اولین کنفرانس ملی رویکرد سیستمی

ارائه مدل موجودی زنجیره تامین چند رده‌ای در محیط لجستیک معکوس با رویکرد تحلیل سیستم پویا

مهسا پروینی
دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی صنایع m_parvini@aut.ac.ir
علی آتشی
دانشگاه تهران، دانشکده مدیریت، شرکت ایز ایران ali.atashi@ut.ac.ir
دکتر سید محمد معطر حسینی
دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی صنایع moattarh@aut.ac.ir

چکیده

هدف تفکر سیستمی، بهبود شناخت ارتباط میان عملکرد هر سازمان با ساختار درونی و سیاست‌های عملیاتی آن و نیز سیاست‌های عملیاتی محیط سازمان اعم از مشتریان، رقبا و تامین کنندگان است تا از این درک برای طراحی سیاست‌های مؤثر به منظور بهینه سازی ساز و کارهای سازمان استفاده شود. سیستم‌های پویا به عنوان بخش قابل توجهی از انواع سیستم‌ها همواره نظر تعداد زیادی از محققان را به خود جلب کرده‌اند. مدلسازی فرایندهای زنجیره‌های تامین با توجه به ماهیت تغییر حالت آن در طول زمان، یکی از این نمونه‌ها هستند.

در این تحقیق یک مدل موجودی در محیط لجستیک معکوس برای بررسی در نظر گرفته شده است. فرض شده است بازگشتی‌ها به طور مستقیم به جریان تقاضا وابسته‌اند و ساخت مجدد یک محصول بازگشتی، یک محصول قابل ارائه را نتیجه می‌دهد. با در نظر گرفتن تولید محصولات جدید در کنار تولید مجدد محصولات بازگشتی، زنجیره تامین چند رده‌ای توسعه داده شده است و یک مدل موجودی مرور پیوسته با هدف کمینه کردن هزینه های زنجیره تامین برای آن در نظر گرفته شده است.

با توجه به تطابق مدل مورد بررسی با ویژگیهای سیستم‌های پویا، مدل برنامه ریزی پویا برای تحلیل این مسئله استفاده شده و سپس نتایج به دست آمده با نتایج مورد انتظار مقایسه و تجزیه و تحلیل شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که مدل ارائه شده با رویکرد مدلسازی پویا در مقایسه با رویکرد درخت تصمیم گیری در بررسی مسئله پایه کاراتر است.

کلمات کلیدی: رویکرد سیستمی، سیستم پویا، لجستیک معکوس، زنجیره تامین چند رده ای، کنترل موجودی، بازگشتی های وابسته.

۱ مقدمه

برتالنفی[1] در سال ۱۹۴۰ نظریه سیستم‌ها را در جهت مخالف تقلیل گرایی تحت عنوان نظریه سیستم‌های عام[2] منتشر کرد. نظریه سیستم‌ها بر این مهم تاکید دارد که در عمق تمام مسائل، یک سری اصل و ضابطه موجود است که بطور افقی تمام نظام‌های علمی را قطع می کند و رفتار عمومی سیستم‌ها را کنترل می‌نماید . یعنی می‌توان به یک سری از اصول و ضوابط اولیه دست یافت که تعریف کننده رفتار عمومی سیستم‌ها صرفنظر از نوع آنهاست. این بدان معنا نیست که یک تئوری عمومی بتواند جایگزین تئوری‌های خاص نظام‌های علمی مختلف گردد، بلکه فقط سعی دارد بصورت یک هدایت کننده عمل نماید. کوشش برای دیدن کل ، اصل ادعایی است که روش سیستم‌ها در برخورد با مسائل برای خود قائل است. به عبارت دیگر رویکرد سیستمی ، مدعی ارائه روش برای برخورد اصولی‌تر با پیچیدگی‌های دنیای کنونی است.

عمومی‌ترین تعریف سیستم عبارتست از ترکیب مرتبی از عناصر فکری و مادی در یک واحد یکپارچه. (1) نظریه عمومی سیستم‌ها در خصوص کارکردها و قوانین ساختاری معتبر برای سیستم‌ها صرف نظر از عناصر تشکیل دهنده بحث می‌کند. اساس نظریه سیستم‌ها بر این اصل استوار است که هر سیستم به عنوان یک کل رفتار متفاوتی از تمام اجزای خود دارد. نظریه سیستم‌ها در واقع به مطالعه افقی پدیده‌ها مستقل از ظاهر، نوع، اندازه، و فاصله می-پردازد و در تمام سیستم‌های پیچیده نیز این رویکرد را دارد. یک سیستم شامل ورودی، خروجی و زیر سیستم‌های مجزا با ارتباطات متقابل آنهاست. همچنین یک حلقه بازخورد نیز می تواند بخشی از ساختار سیستم باشد (2) .

سیستم‌ها را می توان به دو دسته ایستا[3] و پویا[4] طبقه‌بندی نمود. طبق تعریف هال در سیستم ایستا، عناصر و خود سیستم طی زمان در ارتباط با محیط دچار تغییر نمی‌شوند اما سیستم‌های پویا به طور مستمر محیط را تغییر داده و خود از محیط تاثیر می گیرند (3). به عبارت دیگر سیستم پویا سیستمی است که حالت آن در طول زمان تغییر کند به عبارتی در این سیستم رویداد وجود دارد .

در مدلسازی سیستم پویا، ابتدا حیطه سیستم و اجزاء آن تعیین می‌شود سپس مدل ریاضی و فروض آن شکل می‌یابند. در نهایت از معادلات ثبت شده برای بدست آوردن خروجی بهره گرفته می‌شود. تابع انتقال یک سیستم پویا به عنوان شاخص‌ترین مشخصه آن، روابطی را که پویایی سیستم را مدل می‌کند را تشریح می‌کند (4).

سیستم‌های پویا به عنوان رویکردی برای آنالیز و تحلیل و حل مسائل پیچیده شناخته شده‌اند. این رویکرد بر اساس بازخورد اطلاعات و تاخیرات برای درک رفتار پویای سیستم است (5). سیستم‌های پویا برای درک و پیش بینی رفتار بازار، ایجاد ساختار تصمیم‌گیری، کاهش زمان تاخیرات، بهبود سرویس مشتری استفاده شده‌است. در مباحث لجستیک و زنجیره تامین نیز به دلیل وجود پیچیدگی و کثرت روابط علت و معلولی، استفاده از رویکرد سیستم پویا برای بررسی سیستم مفید می‌نماید. در مدلسازی جریان موجودی در یک زنجیره تامین به دلیل

---

[1] Ludwig Von Bertalanffy
[2] General Systems theory
[3] Static
[4] Dynamic

وابستگی موجودی انبارهای مختلف در رده‌های مختلف زنجیره به یکدیگر و اثر گذاری مقدار انتقال موجودی بین انبارها در هزینه‌های کل زنجیره، مدلسازی پویا به عنوان روش مدلسازی در کل زنجیره تامین مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدلسازی پویا در موضوعات لجستیک و زنجیره تامین اولین بار توسط فرستر به کار گرفته شده‌است که در بخش بعد به تفصیل در مورد آن صحبت خواهد شد.

در ادامه، مقاله را در قالب ۵ بخش زیر بررسی می‌کنیم: در بخش ۲ به بررسی تحقیقات انجام شده در خصوص ادبیات موضوع می‌پردازیم، بخش ۳ را به تعریف مسئله اختصاص می‌دهیم. در بخش ۴ به ارائه رویکرد حل مسئله پرداخته و در بخش ۵ مزیت استفاده از رویکرد حل مسئله را بیان می‌کنیم و در نهایت در بخش ششم به جمع بندی پرداخته و پیشنهادات آتی برای توسعه کار را ارائه می‌دهیم.

۲ مرور ادبیات

در این بخش قصد داریم به مطالعه تحقیقات انجام شده در خصوص پویایی زنجیره تامین بپردازیم. پس از اولین تحقیقی که فارستر[1] در سال ۱۹۶۰ در خصوص پویایی زنجیره تامین انجام داد (۶)، تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شد. وی در تحقیق خود به بررسی توسعه تقاضا در زنجیره‌های تامین ساده خطی و واقعی پرداخت. مطالعات انجام شده در این بخش را می توان در سه گروه دسته بندی نمود (7): تحقیقات با رویکرد کنترلی، تحقیقات با رویکرد علوم رفتاری و تحقیقات با رویکرد تجربی. پیشرفت تحقیقات اخیر در بررسی این سه رویکرد در ذیل بررسی می‌شود. تمرکز بر رویکرد کنترلی برای توسعه متدولوژی‌هایی در جهت راه اندازی اصول کنترلی سیستم برای تعدیل پویایی در طی زنجیره تامین است. تکنیک‌های کلاسیک کنترلی از این دست به شمار می‌روند (8). برنز[2] و سیوازلیان[3] از نئوری مکانیزم فرمان یار برای مطالعه مسئله کنترل موجودی در یک زنجیره تامین بهره بردند (9). پاپل ول[4] و بانی[5] سیستم‌های کنترل تولید کرده و تئوری کنترلی خطی گسسته را تحلیل کرده و شرایط مناسبی برای ایجاد تعادل در سیستم مهیا ساختند (10) . تووِیل[6] سیستم‌های کنترلی موجودی و تولید سفارش محور (IOBPCS[7]) را طراحی نموده و سیستم‌های تک حلقه ای و چند حلقه ای را با استفاده از تئوری کنترلی خطی و سیستم‌های پویا بررسی کرده است (11). سیمون[8] و همکارانش مدل تووِیل را بهبود داده و با در نظر گرفتن اطلاعات موجودی در جریان کار، کار تووِیل را توسعه دادند (12) .

بعدها دیزنی و تووِیل پایایی یک سیستم موجودی در یک زنجیره تامین فروشنده محور را با رویکرد APIOBPCS[9] و تئوری کنترلی خطی گسسته مورد بررسی قرار دادند (13). بعد دیجونکییر[10] و همکارانش اثر

---

[1] Forrester
[2] Burns
[3] Sivazlian
[4] Popplewell
[5] Bonney
[6] Towill
[7] Inventory- and Order-based Production Control System
[8] Simon
[9] Automatic Pipeline Inventory- and Order-Based Production Control System
[10] Dejonckheere

شلاق گاوی در زنجیره تامین را مورد بررسی قرار دادند ((14) و (15)) . پیرا[1] و همکارانش زنجیره تامینی را با معادلات متنوع و متفاوت مدلسازی نمودند تا به بررسی رفتار پویای آن بپردازند (16). اخیرا لین[2] زنجیره تامین را به صورت سیستم گسسته خطی با محدودیت‌های لیدتایم و زمان عملیات در نظر گرفته و یک کنترل کننده صحیح و مناسب برای کاهش اثر شلاق گاوی ارائه کرده است(17) . تحقیقات ذکر شده فوق همگی سعی در ارائه متدولوژی‌هایی برای درک مناسبتری از پویایی سیستم‌های چند رده ای در زنجیره تامین نموده‌اند.

رویکرد دوم توسط ویلدینگ[3] تحت عنوان رویکرد علوم رفتاری مطرح شد که مشخصه آن توسعه بازی‌های کسب وکار برای فائق آمدن بر اثر شلاق گاوی است(7). تحقیقات بررسی شده در این گروه به بررسی قواعد بکار رفته توسط مدیران در اجرا پرداخته و بر این نکته که چگونه تصمیمات انسان منجر به عدم قطعیت می‌شود تمرکز دارد.

موسکیلدو[4] و لارسن[5] ایجاد آشفتگی پویا در مدل مرور زمانی پیوسته در یک زنجیره توزیع را مطرح کردند (18). تامسن[6] و همکارانش نیز در تحقیق خود نشان دادند که چگونه یک زنجیره توزیع با پارامترهای واقعی می تواند رفتار فوق آشفتگی را مدیریت کنند(19) . لارسن و همکاران رفتار پیچیده سیستم‌های توزیع- تولید را در نظر گرفته و تحقیقاتشان به تغییراتی در پارامترهای سیاست سفارش دهی انجامید (20).

در رویکرد سوم موسوم به رویکرد تجربی تعدادی مدل‌های شبیه سازی چند عامله (21) و مدل‌های سیستم‌های پویا (5)و مدل‌های Petri-Net (22) برای مطالعه رفتار پویای زنجیره تامین توسعه یافتند. نتایج تحقیقات انجام شده با دو رویکرد علوم رفتاری و رویکرد تجربی این نکته را آشکار کردند که زنجیره تامین رفتار پیچیده‌ای دارد اما هنوز تئوری برای شناخت آن وجود ندارد و همچنان زنجیره تامین به صورت سیستم خطی بررسی می‌شود .

در بخش دوم به مرور تحقیقات انجام شده در زنجیره تامین معکوس با رویکرد استفاده از مدلسازی پویا می-پردازیم. سانگوا[7] و مادای[8] تاثیر کنترل اطلاعات در یک سیستم تولید- توزیع را با استفاده از تکنیک‌های کنترلی بازخورد اتوماتیک بررسی کردند (23) . استرمن[9] به مطالعه دو مورد کاوی پرداخت که در آنها مدل‌های سیستم پویا در مسائل لجستیک معکوس منعکس شده‌اند (24). در مورد اولی زامودی[10] احیای قطعات و بازیافت مواد را در یک صنعت خودرو در آمریکا بررسی کرده تا پیشنهاداتی برای آینده این صنعت ارائه کنند. در مورد کاوی دوم تیلور[11] بر مکانیزم‌های بازار بازیافت کاغذ متمرکز شد و ناپایایی و ناکارایی جریان قیمت‌ها و ... را مورد بررسی قرار داد(25) . جورجیادیس[12] و ولاکوس[13] سیستم‌های پویا را برای تخمین موجودی و جریان آن در زنجیره تامین در حالی در نظر گرفتند که ساختاری برای تخمین ظرفیت پروسه‌سازی مجدد سالانه مهیا شده است(26) .

---

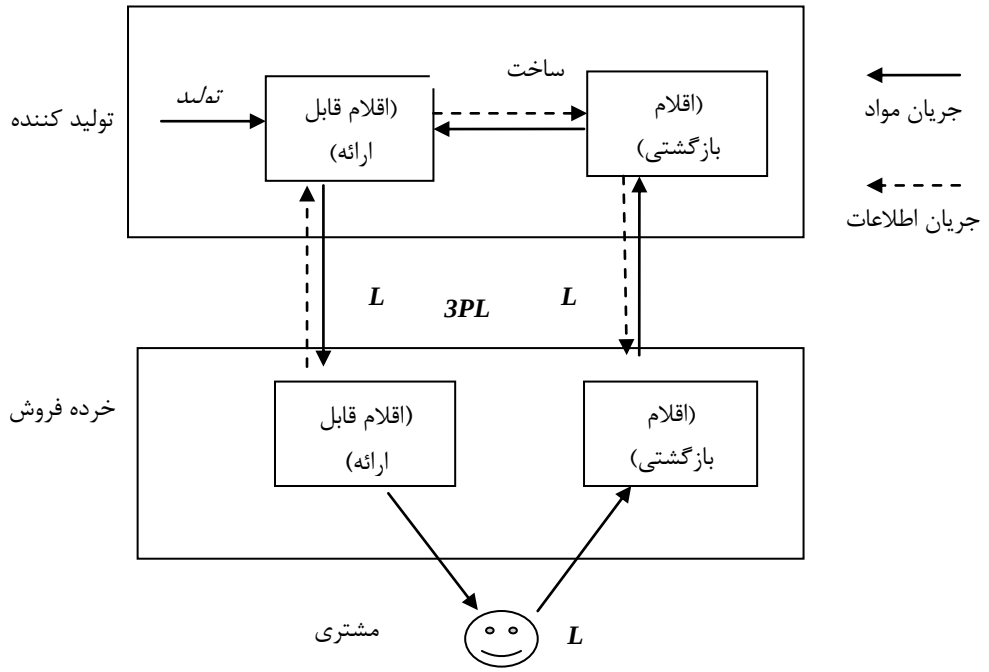
[1] Perea
[2] Lin
[3] Wilding
[4] Mosekilde
[5] Larsen
[6] Thomsen
[7] Sanghwa
[8] Maday
[9] Sterman
[10] Zamudio-Ramirez
[11] Taylor
[12] Georgiadis
[13] Vlachos

تا کنون مطالعات بررسی شده در خصوص زنجیره تامین ساده و تک مرحله‌ای بوده است و تحقیقات اندکی به بحث مدیریت موجودی در زنجیره تامین پرداخته است. در این مقاله سعی داریم به تعریف مسئله مدیریت موجودی در یک زنجیره تامین چند رده‌ای با رویکرد مدلسازی سیستم پویا بپردازیم. در نظر گرفتن چند رده در زنجیره تامین، مدلسازی را به واقعیت نزدیک می‌کند اما به دلیل اضافه کردن اجزای جدید و روابط بین اجزای اضافه شده به مسئله، به پیچیدگی مسئله می‌افزاید. با توجه به افزایش پیچیدگی مسئله و گستردگی ابعاد و وابستگی روابط متقابل رده‌های زنجیره تامین، مدلسازی مسئله به کمک رویکرد مدلسازی سیستم پویا با توجه خاص به تابع انتقال می‌تواند راه حل این مسئله باشد.

۳ تعریف مسئله

سیستم موجودی دو رده‌ای را در نظر بگیرید که شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش است. خرده‌فروش پاسخگوی تقاضاهای مشتریان از محل اقلام قابل ارائه است. اقلام معیوب اما قابل بازیافت و واحدهای استفاده شده محصول به انبار اقلام بازگشتی محصول پس از پایان دوره مصرف آنها بازگردانده می‌شوند.

در این سیستم موجودی فرض شده است که هر محصول استفاده شده و بازگشت شده پس از ساخت مجدد تبدیل به یک محصول قابل ارائه می‌شوند. مثال این مورد، دستگاه کپی و دوربین عکاسی هستند. در ابتدا دوره مورد بررسی، اقلام استفاده شده توسط مشتریان به انبار اقلام بازگشتی خرده‌فروش برای احیا انتقال داده می‌شوند. سپس به انبار بازگشتی سازنده ارسال می‌شوند تا ساخت مجدد شوند. این ارسال به اندازه $L2$ طول می‌کشد و توسط طرف سوم لجستیکی انجام می‌شود. از آنجایی‌که نرخ بازگشت معمولا کمتر از نرخ تقاضا است، ممکن است برای تولیدکننده پاسخدهی به کل تقاضا با استفاده از ساخت مجدد اقلام بازگشتی میسر نباشد، پس سازنده ناگزیر از تولید اقلام جدید است.



شکل شماره ۱: سیستم مدیریت موجودی در زنجیره تامین چند رده ای

فرایند تولید در هر پریود با توجه به محدودیت زمانی تولید و مقدار مورد نیاز در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در هر رده سازنده و خرده فروش دو نوع موجودی دارند که آنها را در دو انبار مجزا در هر رده دسته‌بندی می کنند. این دو نوع عبارتند از موجودی قابل ارائه از محل واحدهای تازه تولید شده یا بازیابی شده و موجودی قابل بازیافت. فرض می‌شود کیفیت محصولات بازیابی شده به خوبی محصولات جدید هستند. همینطور فرض می‌شود که زمان ساخت مجدد اقلام معیوب و بازگشتی کوتاه‌تر از زمان تولید محصولات جدید در فرایند ساخت است. مسئله برای محصولات با دوره عمر کوتاه در نظر گرفته شده‌است و بنابراین طول دوره زنجیره تامین برابر با دوره عمر محصول فرض شده‌است. سیستم موجودی در شکل ۱ به تصویر کشیده شده‌است.

هزینه نصب و راه اندازی، هزینه کمبود و هزینه نگهداری برای هر دو نوع موجودی در مدل توسعه یافته در نظر گرفته شده‌است. هدف تعیین مقادیر متغیرهای سیاست موجودی در هر دو رده زنجیره به نحوی است که هزینه کلی سیستم کاهش یابد. از این پس، انبار قابل ارائه خرده‌فروش، انبار قابل ارائه سازنده، انبار قابل بازیابی سازنده و انبار قابل بازیابی خرده‌فروش به ترتیب انبار ۱، ۲، ۳ و ۴ شناخته می‌شوند.

اگر مدیریت موجودی در زنجیره تامین را سیستم تحت بررسی در نظر بگیریم لازم است اجزا و روابط و محیط سیستم را به خوبی مطالعه نماییم. همانطور که در جدول شماره ۱ برمی آید اجزای سیستم موردنظر، انبارهای زنجیره تامین هستند که از طریق ایجاد درخواست تقاضا با هم در ارتباطند. ورودی و خروجی سیستم شامل موجودی‌های بازگشتی وارد شده به سیستم و موجودی اقلام قابل ارائه خارج شده از سیستم‌اند.

جدول شماره ۱: اطلاعات کلی سیستم مدیریت موجودی

اجزاء سیستم	انبارهای زنجیره تامین
ارتباطات اجزاء در سیستم	درخواست تقاضای موجودی انبارها از یکدیگر
ورودی – خروجی	اقلام بازگشتی از سمت مشتری نهایی- اقلام قابل ارائه
فرایندهای سیستم	تولید و ساخت مجدد

جدول شماره ۲: روابط میان اجزای سیستم

جزء مورد مطالعه سیستم	ارتباطات با سایر اجزا	ورودی	خروجی
انبار ۴	مشتری نهایی انبار ۳	اقلام بازگشتی	موجودی منتقل شده از انبار ۴
انبار ۳	انبار۴ انبار ۲	موجودی رسیده از انبار ۴	موجودی منتقل شده از انبار ۳
انبار ۲	انبار۳ انبار۱	موجودی رسیده از انبار ۳	موجودی ساخت مجدد شده از انبار ۲ و اقلام جدید تولید شده (در صورت نیاز)
انبار۱	انبار ۲ مشتری نهایی	موجودی رسیده از انبار ۲	تقاضای مشتری نهایی

پس از معرفی اطلاعات کلی در خصوص سیستم لازم است به شناخت اجزا و رفتار آن بپردازیم. به منظور درک بهتر از رفتار هر جزء اطلاعات رفتاری هر یک را در قالب جدول زیر تشریح کرده‌ایم. اجزا به ترتیب جریان کالا در جدول شماره ۲ گزارش داده شده‌اند.

۴ تشریح روابط اجزای سیستم

در این بخش به تفصیل به بررسی اجزاء سیستم می‌پردازیم. قبل از هر چیز لازم است علائم بکار رفته در مدل را معرفی کنیم.

D : تقاضای مشتری نهایی

t_r : هزینه نصب و راه‌اندازی فرایند ساخت مجدد

t_m : هزینه نصب و راه‌اندازی فرایند ساخت

C_{hi}: هزینه نگهداری هر واحد در انبار i

C_{bi} : هزینه کمبود هر واحد در انبار i

S_{ij}: مقدار انتقال از انبار i به انبار j

r: کسری از تقاضا برگشتی در هر واحد زمان

Q_i: مقدار سفارش انبار i

L_m: زمان متغیر تولید هر واحد

$\underline{L_r}$: زمان متغیر ساخت مجدد هر واحد

C_{pi}: هزینه انتقال هر واحد در انبار i

I_i: سطح موجودی در انبار i

X^+: بخش پاسخ داده شده تقاضا مشتری نهایی

X^-: بخش پاسخ داده نشده تقاضا مشتری نهایی

L_2: زمان انتقال

L_1: طول دوره زنجیره تامین

x: تعداد تولید اقلام جدید

y: متغیر ۰ و ۱ (y=۱ به این معنای است که تولید محصولات جدید اتفاق می افتد).

در این مدل فرض شده است نرخ تقاضا و نرخ بازگشتی قطعی، ایستا و در طی زمان یکنواخت هستند. انبار ۴ به عنوان اولین جزء سیستم در نقطه شروع دوره زنجیره تامین تحت تاثیر تعاملات سیستمی قرار می‌گیرد. در مرحله اول که شروع دوره است، اقلام استفاده شده مشتری نهایی به انبار اقلام بازگشتی خرده فروش بازگردانده می‌شوند. و تقاضای مشتری نهایی توسط انبار ۱ پاسخ داده می شود. معادلات زیر ارتباط را نمایش می‌دهد:

$$(1)\ X^+ = \begin{Bmatrix} D, D \le I_{1O} \\ I_{1O}, D \succ I_{1O} \end{Bmatrix} = \min(D, I_{1O})$$

$$(2)\ X^- = D - X^+$$

$$(3)\ I_{1n} = \begin{Bmatrix} I_{1O} - D, D \le I_{1O} \\ 0, D \succ I_{1O} \end{Bmatrix},$$

$$(4)\ I_{1n} = I_{1O} - X^+$$

$$(5)\ Q_1 = X^- - I_{1n}$$

مقدار سفارش هر انبار از رابطه زیر بدست می آید.

$$(6)\ Q_2 = Q_1 - I_{2O}$$

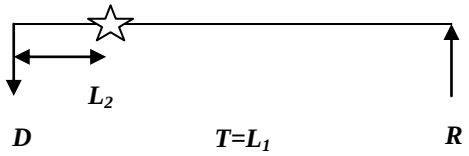
$$(7)\ Q_3 = Q_2 - I_{3O}$$

اقلام در پایان عمر خود به انبار ۴ بازگردانده می‌شوند. سطح موجودی انبار ۴ با ورود اقلام بازگشتی افزایش می‌یابد:

$$(8)\ R^{k-1} = r \times D^{k-1}$$

$$(9)\ I_{4n} = I_{4O} + R^{k-1}$$

پس از طی زمان $L2$ ، بچ ارسالی ار انبار ۴ به انبار ۳ می‌رسد و انبار ۳ به عنوان بخشی از سیستم وارد فرایند سیستم می‌شود. معادله این انتقال در ذیل آمده‌است:



$$(11)\ I_{4n} = I_{4O} - S_{43}$$

$$(10)\ S_{43} = \begin{Bmatrix} I_{4O}, I_{4O} \le Q_3 \\ Q_3, Q_3 \le I_{4O} \end{Bmatrix} = \min(I_{4O}, Q_3)$$

شکل۳- انتقال موجودی به انبار ۳

به روزآوری مقادیر سطوح موجودی انبارهای ۳ و ۴ نتیجه این انتقال است و در روابط زیر آورده شده‌است:

$$(12)\ I_{3n} = I_{3O} + S_{43}$$

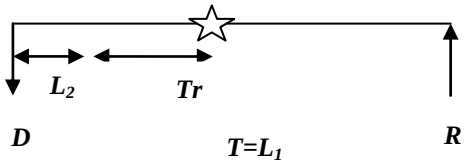
در این مرحله، هزینه نگهداری، هزینه کمبود و هزینه نقل و انتقال ممکن است هزینه کل انبار ۴ را تحت تاثیر قرار دهند. وقتی انبار ۳ اقلام بازگشتی را از انبار ۴ دریافت می‌کند، فرایند ساخت مجدد شروع می‌شود. در پایان فرایند ساخت مجدد، موجودی انبارهای ۳ و۲ به روز می‌شود زیرا اقلام بازگشتی با فرایند ساخت مجدد به اقلام قابل ارائه تبدیل می‌شوند. معادلات مرتبط ۱۳ تا ۱۶هستند معادله ۱۳ زمان موجود برای فرایند ساخت مجدد را بدست می‌دهد:

$$(13) T_r = t_r + L_r \times S_{32}$$

$$(14)\ S_{32} = \begin{Bmatrix} I_{3O}, I_{3O} \le Q_2 \\ Q_2, Q_2 \le I_{3O} \end{Bmatrix} = \min(I_{3O}, Q_2)$$

$$(15)\ I_{3n} = I_{3O} - S_{32}$$

$$(16) I_{2n} = I_{2O} + S_{32}$$



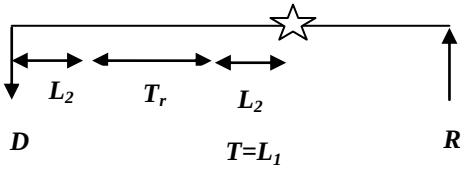
شکل۴- ساخت مجدد در زنجیره تامین

در این مرحله، هزینه نگهداری، هزینه کمبود و هزینه نقل و انتقال کل هزینه مدل را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ساخت مجدد اقلام استفاده شده آنها را به اقلام قابل ارائه تغییر می دهد که در انبار ۲ ذخیره می‌شوند. انبار ۲ موجودی قابل ارائه خود را به انبار ۱ ارسال می‌کند تا بتواند با تقاضای مشتری مواجه شد. این روابط با معادلات ۱۸ و ۱۹ مشخص شده‌اند:

$$(17)\ S_{21} = \begin{Bmatrix} I_2, I_{2O} \le Q_1 \\ Q_1, Q_1 \le I_{2O} \end{Bmatrix} = \min(I_2, Q_1) = Q_1$$

$$(18)\ I_{2n} = I_{2O} - S_{21}$$

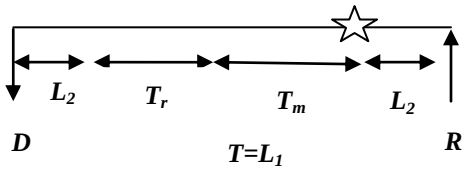
$$(19)\ I_{1n} = I_{1O} + S_{21}$$



شکل۵- انتقال موجودی به انبار ۲ بدون تولید اقلام جدید

طبق معادله ۱۷، انبار ۲ تمام اوقات نمی‌تواند سفارش انبار ۱ را پاسخ دهد. بنابراین تولیدکننده می تواند اقلام جدید تولید کند. این امر زمانی اتفاق می‌افتد که سطح موجودی انبار ۲ کمتر از مقدار سفارش انبار ۱ باشد و همینطور زمان کافی تا انتهای دوره برای تولید اقلام جدید و ارسال آنها برای انبار ۱ وجود داشته باشد. اگر شرایط مذکور وجود داشته باشد، تولید محصولات جدید اتفاق خواهد افتاد. معادلات زیر این روابط را منعکس می‌کنند:

$$(20)\ \mathrm{T}_m = t_{\mathrm{m}} y + L_m \times x$$
$$(21)\ \mathrm{T}_{\mathrm{r}} = t_{\mathrm{r}} + L_r \times S_{32}$$
$$(22)\ \mathrm{I}_{\mathrm{ln}} = \mathrm{I}_{\mathrm{lO}} + x$$
$$(23) 2 \times \mathrm{L}_2 + \mathrm{T}_{\mathrm{r}} + \mathrm{T}_m \le T$$
$$(2 \times \mathrm{L}_2) + (t_{\mathrm{r}} + L_r \times S_{32}) + (t_{\mathrm{m}} y + L_m \times x) \le (T = \mathrm{L}_1)$$



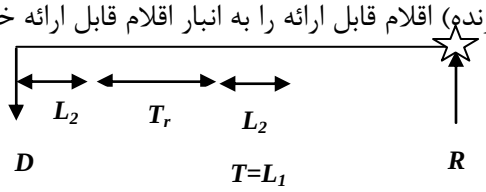
شکل۶- انتقال موجودی به انبار ۲ با تولید اقلام جدید

$$x \le \frac{\mathrm{L}_1 - ((2 \times \mathrm{L}_2) + (t_{\mathrm{r}} + L_r \times S_{32}) + t_{\mathrm{m}} y)}{L_4}$$

همینطور که در این مطالعه ذکر شد، هر محصول بازگشتی و استفاده شده تنها به یک محصول قابل ارائه تبدیل می‌شود پس مقدار محصولات جدید تولید شده باید مقداری صحیح و منطبق بر رابطه ۲۴ باشد.

$$\Rightarrow (24) x = \left[\frac{\mathrm{L}_1 - ((2 \times \mathrm{L}_2) + (t_{\mathrm{r}} + L_r \times S_{32}) + t_{\mathrm{m}} y)}{L_m} \right]$$

در این مرحله هزینه تولید ممکن است هزینه کل را در انبار ۲ تحت تاثیر قرار دهد. در موقعیتی دیگر، سازنده ممکن است تصمیم به تولید اقلام جدید نگیرد بنابراین پس از پایان زمان فرایند ساخت مجدد، تولیدکننده (سازنده) اقلام قابل ارائه را به انبار اقلام قابل ارائه خرده فروش بدون تولید اقلام جدید ارسال کند.



شکل۵- انتقال موجودی با انبار۱

در این موقعیت، هزینه نگهداری مهمترین قلم هزینه است که بر هزینه کل سیستم موجودی موثر است زیرا اقلام ساخت مجدد شده، تا شروع دوره بعد در انبار ۱ نگهداری می‌شوند تا در ابتدای دوره تقاضای مشتری را ارضا کنند. مرحله آخر از تحلیل مدل مربوط به انتقال بچ موجودی از انبار ۲ به انبار ۱ در زمان L2 است.

هزینه کل حاصل مجموع هزینه‌های جزئی در هر انبار است و به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$(25)\ \text{minimize}\ \mathrm{C}_{\text{total}} = \mathrm{C}_{\mathrm{t1}} + \mathrm{C}_{\mathrm{t2}} + \mathrm{C}_{\mathrm{t3}} + \mathrm{C}_{\mathrm{t4}}$$
$$= (\mathrm{C}_{\mathrm{b1}} \times \frac{\mathrm{X}^{-2}}{2 \times D}) + (\mathrm{C}_{\mathrm{h1}} \times \frac{\mathrm{I}_1 + (\mathrm{I}_1 - \mathrm{X}^{+})}{2} \times \frac{\mathrm{X}^{+}}{D})$$
$$+ (\mathrm{C}_{\mathrm{b2}} \times \frac{\mathrm{Q}_1 - \mathrm{S}_{21} - yx}{T}) + (\mathrm{C}_{\mathrm{p2}} \times \mathrm{S}_{21})$$
$$+ (\frac{\mathrm{C}_{\mathrm{h2}}}{T} \times \begin{pmatrix} (\mathrm{I}_2 \times \mathrm{L}_2) + \frac{(\mathrm{I}_2 + \mathrm{S}_{32}) + \mathrm{I}_2 - (1-y)\mathrm{S}_{21}}{2} \times \mathrm{T}_{\mathrm{r}} + \left(\frac{(\mathrm{I}_2 + \mathrm{S}_{32}) + (\mathrm{I}_2 + \mathrm{S}_{32} + x - \mathrm{S}_{21})}{2} \right) \times \mathrm{T}_{\mathrm{m}}(y) \\ + \left((T - (\mathrm{T}_{\mathrm{r}} + \mathrm{T}_{\mathrm{m}}(y) + \mathrm{L}_2)) \times (\mathrm{I}_2 + \mathrm{S}_{32} - \mathrm{S}_{21} + xy) \right) \end{pmatrix} + (\mathrm{C}_{\mathrm{b3}} \times \frac{\mathrm{Q}_2 - \mathrm{S}_{32}}{T}) + (\mathrm{C}_{\mathrm{p3}} \times \mathrm{S}_{32})$$
$$+ (\frac{\mathrm{C}_{\mathrm{h3}}}{T} \times \begin{bmatrix} (\mathrm{I}_3 \times \mathrm{L}_2) + \left[\frac{(\mathrm{I}_3 + \mathrm{S}_{43}) + (\mathrm{I}_3 + \mathrm{S}_{43} - \mathrm{S}_{32})}{2} \times (t_{\mathrm{r}} + L_r \times S_{32}) \right] \\ + \left[(T - (\mathrm{T}_{\mathrm{r}} + \mathrm{L}_2)) \times (\mathrm{I}_3 + \mathrm{S}_{43} - \mathrm{S}_{32}) \right] \end{bmatrix}) + (\mathrm{C}_{\mathrm{b4}} \times \frac{\mathrm{Q}_3 - \mathrm{S}_{43}}{T}) + (\mathrm{C}_{\mathrm{p4}} \times \mathrm{S}_{43})$$
$$+ (\mathrm{C}_{\mathrm{h4}} \times \left(\frac{(\mathrm{I}_4 - \mathrm{S}_{43}) + (\mathrm{I}_4 - \mathrm{S}_{43} + R)}{2} \times \frac{(\mathrm{I}_4 - \mathrm{S}_{43} + R)}{(\mathrm{I}_4 - \mathrm{S}_{43} + R) + (\mathrm{Q}_3 - \mathrm{S}_{43})} \right))$$

Subject to:

$$1) S_{32} - Q_2 \le My, \quad y = 0,1.$$

$$2)\ I_i - Q_{i-1} \le Q_i \le 0, i = 2,3,4.$$

$$3) x = \left[\frac{L_1 - ((2 \times L_2) + (t_r + L_r \times S_{32}) + t_m y)}{L_m} \right]$$

$$4)\ R^{k-1} = r \times D^{k-1}$$

$$5)\ S_{ij} = \min(I_i, Q_j) \approx \begin{Bmatrix} Q_j \ge S_{ij} \\ I_i \ge S_{ij} \end{Bmatrix}$$

$$i = 2,..4. j = 1,..3.$$

از آنجایی‌که هزینه کل تابعی محدب از Qi است لذا بهینگی راه حل قطعی است.

۵ بکار گیری رویکرد سیستمی در مدلسازی مسئله و حل آن

برنامه‌ریزی پویا در مسائلی که در آنها رشته‌ای از تصمیم‌های مرتبط با یکدیگر مطرح باشد، استفاده می‌شود. این برنامه‌ریزی با به کارگیری فرایندی نظام‌گرا ترکیبی از تصمیم‌های متوالی را تعیین می‌کند که به حداکثر شدن کارائی کلی می‌انجامد. مدل بهینه، مقادیر Qi و x وy را طوری تعیین می‌کند که هزینه کل را کمینه کند. از آنجایی که مقادیر سفارش به همدیگر مربوط هستند و انتقال موجودی از انبار ۴ به بقیه مقادیر سایر انتقالات را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به نظر می‌رسد مدل ویژگی‌های فرایند برنامه‌ریزی پویا را داراست. در این بخش ویژگی‌های فرایند برنامه‌ریزی پویا را معین کرده و وجه تشابه مدل خود را با آنان تشریح می‌کنیم.

- هر مسئله پویا چندین مرحله دارد و در مسئله ما انبارها به مثابه مراحل هستند.
- در مسئله پویا، هر مسئله چندین وضعیت دارد و در مسئله تعریف شده ما، هر انبار چندین سطوح موجودی دارد. (سطوح موجودی در حکم وضعیت‌های مراحل مسئله برنامه‌ریزی پویا هستند).
- در هر مرحله یک فرایند تصمیم‌گیری اتفاق می‌افتد و در مسئله ما، در هر انبار در خصوص میزان انتقال موجودی تصمیم‌گیری می‌شود.
- وضعیت کنونی مدل شامل اطلاعات ضروری برای تعیین سیاست بهینه برای باقی مسیر راه‌حل است. در مسئله ما نیز هر انتقال موجودی بر انتقال‌های بعدی خود تاثیر دارد.
- سیاست بهینه برای تمام مراحل توسط رابطه بازگشتی تعیین شده و در مسئله ما به صورت معادله ۲۶ است:

$$(26)\ f^*_n(s) = \min\left\{C_{n x_n} + f^*_{n-1}(x_n)\right\}$$

- روش حل از مرحله یک به دیگری توسط رابطه بازگشتی تبدیل می‌شود . در هر مرحله، پارامترهای بهینه با ردیابی به اولین مرحله (در رویکرد رو به جلو) یا آخرین مرحله (در رویکرد رو به عقب) بدست می‌آید.

همانگونه که ذکر شد در مسئله ما هر انبار به عنوان یک مرحله و مقادیر انتقال بین انبارها به عنوان پارامترهای تصمیم‌گیری شناسایی می‌شوند.

در این بخش مدل توسعه داده شده را با ارائه مثال عددی با پارامترهای مسئله به صورت زیر در نظر بگیرید:

$D=1000;\ C_{b1}=100;\ C_{b2}=60;\ C_{b3}=40;\ C_{b4}=10;\ C_{h1}=40;\ C_{h2}=50;\ C_{h3}=70;\ C_{h4}=80;\ C_{p2}=2;\ C_{p3}=3;\ C_{p4}=1;\ I_1=900;\ I_2=1000;\ I_3=500;\ I_4=800;\ r=0,1;\ t_m=5;\ t_r=3;\ L_2=10;\ L_1=24;\ L_m=2;\ L_r=1.$

پس از حل مسئله به کمک رابطه ۲۵، پاسخ‌ها را طبق جدول زیر به دست می‌آوریم :

بهترین سناریو(S_{43}, S_{32}, S_{21}) :	(I4,Q2,I2)
مقدار هزینه کل	45465
مقادیر سفارش(Q_3,Q_2,Q_1) :	(3798.4, ,243.8, 1138.4)

بهترین سناریو در این مثال، انتقال سطح موجودی انبار ۴ از انبار ۴ به انبار ۳ و انتقال مقدار سفارش انبار ۲ از انبار ۳ به انبار ۲ و برای آخرین مرحله انتقال تمام موجودی انبار ۲ ار انبار ۲ به انبار ۱ است.

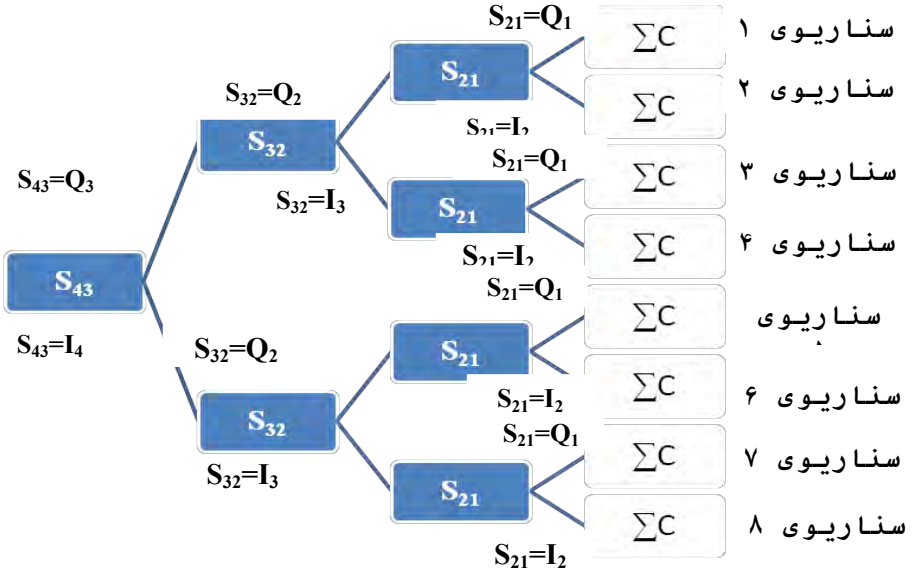
مشخص است که بهترین سناریو ممکن است در مسائل با پارمترهای متفاوت مختلف باشد و آن به مجموعه پارامترهای مسئله بستگی دارد. اگر پارامترها تغییر کنند، بهترین سناریو ممکن است به یکی از سناریوهای ممکن تغییر کند به طوری‌که هزینه کل را کاهش دهد.

۶ مقایسه رویکرد سیستمی با رویکرد درخت تصمیم در حل مسئله

درخت تصمیم یکی از ابزارهای قوی و متداول جهت دسته‌بندی و پیش‌بینی است. در این روش، دسته‌بندی در قالب قواعد و یافتن پاسخ برای پرسش‌هایی انجام می‌شود و فرآیند پرسش و پاسخ تا تکمیل دسته‌بندی و ایجاد درخت ادامه خواهد داشت. از دسته‌بندی سپس، به منظور پیش‌بینی در مدل استفاده می‌شود.

در این مسئله به دنبال یافتن مقادیر ارسال موجودی بین انبارها هستیم. در هر گره تصمیم دو انتخاب وجود دارد یا به میزان تمام موجودی انبار مبدا و یا به اندازه سفارش انبار مقصد باید انتقال صورت پذیرد. برای تمام سناریوهای ممکن ارسال موجودی بررسی شده و تابع هزینه به ازای هر یک محاسبه می‌شود. سناریوی‌ای که مینیمم هزینه را نتیجه دهد، به عنوان سناریوی منتخب انتخاب می‌شود.

به عنوان مثال برای محاسبه نتیجه در سناریوی ۱، فرض می‌شود که میزان انتقال از انبار ۴ به انبار ۳، برابر با میزان سفارش انبار۳، میزان انتقال از انبار ۳ به انبار۲، برابر با میزان سفارش انبار۲، و میزان انتقال از انبار ۲ به انبار ۱، برابر با سفارش انبار ۱ باشد، با این فروض تابع هزینه کل محاسبه می‌شود و مقادیر سفارش و میزان تابع هزینه کل بدست می‌آید.



برای بدست آوردن پاسخ هر مسئله با بهره‌گیری از رویکرد درخت تصمیم لازم است مسئله برای تمام حالات حل شود و سپس سناریوی‌ای که کمینه هزینه کل را نتیجه دهد به عنوان جواب نهایی انتخاب می‌شود. در صورتی که در رویکرد سیستمی و با استفاده از مدلسازی سیستم پویا، از آنجا که هر تصمیم در هر مرحله تاثیر در جهت‌دهی مسئله به سمت پاسخ بهینه را دارد، یکبار حل سناریوی بهینه و هزینه کمینه را نتیجه می‌دهد.

۷ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات آتی

سیستم‌های پویا به عنوان رویکردی برای تحلیل و حل مسائل پیچیده شناخته شده‌اند. در مباحث لجستیک و زنجیره تامین نیز به دلیل وجود پیچیدگی و کثرت روابط علت و معلولی، از رویکرد سیستم پویا برای بررسی سیستم استفاده شده‌است که قبلا در بخش مرور ادبیات به تشریح موارد پرداختیم.

در این مقاله، ما یک سیستم موجودی دو رده‌ای با در نظر گرفتن بازگشتی‌ها تحت سیاست تولید کششی در نظر گرفتیم و سپس مدل قطعی برای آن توسعه داده و با مدلسازی سیستم پویا و رویکرد درخت تصمیم مورد بررسی قرار دادیم. نتیجه آن شد که مدلسازی پویا نسبت به درخت تصمیم، مسیر کوتاه‌تر و موثرتری برای رسیدن به پاسخ بهینه می‌پیماید.

برای تحقیقات آتی حداقل چند زمینه با ارزش وجود دارد. اولین مورد در نظر گرفتن سایر انواع فرایندهای ساخت مجدد نظیر بازیافت و دوباره‌کاری و ... در مدل توسعه‌یافته است. در این مسائل توسعه یافته مدلسازی پویا در بخش‌های مختلف زنجیره تامین بکار رفته و زمینه حل مسائل زیادی ایجاد می‌شود. مورد دوم وارد کردن موضوع کنترل تولید به زنجیره تامین است که ضمن نزدیک‌سازی مدل به واقعیت، حل مسئله به کمک برنامه‌ریزی پویا امکان‌پذیر است و آخرین مورد توسعه مدل با در نظر گرفتن تامین‌کنندگان مواد اولیه به عنوان رده دیگر در مدل و توسعه مدلسازی پویا در حل مسئله است.

۸ منابع و مراجع

1. Fritz, S. (1985) ―Language of Family Theory- A Systematic Vocabulary and Source Book", Paperback : Family Process.

2. Laurikkala, H, Vilkman, H. E. M; Koivisto, H, Xiong, G. ―MODELLING AND CONTROL OF SUPPLY CHAIN", Available from https://ae.tut.fi/projects/systema/julkaisut/Norddesign%20final.pdf [Accessed 26.06.2010].

3. Holweg, M. (2011) ―Systems Methodology in Manufacturing and Logistics Research- A Critical review".

4. Dorf, RC. (1992) ―Modern Control Systems". s.l. : Addison-Wesley.

5. Angerhofer, B. J. Angelides, M. C. (2000) ―System Dynamics Modelling in Supply Chain", Proc.of the Winter Simulation Conference.

6. Forrester, J.W. (1961) ―Industrial dynamics", Cambridge, MA, USA , MIT Press.

7. Wilding, R.D. (1997) ―An investigation into sources of uncertainty within industrial supply chains"' s.l. : PhD Thesis, Department of Engineering, University of Warwick.

8. Kim, C. Jun, J, Smith, R, Kim, Y. (2005) ―Adaptive inventory control models for supply chain management", Int J Adv Manuf Technol, Vol. 26: 1184–1192.

9. Burns, J.F. and Sivazlian, B.D. (1978) ―Dynamic analysis of multi-echelon supply systems", Comput Ind Eng: 181–193.

10. Popplewell, K. Bonney, M.C. (1987) ―The application of discrete linear control theory to the analysis of multi-product, multi-level production control system", Int J Prod Res, Vol. 25: 45–56.

11. Towill, D.R. (1982) ―Dynamic analysis of an inventory and order based production control system", Int J Prod Res, Vol. 20: 671–687.

12. Simon, J, Naim, M. and Towill, D.R. (1995) ―Dynamic analysis of a WIP compensated decision support system", Int J Manuf Syst Des, Vol. 4: 283–297.

13. Disney, S.M. Towill, D.R. (2002) ―A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of vendor managed inventory supply chains", Int J Prod Res, Vol. 40: 179–204.

14. Dejonchheere, J, Disney, S.M, Lambrecht, M.R, Towill, DR. (2002) ―Transfer function analysis of forecasting induced bullwhip in supply chains", Int J Prod Econ, Vol. 78: 133–144.

15. Dejonchheere, J, Disney, S M, Lambrecht M. R, Towill, D. R. (2003) ―Measuring and avoiding the bullwhip effect: a control theoretic approach", Eur J Oper Res, Vol. 147: 567–590.

16. Perea, E, Grossmann, I, Ydstie, E, Tahmassebi, T. (2002) ―Dynamic modeling and classical control theory for supply chain management", Comput Chem Eng: 1143–1149.

17. Lin, PH, Wong, D.S, Jang, S.S, Shieh, S, Chu, J. (2004) ―Controller design and reduction of bullwhip for a model supply chain system using z-transform analysis", J Process Contr, Vol. 14: 487–499.

18. Mosekilde, E and Larsen, ER. (1988) ―Deterministic chaos in the beer production distribution mode", Syst Dyn Rev, Vol. 1: 131–147.

19. Thompson, J.S, Mosekilde, E and Sterman, J.D. (1992) ―Hyperchaotic phenomena in dynamic decision making", Syst Anal Model Simul, Vol. 9: 137–156.

20. Larsen, ER, Morecroft, J.D.W, Thomsen, J.S. (1999) ―Complex behaviour in a production-distribution model", Eur J Oper Res, Vol. 119: 61–74.

21. Parunak, V and VanderBok, R. (1998) ―Modeling the extended supply networks", Work paper, Industrial Technology Institute.

22. Wang, H, Liu, H and Yang, J. (2009) ―Dynamic analysis of a two-stage supply chain—a switched system theory approach", Int J Adv Manuf Technol, Vol. 43: 200–210.

23. Sanghwa, J and Maday, C.J. (1996) ―Dynamic information control for multi-echelon production-distribution systems with constrained production capacity", System Dynamics Review, Vol. 12: 331–343.

24. Sterman, J.D. (2000) ―Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world", NewYork , McGraw-Hill..

25. Zamudio-Ramirez, P. (1996) ―The economics of automobile recycling", MS thesis,MIT, Cambridge.

26. Georgiadis, P and Vlachos, D. (2004) ―The effect of environmental parameters on product", European Journal of Operational Research, Vol. 157: 449-464.