شبیه‌سازی اثر شلاقی چندمرحله‌ای در زنجیره‌ی تأمین چندمحصولی و چندسطحی[1]

حامد یوسف‌نژاد

گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران،isiranbabol@yahoo.com

محمدمهدی موحدی*

(نویسنده مسئول) گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران

سیداحمد شایان‌نیا

گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران، sheibat@yahoo.com

چکیده: برای بهینه بودن زنجیره تأمین باید نظام منسجم و پویایی وجود داشته باشد. شناخت فرایندهای تأمین قطعات، طراحی، مطالعات مربوط و امثال آن، و به کارگیری روش‌های کارا برای مدیریت آن‌ها می‌توانند اثربخش باشد. هدف این تحقیق بررسی تشدید اثر شلاقی، یعنی تغییرات تقاضای مشتری در زنجیره‌ی تأمین چندمحصولی و چندسطحی است. در این مقاله مدل‌های موجودی، ارتباطی و مشارکتی برای محاسبه اثر شلاقی طراحی گردیدند. برای شبیه‌سازی اثر شلاقی این مدل‌ها از برنامه متلب ANFIS برای ورود اطلاعات و محاسبه اثر شلاقی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که برای هر دو عامل تولیدکننده و توزیع کننده سطح اثر شلاقی برای دو محصول موزد مطالعه به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. نتیجه‌ی بخش تطبیق مشارکت‌های واحد زنجیره تأمین در طول کل زنجیره تأمین نشان می‌دهد که لزومی ندارد اندازه‌ی واحدهای ارسالی محصول به توزیع کنندگان، در صورت کاهش موجودی آن‌ها تغییر پیدا کند .

کلید واژه: اثر شلاقی، زنجیره‌های تأمین چندمحصولی، زنجیره‌های تأمین چندسطحی و چندمرحله‌ای

*(Corresponding authors) mmmovahedi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۴ / تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۳

دوره ۹ / شماره ۴

صفحات: ۲۹۵-۳۰۴

[1] . این مقاله از رساله دکتری دانشجو حامد یوسف نژاد به راهنمایی دکتر محمدمهدی موحدی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه استخراج شده است.

۱. مقدمه

کالا به عنوان یک عامل حیاتی در عملیات مختلف تجاری و صنعتی نقش کلیدی دارد. نیاز مصرف‌کننده به کالای مورد نظر و اعلام آن به محیطی تحت عنوان بازار باعث می‌گردد حلقه‌های مستقلی از فرایندها شروع به فعالیت نمایند. به عبارت دیگر حرکت تولیدکنندگان برای برآورده نمودن نیاز به مصرف‌کننده مجموعه‌ای از عناصر درگیر موضوع را فعال می‌نماید. زنجیره‌ای از عناصر که از تأمین مواد اولیه برای ساخت یک محصول آغاز می‌شود و تا رساندن کالا به دست مصرف‌کننده ادامه می‌یابد .به عبارت دیگر زنجیره‌ای که همه فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد از مرحله تهیه آن تا مرحله تولید محصول نهایی و تحویل به مصرف‌کننده را شامل می‌شود. این مجموعه فعالیت اطلاعات زنجیره تأمین کالا نامیده می‌شود [۱]. زنجیره تأمین کالا در حقیقت شالوده‌ای از فرایندهای مختلف تجاری و صنعتی است .فرایندهایی که باید اولا منسجم عمل نمایند و ثانیا بیش‌ترین تعامل را با هم داشته باشد عناصری مانند تولید، توزیع، خرید، فروش و حمل و نقل از عناصر مهمی هستند که اگر هرکدام فاقد عملکرد لازم باشند زنجیره را تحت تأثیر قرار خواهند داد به عبارت بهتر وقتی کالای مورد نظر مصرف‌کننده و یا مشتری نهایی در زمان مقرر به دست او نرسد، حتمًا عنصر یا عناصری در انسجام مأموریت خود کوتاهی نموده‌اند موضوع‌هایی مانند تعمیرات، انبارداری، عملیات تدارکات و سفارشات را نیز باید به این زنجیره اضافه نمود. بر این اساس کارکرد بهینه زنجیره تامین نظام منسجم و پویایی را طلب می‌کند تا فقط بتوانند یک کالا را برای مصرف کننده آماده و مهیا نماید [۲]. تصور فرایندهای تامین قطعات تخصصی، فرایندهای دیگر مانند طراحی، مطالعات وابسته و غیره را نیز در بر خواهد داشت که می‌تواند پیچیدگی زنجیره تامین را بیشتر نماید. آشنایی با فرآیندهای مختلف زنجیره تامین و توقع کارکرد مناسب آن این مهم را باعث می‌گردد، عملًا در نگاه بدبینانه ذهنیت به سمت راهکاری برای حفظ وضعیت مطلوب و حرکت به سمت بهبود وضعیت زنجیره می‌رود. شناخت موجودیت‌های زنجیره تامین و به کارگیری روش‌هایی برای مدیریت این موجودیت‌ها می‌توانند بسیار مثمر ثمر واقع شوند [۳]. صاحب نظران زنجیره تامین کالا بر این باورند که شناخت و مدیریت موجودیت‌های مرتبط می‌تواند نوسانات و پارامترهای موثر بر تعادل زنجیره مانند عرضه و تقاضا را هدایت نماید. این گروه بر این باورند که جریان کالا در مقابل جریان اطلاعات، منابع و اعتبارات مالی اساسی‌ترین مفاهیمی هستند که همواره باید مورد توجه قرار گیرند. به عبارت دیگر یک زنجیره تامین بدون جریانات کالا، اطلاعات و منابع مالی قابل تصور نیست ولی عمیق شدن در این بررسی یک نکته را حائز اهمیت می‌سازد که تمام فرآیندهای زنجیره تامین بدون ماهیتی مانند کالا، موجودیت و حق حیات نخواهند داشت. کالا به عنوان اصلی‌ترین موجودیت زنجیره کانون فعالیت‌های لجستیکی است، و زنجیره تامین، تامین‌کنندگان مواد اولیه، تولیدکنندگان قطعات، تولیدکنندگان محصول نهایی، توزیع‌کنندگان و مصرف‌کنندگان را شامل می‌شود. وجود ناهماهنگی بین عوامل فوق که اجزای زنجیره تامین هستند منجر به بروز اغتشاش و بی‌نظمی در زنجیره تامین می‌گردد، بنابراین لازم است این مجموعه با نگاهی جامع و کلی‌نگر مدیریت شود [۴]. دراثر وجود بی‌نظمی و ناهماهنگی بین اعضای زنجیره، پدیده‌ای تحت عنوان اثر شلاقی در آن نمایان خواهد شد، که به موضوع تشدید تغییرات تقاضا از مشتری به تولیدکننده اشاره دارد و برای تمام اعضای زنجیره تامین تبعات نامطلوب به دنبال خواهد داشت [۵ و ۶]. هدف این تحقیق پیشنهاد و ارایه راه حل ریاضی و شبیه‌سازی برای کنترل اثر شلاقی با نگرش سری‌های زمانی برای زنجیره‌های تامین چندمحصولی، چندسطحی و چندمرحله‌ای و تعیین رویکردی برای بهبود اثر شلاقی بر اساس زنجیره‌های تامین چند محصولی،چندمرحله‌ای و چندسطحی است [۷].

۲. پیشینه تحقیق

سیریکاس‌مسوک[1] [۸]، در تحقیقی با عنوان اندازه‌گیری اثر شلاقی در زنجیره‌ی عرضه با مدل تقاضای سری‌های زمانی

1Sirikasemsuk

ارائه دادند و فرایند تقاضا در یک زنجیره تأمین دو مرحله‌ای متشکل از یک تأمین کننده و دو خرده فروش بررسی کرده است. تأثیر پارامترهای همبستگی فرایند تقاضا ، ضریب همبستگی بین دو اخطا و واریانس خطا در اثر شلاقی مورد بررسی قرار گرفت. در نتیجه، اندازه‌گیری اثر شلاقی با استفاده از یک روش تحلیلی با هدف حداقل کردن میانگین مجذور خطا (MMSE) برقرار شد. سپس آزمایش‌های عددی برای نشان‌دادن رفتار اثر شلاقی با توجه به پارامترهای مختلف فرایندهای تقاضا انجام شد تا مشخص شود در چه شرایطی اثر شلاقی بی اثر می‌شود. علاوه بر این، ارزیابی نسبت واریانس موجودی مورد بررسی قرار گرفت

ماکویی و مددی[1] [۹]، تحقیقی با عنوان اثر شلاقی و توان لیاپانوف انجام دادند. آنها با به کارگیری توان لیاپونوف یک معیار برای اثر شلاقی ارائه دادند و به کمینه‌سازی اثرشلاقی پرداختند و با بررسی روابط ریاضی، به نتایج کاربردی درمورد رفتار اثر شلاقی دست یافتند. اویانگ و لی[2] [۱۰]، پژوهشی با عنوان اثر شلاقی در شبکه‌های زنجیره تأمین را انجام دادند. آنها در این پژوهش جریان سفارشات را که توسط هر تامین‌کننده برای هر فرآیند تقاضای مشتری ثابت قرار داده می‌شود مشخص کردند. همچنین شرایط تحلیلی مقاوم را براساس سیاست‌های مدیریت موجودی تعیین نمودند و برای پیش‌بینی وجود اثر شلاقی برای هر ساختار شبکه‌ای، هر گونه سیاست‌های تامین مجدد موجودی و فرایندهای تقاضای مشتری دلخواه، استنتاج کردند. آنها با مثال‌های عددی نشان دادند که نتایج تحلیلی به درستی اثر شلاقی را تعیین می‌کنند. نپال و همکاران[3] [۱۱]، در تحقیق شان با عنوان اثر شلاقی در صلاحیت‌دار کردن زنجیره تامین با در نظر گرفتن جنبه‌های چرخه عمر محصول به تحلیل اثر شلاقی پرداختند و با استفاده از شبیه‌سازی، سه مرحله از چرخه عمر محصول را بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که عملکرد یک سیستم وقتی یک تغییر مرحله در تقاضای چرخه زندگی رخ می‌دهد به طور کلی بدتر می شود. تانویر و همکاران[4] [۱۲]، در پژوهش شان یک مدل بهینه‌سازی را برای کاهش اثر شلاقی در زنجیره تامین دوسطحی پیشنهاد کردند. این مدل بیشتر توسط تصویری از پنج محصول تعیین می‌شود و نشان دادند که این مدل، مجموعه بهینه‌ای از پارامترها را برای کاهش اثر شلاقی تسهیل می‌کند. صادقی [۱۳]، تحقیقی با عنوان ارائه معیاری برای اثر شلاقی در یک زنجیره تامین دومحصولی با پیش‌بینی‌های هموارسازی نمایی انجام داده است. او در این پژوهش، یک زنجیره تأمین دوسطحی و دومحصولی را به منظور کمی‌کردن اثر شلاقی در نظر گرفت و به این نتیجه رسید که تحلیل هزینه براساس کمبود و هزینه نگهداری تحت اثر شلاقی مختلف انجام می‌شود. تراپرو و پدریگال[5] [۱۴]، در تحقیق شان یک معیار جدید مبتنی بر تعمیم متغیر اثر شلاقی به کار بردند و نشان دادند که اثر شلاقی در طول زمان ثابت نیست، اما جالب است که این اثر در طول دوره‌های تبلیغاتی کاهش می‌یابد. لی و همکاران[6] [۷]، تحقیقی با عنوان اثر شلاقی و اثر ضد شلاقی در زنجیره تامین انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که هر دو اثر هنگام مواجه شدن با تقاضاهای مشتری نهایی ممکن است رخ دهد. کشاری و همکاران[7] [۶]، در تحقیقشان طرحی را به منظور کاهش اثر شلاقی در زنجیره تامین چندمرحله‌ای ارائه کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که طرح پیشنهادشده می‌تواند جایگزین مناسبی برای کاهش اثر شلاقی هماهنگ باشد. ژائو و همکاران[8] [۱۵]، تحقیقی در مورد کاهش اثر شلاقی در بهینه‌سازی زنجیره تامین انجام داده‌اند. آنها در این پژوهش از مدل سیستم دینامیکی (SD)[9] برای بررسی تأثیر استراتژی واحد و سناریوهای ترکیبی در کاهش تقویت موجودی، یعنی اثر شلاقی در محتوای سه سطحی استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که فعالیت‌های بهبود مثبت یک راه‌حل بهینه در میان استراتژی‌های منفرد است. نارایانان و همکاران[10] [۱۶]، تحقیقی با عنوان تأثیر محدودیت‌های ظرفیت و انعطاف‌پذیری بر اثرشلاقی در زنجیره تأمین را انجام دادند. آنها بررسی کردند که تا چه حد سطوح مختلف محدودیت‌ها در کاهش تقویت اثرشلاقی ناشی از رفتار انسانی موثر است. نتایج نشان داد که

1 Makui & Madadi
2 Ouyang &Li
3 Nepal et al
4 Tanweer et al
5 Trapero & Pedregal
6 Li et al
7 Keshari et al
8 Zhao et al
9 .System Dynamic (SD)
10 Narayanan et al

محدودیت به کاهش واریانس سفارش بدون افت قابل توجه در سطح خدمات در زنجیره تأمین کمک می‌کند. بنابراین در این تحقیق با توجه به اهمیت موضوع بررسی اثر شلاقی در زنجیره تأمین، به این مطلب پرداخته شده است به کارگیری فرایندهای لجستیکی تماما حول محور کالا می‌چرخد.

بررسی مطالعات فوق نشان می‌دهد که مدیریت زنجبره تامین در کانون توجه محققین قرار دارد و به عنوان بحث روز از آن یاد می‌شود. علاقه قابل توجه در پژوهش‌های مرتبط با مدیریت زنجیره تامین در دهه گذشته با توجه به پتانسیل آن به منظور بهبود کارایی عملیات و کاهش هزینه بوده است. هر بخش زنجیره تامین می‌تواند از طریق همکاری نزدیک‌تر با سایر بخش‌ها و از طریق یکپارچه‌سازی از فرایندهای تصمیمرگیری مختلف بهره‌مند شوند. بنابراین مدیریت بهینه زنجیره تامین منجر به دستیابی به هدف مهم آن یعنی حداقل‌سازی هزینه برای تمام اعضای زنجیره خواهد شد. لازم به ذکر است علایق فردی نسبت به مباحث مدیریت زنجیره تامین نیز نقشی محرک در این راستا داشته است. نو بودن بحث یکی از معیارهای انتخاب حوزه دقیق مطالعه است. پس از مرور ادبیات موضوعی مشخص شد اثر شلاقی به عنوان یکی از معیارهای سنجش عملکرد زنجیره تامین در حال حاضر مورد توجه بسیاری قرار گرفته و مقالات متعددی طی سال-های اخیر در این خصوص تدوین و به چاپ رسیده است. از اینرو حوزه دقیق اثر شلاقی در محدوده کلی زنجیره تامین به عنوان موضوعی جدید که تحقیقات زیادی در مورد ان در حال انجام است و جای کار بسیار نیز دارد مورد توجه قرار گرفت.

۳- تشریح مدل تحقیق

به منظور اندازه‌گیری اثر شلاقی برای واحدهای (حوزه‌های) زنجیره تأمین از یک شبیه‌سازی دو لایه‌ای۱ و سه مدل عمومی استفاده می‌شود. این سه مدل عبارت‌اند از مدل‌های موجودی۲، ارتباطی۳ و مشارکتی۴ که در شکل ۱ نشان داده شده است.

2 Two Layer Simulation
3 Inventory Model
4 Linkage Model
5 Contribution Model

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، لایه شبکه زنجیره تأمین (لایه ۱)، از دو مدل ارتباطی و یک مدل موجودی تشکیل شده است. مدل موجودی به منظور مدل‌کردن زنجیره تأمین بین واحدهای زنجیره تأمین استفاده شده است. مدل مشارکتی (لایه ۲) به منظور مدل‌کردن فرایند سفارش و تنظیم مجدد زنجیره تأمین به کار می‌رود. انتخاب چنین ساختاری، باعث می‌شود که کاربر بتواند زنجیره تأمین مربوط به خود را شبیه‌سازی کند و امکان کاهش اثر شلاقی را داشته باشد. ساختار مذکور امکان مطالعه و بررسی زنجیره‌های تأمین پیچیده‌ی چندمرحله‌ای و چندمحصولی را فراهم می‌کند.

۳-۱ شبیه‌سازی اثر شلاقی در زنجیره تأمین چندمحصولی و چندسطحی

برای اندازه‌گیری و بهبود اثر شلاقی از مدل‌سازی سیستم پویا[5] استفاده شده است. این مدل برای مطالعه و مدیریت سیستم-های پیچیده و دارای بازخورد است. این سیستم‌ها می‌توانند در حوزه‌های مختلفی مثل کسب و کار، اقتصاد، محیط زیست، مدیریت انرژی، مسائل شهری و سایر حوزه‌های اجتماعی

5. System Dynamics Modeling

وجود داشته باشند. در واقع، با استفاده از ساختار سلسله مراتبی مذبور، می‌توان رفتار هر پدیده‌ای را مدل کرد [۱۷].

برخی ویژگی‌های مدل‌سازی پویا سبب شده تا با سایر روش‌های شبیه‌سازی متفاوت باشد و کاربردهای ویژه‌ای به شرح زیر برای آن پدید آورد.

۱. مدل‌سازی پویا بر چهار مؤلفه سیستمی استوار است: موجودی‌ها، جریان‌ها، بازخورد و روابط غیرخطی،
۲. در بیشتر برنامه‌های شبیه‌سازی ساختار مدل آماده است و کاربر با تغییر پارامترها، نتایج را بررسی می‌کند، در حالی که در مدل‌سازی پویا، کاربر خود مدل را ساخته، نتایج را در قالب جدول‌ها و نمودارها بررسی می‌کند،
۳. مدل‌سازی پویا شامل دو بخش اصلی ایجاد مدل و آزمون آن است، که سبب می‌شود تا کاربر درک بهتری از مسائل پیچیده پیدا کند،
٤. مدل‌سازی پویا رفتار کل سیستم را تحلیل می‌کنند،
٥. فرایند مدل‌سازی و خود مدل، پتانسیل یادگیری بالایی را در مدل‌سازی پویا دارا است، و
٦. تمرکز اصلی مدل‌سازی پویا بر ساختار سیستم است، که بیانگر رفتار سیستم می‌باشد.

در حالی که در دیگر روش‌های شبیه‌سازی تمرکز بر تعامل میان افراد است که به وسیله روابط آماری و ریاضی بیان می‌شوند و تفسیر آنها برای فردی که مدل را مطالعه می‌کند بسیار دشوار است. اما در مدل‌سازی پویا پیاده‌سازی رفتار سیستم، تحلیل نتایج و آزمون مدل شبیه‌سازی شده، اطلاعاتی در مورد چگونگی رفتار سیستم در شرایط در نظر گرفته شده را به تحلیل‌گر می‌دهد [۱۸]. مراحل انجام این روش شناسی به ترتیب عبارت‌اند از:

۱. تعریف مسئله، (باید گفت که: مسائل مطرح در مدل‌سازی سیستم پویا به طور عمده ساخت‌یافته نبوده، در نتیجه در مراحل اولیه‌ی بررسی نمی‌توان به تعریف دقیق به گونه‌ای دست یافت که گلوگاه‌ها را یافته و در صدد رفع مشکلات برآمد)،
۲. توسعه و ایجاد یک فرضیه‌ی پویا برای تشریح آثار مسئله،
۳. ساخت یک مدل شبیه‌سازی شده از سیستم،
٤. آزمون مدل برای کسب اطمینان از درستی عملکرد آن در دنیای حقیقی، و
٥. دستیابی به نتایج.

این ساختار سلسله مراتبی، دارای ارکان ذیل است:

- محدودی بسته یا نمودارهای علی: ابزاری برای ترسیم روابط علی بین مجموعه‌ای از متغیرهای داخل یک سیستم است. عناصر اساسی این حلقه‌ها عبارت‌اند از متغیرها (عوامل) و فلش‌ها[1] (روابط).
- حلقه‌های بازخور: وقتی مجموعه‌ای از متغیرها در یک مسیر بسته به یکدیگر متصل می‌شوند، یک حلقه‌ی علی را شکل می‌دهند. حلقه‌های بازخور، شامل حلقه‌های بازخور مثبت و حلقه‌های بازخور منفی می‌باشند. حلقه‌های بازخور مثبت، دایره‌ای است که اگر یک عامل در آن، در جهتی تغییر داده شود، دایره، تغییرات را در آن جهت تقویت می‌کند. حلقه‌های بازخور منفی، دایره‌ای است که اگر یک عامل در آن، در جهتی تغییر داده شود، دایره، با تغییرات آن عامل در آن جهت مخالفت می‌کند.
- متغیرهای سطح یا حالت: مربوط به عناصری در سیستم هستند که مقدار آنها در جریان یک دوره‌ی زمانی شکل می‌گیرد. متغیرهای نرخ: متغیرهای نرخ، میزان متغیر را در واحد زمان نشان می‌دهند و مجموعه‌ای از متغیرهای نرخ، موجب دگرگونی در متغیر حالت می‌شوند. متغیرهای کمکی: این متغیرها نشانگر ضرایبی هستند که رابطه‌ای بین متغیرهای دیگر را معین می‌کنند. معمولا متغیرهای برون زا در سیستم، توسط این نوع متغیرها نشان داده می‌شود.

1. Arrows 9 Causal Diagram

- فعالیت‌های اصلی این قسمت خرید و حمل است. زنجیره تأمین داخلی، شامل همه پردازش‌های استفاده شده به وسیله‌ی یک سازمان در تبدیل داده‌های حمل شده به سازمان توسط تأمین-کنندگان، به خروجی‌ها است، از زمانی که مواد وارد سازمان می‌شود تا زمانی که محصول نهایی برای توزیع به خارج سازمان حرکت می‌کند. فعالیت‌ها شامل حمل مواد، مدیریت موجودی و ساخت است. مشاهده می‌شود که زنجیره تأمین وقتی محصول واگذار یا مصرف می‌شود، پایان می‌یابد. فعالیت‌ها شامل بسته‌بندی، انبار و حمل است. این فعالیت‌ها ممکن است با استفاده از چندین توزیع‌کننده انجام شود مثل عمده فروشان و خرده فروشان. این قسمت می‌تواند به سمت راست به همین ترتیب گسترش یابد.

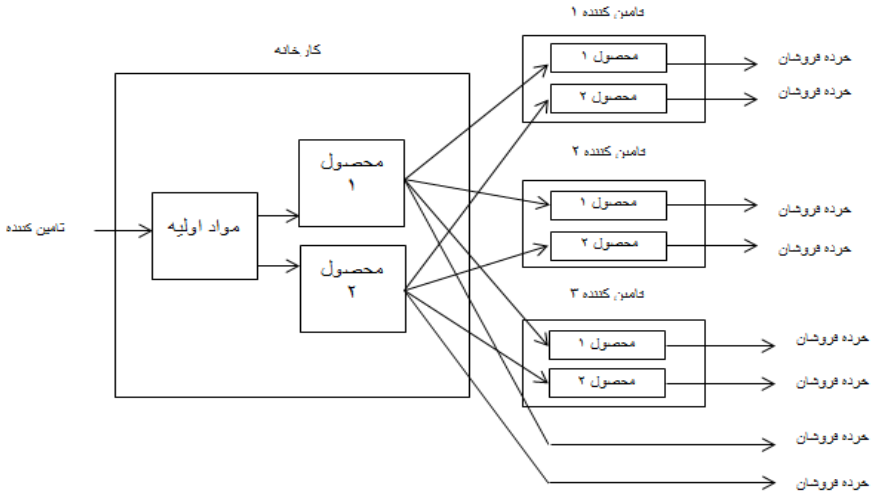
۳-۲ بیان صورت مسئله مطالعه موردی

شکل ۲ نمایش دهنده زنجیره تامین یک کارخانه تولیدی نوشابه با دو محصول است، این محصولات مواد اولیه مشترک مصرف می‌کنند. و حاصل تولید به روش‌های مختلف، به دست توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان می‌رسد. این شبکه دارای دو محصول و سه مرحله زنجیره تامین است. دو نوع نوشابه تولیدی این کارخانه، به سمت توزیع کنندگان و خرده فروشان حمل می‌شوند. کارخانه مذبور به صورت روزانه، داده‌های توزیع شامل، فروش روزانه، سطح ذخیره روزانه و پیش‌بینی تقاضا را دریافت می‌نماید. هر توزیع کننده دارای پیش‌بینی تقاضای ماهانه

برای محصولات A و B می‌باشد، که مبنای آن، بر اساس فروش سال قبل و در همین ماه می‌باشد. در نتیجه امکان تبدیل میزان پیش‌بینی تقاضای ماهانه به روزانه وجود دارد. که زنجیره تأمین چند سطحی، چندمرحله‌ای و چندمحصولی در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

این کارخانه به منظور تکمیل موجودی توزیع‌کنندگان درخواست سفارش را به جای آنان تکمیل می‌کند که بستگی به مرکز تصمیم‌گیری خودش دارد. اگر تشخیص دهد که موجودی توزیع‌کننده‌ای برای محصول A کم است، ۸۴۰ واحد این محصول را برای آن توزیع‌کننده حمل می‌نماید و اگر اگر تشخیص دهد که موجودی توزیع کننده‌ای برای محصول B کم است، ۷۰۰ واحد این محصول را برای آن توزیع‌کننده حمل می‌نماید. زمان تدارک سفارش یک روز است.

برای تامین مواد اولیه بخش تولید این کارخانه از تامین‌کننده، برنامه‌ریزی سفارش خاصی وجود دارد، به منظور تعیین زمان و میزان سفارش، آمار هفتگی تولید محصولات A و B و میزان مصرف مواد اولیه، هر جمعه وصول می‌گردد و از رویه سفارش برنامه‌ریزی شده استفاده می‌گردد. اندازه انباشته برای محصول A ۱۲۰۰۰ و برای محصول B ۱۰۵۰۰ واحد است و سفارش مواد اولیه برای ۲۱۶۰۰ واحد صورت گرفته و زمان تدارک برای تولید محصول A و B یک روز و زمان تدارک سفارش برای مواد اولیه دو روز است



شکل ۲- زنجیره تأمین چند سطحی، چندمرحله‌ای و چندمحصولی

۳-۳ استفاده از برنامه فازی-عصبی تطبیقی در مطالعه موردی

نرم‌افزار متلب بخشی را تحت عنوان برنامه فازی عصبی تطبیقی در ماژول‌های خود تحت عنوان ANFIS را دارد که بر اساس معادلات ذکر شده، شکل گرفته است. بر اساس داده-های دریافتی تصمیم‌گیری را انجام می‌دهد. ورودی و خروجی سیستم استنتاج فازی بر اساس سیستم تصمیم‌گیری انجام می‌شود. برای توزیع‌کننده دارای دو ورودی هستیم، اولین ورودی سطح موجودی توزیع‌کننده بر نقطه واقعی فروش و دومین ورودی سطح موجودی توزیع‌کننده بر نقطه پیش‌بینی فروش است و خروجی آن تصمیم‌گیری برای تکمیل ذخیره توزیع‌کننده است. خروجی یک بدین معنا است که کارخانه درخواست سفارش را برای توزیع‌کننده تکمیل نماید و خروجی یک بدین معنا است که هیچ درخواست سفارشی از جانب توزیع‌کننده، تکمیل نمی‌شود. مدل سیستم استنتاج فازی برای سیستم کنترل فازی عصبی تطبیقی، طراحی شده است. این طراحی شامل سه قدم: فازی کردن، ارزیابی قوانین و غیر فازی کردن است.

به دلیل اینکه سیستم کنترل فازی عصبی تطبیقی یک سیستم یادگیر است، برای فازی‌کردن لازم است اطلاعات و تصمیم گیری‌های پیشین، به آن منتقل شود. در این تحقیق از ۵۴۰ داده ورودی موجود برای سیستم کنترل فازی عصبی تطبیقی استفاده شده است، ۸۰٪ از این داده‌ها برای بهینه-سازی سیستم کنترل فازی عصبی تطبیقی (۴۳۲ داده) و ۲۰٪ بقیه (۱۰۸ داده) برای تست سیستم کنترل فازی عصبی تطبیقی و اندازه‌گیری دقت آن استفاده گردیده است که دقت آن ۹۹٪ محاسبه گردید.

۳-۴ محاسبه کمی اثر شلاقی بر مبنای شبیه‌سازی زنجیره تامین

برای شبیه‌سازی مدل مطرح شده در مطالعه موردی، نیاز است مدل‌های موجودی، ارتباطی و مشارکتی را برای محاسبه اثر شلاقی طراحی نماییم.

بر پایه الگوریتم‌های طراحی شده برای ماژول‌های مدل‌های موجودی، ارتباطی و مشارکتی، علاوه بر برنامه پیش‌بینی تقاضای مشتری که با برنامه متلب ANFIS نوشته شده است، دو برنامه برای ورود اطلاعات و محاسبه برای پیداکردن اثر شلاقی نوشته شد. برنامه ورود اطلاعات بر مبنای وب بوده و با ASPنوشته شده است و اطلاعات لازم را در یک بانک اطلاعاتی از نوع اس‌کیوال سرور[1] ذخیره می‌کند و برنامه محاسباتی با جاوا نوشته شده است که خروجی آن مقدار اثر شلاقی است. سطح کیفیت اطلاعات در مدل مشارکت با استفاده از سری زمانی است.

در مدل موجود زنجیره تامین کارخانه نوشابه‌سازی، اثر شلاقی برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه و با مدل شبیه‌سازی شده مقایسه گردیده است. میزان خطا برای اثر شلاقی مابین صفر و ۹٪ متغیر است. میزان خطای متوسط برای بخش توزیع ۰/۹۴٪ و برای بخش تولید ۶/۳۵ درصد است.

اثر شلاقی برای زنجیره تامین کارخانه نوشابه‌سازی و برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه، با مدل سری زمانی بر اساس مقایسه گردیده است. امیزان خطا برای اثر شلاقی بین ۰/۵۷ و ۱۳/۱۶ درصد متغیر است. میزان خطای متوسط برای بخش توزیع ۱/۴۱درصد و برای بخش تولید ۸/۴۵ درصد می‌باشد.

[1] SQL SERVER

جدول ۱- برآورد و محاسبه میزان خطاهای اثر شلاقی، بر اساس دو محصول A و B [۱۹]

متوسط خطا (درصد)	خطا (درصد)	شبیه سازی مقاله پایه	محاسبه واقعی	کالا	عامل
۰.۹۴	۰.۰۰	۳۰.۷۴	۳۰.۷۴	محصول A	توزیع کننده ۱
	۰.۹۳	۲۱.۸۲	۲۱.۶۲	محصولB	
	۰.۰۰	۳۶.۲۱	۶۳.۲۱	محصول A	توزیع کننده ۲
	۰.۰۰	۲۸.۵۹	۲۸.۵۹	محصولB	
۶.۳۵	۴.۱۴	۴۵.۰۶	۴۳.۲۷	محصول A	توزیع کننده ۳
	۰.۵۷	۲۹.۸۱	۲۹.۲۸	محصولB	
	۶.۱۰	۱۱.۴۸	۱۰.۸۲	محصول A	تولید کننده
	۹.۰۱	۴.۷۲	۴.۳۳	محصول B	
	۳.۹۵	۶.۳۲	۶.۵۸	مواداولیه	

جدول ۲-برآورد میزان خطاهای اثر شلاقی، بر اساس دو محصول A و **B** و محاسبه بر اساس سری های زمانی

متوسط خطا (درصد)	خطا (درصد)	شبیه سازی مقاله پایه	متوسط خطا (درصد)	خطا (درصد)	شبیه سازی مقاله پایه
۱.۴۱	۰.۶۲	۳۰.۵۵	۱.۴۱	۰.۶۲	۳۰.۵۵
	۲.۷۰	۲۱.۰۴		۲.۷۰	۲۱.۰۴
	۱.۷۹	۳۵.۵۶		۱.۷۹	۳۵.۵۶
	۰.۵۹	۲۸.۴۳		۰.۵۹	۲۸.۴۳
۸.۴۵	۲.۰۱	۴۴.۱۴	۸.۴۵	۲.۰۱	۴۴.۱۴
	۰.۷۵	۲۹.۳۶		۰.۷۵	۲۹.۳۶
	۳.۸۲	۱۱.۲۳		۳.۸۲	۱۱.۲۳
	۸.۳۸	۴.۶۹		۸.۳۸	۴.۶۹
	۱۳.۱۶	۵.۷۱		۱۳.۱۶	۵.۷۱

جدول ۳- براورد خطاهای اثر شلاقی، برای دو محصول A و B و محاسبه بر اساس مدل شبیه‌سازی تحقیق حاضر

متوسط خطا (درصد)	خطا (درصد)	شبیه سازی مقاله پایه	محاسبه واقعی	کالا	عامل
۱.۸۳	۲.۲۳	۳۰.۰۵	۳۰.۷۴	محصول A	توزیع کننده ۱
	۰.۴۶	۲۱.۷۲	۲۱.۶۲	محصولB	
	۲.۳۴	۳۵.۵۶	۳۶.۲۱	محصول A	توزیع کننده ۲
	۲.۶۷	۲۷.۸۳	۲۸.۵۹	محصولB	
۷.۳۴	۲.۳۰	۴۴.۲۶	۴۳.۲۷	محصول A	توزیع کننده ۳

	۰.۹۸	۲۹.۲۹	۲۹.۲۸	محصولB	
	۰.۱۷	۱۰.۳۴	۱۰.۸۲	محصول A	تولید کننده
	۱۰.۴۴	۳.۸۸	۴.۳۳	محصول B	
	۱۱.۴۰	۵.۸۳	۶.۵۸	مواد اولیه	

۴- یافته‌های تحقیق

در نهایت مدل طراحی شده برای زنجیره تامین کارخانه نوشابه‌سازی، اثر شلاقی برای هر واحد زنجیر تامین برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه و با مدل شبیه‌سازی مقایسه گردیده‌اند. این مقایسه در جدول ۳ به تفکیک بر اساس دو محصول A و B نشان داده است. میزان خطای برای اثر شلاقی مابین ۰/۱۷ و ۱۱/۴۰ درصد است. میزان خطای متوسط برای بخش توزیع ۱/۸۳ درصد و برای بخش تولید ۷/۳۴ درصد است.

و در انتها شکل‌های ۱۰ و ۱۱ بیانگر جداول مقایسه‌ای محاسبه اثر شلاقی برای زنجیر تامین کارخانه نوشابه سازی و برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه، به تفکیک بر اساس دو محصول Aو B و برای مدل شبیه‌سازی شده بر اساس مقاله پایه [۱۹] و سری های زمانی و مدل شبیه‌سازی بر اساس تحقیق حاضر می‌باشند.

۵- نتیجه‌گیری

استقرار رویکردهای مدیریت زنجیری تأمین، همواره با دو ویژگی اساسی یکپارچه سازی و هماهنگ سازی اجزای حاضر در زنجیره همراه است که مزیت‌های این رویکرد در دهه‌های اخیر، موجب گرایش محققان به این زمینهٔ مطالعاتی شده است؛ اگرچه، این ویژگیها مشکلاتی را در ساختار زنجیرهٔ تأمین و مدیریت آن ایجاد کرده است. یکی از مهم‌ترین این عارضه‌ها که در قالب تشدید نوسان تقاضا از پایین به بالای زنجیره خودنمایی میکند، اثر شلاقی یا اثر شلاق چرمی است. صرف‌نظر کردن از این اثر، تا حدی می‌تواند موجب خدشه‌دار شدن کارایی مدیریت زنجیره‌ی تأمین شود؛ به همین دلیل شناسایی دلایل بروز این اثر و ارائهٔ راه حل‌هایی برای تخفیف و کاهش آن در کانون توجه محققان قرار گرفته است.

در پژوهش حاضر با توجه به نتایج تحقیق مشخصاً دو تغییر شامل: تغییر سطح کیفیت اطلاعات از حالت یک به نوع هفت، که استفاده از مدل سری زمانی به عنوان الگوی تقاضا بود و روزانه‌کردن، بازرسی موجودی توزیع‌کنندگان و حمل محصول به صورت روزانه برای تکمیل موجودی آنها، باعث کاهش مناسب اثر شلاقی شده است. نتیجه‌ی بخش تطبیق مشارکت‌های واحد زنجیره تامین در طول کل زنجیره تامین نشان می‌دهد که لزومی ندارد اندازه‌ی واحدهای ارسالی محصول به توزیع کنندگان، در صورت کاهش موجودی آنها تغییر پیدا کند.

در مقایسه کاهش اثر شلاقی برای دو محصول مورد بررسی در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که کاهش اثر شلاقی محصول B زیاد نبوده ولی با مراجعه به بخش خط مبنا مشاهده می‌شود که از ابتدا اثر شلاقی برای محصول B ۴/۷۱۸ درصد بوده که در مقایسه با میزان اثر شلاقی برای محصول A در خط مبنا که ۱۱/۴۸ را نشان می‌دهد، بسیار بهتر است و علت آن می‌تواند سازگاری بیشتر این محصول با مشتریان (عوامل توزیع) باشد بنابراین کاهش کمتری از اثر شلاقی (۱/۹۷درصد) در آن مشاهده می‌شود. از طرف دیگر کاهش ۳۳ /۳۳ درصدی سطح اثر شلاقی محصول A بدین معنا است که تطبیق مشارکت‌ها، برای این محصول باعث ازدیاد سازگاری آن در طول زنجیره تولید شده است. در نهایت، مشاهده کاهش ۳۱/۶۳ درصدی سطح اثر شلاقی در مواد اولیه به علت کاهش اندازه انباشته سفارشی و تطبیق آن با تقاضاهای بخش تولید می‌باشد.

البته ذکر این نکته ضروری است که واکنش زنجیره‌ی تأمین در اثر شلاقی، با روش‌های متفاوت پیش‌بینی تقاضا متفاوت است که به عنوان موضوع پژوهش های آتی می‌توان آن را بررسی کرد و در هر حالت نیز هزینه های سفارش‌دهی، نگهداری و پس افت را نیز مقایسه نمود.

منابع

[۱] Carbonneau, R., Laframboise, K., & Vahidov, R. (2008). Application of machine learning techniques for supply chain demand forecasting. European Journal of Operational Research, 184(3), 1140-1154.

[۲] Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., & Towill, D. R. (2002). Transfer function analysis of forecasting induced bullwhip in supply chains. International journal of production economics, 78(2), 133-144.

[۳] Disney, S. M., Towill, D. R., & Van de Velde, W. (2004). Variance amplification and the golden ratio in production and inventory control. International Journal of Production Economics, 90(3), 295-309.

[٤] Efendigil, T. (2014). Modeling Product Returns in a Closed-Loop Supply Chain Under Uncertainties: A Neuro Fuzzy Approach. Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing, 23.

[٥] Hofmann, E. (2017). Big data and supply chain decisions: the impact of volume, variety and velocity properties on the bullwhip effect. International Journal of Production Research, 55(17), 5108-5126.

[٦] Keshari, A., Mishra, N., Shukla, N., McGuire, S., & Khorana, S. (2018). Multiple order-up-to policy for mitigating bullwhip effect in supply chain network. Annals of Operations Research, 269(1-2), 361-386.

[۷].Li, G., Yu, G., Wang, S., & Yan, H. (2017). Bullwhip and anti-bullwhip effects in a supply chain. International Journal of Production Research, 55(18), 5423-5434.

[۸] Sirikasemsuk, K. Luong H. T. (2017). Measure of bullwhip effect in supply chains with first-order bivariate vector auto regression time-series demand model, Computers & Operations Research 78, 59-79.

[۹] Makui, A., & Madadi, A. (2007). The bullwhip effect and Lyapunov exponent. Applied Mathematics and Computation, 189(1), 35-40.

[10] Ouyang, Y., & Li, X. (2010). The bullwhip effect in supply chain networks. European Journal of Operational Research, 201(3), 799-810.

[۱۱] Nepal, B., Murat, A., & Chinnam, R. B. (2012). The bullwhip effect in capacitated supply chains with consideration for product life-cycle aspects. International Journal of Production Economics, 136(2), 318-331.

[12] Tanweer, A., Li, Y. Z., Duan, G., & Song, J. Y. (2014). An optimization model for mitigating bullwhip-effect in a two-echelon supply chain. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 138, 289-297.

[13] Sadeghi, A. (2015). Providing a measure for bullwhip effect in a two-product supply chain with exponential smoothing forecasts. International Journal of Production Economics, 169, 44-54.

[14] Trapero, J. R., & Pedregal, D. J. (2016). A novel time-varying bullwhip effect metric: An application to promotional sales. International Journal of Production Economics, 182, 465-471.

[15] Zhao, Y., Cao, Y., Li, H., Wang, S., Liu, Y., Li, Y., & Zhang, Y. (2018). Bullwhip effect mitigation of green supply chain optimization in electronics industry. Journal of cleaner production n, 180, 888-912.

[16] Narayanan, A., Mackelprang, A., & Malhotra, M. (2019, July). Effect of Capacity and Flexibility Constraints on Bullwhip Effect in Supply Chains. In Academy of Management Proceedings (Vol. 2019, No. 1, p. 17864). Briarcliff Manor, NY 10510: Academy of Management.

[17] Martinez-Moyano, I. J., & Richardson, G. P. (2013). Best practices in system dynamics modeling. System Dynamics Review, 29(2), 102-123.

[18] Wang, N., Ma, Y., He, Z., Che, A., Hung, Y. and Xu, J. (2014). The impact of consumer price forecasting behavior on the bullwhip effect. International Journal of Production Research,52(22): 6642-6663.

[19] Wangphanich, P., Kara, S., & Kayis, B. (2010). Analysis of the bullwhip effect in multi-product, multi-stage supply chain systems–a simulation approach. International journal of production Research, 48(15), 4501-4517.