژی VMIموجب می‌شود تا

---

1. Anderson, (1997).
2. Cakravastia, (1999).
3. Akkermans, (1999).
4. International Supply Chain Management
5. Enablers
6. Virtuous and Vicious Cycles
7. Diseny and Towill, (2003).
8. Vendor Managed Inventory:VMI

www.SID.ir

Archive of SID

قله‌های سفارش‌دهی در این زنجیره‌ها نسبت به زنجیره‌های تأمین سنتی بسیار هموارتر گردد.

در دیجونکهیر و همکاران تأثیر غنی‌سازی اطلاعات بر روی اثر شلاق چرمی[1] مورد مطالعه قرار داده شده است (اثر شلاق چرمی در قالب مسألهٔ تشدید تقاضا در زنجیره‌های تأمین مورد بحث قرار می‌گیرد). در این مقاله نشان داده شده که در یک زنجیره تأمین متمرکز به اشتراک‌گذاری اطلاعات تقاضا در طول زنجیره اثر شلاق چرمی را بر روی سیاست‌های سفارش‌دهی تا رسیدن به سطح S[2] کاهش می‌دهد ولی از بین نمی‌برد.

در پرسن و ارلدی متدولوژی مرجع عملیاتی زنجیره (SCOR)[3] و ابزار شبیه‌سازی وقایع گسسته[4] به منظور بررسی تأثیرات دینامیکی متغیرهای زنجیره ادغام شده است. مدل SCOR، به صورت پایه عملکرد استاتیک زنجیره را مورد مطالعه قرار می‌دهد و ترکیب آن با یک ابزار شبیه‌سازی می‌تواند رفتار دینامیکی زنجیره را نشان دهد.

تاکنون در بیشتر تحقیقات انجام شده از مدل‌سازی دینامیکی مدیریت زنجیره تأمین، فرموله کردن پیوسته در مورد زمان و موجودی‌های انباشته شده صورت گرفته است. درحالیکه ارائه گسسته در مورد متغیرهای کلیدی زنجیره شامل نرخ سفارش، نرخ تحویل و وضعیت موجودی و سفارشات در راه به واقعیت نزدیک‌تر است. از این جهت در این مقاله از این وجه به موضوع نگاه شده است.

لازم به ذکر است که نرم‌افزار Vensim PLE مورد استفاده در این تحقیق، یک نسخه آموزشی از نرم‌افزار شبیه‌سازی Vensim می‌باشد. این ابزار شبیه‌سازی به منظور توسعه و تحلیل مدل‌های بازخور دینامیکی[5] مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل‌ها به صورت گرافیکی در این نرم‌افزار ساخته می‌شوند و ویژگی‌هایی از قبیل توابع دینامیکی،آنالیز حساسیت مونت کارلو، بهینه‌سازی و غیره، تحلیلگر را در ساخت و توسعه مدل‌های دینامیکی یاری می‌کند.

در ادامه مقاله، در بخش ۲ یک مدل شبیه‌سازی گسسته تک شرکتی توسعه داده شده است. این مدل، ساختار پایه تصمیم‌گیری در محیط انبار را شکل می‌دهد و زنجیره تامین دو سطحی

---

1. Bullwhip Effect
2. Order-up-to Policy
3. Supply Chain Operations Reference(SCOR)
4. Discrete Event Simulation Tool
5. Dynamic Feedback Models

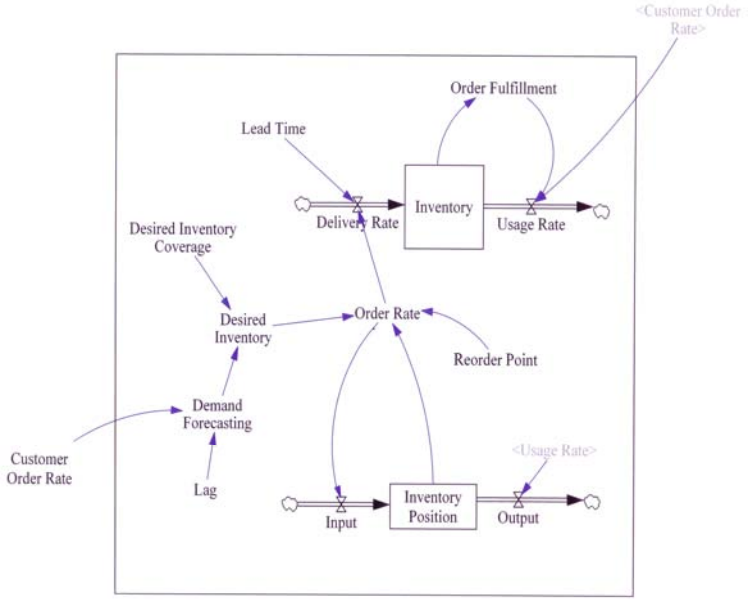
www.SID.ir

Archive of SID

از تلفیق دو نمونه از این ساختار ساخته می‌شود. سپس مدل شبیه‌سازی گسسته برای مطالعهٔ موردی بسط می‌یابد و در سطح پایین زنجیره به منظور واقعی‌تر شدن توسعه می‌یابد و در ادامه رفتار شبیه‌سازی شده مدل در سطح پایین زنجیره بر اساس اطلاعات واقعی با واقعیت مقایسه می‌شود، تست مدل زنجیره‌ای و آنالیز حساسیت صورت می‌گیرد و در آخر در بخش۶ سیاست‌های پیشنهادی به منظور بهبود عملکرد زنجیره مطرح می‌شوند.

۱. ارائه مدل شبیه‌سازی گسسته

در این قسمت یک سیستم گسسته مدیریت موجودی مطرح می‌شود که در خصوص طراحی زنجیره مفید می‌باشد. تصمیمات مدیریت موجودی که توسط انبار انجام می‌گیرند شامل: برآورده‌سازی سفارشات مشتری و ارسال سفارش به بالادستی می‌باشد. شکل ۱، ساختار کلی مدیریت موجودی انبار را نشان می‌دهد که فرآیند سفارش‌دهی در آن براساس یک سیستم نقطه سفارش صورت می‌گیرد.



شکل ۱- ساختار کلی مدیریت موجودی انبار

www.SID.ir

Archive of SID

در مدل از سه تابع زیر که در نرم‌افزار Vensim تعریف شده‌اند، استفاده شده است:

۱) تابع SMOOTH: معرف تأخیر اطلاعاتی است بدین معنی که با یک تأخیر زمانی، تقاضای مورد انتظار را به تقاضای واقعی نزدیک می‌کند. در این تابع هرچه تأخیر اطلاعاتی کمتر باشد، نوسانات بیشتری در تقاضای مورد انتظار ایجاد می‌شود.

۲) تابع DELAY FIXED: معرف آن است که منحنی نرخ تحویل با یک تاخیر فازی زمان تدارک دقیقاً مشابه با نرخ سفارش رفتار می‌کند.

۳) تابع IF THEN ELSE: معرف آن است که سفارش‌دهی به صورت گسسته انجام می‌شود. با کمک این تابع، سفارش‌دهی به سطح بالاتر تنها زمانی صورت می‌گیرد که سطح موقعیت موجودی (موجودی در دست به اضافه سفارشات در راه) به نقطه سفارش برسد. در این حالت به اندازه موجودی مطلوب، سفارش داده می‌شود و در غیر این صورت هیچ سفارشی داده نمی‌شود.

روابط ریاضی:

۱) موجودی انبار = ∫ (مقدار اولیه، نرخ مصرف ـ نرخ تحویل)

۲) موقعیت موجودی = ∫ (مقدار اولیه، نرخ مصرف ـ نرخ سفارش‌دهی)

۳) پیش‌بینی تقاضا = SMOOTH (تأخیر اطلاعاتی، نرخ سفارش مشتری)

۴) موجودی مطلوب = پیش‌بینی تقاضا × پوشش مطلوب

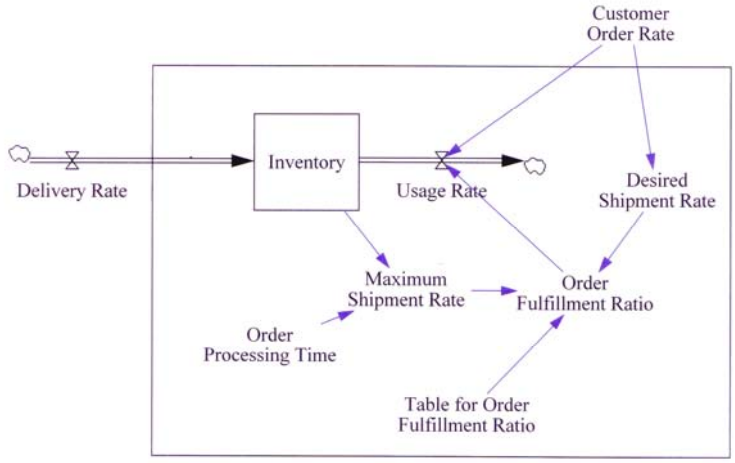
۵) نرخ سفارش = If Then Else (موقعیت موجودی ⇐ نقطه سفارش مجدد، موجودی مطلوب، ۰)

۶) نرخ تحویل = Delay Fixed (زمان تدارک، نرخ سفارش، ۰)

در ساختار کلی مدیریت موجودی انبار یک زیرساختار برآورده‌سازی سفارش نیز وجود دارد که نرخ مصرف را مقید به موجودی انبار می‌کند. شکل ۲، این زیرساختار را با جزئیات بیشتری نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



Sterman, (2000)

شکل ۲- زیرساختار برآورده‌سازی سفارش

روابط ریاضی:

۷) نرخ تقاضای مشتری = نرخ ارسال مطلوب[1]

۸) زمان پردازش سفارش / موجودی = حداکثر نرخ ارسال[2]

۹) (نرخ ارسال مطلوب / حداکثر نرخ ارسال) جدول برآورده‌سازی سفارش = نسبت برآورده‌سازی[3]

۱۰) (۱ و ۲) و (۱ و ۱) و (۰ و ۰) = جدول برآورده‌سازی سفارش

۱۱) نسبت برآورده‌سازی سفارش × نرخ ارسال مطلوب = نرخ ارسال

محدودیت‌های مدل

۱) هیچ انباشتگی از سفارشات برآورده نشده مشتری وجود ندارد.

۲) در شروع شبیه‌سازی، مقدار اولیه سفارشات در راه صفربوده و بنابراین مقدار اولیه موجودی و موقعیت موجودی (مجموع موجودی و سفارشات در راه) یکسان است.

---

1. Desired Shipment Rate
2. Maximum Shipment Rate
3. Order Fulfillment Ratio

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترهای مدل:

Reorder Point : نقطه سفارش

Lead Time : زمان تدارک

Desired Inventory Coverage : پوشش مطلوب موجودی (ویا دوره سفارش)

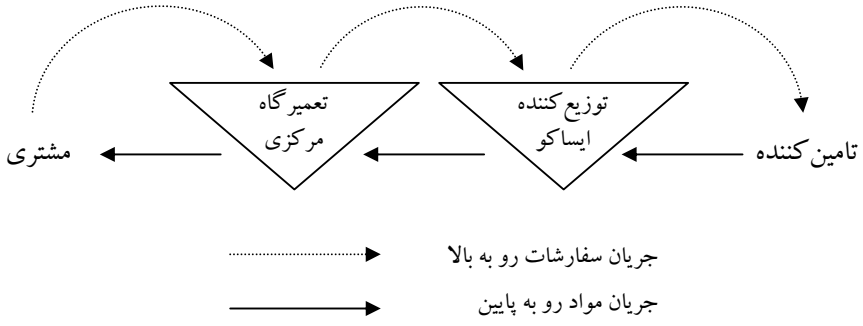
Order Processing Time: زمان پردازش سفارش

Lag : تاخیر اطلاعاتی

۲. توسعه مدل برای مطالعه موردی

در این قسمت، سیستم مدیریت موجودی انبار تعمیرگاه مرکزی و تامین‌کننده آن (شرکت ایساکو) در چارچوب ساختار کلی (شکل ۳) فرموله می‌شود. مدل پایه در سطح پایین زنجیره (تعمیرگاه مرکزی) به منظور واقعی‌تر شدن و اتصال به سطح بالاتر توسعه می‌یابد و پس از آن، زنجیره تأمین از تلفیق این دو نمونه ساخته می‌شود.

قبل از بررسی مدل در سطح ریاضی، ساختار مدل به صورت شماتیک نشان داده شده است. در مدل دو سطح برای زنجیره فرض گردیده است که در سطح اول تعمیرگاه مرکزی و در سطح دوم توزیع‌کننده ایساکو قرار داردکه با سطح قبل از خود از طریق مبادلهٔ سفارش و کالا در ارتباط می‌باشد.



شکل ۳- ساختار شماتیک مدل دو سطحی

www.SID.ir

Archive of SID

۱-۲. مدل مدیریت موجودی ایساکو در زنجیره تامین

شرکت ایساکو به عنوان حلقهٔ ارتباطی مابین تامین‌کنندگان قطعات یدکی و عاملین فروش آنها، محسوب می‌شود این شرکت هیچ انباشتگی از سفارشات برآورده نشده نزد خود نگه نمی‌دارد و تمام سفارشاتی که بعد از طی مدت زمان مشخص (سه روز) توسط این شرکت برآورده نشوند، از دست رفته محسوب می‌شوند.

ساختار مدیریت موجودی ایساکو در چارچوب ساختار کلی مدیریت موجودی فرموله می‌شود (شکل ۱). با این تفاوت که در این ساختار نرخ سفارشات مشتری که به شرکت می‌رسد، اطلاعات تقاضای مشتری نهایی نمی‌باشد و در واقع اطلاعات سفارشاتی است که توسط شرکت‌های پایین‌دستی تعیین می‌شود. (نظر به گسسته بودن نرخ سفارش تعمیرگاه مرکزی، در معادلهٔ متغیر نسبت برآورده‌سازی سفارش ایساکو فرض شده است که اگر نرخ سفارش تعمیرگاه برابر صفر شد، برآورده‌سازی سفارش انبار ایساکو یک شود).

سیاست شرکت ایساکو به منظور پیش‌بینی تقاضا بر پایهٔ متوسط‌گیری از فروش به علاوهٔ یک سوم فروش از دست‌رفته می‌باشد. بدین‌منظور نیاز به متغیر سفارشات از دست رفته است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

مصرف ایساکو - نرخ سفارشات رسیده به شرکت = سفارشات از دست رفته (۱۲)

بنابراین در تابع پیش‌بینی تقاضای مدل ایساکو (رابطه ۳)، نرخ سفارش مشتری معادل با مصرف ایساکو به علاوهٔ یک سوم $(\frac{۱}{۳})$ سفارشات از دست رفتهٔ شرکت در نظر گرفته می‌شود. در شروع شبیه‌سازی، برای این تابع مقدار اولیه صفر قرار داده می‌شود.

در سیستم موجودی شرکت ایساکو دورهٔ سفارش برای تمامی قطعات تقریباً دو ماهه است که با توجه به نیاز آن قطعه، مقدار سفارش در هر بار سفارش‌دهی مشخص می‌شود.در مدل ریاضی مفهوم معادل با دورهٔ سفارش، پوشش مطلوب موجودی است.

به منظور اتصال تعمیرگاه مرکزی (۱) به انبار ایساکو، مقیاس انبار با در نظر گرفتن درصدی از تخصیص انبار به این تعمیرگاه کوچک شده است. بنابراین در مدل تنها بخشی از انبار ایساکو دیده می‌شود که برآورده‌سازی سفارش و تامین نیاز این تعمیرگاه را انجام دهد. به منظور کوچک نمودن مقیاس انبار، موجودی اولیه انبار و نقطه سفارش مجدد آن

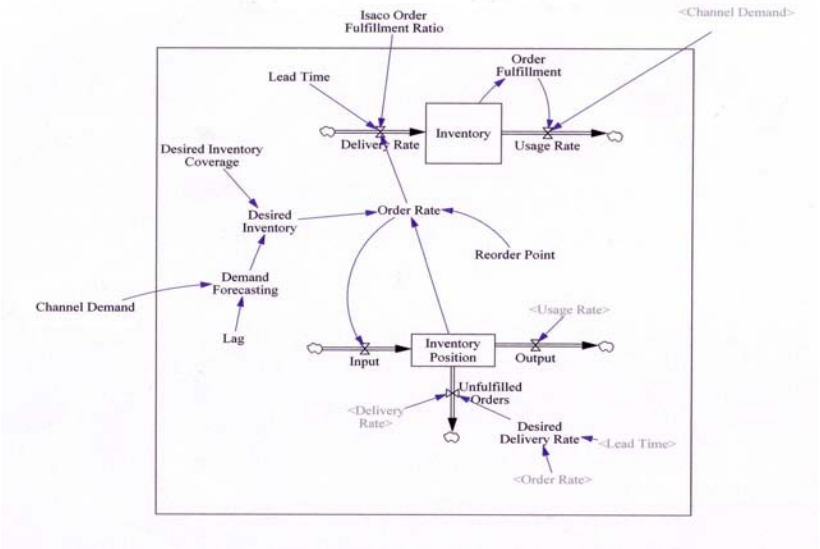
www.SID.ir

Archive of SID

در یک ضریب تخصیص ثابت ضرب شده و بقیه پارامترهای آن از قبیل دورهٔ سفارش و زمان تدارک ثابت نگه داشته شده است.

۲-۲. مدل مدیریت موجودی تعمیرگاه مرکزی در زنجیره تامین

ساختار این مدل در چارچوب ساختار گسستهٔ مدیریت موجودی فرموله می‌شود (شکل ۱). سپس به منظور واقعی‌تر شدن مدل، تامین نیاز انبار تعمیرگاه مقید به برآورده‌سازی سفارش ایساکو می‌شود. بدین معنی که در شرایط کمبود موجودی ایساکو، تنها بخشی از نیاز تعمیرگاه تامین می‌شود. در سیستم انبار تعمیرگاه، زمان تدارک سه روز می‌باشد و سفارشاتی از تعمیرگاه که بعد از این مدت برآورده نشده‌اند، تحقق‌نیافته محسوب شده و از موقعیت موجودی انبار تعمیرگاه خارج می‌شوند. شکل (۴)، ساختار سیاستی مدیریت موجودی تعمیرگاه مرکزی در زنجیره تامین را نشان می‌دهد. فرآیند سفارش‌دهی در این ساختار براساس یک سیستم نقطه سفارش صورت می‌گیرد و این در حالی است که فرآیند تامین آن مقید به برآورده‌سازی سفارش سطح بالاتر (ایساکو) شده است.



شکل ۴- ساختار مدیریت موجودی انبار تعمیرگاه در زنجیره تامین

www.SID.ir

Archive of SID

روابط ریاضی:

(۰ و مان تدارک و برآورده‌سازی سفارش ایساکو× نرخ سفارش)DELAY FIXED = نرخ تحویل (۱

(۰ و زمان تدارک و نرخ سفارش)DELAY FIXED = نرخ تحویل مطلوب (۲

نرخ تحویل ـ نرخ تحویل مطلوب = نرخ سفارشات تحقق‌نیافته (۳

(موجودی اولیه و نرخ سفارشات تحقق نیافته ـ نرخ مصرف ـ نرخ سفارش‌دهی)∫ = موقعیت موجودی (۴

و بقیه روابط عیناً مانند حالت قبل می‌باشند.

۳. رفتار مدل مدیریت موجودی تعمیرگاه مرکزی

قبل از شروع تست مدل، لازم به ذکر است که مدل مدیریت موجودی تعمیرگاه مرکزی در زنجیره همان مدل توسعه‌یافته در شکل (۴) می‌باشد. در این مدل سفارشات مشتری به عنوان متغیر خارجی و برآورده‌سازی سفارش ایساکو در طی زمان برآورد شده و به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. سپس با مقداردهی پارامترهای موردنیاز قطعه در تعمیرگاه رفتار موجودی شبیه‌سازی شده و بارفتار واقعی آن مقایسه می‌شود.

برای شروع تست مدل انبار تعمیرگاه، قطعه پمپ بنزین برقی با کد اختصاصی (۰۳۶۰۳۰۱۲) انتخاب شده است. تقاضای این قطعه در تعمیرگاه مرکزی ۱ طی ۴۵ هفته از سال ۸۴ به عنوان متغیر خارجی در نرم‌افزار وارد شده است. جدول (۱)، پارامترهای موردنیاز این قطعه را به منظور حل مدل نشان می‌دهد.

۳-۱. حل مدل انبار تعمیرگاه

برآورده‌سازی سفارش ایساکو با شبیه‌سازی انبار ایساکو در طی این مدت مشخص شده و به عنوان ورودی به مدل انبار تعمیرگاه داده می‌شود. در اینجا به منظور شبیه‌سازی انبار ایساکو، نرخ ورودی به انبار ایساکو را به صورت واقعی و به عنوان نقطهٔ مرجع در مدل قرار داده و خروجی آن را به صورت تابع حداقل‌گیری میان نرخ سفارشات کلی ایساکو (متغیر خارجی) و حداکثر نرخ ارسال ایساکو تعریف می‌کنیم. سپس با تخمین تنها یک پارامتر (زمان پردازش سفارش ایساکو) انباشتهٔ موجودی شبیه‌سازی‌شده را به انباشتهٔ موجودی واقعی ایساکو نزدیک می‌کنیم. بدین وسیله برآورده‌سازی سفارش ایساکو که نسبت میزان کالاهای ارسال شده به سفارشات داده شده است

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه شده و متوسط آن در نرخ ورود به انبار تعمیرگاه اثر می‌گذارد.

جدول ۱- پارامترهای موردنیاز قطعه پمپ بنزین برقی در تعمیرگاه مرکزی

Parameter	Base Case Value	Units
Reorder Point	110	Unit
Lead Time	5	Day
Desired Inventory Coverage	8	Week
Lag	3	Week
Time to Process Orders	2	Day
Time Step	0.1428 equals to (1/7)	Week
Table for Order Fulfillment Ratio	(0,0),(1,1),(2,1)	
Time to Average Order Fulfillment	10	Week
Store1 Initial Inventory	161	Unit

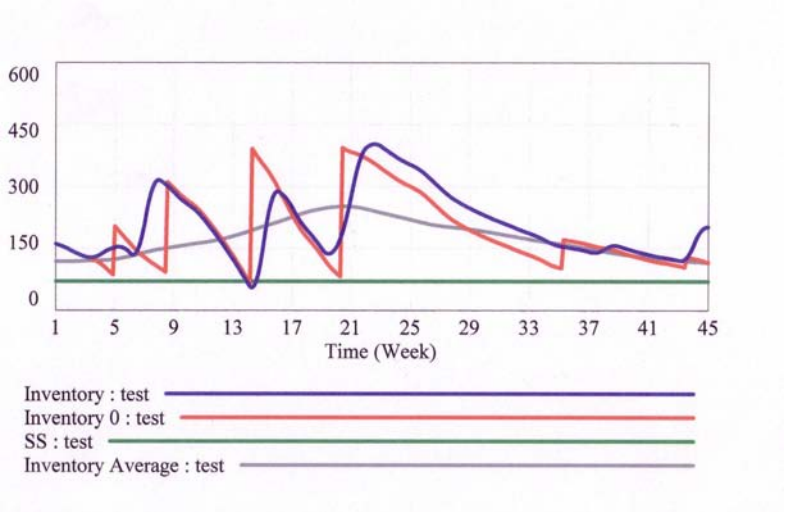
تحلیل مدل انبار تعمیرگاه

با توجه به پارامترهای این قطعه، متوسط موجودی در دست طی این مدت بسیار بالاو سطح سرویس بیش از ۹۷/۵ درصد بوده و تمامی سفارشات مشتری برآورده شده‌اند.

در این سیستم با توجه به طولانی بودن دوره سفارش (۸ هفته)، مقدار سفارش‌دهی در هر بار سفارش بسیار بالاست.

سطح موجودی اطمینان از این قطعه در طی مدت بررسی شده بسیار بالا بوده و شاید بتوان گفت که این امر ناشی از عدم اطمینان کافی به تامین کننده در شرایط کمبود باشد.

شکل (۵)، رفتارموجودی شبیه‌سازی شده (Inventory 0) را نسبت به موجودی واقعی (Inventory)، متوسط موجودی و حداقل موجودی را نشان می‌دهد.



شکل ۵- مقایسه رفتار موجودی واقعی قطعه پمپ بنزین برقی با شبیه‌سازی شده

www.SID.ir

Archive of SID

۴. تست مدل زنجیره‌ای و تحلیل حساسیت

قبل از شروع تست مدل، لازم به ذکر است که مدل زنجیره‌ای ازتلفیق دو ساختار مدیریت موجودی تعمیرگاه مرکزی در زنجیره (مدل توسعه‌یافته) و مدیریت موجودی ایساکو (مدل پایه) به وجود آمده است. در این حالت فقط سفارشات مشتری به عنوان متغیر خارجی به مدل داده می‌شود و تقاضایی که به ایساکو می‌رسد همان نرخ سفارش تعمیرگاه مرکزی است. به منظور تست مدل زنجیره‌ای، قطعه سرسیلندر موتور با کد اختصاصی (۰۹۱۰۱۰۰۱) انتخاب شده است. تقاضای این قطعه در تعمیرگاه مرکزی ۱ طی ۵۰ هفته از سال ۸۴ به‌عنوان متغیر خارجی در نرم‌افزار وارد شده است. در مدل پارامترهایی نظیر «نقطه سفارش»، «زمان تدارک»، «پوشش مطلوب موجودی» و «زمان پردازش سفارش» از نظر عددی با اطلاعات سیستم واقعی متناظر هستند. در این میان تنها پارامتر ضریب تخصیص انبار ایساکو به تعمیرگاه مرکزی ۱، برای برقراری تعادل در مدل در نظر گرفته شده است که مقدار آن به کمک داده‌های گرفته شده از سیستم، برآورد شده است. جدول (۲)، اطلاعات موردنیاز این قطعه را به منظور حل مدل نشان می‌دهد. جدول (۳) نیز نتایج محاسباتی حاصل از حل مدل را توسط نرم‌افزار نشان می‌دهد.

جدول ۲- پارامترهای موردنیاز قطعه سرسیلندر موتور در مدل زنجیره‌ای

Parameter	Store1	Units	Isaco	Units
Reorder Point	11	Unit	2205	Unit
Lead Time	3	Day	12	Week
Desired Inventory Coverage	8	Week	8	Week
Lag	2	Week	12	Week
Time to Process Orders	3	Day	1	Week
Time Step	0.1428	Week	0.1428	Week
Table for Order Fulfillment Ratio	(0,0), (1,1), (2,1)		(0,0), (1,1), (2,1)	
Initial Inventory	10		1695	Unit
Fraction Related to Store1	0.1			

نکته:
دقت شود که در مدل زنجیره‌ای، موجودی اولیه انبار ایساکو و نقطه سفارش مجدد آن در ضریب تخصیص ۰/۱ ضرب شود.

تست شرایط حدی
اگر نرخ سفارش‌دهی ایساکو در مدل برابر صفر در نظر گرفته شود، نرخ خرید ایساکو صفر شده و در نتیجه انبار ایساکو در اثر مصرف کاهش‌یافته و به صفر می‌رسد. زمانی که موجودی انبار ایساکو به صفر رسید، نرخ ارسال آن به انبار شمارهٔ ۱ صفر می‌شود و موجودی انبار ۱ به تدریج در اثر مصرف کاهش‌یافته و به صفر می رسد و با صفر شدن موجودی انبار ۱ طبیعتاً نرخ مصرف آن نیز به صفر می رسد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- نتایج محاسباتی حاصل از اجرای مدل زنجیره‌ای طی ۵۰ هفته از سال ۸۴

شبیه‌سازی	واقعی	نشانه‌ها
۳۹۲	۳۸۳	مجموع سفارشات انبار تعمیرگاه ۱
۳۷۴	۳۵۳	مجموع خرید انبار تعمیرگاه ۱
۵۶۴	۵۹۹	مجموع خرید ایساکو در مقیاس ۰/۱

الف. معیارهای ارزیابی عملکرد زنجیره

به طورکلی می‌توان در ارزیابی نحوهٔ عملکرد کلی زنجیره دو معیار زیر را مدنظر قرار داد:

۱) انباشتهٔ سفارشات از دست‌رفتهٔ ایساکو: این معیار می‌تواند نحوهٔ پاسخگویی زنجیره به تغییرات تقاضا را ارزیابی کند. کاهش مجموع سفارشات از دست رفته، فروش زنجیره را افزایش داده و در نتیجه منفعت کل زنجیره را بالا می‌برد.

۲) متوسط هزینهٔ کل زنجیره به ازای هر واحد فروش: این معیار می‌تواند کارایی زنجیره را ارزیابی کند. کاهش این معیار به معنی تأمین تقاضا با کمترین هزینه است. در رابطهٔ زیر این معیار با علامت اختصاری (ATCPS)[1] نشان داده شده است:

ATCPS=(SMOOTH3((St1 Inv+ Isaco Inv)/ Demand1,Time))*Cost

در معادلهٔ بالا پرانتز اول از موجودی کل زنجیره به ازای هر واحد فروش متوسط‌گیری می‌کند. از نظر مفهومی این متوسط‌گیری معادل با پوشش موجودی زنجیره است. حاصلضرب پوشش موجودی در هزینهٔ پوشش به ازای هر هفته، آن را به معیار موردنظر تبدیل می‌کند. در مدل هزینهٔ پوشش به ازای هر هفته، ۵۰۰۰ واحد پولی و زمان موردنیاز برای متوسط‌گیری پنج هفته منظور شده است.

ب. تحلیل حساسیت

به منظور تحلیل حساسیت مدل، تغییرات ۳۰ درصدی افزایشی و کاهشی بر روی پارامترهای مدل اعمال شده و تاثیرات این تغییرات بر روی دو معیار هزینه و فروش زنجیره بررسی می‌شود. جدول ۴، حساسیت پارامترها را با توجه به دو معیار کلی زنجیره نشان می‌دهد.

---

1. Average Total Cost Per Sale

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- حساسیت پارامترها با توجه به دو معیار کلی زنجیره

معیار کارآیی (هزینهٔ زنجیره)	معیار پاسخگویی (فروش زنجیره)	پارامتر
حساسیت زیاد	حساسیت زیاد	زمان تدارک ایساکو
حساسیت زیاد	حساسیت زیاد	ضریب تخصیص
حساسیت زیاد	حساسیت زیاد	نقطه سفارش انبار ایساکو
حساسیت متوسط	حساسیت کم	پوشش مطلوب ایساکو
حساسیت کم	حساسیت متوسط	زمان پردازش ایساکو
حساسیت کم	حساسیت کم	تأخیر اطلاعاتی ایساکو
حساسیت زیاد	حساسیت زیاد	پوشش مطلوب انبار ۱
حساسیت کم	حساسیت کم	نقطه سفارش انبار ۱
حساسیت کم	حساسیت کم	زمان تدارک انبار ۱

۵. سیاست‌های پیشنهادی به منظور بهبود عملکرد زنجیره

در این قسمت سیاست‌های پیشنهادی به ترتیب مطرح، و به طور مختصری نحوه اجرای آنها بر روی مدل توضیح داده می‌شود. سپس در جدول (۵)، نتایج پیاده‌سازی این سیاست‌ها بر روی مدل با توجه به دو معیار ارزیابی عملکرد زنجیره با یکدیگر مقایسه می‌شود.

الف. مدیریت انبار فروشنده[1] (VMI)

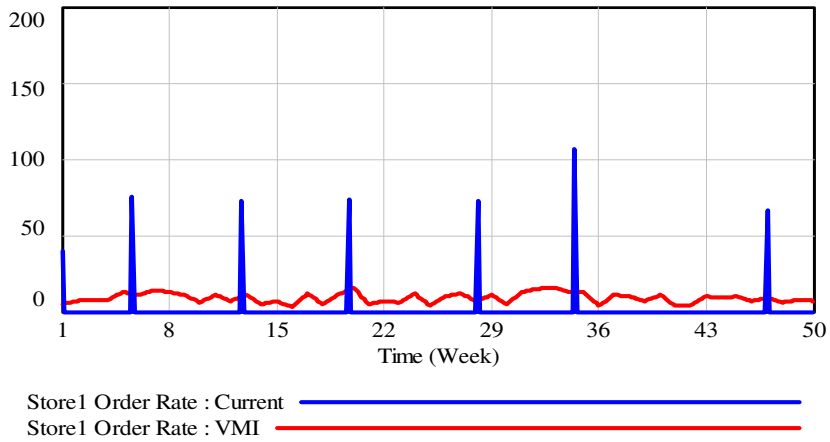
در این راه‌حل سطوح واسطه بین تامین‌کننده و مشتری کاهش یافته و بدین‌ترتیب اطلاعات سریع‌تر و واقعی‌تر به تامین‌کننده منتقل می‌گردد. به منظور اجرای استراتژی VMI در مدل، از حلقه‌های بازخوری غالب در این بخش از اجرای شبیه‌سازی استفاده شده است. این حلقه‌ها بر رفتار نرخ سفارش‌دهی تعمیرگاه، حاکم شده و موجب می‌شوند تا تقاضای مشتری به سطح بالاتر انتقال پیدا کند. با اجرای VMI یک جریان مستمر و

1. Vendor Managed Inventory

www.SID.ir

Archive of SID

یکنواخت سفارش‌دهی و تحویل کالا ایجاد می‌شود و دیگر زنجیره با قله‌های سفارش‌دهی مواجه نمی‌گردد. شکل (۶)، نرخ سفارش‌دهی تعمیرگاه مرکزی ۱ را در سیاست VMI نسبت به وضعیت فعلی نشان می‌دهد.



شکل ۶- مقایسه نرخ سفارش‌دهی تعمیرگاه مرکزی در استراتژی VMI نسبت به وضعیت فعلی

ب. فشرده‌سازی زمانی[1]

در این مدل، زمان تدارک و زمان پردازش سفارش تاخیراتی هستند که در هر عضو زنجیره در نظر گرفته شده‌اند. کاهش زمان تدارک، کالای موجود در انبار را کاهش داده و کاهش زمان پردازش سفارش نیز، برآورده‌سازی سفارش را بالا برده و موجب کمتر شدن سفارشات از دست رفته می‌شود. استراتژی فشردگی زمان با کاهش ۲۵ درصدی زمان پردازش سفارش و زمان تدارک در دو سطح تعمیرگاه مرکزی و ایساکو بر روی مدل اجرا شده است.

ج. سیاست هموارسازی سفارشات شرکت‌های پایین‌دستی

به منظور اجرای این سیاست در مدل، پوشش مطلوب موجودی (و یا دورهٔ سفارش) در سیستم انبار تعمیرگاه مرکزی ۱ به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته است. این سیاست با کاهش مقدار متوسط سفارش موجب کاهش نوسان در موجودی سیستم تعمیرگاه و نهایتاً

1. Time Compression

www.SID.ir

Archive of SID

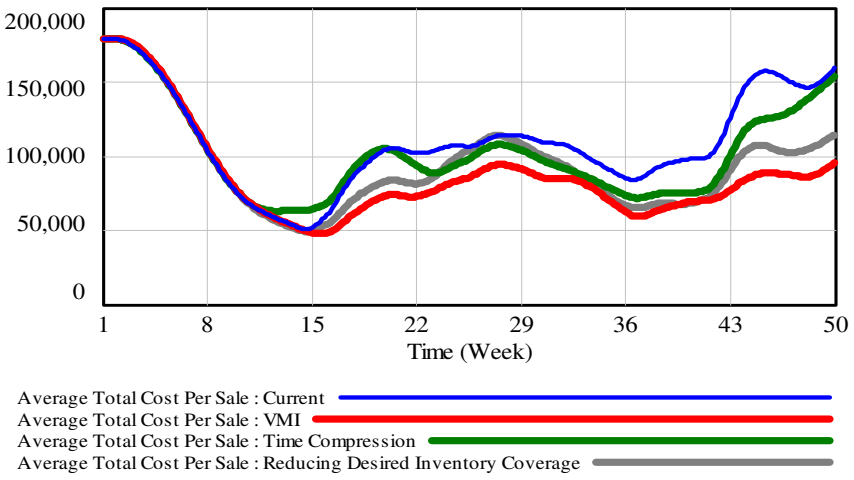
موجودی انبار ایساکو می‌شود.

جدول (۵)، نتایج محاسباتی حاصل از اجرای این سیاست‌ها را در معیارهای ارزیابی زنجیره طی مدت بررسی شده نشان می‌دهد.

جدول ۵- نتایج محاسباتی حاصل از اجرای سیاست‌ها بر روی مدل

سیاست‌ها	مجموع سفارشات از دست رفته ایساکو در ارتباط با تعمیرگاه مرکزی ۱	مجموع هزینه پوشش موجودی زنجیره
وضعیت فعلی	۱۸	۵۳۶۰۰۰۰
مدیریت انبار فروشنده (VMI)	۰	۴۲۵۰۰۰۰
فشرده‌سازی زمانی	۰	۴۹۸۰۰۰۰
هموارسازی سفارشات تعمیرگاه مرکزی	۰	۴۶۱۲۰۰۰

با اجرای سیاست‌های VMI، فشرده‌سازی زمانی و هموارسازی سفارشات، فروش زنجیره افزایش و هزینهٔ پوشش موجودی زنجیره در مقایسه با وضعیت فعلی کاهش می‌یابد. نمودار زیر هزینه پوشش موجودی زنجیره را در سیاست‌های ذکر شده نشان می‌دهد.



شکل ۷- مقایسه هزینهٔ زنجیره بابت انبار به ازای هر واحد فروش در سیاست‌های ذکرشده

www.SID.ir

Archive of SID

چنانکه دیده می‌شود، متوسط هزینهٔ کل زنجیره به ازای هر واحد فروش در استراتژی VMI نسبت به بقیه کمتر است که این امر بر کاهش سطح موجودی در VMI دلالت دارد.

جمع‌بندی و ملاحظات

در این مقاله، یک مدل شبیه‌سازی گسسته برای زنجیره تأمین قطعات یدکی خودرو باتوجه به اطلاعات واقعی ارائه شد. سپس با توجه به دو معیار عملکرد کلی زنجیره (فروش و هزینه زنجیره)، پارامترهای حساس مدل شناسایی شدند. این پارامترها که نقطه سفارش و زمان تدارک سطح بالاتر زنجیره (شرکت ایساکو) می‌باشند از نظر عددی با اطلاعات سیستم واقعی متناظر هستند. پارامتر حساس دیگر مقدار سفارش شرکت‌های پایین‌دستی (تعمیرگاه مرکزی) می‌باشد که عملکرد کلی زنجیره را به شدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در قسمت آخر، تأثیرات به‌کارگیری استراتژی‌های مختلف به منظور بهبود عملکرد زنجیره مطالعه شد و چندین راه‌حل شناسایی شدند:

۱) کاهش لایه‌های زنجیره و ارتباط مستقیم‌تر سطح بالاتر زنجیره با مشتری نهایی
۲) کاهش در همهٔ زمان‌های تأخیر (زمان تدارک و زمان پردازش سفارش)
۳) هموارسازی سفارشات سطح پایین زنجیره
۴) برآورد دقیق پارامترهای حساس نظیر نقطه سفارش و زمان تدارک سطح بالای زنجیره

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

Forrester, J. W., (2007); "System Dynamics-A Personal View of the First Fifty Years", *System Dynamics Review*, 20, pp. 345-358.

Forrester, J. W., (2007); "System Dynamics-The Next Fifty Years", *System Dynamics Review*, 23, pp. 359-370.

Homer, J., (2007); "Reply to Jay Forrester's-System Dynamics-The Next Fifty Years", *System Dynamics Review*, 23(4), pp. 465-467.

Forrester, J. W., (1961); Industrial Dynamics, Cambridge, MA: MIT Press, Reprinted by Productivity Press, Portland, Oregon.

Sterman, J. D. (1989); Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. *Management Science* 35(3); 321-339.

Metz, P. J. (1998); "Supply Chain Management", *Supply Chain Management Review,* pp. 46-55.

Towill, D. R. (1996); B. Time Compression and Supply Chain Management-a Guided Tour. *Supply Chain Management* 1 (1), pp. 15-27.

Barlas,Y., and A. Aksogan (1999); Product Diversification and Quick Response Order Strategies in Supply Chain Management[web page]. Bogazici University 1997 [Cited 27 August 1999]. Available from http://ieiris.cc.boun.edu.tr/faculty/barlas/.

Anderson, E. G., JR., C. H. Fine, and G. G. Parker (1997);.Upstream Volatility in the Supply Chain: The Machine Tool Industry as a Case Study. Austin (TX): Department of Management, University of Texas.

Cakravastia, A., and L. Diawati (1999); "Development of System Dynamic Model to Diagnose the Logistic Chain Performance of Shipbuilding Industry in Indonesia. Paper read at International System Dynamics Conference", *Wellington*, New Zealand.

Akkermans, H. A., P. Bogerd, and B. Vos (1999);Virtuous and Vicious Cycles on the Road Towards International Supply Chain Management. *International Journal of Operations & Production Management* 19(5/6): 565-581.

Disney, S. M., (2003); Towill D. R. "The Effect of Vendor Managed Inventory (VMI) Dynamics on the Bullwhip Effect in Supply Chains"

www.SID.ir

Archive of SID

Int. J. Production Economics, 85, 199-215.

Dejonckheere J, Disney S. M., Lambrecht M. R., Towill D.R. The Impact of Information Enrichment on the Bullwhip Effect in Supply Chains: a Control Engineering Perspective. *European Journal of Operational Research* 2004; 153: 727-50.

F. Persson , M. Araldi, (2007); "The Development of a Dynamic Supply Chain Analysis Tool Integration of SCOR and Discrete Event Simulation" *Int.j. Production Economics*.

Sterman, J. D. (2000); "Business Dynamics: System Thinking and Modeling for Complex World", *Management, McGraw-Hill*.

www.SID.ir