

به کارگیری پویایی های سیستمی در تجزیه، تحلیل و بهبود زنجیره تأمین قطعات یدکی شرکت ایران خودرو

دکتر ابراهیم تیموری* هاله هاشمی علیا**

دریافت: ۸۵/۱۲/۲۵

پذیرش: ۸۷/۱۰/۲۳

مدیریت زنجیره تأمین / پویایی های سیستمی / شبیه سازی گسسته / نقطه سفارش مجدد
/ سیاست VMI

چکیده

در این مقاله، یک مدل شبیه سازی گسسته برای زنجیره تأمین قطعات یدکی خودرو براساس متدولوژی پویایی های سیستمی ارائه می گردد. زنجیره مورد مطالعه دو سطحی و شامل یک خرده فروش (تعمیرگاه مرکزی ۱) و یک عمده فروش (ایساکو) می باشد. مدل زنجیره ای به منظور توسعه سیاست سفارش دهی نقطه سفارش در دو سطح تعمیرگاه مرکزی و ایساکو شبیه سازی شده است. مدل ساخته شده، یک مدل ریاضی غیرخطی است که با شبیه سازی روی کامپیوتر و با نرم افزار Vensim تحلیل می گردد. این مدل که به منظور تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم توزیع قطعات یدکی

Teimoury@iust.ac.ir

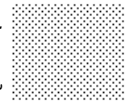
* استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت

Haleh_Hashemioia@yahoo.com

** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی

■ هاله هاشمی علیا - مسئول مکاتبات.

خودرو توسعه داده شده، امکان پیشگویی بهبود عملکرد زنجیره را با اجرای سیاست‌های موثر مهیا می‌سازد.



طبقه‌بندی JEL: C15.

مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین (SCM)^۱ یک پارچه‌سازی حوزه‌های عملیاتی مختلف در یک سازمان برای تقویت جریان کالا از تأمین‌کننده تا مصرف‌کننده نهایی است. نخستین هدف مدیریت زنجیره، تأمین 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^۲ به خوبی می‌تواند دینامیک مدیریت زنجیره تأمین را براساس تأثیرات متقابل عوامل داخل زنجیره مورد بررسی قرار دهد.

در این مقاله، موضوعاتی از قبیل توسعه سیاست‌های موجودی تا طراحی زنجیره تأمین با ابزار پویایی‌های سیستمی مدل‌سازی می‌شوند. این موضوع از دو جنبه دارای اهمیت است: الف) به کارگیری پویایی‌های سیستمی موجب می‌شود تا مشخصه‌های نمادین^۳ زنجیره از قبیل حلقه‌های بازخور، تأخیرات و روابط غیرخطی در نظر گرفته شوند و ب) به کارگیری این روش منجر به توسعه سیستم SCM می‌شود که به تغییرات تقاضای بازار سریع پاسخ می‌دهد، در حالی که موجودی‌های خود را در حداقل نگه می‌دارد.

در زنجیره تأمین قطعات یدکی هدف اصلی از پیاده‌سازی پویایی‌های سیستمی الف) توسعه سیاست‌های موجودی به منظور شبیه‌سازی رفتار متغیرهای کلیدی زنجیره؛ و ب) طراحی سیاست‌هایی بهبود عملکرد زنجیره با مد نظر قرار دادن دو معیار کارایی 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 تأثیرات این عوامل را بر روی عملکرد زنجیره سنجید.

پویایی‌های سیستمی برای اولین بار توسط فارستر^۴ 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.

مطالعه 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^۱ تحقیقی در زمینه موارد استفاده از پویایی‌های سیستمی و رشد آن در پنجاه سال آینده انجام داده است. این امر موجب شد تا هومر^۲ نقدی در مقابل ادعای فارستر در مورد توسعه آینده پویایی‌های سیستمی ارائه دهد. به هر حال یک نقطه نظر بنیادی که از مبحث پویایی‌های سیستمی حاصل می‌شود این است که رفتار دینامیکی سیستم نتیجه ساختار به وجود آورنده آن است.

اولین کار منتشر شده از مدل‌سازی پویایی‌های سیستمی در مدیریت زنجیره تأمین مربوط به فارستر در سال ۱۹۵۸ می‌باشد. سپس فارستر^۳ مدل پایه خود را که یک زنجیره تأمین چهارسطحی و ساده بود، بنا نمود. او بسیاری از موضوعات تحقیقی امروزی در مدیریت زنجیره تأمین را بررسی نمود.

استرمن^۴ یک مدل عمومی از سیستم مدیریت موجودی را ارائه نمود که این مدل ساختار پایه 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 سرمایه 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 استراتژی بهینه می‌شود». و سپس یک مدل تصمیم به سفارش را براساس روش‌های ابتکاری به طور محلی منطقی^۵ مطرح نمود.

هنگامی که فارستر زنجیره تأمین را به عنوان بخشی از یک سیستم صنعتی مورد توجه قرارداد، موضوعات مختلفی از قبیل: توسعه سیاست‌های موجودی، فشردگی زمان، تشدید

1. Forrester, (2007), pp. 359-370.

2. Homer, (2007).

3. Forrester, (1961).

4. Sterman, (1989).

5. Locally Rational Heuristics

6. Time Compression

تقاضا، طراحی زنجیره تأمین یکپارچه و نهایتاً مدیریت زنجیره تأمین بین المللی مورد تحقیق قرار گرفت.

متز^۱ مدیریت زنجیره تأمین یکپارچه^۲ را بدین صورت تعریف کرد: «... مدیریت زنجیره تأمین یکپارچه یک رویکرد فرآیندگرا^۳ و یکپارچه به منظور خرید، تولید و تحویل محصول یا ارائه خدمت به مشتری است ... مدیریت زنجیره تأمین یکپارچه، مدیریت مواد، اطلاعات و نیز جریان های مالی می باشد».

تاویل^۴ بحث طراحی مجدد زنجیره های تأمین را مطرح نمود. او راه حل فشردگی زمان را به عنوان یک پاسخ سریع، مؤثر و کارا به تغییرات بازار مدنظر قرار داد. تاویل مطرح نمود که استراتژی های فشردگی زمان بر اساس شبیه سازی، پیشگویی بهبودهای عملکرد زنجیره را امکان پذیر می سازند. او با استفاده از مدل فارستر، یک رتبه بندی از استراتژی های مهندسی مجدد را تهیه نمود. براساس نتایج شبیه سازی، تاویل کاربرد استراتژی های مهندسی مجدد را به صورت زیر تعریف نمود: (۱) کاهش در همه زمان های تدارک (مواد، اطلاعات و جریان های مالی)؛ (۲) حذف تأخیرات زمانی در نقاط تصمیم؛ (۳) تأمین اطلاعات مورد نیاز همه تصمیم گیرندگان بالادستی.

اولین بررسی نمادین در زمینه توسعه سیاست های مدیریت موجودی توسط بارلاس و اکسوغان^۵ انجام گرفت. بارلاس و اکسوغان یک مطالعه موردی در صنعت پوشاک انجام دادند که در آن یک مدل شبیه سازی دینامیکی از زنجیره تأمین توسعه داده شد. هدف آنها از این شبیه سازی توسعه سیاست های موجودی به منظور افزایش درآمد خرده فروش و کاهش هزینه های او بود. هدف دیگر آنها مطالعه تأثیرات به کارگیری استراتژی های مختلف بود. نهایتاً، در بارلاس و اکسوغان سیاست های جدید سفارش دهی در سیستم های پیوسته - گسسته مطرح شده است. این سیاست ها برای نوسانات تقاضا نیز پایدار و استوار می باشند.

1. Metz, (1998).

2. Integrated Supply Chain Management

3. Process-Oriented

4. Towill, (1996).

5. Barlas, (1999).

در اندرسون و همکاران^۱ یک نمونه 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^۲ 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 در ککراواستیا و دایاواتی استفاده بیشتر از مدل، به منظور ارزیابی عملکرد لجستیک و نیز طراحی سیاست‌های لجستیک پیشنهاد شده است.

در اکرمز و همکاران^۳ به موضوعات مهمی در زمینه مدیریت زنجیره تأمین بین‌المللی (ISCM)^۴ پرداخته شده است. در این مقاله با استفاده از مدل‌های علت و معلولی آزمایشی از اهداف، موانع و تسهیل‌کنندگان^۵ در امر رسیدن به ISCM کارآمد، یک نظریه جدید به نام «دور مقبول و دور باطل»^۶ پیشنهاد شده است. در این بررسی عوامل موفقیت کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین بین‌المللی در قالب یک مدل علت و معلولی ارائه شده است.

در دیزنی و تاویل^۷ تأثیر سیاست مدیریت انبار فروشنده (VMI)^۸ 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 VMI موجب 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

قله های سفارش دهی در این زنجیره ها نسبت به زنجیره های تأمین سنتی بسیار هموارتر گردد. در دیجوناکهر و همکاران تأثیر غنی سازی اطلاعات بر روی اثر شلاق چرمی^۱ مورد مطالعه قرار داده شده است (اثر شلاق چرمی در قالب مسأله تشدید تقاضا در زنجیره های تأمین مورد بحث قرار می گیرد). در این مقاله نشان داده شده که در یک زنجیره تأمین متمرکز به اشتراک گذاری اطلاعات تقاضا در طول زنجیره اثر شلاق چرمی را بر روی سیاست های سفارش دهی تا رسیدن به سطح S^۲ کاهش می دهد ولی از بین نمی برد.

در پرسن و ارلدی متدولوژی مرجع عملیاتی زنجیره (SCOR)^۳ و ابزار شبیه سازی وقایع گسسته^۴ به منظور بررسی تأثیرات دینامیکی متغیرهای زنجیره ادغام شده است. مدل SCOR، به صورت پایه عملکرد استاتیک زنجیره را مورد مطالعه قرار می دهد و ترکیب آن با یک ابزار شبیه سازی می تواند رفتار دینامیکی زنجیره را نشان دهد.

تاکنون در بیشتر تحقیقات انجام شده از مدل سازی دینامیکی مدیریت زنجیره تأمین، فرموله کردن پیوسته در مورد زمان و موجودی های انباشته شده صورت گرفته است. درحالی که ارائه گسسته در مورد متغیرهای کلیدی زنجیره شامل نرخ سفارش، نرخ تحویل و وضعیت موجودی و سفارشات در راه به واقعیت نزدیک تر است. از این جهت در این مقاله از این وجه به موضوع نگاه شده است.

لازم به ذکر است که نرم افزار Vensim PLE مورد استفاده در این تحقیق، یک نسخه آموزشی از نرم افزار شبیه سازی Vensim می باشد. این ابزار شبیه سازی به منظور توسعه و تحلیل مدل های بازخور دینامیکی^۵ مورد استفاده قرار می گیرد. این مدل ها به صورت گرافیکی در این نرم افزار ساخته می شوند و ویژگی هایی از قبیل توابع دینامیکی، آنالیز حساسیت مونت کارلو، بهینه سازی و غیره، تحلیلگر را در ساخت و توسعه مدل های دینامیکی یاری می کند.

در ادامه مقاله، در بخش ۲ یک مدل شبیه سازی گسسته تک شرکتی توسعه داده شده است. این مدل، ساختار پایه تصمیم گیری در محیط انبار را شکل می دهد و زنجیره تامین دو سطحی

1. Bullwhip Effect

2. Order-up-to Policy

3. Supply Chain Operations Reference(SCOR)

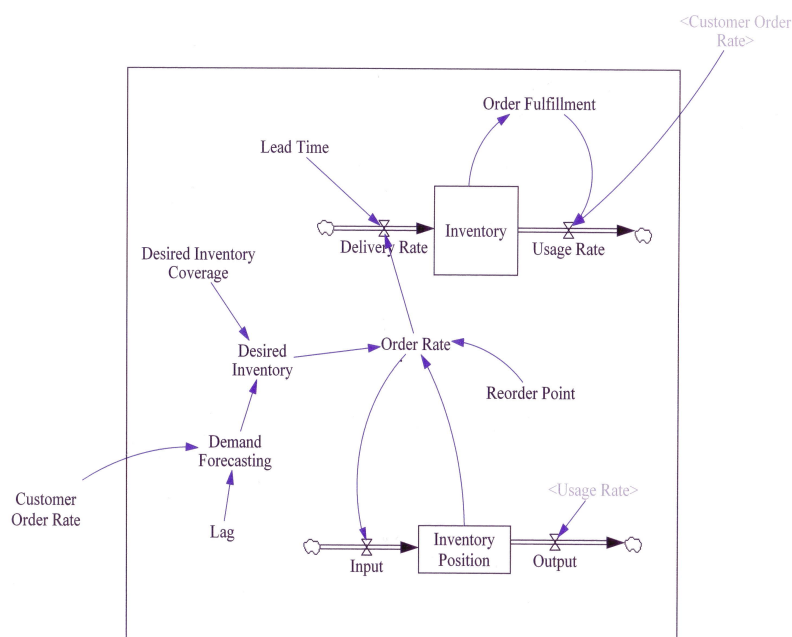
4. Discrete Event Simulation Tool

5. Dynamic Feedback Models

از تلفیق دو نمونه از این ساختار ساخته می‌شود. سپس مدل شبیه‌سازی گسسته برای مطالعه 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 بخش ۶ 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.

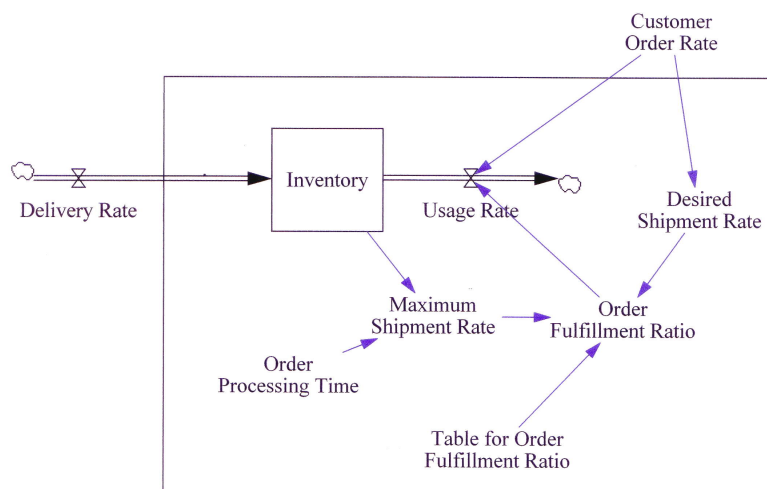


شکل ۱- ساختار کلی مدیریت موجودی انبار

- در مدل از سه تابع زیر که در نرم افزار Vensim تعریف شده اند، 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 می کند. در این تابع هرچه تأخیر اطلاعاتی کمتر باشد، نوسانات بیشتری در تقاضای مورد انتظار ایجاد می شود.
- (۲) تابع DELAY FIXED: معرف آن است که منحنی نرخ تحویل با یک تأخیر فازی زمان تدارک دقیقاً مشابه با نرخ سفارش رفتار می کند.
- (۳) تابع IF THEN ELSE: معرف آن است که سفارش دهی به صورت گسسته انجام می شود. با کمک این تابع، سفارش دهی به سطح بالاتر تنها زمانی صورت می گیرد 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 می شود و در غیر این صورت هیچ سفارشی داده نمی شود.

روابط ریاضی:

- (مقدار اولیه، نرخ مصرف - نرخ تحویل) = موجودی انبار (۱)
- (مقدار اولیه، نرخ مصرف - نرخ سفارش دهی) = موقعیت موجودی (۲)
- (تأخیر اطلاعاتی، نرخ سفارش مشتری) = SMOOTH = پیش بینی تقاضا (۳)
- پیش بینی تقاضا $\times$ پوشش مطلوب موجودی = موجودی مطلوب (۴)
- (۰ و موجودی مطلوب، نقطه سفارش مجدد $\Leftarrow$ موقعیت موجودی If Then Else = نرخ سفارش (۵)
- (۰ و زمان تدارک، نرخ سفارش) = Delay Fixed = نرخ تحویل (۶)
- در ساختار کلی مدیریت موجودی انبار یک زیرساختار برآورده سازی سفارش نیز وجود دارد که نرخ مصرف را مقید به موجودی انبار می کند. شکل ۲، این زیرساختار را با جزئیات بیشتری نشان می دهد.



Sterman, (2000)

شکل ۲- زیرساختار برآورده سازی سفارش

روابط ریاضی:

- ۷) $\text{نرخ تقاضای مشتری} = \text{نرخ ارسال مطلوب}^1$
- ۸) $\text{زمان پردازش سفارش} / \text{موجودی} = \text{حداکثر نرخ ارسال}^2$
- ۹) $\text{نرخ ارسال مطلوب} / \text{حداکثر نرخ ارسال} = \text{جدول برآورده سازی سفارش} = \text{نسبت برآورده سازی}^3$
- ۱۰) $\text{جدول برآورده سازی سفارش} = (۰ \text{ و } ۰) \text{ و } (۱ \text{ و } ۱) \text{ و } (۲ \text{ و } ۱)$
- ۱۱) $\text{نسبت برآورده سازی سفارش} \times \text{نرخ ارسال مطلوب} = \text{نرخ ارسال}^4$

محدودیت های مدل

- ۱) هیچ انباشتگی از سفارشات برآورده نشده مشتری وجود ندارد.
- ۲) در شروع شبیه سازی، مقدار اولیه سفارشات در راه صفر بوده 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

پارامترهای مدل:

Reorder Point : نقطه سفارش

Lead Time : زمان تدارک

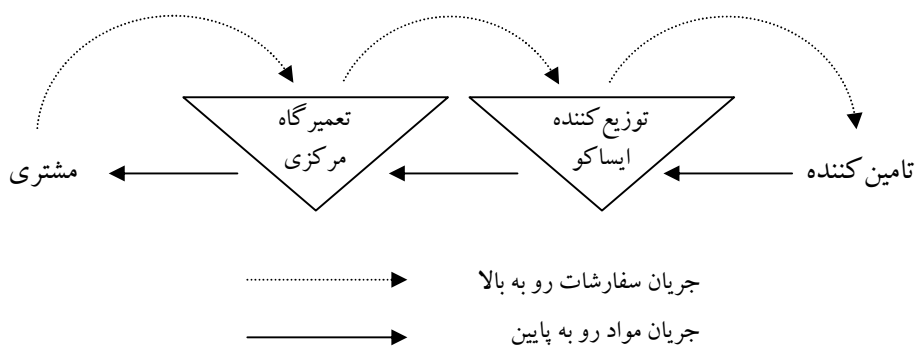
Desired Inventory Coverage : پوشش مطلوب موجودی (ویا دوره سفارش)

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 تامین کننده آن (شرکت ایساکو) در چارچوب ساختار کلی (شکل ۳) فرموله می شود. مدل پایه در سطح پایین زنجیره (تعمیرگاه مرکزی) به منظور واقعی تر شدن و اتصال به سطح بالاتر توسعه می یابد و پس از آن، زنجیره تأمین از تلفیق این دو نمونه ساخته می شود. 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 توزیع کننده ایساکو قرار دارد که با سطح قبل از خود از طریق مبادله سفارش و کالا در ارتباط می باشد.



شکل ۳- ساختار شماتیک مدل دو سطحی

۲-۱. مدل مدیریت موجودی ایساکو در زنجیره تامین

شرکت ایساکو به عنوان حلقه ارتباطی مابین تامین کنندگان قطعات یدکی و عاملین فروش آنها، محسوب می شود این شرکت هیچ انباشتگی از سفارشات برآورده نشده نزد خود نگه نمی دارد و تمام سفارشات که بعد از طی مدت زمان مشخص (سه روز) توسط این شرکت برآورده نشوند، از دست رفته محسوب می شوند.

ساختار مدیریت موجودی ایساکو در چارچوب ساختار کلی مدیریت موجودی فرموله می شود (شکل ۱). با این تفاوت که در این ساختار نرخ سفارشات مشتری که به شرکت می رسد، اطلاعات تقاضای مشتری نهایی نمی باشد و در واقع اطلاعات سفارشات است که توسط شرکت های پایین دستی تعیین می شود. (نظر به گسسته بودن نرخ سفارش تعمیرگاه مرکزی، در معادله متغیر نسبت برآورده سازی سفارش ایساکو فرض شده است که اگر نرخ سفارش تعمیرگاه برابر صفر شد، برآورده سازی سفارش انبار ایساکو یک شود).

سیاست شرکت ایساکو به منظور پیش بینی تقاضا بر پایه متوسط گیری از فروش به علاوه یک سوم فروش از دست رفته می باشد. بدین منظور نیاز به متغیر سفارشات از دست رفته است که به صورت زیر محاسبه می شود:

مصرف ایساکو - نرخ سفارشات رسیده به شرکت = سفارشات از دست رفته (۱۲)
 بنابراین در تابع پیش بینی تقاضای مدل ایساکو (رابطه ۳)، نرخ سفارش مشتری معادل با مصرف ایساکو به علاوه یک سوم $\left(\frac{1}{3}\right)$ سفارشات از دست رفته شرکت در نظر گرفته می شود. در شروع شبیه سازی، برای این تابع مقدار اولیه صفر قرار داده می شود.

در سیستم موجودی شرکت ایساکو دوره سفارش برای تمامی قطعات تقریباً دو ماهه است که با توجه به نیاز آن قطعه، مقدار سفارش در هر بار سفارش دهی مشخص می شود. در مدل ریاضی مفهوم معادل با دوره 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 می شود که برآورده سازی سفارش و تامین نیاز این تعمیرگاه را انجام دهد. به منظور کوچک نمودن مقیاس انبار، موجودی اولیه انبار و نقطه سفارش مجدد آن

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

شکل ۴- ساختار مدیریت موجودی انبار تعمیرگاه در زنجیره تامین

روابط ریاضی:

- (۰) و مان تدارک و برآورده‌سازی سفارش ایساکو $\times$ نرخ سفارش) DELAY FIXED = نرخ تحویل (۱)
 (۰) و زمان تدارک و نرخ سفارش) DELAY FIXED = نرخ تحویل مطلوب (۲)
 نرخ تحویل - نرخ تحویل مطلوب = نرخ سفارشات تحقق نیافته (۳)
 (موجودی اولیه و نرخ سفارشات تحقق نیافته - نرخ مصرف - نرخ سفارش دهی) Δ = 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 توسعه یافته 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 با رفتار 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 نرم افزار 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 نقطه مرجع در مدل قرار داده و خروجی آن را به صورت تابع حداقل گیری میان نرخ سفارشات کلی ایساکو (متغیر خارجی) و حداکثر نرخ ارسال ایساکو تعریف می‌کنیم. سپس با تخمین تنها یک پارامتر (زمان پردازش سفارش ایساکو) انباشته موجودی شبیه‌سازی شده را به انباشته موجودی واقعی ایساکو نزدیک می‌کنیم. بدین وسیله برآورده‌سازی سفارش ایساکو که نسبت میزان کالاهای ارسال شده به سفارشات داده شده است

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

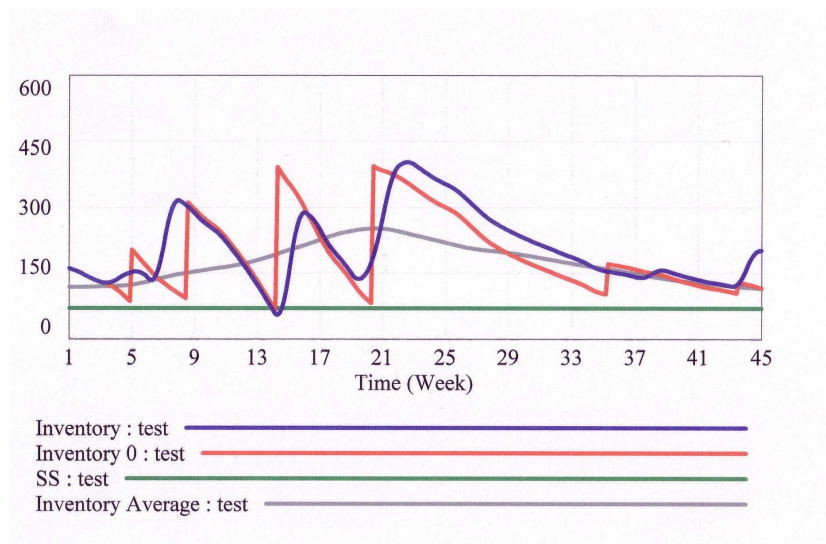
جدول ۱- پارامترهای مورد نیاز قطعه پمپ بنزین برقی در تعمیرگاه مرکزی

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 بالا و سطح سرویس بیش از ۹۷/۵ درصد بوده و تمامی سفارشات مشتری برآورده شده اند. در این سیستم با توجه به طولانی بودن دوره سفارش (۸ هفته)، مقدار سفارش دهی 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)، رفتار موجودی شبیه سازی شده (Inventory 0) را نسبت به موجودی واقعی (Inventory)، متوسط موجودی و حداقل موجودی را نشان می دهد.



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

۴. تست مدل زنجیره‌ای و تحلیل حساسیت

قبل از شروع تست مدل، لازم به ذکر است که مدل زنجیره‌ای از تلفیق دو ساختار مدیریت موجودی تعمیرگاه مرکزی در زنجیره (مدل توسعه یافته) 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 (۰۹۱۰۱۰۱) انتخاب شده است. تقاضای این قطعه در تعمیرگاه مرکزی ۱ طی ۵۰ هفته از سال ۸۴ به عنوان 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			

تذکره:
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 سفارش دهی ایساکو در مدل برابر صفر در نظر گرفته شود، نرخ خرید ایساکو صفر شده و در نتیجه انبار ایساکو در اثر مصرف کاهش یافته و به صفر می‌رسد. زمانی که موجودی انبار ایساکو به صفر رسید، نرخ ارسال آن به انبار شماره ۱ صفر می‌شود و موجودی انبار ۱ به تدریج در اثر مصرف کاهش یافته و به صفر می‌رسد و با صفر شدن موجودی انبار ۱ طبیعتاً نرخ مصرف آن نیز به صفر می‌رسد.

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

شبه سازی	واقعی	نشانه ها
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 طور کلی می توان در ارزیابی نحوه عملکرد کلی زنجیره دو معیار زیر را مدنظر قرار داد:

(۱) انباشته سفارشات از دست رفته ایساکو: این معیار می تواند نحوه 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 می برد.

(۲) متوسط هزینه کل زنجیره به ازای هر واحد فروش: این معیار می تواند کارایی زنجیره را ارزیابی کند. کاهش این معیار به معنی تأمین تقاضا با کمترین هزینه است. در رابطه زیر این معیار با علامت اختصاری (ATCPS)^۱ نشان داده شده است:

$$ATCPS = (\text{SMOOTH}3((St1 \text{ Inv} + \text{Isaco Inv}) / \text{Demand1}, \text{Time})) * \text{Cost}$$

در معادله بالا پراتر اول از موجودی کل زنجیره به ازای هر واحد فروش متوسط گیری می کند. از نظر مفهومی این متوسط گیری معادل با پوشش موجودی زنجیره است. حاصلضرب پوشش موجودی در هزینه پوشش به ازای هر هفته، آن را به معیار موردنظر تبدیل می کند. در مدل هزینه پوشش به ازای هر هفته، ۵۰۰۰ واحد پولی و زمان موردنیاز برای متوسط گیری 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 می شود. جدول ۴ حساسیت پارامترها را با توجه به دو معیار کلی زنجیره نشان می دهد.

1. Average Total Cost Per Sale

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

معیار کارآیی (هزینه 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. سیاست های پیشنهادی به منظور بهبود عملکرد زنجیره

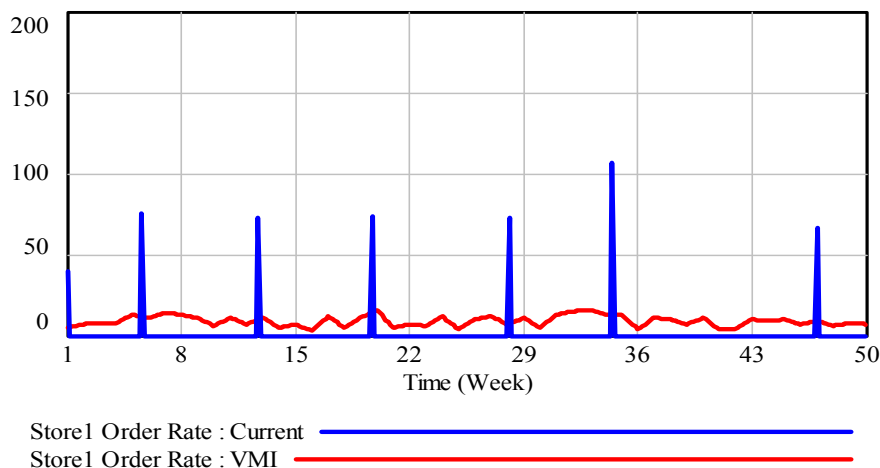
در این قسمت سیاست های پیشنهادی به ترتیب مطرح، و به طور مختصری نحوه اجرای آنها بر روی مدل توضیح داده می شود. سپس در جدول (۵)، نتایج پیاده سازی این سیاست ها بر روی مدل با توجه به دو معیار ارزیابی عملکرد زنجیره با یکدیگر مقایسه می شود.

الف. مدیریت انبار فروشنده^۱ (VMI)

در این راه حل سطوح واسطه بین تامین کننده و مشتری کاهش یافته و بدین ترتیب اطلاعات سریع تر و واقعی تر به تامین کننده منتقل می گردد. به منظور اجرای استراتژی VMI در مدل، از حلقه های بازخوری غالب در این بخش از اجرای شبیه سازی استفاده شده است. این حلقه ها بر رفتار نرخ سفارش دهی تعمیرگاه، حاکم شده و موجب می شوند تا تقاضای مشتری به سطح بالاتر انتقال پیدا کند. با اجرای VMI یک جریان مستمر و

1. Vendor Managed Inventory

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



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

ب. فشردن سازی زمانی^۱

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، برآوردسازی 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 دوره 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

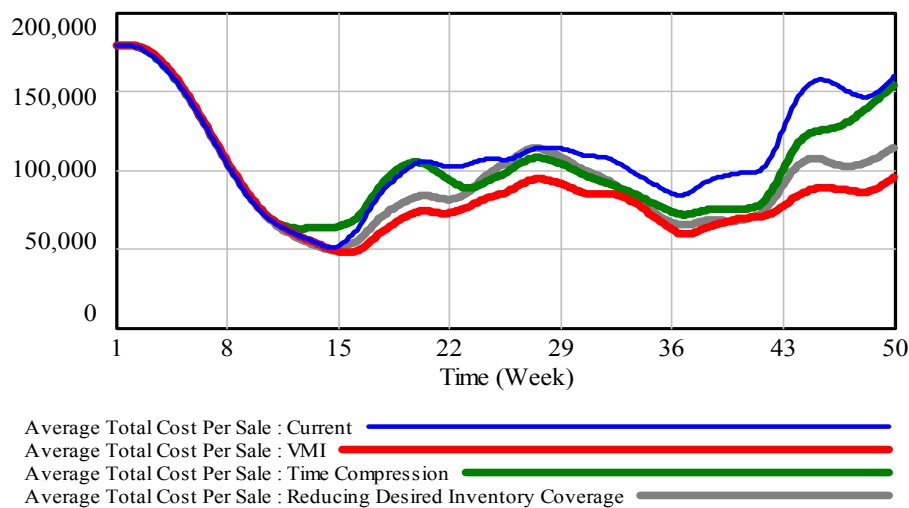
موجودی انبار ایساگو می شود.

جدول (۵)، نتایج محاسباتی حاصل از اجرای این سیاست ها را در معیارهای ارزیابی زنجیره طی مدت بررسی شده نشان می دهد.

جدول ۵- نتایج محاسباتی حاصل از اجرای سیاست ها بر روی مدل

سیاست ها	مجموع سفارشات از دست رفته ایساگو در ارتباط با تعمیرگاه مرکزی ۱	مجموع هزینه پوشش موجودی زنجیره
وضعیت فعلی	۱۸	۵۳۶۰۰۰۰
مدیریت انبار فروشنده (VMI)	۰	۴۲۵۰۰۰۰
فشرده سازی زمانی	۰	۴۹۸۰۰۰۰
هموارسازی سفارشات تعمیرگاه مرکزی	۰	۴۶۱۲۰۰۰

با اجرای سیاست های VMI، فشرده سازی زمانی و هموارسازی سفارشات، فروش زنجیره افزایش و هزینه پوشش موجودی زنجیره در مقایسه با وضعیت فعلی کاهش می یابد. نمودار زیر هزینه پوشش موجودی زنجیره را در سیاست های ذکر شده نشان می دهد.



شکل ۷- مقایسه هزینه زنجیره بابت انبار به ازای هر واحد فروش در سیاست های ذکر شده

چنانکه دیده می شود، متوسط هزینه 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.

جمع بندی و ملاحظات

در این مقاله، یک مدل شبیه سازی گسسته برای زنجیره تأمین قطعات یدکی خودرو با توجه 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) می باشند از نظر عددی با اطلاعات سیستم واقعی متناظر هستند. پارامتر حساس دیگر مقدار سفارش شرکت های پایین دستی (تعمیرگاه مرکزی) می باشد که عملکرد کلی زنجیره را به شدت تحت تأثیر قرار می دهد. در قسمت آخر، تأثیرات به کارگیری استراتژی های مختلف به منظور بهبود عملکرد زنجیره مطالعه شد و چندین راه حل شناسایی شدند:

- ۱) کاهش لایه های زنجیره و ارتباط مستقیم تر سطح بالاتر زنجیره با مشتری نهایی
- ۲) کاهش در همه زمان های 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

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"

-
- 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*.